15

विद्युत आवेश एवं विद्युत क्षेत्र

अभी तक आपने यांत्रिक, तापीय और प्रकाशिकी तंत्रों तथा उनके द्वारा दर्शाई गई विभिन्न घटनाओं के बारे में सीखा। अब आप विद्युत और चुम्बकीय घटनाओं के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे। हमारे दैनिक जीवन में विद्युत का महत्व स्पष्ट है। हम जिन भौतिक सुविधाओं का आनन्द उठाते हैं और हमारे दैनिक जीवन में जो युक्तियाँ प्रयुक्त होती हैं वे सब ऊर्जा की उपलब्धता पर निर्भर करती हैं। विद्युत ऊर्जा का विफलन इस बात को निश्चित रूप से स्पष्ट कर देता है कि हम इस पर कितने आश्रित है। विद्युत के बिना अंधेरा हो जाता है, गर्मियों में पंखे, कूलर एवं वातानुकूलन यंत्र और जाड़ों में ऊष्मक (हीटर) गीजर आदि निष्क्रिय हो जाते हैं। इसी प्रकार इसके बिना रेडियो, टी.वी., कम्प्यूटर, माइक्रोवेव्ज को संचालित नहीं किया जा सकता है। पानी के पम्प काम करना बंद कर देते हैं, खेतों में सिंचाई नहीं हो पाती। यहाँ तक कि विद्युत विफलन से रेल सेवाएँ भी प्रभावित होती हैं। इसके अभाव में औद्योगिक इकाइयों में मशीनें नहीं चल सकतीं। संक्षेप में, जीवन एकदम ठप हो जाता है और इससे कभी-कभी सार्वजनिक रोष भी भड़क उठता है। इसलिए विद्युत और चुम्बकीय घटनाओं का अध्ययन अत्यंत आवश्यक है।

इस पाठ में आप दो प्रकार के विद्युत आवेशों के बारे में पढ़ेंगे, और साथ ही अलग-अलग परिस्थितियों में उनका व्यवहार, उनमें कार्यरत बल एवं उनके चारों ओर दिक्-स्थान आदि का भी अध्ययन कर सकेंगे। इसे यदि और स्पष्ट रूप से कहें तो हम भौतिकी की उस शाखा का अध्ययन करना चाहते हैं जो स्थिर आवेशों से संबंधित है। इस शाखा को **विद्युत स्थैतिकी** कहते हैं।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के बाद आप

- विद्युत आवेश के मूल गुणों का कथन कर सकेंगे;
- क्वांटीकरण और आवेश संरक्षण की संकल्पनाओं की व्याख्या कर सकेंगे;
- आवेशों के बीच लगने वाले बल के नियम (कूलॉम नियम) की व्याख्या कर सकेंगे;
- एक स्थिर आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र को परिभाषित कर सकेंगे और विद्युत-बल रेखाएँ खींच सकेंगे;

- वैद्युत द्विध्रुव, द्विध्रुव-आघूर्ण और द्विध्रुव के विद्युत क्षेत्र को परिभाषित कर सकेंगे;
- गौस प्रमेय का कथन कर सकेंगे और इसका उपयोग करके एक बिंदु आवेश, लंबे आवेशित तार, एक समान रूप से आवेशित गोलाकार कोश व आवेशित पट्टी के कारण उत्पन्न विद्युत क्षेत्र के लिए व्यंजक प्राप्त कर सकेंगे; और
- वान डे ग्राफ़ जनित्र की कार्य विधि का वर्णन कर सकेंगे।

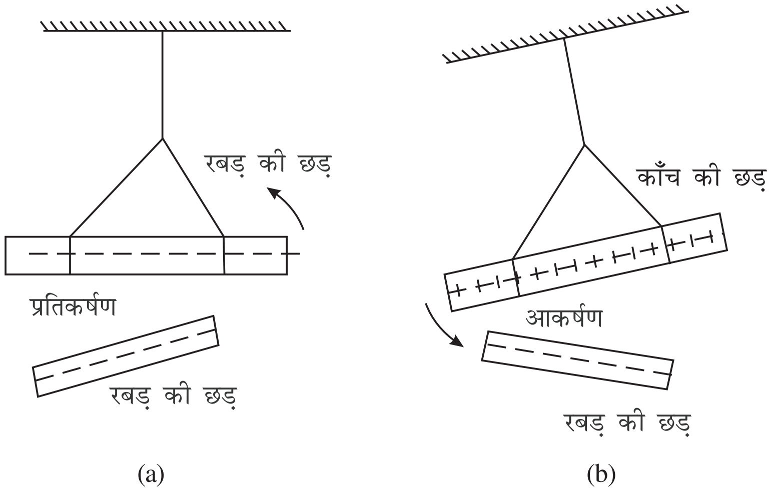
15.1 घर्षण विद्युत

प्राचीन यूनानियों को ईसा से 600 वर्ष पूर्व भी विद्युत और चुम्बकीय घटनाओं के बारे में जानकारी प्राप्त थी। उन्होंने पाया कि कहरूवा (Amber) के टुकड़े को जब फर या ऊन से रगड़ते हैं तो वह छोटे-छोटे परों को आकर्षित करने लगता हैं। ग्रीक भाषा में कहरूवा (Amber) के लिए इलेक्ट्रॉन (Electron) शब्द प्रयुक्त होता है, जिससे इलेक्ट्रिसिटी (विद्युत) शब्द की व्युत्पत्ति हुई है।

आप आवेशों के अस्तित्व और उनके बीच लगने वाले बलों को दर्शाने के लिए एक सरल प्रयोग कर सकते हैं। यदि आप अपने सूखे बालों में कंघी करें तो पायेंगे कि कंघी छोटे कागज के टुकड़ों को अपनी ओर आकर्षित करने लगती है। क्या आप जानते हैं कि ऐसा कैसे होता है? आइए, इसके लिए हम दो प्रयोग करते हैं।

क्रियाकलाप 15.1

एक सख्त रबड़ की छड़ लें और इसे फर या ऊन से रगड़ें, फिर एक शीशे की छड़ लें और उसे रेशम से रगड़ें। अब अधात्वीय डोरियों से उन्हें अलग-अलग लटकाएं जैसा कि चित्र 15.1 में दर्शाया गया है।



चित्र 15.1: आवेशों के बीच आकर्षण/प्रत्याकर्षण बल (a) एक आवेशित रबड़ की छड़ दूसरी आवेशित रबड़ की छड़ को प्रतिकर्षित करती है। समान आवेश (सजातीय आवेश) एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं। (b) एक आवेशित रबड़ की छड़ एक आवेशित काँच की छड़ को आकर्षित करती है। असमान (विजातीय) आवेश एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।

अब एक रबड़ की छड़ को ऊन से रगड़कर इन छड़ों के पास क्रमशः लाएँ। आप अवलोकित करेंगे कि–

- जब एक आवेशित रबड़ की छड़ को एक निलंबित आवेशित रबड़ की छड़ के समीप लाते हैं, तो वे प्रतिकर्षण दर्शाते हैं, [चित्र 15.(a)]
- जब एक आवेशित रबड़ की छड़ को एक निलंबित आवेशित काँच की छड़ के पास लाते हैं, तो वे आकर्षण दर्शाते हैं। इसी प्रकार के परिणाम एक आवेशित काँच की छड़ को पास लाने पर भी प्राप्त होंगे–

इन प्रेक्षणों के आधार पर हम कह सकते हैं कि–

- एक आवेशित रबड़ की छड़ एक आवेशित काँच की छड़ को आकर्षित करती है और आवेशित रबड़ की छड़ को प्रतिकर्षित करती है।
- एक आवेशित काँच की छड़ दूसरी काँच की आवेशित छड़ को प्रतिकर्षित करती है लेकिन रबड़ की छड़ को आकर्षित करती है।

उपर्युक्त क्रियाकलापों से हम अनुमान लगा सकते हैं कि रबड़ की छड़ ने एक प्रकार की विद्युत प्राप्त की और काँच की छड़ ने दूसरी प्रकार की। इसके अतिरिक्त सजातीय आवेश एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं और विजातीय आवेश एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।

बेंजामिन (बेंजामिन फ्रेंकलिन, 1706-1790) ने सुझाव दिया कि काँच की छड़ पर आवेश को धनात्मक और रबड़ की छड़ पर आवेश को **ऋणात्मक** कहा जाए। यह चिह्न परंपरा तभी से चली आ रही है। एक बार एक वस्तु घर्षण द्वारा आवेशित हो जाती है, तो इसकी सहायता से दूसरी चालक वस्तुओं को दो विधियों से आवेशित किया जा सकता है।

(1) चालन द्वारा अर्थात् एक आवेशित वस्तु को अनावेशित वस्तु से स्पर्श कराकर

(2) प्रेरण द्वारा अर्थात् एक आवेशित वस्तु को अनावेशित वस्तु के समीप लाकर और इसे भूसंपर्कित (earthing) करके तथा एक साथ आवेशित वस्तु और भूसंपर्क को हटा कर।

15.1.1 आवेश का संरक्षण

क्रियाकलाप 5.1 में आपने देखा कि जब एक काँच की छड़ को रेशम से रगड़ा जाता है, तो छड़ धनावेशित हो जाती है और रेशम ऋणावेशित हो जाता है। चूँकि दोनों वस्तुएँ सामान्य स्थिति में उदासीन (आवेश रहित) हैं, अतः काँच की छड़ का धनावेश व रेशम में ऋणावेश परिमाण में बराबर होने चाहिएं। अर्थात् तंत्र (काँच + रेशम) का कुल आवेश संरक्षित रहता है। न तो यह उत्पन्न किया जा सकता है और न ही नष्ट। यह केवल तंत्र (काँच + रेशम) की एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरित होता है। आवेश का स्थानांतरण तंत्र की तापीय ऊर्जा में वृद्धि के कारण होता है। काँच की छड़ में कम मजबूती से जुड़े इलेक्ट्रॉन रेशम की ओर स्थानांतरित होते हैं। काँच की छड़ (इलेक्ट्रॉनों की कमी के कारण) धनावेशित हो जाती हैं और रेशम इलेक्ट्रॉनों की अधिकता के कारण ऋणावेशित हो जाती है। जब रबड़ को फर से रगड़ा जाता है, तो फर से इलेक्ट्रॉन रबड़ की ओर स्तानांतरित होते हैं, अर्थात् रबड़ ऋणावेश प्राप्त करता है और

टिप्पणियाँ

फर समान मात्रा का धनावेश प्राप्त करता है। धनावेश और ऋणावेश के अलावा और कोई आवेश आज तक नहीं पाया गया।

15.1.2 आवेश का क्वान्टमीकरण

1909 में मिलिकन (रॉबर्ट मिलिकन, 1886–1953) ने प्रयोग द्वारा यह सिद्ध किया कि कोई भी आवेश एक निश्चित न्यूनतम आवेश (मूलभूत मात्रक) का पूर्णांकीय गुणज होता है । यह मूलभूत मात्रक इलेक्ट्रॉन का आवेश है, इसका मान 1.6×10^{-19} कूलॉम है। इसका आशय यह है कि किसी वस्तु का आवेश Q हो तो इसे $Q = Ne$ की भांति लिया जा सकता है जहाँ N एक पूर्णांक है और e इलेक्ट्रॉन का आवेश है। इसका अर्थ यह हुआ कि किसी आवेशित वस्तु में 2.5 e या 6.4 e मात्रा का आवेश नही हो सकता। मिलिकॉन के समय में कुछ प्रयोगों में यह दर्शाया गया कि आवेश इलेक्ट्रॉन में $-e$ और प्रोटॉन में $+e$ होता है। न्यूट्रॉन में कोई आवेश नहीं होता है। प्रत्येक परमाणु में समान संख्या में इलेक्ट्रॉन और प्रोट्रॉन होते हैं और इसलिए यह उदासीन होता है।

- प्रकृति में केवल दो प्रकार के आवेश पाए जाते हैं–धनात्मक और ऋणात्मक।
- सजातीय आवेश एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं और विजातीय आवेश एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।
- आवेश संरक्षित रहता है।
- आवेश क्वान्टमीकृत होता है।

पाठगत प्रश्न 15.1

1. एक काँच की छड़ रेशमी कपड़े से रगड़े जाने पर एक आवेश $q = +3.2 \times 10^{-17}$ C प्राप्त करती है।

   (i) क्या रेशम का कपड़ा भी आवेशित होता है?

   (ii) रेशम के कपड़े में आवेश की प्रकृति और मात्रा क्या है?

2. दो समान धात्वीय गोले A और B है। A को $+Q$ आवेश दिया जाता है। दोनों गोले तब संपर्क में लाए जाते हैं और अलग कर दिये जाते हैं:

   (i) क्या B में कोई आवेश होगा?

   (ii) यदि यह A के संपर्क में लाने से आवेशित होता है तो इसमें आवेश की मात्रा क्या होगी?

3. एक आवेशित वस्तु का आवेश $q = 4.8 \times 10^{-16}$ C है। वस्तु में मूलभूत आवेश की कितनी इकाइयाँ हैं? ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ले सकते हैं)

टिप्पणियाँ

15.2 कूलॉम का नियम

आपने सीखा कि दो स्थिर आवेश या तो एक–दूसरे को आकर्षित करते हैं या प्रतिकर्षित। उनके बीच में उनकी प्रकृति के अनुसार आकर्षण या प्रतिकर्षण बल कार्य करता है। कूलॉम ने 1785 में इस बल की प्रकृति का अध्ययन किया और इसको निर्धारित करने वाले एक नियम की स्थापना की। उनके प्रायोगिक प्रेक्षण दर्शाते हैं कि दो स्थिर बिंदु आवेशों q_1 और q_2 के बीच कार्य करने वाला विद्युत बल–

- उनके परिमाण के गुणन के अनुक्रमानुपाती है;
- उनके बीच की दूरी r के वर्ग के प्रतिलोमानुपाती होता है।
- दोनों आवेशों को जोड़ने वाली रेखा के अनुदिश कार्य करता है।
- सजातीय आवेशों के लिये प्रतिकर्षी (धनात्मक) और विजातीय आवेशों के लिये आकर्षी (ऋणात्मक) होता है।

बल F की मात्रा इस प्रकार व्यक्त की जा सकती है:

$$F = k\frac{q_1 \times q_2}{r^2} \qquad (15.1)$$

निर्वात के लिए

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2} \qquad (15.2)$$

जहाँ पर k नियतांक है; (निर्वात के लिए) $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ और एक द्रव्य माध्यम के लिए $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$ यहाँ ε_0 निर्वात की एवं ε माध्यम की विद्युतशीलता है। इसका आशय यह है कि यदि आवेशों के एक ही तंत्र को भिन्न द्रव्य माध्यमों में रखा जाए, तो कूलॉम बल का परिमाण भिन्न होगा।

स्थिरांक k का मान संबंधित राशियों के मात्रकों पर निर्भर करता है। SI पद्धति में आवेश मात्रक कूलॉम (C) है। कूलॉम को धारा के मात्रक एम्पीयर के पदों में परिभाषित किया जाता है, जिसका उल्लेख बाद में किया जाएगा। SI पद्धति में k का मान

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9 \ \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \qquad (15.3)$$

चूँकि $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2}$.

इस प्रकार 1 कूलॉम आवेश को इस प्रकार परिभाषित किया जा सकता है: यदि 1 मीटर दूरी से पृथक्कृत दो समान मात्रा के सजातीय बिन्दु आवेशों के बीच 9×10^9 N का प्रतिकर्षण बल लगता है, तो प्रत्येक आवेश का परिमाण 1 कूलॉम होता है।

इलेक्ट्रॉन के आवेश का मान 1.60×10^{-19} C होता है।

ध्यान दें

- कि कूलॉम का नियम भी न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण नियम (जिसे आप अध्याय 6 में पढ़ चुके हैं) की भांति व्युत्क्रम वर्ग नियम है।
- कूलॉम का नियम केवल बिन्दु आवेशों के लिए लागू होता है।
- यांत्रिक बलों के विपरीत कूलॉम बल दूरी पर लागू होता है।

एक कूलॉम कितना बड़ा होता है?

विद्युत आवेश का मात्रक कूलॉम है। क्या आपने कभी सोचा है कि एक कूलॉम कितना बड़ा होता है? इसका पता लगाने के लिये हम एक कूलॉम परिमाण के दो आवेशों के बीच लगने वाले बल का परिमाण ज्ञात करते हैं, जिनको एक-दूसरे से 1 मीटर की दूरी पर रखा गया है।

$$|\mathbf{F}| = k \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$

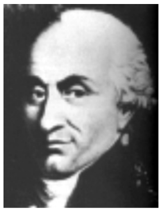
$$= 9.0 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{1^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \approx 10^{10}\,\text{N}$$

यदि यात्रियों से भरी बस का द्रव्यमान 5000 kg है, बस का भार $mg = (5000 \times 10)$ N (यहाँ g का मान 10 m s^{-2} मान लिया गया है) $= 5 \times 10^4$ N

अब मान लेते हैं कि दिल्ली में ऐसी 10,000 भारी बसें हैं। इन सभी बसों का कुल भार $5 \times 10^4 \times 10{,}000 = 5 \times 10^8$ N होगा यदि 10 शहरों में इतनी ही संख्या में बसें हों, तो इन बसों का कुल भार 5×10^9 N होगा। यह भार उस बल का आधा है जो 1 m की दूरी पर रखे 1C के दो बिन्दु आवेशों के बीच लगता है।

चार्ल्स आगस्टिन डे कूलॉम (1736–1806)



फ्रांसीसी भौतिक शास्त्री, कूलॉम ने अपना कैरियर एक सैन्य अभियन्ता के रूप में वेस्टइंडीज में प्रारंभ किया। उन्होंने एक ऐंठन तुला (टॉर्सन बैलेंस) का आविष्कार किया और इसका उपयोग आवेशों और चुम्बकों के बीच की अंत:क्रिया की प्रकृति के निर्धारण संबंधी प्रयोगों में किया। उन्होंने इन प्रयोगों के परिणामों को कूलॉम के स्थिर वैद्युतीय व स्थिर चुम्बकीय नियमों के रूप में निरूपित किया।

अब आप जानते है कि निर्वात में r दूरी से पृथक्कृत आवेशों q_1 और q_2 के बीच निर्वात में एवं द्रव्य माध्यम में बलों का अनुपात $\varepsilon/\varepsilon_0$ है।

$$\frac{F_0 \text{ (निर्वात में)}}{F \text{ (माध्यम में)}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r$$

जहाँ पर ε_r को आपेक्षिक विद्युतशीलता या परावैद्युतांक कहते हैं। इसका मान हमेशा 1 से अधिक होताहै। हम परावैद्युतांक को दूसरे रूप में आगे चलकर परिभाषित करेंगे।

15.2.1 कूलॉम के नियम का सदिश रूप

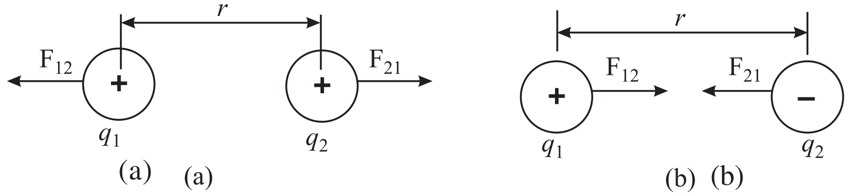
आप जानते हैं कि बल एक सदिश राशि है। इसका अर्थ यह हुआ कि दो आवेशों के बीच के बल को एक सदिश द्वारा दर्शाया जाना चाहिए। अर्थात् समीकरण (15.1) को सदिश रूप में व्यक्त किया जाना चाहिए। आपको यह भी याद रखना चाहिए कि कूलॉम का नियम केवल **बिंदु आवेशों** के लिए ही समुचित है।

माना दो आवेश q_1 और q_2 एक-दूसरे से r दूरी से पृथक्कृत हैं (चित्र 15.2)। माना $\mathbf{F}_{12}$ आवेश q_1 पर आवेश q_2 के कारण बल को इंगित करता है और $\mathbf{F}_{21}$ ओवश q_2 पर आवेश q_1 के कारण बल को इंगित करता है। माना हम एक इकाई सदिश को, जो कि q_1 से q_2 दिशा में है, $\hat{\mathbf{r}}_{12}$ से दर्शाते हैं। तब चित्र [15.2 (a)] से

$$\mathbf{F}_{12} = k\,\frac{q_1\, q_2}{|r_{12}^2|}\,\hat{\mathbf{r}}_{12} \qquad (15.4)$$

इसी प्रकार चित्र 15.2(b) में दर्शाए गये आवेशों के लिए

$$\mathbf{F}_{12} = -\,k\,\frac{q_1\, q_2}{|r_{12}^2|}\,\hat{\mathbf{r}}_{12} \qquad (15.5)$$



चित्र 15.2: r दूरी द्वारा पृथक्ककृत दो बिंदु आवेश q_1 तथा q_2 (a) दो धनात्मक आवेशों के बीच प्रतिकर्षण बलों की दिशा, (b) धनात्मक एवं ऋणात्मक आवेशों के बीच आकर्षण बलों की दिशा।

समीकरण (15.4) का धनात्मक चिह्न दर्शाता है कि दो धनात्मक आवेशों के बीच बल प्रतिकर्षी है, और समी. (15.5) का ऋणात्मक चिह्न दर्शाता है कि धनात्मक एवं ऋणात्मक आवेशों के बीच बल आकर्षी है।

कूलॉम का नियम दो आवेशों q_1 और q_2 के बीच क्रिया और प्रतिक्रिया के नियम का पालन करता है। अत:

$$\mathbf{F}_{12} = -\,\mathbf{F}_{21} \qquad (15.6)$$

अत: कूलॉम के नियम को व्यापक रूप से इस प्रकार लिखा जा सकता है:

$$\mathbf{F}_{12} = k \times \frac{q_1\, q_2}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}}_{12} = -\,k \times \frac{q_1 q_2}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}}_{21} = -\mathbf{F}_{21} \qquad (15.7)$$

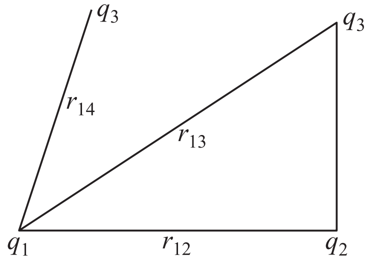
15.2.2 अध्यारोपण का सिद्धान्त

यदि आवेश दो से अधिक हों तो किन्हीं दो आवेशों के बीच कार्य करने वाला बल समीकरण (15.7) द्वारा व्यक्त किया जाता है। अब मान लें कि अनेक आवेश q_1, q_2, q_3, q_4 आदि हैं। q_1 पर सभी अन्य आवेशों द्वारा आरोपित बल समी. (15.7) से

$$\mathbf{F}_{12} = k\,\frac{q_1\,q_2}{|r_{12}^2|}\,\hat{\mathbf{r}}_{12}$$

$$\mathbf{F}_{13} = k\,\frac{q_1\,q_3}{|r_{13}^2|}\,\hat{\mathbf{r}}_{13}$$

and $$\mathbf{F}_{14} = k\,\frac{q_1\,q_4}{|r_{14}^2|}\,\hat{\mathbf{r}}_{14} \qquad (15.8)$$



चित्र 15.3 : अध्यारोपण का सिद्धांत

इन सभी बलों का परिणामी F इन सभी बलों का सदिश योग होगा।

यथा $$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14} + \ldots \qquad (15.9)$$

यह अध्यारोपण का सिद्धान्त कहलाता है।

उदाहरण 15.1 : $q_1 = +12\mu\,C$ का एक आवेश दूसरे आवेश $q_2 = 6\mu C$ से 4.0 मीटर की दूरी पर है, जैसा कि चित्र 15.4 मे दर्शाया गया हैं। कोई तीसरा आवेश q_3, आवेशों q_1 एवं q_2 को जोड़ने वाली रेखा पर किस स्थान पर रखा जाए कि इसपर कोई बल न लगे?

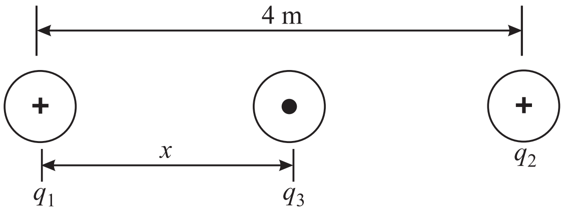
हलः माना कि q_3 को q_1 और q_2 के बीच q_1 से x मीटर की दूरी पर रखा जाता है। (यह आसानी से देखा जा सकता है कि q_3 की स्थिति q_1 के बाईं ओर या q_2 के दाहिनी ओर या q_1 और q_2 के मध्य 1 के अलावा किसी अन्य स्थिति पर कार्यकारी परिणामी बल शून्य नहीं सकता है।) q_3 पर q_1 द्वारा आरोपित बल होगा–

$$\mathbf{F}_{31} = k\,\frac{q_1\,q_3}{r_{31}^2}\,\hat{\mathbf{r}}_{31} \quad q_1 \text{ की ओर}$$

$$\therefore \qquad |\mathbf{F}_{31}| = k\,\frac{q_3\,q_1}{x^2}$$

q_3 पर q_2 के कारण बल का परिमाण होगा

$$|\mathbf{F}_{32}| = k\,\frac{q_3\,q_2}{(4-x)^2} \quad q_2 \text{ की ओर}$$



चित्र 15.4: एक सरल रेखीय स्थिति में तीन आवेश q_1, q_2 और q_3

q_3 पर लगने वालीा परिणामी बल शून्य होगा यदि $\mathbf{F}_{31} = \mathbf{F}_{32}$। अत: आंकिक मान रखने पर

$$k \times \frac{12q_3}{x^2} = k \times \frac{6q_3}{(4-x)^2}$$

ध्यान दीजिए कि $6q_3k$ दोनों पक्षों में उभयनिष्ठ होने के कारण काटा जा सकता है। अत:

$$\frac{2}{x^2} = \frac{1}{(4-x)^2}$$

या $$2(4-x)^2 = x^2$$

$$\Rightarrow \quad x^2 - 16x + 32 = 0$$

इस समीकरण को हल करने पर हम पाते हैं कि x के दो मान $x = 2.35$ m और $x = 13.65$ m. हैं। इनमें से $x = 13.65$ m अस्वीकार्य है, अत: आवेश q_2 को q_1 से 2.35 m की दूरी पर रखना चाहिए।

यह गुणात्मक रूप से भी उचित हल है। चूंकि आवेश q_1 आवेश q_2 से बड़ा है, इसलिए q_1 और q_2 के बीच दूरी q_2 व q_3 के बीच की दूरी से अधिक होनी चाहिए।

उदाहरण 15.2: दो 6.0×10^{-10} C के आवेश एक-दूसरे से 2.0 m की दूरी पर हैं। उनके बीच लगने वाले कूलॉम बल का परिमाण ज्ञात कीजिए।

हल: हम जानते हैं कि दो आवेशों के बीच लगने वाले कूलॉम बल का परिमाण समी. (15.2) द्वारा दिया जाता है :

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

दिया है: $q_1 = q_2 = 6.0 \times 10^{-10}$C और $r = 2.0$ m। अत: मान प्रतिस्थापित करने पर

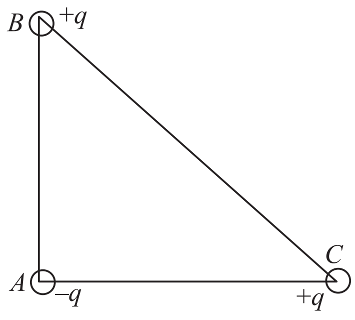
$$F = \frac{(9\times10^9\ \text{N m}^2\text{C}^{-2})\times(6.0\times10^{-10}\text{C})^2}{2^2\ \text{m}^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 36.0 \times 10^{-20}}{4}\text{N}$$

$$= 81 \times 10^{-11}\ \text{N}$$

पाठगत प्रश्न 15.2

1. दो आवेशों $q_1 = 16\mu$C और $q_2 = 9\ \mu$C के बीच की दूरी 12 मीटर है। q_1 पर q_2 के द्वारा आरोपित बल का मान और इस बल की दिशा ज्ञात कीजिए। q_2 पर q_1 के कारण आरोपित बल की दिशा क्या है?

2. q आवेशमान के तीन बिन्दु आवेश एक समकोण त्रिभुज के तीन शीर्षों पर रखें हैं, जैसा कि चित्र 15.5 में दर्शाया गया है। $AB = AC$ है। $-q$ आवेश पर आरोपित बल की दिशा क्या होगी?



चित्र 15.5: समकोण त्रिभुज के तीन सिरों पर स्थित आवेश

15.3 विद्युत क्षेत्र

एक-दूसरे से कुछ दूरी पर रखे गए दो आवेशों के बीच अन्योन्यक्रिया की व्याख्या करने के लिए फैराडे ने विद्युत क्षेत्र की अवधारणा प्रस्तावित की। किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र E उस बल के रूप में परिभाषित किया जाता है जो कि एक धनोवेशित परीक्षण आवेश q_0 पर लगने वाले बल को इस परीक्षण आवेश के परिमाण से विभाजित करने पर प्राप्त होता है।

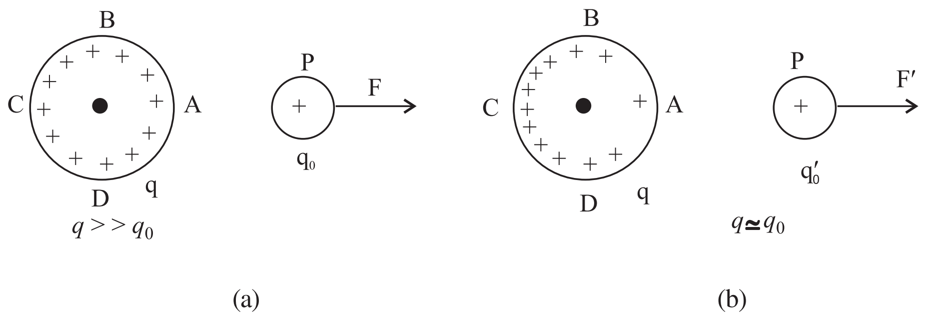
अर्थात्
$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \tag{15.10}$$

यह गुरुत्व जनित त्वरण की परिभाषा के तुल्य है, ($\mathbf{g} = \mathbf{F}/m_0$) जो कि m_0 द्रव्यमान के कण परं F परिणाम के गुरुत्वीय बल के कारण होता है।

विद्युत क्षेत्र E एक सदिश राशि है, जिसकी दिशा विद्युत बल F की दिशा के समान है। यहाँ यह समझना आवश्यक है कि विद्युत क्षेत्र एक बाह्य आवेश के कारण है न कि परीक्षण आवेश के कारण। अत: परीक्षण आवेश q_0 परिणाम में इतना कम होना चाहिए कि यह बाह्य आवेश के कारण उत्पन्न क्षेत्र को प्रभावित न करे। (व्यवहार में एक सूक्ष्मतम परीक्षण आवेश भी बाह्य क्षेत्र को प्रभावित करेगा।) अत: सही मायने में नीचे दी गई गणितीय परिभाषा अधिक सही है :

$$\mathbf{E} = \lim_{q_0 \to 0} \frac{\mathbf{F}}{q_0} \tag{15.11}$$

SI पद्धति में बल का मात्रक न्यूटन और आवेश का मात्रक कूलॉम है। अत: समी. (15.11) के अनुसार विद्युत क्षेत्र का मात्रक न्यूटन/कूलॉम है। E व F की दिशा समान हैं। यांत्रिक बल के विपरीत, विद्युत बल दूरी पर लगने वाला बल होता है।



चित्र 15.6: (a) एक समान रूप से आवेशित धात्वीय गोला और एक परीक्षण आवेश (b) गोले में आवेश का पुनर्वितरण जबकि दूसरा आवेश इसके समीप लाया जाता है।

अब हम इस बात पर विचार करते हैं कि q_0 का मान अत्यन्त सूक्ष्म क्यों होना चाहिए?

चित्र 15.6 के अनुसार $q_0 (<< q)$ एक स्रोत आवेश है जो कि एक धात्वीय तल की सतह पर समान रूप से फैला हुआ है और q_0 परीक्षण आवेश है। इसका आशय यह है कि A,B,C

एवं D चारों बिन्दुओं के चारों ओर प्रति इकाई क्षेत्रफल आवेश घनत्व समान है। परीक्षण आवेश q_0 बिना आवेश वितरण को बदले हुए ही बल का मापन करता है। चित्र 15.6 (b) उस स्थिति को दर्शाता है। जब $q \simeq q_0$ ऐसी स्थिति में उपर्युक्त बिंदुओं पर आवेश घनत्व परिवर्तित हो जाता है जिसके फलस्वरूप परीक्षण आवेश q_0 द्वारा अनुभूत विद्युत बल भी बदल जाएगा। माना कि यह F से F′ हो जाता है। इसका अर्थ हुआ कि परीक्षण आवेश की उपस्थिति में बल का मान इसकी अनुपस्थिति में बल के मान से भिन्न है। लेकिन q_0 के बिना बल का मापन नहीं किया जा सकता है। यदि q_0 का मान q की तुलना में अत्यधिक न्यून हो, तो गोले में आवेश वितरण बहुत ही कम (नगण्य) प्रभावित होगा। ऐसी स्थिति में मापन के परिणाम दिए गए बल के वास्तविक मान के अत्यन्त सन्निकट होंगे। इससे यह तथ्य सिद्ध होता है कि परीक्षण आवेश अत्यंत न्यून होना चाहिए।

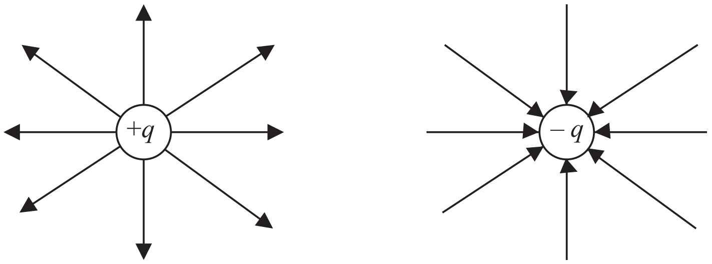
मान लीजिए हमारे पास एक आवेश q है। एक परीक्षण आवेश q_0 को q से r दूरी पर रखा गया है। परीक्षण आवेश द्वारा अनुभूत बल–

$$\mathbf{F} = k \frac{q q_0}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \qquad (15.12)$$

विद्युत क्षेत्र को प्रति इकाई आवेश बल के रूप में परिभाषित किया जाता है। अतः

$$\mathbf{E} = k \times \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \qquad (15.13)$$

यदि q धनात्मक हो, तो क्षेत्र **E** अपने से दूर की ओर निर्देशित होगा एवं यदि q ऋणात्मक हो, तो **E** इसकी ओर निर्देशित होगा। यह चित्र 15.7 में दर्शाया गया है।



चित्र 15.7: धनात्मक एवं ऋणात्मक आवेशों के कारण विद्युत क्षेत्र की दिशा

अध्यारोपण का सिद्धान्त विद्युत क्षेत्र पर भी लागू होता है। यदि बहुत से आवेश q_1, q_2, q_3 आदि हों तो इनके कारण बिंदु P पर क्षेत्र का मान समी. (15.13) के अनुसार

$$\mathbf{E}_1 = k \times \frac{q_1}{r_1^2} \hat{\mathbf{r}}_1, \quad \mathbf{E}_2 = k \times \frac{q_2}{r_2^2} \hat{\mathbf{r}}_2 \text{ and } \mathbf{E}_3 = k \times \frac{q_3}{r_3^2} \hat{\mathbf{r}}_3$$

अतः बिंदु P पर सभी आवेशों के कारण बल सभी क्षेत्रों का सदिश योग है। अतः

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + \ldots$$

या

$$\mathbf{E} = k \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i \hat{\mathbf{r}}_i}{r_i^2} \qquad (15.15)$$

टिप्पणियाँ

जहाँ पर r_i P की q_i से दूरी और $\hat{\mathbf{r}}_i$ q_i से P की ओर निर्देशित इकाई सदिश है। एक q आवेश को **E** कारण विद्युत क्षेत्र में रखने पर उस पर लगने वाला बल:

$$\mathbf{F} = q\,\mathbf{E} \qquad (15.16)$$

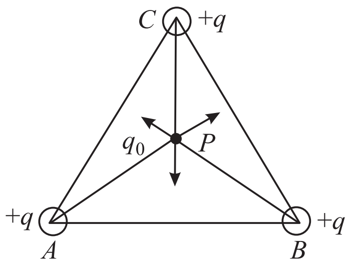
उदाहरण 15.3: किसी बिंदु पर रखे एक 3.5 μC परमाण के बिंदु आवेश q पर 8.5×10^{-4} N का बल लग रहा है। इस बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की गणना करें।

हल: समीकरण (15.16) की सहायता से हम लिख सकते हैं :

$$E = \frac{F}{q} = \frac{8.5\times10^{-4}\ \text{N}}{3.5\times10^{-6}\ \text{C}} = 2.43\times10^{2}\ \text{NC}^{-1}$$

उदाहरण 15.4: तीन समान धनावेश एक समत्रिबाहु (समबाहु) त्रिभुज के तीन कोनों पर रखे गए हैं, जैसा कि चित्र 15.8 में दर्शाया गया है। त्रिभुज के केन्द्रक पर विद्युत क्षेत्र क्या होगा?

हल: माना कि परीक्षण आवेश q_0 पर रखा गया है। परीक्षण आवेश तीनों को एक-दूसरे से समान कोण बनाती हुई दिशाओं में बल का अनुभव करेगा। इनका परिणामी बल P शून्य (0) होगा। अत: बिंदु O पर क्षेत्र शून्य (0) होगा।



चित्र 15.8: तीन समान मात्रा के आवेश एक समबाहु त्रिभुज के कोनों पर रखे गए हैं।

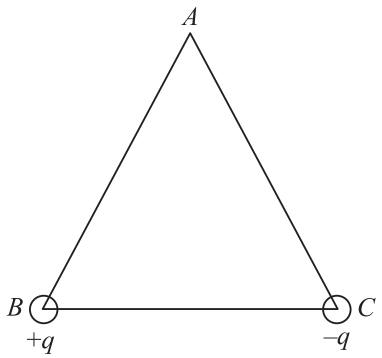
पाठगत प्रश्न 15.3

1. एक आवेश $+Q$ को अक्षों के निर्देशांक केन्द्र (मूल बिंदु) पर रखा गया है। एक बिंदु P पर क्षेत्र की दिशा कया होगी जब कि P

   a) $+x$-अक्ष b) $+y$-अक्ष

   c) $x = 4$ इकाई और $y = 4$ इकाई पर स्थित है।

2. ΔABC में $AB = AC = 40$ cm. और A पर बना कोण 30° है। 8×10^{-6} C कूलॉम मात्रा के दो विपरीत आवेश बिंदु B और C पर रखे गए हैं, जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है। A पर क्षेत्र का परिणाम और दिशा ज्ञात करें:



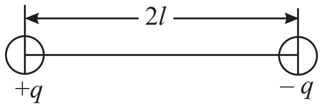
चित्र 15.9

3. एक ऋणावेश अंतरिक्ष में स्थित हैं, जहाँ पर विद्युत क्षेत्र पृथ्वी की ओर निर्देशित है। आवेश पर लगने वाले बल की दिशा क्या होगी?

4. दो समान आवेश एक समतल पर d दूरी से पृथक्कृत हैं। उस बिंदु को ज्ञात कीजिए जहाँ पर परिणामी क्षेत्र शून्य होगा।

15.3.1 एक द्विध्रुव के कारण विद्युत क्षेत्र

यदि दो समान मात्रा में विपरीत आवेश एक छोटी दूरी से पृथक्कृत हों तो यह तंत्र एक द्विध्रुव का निर्माण करता है। इसका सर्वाधिक सुपरिचित उदाहरण है H_2O अणु। चित्र 15.10 $2l$ दूरी से पृथक्कृत दो आवेशों $+q$ और $-q$ को दर्शाता है। आवेश की मात्रा एवं पृथक्कृत दूरी का गुणनफल द्विध्रुव-आघूर्ण p कहलाता हैं



चित्र 15.10: एक छोटी दूरी से पृथक्कृत दो समान मात्रा के विपरीत आवेश एक द्विध्रुव बनाते हैं।

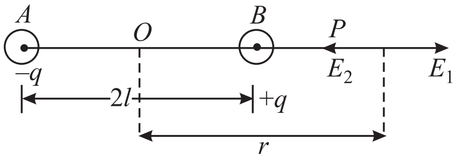
$$\therefore \qquad p = q \times 2l \qquad (15.17)$$

इसका SI मात्रक कूलॉम-मीटर है।

द्विध्रुव-आघूर्ण p एक सदिश राशि है। इसका परिमाण समीकरण (15.17) द्वारा परिभाषित है और इसकी दिश ऋणावेश से धनावेश की ओर तथा उनको जोड़ने वाली रेखा के अनुदिश है (द्विध्रुव का अक्ष)। द्विध्रुव और द्विध्रुव-आघूर्ण को परिभाषित करने के बाद अब हम एक द्विध्रुव के कारण विद्युत क्षेत्र का परिकलन करने की स्थिति में हैं,

स्थिति I : विद्युत द्विध्रुव के कारण इसकी अक्षीय स्थिति में विद्युत क्षेत्र

द्विध्रुव के अक्ष पर स्थित बिंदु पर विद्युत क्षेत्र के लिए व्यंजक प्राप्त करने के लिये चित्र 15.11 पर ध्यान दें। इसे अक्षीय स्थिति (End-on) स्थिति कहते हैं। A एवं B स्थितियों पर विद्यमान बिंदु आवेश $-q$ और $+q$ परस्पर $2l$ दूरी से पृथक्कृत हैं। बिंदु O उनके बीच में स्थित है (AB के मध्य में स्थित है)। मान लीजिए कि बिंदु P बिंदु O से r दूरी पर स्थित है, तब $+q$ के कारण बिंदु P पर क्षेत्र E_1 इस प्रकार होता है-



चित्र 15.11: द्विध्रुव अक्ष पर स्थित बिन्दु P पर क्षेत्र

$$\mathbf{E}_1 = k \times \frac{q}{(r-l)^2} \; AP \text{ की दिशा में}$$

इसी प्रकार $-q$ के कारण बिंदु P पर क्षेत्र इस प्रकार होता है-

$$\mathbf{E}_2 = k \times \frac{q}{(r+l)^2} \; PA \text{ की दिशा में}$$

बिंदु P पर परिणामी क्षेत्र $\mathbf{E}, \mathbf{E}_1$ की दिशा में है क्योंकि $\mathbf{E}_1 > \mathbf{E}_2$ [चूंकि $(r-l) < (r+l)$]। अत:

$$\mathbf{E} = \frac{kq}{(r-l)^2} - \frac{kq}{(r+l)^2} = kq\left[\frac{1}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2}\right]$$

$$= kq\left[\frac{(r+l)^2-(r-l)^2}{(r^2-l^2)^2}\right] = kq \times \frac{4lr}{(r^2-l^2)^2} = k\frac{(2lq)\,2r}{(r^2-l^2)^2}$$

$$= k\frac{2\mathbf{p}r}{(r^2-l^2)^2}$$

जहाँ पर $\mathbf{p} = 2lq$ द्विध्रुव आघूर्ण है चूंकि $k = 1/4\pi\varepsilon_0$, हम इसे इस प्रकार भी लिख सकते हैं :

$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{r}{r^4\,(1-l^2/r^2)^2}$$

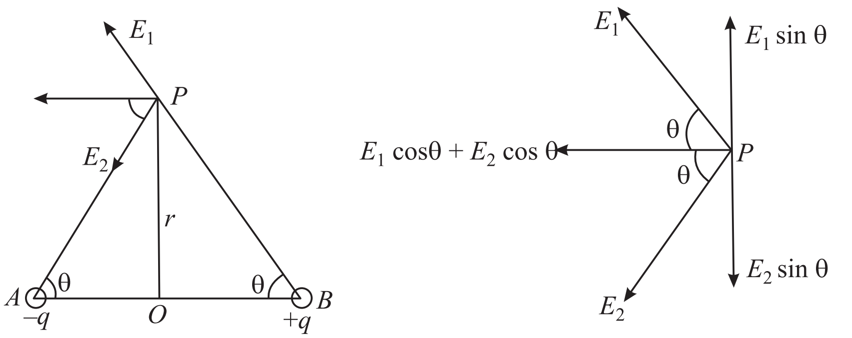
यदि $r >> l$ हो तो 1 की तुलना में l^2/r^2 अत्यंत छोटा होगा और इसे नगण्य माना जा सकता है। तब हमें विद्युत क्षेत्र के लिए एक सरलीकृत व्यंजक प्राप्त हो जाता है:

$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (15.18)$$

यह दर्शाता है कि अक्षीय स्थिति मे स्थित किसी प्रेक्षण बिंदु पर विद्युत क्षेत्र, p के अनुदिश तथा द्विध्रुव के केन्द्र से प्रेक्षण बिंदु तक की दूरी की तीसरी घात का प्रतिलोमानुपाती होता है।

स्थिति II : एक द्विध्रुव के मध्य विभाजक अभिलम्ब (निरक्षीय स्थिति) पर स्थित किसी बिंदु पर द्विधुव के कारण कारण विद्युत क्षेत्र:

मान लीजिए कि बिंदु P दो आवेशों को जोड़ने वाली रेखा के अभिलम्ब सम द्विभाजक पर स्थित है। ध्यान दें $AB = 2l,\ OP = r,\ AO = OB = l$.



चित्र 15.12: (a) दो आवेशों को जोड़ने वाली रेखा के अभिलम्ब सम द्विभाजक पर स्थित बिंदु P पर क्षेत्र (b) क्षेत्रों का घटकों में वियोजन

कोण θ चित्र 15.12(a) में दर्शाया गया है। समकोण त्रिभुजों Δs *PAO* और *PBO* से हम लिख सकते हैं –

$$AP = BP = \sqrt{l^2 + r^2}$$

बिंदु *P* पर B पर स्थित + *q* आवेश के कारण क्षेत्र *BP* की दिशा में है और इसे लिखा जाता है–

$$\mathbf{E}_1 = k\,\frac{q}{l^2 + r^2}$$

इसी प्रकार बिंदु *P* पर बिन्दु *A* पर स्थित आवेश –*q* के कारण क्षेत्र *PA* दिशा में है और इसे लिख सकते हैं–

$$\mathbf{E}_2 = k\,\frac{q}{l^2 + r^2}$$

ध्यान दें कि $\mathbf{E}_1$ और $\mathbf{E}_2$ दोनों के परिमाण समान हैं,

हम $\mathbf{E}_1$ व $\mathbf{E}_2$ क्षेत्रों को *AB* के समानान्तर और लम्बवत् वियोजित करते हैं। *AB* के समान्तर घटक $\mathbf{E}_1\cos\theta$ और $\mathbf{E}_2\cos\theta$ एक ही दिशा में हैं।

AB के अभिलंबवत् घटक $\mathbf{E}_1\sin\theta$ और $\mathbf{E}_2\sin\theta$ एक-दूसरे की विपरीत दिशा में हैं। चूंकि ये घटक परिमाण में एक-दूसरे के बराबर हैं, लेकिन विपरीत दिशा में हैं इसलिए ये एक-दूसरे को निरस्त करते हैं। अतः बिंदु P पर परिणामी विद्युत क्षेत्र का परिमाण–

$$E = E_1\cos\theta + E_2\cos\theta$$

$$= k\,\frac{q}{l^2 + r^2}\cos\Theta + k\,\frac{q}{l^2 + r^2}\cos\theta$$

लेकिन $\cos\theta = \dfrac{l}{\sqrt{(l^2 + r^2)}}$। इस व्यंजक को ऊपर के परिणाम में प्रयुक्त करने पर *P* बिंदु पर विद्युत क्षेत्र–

$$E = \frac{kq}{(l^2 + r^2)} \times \frac{2l}{\sqrt{(l^2 + r^2)}}$$

$$= k\,\frac{2lq}{(l^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$= k\,\frac{2lq}{r^3(1 + l^2/r^2)^{3/2}}$$

लेकिन $p = 2lq$ और यदि $r^2 >> l^2$ तो l^2/r^2 को 1 की तुलना में नगण्य मान सकते हैं। अतः

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (15.19)$$

ध्यान दीजिए कि द्विध्रुव के कारण, निरक्षीय स्थिति पर स्थित किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र भी लंबवत् दूरी के तीसरी घात का प्रतिलोमानुपाती होता है।

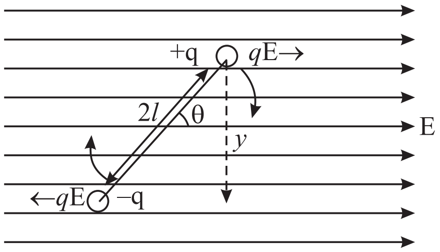
टिप्पणियाँ

यदि हम समीकरण (15.18) और समीकरण (15.19) की तुलना करें तो पाते हैं कि दोनों स्थितियों में विद्युत क्षेत्र $1/r^3$ के अनुक्रमानुपाती है। लेकिन इनके बीच कुछ अन्तर भी हैं।

- अक्षीय स्थिति में विद्युत क्षेत्र का परिमाण निरक्षीय स्थिति में इसके परिमाण की अपेक्षा दोगुना होता है।
- अक्षीय स्थिति में विद्युत क्षेत्र की दिशा द्विध्रुव आघूर्ण के अनुदिश होती है, जबकि निरक्षीय स्थिति में ये विपरीत दिशीय होते हैं।

15.3.2 एकसमान क्षेत्र में विद्युत द्विध्रुव

एकसमान विद्युत क्षेत्र का स्थिर परिमाण एवं नियत दिशा होती है। ऐसा क्षेत्र आवेशित समान्तर पट्टी संधारित्र के बीच में उत्पन्न होता है। चित्र रूप में इसे समान दूरी पर स्थित समान्तर रेखाओं द्वारा दर्शाया जाता है।



चित्र 15.13 : एक समान विद्युत-क्षेत्र में विद्युत द्विध्रुव। द्विध्रुव पर लगने वाले बल एक युग्म की रचना करते हैं और इसे घुमाने की ओर प्रवृत्त

अब हम एकसमान विद्युत क्षेत्र में रखे गए विद्युत द्विध्रुव के व्यवहार का विश्लेषण करते हैं (चित्र 15.13)। माना कि विद्युत क्षेत्र $+x$ के अनुदिश है। मान लें कि द्विध्रुव का अक्ष, क्षेत्र की दिशा से θ कोण बनाता है। $+q$ आवेश पर qE बल $+x$ दिशा में और $-q$ पर समान बल $-x$ दिशा में कार्य करता है। दो बराबर एवं विपरीत समान्तर बल एक युग्म बनाते हैं और द्विध्रुव को घड़ी की सूई के घूमने की दिशा में घुमाने का प्रयत्न करते हैं। यह युग्म द्विध्रुव को बाह्य विद्युत बल के अनुदिश लाने का प्रयास करता है। बल आघूर्ण का परिमाण निम्न सूत्र द्वारा व्यक्त किया जाता है :

$$\tau = \text{बल} \times \text{युग्म की भुजा}$$
$$= qE \times y$$
$$= qE \times 2l \sin\theta$$
$$= pE \sin\theta$$

सदिश रूप में

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E} \qquad (15.20)$$

हम देखते हैं कि

- जब $\theta = 0$, बल-आघूर्ण शून्य है, और
- $\theta = 90°$ के लिए द्विध्रुव पर बल-आघूर्ण अधिकतम है। यह pE के बराबर है। अतः हम यह निष्कर्ष निकालते हैं कि विद्युत क्षेत्र द्विध्रुव को अपने अनुदिश करने का प्रयास करता है।

उदाहरण 15.5 : 6.0×10^{-6} कूलॉम के दो आवेश $+q$ और $-q$ एक युग्म का निर्माण करते हैं। दोनों आवेशों का पृथक्करण 4×10^{-10} मीटर है। द्विध्रुव आघूर्ण का मान क्या है? यदि इस

द्विध्रुव को एक $E = 3.0 \times 10^2 \, N \, C^{-1}$ परिमाण के विद्युत क्षेत्र में 30^o का कोण बनाते हुए रखा जाए तो द्विध्रुव पर लगने वाले बल आघूर्ण का मान ज्ञात करें।

हल : द्विध्रुव आघूर्ण $p = qd$

$$= (6.0 \times 10^{-6} \, C) \times (4.0 \times 10^{-10} \, m)$$

$$= 24 \times 10^{-16} \, cm.$$

चूंकि $\tau = pE \sin \theta$, अतः हम लिख सकते हैं–

$$\tau = (24 \times 10^{-16} cm) \times 3.0 \times 10^2 \; NC^{-1}) \sin 30^o$$

$$= \frac{72}{2} \times 10^{-14} \; N \, m$$

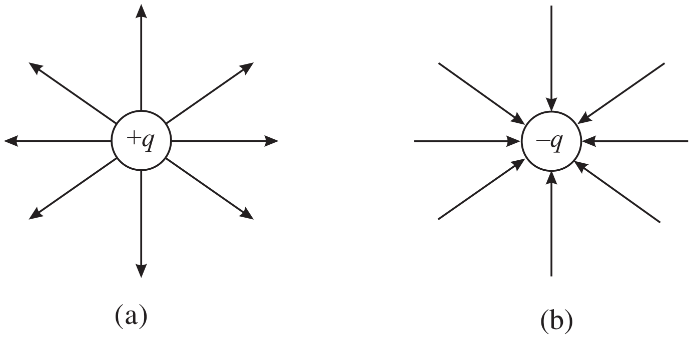
$$= 36 \times 10^{-14} \, N \, m$$

यदि एक द्विध्रुव को एक असमान विद्युत क्षेत्र में रखा जाए, तो दो आवेशों $-q$ और $+q$ पर लगने वाले बल असमान होंगे। ऐसा विद्युत क्षेत्र न केवल द्विध्रुव को घुमाएगा बल्कि क्षेत्र की दिशा में विस्थापित भी कर देगा।

15.3.3 विद्युत बल रेखाएँ (क्षेत्र रेखाएँ)

विद्युत क्षेत्र (या बल) को दर्शाने का एक बहुत सरल तरीका क्षेत्र की दिशा दर्शाने वाली बल रेखाएँ खींचना है। विद्युत क्षेत्र रेखाओं का रेखाचित्र हमें विद्युत क्षेत्र की दिशा एवं परिमाण का अनुमान कराता है। क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् रखे गए एक समतल के इकाई क्षेत्र से गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या क्षेत्र की शक्ति के समानुपाती होती है। क्षेत्र के किसी भी बिंदु पर एक स्पर्श रेखा उस बिंदु पर क्षेत्र की दिशा दर्शाती है।

याद रखें कि विद्युत क्षेत्र रेखाएं विद्युत क्षेत्र को दर्शाने के लिए काल्पनिक रेखाएँ मात्र हैं। वास्तविकता में ऐसी रेखाओं का कोई अस्तित्व नहीं है। लेकिन क्षेत्र में आवेशों का व्यवहार और आवेशों के बीच अन्योन्यक्रिया को क्षेत्र रेखाओं की सहायता से प्रभावशाली ढंग से समझा जा सकता है।

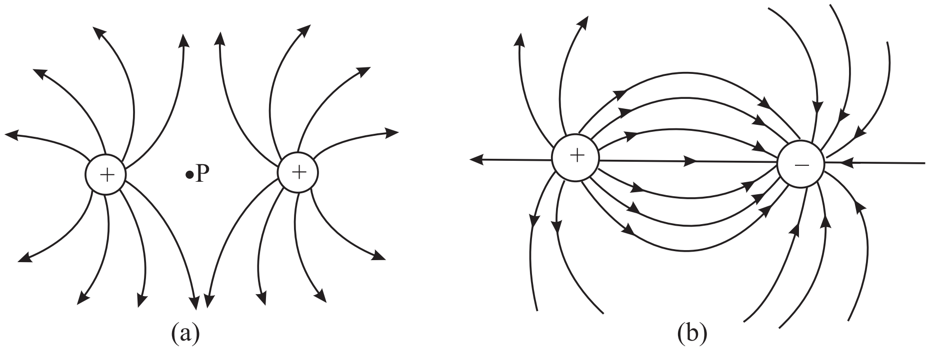


चित्र 15.14: एकल बिंदु आवेश की विद्युत क्षेत्र रेखाएं : (a)+q आवेश की विद्युत क्षेत्र रेखाएं q से प्रारंभ होकर अनन्त तक जाती हैं (b) ऋणात्मक बिंदु आवेश (–q) की क्षेत्र रेखाएं अनन्त से चलकर त्रिज्य दिशा में (–q) पर पहुंचती हैं।

चित्र 15.14(a) एक स्थिर धनावेश की विद्युत रेखाओं को दर्शा रहा है और चित्र 15.4 (b) एक स्थिर ऋणावेश की विद्युत रेखाओं को दर्शा रहा है। आपको यह समझ लेना चाहिए कि दोनों स्थितियों में विद्युत रेखाएँ अंतरिक्ष में सभी दिशाओं में हैं। यहाँ केवल कागज के तल पर स्थित कुछ रेखाओं को दर्शाया गया है।

चित्र 15.15(a) समान परिमाण के दो समीपवर्ती सजातीय आवेशों के क्षेत्र का रेखाचित्र है। आवेशों के अत्यंत निकट ये रेखाएं लगभग त्रिज्य हैं और इसके बाद एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करती हुई दूर बाहर की ओर हटती हैं। इनके बीच में एक बिंदु P (जो कि दो आवेशों की बीच की दूरी का मध्य बिंदु है) पर कोई रेखाएँ मौजूद नहीं हैं। इस बिंदु P पर दो-आवेशों के क्षेत्र एक-दूसरे को निरस्त करते हैं, अत: यहाँ परिणामी क्षेत्र शून्य है।

चित्र 15.15(b) एक द्विध्रुव की क्षेत्र रेखाओं को दर्शाता है। धनावेश को छोड़ने वाली रेखाओं व ऋणावेश में समाप्त होने वाली रेखाओं की संख्या बराबर है।



चित्र 15.15 : दो आवेशों के तंत्र की विद्युत क्षेत्र रेखाएँ : (a) विराम अवस्था में दो धनावेश। P बिंदु पर कोई भी बल रेखाएँ नहीं पहुंचती है, (b) द्विध्रुव के कारण उत्पन्न क्षेत्र रेखाएँ धनावेश से चलकर ऋणावेश में समाप्त हो जाती हैं।

आपको विद्युत क्षेत्र रेखाओं के निम्न गुणधर्मो को याद रखना चाहिए:

- एक द्विध्रुव में क्षेत्र रेखाएँ धनावेश से चलकर (प्रारंभ होकर) ऋणावेश में समाप्त हो जाती हैं।
- क्षेत्र रेखाओं के किसी बिंदु पर स्पर्श रेखा, उस बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दिशा दर्शाती है।
- क्षेत्र रेखाओं के लंबवत् तल के प्रति इकाई क्षेत्रफल से होकर गुजरने वाली रेखाओं की संख्या उस तल पर क्षेत्र की शक्ति के समानुपाती होती हैं।
- दो क्षेत्र रेखाएँ एक-दूसरे को कभी नहीं काटतीं।

15.4 विद्युत फ्लक्स और गाउस का नियम

r त्रिज्या के एक गोले के केन्द्र पर $+q$ आवेश की कल्पना करें। इसके तल के प्रत्येक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण-

$$E = k \times \frac{q}{r^2}$$

इस विद्युत क्षेत्र की दिशा तल के अभिलम्बवत् बाहर की ओर होती है। हम इसके तल पर Δs क्षेत्र का एक छोटा-सा अवयव लेते हैं। $\Delta \mathbf{s}$ एक सदिश है जिसका परिमाण Δs के क्षेत्रफल के बराबर है और इसकी दिशा $\Delta \mathbf{s}$ अवयव से लम्बवत् है। (चित्र 15.16) विद्युत फ्लक्स (अभिवाह) ϕ Δs और E के सदिश गुणन के रूप में परिभाषित किया जाता है :

$$\Delta\phi = \mathbf{E} \cdot \Delta\mathbf{s}$$

पूर्ण गोलीय तल पर फ्लक्स का मान ऐसे सभी पदों को जोड़कर प्राप्त होता है:

$$\phi_E = {}_{\Delta s_i \to 0} \ \mathbf{E_i} \cdot \Delta\mathbf{s_i} \qquad (15.21)$$

चूंकि $\mathbf{E}$ व $\Delta\mathbf{s}$ के बीच का कोण शून्य है। अत: पूरे गोले के तल से गुजरने वाला फ्लक्स-

$$\phi_E = k \times \frac{q}{r^2} \ \Sigma \Delta s$$

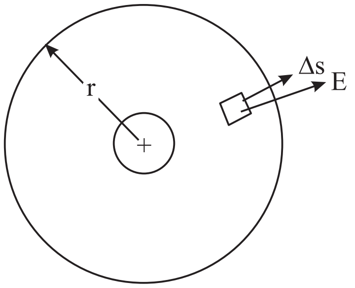


Fig. 15.16

गोलीय तल पर सभी क्षेत्र-अवयवों का योग $4\pi r^2$ होता है। अत: गोलीय तल से गुजरने वाला कुल फ्लक्स:

$$\phi_E = k \times \frac{q}{r^2} \times 4\pi r^2 = 4\,\pi\, k \times q$$

k के स्थान पर $1/4\pi\varepsilon_0$ रखने पर

$$\phi_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times 4\pi q = q/\varepsilon_0 \qquad (15.22)$$

गोले का वक्र पृष्ठ तल गाउसियन तल कहलाता है। समीकरण (15.22) को गाउस का नियम कहते हैं; जिसके अनुसार, एक बंद गाउस पृष्ठ से गुजरने वाला नेट फ्लक्स, तल के अन्दर के कुल आवेश को ε_0 से भाग देने पर प्राप्त हो जाता है।

गाउस का नियम विद्युत क्षेत्र के निर्धारण के लिए एक उपयोगी साधन है। आप यह भी ध्यान दें कि गाउस सतह एक काल्पनिक गणितीय सतह है। यह किसी वास्तविक सतह पर निश्चित रूप से संपाती नहीं भी हो सकती है।

कार्ल फ्रेडरिक गाउस
(1777 – 1855)

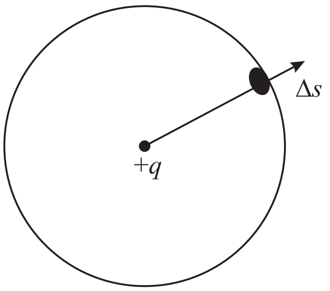
जर्मनी के प्रतिभाशाली विद्वान गाउस भौतिकी और गणित के क्षेत्र में सर्वाधिक प्रभावशाली गणितज्ञों में से एक थे। उन्होंने विभिन्न क्षेत्रों, जैसे प्रकाशिकी, विद्युत एवं चुम्बकत्त्व, खगोलिकी, संख्या प्रमेय, अवकलन ज्यामिति और गणितीय विश्लेषण के क्षेत्रों में महत्वपूर्ण योगदान दिया।

केवल तीन वर्ष की उम्र में ही इन्होंने अपने पिता के आय-व्यय के लेखा में एक गलती ठीक कर अपनी अद्‌भुत प्रतिभा का परिचय दिया। प्राथमिक कक्षा में उन्होंने अपने अध्यापक को 1 से 100 तक के अंकों का योग कुछ ही सेकंडों में करके आश्चर्यचकित कर दिया।

यद्यपि वह वैज्ञानिक समुदाय से दूर रहना पसंद करते थे और पढ़ाना पसंद नहीं करते थे, तथापि उनके बहुत-से शिष्य ऊँचे स्तर के गणितज्ञ बने। रिचार्ड डेकिन्ड, बरहार्ड रीमन, फ्रेडरिक बेसेल और सोफी जरमेन उनमें से कुछ हैं। जर्मनी ने तीन डाक टिकट और 10 मार्क का बैंक नोट उनके सम्मान में जारी किए। चन्द्रमा में एक गर्त को गाउस गर्त के नाम से जाना जाता है और क्षुद्र ग्रह 100 को उनके सम्मान में गाउसिया कहा जाता है।

15.4.1 बिंदु आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र

हम गाउस के नियम का प्रयोग करके एक बिंदु आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र की गणना करते हैं। आवेश q को केन्द्र मानकर r त्रिज्या का गोला खींचें, जैसा कि चित्र (15.17) में दर्शाया गया है।



चित्र 15.17: एक गोलाकार सतह पर इसके केन्द्र पर स्थित $+q$ आवेश के कारण विद्युत फ्लक्स

विद्युत क्षेत्र E त्रिज्य दिशा में (केन्द्र से बाहर की ओर) और सभी जगह तल के लम्बवत् है। **Δs** पर अभिलम्ब E के अनुदिश है। गाउस के नियम के अनुसार,

$$\phi_E = \sum_i \mathbf{E}_i . \Delta \mathbf{s}_i = q/\varepsilon_0$$

चूंकि $\cos\theta = 1$ और **E,** सतह के सभी बिंदुओं पर समान है, अत:

$$\phi_E = E \times 4\pi r^2$$

या

$$q/\varepsilon_0 = E \times 4\pi r^2$$

⇒

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (15.23)$$

टिप्पणियाँ

यदि एक दूसरा आवेश q_0 इसकी सतह पर रखा जाय तो, इस पर लगने वाले बल का परिमाण होगा–

$$F = q_0 \times E$$

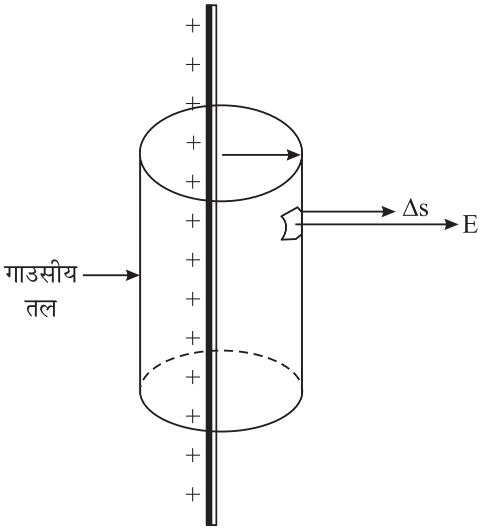
अत:

$$F = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (15.24)$$

क्या आप इस परिणाम को पहचान कर पा रहे हैं? यह दो स्थिर बिंदुओं के बीच लगने वाला कूलॉम बल है।

15.4.2 एक लंबे रेखीय आवेश के कारण उत्पन्न क्षेत्र

कोई रेखीय आवेश एक अनंत लंबाई के समान रेखीय घनत्व (प्रति इकाई लंबाई आवेश) σ_l वाले पतले तार के रूप में होता है। माना कि तार पर आवेश $+q$ है। हमें r दूरी पर स्थित एक बिंदु P पर विद्युत क्षेत्र के मान की गणना करनी है। तार को अक्ष मानते हुए r त्रिज्या का एक बेलन खींचें। यह दोनों सिरों पर बंद है। यह तल गाउस तल है, जैसा कि चित्र (15.18) में दर्शाया गया है। वक्र तल के समस्त बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र E का मान समान है क्योंकि सभी बिंदु आवेशित तार से समान दूरी पर हैं। विद्युत क्षेत्र की दिशा व क्षेत्र अवयव Δs पर अभिलम्ब समान्तर हैं।



चित्र 15.18: एक समान रेखीय आवेश घनत्व की अनंत रेख के कारण विद्युत क्षेत्र। गाउस तल एक वृत्तमुखी बेलन है।

मान लें कि गाउस बेलन की लम्बाई l है, बेलन में घिरा कुल आवेश $q = \sigma_l l$,

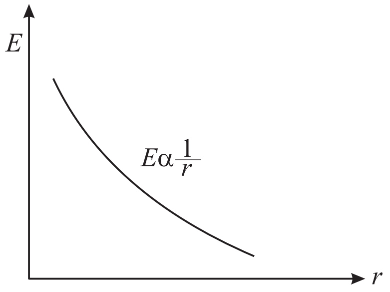
बेलन के वक्रीय पृष्ठ का क्षेत्रफल $2\pi rl$ है।

बेलन के ऊपर और नीचे की दो समतल सतहों पर अभिलंब विद्युत क्षेत्र के अभिलंबवत् है (cos 90° = 0)। इसलिए इन तलों का कुल फ्लक्स में कोई योगदान नहीं होता अत:

$$\phi_E = \Sigma \mathbf{E}.\Delta\mathbf{s} = E \times 2\pi rl$$

गाउस के नियम के अनुसार $\phi_E = q/\varepsilon_0$, अत:

$$E \times 2\pi rl = q/\varepsilon_0 = \sigma_l l/\varepsilon_0$$



चित्र 15.19 एक रेखीय आवेश के लिए E का r के साथ परिवर्तन

टिप्पणियाँ

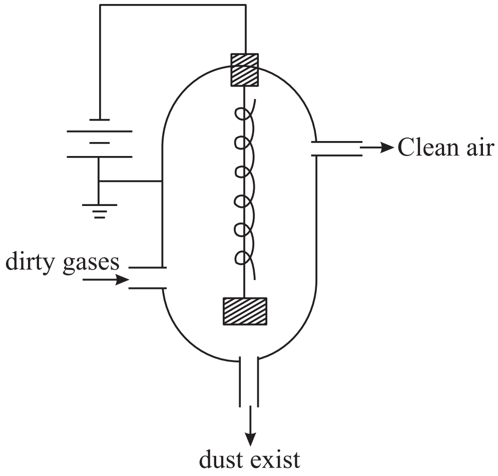
या $$E = \frac{\sigma_l}{2\pi\varepsilon_0 r} \qquad (15.25)$$

यह दर्शाता है कि विद्युत क्षेत्र दूरी के प्रतिलोमानुपाती होता है जैसा कि चित्र (15.19) में दिखाया गया है।

स्थिर वैद्युत अवक्षेपक

आपने ताप विद्युत शक्ति केन्द्र या ईंट भट्ठे की चिमनी से बाहर निकलते हुए काले धुएँ और धूल के कणों को देखा होगा। धुएं में न केवल गैसें होती हैं, वरन भारी मात्रा में छोटे-छोटे धूल (कोयले) के कण भी होते हैं। धुएं और धूल के कणों को चिमनियों से वायुमण्डल में छोड़ा जाता है।

धूल के कण ज़मीन पर पड़ते हैं और वायु को प्रदूषित करते हैं। ये जीवित प्राणियों के स्वास्थ्य के लिए अत्यंत घातक हैं। अतः वायुमंडल में छोड़े जाने से पहले गैस में से धूल हटा लेना अत्यंत आवश्यक होता है। उच्च विद्युत क्षेत्र द्वारा गैसों में विद्युत विसर्जन का एक महत्वपूर्ण अनुप्रयोग स्थिर वैद्युत अवक्षेपक का निर्माण है।



सैद्धान्तिक चित्र यहाँ दर्शाया गया है। एक धात्वीय धारक में एक केन्द्रीय तार को बहुत अधिक ऋणात्मक विभव (लगभग 100 kV) पर रखा जाता है। धारक की दीवार को एक उच्च वोल्टता की बैटरी से जोड़ा और भूसंपर्कित (earthed) किया जाता है। एक भार W केन्द्रीय भाग में तार को सीधा रखता है। गंदी गैसों को धारक के अन्दर से प्रवाहित कराया जाता है। तार के समीप उच्च क्षेत्र के कारण विद्युत विसर्जन होता है। गैस में धनात्मक आवेश, ऋणात्मक आवेश एवं इलेक्ट्रॉन उत्पन्न होते हैं। ऋणावेशित कण दीवार की ओर त्वरित होते हैं। वे धूल के कणों से संघट्ट करते हैं और उन्हें आवेशित करते हैं। बहुत से धूल के कण ऋणावेशित हो जाते हैं क्योंकि वे इलेक्ट्रॉनों और ऋणात्मक आयनों को पकड़ लेते हैं। वे धारक की दीवार की ओर आकर्षित होते हैं। धारक को समय-समय पर हिलाया जाता है जिससे धूल के कण दीवारों से गिरकर धारक के फर्श पर एकत्रित हो जाते हैं। इन्हें निकास नली द्वारा निकाल लिया जाता है।

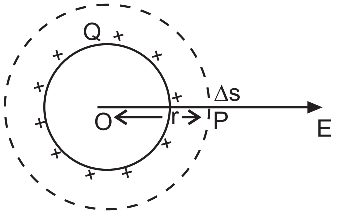
इस प्रकार अवांछित धूल के कणों को गैसों से अलग कर दिया जाता है और शुद्ध वायु वायुमण्डल में चली जाती है। इस प्रकार के सबसे अधिक क्षमता वाले तंत्र, धुएं से 98% राख और धूल को अलग कर पाने में सक्षम होते हैं।

15.4.3 किसी आवेशित एकसमान गोलीय कोश के कारण विद्युत क्षेत्र

अत्यल्प मोटाई के खोखले गोले को गोलीय कोश कहा जाता है। मान लीजिये कि R त्रिज्या के किसी गोलीय कोश के पृष्ठ पर Q आवेश एकसमान रूप से वितरित है। हम इस आवेश के कारण, इस कोश के बाहर तथा भीतर स्थित बिन्दुओं पर विद्युत क्षेत्र का परिकलन करेंगे।

(a) किसी बाहरी बिन्दु पर क्षेत्र

मान लीजिये कि किसी कोश के केन्द्र O से r दूरी पर कोश से बाहर स्थित एक बिन्दु P है। P से गुजरता हुआ एक गोलीय पृष्ठ बनाइये जो आवेश वितरण के समकेन्द्रिक है। (इस पृष्ठ को गाउसी-पृष्ठ कहा जाता है)। सममिति के अनुसार, विद्युत क्षेत्र त्रिज्य है और इसकी दिशा आरेख 15.20 में दर्शाये अनुसार बाहर की ओर है।



चित्र 15.20

विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ प्रत्येक बिन्दु पर पृष्ठ के अभिलम्बवत् है। गाउसी पृष्ठ के प्रत्येक बिन्दु पर इसका मान E है।

गाउस के नियमानुसार,

$$\Sigma E \Delta s \cos 0° = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

अथवा
$$\Delta E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

या
$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

इससे हम इस परिणाम पर पहुँचते हैं कि गोलीय कोश के बाहर स्थित किसी बिन्दु के लिये कोश पर कुल आवेश को उसके केन्द्र O पर अवस्थित माना जा सकता है।

यदि गोलीय कोश के स्थान पर एक ठोस, आवेशित गोला लिया जाता तब भी हमें यही परिणाम प्राप्त होता। इसका कारण यह है कि किसी चालक पर आवेश सदैव उसके बाहरी पृष्ठ पर रहता है।

(b) कोश के भीतर किसी बिन्दु पर क्षेत्र

कोश के केन्द्र से r दूरी पर एक बिन्दु P' की कल्पना कीजिये जो कोश के अन्दर स्थित है। इस बिन्दु P' से गुजरता हुआ एक संकेंद्र गोला बनाइये।

गाउस के नियमानुसार,

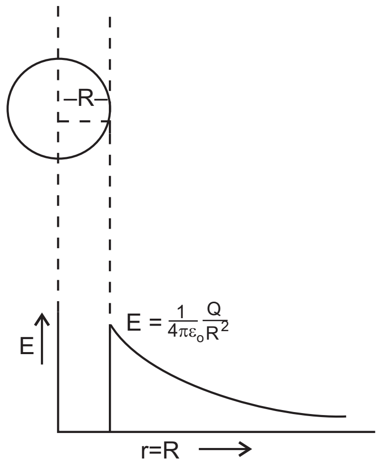
$$\Sigma E \Delta s \cos 0° = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

या $$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$\Rightarrow$ $$E = 0 \text{ क्योंकि } Q = 0 \text{ (शून्य)}$$

अर्थात्, किसी गोलीय कोश के भीतर किसी भी बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र का मान शून्य होता है। यही परिणाम किसी आवेशित ठोस, चालक गोले के लिये भी सत्य है।

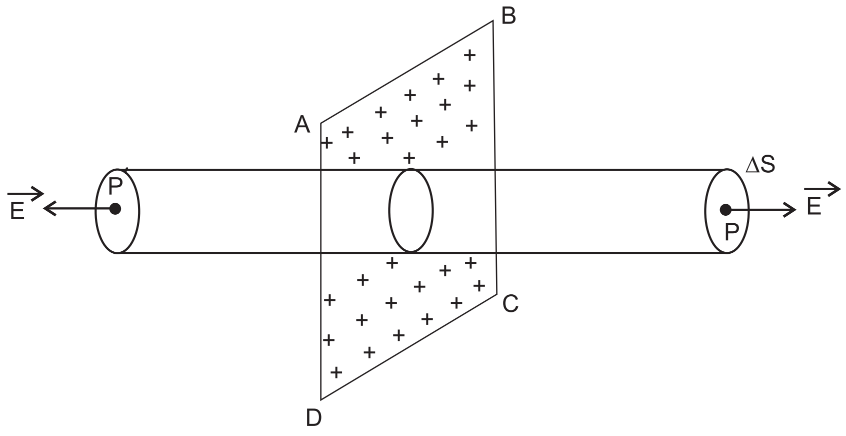
त्रिज्य दूरी r के साथ विद्युत क्षेत्र के परिवर्तन को आरेख 15.20 में दर्शाया गया है।



चित्र 15.21

15.4.4 समतल आवेशित शीट के कारण विद्युत क्षेत्र

एकसमान रूप से आवेशित किसी अनन्त क्षेत्र की समतल शीट $ABCD$ पर विचार कीजिये जिसका पृष्ठीय आवेश घनत्व σ है।



चित्र 15.22

यदि $\sigma > 0$ तो, सममिति के कारण विद्युत क्षेत्र शीट के लम्बवत् होगा और इसकी दिशा शीट के बाहर की ओर होगी। मान लीजिये कि हमें शीट के सामने स्थित किसी बिन्दु P पर विद्युत क्षेत्र का मान ज्ञात करना है। सिलिन्डर (बेलन) के आकार का गाउसी पृष्ठ बनाइये, जिसकी अक्ष क्षेत्र की दिशा के समान्तर है और जिसका एक वृत्ताकार शीर्ष (सिरा) P से गुजरता है। सिलिन्डर का दूसरा वृत्ताकार शीर्ष सममितीय विपरीत बिन्दु P' से गुजरता है। जो शीट के दूसरी ओर है और जिसकी दूरी बिंदु P की दूरी के बराबर है।

दोनों वृत्ताकार शीर्षों से गुजरनेवाला विद्युत फ्लक्स है,

$$\vec{E}\cdot\Delta\vec{s} + \vec{E}\cdot\Delta\vec{s} = E\Delta s + E\Delta s$$
$$= 2E\Delta s$$

गाउसी पृष्ठ के वक्रित पृष्ठ से गुजरने वाला विद्युत फ्लक्स है: $\vec{E}\cdot\Delta\vec{s} = E\Delta s\cos 90° = 0.$
अतः गाउसी सिलिण्डर से गुजरने वाला कुल फ्लक्स है:

$$\phi_E = \sum \vec{E}\cdot\Delta\vec{s}$$
$$= 2E\Delta s$$

क्योंकि गाउसी सिलिण्डर में परिबद्ध आवेश $\sigma\Delta s$ है, गाउस के नियम का उपयोग करके हम लिख सकते हैं:

$$2E\Delta s = \frac{1}{\varepsilon_0}\sigma\Delta s$$

अथवा $$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

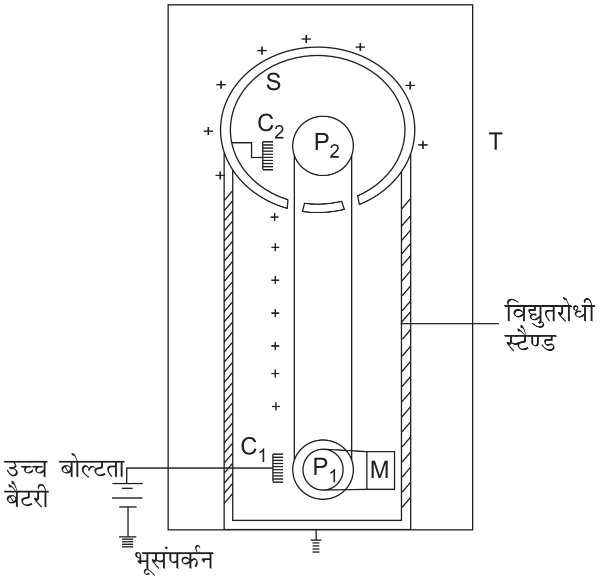
ध्यान दें कि विद्युत क्षेत्र शीट से दूरी पर निर्भर नहीं करता है।

टिप्पणियाँ

15.5 वान डे ग्राफ जनित्र

वान डे ग्राफ जनित्र एक स्थिर विद्युत युक्ति है जो दस लाख वोल्ट कोटि का विभवान्तर उत्पन्न करता है। इसका नाम इसके अभिकल्पक रॉबर्ट जे. वान डे ग्राफ के नाम पर रखा गया है।

इसमें एक विशाल खोखला धातु का गोला S होता है जो विद्युत रोधी स्टैण्ड पर लगा होता है। रबर या रेशम जैसे किसी विद्युतरोधी पदार्थ की बनी एक लम्बी संकरी पेटी (बेल्ट) दो घिर्रियों P_1 तथा P_2 पर घूमने के लिए चित्र 15.23 में दर्शाए अनुसार इन पर चढ़ी होती हैं। घिर्री P_2 गोले S के केन्द्र पर लगी होती है और P_1 तली के निकट लगी होती है। घिर्री P_1 को एक विद्युत मोटर M द्वारा घुमा कर पेटी को लगातार गति में रखा जाता है। कंघी के आकार के दो चालक, C_1 एवं C_2 जिसमें अनेक नुकीले बिन्दु होते हैं-वैसे ही जैसे धातु की सुईयों में होते हैं, ये घिर्रियों के निकट लगे होते हैं।



चित्र 15.23

सुइयों की नोकें पेटी की ओर होती हैं। कंघी के आकार के चालक C_1 को एक उच्चवोल्टता शक्ति स्रोत की सहायता से पृथ्वी की तुलना में अत्युच्च विभव ($\sim 10^4$ V) पर बनाए रखा जाता है। ऊपरी कंघी C_2 को धातु के गोले S की आंतरिक सतह से जोड़कर रखा जाता है।

कंघी की आकृति के चालक C_1 के नुकीले सिरों के निकट आवेश घनत्व और स्थिर विद्युत क्षेत्र अत्युच्च होते हैं। उनके नुकीले सिरों के निकट प्रबल स्थिर विद्युत क्षेत्र, वायु की विद्युतशीलता को भंग कर देता है और इस प्रक्रम में आयन (धन एवं ऋण दोनों प्रकार के) उत्पन्न कर देता है। यह परिघटना परिमंडल निरावेशन (कोरोना डिस्चार्ज) कहलाती है। वायु का ऋण आवेश सुइयों की ओर एवं धन आवेश पेटी की ओर गति करता है। ऋण आवेश कंघी C_1 के कुछ धन आवेश को उदासीन बना देता है। किन्तु C_1 को और अधिक आवेश प्रदान करके शक्ति प्रदाय इसके धन आवेश को बनाए रखता है, जैसे ही धन आवेश ग्रहण करके पेटी C_2 की

ओर जाती है। इसके आस-पास की वायु कोरोना डिस्चार्ज के कारण चालक हो जाती है। वायु के ऋण आवेश पेटी में निहित धन आवेशों को उदासीन बनाने के लिए पेटी की ओर आते हैं जबकि वायु के धन आवेश कंघी C_2 की सुइयों की ओर चलते हैं। इस तरह ये धन आवेश चालक गोले S की आन्तरिक पृष्ठ पर जाते हैं और वहाँ से तुरंत इसके बाह्य पृष्ठ पर आ जाते हैं।

यह प्रक्रम चलता रहता है, इससे गोले के ऊपर धन आवेश बढ़ता जाता है और इसका विभव अत्युच्च हो जाता है।

क्योंकि आस-पास की हवा सामान्य दाब पर है इसलिए गोले से आवेश का क्षरण होने लगता है। इस क्षरण को रोकने के लिए मशीन को एक भूसम्पर्कित धातु के चेम्बर T से घेर कर रखते हैं और इसके अन्दर उच्च दाब पर वायु भर देते हैं।

वान डे ग्राफ जनित्र का उपयोग करके 50 लाख वोल्ट (5 MV) तक का विभव प्राप्त किया जा चुका है। कुछ जनित्र तो 20 MV तक का उच्च विभव भी उत्पन्न कर लेते हैं।

वान डे ग्राफ जनित्र का उपयोग आयन पुंजों को त्वरित करके उनकी ऊर्जा बढ़ाने के लिए किया जाता है और इन उच्च ऊर्जा आवेशित कणों का उपयोग नाभिकीय अभिक्रियाओं के अध्ययन के लिए किया जाता है।

पाठगत प्रश्न 15.4

1. यदि किसी गाउस तल से गुजरने वाला विद्युत फ्लक्स शून्य है, तो क्या इसका अर्थ अवश्य ही यह हुआ कि–

   (a) सतह के अन्दर कुल आवेश शून्य है?

   (b) सतह के प्रत्येक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र शून्य है?

   (c) सतह पर पहुंचने और सतह से बाहर निकलने वाली विद्युत बल रेखाओं की संख्या समान है।

2. यदि विद्युत क्षेत्र 3.0×10^6 N C^{-1} से अधिक हो जाता है तो हवा में स्फुलिंग उत्पन्न होंगे (स्पार्किंग होगी)। एक गोला जिसकी त्रिज्या 5.0 cm हो बिना स्पार्किंग पैदा किए अधिकतम कितना आवेश धारण कर सकता है?

3. एक विद्युत द्विध्रुव पर लगने वाले नेट बल के परिमाण और दिशा एवं बल आघूर्ण की गणना करें जबकि यह

   (a) एकसमान विद्युत क्षेत्र के समांतर रखा है, और

   (b) असमान विद्युत क्षेत्र के समांतर रखा है।

आपने क्या सीखा

- काँच की छड़ को रेशम से रगड़ने और रबड़ को फर से रगड़ने पर विद्युत आवेश उत्पन्न होता है।
- परंपरानुसाार, काँच की छड़ पर आवेश **धनात्मक** और रबड़ पर आवेश **ऋणात्मक** लिया जाता है।
- आवेश संरक्षित और क्वांटीकृत (इलैक्ट्रॉन के आवेश के गुणकों के रूप में) रहता है।
- सजातीय आवेश एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं और विजातीय आवेश एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।
- कूलॉम का नियम दो बिंदु आवेशें के बीच कार्य करने वाले बल का परिमाण व दिशा बतलाता है :

$$\mathbf{F} = k\,\frac{q_1 \times q_2}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}}$$

जहाँ पर $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0 \times 10^9$ N m² C⁻².

- प्रकृति में आवेश का सबसे छोटा मात्रक इलेक्ट्रॉन का आवेश होता है।

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ (कूलॉम)}$$

- किसी आवेश q के कारण दिक्-स्थान में किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र E उस स्थान पर इकाई परीक्षण आवेश पर लगने वाले बल के बराबर होता है।

$$\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0 = k \times \frac{q}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}}$$

- अध्यारोपण का सिद्धान्त आवेशों के एक समूह के कारण एक अन्य आवेश पर लगे विद्युत बल की गणना करने में काम आ सकता है। यह बहुत-से आवेशों के कारण एक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र के लिए भी लागू होता है।
- विद्युत द्विध्रुव दो समान परिमाण वाले विपरीत आवेशों वाले तंत्र को कहते हैं, जो एक-दूसरे से एक छोटी दूरी से पृथककृत हों। इसका द्विध्रुव आघूर्ण $|\mathbf{p}| = qr$ होता है। **– q** व +q पर लगने वाले बलों की दिशा एक दूसरे के विपरीत होती है।
- एक द्विध्रुव द्वारा अक्षीय स्थिति में विद्युत क्षेत्र निम्न सूत्र से निरूपित किया जाता है;

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{2\mathbf{p}}{r^3}$$

और निरक्षीय स्थिति में; $\mathbf{E} = -\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\dfrac{\mathbf{p}}{r^3}$.

- विद्युत बल-रेखाएं क्षेत्र के निरूपण की रेखाचित्रीय पद्धति हैं ।
- विद्युत फ्लक्स किसी क्षेत्र से गुजरने वाली कुल विद्युत रेखाओं की संख्या है। इसे $\phi_E = \mathbf{E} . \mathbf{A}$ सूत्र से परिभाषित किया जाता है।
- गाउस के नियम के अनुसार एक तल से आबद्ध आवेश के कारण तल से गुजरता फ्लक्स, आवेश को $\frac{1}{\varepsilon_0}$ से गुणा करने पर प्राप्त होता है।
- एक रेखीय आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र के लिए व्यंजक $E = \frac{\sigma \ell}{2\pi\varepsilon_0 r}$ होता है।

टिप्पणियाँ

पाठांत प्रश्न

1. एक + 12 μ C आवेश दूसरा –18 μ C आवेश x अक्ष पर क्रमशः x = 20 cm और x = 29 cm की स्थिति पर है। – 18 μC के आवेश पर लगने वाले बल का परिमाण एवं दिशा ज्ञात करें। 12 μC के आवेश पर लगने वाले बल की दिशा क्या है?
2. 3 मीटर दूरी से पृथक्कृत दो बिंदु आवेशों q_1 और q_2 के बीच लगने वाला बल 16×10^{-15} N है। $q_1 = q_2 = q$ की स्थिति में बल का परिमाण ज्ञात करें। यदि पृथक्करण दूरी 6.0 मीटर कर दी जाए तो बल का परिमाण क्या होगा?
3. दो बिंदु आवेश एक-दूसरे से x दूरी से पृथक्कृत हैं। प्रत्येक आवेश का मान $+q$ है और उनके बीच लगने वाला बल F है। अब बिंदु आवेशों के स्थान पर दो समान $+q$ आवेश परिमाण के गोले रख दिए जाते हैं जिनके केन्द्रों की दूरी भी x ही है। क्या उनके बीच लगने वाले बल के मान में परिवर्तन होगा? अपने उत्तर की पुष्टि में कारण दें।
4. 16 cm दूर रखे दो बिंदु आवेशों के बीच निर्वात में लगने वाला प्रतिकर्षण बल 7.5×10^{-10} N है। उनके बीच परावैद्युतांक K = 2.5 का माध्यम रख देने पर लगने वाले बल का मान क्या होगा?
5. दो x दूरी से पृथक्कृत प्रोटॉनों के बीच लगने वाले विद्युत बल व गुरुत्वीय बल की तुलना करें। दिया है प्रोटॉन का आवेश = 1.60×10^{-19} C, प्रोटॉन का द्रव्यमान = 1.67×10^{-27} kg एवं गुरुत्वीय स्थिरांक G = 6.67×10^{-11} N $m^2 kg^{-2}$.
6. चार $+q$ आवेश एक वर्ग के चारों कोनों पर रखे गए हैं। वर्ग के केन्द्र पर रखे $+q_0$ मात्रा के परीक्षण आवेश पर परिणामी बल का परिमाण एवं दिशा क्या होंगे?
7. विद्युत क्षेत्र रेखाएँ परस्पर समांतर कब होती हैं?
8. एक धात्वीय गोले को $+ 6.4 \times 10^{-7}$ C आवेश प्रदान करने के लिये कितने इलेक्ट्रॉनों को हटाना पड़ेगा?
9. एक $q = 3.0 \times 10^{-6}$ C व $2l = 4 \times 10^{-10}$ m के द्विध्रुव पर विचार करें और इसका द्विध्रुव आघूर्ण का परिमाण ज्ञात करें। विषुवतरेखीय तल पर $r = 6 \times 10^{-6}$ m दूरी पर विद्युत क्षेत्र की गणना करें।

10. एक $-q = 15 \times 10^{-6}$ C आवेश एक R=3.0 mm त्रिज्या के धात्वीय गोले पर रखा जाता है। गोले के केन्द्र से r =15 cm की दूरी पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण और उसकी दिशा ज्ञात करें। यदि इस गोले को 9.0 mm त्रिज्या के समान आवेश वाले गोले से बदल दिया जाए तो उपर्युक्त बिंदु (r = 15 cm) पर क्षेत्र का परिमाण एवं दिशा क्या होगी?

11. एक +15 μC का आवेश 20 cm त्रिज्या के एक गोले के केन्द्र पर स्थित है। गोले की सतह से गुजरने वाले विद्युत फ्लक्स का मान ज्ञात कीजिए।

12. किसी प्रोटॉन को एकसमान विद्युत क्षेत्र $E = 8.0 \times 10^4$ N C^{-1} में रखा गया है। प्रोटॉन का त्वरण ज्ञात करें।

13. दो बिंदु आवेश q_1 और q_2 3.0 cm दूर हैं। यदि $(q_1 + q_2) = 20$ μC और उनके बीच लगने वाला प्रतिकर्षण बल 750 N हो, तो q_1 और q_2 के मान ज्ञात करें।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

15.1

1. (i) हाँ (ii) आवेश = 3.2×10^{-17} C.

2. A के पास + Q आवेश है। जब A और B संपर्क में लाए जायेंगे तो आवेश समान रूप से वितरित हो जाएगा।

   (i) हाँ (ii) + $Q/2$

3. $q = 4.8 \times 10^{-16}$

   चूंकि $Ne = q$:

$$N = \frac{4.8\times10^{-16}}{1.6\times10^{-19}} = 3.0 \times 10^{3} \text{ आवेश}$$

15.2

1. $Q_1 = 16$ μC, $Q_2 = 12$ μC और $r = 12$ m

   चूंकि

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$= \frac{(9\times10^{9}\ \text{N m}^2\ \text{C}^{-2})(16\times10^{-6}\ \text{C})\times(12\times10^{-6}\ \text{C})}{144\ \text{m}^2}$$

$$= 9\times 10^{-3}\ \text{N}$$

(i) दिशा q_2 से q_1 की ओर

(ii) दिशा q_1 से q_2 की ओर

2. बिंदु A पर बिंदु B के आवेश के कारण बल $F_1 = k\dfrac{q^2}{a^2}$ जहाँ $AB = a$

चूंकि $AD = AC$, इसलिए A पर बिन्दु B पर विद्यमान आवेश के कारण बल

$$F_2 = k\frac{q^2}{a^2}$$

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 = 2F^2$$

$R = F\sqrt{2}$ है और F से 45° का कोण बनता है

15.3

1. (a) E $+x$ अक्ष की दिशा में

(b) E $+y$ अक्ष की दिशा में

(c) x अक्ष से 45° के कोण पर

2. $AB = AC = 40$ cm

$$|\mathbf{E}_1| = \frac{kq}{r^2} = |\mathbf{E}_2| = \frac{9\times10^9\ \text{N m}^2\ \text{C}^{-2}\times(2\times10^{-6}\ \text{C})}{(0.40\ \text{m})^2} = 1.125\times10^5\ \text{N C}^{-1}$$

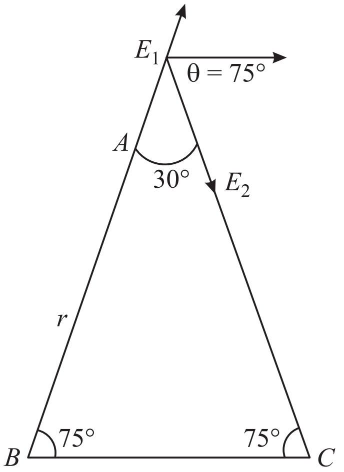
E_1 और E_2 का परिणामी BC के समान्तर होगा। अतः

$$R^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos 150$$

$$= 2E^2 + 2E^2\cos(180-30)$$

$$= 2E^2 - 2E^2\times\cos 30 = 2E^2\left(1+\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 4.723\times10^{10}\ \text{N}^2\text{C}^{-2}.$$

इसकी दिशा BC के समान्तर (B से C की ओर) होगी।



चित्र 15.24

3. **E** पृथ्वी की ओर निर्देशित है। ऋणात्मक आवेश पर ऊर्ध्वाधरतः ऊपर की ओर बल लगेगा।

4. दो आवेशें के बीच मध्य बिंदु पर क्षेत्र शून्य होगा।

15.4

1. (i) हाँ (ii) आवश्यक रूप से नहीं (iii) हाँ

2. $E = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

$\therefore \quad Q = 4\pi\varepsilon_0 r^2 E$

$$= (3 \times 10^6 \text{ N C}^{-1}) \times \frac{1}{(9\times10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2})} \times (25 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$= 8.3 \times 10^{-7} \text{ C}$$

3. (a) $\mathbf{F} = 0, \boldsymbol{\tau} = 0$

   (b) $\mathbf{F} \neq 0 \; \boldsymbol{\tau} = 0$

पाठान्त प्रश्नों के उत्तर

1. 240 N बल ऋणात्मक x- अक्ष की दिशा में; +12 μC आवेश पर बल धनात्मक x-दिशा में होगा।
2. $q = 4 \times 10^{-3}$ C 4. 3×10^{-10} N
5. वैद्युत बल गुरुत्वीय बल का लगभग 10^{36} गुना है।
6. शून्य 8. 4×10^{12} इलेक्ट्रॉन
9. 12×10^{-16} cm, 0.5×10^{15} या N C^{-1}
10. 6×10^6 N C^{-1} केन्द्र की ओर, समान क्षेत्र
11. 1.7×10^6 V m 12. 7.6×10^{12} m s^{-2}
13. 15 μC और 5 μC.

16

विद्युत विभव एवं संधारित्र

मॉड्यूल 2 और 3 में आपने तरल पदार्थों और ऊष्मा के प्रवाह के विषय में पढ़ा था। आपको याद होगा कि किसी धारक में पानी का तल उसके प्रवाह की दिशा को निर्धारित करता है। यदि एक धारक में पानी का तल दूसरे धारक में पानी के तल से ऊँचा हो तो पानी ऊँचे तल वाले बर्तन से नीचे तल वाले बर्तन की ओर प्रवाहित होता है भले ही धारकों में पानी की मात्रा कितनी ही क्यों न हो। एक वस्तु से दूसरी वस्तु की ओर ऊष्मा के प्रवाहित होने में ताप भी यही भूमिका निभाता है। ऊष्मा हमेशा अधिक ताप की वस्तु से कम ताप की वस्तु की ओर प्रवाहित होती है। यह प्रवाह वस्तु की कुल ऊष्मा की मात्रा पर निर्भर नहीं करता है।

विद्युत विभव भी एक बिन्दु से दूसरे बिंदु के बीच आवेशों के प्रवाह में समान भूमिका निभाता है। धनावेश सदैव उच्च विभव से निम्न विभव की ओर गति करता है। जब एक धनात्मक परीक्षण आवेश को एक विद्युत क्षेत्र में मुक्त रख दिया जाता है तो यह विद्युत क्षेत्र की दिशा की ओर गति करता है। परीक्षण आवेश के इस व्यवहार के कारण आप यह कहना चाहेंगें कि **विद्युत क्षेत्र E एवं विद्युत विभव V** का एक-दूसरे से निकट संबंध है। इस पाठ में आप E तथा V के बीच संबंध को स्थापित करना सीखेंगे। आप संधारित्र युक्ति के बारे में भी ज्ञान प्राप्त करेंगे और यह जानेंगे कि कैसे परावैद्युत पदार्थ इनके गुणों को परिवर्तित कर देते हैं।

उद्देश्य

इस पाठ का अध्ययन करने के पश्चात् आप

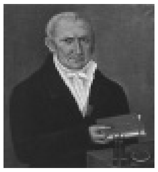
- किसी बिंदु पर विभव व दो बिन्दुओं के बीच विभवान्तर की व्याख्या कर पाएंगे,
- बिंदु-आवेश और द्विध्रुव के कारण विद्युत विभव के लिए व्यंजक प्राप्त कर पाएंगे,
- विद्युत क्षेत्र और विद्युत विभव-प्रवणता में संबंध स्थापित कर पाएंगे,
- संधरित्रों के सिद्धान्त की व्याख्या कर सकेंगे ओर उनके उपयोग बता पाएंगे,
- संधरित्रों के समूहन की तुल्य धारिता का मान ज्ञात कर पाएंगे और इसके लाभों को बता पाएंगे,

- किसी संधारित्रों में संग्रहित ऊर्जा का परिकलन कर पाएंगे,
- विद्युत क्षेत्र में रखने पर परावैद्युत पदार्थों में होने वाले ध्रुवण की व्याख्या कर पाएंगे,

16.1 विद्युत विभव और विभवान्तर

जब एक आवेशित कण को स्थिर विद्युत क्षेत्र की दिशा के विपरीत चलाया जाता है तो किसी बाह्य माध्यम द्वारा कार्य किया जाता है। यह किया गया कार्य ऊर्जा संरक्षण के सिद्धांतों के अनुसार स्थितिज ऊर्जा के रूप में संगृहीत हो जाता है। अतः हम यह कह सकते हैं कि विद्युत क्षेत्र के किसी भी बिंदु पर स्थित विद्युत आवेश की स्थितिज ऊर्जा उसकी स्थिति का फलन है, हम किसी क्षेत्र में आवेश की स्थितिज ऊर्जा को उसकी स्थिति का अदिश फलन मान सकते हैं और इसे **विभव** कहते हैं। इसका तात्पर्य यह है कि विद्युत क्षेत्र में विभिन्न बिंदुओं पर विभव का मान भिन्न-भिन्न होगा। यदि एक धनावेशित कण को एक विद्युत क्षेत्र में रखा जाए तो इसकी प्रवृत्ति उच्चतर विभव से निम्नतर विभव की ओर जाने की होती है ताकि इसकी स्थितिज ऊर्जा कम हो सके। अगले पाठ में आप पढ़ेंगे कि विभवान्तर की संकल्पना किस प्रकार विद्युत परिपथों में धारा प्रवाह को आसानी से समझने में सहायक सिद्ध हो सकती है।

विद्युत क्षेत्र के किसी बिंदु पर ***विद्युत विभव*** *एकांक धनात्मक आवेश को विद्युत क्षेत्र के बाहर से उस बिंदु तक लाने में किये गये कार्य के बराबर है।* विद्युत विभव एक अदिश राशि है ओर यह किये गये कार्य से संबंधित है।



एलिसेन्ड्रो कॉन्टे वोल्टा
(1745-1827)

कोमो, इटली में जन्मे वोल्टा, पाविआ (Pavia) में 20 वर्षों से अधिक प्रोफेसर रहे। उन्होंने बहुत भ्रमण किया था। वह अपने समय के बहुत से व्यक्तियों के परिचित थे। उन्होंने निर्णयात्मक रूप से यह सिद्ध किया कि ल्युइगी गैल्वानी द्वारा मेंढक की मांसपेशियों में अवलोकन की गयी प्राणी विद्युत (जैव विद्युत) किसी अम्लीय या लवणीय विलयनों द्वारा पृथक्कृत दो भिन्न धात्वीय पदार्थों के बीच घटित होने वाली सामान्य घटना है। इस प्रेक्षण के आधार पर उन्होंने प्रथम वैद्युत रासायनिक सेल का आविष्कार किया जिसे वोल्टिक सेल के नाम से जाना जाता हैं। विभवान्तर के मात्रक को उनके सम्मान में 'वोल्ट' नाम दिया गया है।

किसी बिंदु तक यदि विद्युत के क्षेत्र के विरुद्ध धनावेश द्वारा कार्य किया जाता है तो विभव धनात्मक और यदि वस्तु को अनंत से विद्युत क्षेत्र में किसी बिंदु तक स्थानांतरित करने में (इकाई धनावेश)पर विद्युत क्षेत्र द्वारा कार्य किया जाता है तो विभव ऋणात्मक होता है।

एक विद्युत क्षेत्र में चित्र (16.1) की भाँति दो बिंदुओं A और B पर विचार कीजिये। यदि एक परीक्षण आवेश q_0 को बिंदु A से बिंदु B तक एक बाह्य बल के द्वारा किसी भी मार्ग से ले जाया जाता है तो बाह्य बल द्वारा किया गया कार्य

$$W_{AB} = q_0 (V_B - V_A) \qquad (16.1)$$

अतः बिंदु A और B के बीच विभवान्तर

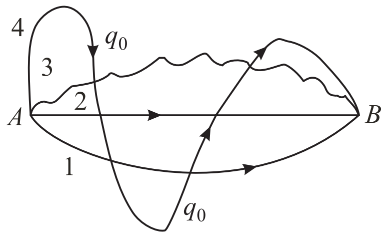
$$V_{AB} = V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \tag{16.2}$$

यहाँ पर V_A और V_B क्रमशः A व B बिंदुओं पर विभव हैं। यदि आवेश को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक ले जाने में कार्य किया जाता है तो उनके बीच विभवान्तर होता है। यह ध्यान रहे कि यह कार्य पथ पर निर्भर नहीं करता है। इसी कारण विद्युत क्षेत्र को संरक्षी क्षेत्र कहा जाता है।

विभव और विभवान्तर की SI इकाई **वोल्ट** है।

1 वोल्ट = 1 जूल/1 कूलॉम

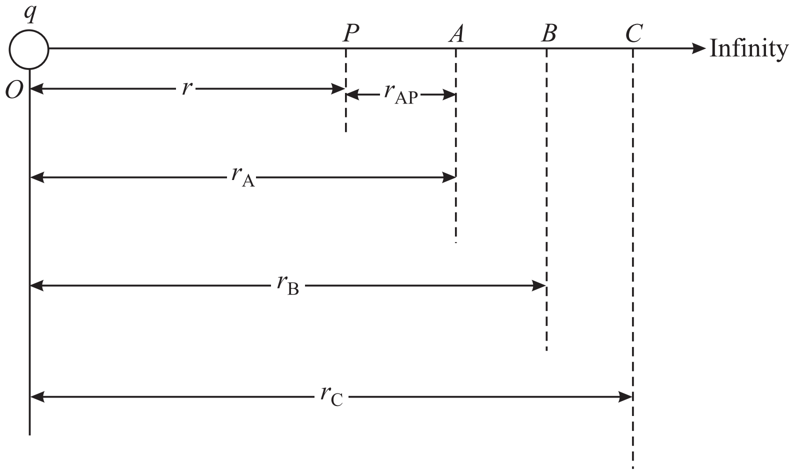
अर्थात् यदि एक कूलॉम के आवेश को विद्युत क्षेत्र में एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक ले जाने में 1 जूल कार्य किया जाय तो उन बिंदुओं के बीच विभवान्तर 1 वोल्ट होता है। यदि किसी 1 कूलॉम के आवेश को अनन्त से विद्युत क्षेत्र के किसी बिंदु पर लाने में 1 जूल का कार्य किया जाय तो उस बिंदु पर विभव 1 वोल्ट होता है।



चित्र 16.1: विद्युत क्षेत्र में एक परीक्षण आवेश को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक ले जाने में किया गया कार्य पथ पर निर्भर नहीं करता है।

यहाँ ध्यान दें कि किसी बिंदु पर विभव एकमात्र (अद्वितीय) राशि नही हैं क्योंकि इसका मान हमारे शून्य स्थितिज ऊर्जा (अनन्त) के चुनाव पर निर्भर करता है, लेकिन दो बिंदुओं के बीच विभवान्तर का एक अद्वितीय मान होता है।

16.1.1 एक बिंदु पर किसी बिंदु आवेश के कारण विभव



चित्र 16.2: एकांक आवेश को अनंत से विद्युत क्षेत्र E में किसी बिन्दु P तक लाने में किया गया कार्य उस बिंदु पर विभव का मान होता है।

हम बिंदु O पर स्थित $+q$ बिन्दु आवेश के कारण बिन्दु P पर विद्युत विभव का मान ज्ञात करना चाहते हैं (चित्र 16.2), जहाँ $OP = r$ । इस बिन्दु आवेश के कारण बिन्दु P पर विद्युत क्षेत्र,

$$E_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q}{r^2} \quad (16.3)$$

इसी प्रकार बिंदु A पर विद्युत क्षेत्र

$$E_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r_A^2} \quad (16.4)$$

यदि बिंदु A एवं B एक–दूसरे के बहुत पास हों तो इनके बीच का औसत क्षेत्र E_P और E_A का गुणात्मक माध्य लिया जा सकता है।

$$E_{AP} = \sqrt{E_A \times E_p}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r_A^2} \times \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r_A r} \quad (16.5)$$

अतः इस क्षेत्र में परीक्षण आवेश q_0 द्वारा अनुभव किए गए बल का परिमाण

$$F_{AP} = q_o E_{AP} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q q_0}{r_A r} \quad (16.6)$$

और आवेश q_0 को A से P तक ले जाने में किया गया कार्य

$$W_{AP} = F_{AP} \times r_{AP}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q q_o}{r_A r} \times (r_A - r)$$

$$= \frac{q q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_A}\right) \quad (16.7)$$

r_{AP} बिंदुओं A और P के बीच दूरी है।

इसी प्रकार इस आवेश को B से A में ले जाने में किया गया कार्य

$$W_{BA} = \frac{q q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right) \quad (16.8a)$$

टिप्पणियाँ

इसी प्रकार परीक्षण आवेश को O से B में ले जाने में किया गया कार्य

$$W_{CB} = \frac{q\,q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_C}\right) \qquad (16.8b)$$

अतः आवेश को अनंत से बिंदु p पर ले जाने तक में किया गया कार्य

$$W = \frac{q\,q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{1}{r} - \frac{1}{r_A} + \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} + \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_C} \ldots + \ldots - \frac{1}{\infty}$$

$$= \frac{q\,q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty}\right)$$

$$= \frac{q\,q_0}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad (16.9)$$

परिभाषा से एक बिंदु पर विभव का मान

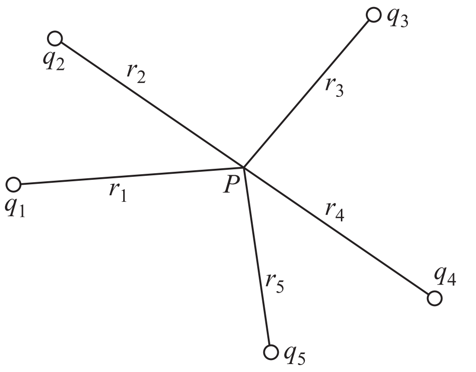
$$V_P = \frac{W}{q_0}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{q}{r} \qquad (16.10)$$

ध्यान दें कि किसी बिंदु पर विभव इसकी दूरी का व्युत्क्रमानुपाती होता है और इसका धनात्मक या ऋणात्मक मान इस बात पर निर्भर करता है कि q धनात्मक है या ऋणात्मक। यदि q_1, q_2, q_3 ..... आदि परिमाण के बहुत से आवेश हों तो किसी बिंदु पर विद्युत विभव प्रत्येक आवेश के कारण विभवों का अदिश योग है (चित्र 16.3)। अतः

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i} \qquad (16.11)$$



चित्र 16.3: बिंदु P पर आवेशों के निकाय के कारण विभव

16.1.2 एक विद्युत-द्विध्रुव के कारण किसी बिंदु पर विभव

हम $2l$ दूरी से पृथककृत $+q$ व $-q$ आवेशों के एक निकाय को लेते हैं जिसका केन्द्र O है। आवेश क्रमशः A व B बिंदुओं पर स्थित हैं। हम एक बिंदु P, जिसके ध्रुवीय निर्देशांक (r,θ)

हैं अर्थात् $OP = r$ तथा $\angle BOP = \theta$, है जैसा कि चित्र 16.4. में दर्शाया गया है पर विभव का परिकलन करना चाहते हैं। यहाँ पर $AP = r_1$ और $BP = r_2$। हम आसानी से A व B बिन्दुओं पर स्थित आवेशों के कारण बिंदु P पर विभव के मान की गणना कर सकते हैं:

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{(-q)}{r_1}$$

और

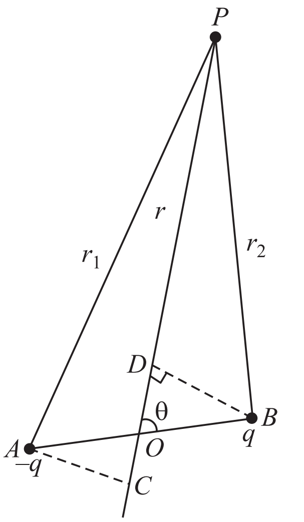
$$V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q}{r_2}$$

बिंदु P पर दोनों आवेशों के कारण विभव

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right] \qquad (16.12)$$

इस परिणाम को एक अधिक सुविधाजक रूप में प्रस्तुत करने के लिये हम O को P से जोड़ने वाली रेखा पर बिंदु A और बिंदु B से अभिलंब खींचते हैं। ΔBOD से हम पाते हैं कि $OD = l\cos\theta$ और ΔOAC से हमें प्राप्त होता है $OC = l\cos\theta$। एक छोटे से द्विध्रुव के लिये ($AB << OP$), चित्र 16.4की सहायता से हम लिख सकते हैं कि $PB = PD$ और $PA = PC$



चित्र 16.4: एक बिंदु *P* पर विद्युत द्विध्रुव के कारण विद्युत विभव

$$r_1 = r + l\cos\theta$$

$$r_2 = r - l\cos\theta$$

इन दोनों परिणामों को समीकरण (16.12) में प्रयोग करने पर, हमं निम्न समीकरण प्राप्त होता है:

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{(r - \ell\cos\theta)} - \frac{1}{(r + \ell\cos\theta)}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{(2\ell\cos\theta)}{(r^2 - \ell^2\cos^2\theta)}\right]$$

$$= \frac{q \times 2\ell\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

यहाँ, क्योंकि $l << r$

अतः $l^2\cos^2\theta$ को r की तुलना में नगण्य मान लिया गया है।

द्विध्रुव-आघूर्ण ($p = q \times 2\ell$), के पदों में हम इस परिणाम को लिख सकते हैं,

$$V = \frac{p\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (16.13)$$

यह समीकरण स्पष्ट करता है कि द्विध्रुव के लिए, दूरी के साथ विभव में परिवर्तन बिन्दु आवेश के लिए संगत व्यंजक से भिन्न होता है। यहाँ यह दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

आइये अब हम कुछ विशिष्ट प्रकरणों पर विचार करें:

विशेष प्रकरण

प्रकरण I : जब बिंदु P द्विध्रुव की अक्षीय स्थिति में धनावेश की ओर हो, तब $\theta = 0$ और $\cos\theta = 1$ तब समीकरण (16.13) का रूप निम्नवत हो जाता है

$$V_{\text{अक्षीय}} = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (16.14)$$

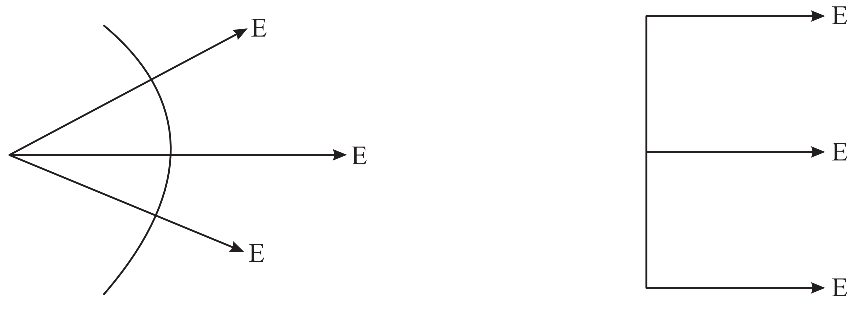
प्रकरण II : जब बिंदु P द्विध्रुव की अक्षीय स्थिति में ऋणावेश की ओर हो, तब $\theta = 180°$ और $\cos\theta = -1$। अत:

$$V_{\text{अक्षीय}} = -\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (16.15)$$

प्रकरण III : जब बिंदु निरक्षीय स्थिति में लम्ब समद्विभाजकपर स्थित हो, तब $\theta = 90°$ और $\cos\theta = 0$.

$$V_{\text{लंबार्धक}} = 0 \qquad (16.16)$$

अर्थात् द्विध्रुव के कारण उसकी लंबार्धक रेखा के प्रत्येक बिंदु पर विभव का मान शून्य होता है। जब द्विध्रुव को त्रिविमीय दिक्स्थान में कागज के अभिलम्बवत् रखा जाता है तो लंबार्धक रेखा कागज के तल पर स्थित होगी। इस तल के समस्त बिंदुओं पर विभव समान (अर्थात् शून्य) होगा, ऐसे तल को **समविभव पृष्ठ** (Equipotential surface) कहते हैं। समविभव पृष्ठ के प्रत्येक बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र अभिलम्बवत् होता है। समविभव पृष्ठ के एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक किसी आवेश को स्थानान्तरित करने में कोई कार्य नहीं करना होता है।

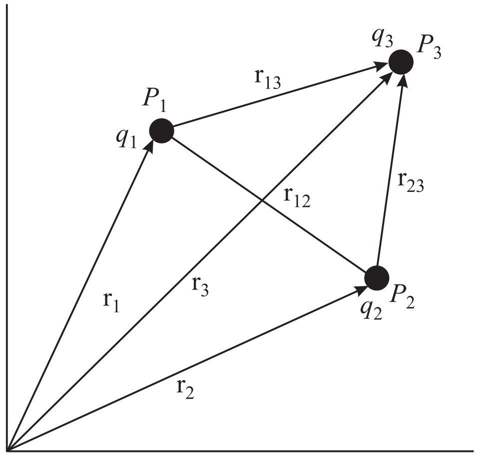


(a) गोलीय समविभव तल **(b) समतल समविभव तल**

चित्र 16.5 समविभव तल और विद्युत क्षेत्र रेखायें

16.1.3 बिंदु आवेशों के एक निकाय की स्थितिज ऊर्जा

विद्युत स्थितिज ऊर्जा किसी आवेश निकाय की विद्युत क्षेत्र में उसकी स्थिति के कारण ऊर्जा होती है। जब आवेश एक दूसरे से अनन्त दूरी पर होते हैं तो वे अन्योन्यक्रिया नहीं करते। ऐसी स्थिति में उनकी स्थितिज ऊर्जा शून्य होती है। आवेशों के निकाय का निर्माण करना चाहें तो आवेशों को एक दूसरे के निकट लाने के लिये कार्य किया जायेगा। यह किया गया कार्य आवेशों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित होता है। इसे आवेश निकाय की वैद्युत स्थितिज ऊर्जा कहते हैं। अतः बिंदु आवेशों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा, आवेशों को एक-एक कर अनन्त दूरी से लाकर निकाय निर्माण में किये गये कुल कार्य से परिभाषित की जाती है।



चित्र 16.6 पृथक्कृत बिंदु आवेशों के एक निकाय की स्थितिज ऊर्जा

माना लीजिए एक बिंदु आवेश q_1 एक बिंदु P_1 पर स्थित है जिसका दिक्स्थान में स्थिति सदिश $\mathbf{r}_1$ है। दूसरा बिंदु आवेश q_2 अनंत दूरी पर है। इसे P_2 बिंदु पर लाना है जिसका स्थिति सदिश $\mathbf{r}_2$ है जहां $P_1P_2 = \mathbf{r}_{12}$, जैसा कि चित्र 16.6 में दिखाया गया है। हम जानते हैं कि q_1 आवेश के कारण P_2 पर विभव

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{|\mathbf{r}_{12}|} \quad (16.17)$$

विभव की परिभाषा के अनुसार q_2 आवेश को अनंत दूरी से P_2 बिंदु तक लाने में किया गया कार्य है।

$$W = (P_2 \text{पर विभव}) \times \text{आवेश का मान}$$

यह कार्य आवेश q_1 तथा q_2 के निकाय में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित होता है। अतः

$$U = \frac{q_1 \times q_2}{4\pi\varepsilon_0 |r_{12}|} \quad (16.18)$$

यदि दो आवेश सजातीय हैं तो उनके बीच लगाने वाले प्रतिकर्षी बलों के विरुद्ध उन्हें समीप लाने में कार्य किया जाता है और इस प्रकार निकाय की स्थितिज ऊर्जा बढ़ती है। दूसरी ओर उन्हें पृथक करने के लिए विद्युत क्षेत्र द्वारा कार्य किया जाता है जिसके फलस्वरूप स्थितिज ऊर्जा का ह्रास होता है। यदि आवेश विजातीय हो तो उन्हें एक दूसरे के निकट लाने में निकाय की स्थितिज ऊर्जा का ह्रास होता है और उन्हें पृथक कर दूर ले जाने में निकाय की स्थिजि ऊर्जा में वृद्धि होती है।

समीकरण (16.17) को तीन बिंदु आवेशों के लिए निम्न प्रकार से लिखा जा सकता है

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}}\right) \quad (16.19)$$

इस भांति हम किसी भी बिंदु आवेश संख्या के निकाय की स्थितिज ऊर्जा की गणना कर सकते हैं।

समीकरणों (16.3) और(16.13) को संयोजित करने पर हमें एक समान विद्युत क्षेत्र में रखे द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा के लिए निम्न सूत्र प्राप्त होता है

$$U_\theta = -pE\cos\theta = -\mathbf{p}.\mathbf{E} \quad (16.20)$$

जहाँ **p** विद्युत क्षेत्र **E** में द्विध्रुव आघूर्ण है और θ , **p** तथा **E** के बीच का कोण है।

16.2 विद्युत क्षेत्र और विद्युत विभव में संबंध

एक समान विद्युत क्षेत्र में दो बिंदुओं A और B पर विचार कीजिए जिनके बीच की दूरी Δr है। परिभाषा के अनुसार दो बिंदुओं A और B के बीच विभवान्तर ΔV एकांक धनावेश को A से B तक ले जाने में किए गए कार्य के बराबर होता है।

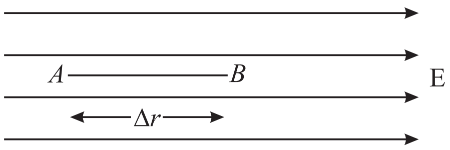
ΔV = (धनावेश पर लगने वाला बल) × (AB) $= \mathbf{E}.\Delta\mathbf{r} = E(\Delta r)\cos 180^o$

$= -\mathbf{E}\,\Delta\mathbf{r}$

या

$$\mathbf{E} = -\frac{\Delta V}{\Delta r} \quad (16.21)$$

ऋणात्मक चिह्न दर्शाता है कि विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध कार्य किया जाता है।



अत: किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र उस बिन्दु पर विभव की दूरी के साथ परिवर्तन की दर का ऋणात्मक मान होता है। विभव कम होने की दिशा को हम क्षेत्र की दिशा कहते हैं। याद रखिए कि विद्युत विभव एक अदिश राशि है लेकिन विभव प्रवणता एक सदिश राशि है क्योंकि यह आंकिक रूप से विद्युत क्षेत्र के बराबर है।

उपरोक्त संबंध की सहायता से एकसमान विद्युत क्षेत्र के लिए हम लिख सकते हैं :

$$E = \frac{V_A - V_B}{d} \quad (16.22)$$

यहां पर V_A और V_B क्रमशः A व B बिंदुओं पर, जिनके बीच पृथक्करण दूरी d है, विभव के मान हैं।

उदाहरण 16.1 : एक 10 वोल्ट की बैटरी है। एक 1.6×10^{-19} C के धनावेश को इसके ऋणात्मक सिरे से धनात्मक सिरे तक ले जाने में कितना कार्य किया जाएगा?

हल : समीकरण (16.2) के अनुसार,

$$V_{AB} = W_{AB} \text{ èk } q_O$$

चूंकि $V_{AB} = 10$ V और $q_0 = 1.6 \times 10^{-19}$ C, अत:

$$W_{AB} = (10\text{V}) \times (1.6 \times 10^{-19}\text{C})$$

$$= 1.6 \times 10^{-18}\,\text{J जूल}$$

उदाहरण 16.2 : एक बिंदु आवेश निर्देशांकों के मूल स्थान (0, 0) पर स्थित है। बिंदु x पर विद्युत विभव 400 V और विद्युत क्षेत्र का परिणाम 150 N C^{-1} है। x तथा q के मानों की गणना करें।

हल : विद्युत क्षेत्र

$$E = \frac{V}{x}$$

$$150 = \frac{400}{x}$$

और $$x = 2.67 \text{ m}$$

स्मरण करें कि विद्युत क्षेत्र निम्न व्यंजक द्वारा दिया जाता है

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{x^2}$$

हम इसमें $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$ N C^{-2} m^2, $E = 150$ N C^{-1} और $x = 2.67$ m प्रतिस्थापित करते हैं:

$$q = \frac{(150\text{N C}^{-1}) \times (2.67\text{m})^2}{9 \times 10^9\,\text{N C}^{-2}}$$

$$= 11.9 \times 10^{-8}\text{ C}$$

पाठगत प्रश्न 16.1

1. एक R त्रिज्या के धात्विक गोले की सतह पर $+q$ आवेश समान रूप से वितरित है। गोले के केन्द्र से $r\,(> R)$ दूरी पर विभव का मान क्या है?
2. जब एक बिंदु आवेश को q बिन्दु आवेश के चारों ओर r त्रिज्या के वृत्त में घुमाया जाता है। किए गए कार्य की गणना कीजिए।

3. एक क्षेत्र में विद्युत विभव का V का मान स्थिर है। उस क्षेत्र में विद्युत क्षेत्र के बारे में आप क्या कह सकते है?

4. यदि किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र शून्य हो तो क्या आवश्यक रूप से उस बिंदु पर विभव शून्य होगा?

5. क्या दो समविभव तल एक दूसरे को काट सकते हैं?

आवेशों के चालन के आधार पर पदार्थ मुख्य रूप से दो समूहों में रखे जा सकते हैं। चालक और विद्युत रोधी ठोस। पदार्थ में विद्युत चालन समान्यतया मुक्त इलेक्ट्रॉनों के कारण होता है और तरल पदार्थों में आयनों के कारण होता है। चालकों में मुक्त इलेक्ट्रॉन (आवेश वाहक) पाये जाते हैं जिनके कारण विद्युत क्षेत्र आरोपित किए जाने पर विद्युत धारा प्रवाहित होती है। धातु अच्छे चालक हैं। जिन पदार्थों में कोई मुक्त आवेश वाहक नहीं होते उन्हें विद्युत रोधी कहा जाता है। लकड़ी, आबनूस, काँच, क्वाट्र्ज, अभ्रक, आदि सामान्य विद्युत रोधी हैं। ऐसे पदार्थ जिनकी चालकता चालकों और विद्युत रोधियों के बीच की होती है **अर्धचालक** कहलाते हैं। अच्छे चालकों और अच्छे विद्युत रोधियों के बीच विद्युत चालकता का अनुपात 10^{20} की कोटि का होता है। आइए, अब यह जाने कि चालक विद्युत क्षेत्र में कैसा व्यवहार करते हैं।

16.2.1 स्थिर विद्युत क्षेत्र में चालकों का व्यवहार

चालकों में इलेक्ट्रॉन होते हैं जो अपने परमाणुओं के साथ मजबूती से जुड़े नहीं होते। ये चालक के अंदर घूमने के लिए स्वतंत्र होते हैं। लेकिन इलेक्ट्रॉनों (आवेशों) का विद्युत क्षेत्र की अनुपस्थिति में एक स्थान से दूसरे स्थान पर नेट स्थानान्तरण नहीं होता। चालक को स्थिर विद्युत साम्यावस्था में माना जाता है।

चित्र 16.7 (a) को देखें जिसमें बाह्य विद्युत क्षेत्र E में एक चालक को रखा हुआ दर्शाया गया है। मुक्त इलैक्ट्रॉन विद्युत क्षेत्र की विपरीत दिशा में त्वरित होते हैं। इसके कारण चालक के तल ABCD में इलेक्ट्रॉन जमा हो जाते हैं और तल EFGH इलेक्ट्रॉनों के निष्कासन के कारण धनावेशित हो जाता है। ये आवेश (ऋणावेश ABCD तल में और धनावेश EFGH तल में) अपना स्वंय का क्षेत्र बनाते हैं जो E की दिशा के विपरीत दिशा में होते हैं। इलेक्ट्रॉनों का EFGH तल से ABCD तल की ओर स्थानान्तरण तब तक होता रहता है जब तक कि E का मान E_1 के बराबर नहीं हो जाता है। यह स्थिर विद्युत साम्यावस्था है जो कि सामान्यतया 10^{-16} सेंकड में प्राप्त हो जाती है (स्थापित हो जाती है)। अतः हम कह सकते हैं कि साम्यावस्था लगभग तुरंत ही स्थापित हो जाती है। यदि कोई चालक खोखला हो तो उसके अंदर विद्युत क्षेत्र शून्य होता है। चित्र (16.7(b))

ये परिणाम एक आवेशित चालक या बाह्य विद्युत क्षेत्र के कारण एक उदासीन चालक पर प्रेरित आवेश की स्थिति में सत्य होते हैं।

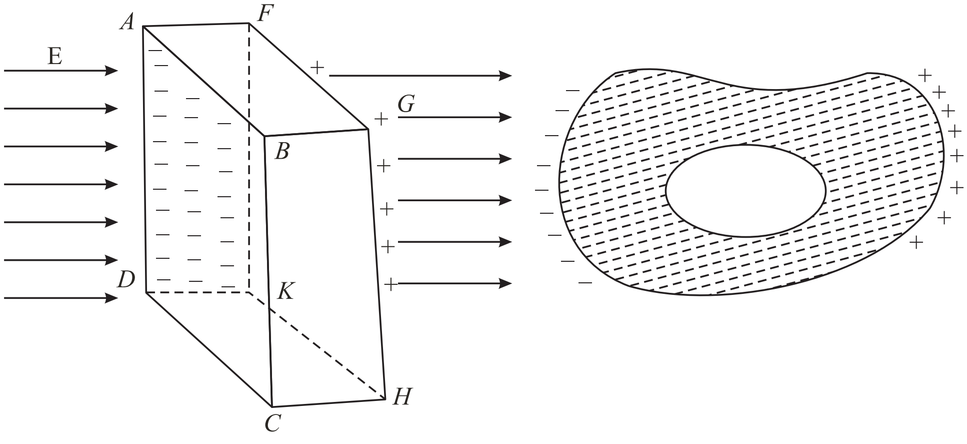
चालक के इस गुण को *स्थिर विद्युत रक्षण* में बाह्य विद्युत क्षेत्र से एक विशेष क्षेत्र की रक्षा के लिए उपयोग किया जाता है। संवेदनशील यंत्रों को बाह्य विद्युत के प्रभाव से बचाने के लिए इन्हें खोखले चालकों में बंद किया जाता है। इसीलिए तड़ित विद्युत से बचने के लिए

टिप्पणियाँ

कार या बस के अंदर रहना बाहर रहने की अपेक्षा अधिक सुरक्षित है। कार या बस का धात्विक कवच तड़ित विद्युत से स्थिर विद्युत सुरक्षा प्रदान करता है।

स्थिर विद्युत साम्य में चालकों के निम्न गुण होते हैं:

- चालक के अंदर कोई विद्युत क्षेत्र नहीं होता है।
- आवेशित चालक के बाहर विद्युत क्षेत्र चालक की सतह के लम्बवत होता है और यह चालक के आकार पर निर्भर नहीं करता है।
- चालक में केई भी आवेश इसकी सतह पर ही होता है।



चित्र.16.7 : स्थिर विद्युत रक्षणः (a) बाहृय विद्युत क्षेत्र E मुक्त इलेक्ट्रानों को तल ABCD पर खींच लेता है। तल EFGH जिसमें इलैक्ट्रॉनों की कमी हो जाती है, धनावेशित हो जाता है। लेकिन चालक के अंदर परिणामी विद्युत क्षेत्र शून्य होता है। (b) यदि एक अनियमित आकार का चालक अंदर से खोखला हो तो इसके अंदर क्षेत्र शून्य होता है।

16.3 धारिता

मान लीजिये हमारे पास दो चालक है जिनमें समान परिमाण लेकिन विपरीत प्रकृति के आवेश $+Q$ और $-Q$ हैं। उनके बीच विभवान्तर V है। ऐसे दो चालकों के निकाय को संधारित्र कहते हैं। प्रयोगों द्वारा पाया गया है कि विभवान्तर आवेश की मात्रा का समानुपाती होता है। आवेश बढ़ने के साथ विभवान्तर भी बढ़ता है लेकिन इनका अनुपात स्थिर रहता है। इस अनुपात को संधारित्र की **धारिता** कहते हैं।

$$C = Q / V \qquad (16.23)$$

धारिता को दो में से किसी एक चालक के आवेश व दो चालकों के बीच विभवान्तर के अनुपात के रूप में परिभाषित किया जाता है। यह एक संधारित्र की आवेश संग्रह करने की क्षमता का मापक है।

मात्रकों की SI प्रणाली में, धारिता को फैरड में मापा जाता है। धारिता 1 फैरड कहलाती है यदि 1 कूलॉम आवेश द्वारा 1 वोल्ट का विभवान्तर हो जाय।

$$1 \text{ फैरड} = \frac{1 \text{ कूलॉम}}{1 \text{ वोल्ट}} \quad (16.24)$$

पिछले अध्याय में आपने पढ़ा कि कूलॉम आवेश की एक बहुत बड़ी इकाई है। इसका तात्पर्य है कि फैरड धारिता की एक बहुत बड़ी इकाई है। सामान्यतया हम धारिता का मान माइक्रोफैरड या पिको फैरड में व्यक्त करते हैं

1 माइक्रोफैरेड $= 10^{-6}$ फैरेड, जिसे लिखा जाता है μF

1 पिकोफैरेड $= 10^{-12}$ फैरेड, जिसे लिखा जाता है pF

किसी विद्युत परिपथ में एक संधारित्र को बराबर लम्बाई की दो समान्तर रेखाओं द्वारा निरुपित किया जाता है।

16.3.1 एक गोलीय चालक की धारिता

r त्रिज्या के एक गोले को q आवेश दिया गया। माना कि गोले का विभव V है, तब

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

चूंकि $C = q/V$, अत:

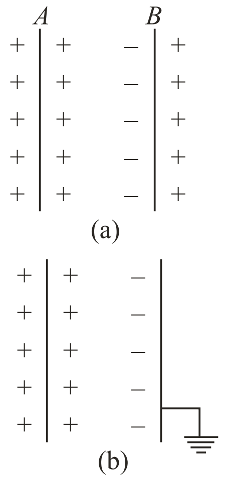
$$C = \frac{q}{q/4\pi\varepsilon_0 r} = 4\pi\varepsilon_0 r = \frac{r}{9\times10^9} \quad (16.25)$$

यह दर्शाता है कि गोलीय संधारित्र की धारिता इसकी त्रिज्या के समानुपाती होती है और इसका आंकिक मान त्रिज्या को 9×10^9 से विभाजित करने पर प्राप्त होता है, जहां पर त्रिज्या का मान मीटर में लिया जाता है। उदाहरणार्थ, एक 0.18 m त्रिज्या के गोले की धाारिता

$$C = \frac{0.18}{9} \times 10^{-9}\,\text{F} = 20\ \text{pF}$$

16.3.2 संधारित्रों के प्रकार

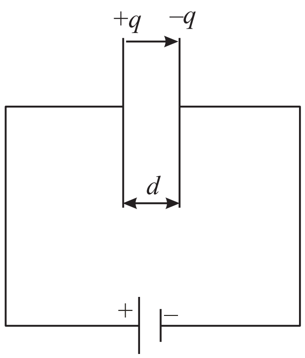
अपनी भौतिकी की प्रयोगशाला में आप अनेक प्रकार के संधारित्रों को देखेंगे। आपके शहर की विद्युत आपूर्ति प्रणाली भी संधारित्रों का प्रयोग करती है। ये रेडियो, टी.वी., प्रवर्धकों तथा दोलकों जैसी युक्तियों में भी महत्वपूर्ण घटकों की तरह कार्य करते हैं। एक संधारित्र दो चालकों से मिलकर बना होता है जिनमें से एक आवेशित होता है और दूसरा सामान्यतया भूसंपर्कित होता है। संधारित्र के सिद्धांत को समझने के लिए हम एक विद्युतरोधी पृथक्कृत धात्विक प्लेट A के बारे में विचार करते हैं। इसे कुछ धनावेश (q) प्रदान किया जाता है जिससे इसका अधिकतम विभव (V) हो जाता है (इसके बाद आवेश दिये जाने पर वह लीक हो जाता है)। प्लेट की धारिता q/V है।



चित्र.16.8 : संधारित्र का कार्य-सिद्धांत

अब आप एक दूसरी प्रथक्कृत धात्विक प्लेट B को A के समीप लाइये। प्रेरण द्वारा B के A के समीप वाले (A की ओर वाले) तल में ऋणावेश उत्पन्न होता है और B के A के दूर वाले तल में बराबर परिमाण का धनावेश आ जाता है। प्रेरित ऋणावेश A के विभव को कम करना चाहता है और प्रेरित धनावेश A के विभव को बढ़ाना चाहता है। जब B को भूंसपर्कित कर दिया जाता है तो (चित्र 16.8) B पर प्रेरित धनआवेश मुक्त होने के कारण पृथ्वी की ओर प्रवाहित हो जाता है (वास्तव में ऋणावेश पृथ्वी से प्लेट की ओर प्रवाहित होता है) प्लेट पर धनावेश गतिहीन रहते हैं लेकिन ऋणावेश बने रहेंगे क्योंकि ये A के धनावेश से बंधे हैं। इस प्रेरित ऋणावेश के कारण A का विभव कम हो जाता है लेकिन धारिता बढ़ जाती है।

अतः हम इस निष्कर्ष पर पहुंचते हैं कि *एक विद्युतरोधी चालक की धारिता को इसके निकट एक अनावेशित भूसंपर्कित चालक को लाकर बढ़ाया जा सकता* है। यह संधारित्र का सिद्धांत है। संधारित्रों का उपयोग विद्युत आवेश की बड़ी मात्रा को अर्थात विद्युत ऊर्जा को एक थोड़े समय अंतराल के लिए एक छोटे से स्थान पर संचित करने के लिए किया जाता है। एक समांतर प्लेट संधारित्र में धातु की दो समांतर प्लेटें होती हैं जिनमें से प्रत्येक का क्षेत्रफल A होता है और जो एक छोटी-सी दूरी d से परस्पर पृथकृत होते हैं। उनके बीच के स्थान में कोई कोई विद्युत रोधी माध्यम जैसे हवा, कागज, अभ्रक, काँच आदि होता है। प्लेटों को बैटरी के दो सिरों से जोड़ दिया जाता है जैसे कि चित्र 16.9 में दर्शाया गया है। जब संधारित्र पूर्ण रूप से आवेशित हो जाता है तो इन प्लेटों पर धनावेश ($+q$) और ऋणावेश ($-q$) आ जाता है। इन आवेशों के कारण इनके बीच में एकसमान विद्युत क्षेत्र E स्थापित हो जाता है। जब प्लेटों के बीच की दूरी प्लेटों के आकार की तंत्र में बहुत कम हो तो प्लेटों की सीमाओं में विद्युत क्षेत्र की विकृति को नगण्य मान लिया जा सकता है।



चित्र. 16.9: एक समांतर प्लेट संधारित्र

यदि किसी एक प्लेट का पृष्ठ आवेश घनत्व σ हो तो उनके बीच कार्य करने वाले बल का परिमाण होगा

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{q}{\varepsilon_0 A}$$

और प्लेटों के बीच का विभवान्तर होगा

$$V = Ed$$

अतः ऐसे समांतर प्लेट संधारित्र की धारिता जिसके दो प्लेटों के बीच की दूरी तथा जिनके बीच केवल वायु है;

$$C_0 = \frac{q}{V} = \frac{q}{qd/\varepsilon_0 A}$$

$$= \frac{\varepsilon_0 A}{d} \qquad (16.26)$$

यह दर्शाता है कि समान्तर प्लेट संघारित्र की धाारिता प्लेटों के क्षेत्रफल A के समानुपाती और उनके बीच की दूरी d के व्युक्रमानुपाती होती है। इसका अर्थ यह हुआ कि अधिक धारिता के लिए प्लेटों का क्षेत्रफल अधिक होना चाहिए और उनके बीच की दूरी d कम होनी चाहिए।

यदि प्लेटों के बीच के माध्यम को परावैद्युत द्रव्य से, जिसकी विद्युतशीलता ε हो भर दिया जाए तो उस स्थिति में समान्तर प्लेट संघारित्र की संधारिता होगी

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} = \frac{K\varepsilon_0 A}{d}$$

जहाँ ε माध्यम की विद्युतशीलता और K माध्यम का परावैद्युतांक है। अत:

$$C = KC_0 \qquad (16.27)$$

यदि संधारित्र को एक परावैद्युतांक K वाले परावैद्युत पदार्थ से भर दिया जाए तो संधारित्र की धारिता वायु का निर्वात में संधारिता की K गुना हो जाएगी।

16.3.3 आपेक्षिक विद्युतशीलता या परावैद्युताँक

कूलॉम के नियम के अनुसार निर्वात में r दूरी से पृथक्कृत दो आवेशों q_1 और q_2 के बीच लगने वाला बल

$$F_V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (16.28)$$

जहां पर ε_0 निर्वात की विद्युतशीलता है। यदि इसी दूरी पर स्थित इन्हीं आवेशों के बीच एक माध्यम हो तो उनके बीच अन्योन्यक्रिया बल होगा

$$F_m = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (16.29)$$

समीकरणों (16.28) और (16.29) का संयोजन करने पर हमे प्राप्त होता है

$$\frac{F_v}{F_m} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r \qquad (16.30)$$

जहां ε_r (या K) माध्यम की आपेक्षिक विद्युतशीलता है। इसे माध्यम का पैरावैद्युतांक भी कहते हैं। हम परावैद्युताँक को एक निश्चित दूरी से पृथक्कृत दो आवेशों के बीच निर्वात में लगने वाले स्थिर विद्युत बल और उनके बीच द्रव्य माध्यम रख दिए जाने की स्थिति में लगने वाले बल के अनुपात के रूप में भी परिभाषित कर सकते हैं।

परावैद्युतांक को निम्नवत् भी परिभाषित किया जा सकता है:

$$K = \frac{\text{प्लेटों के बीच परावैद्युत पदार्थ होने पर धारिता}}{\text{प्लेटों के बीच निर्वात होने पर धारिता}}$$

टिप्पणियाँ

$$= \frac{C_m}{C_0}$$

अतः

$$C_m = KC_0 \quad (16.31)$$

धातुओं के लिए $K = \infty$, और अभ्रक के लिए $K \approx 6$, और कागज के लिए $K = 3.6$.

16.4 संधारित्रों का संयोजन

संधारित्र विद्युत परिपथ के बहुत ही महत्वपूर्ण अवयव हैं। परिपथों में भिन्न-भिन्न धारिताओं के संधारित्रों की आवश्यकता पड़ती है। कभी-कभी एक इच्छित धारिता का संधारित्र उपलब्ध नहीं होता है। ऐसी स्थितियों में उपलब्ध संधारित्रों के संयोजन से हम वाँछित मान का संधारित्र बना सकते हैं। संधारित्रों के संयोजन की दो अति सामान्य विधियां हैं:

- श्रेणी संयोजन
- पार्श्व संयोजन

अब हम इनके बारे में ज्ञान प्राप्त करते हैं।

16.4.1 संधारित्रों का पार्श्व संयोजन

पार्श्व क्रम में प्रत्येक संधारित्र की एक (प्रथम) प्लेट को एक बिंदु A पर और सभी की दूसरी प्लेट को बिंदु B पर जोड़ा जाता है जैसा चित्र (16.10) में दर्शाया गया है।

मान लीजिए बिन्दुओं A और B के बीच विभवान्तर V लगाया गया है। ध्यान दीजिए इस प्रकार के संयोजन में सभी संधारित्रों की दो प्लेटों के बीच का विभवान्तर V है। अतः इनके आवेश भिन्न-भिन्न होंगे जो कि निम्न भांति होंगे:

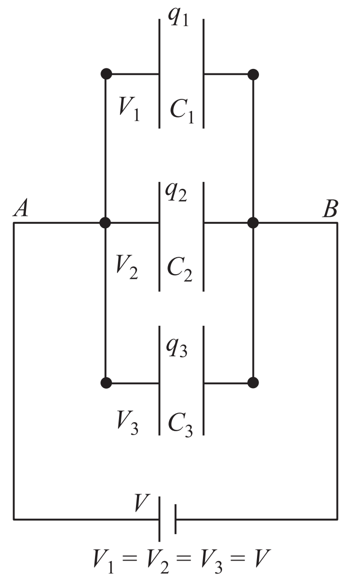
$$q_1 = C_1V$$
$$q_2 = C_2V$$
$$q_3 = C_3V \quad (16.32)$$

सभी संधारित्रों में कुल आवेश

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$
$$q = (C_1 + C_2 + C_3 + \ldots)V \quad (16.33)$$

अतः यदि C_p पार्श्व संयोजन तुल्य धारिता हो तो

$$q = C_pV$$



चित्र. 16.10 :पार्श्व क्रम में जुड़े संधारित्र

टिप्पणियाँ

इन संबंधों से हमें प्राप्त होता है

$$q = C_p V = (C_1 + C_2 + C_3)V$$

जिससे संबंध प्राप्त होता है

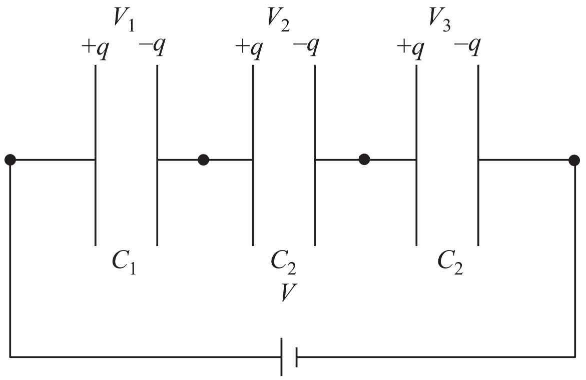
$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (16.34)$$

इस प्रकार हम देखते हैं कि बहुत से संधारित्रों के पार्श्व संयोजन की तुल्य धारिता उनकी पृथक-पृथक धारिताओं के योग के बराबर होती है।

याद रखिए कि पार्श्व संयोजन में, सभी संधाारित्रों का विभवान्तर समान होता है लेकिन आवेश उनकी धारिताओं के अनुपात मे वितरित हो जाता है। ऐसा संयोजन आवेश संग्रह करने के लिए प्रयुक्त होता हे।

16.4.2 संधारित्रों का श्रेणी संयोजन

संधारित्रों के श्रेणी संयोजन में पहले संधारित्र की पहली प्लेट को विद्युत स्रोत से जोड़ा जाता है। पहले संधारित्र की दूसरी प्लेट को दूसरे संधारित्र की पहली प्लेट से जोडा जाता है और इसी प्रकार यह सिलसिला आवश्यकतानुसार वाँछित मान के लिए जारी किया जा सकता है। अंतिम संधारित्र की दूसरी प्लेट को भूसंपर्कित कर दिया जाता है (चित्र 16.11) माना लीजिए स्रोत द्वारा संधारित्र C_1 की प्रथम प्लेट के भीतरी को $+q$ ईकाई आवेश प्रदान किया जाता है। विद्युत प्रेरण द्वारा इसकी दूसरी प्लेट पर $-q$ आवेश और प्लेट के बाहर की ओर $+q$ आवेश उत्पन्न होगा जो कि C_2 में प्रवाहित हो जाता है और यह क्रम चलता रहता है चित्र 16.00) इस प्रकार प्रत्येक संधारित्र में q मात्रा का आवेश आ जाता है। चूंकि इन सभी संधारित्रों की धारितायें भिन्न हैं, अतः इन दो प्लेटों के बीच विभवान्तर भिन्न-भिन्न होंगे। अतः



चित्र.16.11 : श्रेणी संयोजन में संधारित्र, प्रत्येक संधारित्र में आवेश की मात्रा समान है

$$V_1 = \frac{q}{C_1}, V_2 = \frac{q}{C_2}, V_3 = \frac{q}{C_3} \qquad (16.35)$$

यदि C_s इस श्रेणी संयोजन की कुल धारिता हो तो,

$$V = \frac{q}{C_s}$$

और

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \qquad (16.36)$$

अत:

$$\frac{q}{C_s} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

या

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (16.37)$$

श्रेणी क्रम में जुड़े n संधारित्रों के लिए हम लिख सकते हैं

$$\frac{1}{C_s} = \sum_{i=1}^{1} \frac{1}{C};$$

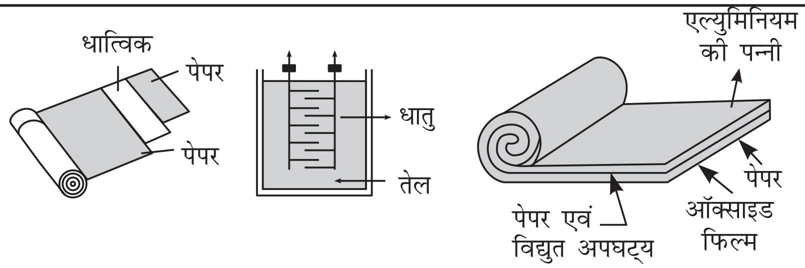
अत: **श्रेणी क्रम में अनेकों संधारित्रों की परिणामी धारिता का व्युत्क्रम सभी संधारित्रों की अपनी-अपनी धारिताओं के व्युत्क्रमों के योग के बराबर होता है।** समी. 16.37 से स्पष्ट हो जाता है कि Cs का मान C_1, C_2 व C_3 में से छोटी धारिता से भी कम है। ध्यान दीजिये कि **श्रेणी क्रम में सभी संधारित्रों में समान आवेश रहता है लेकिन उनकी प्लेटों के बीच विभवान्तर अलग-अलग होता है जो कि उनकी धारिताओं का व्युत्क्रमानुपाती होता है।**

विविध प्रकार के संधारित्र

सामान्यतया तीन प्रकार के संधारित्र व्यावसायिक उपयोग में लाये जाते हैं। इनका विन्यास चित्र 16.12 में दर्शाया गया है।

1. **पेपर संधारित्र:** पैराफीन द्वारा संसेचित बहुत बड़े और पतले पेपर (या मायलर) को उपयुक्त आकार (आयाताकार) में काटा जाता है। धातु की अनेक बारीक पन्नियां भी उसी आकार में काटी जाती हैं। फिर इन्हें एकान्तर क्रम में एक के ऊपर एक बिछाया जाता है। बाहरी शीट मायलर, फिर इसके ऊपर धात्विय पन्नी, फिर माइलर के क्रम में रखी जाती हैं। इस पूरे तंत्र को एक बेलन के रूप में मोड़ दिया जाता है और इस प्रकार एक छोटी युक्ति का निर्माण हो जाता है।

2. **धात्विक पट्टी संधारित्र:** बहुत सी धातुओं की पक्तियों को एकान्तर क्रम में दो धातु की छड़ों से चित्र 16.11b के अनुसार जोड़कर सिलिकॉन तेल में डुबो दिया जाता है जो कि प्लेटों के बीच परावैद्युत का काम करता है। उच्च वोल्टता वाले संधारित्र प्राय: इसी प्रकार के होते हैं। माइक्रो फैरड धारिता के परिवर्ती संधारित्र भी इसी प्रकार के होते हैं। उनमें परावैद्युत पदार्थ के रूप में हवा होती है। प्लेटों के एक समुच्चय को नियत रखा जाता है और दूसरे समुच्चय को चलनशील बनाया जाता है। चलनशील प्लेटों को घुमाने पर उनका प्रभावी क्षेत्रफल परिवर्तित होता है जिसके फलस्वरूप धारिता परिवर्तित हो जाती है। आप ऐसे संधारित्र रेडियो रिसीवर में देख सकते हैं। परिवर्ती धारिता विभिन्न रेडियो स्टेशनों की ट्यूनिंग में काम आती है।



चित्र.16.12 : विभिन्न प्रकार के संधारित्र : a) पेपर संधारित्र, b) परिवर्तनी संधारित्र c) विद्युत अपघट्य संधारित्र

3. **विद्युत अपघट्य संधारित्र:** विद्युत अपघट्य संधारित्र को चित्र 16.12 (c) में दर्शाया गया है। एक धात्वीय पन्नी को एक बेलन के आकार में इस प्रकार लपेटा जाता है कि इसकी दो परतों के बीच सदैव एक अंतर बना रहता है। इस तंत्र को एक विद्युत अपघट्य विलयन में डुबो दिया जाता है। यह विलयन आयनों के कारण चालक होता है। विद्युत अपघट्य और धात्विक पन्नी के बीच एक वोल्टेज लगाई जाती है। विद्युत अपघट्य के चालक गुण के कारण पन्नी पर विद्युतरोधी आक्साइड की पतली परत बन जाती है। यह आक्साइड परत एक परावैद्युत पदार्थ का काम करती है। चूंकि यह परावैद्युत परत अत्यंत पतली होती है, इस तंत्र से बड़े परिमाण (मात्रा) में धारिता प्राप्त की जा सकती है। इस प्रकार के संधारित्र में धनात्मक और ऋणात्मक सिरों को इंगित करना आवश्यक है, संधारित्र को गलत जोड़ दिए जाने पर ऑक्साइड की परत नष्ट हो जाती है और संधारित्र एक चालक की भांति कार्य करने लगता है। इस प्रकार का संधारित्र का उपयोग कम वोल्टेज पर बहुत अधिक आवेश संग्रहण के लिए किया जाता है।

उदाहरण 16.3 : किसी समान्तर प्लेट वायु संधारित्र की धारिता 22.0 μF है। प्लेटों के बीच की दूरी d है। प्लेटों के बीच में $d/2$ मोटाई की एक $K = 5$ परावैद्युतांक की पट्टी रखी जाती है। प्रभावी धारिता की गणना कीजिये।

हल: हवा में संधारित्र की धारिता

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = 22.0\ \mu\text{F}$$

नये तंत्र को दो संधारित्रों का श्रेणी संयोग माना जा सकता है:

$$C_1 = \frac{K\varepsilon_0 A}{d/2} = \frac{2K\varepsilon_0 A}{d} = 2\,KC_0$$

और

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 A}{d/2} = \frac{2\varepsilon_0 A}{d} = 2C_0$$

प्रभावी धारिता C

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

या
$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$= \frac{2KC_0 \times 2C_0}{2KC_0 + 2C_0}$$

$$= \frac{2KC_0}{K+1}$$

$$= \frac{10 \times 22 \times 10^{-6}\text{F}}{6}$$

$$= 36.7\ \mu\text{F}$$

पाठगत प्रश्न 16.2

1. धारिता की विमायें लिखिये।
2. एकसमान विद्युत क्षेत्र E में d दूरी से पृथक्कृत दो बिंदुओं के बीच विभवान्तर क्या होगा?
3. एक वायु संधारित्र से संबंधित राशियां C_0, E_0 व V_0 हैं। ये C, E और V से कैसे संबंधित हैं उस स्थिति में जबकि उपरोक्त संधारित्र में K परावैद्युतांक का पदार्थ भर दिया जाता है?
4. वायु से भरे संधारित्र का क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये जबकि प्लेटों के बीच दूरी 50 cm है और उसकी धारिता का मान 1.0 μF है।

16.4.3 एक संधारित्र में संचित ऊर्जा

एक संधारित्र के चार्जिंग (आवेशन) की कल्पना ऐसे की जा सकती है कि मानो किसी बाह्य कारक, जैसे बैटरी द्वारा संधारित्र की धनावेशित प्लेट की ओर से इलेक्ट्रॉनों को निकाल कर उन्हें ऋणावेशित प्लेट को स्थानान्तरित किया जा रहा हो। इस आवेश के स्थानान्तरण में कुछ कार्य किया जाता है जो कि संधारित्र में स्थिर विद्युत स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। यह ऊर्जा बैटरी (संचित रासायनित ऊर्जा) से प्राप्त होती है। जब इस संधारित्र को एक प्रतिरोधक के जरिए निरोविशत किया जाता है तो ऊर्जा ऊष्मा के रूप में निकलती है।

मान लीजिये एक अनावेशित संधारित्र को एक बैटरी से जोड़ देने पर वह अधिकतम q आवेश संचित करता है। चार्जिंग धीरे-धीरे होती है। संधारित्र की प्लेटों के बीच प्रारंभिक विभवान्तर शून्य और अंतिम विभवान्तर V है। पूरी प्रक्रिया के अंतराल में औसत विभवान्तर

$$\frac{0+V}{2} = \frac{V}{2}$$

$$= \frac{q}{2C}$$

चार्जिंग (आवेशन) में किया गया कार्य,

$$W = \text{आवेश} \times \text{विभवान्तर}$$

$$= q\,\frac{q}{2C} = \frac{1}{2}\,\frac{q^2}{C}$$

अतः स्थितिज ऊर्जा

$$U = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}\,\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 \qquad (16.38)$$

यह ऊर्जा प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र में संचित हो जाती है। संचित ऊजा धारिता की समानुपाती होती है। यह विभवान्तर बढ़ने के साथ बढ़ती है। लेकिन प्रत्येक संधारित्र एक निश्चित सीमा तक ही ऊर्जा संग्रह कर सकता है विभवान्तर का मान एक सीमा से अधिक हो जाने पर स्वतः विसर्जन प्रारम्भ हो जाता है। आवेशित संधारित्र की प्लेटों को छूना खतरनाक है। संधारित्र आपके शरीर के जरिये विसर्जित हो सकता है जिससे एक विद्युत झटका लगता है। ऐसा झटका यदि पूर्णावेशित उच्च धारिता मान के संधारित्रों से लगे तो वह प्राणघातक हो सकता है।

16.5 परावैद्युत पदार्थ और परावैद्युत ध्रुवण

हम जानते हैं कि परावैद्युत पदार्थ अचालक होते है जो विद्युत प्रभाव को बिना चालन के पारगमित कर देते हैं। परावैद्युत दो प्रकार के होते हैं: अध्रुवीय और ध्रुवीय। आइये अब हम इनके बारे में जानने का प्रयास करें।

(a) अध्रुवीय परावैद्युत पदार्थ

इस प्रकार के परावैद्युत पदार्थों में अणुओं के धनात्मक आवेश का केन्द्र ऋणात्मक आवेश के केन्द्र का संपाती होता है। सामान्य अवस्था में प्रत्येक अणु का द्विध्रुव आघूर्ण शून्य होता है। ये अणु अधिकतर सममित होते हैं, जैसे नाइट्रोजन, आक्सीजन, बैन्जीन, मीथेन आदि।

(b) ध्रुवीय परावैद्युत पदार्थ

ध्रुवीय परावैद्युत पदार्थों के अणुओं की आकृति असमित होती है, एक जैसे जल, अमोनिया, हाइड्रोक्लोरिक अम्ल आदि। इन अणुओं में धनात्मक एवं ऋणात्मक आवेशों के केन्द्र एक दूसरे से किसी निश्चित दूरी पर होते हैं और इनका एक निश्चित द्विध्रुव आघूर्ण होता है।

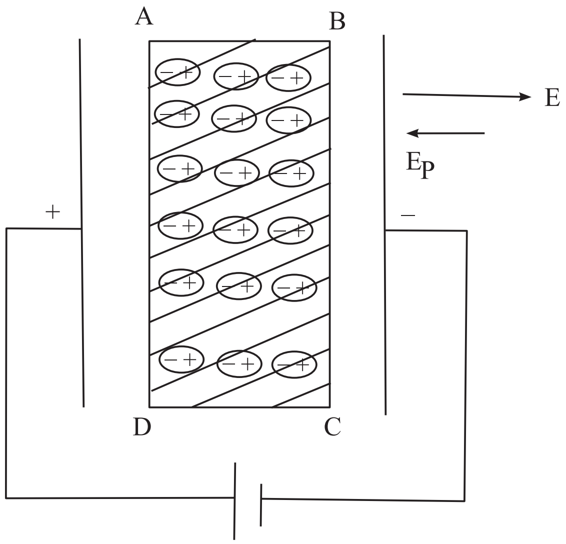
जब बाह्य विद्युत क्षेत्र **E** में अध्रुवीय परावैद्युत पदार्थ रखे जाते हैं तो प्रत्येक धनात्मक आवेश के अणु का केन्द्र **E** की विपरीत दिशा में विस्थापित होता है। बाह्य विद्युत क्षेत्र के कारण अध्रुवीय परावैद्युत अणु में धनात्मक और ऋणात्मक आवेशों के केन्द्रों के बीच कुछ दूरी हो जाती है तब परावैद्युत ध्रुवित कहलाता है और प्रत्येक अणु में एक छोटा सा द्विध्रुव आघूर्ण प्रेरित हो जाता है। यथार्थ में बाह्य विद्युत क्षेत्र के कारण बल जो आवेश केन्द्रों को दूर करता है केन्द्रों के आकर्षण बल से संतुलित हो जाता है (साम्यावस्था स्थापित हो जाती है) और अणु ध्रुवित हो जाता है। अणु द्वारा प्राप्त प्रेरित द्विध्रुव आघूर्ण के मान को हम निम्न प्रकार लिख सकते हैं।

$$\mathbf{p} = \alpha\, \varepsilon_0\, \mathbf{E}$$

जहां α अनुक्रमानुपाती नियतांक है और परमाण्विक/आण्विक ध्रुवणता कहलाता है। मान लीजिये कि संधारित्र की प्लेटों के मध्य विद्युत क्षेत्र E में अध्रुवीय पदार्थ की पट्टी ABCD रखी गयी है जैसा कि चित्र 16.13 में दर्शाया गया है। परावैद्युत पट्टी ध्रुवित हो जाती है। परावैद्युत अणुओं के नाभिक ऋणात्मक प्लेट की ओर और इलेक्ट्रॉन धनात्मक प्लेट की ओर विस्थापित हो जाते हैं। ध्रुवण के कारण परावैद्युत के अंदर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E_p}$ उत्पन्न हो जाता है जिसकी दिशा E के विपरीत होती है। अत: अध्रुवीय परावैद्युत की उपस्थिति में प्लेटों के मध्य विद्युत क्षेत्र घट जाता है अर्थात् ध्रुवित परावैद्युत में प्रभावी विद्युत क्षेत्र का मान

$$\mathbf{E}(\text{प्रभावी}) = \mathbf{E} - \mathbf{E_p} \qquad (16.39)$$

इस प्रकार संधारित्र की प्लेटों के बीच विभवान्तर कम हो जाता है (क्योंकि $V = Ed$), तथा उसके फलस्वरूप संधारित्र की धारिता बढ़ जाती है (क्योंकि $C = q/V$).



चित्र.16.13 : आवेशित संधारित्र की प्लेटों के बीच एक परावैद्युत पट्टी

स्थिर वैद्युकता के अनुप्रयोग

विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के कई क्षेत्रों में लाभप्रद सहायता करने के साथ ही स्थिर वैद्युकता विद्युत चुम्बकत्व के सिद्धांत की आधारशिला है।

- संधारित्र अधिकतर इलेक्ट्रॉनिक एवं इलेक्ट्रिक परिपथों के आवश्यक अवयव हैं।ये विद्युत संप्रेषण में एक निर्णायक भूमिका अदा करते हैं।
- आवेश का पता करने के लिए प्रयोग की गयी एक सरल युक्ति स्वर्ण पत्र विद्युत दर्शी ने कॉस्मिक किरण-अनुसंधान का मार्ग प्रशस्त किया।
- बैंजामिन फ्रैंकलिन द्वारा आविष्कृत तड़ित चालक ऊँचे भवनों को तड़ित विद्युत के आघातों से बचाता है।
- फोटो प्रतिलिपि बनाने का उपकरण स्थिर वैद्युकता के सिद्धांत पर कार्य करता है।

टिप्पणियाँ

पाठगत प्रश्न 16.3

1. एक $C_1 = 12$ mF और दूसरा $C_2 = 4$ mF धारिता के संधारित्र संयोजित किये गये हैं। तंत्र की प्रभावी धारिता ज्ञात कीजिये जब उन्हें (a) श्रेणीक्रम में जोड़ा गया है (b) पार्श्व क्रम में जोड़ा गया है।

2. चार संघारित्रों को आपस में चित्र 16.13 की भांति जोड़ा गया है। तंत्र की तुल्य धारिता ज्ञात कीजिये।

3. एक वायु संधारित्र $C = 4$ mF एक 12V बैटरी से जुड़ा है। ज्ञात करें

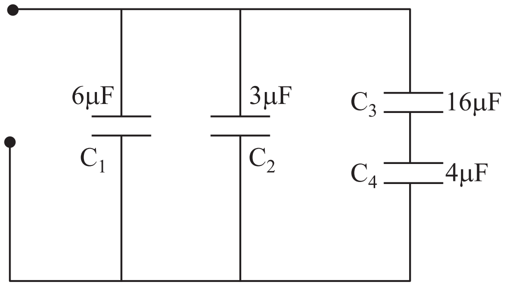
   (a) इसके पूर्णावेशित होने पर Q का मान?

   (b) प्लेटों पर आवेश का मान जब इसकी प्लेटों के बीच K=5 स्थिर वैद्युताँक का परावैद्युत पदार्थ भर दिया जाए।

   (c) प्लेटों के बीच विभवान्तर

   (d) नये संधारित्र की धारिता

4. एक समान्तर प्लेट संधारित को एक बैटरी से जोड़कर V विभवान्तर तक आवेशित किया जाता है। बैटरी को हटाने के बाद, प्लेटों के बीच के खाली स्थान पर K परावैद्युतांक की पट्टी रख दी जाती है जो पूरी खाली जगह को घेर लेती है। संघारित्र में कितनी ऊर्जा संग्रहीत है? (a) पहली स्थिति में (b) दूसरी स्थिति में (c) कौन अधिक है और क्यों?



चित्र 16.14 : संधारित्रों का संयोजन

आपने क्या सीखा

- स्थिर वैद्युत क्षेत्र संरक्षी होता है।
- विद्युत क्षेत्र से किसी बिंदु पर विभव एक इकाई धनावेश को अनंत से उस दूरी तक लाने में किए गए कार्य के बराबर होता है।
- किसी स्थिर विद्युत क्षेत्र में एक आवेश को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक स्थानान्तरित करने में किया गया कार्य पथ पर निर्भर नहीं करता है।
- यदि एक परीक्षण आवेश को अनंत से विद्युत क्षेत्र के किसी बिंदु तक लाने में किया गया कार्य 1 जूल हो तो उस बिंदु पर विभव का मान 1 वोल्ट होता है।

- किसी द्विध्रुव की विषुवत रेखीय स्थिति में किसी भी बिंदु पर विभव का मान शून्य होता है।
- एक समविभव तल में प्रत्येक बिंदु का विभव समान होता है।
- विद्युत क्षेत्र में किसी बिन्दु पर विभव की दूरी के साथ ऋणात्मक परिवर्तन की दर को विभव प्रणवता कहते हैं। यह क्षेत्र का परिमाण बताती है।
- स्थिर वैद्युत रक्षण दिक्स्थान में किसी क्षेत्र को बाह्य विद्युत प्रभाव से बचाने की घटना है।
- किसी चालक की धारिता इसके पदार्थ पर निर्भर नहीं करती वरन इसके माध्यम की प्रकृति पर निर्भर करती है।
- एक समान्तर प्लेट संधारित्र को हवा या निर्वात के बजाय K परावैद्युताँक के द्रव्य से भर देने पर संधारित्र की धारिता K गुना बढ़ जाती है।
- आपेक्षिक विद्युतशीलता परावैद्युत माध्यम वाले संधारित्र की धारिता और निर्वात माध्यम में संधारित्र की धारिता का अनुपात है।
- संधारित्रों के श्रेणी संयोजन में तुल्य धारिता सबसे कम धारिता से भी कम होती है।
- अध्रुवीय परावैद्युतों की उपस्थिति के कारण, संधारित्र की प्लेटों के बीच क्षेत्र घट जाता है।

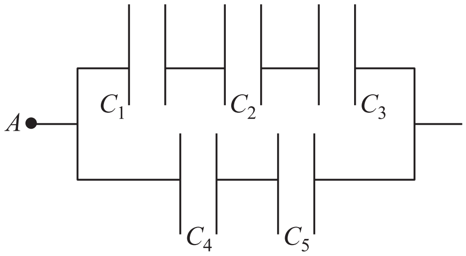
पाठांत प्रश्न

1. एक $q = 20\ \mu C$ के बिंदु आवेश से 30 cm दूरी पर स्थित एक बिंदु पर विभव का मान ज्ञात कीजिये।
2. एक समबाहु त्रिभुज के तीन कोनों पर 200 μC मान के तीन आवेश q_1, q_2 और q_3 रखे हुए हैं। एक भुजा की लंबाई 10cm है। इस निकाय की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए।
3. 3mm से पृथक्कृत प्लेटों के बीच विभवान्तर 12.0 V है। इस निकाय की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए।
4. दो आवेश $+e$ व $-e$ के आयन एक-दूसरे से 4.0×10^{-10} m की दूरी पर स्थित हैं। इस निकाय की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए।
5. एक समान्तर प्लेट संधारित्र की दो प्लेटों A व B के बीच विभवान्तर 15 V है। एक प्रोटॉन ($m = 1.67 \times 10^{-27}$ kg) को A से B.की ओर ले जाया जाता है। बिंदु B के पास प्रोटॉन की चाल ज्ञात कीजिए।
6. विमीय विधि से दिखाइए कि Vq और $(½)mv^2$ तुल्य हैं? यहाँ संकेतों के सामान्य अर्थ हैं।
7. किन स्थितियों में समान्तर प्लेट संधारित्र की प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र समान होता है?
8. एक r त्रिज्या का गोला $+q$ आवेश से आवेशित है। एक आवेश q_0 को इसके व्यास के एक सिरे से दूसरे सिरे तक ले जाने में किये गये कार्य की गणना कीजिए।

टिप्पणियाँ

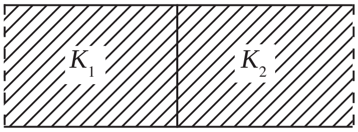
9. एक समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता C_0 व दो प्लेटों के बीच विभवान्तर V_0 है। एक प्लेट पर आवेश $+q_0$ है व प्लेटों के बीच की दूरी d है। एक K=3 मान का परावैद्युत प्लेटों के बीच भर दिया जाता है। निम्न में से कौन सी राशियां बदलेंगी और क्यों: (i) धारिता (ii) आवेश (iii) विभवान्तर (iv) क्षेत्र घनत्व?

10. संधारित्रों के निम्न संयोजन को देखिये। A व B के बीच विभवान्तर 16V है।

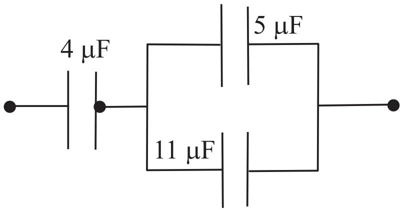


यदि $C_1 = 2\ \mu F$, $C_2 = 4\ \mu F$, $C_3 = 8\ \mu F$, $C_4 = 3\ \mu F$, $C_5 = 3\mu F$ हो तो ज्ञात कीजिए (a) A व B के बीच प्रभावी धारिता (b) प्रत्येक संधारित्र पर आवेश (c) प्रत्येक संधारित्र के दोनों प्लेटों के बीच विभवान्तर

11. एक वायु संधारित्र की धारिता 8μF है। दो समान आकार के परावैद्युत द्रव्य प्लेटों के बीच के स्थान को चित्र की भांति भर देते हैं परावैद्युतांक $K_1 = 3.0$ और परावैद्युतांक $K_2 = 6.0$। नये संधारित्र की धारिता ज्ञात कीजिए।



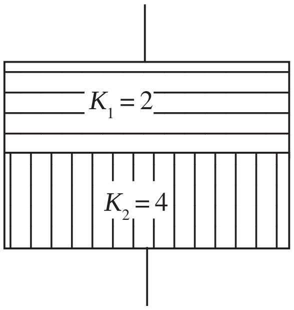
12. नीचे दियाये गये निकाय की तुल्य धारिता का मान ज्ञात कीजिए।



13. एक 3.0 μF परिमाण के संधारित्र 12.0 V तक आवेशित किया जाता है। फिर एक K = 7 मान के परावैद्युत पदार्थ से इसके खाली स्थान को भर दिया जाता है। दोनों दशाओं संचित ऊर्जा का अनुपात ज्ञात कीजिए।

14. एक $P = 3.5 \times 10^{-15}$ Cm द्विध्रुव आपूर्ण वाले द्विध्रुव को एक समान विद्युत क्षेत्र $E = 2.0 \times 10^4\ NC^{-1}$ में रखा जाता है। द्विध्रुव क्षेत्र से 60° का कोण बनाता है A (a) द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिये (b) द्विध्रुव पर बल आघूर्ण का मान ज्ञात कीजिए।

15. एक समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता $12\mu F$ है। दो प्लेटों के बीच की दूरी 8mm है। दो समान आकार के भिन्न-भिन्न परावैद्युतॉक के परावैद्युत पदार्थ संधारित्र के खाली स्थान को निम्न प्रकार भरते हैं। नये संधारित्र की धारिता ज्ञात कीजिए।



पाठगत प्रश्नों के उत्तर

16.1

1. $r\ (r > R)$ पर विभव

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

2. एक बिंदु आवेश के चारों ओर क्षेत्र की गोलीय सममिति होती है। अत: गोले का पृष्ठ सर्वत्र समविभव होता है। एक समविभव तल में आवेश के चलने में कोई कार्य नहीं किया जाता है।

3. $E = -\frac{dV}{dr}$ चूंकि V का मान स्थिर है, E का मान शून्य है।

   अत: समीकरण (16.22) के अनुसार (16.22) :

   $E = \frac{V_A - V_B}{d}$ । चूंकि $V_A = V_B$, E का मान शून्य होगा।

4. नहीं आवश्यक रूप से नहीं। जब $E = 0$, विभव का मान या तो शून्य होता है या स्थिर होता है।

5. नहीं, दो समविभव तल कभी भी एक दूसरे को नहीं काटते हैं, क्योंकि ऐसी स्थिति में कटान बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दिशा को दर्शाने के लिए हम दो लम्ब खींच सकते हैं जो कि विद्युत क्षेत्र की दो भिन्न-भिन्न दशाओं को दर्शायेगा।

टिप्पणियाँ

16.2

1. $$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{\text{किया गया कार्य}}{\text{आवेश}}} = \frac{Q \times Q}{\text{किया गया कार्य}}$$

$$= \frac{Q^2}{\text{N.m.}}$$

मूल मात्रक

$$A = \frac{C}{s}$$

$\therefore$ $C^2 = A^2\, s^2$ और न्यूटन = द्रव्यमान $\times$ त्वरण = $kg\,\frac{m}{s^2}$

$$\text{धारिता} = \frac{C^2}{Nm} = \frac{A^2 s^2}{kg\frac{m^2}{s^2}} = \frac{A^2 s^4}{kg\, m^2}$$

$$= A^2\, s^4\, (kg\, m^2)^{-1}$$

2. एक समान्तर प्लेट संधारित्र में E का मान प्लेटों के बीच एक समान है। प्लेटों के बीच विभवान्तर

$$V_A - V_B = E \times d.$$

3. C_0, E_0, V_0 वायु संधारित्र के लिए

C, E, V परावैद्युत संधारित्र के लिए

$$k = \frac{C}{C_0},\ k = \frac{V_0}{V}\ \ k = \frac{E_0}{E}.$$

4. $C = 1.0\ \mu\ F = 1.0 \times 10^{-6}$ F.

$d = 50$ cm $= 0.5$m.

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

$\therefore$ $A = \frac{Cd}{\varepsilon_0}$ । चूंकि $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$,

$$A = \frac{1.0 \times 10^{-6} \times 0.5}{8.85 \times 10^{-12}}$$

$$= \frac{5 \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}}$$

$$= 0.56 \times 10^{5}\ \text{m}^{2}$$

16.3

1 (a) 3 mF (b) 16 mF 2. 12.2μF

3. (a) 96mC (b) 0.480 C (c) 12 v (d) 40 mF

4. (a) $\frac{1}{2} C_0 V_0^2$ (b) $\frac{1}{2}\frac{(C_0 V_0)^2}{C_0 R} = \frac{1}{2\text{k}} C_0 V_0^2$

(c) पहली स्थिति में ऊर्जा अधिक है क्योंकि यही ऊर्जा परावैद्युत को अंदर खींचने में प्रयुक्त होती है।

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

1. 6×10^{5} V.
2. 1.08×10^{4} J.
3. 4×103 V m^{-1}
4. -5.76×10^{-19} J
5. 1.4×109 m s^{-2}

10. (a) $\frac{37}{14}$ μF, (b) $\frac{128}{7}$ μC, $\frac{128}{7}$ μC, $\frac{128}{7}$ μC, 24μC,

(c) $\frac{64}{7}$ V, $\frac{32}{7}$ V, $\frac{16}{7}$ V, 8V, 8V

11. 36 μF.
12. $\frac{16}{5}$ μF.
13. 1 : 7
14. (a) 3.5×10^{-11} J (b) 6×10^{-11} N m.
15. 32 μF

17

विद्युत धारा

अपने दैनिक जीवन में विभिन्न गतिविधियों के लिए हम विद्युत का प्रयोग करते हैं। विद्युत बल्ब तथा ट्यूब-लाइट से हमारे घरों में रोशनी होती है। हम टेप रिकॉर्डर या रेडियो पर संगीत सुनते हैं। टेलीविजन पर विभिन्न कार्यक्रम देखते हैं। बिजली के पंखे और कूलर की ठंडी हवा का आनंद लेते हैं। विद्युत पंपों को खेत की सिंचाई के लिए प्रयोग करते हैं। वास्तव में विद्युत मानव को विज्ञान की एक अद्वितीय देन है। हम आधुनिक संसार में विद्युत के बिना जीवन की कल्पना नहीं कर सकते। घर में हमने देखा होगा कि स्विच ऑन करते ही विद्युत बल्ब चमकने लगता है। ऐसा कैसे होता है? स्विच का कार्य क्या है?

इस माड्यूल के पूर्ववर्ती अध्यायों में आपने स्थिर विद्युत आवेश और उनके प्रभावों के बारे में पढ़ा। विद्युत आवेश संधारित्रों में संग्रहीत होता है। इस अध्याय में आप गतिशील आवेशों के बारे में पढ़ेंगे। आप यह भी जानेंगे कि किसी चालक के गुजरनते हुए आवेश का प्रवाह इस पर लगे विभवान्तर पर निर्भर करता है। आप परिपथों में धारा वितरण एवं इनके निर्धारक नियमों के बारे में भी अध्ययन करेंगे। प्राथमिक एवं द्वितीयक सेलों के विषय में प्रारंभिक जानकारी भी आपकी इस पाठ में प्राप्त होगी।

भौतिकी एक प्रायोगिक विज्ञान है और प्रकृति के नियमों के अनावरण में इसने जो प्रगति की है वह सिद्धान्तों के सत्यापन अथवा प्रायोगिक परिणामों को पुनः प्राप्त करने की हमारी क्षमता के कारण संभव हो पाई है। इसी से उपकरणों एवं तकनीकों में सतत सुधार संभव हो पाए हैं। इस पाठ में आप विभवमापी के बारे में भी जानेंगे जो एक अत्यन्त बहुउपयोगी यन्त्र है। इस का उपयोग संतुलन विधि द्वारा प्रतिरोध एवं emf मापन के लिए किया जा सकता है।

उद्देश्य

इस पाठ को पढ़ने के बाद आप–

- ओम के नियम का कथन कर सकेंगे और ओमी और अन-ओमी प्रतिरोधों में अंतर कर पाएंगे;

- प्रतिरोधों के श्रेणी और समान्तर क्रम में संयोजनों के लिए तुल्य प्रतिरोध का मान प्राप्त कर सकेंगे;
- प्राथमिक एवं द्वितीयक सेलों में भेद कर सकेंगे;
- वर्ण कोड के आधार पर प्रतिरोध का मान ज्ञात कर सकेंगे;
- किरखौफ के नियमों को बंद विद्युत परिपथों के लिए प्रयोग कर सकेंगे;
- अज्ञात प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए ह्वीटस्टोन सेतु समीकरण प्रयोग कर सकेंगे; तथा
- विभवमापी के सिद्धांत की व्याख्या कर सकेंगे और इसे विद्युत वाहक बल और सेल के आंतरिक प्रतिरोध के मापन में प्रयोग कर सकेंगे।

मुक्त एवं बद्ध इलेक्ट्रॉन

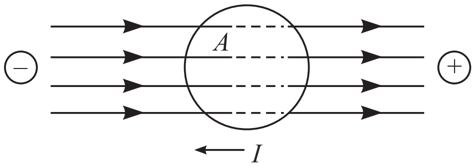
एक परमाणु विद्युतीय रूप से उदासीन होता है। इसमें जितने ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर घूमते हैं उतने ही घनावेशित प्रोटोन इसके नाभिक में उपस्थित रहते हैं। इलेक्ट्रॉन नाभिक के साथ कूलॉम बल के कारण बंधे रहते हैं और इसके चारों ओर बंद कक्षाओं में चक्कर लगाते हैं।

इलेक्ट्रॉन नाभिक से जितना अधिक दूर होगा उसे नाभिक से बांधे रखने वाला बल उतना ही क्षीण होगा। अत: बाह्यतम कक्ष में इलेक्ट्रॉन बहुत ही क्षीण बल द्वारा नाभिक के साथ बंधे रहते हैं। इनको संयोजक इलेक्ट्रॉन कहते हैं। धात्विक ठोसों में संयोजक इलेक्ट्रॉन एक निम्न विभावान्तर लगाने पर गति के लिए स्वतंत्र हो जाते हैं।

17.1 विद्युत धारा

आप पूर्ववर्ती अध्याय में पढ़ चुके हैं कि जब किसी चालक पर विभवान्तर लगाया जाता है तो चालक में एक विद्युत क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। चालक में मुक्त इलेक्ट्रॉन क्षेत्र की दिशा के विपरीत गति करते हैं। इससे विद्युत धारा बनती है। *धनावेश के चलने की दिशा को धारा की दिशा* मानने की परिपाटी है। इलेक्ट्रॉन विपरीत दिशा में गति करते हैं। धारा की परिशुद्ध व्याख्या करने के लिए हम मानते हैं कि आवेश A क्षेत्रफल की सतह के लंबवत गति करते हैं, जैसा कि चित्र 17.1 में दर्शाया गया है। किसी पृष्ठ क्षेत्रफल से प्रवाह की दिशा के लंबवत आवेश प्रवाह की दर को धारा कहते हैं। यदि Δt समय मे Δq आवेश प्रवाहित होता है तो औसत धारा निम्न प्रकार से परिभाषित की जाती है।

$$I_{av} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \qquad (17.1)$$



चित्र. 17.1 : एक चालक के क्षेत्रफल A से आवेशों की गति। परिपार्टी के अनुसार, घनावेशों के चलने की दिशा को विद्युत धारा की दिशा माना जाता है, इलेक्ट्रान इसके विपरीत दिशा में गति करते हैं

यदि आवेशों के प्रवाह की दर समय के साथ बदलती है तो धारा भी समय के साथ बदलती है। तात्क्षणिक धारा निम्न प्रकार से व्यक्त की जाती है:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (17.2)$$

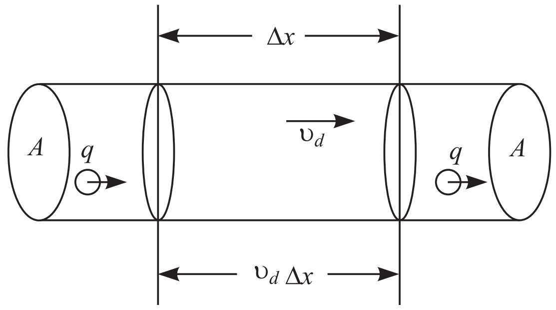
एक चालक से गुजरने वाली धारा, धारा की दिशा के लंबवत रखी सतह से गुजरने वाले आवेश प्रवाह की दर है।

धारा का SI मात्रक एम्पीयर है। इसका संकेत A है,

$$1 \text{ एम्पीयर} = \frac{1 \text{ कूलॉम}}{1 \text{ सेकेन्ड}} \quad (17.3)$$

विद्युत धारा के छोटे मात्रक मिली एम्पीयर, $mA = 10^{-3}A$, तथा माइक्रो एम्पीयर, $1\ \mu A = 10^{-6}A$, हैं। धारा ऋणावेशों (इलेक्ट्रॉनों) के प्रवाह के कारण हो सकती है जैसे कि धातुओं में, यह धनात्मक आवेशों (प्रोटॉनों)के प्रवाह के कारण भी हो सकती है जैसे प्रोटॉन त्वरकों में। एक अर्धचालक में इलेक्ट्रान और होल्स का प्रवाह धारा का सृजन करता है। होल्स क्रिस्टल में इलेक्ट्रॉनों की रिक्तियाँ हैं, इन्हें धनावेशित माना जाता है। इनमें इलेक्ट्रॉन के बराबर ही आवेश होता है। आप इनके बारे में बाद में पढ़ेंगे।

हम एकA अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल वाले बेलन की कल्पना करते हैं जैसा कि चित्र 17.2 में दर्शाया गया है।



चित्र. 17.2 : आवेश A क्षेत्रफल से υ_d चाल से गुजरते हैं। Δx लंबाई में आवेशों की संख्या $nA\,\upsilon_d\,\Delta t$ है।

Δx लंबाई के लिए आयतन का अंश $A\Delta x$ है। अब यदि प्रति इकाई आयतन n हो तो इस आयतन अंश में इलेक्ट्रॉनों की संख्या $nA\Delta x$होगी। इस आयतन में कुल आवेश $\Delta q = nA\Delta xe$ *जहां* e इलेक्ट्रॉन का आवेश है। यदि इलेक्ट्रॉन आरोपित विभवान्तर के कारण υ_d चाल से अपवाह करें तो Δt समय में तय की गयी दूरी $\Delta x = \upsilon_d \Delta t$। Δx के इस मान को Δq के व्यंजक में प्रतिस्थापित करने पर

$$\Delta q = nAe\,\upsilon_d\,\Delta t$$

अत:

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = I = nAe\upsilon_d \quad (17.4)$$

17.2 ओम का नियम

1828, में ओम ने किसी चालक के सिरों के बीच लगाए गए विभावान्तर एवं चालक में उत्पन्न धारा के संबंध का अध्ययन किया। उन्होंने इस संबंध को एक नियम का रुप दिया जिसे ओम का नियम कहते है।

जॉर्ज साइमन ओम
(1787–1854)

जर्मन भैतिक शास्त्री, जार्ज साइमन ओम अपने नियम के लिए प्रसिद्ध हैं। उन्होंने तापीय और विद्युत प्रवाह के बीच सादृश्यता मानकर इस नियम को स्थापित किया। उन्होंने साइरन का सिद्धांत, क्रिस्टलों में ध ्रुवित प्रकाश के व्यतिकरण के क्षेत्र में भी महत्वपूर्ण योगदान दिया। प्रतिरोध का मात्रक ओम उनके नाम से जाना जाता है।

इस नियम के अनुसार किसी चालक से गुजरने वाली विद्युत धारा उस चालक के सिरों के बीच लगाए गए विभवान्तर की अनुक्रमानुपाती होती है बशर्ते कि भौतिक स्थितियों ताप व दाब अपरिवर्तित रहें। यदि V लगाया गया विभावान्तर व I प्रवाहित होने वाली धारा हो तो ओम के नियमानुसार

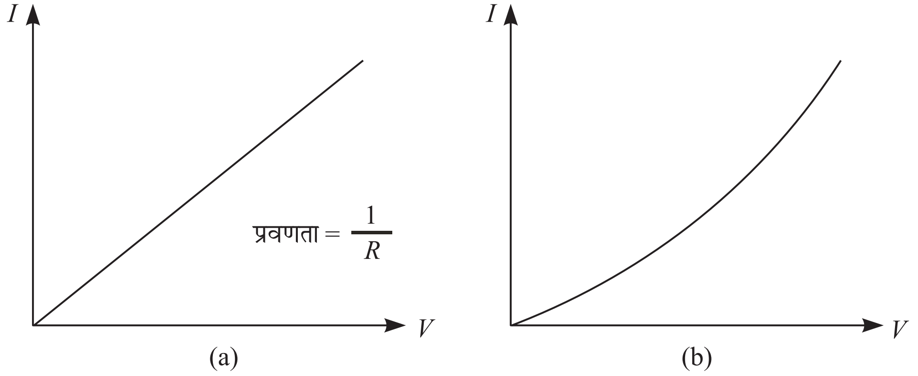
$$V \propto I$$

या

$$V = RI$$

$$\Rightarrow \quad \frac{V}{I} = R \qquad (17.5)$$

जहां पर आनुपातिकता स्थिरांक R चालक की प्रतिरोध निरूपित करता है। प्रतिरोध किसी चालक का वह गुण है जो इससे गुजरने वाली विद्युत धारा का विरोध करता है। धात्विक चालक के लिए V-I ग्राफ एक सीधी रेखा है, चित्र 17.3 (a)।



चित्र. 17.3 : a) ओमीय युक्ति के लिए V-I ग्राफ b) डायोड के लिए V-1 ग्राफ। डायोड ओम के नियम का पालन नहीं करते।

प्रतिरोध की SI इकाई ओम है। इसे Ω (ओमेगा) संकेत से दर्शाया जाता है।

$$1 \text{ ओम} = 1 \text{ वोल्ट}/1 \text{ एम्पीयर}$$

अधिकांश धातुएं ओम के नियम का पालन करती हैं। प्रतिरोधक जो ओम के नियम का पालन नहीं करते उन्हें अन्–ओमीय कहा जाता है। निर्वात डायोड, अर्धचालक डायोड, ट्रॉजिस्टर्स ऐसी अन्–ओमीय युक्तियों (उपकरणों) के उदाहरण हैं। अर्धचालक डायोड के लिए वोल्टेज की कम मात्राओं के लिए भी ओम का नियम लागू नहीं होता। चित्र 17.3(b) एक अर्धचालक उपकरण के लिए *V-I* ग्राफ दर्शाता है।

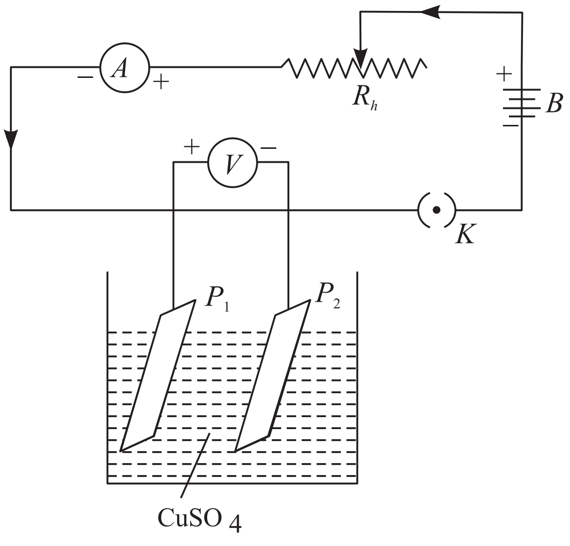
क्रियाकलाप 17.1

उद्देश्य : एक विद्युत अपघट्य से गुजरने वाली विद्युत के चालन का अध्ययन करना।

आवश्यक सामग्री – अमीटर, वोल्टमीटर, कॉपर सल्फेट विलयन युक्त जार, दो तांबे की पट्टियाँ, एक बैटरी, प्लग कुंजी, जोड़ने वाली तार व धारा नियंत्रक (रिहोस्टेट)

कैसे आरम्भ करें:

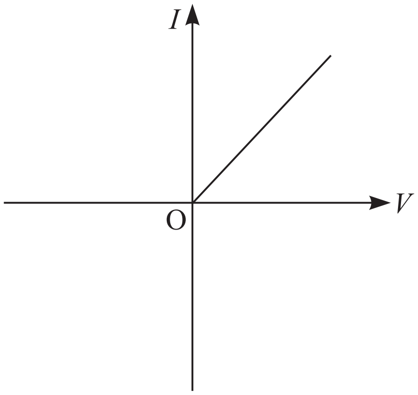
1. चित्र 17.4 की भांति उपकरण व्यवस्थित करें।
2. खुली कुंजी (ऑफ) की स्थिति में अमीटर और वोल्टमीटर के पाठयांक लें।
3. कुंजी को चालू करें (बंद करें) और पुन: V व I के पाठ्यांक लें।
4. धारा नियंत्रक के सर्पी संपर्क की सहायता से अमीटर के पाठ्यांक को बदलें और वोल्टीमीटर के संगत पाठ्यांक लें।
5. इस क्रिया को 4-5 बार दोहरायें और अमीटर व वोल्टमीटर के पाठ्यांक लें तथा प्लेटों P_1 और P_2, के बीच की (a) दूरी बदलकर (b) विलयन में डूबे प्लेटों के क्षेत्रफल को बदलकर और (c) विद्युत अपघट्य की सांद्रता बदलकर प्रयोग की पुनरावृत्ति करें।
6. प्रत्येक स्थिति के लिए *I–V* ग्राफ खींचिए।



चित्र. 17.4 : एक विद्युत अपघट्य के कारण विद्युत चालन

आप क्या निष्कर्ष निकालते हैं?

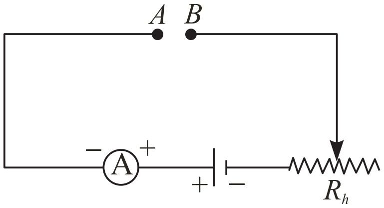
- *I–V* ग्राफ मूल बिन्दु से गुजरती हुई एक सीधी रेखा है जिसका तात्पर्य यह है कि आयनीकृत विलयन ओमीय प्रतिरोधक की भांति कार्य करता है।
- ग्राफ की प्रवणता प्लेटों के मध्य स्थित विद्युत अपघट्य विलयन के आयतन पर निर्भर करती है और इसके परिवर्तन के साथ तेजी से बदलती है। इसका आशय यह हुआ कि एक विद्युत अपघट्य का प्रतिरोधन केवल इसकी प्रकृति पर निर्भर करता है वरन् इलेक्ट्रोडों के क्षेत्रफल और उनके बीच की दूरी पर भी निर्भर करता है।



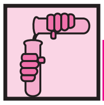
चित्र. 17.5 : *आयनित विलयन के लिए I–V ग्राफ*

17.2.1 प्रतिरोध तथा प्रतिरोधकता

अब हम उन कारकों का अध्ययन करते हैं जो एक चालक के प्रतिरोध को प्रभावित करते है। आप दो सरल प्रयोग कर सकते हैं। इन प्रयोगों को करने के लिए चित्र 17.6 की भांति एक परिपथ बनाएं।



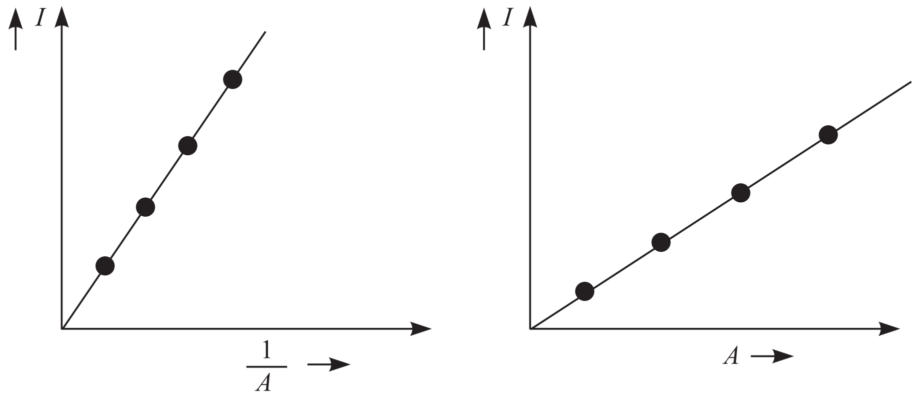
चित्र 17.6 : एक चालक के प्रतिरोध को प्रभावित करने वाले कारकों के अध्ययन के लिए विद्युत परिपथ



क्रियाकलाप 17.2

एक समान अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल वाला एक लम्बा तार लेकर इसमें से l_1, l_2, l_3, आदि लंबाइयों के टुकड़े काटकर उन्हें A व B के बीच संयोजित करें और प्रत्येक लंबाई के लिए विद्युत धारा की माप लें। तदुपरांत I और I/l के बीच ग्राफ खींचे। आप पाएंगे कि ग्राफ एक सरल रेखा के रूप में प्राप्त होता है। लंबे तार अपने में से कम धारा को प्रवाहित होने देते हैं। आप यह कह सकते हैं कि लंबे तार अपेक्षाकृत अधिक प्रतिरोध आरोपित करते हैं चित्र 17.7 (a)। गणितीय रूप से

$$R \propto l \qquad (17.6)$$



(a) (b)

Fig. 17.7 : a) I और $1/l$ के बीच ग्राफ एक सरल रेखा है। बड़े तार अपने से होकर कम धारा को प्रवाहित होने देते हैं b) धारा व अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल के बीच ग्राफ प्रदर्शित करता है कि बड़े क्षेत्रफल से ज्यादा धारा प्रवाहित होती है।

क्रियाकलाप 17.3

एक ही पदार्थ व समान लंबाई के भिन्न-भिन्न अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A_1, A_2, A_3 आदि के तार लें। तारों को A और B के बीच संयोजित करें और प्रत्येक के संगत विद्युत धारा का मापन करें। फिर I और A के बीच ग्राफ खींचें। यह एक सीधी रेखा के रूप में मिलता है। बड़े अनुप्रस्थ काट के तार अपने से होकर अधिक धारा प्रवाहित होने देते हैं। अतः आप कह सकते है कि अधिक अनुप्रस्थ काट वाले तार कम प्रतिरोध उत्पन्न करते हैं। चित्र 17.4 *(b)*। गणितीय रूप से हम लिख सकते हैं कि

$$R \propto \frac{1}{A} \tag{17.7}$$

समी. (17.6) व (17.7) को संयोजित करने पर

$$R \propto \frac{\ell}{A}$$

या

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \tag{17.8}$$

जहां पर एक नियत ताप पर किसी पदार्थ के लिए ρ का मान नियत है। इसे पदार्थ का *विशिष्ट प्रतिरोध* या *प्रतिरोधकता* कहते हैं। पदों को पुर्नव्यवस्थित करने पर हम लिख सकते हैं

$$\rho = \frac{RA}{\ell} \tag{17.9}$$

यदि $\ell = 1\text{m}$ और $A = 1\text{m}^2$, तब $\rho = R$ ओममीटर। अतः किसी पदार्थ की प्रतिरोधकता उस पदार्थ के एक मीटर लंबे व एक वर्ग मीटर अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल वाले तार द्वारा लगाया गया प्रतिरोध है।

प्रतिरोधकता का मात्रक ओम–मीटर (Ωm) है। प्रतिरोधकता का व्युत्क्रम **चालकता** कहलाता है:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \qquad (17.10)$$

चालकता का मात्रक Sm^{-1} है।

प्रतिरोधकता पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करती है लेकिन इसकी विभाओं का इस पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता जबकि चालक का प्रतिरोध इसकी विमाओं और पदार्थ की प्रकृति दोनों पर निर्भर करता है। अब आप निम्न उदाहरणों का ध्यानपूर्वक अध्ययन करें।

उदाहरण 17.1 : हमारे घरों में विद्युत धारा 220V पर भेजी जाती है। एक बल्ब का प्रतिरोध ज्ञात करें यदि धारा का मान 0.2A है।

हल :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220 \text{ वोल्ट}}{0.2 \text{ एम्पीयर}} . = 1100\ \Omega$$

उदाहरण 17.2 : एक चालक तार की अनुप्रस्थ काट से प्रति सेकंड 6.0×10^{16} इलेक्ट्रॉन गुजरते हैं। तार की विद्युत धारा का मान ज्ञात करें।

हल : एक अनुप्रस्थ काट से प्रति सेकंड गुजरने वाला आवेश

$\Delta Q = ne = 6.0 \times 10^{16} \times 1.6 \times 10^{-19}$ C $= 9.6 \times 10^{-3}$C

$$\therefore \quad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{9.6 \times 10^{-3}\,C}{1\,s}$$
$$= 9.6 \times 10^{-3}\ A$$
$$= 9.6\ mA$$

उदाहरण 17.3 : दो तांबे के तारों A और B की लंबाई समान है। A का व्यास B के व्यास का दो गुना है। उनके प्रतिरोधों की तुलना करें।

हल :

$$R_A = \rho \frac{\ell}{\pi r_A^2} \quad \text{और} \quad R_B = \rho \frac{\ell}{\pi r_B^2}$$

$$\therefore \quad \frac{R_A}{R_B} = \frac{r_B^2}{r_A^2}$$

चूँकि *A* का व्यास = 2 × *B का व्यास या* $r_A = 2r_B$। अत:

B का प्रतिरोध *A* के प्रतिरोध का 4 गुना है।

उदाहरण 17.4 : एक चालक तार की लंबाई 60.0 m और इसकी त्रिज्या 0.5 सेन्टीमीटर है। इसके सिरों के बीच 5.0 वोल्ट विभवान्तर 2.5 अम्पीयर की धारा उत्पन्न करता है। तार के पदार्थ की प्रतिरोधकता ज्ञात करें।

हल :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5.0\,V}{2.5\,A} = 2.0\ \Omega$$

तार की त्रिज्या $= 0.5 \text{ cm} = 5.0 \times 10^{-3} \text{ m}$

अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल $A = \pi R^2 = 3.14 \times (5.0 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2 = 78.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$$\therefore \qquad \rho = \frac{2.0 \times 78.5 \times 10^{-6} \ \Omega\text{m}^2}{60.0 \text{ m}} = 2.6 \times 10^{-6} \ \Omega\text{m}$$

पाठगत प्रश्न 17.1

1. (a) एक तांबे के तार में एक सेल की सहायता से I धारा स्थापित की जाती है। यदि तार की लंबाई को दो गुना कर दी जाए तो धारा का मान क्या होगा?

   (b) यदि तार के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल आधा कर दिया जाए तो धारा का मान क्या होगा?

2. एक l लंबाई व A अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल के तार की प्रतिरोधकता $2 \times 10^{-8} \Omega$m. है। इसी पदार्थ के $2l$ लंबाई व $2A$ अनुप्रस्थ कार के क्षेत्रफल वाले तार के लिए प्रतिरोधकता का मान क्या होगा?

3. 3m लंबाई और 2cm^2 अनुप्रस्थ काट के तार के सिरों पर 8 V का विभावान्तर लगाने पर 0-15 A धारा प्राप्त होती है। तार का प्रतिरोध व प्रतिरोधकता ज्ञात करें।

4. क्या सभी चालक ओम के नियम का पालन करते हैं? अपने उत्तर के पक्ष में उदाहरण दें।

5. एक चालक तार की अनुप्रस्थ काट से प्रति सेंकड 5×10^{17} इलेक्ट्रॉन बाएं से दाएं की ओर प्रवाहित हो रहे हैं। धारा का मान व दिशा ज्ञात करें।

17.3 प्रतिरोधकों का संयोजन

एक विद्युत परिपथ में अनेक उपकरण साथ जुड़े होते हैं। जैसे बैटरियां, प्रतिरोधक, संधारित्र, प्रेरक, डायोड, ट्रॉजिस्टर आदि। इनको परिपथ अवयव कहते है। ये अवयव अकेले या संयोजन में अनेक कार्य करने के साथ-साथ परिपथ में धारा को नियंत्रित करते हैं। इन्हें प्रतिरोधक ओर प्रतिघाती इन दो घटकों में वर्गीकृत किया जाता है। सर्वाधिक सामान्य प्रतिरोधक घटक प्रतिरोध, कुंजियां, धारा नियंत्रक, प्रतिरोध कुंडलियां, प्रतिरोध बक्स तथा संयोजक तार होते हैं। प्रतिघाती घटकों में संधारित्र, प्रेरक तथा ट्रांफार्मर सम्मिलित होते हैं। पिछले अध्याय में आपने सीखा कि किस तरह संधारित्रों का संयोजन आवेश व वोल्टेज नियंत्रित करने में प्रयोग किया जा सकता है। अब हम धारा व वोल्टेज नियंत्रण में प्रतिरोधकों के संयोजन पर चर्चा करते हैं। प्रतिरोध कों के दो प्रकार के संयोजन सामान्य उपयोग में लाए जाते हैं: श्रेणी संयोजन व सामान्तर संयोजन। हम एक संयोजन के तुल्य प्रतिरोध को उस एकल प्रतिरोध से परिभाषित करते हैं जो कि अपने सिरों पर समान विभावान्तर लगाने पर दिए गए संयोजन के बराबर ही धारा प्रवाहित होने दे।

17.3.1 श्रेणी संयोजन

आप कई प्रतिरोधकों को श्रेणी क्रम में एक दूसरे के साथ इस प्रकार जोड़ सकते हैं जिससे कि उनमें समान धारा प्रवाहित हो। चित्र 17.8 में दो प्रतिरोधकों R_1 और R_2 को श्रेणी क्रम में जोड़ा गया है। इस संयोजन के सिरों को एक बैटरी के A व D पर जोड़ दिया गया है। मान लें कि V वोल्ट की बैटरी से जोड़े जाने पर इस श्रेणी संयोजन से I धारा प्रवाहित होती है। तब R_1 और R_2 के सिरों में V_1 व V_2 विभान्तर पैदा हो जाते हैं।

तब $V_1 = IR_1$ और $V_2 = IR_2$। लेकिन V_1 व V_2 का योग V के बराबर है अर्थात्

$$\Rightarrow \qquad V = V_1 + V_2 = I R_1 + I R_2$$

यदि श्रेणी संयोजन का तुल्य प्रतिरोध R हो तो

$$V = IR = I(R_1 + R_2)$$

या

$$R = R_1 + R_2$$

यह विन्यास बहुत से प्रतिरोधकों के लिए भी बनाया जा सकता है। उस स्थिति में

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \cdots \qquad (17.11)$$

अर्थात श्रेणीक्रम में प्रतिरोधकों का तुल्य प्रतिरोध उनके एकल प्रतिरोधों के योग के बराबर होता है।

यदि हम किसी प्रतिरोधक (जैसे विद्युत बल्ब) के सिरों पर नियत वोल्टेज के स्रोत से कम मान की वोल्टेज लगाना चाहें तो हमें इसके श्रेणी क्रम में एक दूसरा प्रतिरोधक (बल्ब) जोड़ना पड़ेगा।

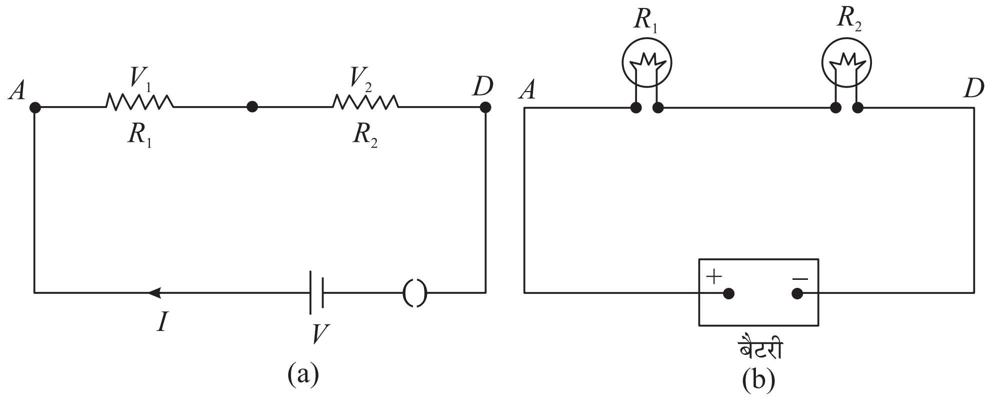
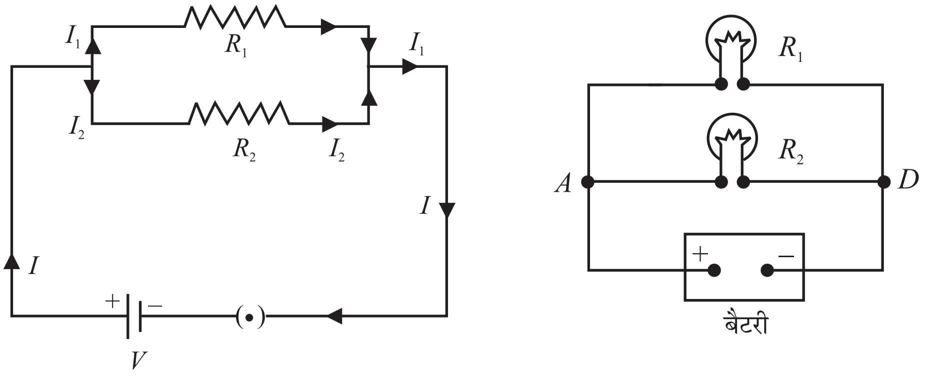


Fig. 17.8 : (a) बैटरी के साथ श्रेणी क्रम में जुड़े दो प्रतिरोधक (b) श्रेणी क्रम में जुड़े दो बल्बों (लैंपों) को एक दिष्ट स्रोत के साथ जोड़ा गया है।

17.3.2 समान्तर संयोजन

आप प्रधिरोधकों के एक ओर के सिरे साथ जोड़ कर व दूसरी ओर के सिरों को एक साथ जोड़कर उनका समान्तर संयोजन कर सकते हैं? समान्तर संयोजन में सभी प्रतिरोधकों के सिरों के बीच विभवान्तर समान रहता है। चित्र 17.9 R_1 और R_2 प्रतिरोधों के दो प्रतिरोधकों का समांतर संयोजन दर्शाता है। मान लेते हैं कि यह संयोजन V वोल्ट की बैटरी से जोड़ा जाता है और यह स्रोत से I धारा खींचता है। बिन्दु A पर



चित्र. 17.9 : a) समान्तर क्रम से जुड़े दो प्रतिरोधक b) बैटरी के साथ समान्तर क्रम में जुड़े दो लेंपों को दी जाने वाली वोल्टेज समान है।

मुख्य धारा दो भागों में बंट जाती है। माना कि R_1 व R_2 से गुजरने वाली धाराएं क्रमशः I_1 और I_2 हैं। तब $I_1 = V/R_1$ और $I_2 = V/R_2$.

मुख्य धारा I_1 व I_2 का योग है। अतः हम लिख सकते हैं

$$\Rightarrow \qquad I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$\therefore \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad (17.12a)$$

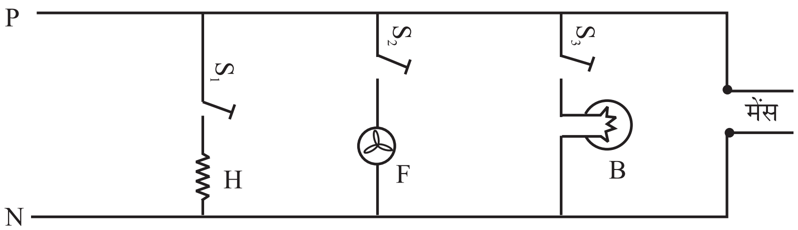
या समीकरण (17.12a) से
$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (17.12b)$$

यदि प्रतिरोधकों की संख्या अधिक हो तो संबंध का रूप निम्न प्रकार हो जाता है:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \ldots \qquad (17.13)$$

हम यह निष्कर्ष निकालते हैं कि *समान्तर संयोजन में तुल्य प्रतिरोध* का व्युत्क्रम संयोजन के सभी अवयव प्रतिरोधों के व्युत्क्रमों के योग के बराबर होता है।

ध्यान दें कि समान्तर क्रम में तुल्य प्रतिरोध का मान सबसे कम परिमाण के संयोजित प्रतिरोध क के प्रतिरोध से भी कम होता है। आप इस तथ्य का आसानी से एक सरल विद्युत परिपथ, जिसमें 2 Ω के प्रतिरोधक को 2r की बैटरी से जोड़ दिया गया है, की सहायता से समझ सकते हैं। यह प्रतिरोधक 1 एम्पीयर की धारा खींचता है। जब इसके समांतर क्रम में एक 2Ω का प्रतिरोधक लगा दिया जाता है तो वह भी समय धारा खींचता है। अतः परिपथ का प्रतिरोध आधा हो जाता है। जब हम समान्तर क्रम में प्रतिरोधकों की संख्या में वृद्धि करते हैं तो परिपथ का प्रतिरोध कम होता चला जाता है व ली जाने वाली धारा की मात्रा बढ़ती चली जाती है। हमारे घरों में लेंपों, पंखों, हीटर आदि को समान्तर क्रम में जोड़ा जाता है और प्रत्येक का अपना अलग स्विच होता है। प्रत्येक के सिरों के बीच का विभवान्तर समान रहता है और उनके कार्य एक दूसरे के कारण प्रभावित नहीं होते हैं। जब हम बल्ब या पंखों का स्विच ऑन करते हैं तो घर के विद्युत परिपथ प्रतिरोध कम होता है और मेन्स से खींची गयी धारा बढ़ती जाती हैं (चित्र 17.10)।



चित्र. 17.10 : घर में उपकरणों का विन्यास ये 220 वाट मेन सप्लाई के साथ समान्तर क्रम में जोड़े गए हैं। मेन सप्लाई से कुल ली गई धारा का मान प्रत्येक उपकरण के द्वारा ली गई धाराओं के योग के बराबर होता है।

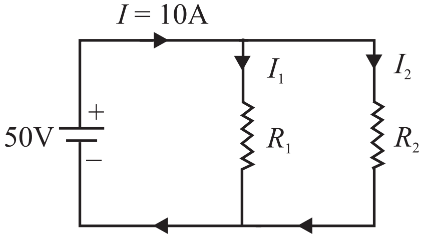
उदाहरण 17.5 : चित्र 17.11 में दिखाये गये परिपथ के लिए R_2 व इससे गुजरने वाली धारा I_2 का मान ज्ञात करें।

हल: यदि R_1 व R_2 के समान्तर संयोजन का तुल्य प्रतिरोध R हो तो

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 R_2}{10 + R_2}$$

ओम के नियमानुसार

$$R = \frac{50}{10} = 5\Omega$$



चित्र. 17.11 : समान्तर क्रम में प्रतिरोधक

$$\therefore \quad \frac{10 R_2}{10 + R_2} = 5 \quad \Rightarrow 10 R_2 = 50 + 5 R_2 \quad \text{or} \quad R_2 = 10\ \Omega$$

क्योंकि धारा R_1 व R_2 के बीच समान मात्रा में बंटती है, अतः $I_2 = 5A$

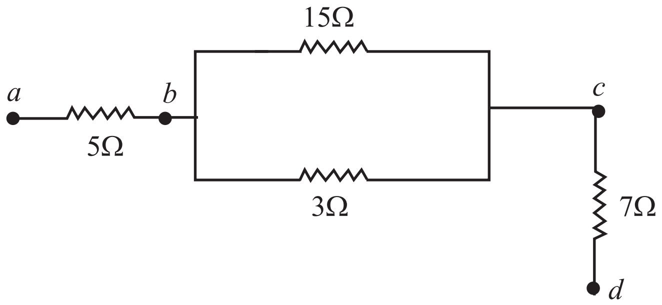
उदाहरण 17.6 : चित्र (17.12) में दर्शाये गए परिपथ के लिए A और B बिन्दुओं के बीच तुल्य प्रतिरोध ज्ञात करें।

हल : 15Ω व 3Ω प्रतिरोधक समान्तर क्रम में लगे हैं। अत: इस संयोजन का तुल्य प्रतिरोध

$$R_1 = \frac{15 \times 3}{15+3}\Omega = \frac{45}{18} = \frac{5}{2} = 2.5\Omega$$

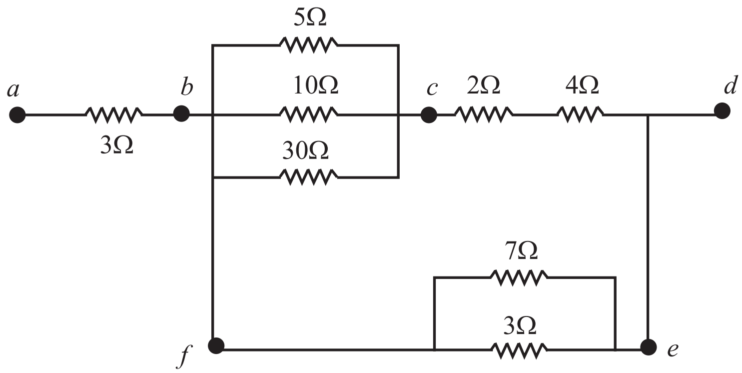
अब हम 5Ω, 2.5Ω व 7Ω के प्रतिरोधों को श्रेणीक्रम में संयोजित मान सकते हैं। अत: कुल प्रतिरोध

$$R = (5 + 2.5 + 7) = 14.5\ \Omega$$



चित्र. 17.12: प्रतिरोधकों के श्रेणी व समान्तर संयोजनों का समूहन

उदाहरण 17.7 : चित्र 17.13 में दर्शाए गए विन्यास के संदर्भ में (i) बिन्दु *b* व *c* के बीच तुल्य प्रतिरोध (ii) *c* व *d* के बीच तुल्य प्रतिरोध (iii) *a* व *e* के बीच तुल्य प्रतिरोध ज्ञात करें।



चित्र. 17.13 : प्रतिरोधकों के श्रेणी व समान्तर संयोजनों का समूहन

हल :

(i) प्रतिरोधक समान्तर क्रम में (5Ω, 10Ω and 30Ω) जुड़े हैं। इसलिए इनका तुल्य प्रतिरोध

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30} = \frac{6+3+1}{30} = \frac{10}{30}\Omega$$

या $$R_1 = 3\ \Omega$$

टिप्पणियाँ

(ii) 2Ω व 4Ω प्रतिरोध के प्रतिरोधक श्रेणीक्रम में हैं। अत: इनका तुल्य प्रतिरोध

$$R_2 = (2+4) = 6\Omega$$

(iii) इसी प्रकार 7Ω व 3Ω प्रतिरोध समान्तर क्रम में हैं

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{7}+\frac{1}{3} = \frac{3+7}{21} = \frac{10}{21}$$

या

$$R_3 = \frac{21}{10}\Omega = 2.1\ \Omega$$

अब हम R_1 व R_2 को श्रेणीक्रम में मान सकते हैं।

$$R_4 = R_1 + R_2 = (3+6) = 9\Omega$$

अब R_4 और R_3 समान्तर क्रम में हैं। अत: तुल्य प्रतिरोध

$$\frac{1}{R_5} = \frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_3} = \frac{1}{9}+\frac{1}{2.1}$$

$$= \frac{1}{9}+\frac{10}{21} = \frac{37}{63}$$

$$R_5 = \frac{63}{57}\Omega = 1.70\ \Omega$$

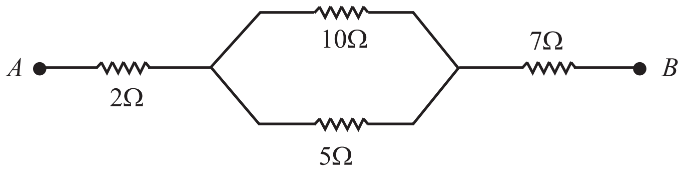
(iv) R_5 व 3Ω (a व b के बीच) श्रेणीक्रम में हैं। अत:

$$R = (1.70+3) = 4.79\ \Omega$$

टिप्पणी : सुविधा के लिए प्रत्येक गणना के बाद नए तुल्य परिपथ खींच लेने चाहिएं।

पाठगत प्रश्न 17.2

1. आपके कमरे में दो बल्ब व एक पंखा है। ये श्रेणी क्रम में जुड़े है या समान्तर क्रम में? क्यों?
2. कस्बों में विद्युत आपूर्ति सामान्यतया 220*V* पर होती है। कभी-कभी वोल्टेज 300 V तक बढ़ जाती है जिससे आपके टी.वी. व अन्य जुगतों को हानि पहुँच सकती है। आप अपने उपकरणों को बचाने के लिए क्या सरल सावधानी बरत सकते हैं?
3. *A* व *B* बिंदुओं के बीच तुल्य प्रतिरोध का मान ज्ञात करें।



टिप्पणियाँ

17.4 प्रतिरोधकों के प्रकार

अधिकतर इलेक्ट्रॉनिक या विद्युत परिपथों में धारा नियंत्रण के लिए प्रतिरोधको की आवश्यकता होती है। प्रतिरोधक सामान्यतया दो प्रकार के होते हैं:

- कार्बन प्रतिरोधक और
- तार लिपटे प्रतिरोधक

तार लिपटे प्रतिरोधकों में वांछित प्रतिरोध मान के अनुसार प्रतिरोध तार (मैंगनिन, कौन्स्टेन्टन या नाइक्रोम) की निश्चित लंबाई को अचालक बेलन पर प्रेरणहीन बनाने के लिए दोहरा करके लपेटा जाता है।

कार्बन प्रतिरोधक बनाने के लिए किसी उपयुक्त बंधनकारक युक्त कार्बन को बेलन के रूप में सांचित करते हैं तथा इसे विद्युत परिपथ में जोड़ने के लिए इसके सिरों पर तार की लीड जोड़ दी जाती है। प्रतिरोधकों को उनके प्रतिरोध की मात्रानुसार वर्ण कोड प्रदान किया जाता है।

पहले दो रंग प्रतिरोध मान के पहले दो अंको को दर्शाते है।

तीसरा रंग दस की घात के रूप में प्रतिरोध के गुणक का मान दर्शाता है।

चौथा तथा अंतिम रंग प्रतिरोधक की सहय्यता (टालरेंस) को दर्शाता है जो कि सुनहरे रंग के लिए 5 प्रतिशत, सिल्वर रंग के लिए 10 % और (प्रतिरोधक के) कायिक रंग के लिए 20 प्रतिशत है।

मान लीजिए कि प्रतिरोधक के चार रंग, नीला, सलेटी, हरा व सिल्वर हैं।

पहला अंक 6 (नीला) होगा।

दूसरा अंक 8 (सलेटी) होगा।

तीसरा रंग (गुणक) 10^5 (हरा)

चौथा रंग (सहय्यता) = 10% (सिल्वर)

अतः प्रतिरोध का मान होगा :

$$68 \times 10^5 \pm 10\%$$

$$= 68 \times 10^5 \pm (68 \times 10^5 \times 10/100)$$

$$= 68 \times 10^5 \pm 68 \times 10^4$$

$$= (6.8 \pm 0.68)\ M\Omega$$

तालिका 17.1 : प्रतिरोधकों का वर्ण कोड

रंग	अंक	गुणक
काला	0	1
भूरा	1	10^1
लाल	2	10^2
नारंगी	3	10^3
पीला	4	10^4
हरा	5	10^5
नीला	6	10^6
बैंगनी	7	10^7
सलेटी	8	10^8
सफेद	9	10^9

17.5 प्रतिरोधों की ताप निर्भरता

किसी चालक की प्रतिरोधकता इसके ताप पर निर्भर करती है। अधिकतर धातुओं के लिए प्रतिरोधकता ताप वृद्धि के साथ बढ़ती है और एक सीमा के अंदर यह संबंध रैखिक होता है:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)] \qquad (17.14)$$

जहां पर ρ वा ρ_0 क्रमश: ताप T व T_0 पर प्रतिरोधकताएं हैं। ताप °C में लिए जाते है। T_o संदर्भ ताप है। α को प्रतिरोधकता का ताप गुणांक कहते हैं। इसका मात्रक प्रति डिग्री सेल्सियस है।

अतिचालक

प्रतिरोधकता की ताप निर्भरता से प्रेरित होकर वैज्ञानिकों ने बहुत कम ताप पर पदार्थो के व्यवहार का अध्ययन करना प्रारंभ किया। उन्होंने पाया कि कुछ धातुओं और उनकी मिश्रध ातुओं की प्रतिरोधकता एक निश्चित ताप के नीचे पूर्णतया लुप्त हो जाती है; इस ताप को संक्रमण ताप कहते हैं जिसका किसी धातु के लिए एक विशेष मान होता है। ऐसे पदार्थो में धारा एक बार प्रवाहित होने के बाद बाह्य स्रोत हटा लेने पर भी सदा के लिए बनी रहती है। इस प्रकार के पदार्थो को **अतिचालक** कहते हैं।

शीघ्र ही यह महसूस किया गया कि कमरे के ताप पर हम अतिचालक बना सकें तो इससे पूरे तकनीकी क्षेत्र में क्रांतिकारी परिवर्तन आ जाएगा। इनको उच्च ताप अतिचालक नाम दिया गया है। उदाहरण के तौर पर ऊर्जा सक्षम अतिचालक कुंडलिनियों से बने शक्तिशाली विद्युत चुम्बक एक चुम्बकीय पथ के ऊपर वाहनों को ऊपर उठा सकते हैं जिससे कि उच्च चाल का परिवहन तंत्र संभव है।

अत: उच्च ताप पर अतिचालकों के निर्माण के प्रयास किए जा रहे हैं। अब तक किए गए प्रयास यह दर्शाते हैं कि तांबा, बेरियम और इट्रियम के ऑक्साइड अच्छी संभावनाएं दर्शाते हैं। $-153°C$ पर अस्तित्व बनाये रखने वाला एक अतिचालक ($T_2 Ba_2 Ca_2 Cu_3 O_{10}$) विकसित किया गया है। भारत इस क्षेत्र में अग्रणी बनकर अनुसंधान कर रहा है।

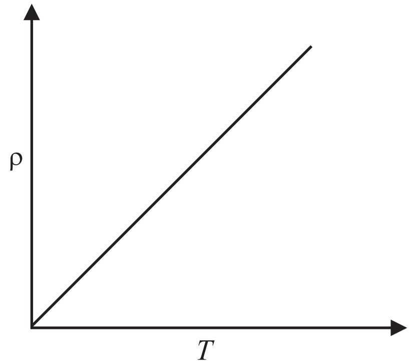
प्रतिरोधकता के ताप गुणांक का व्यंजक प्राप्त करने के लिए समीकरण 17.14 को इस प्रकार लिखा जा सकता है:

$$\rho = \rho_0 + \rho_0 \alpha (T - T_0)$$

या

$$\alpha = \frac{(\rho - \rho_0)}{\rho_0 (T - T_0)} = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

जहां $\Delta\rho = (\rho - \rho_0)$ और $\Delta T = T - T_0$.



(a)

चित्र. 17.14(c) :धातु के लिए प्रारुपिक प्रतिरोधकता ताप ग्राफ

चालक का प्रतिरोध प्रतिरोधकता का समानुपाती होता है। प्रतिरोध का तापीय परिवर्तन निम्न प्रकार लिखा जा सकता है।

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)] \quad (17.15)$$

दो भिन्न तापों T_1 व T_2 के संगत प्रतिरोध

$$R_1 = R_0 [1 + \alpha (T_1 - T_0)] \quad (17.16)$$

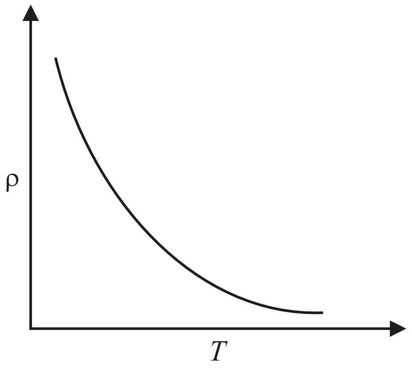
और

$$R_2 = R_0 [1 + \alpha (T_2 - T_0)] \quad (17.17)$$

इन समीकरण को संयुक्त करने पर, हम प्रतिरोधकता के ताप गुणांक के लिए निम्न व्यंजक लिख सकते हैं।

$$\alpha = \frac{(R_2 - R_1)}{R_0 (T_2 - T_1)} = \frac{1}{R_0} \frac{\Delta R}{\Delta T} \quad (17.18)$$

यदि $R_0 = 1\Omega$ और $(T_2 - T_1) = 1°C$, तब $\alpha = (R_2 - R_1)$. इस प्रकार प्रतिरोध का तापीय गुणांक **1Ω प्रतिरोध के 0° C पर रखे तार के प्रतिरोध मान में 1° C ताप परिवर्तन होने पर होने वाले परिवर्तन के बराबर होता है।** धातुओं का यह गुण प्रतिरोध थर्मामीटर बनाने में काम आता है। मिश्रधातुओं की प्रतिरोधकता भी ताप के साथ बढ़ती है।



(b)

चित्र. 17.14(b) : अर्धचालकों की प्रतिरोधकता ताप वृद्धि के साथ घटती है।

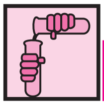
लेकिन यह वृद्धि धातुओं की अपेक्षा बहुत कम होती है। मैंगनिन, कॉन्सटेन्टन व नाइक्रोम मिश्रधातुओं के

टिप्पणियाँ

लिए प्रतिरोधकता का ताप गुणांक बहुत ही कम ($\sim 10^{-6}\,°C^{-1}$) होता है और प्रतिरोधकता बहुत अधिक होती है। अतः ये पदार्थ मानक स्तर के प्रतिरोध तार बनाने के लिए प्रयुक्त होते हैं। अर्धचालकों जैसे जर्मनियम व सिलिकॉन भी प्रतिरोधकताएं धातुओं और विद्युतरोधकों के बीच की होती है। सामान्यतया अर्धचालकों की प्रतिरोधकता ताप वृद्धि के साथ कम होती है [चित्र 17.15(b)]। इनके प्रतिरोध का ताप गुणांक ऋणात्मक होता है। इसकी विस्तृत व्याख्या आगे चलकर अर्धचालकों के पाठ में की जाएगी।

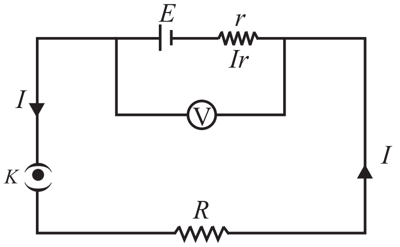
17.6 विद्युत वाहक बल (emf) और विभवान्तर

किसी सेल या बैटरी के सिरों के बीच खुले परिपथ में विभवान्तर उस सेल या बैटरी का विद्युत वाहक बल कहलाता है। नीचे दिए गए क्रियाकलाप द्वारा आप विद्युत वाहक बल और विभवान्तर के अंतर को भली-भांति समझ पाएंगे।



क्रियाकलाप 17.4

एक प्रतिरोधक R व कुंजी K के परिपथ में एक सेल जोड़ें। एक उच्च प्रतिरोध का वोल्टमीटर सेल के समान्तर क्रम में जोड़ा जाता है जैसा कि चित्र 17.15 में दिखाया गया है। जब कुंजी K बंद की जाती है तो वोल्टमीटर का पाठ्यांक कम हो जाएगा। क्या आप वोल्टमीटर के पाठ्यांक में इस कमी का कारण बता सकते हैं? वास्तव में जब कुंजी K खुली होती है तो सेल व वोल्टमीटर लूप यानी परिपथ में वोल्टमीटर के उच्च प्रतिरोध के कारण कोई धारा प्रवाहित नहीं होती। अतः वोल्टमीटर का पाठ्यांक सेल के विद्युत वाहक बल E के बराबर है जो कि सेल के सिरो के बीच विभवान्तर है जबकि इससे परिपथ में कोई धारा प्राप्त नहीं की जाती। जब कुंजी K बंद की जाती है तो सेल के अंदर व बाहर दोनों में धारा प्रवाहित होने लगती है। सेल एक प्रतिरोध r लगाता है जिसे सेल का *आंतरिक प्रतिरोध* कहते हैं। मान लें कि परिपथ में I धारा प्रवाहित हो रही है। धारा प्रवाहित होने के कारण आंतरिक प्रतिरोध r पर विभावान्तर Ir होता है जो कि सेल के विरुद्ध कार्य करता है। अतः बैटरी के सिरों के बीच वोल्टमीटर का पाठ्यांक होगा:



चित्र. 17. 15

$$E - Ir = V$$

या

$$E = V + Ir \qquad \{17.19)$$

अतः सेल से धारा खींची जाने की स्थिति में सेल का विद्युत वाहक बल बाह्य प्रतिरोध के सिरों पर विभवान्तर से सदैव अधिक होता है जब तक कि आंतरिक प्रतिरोध शून्य न हो।

किसी सेल का विद्युत वाहक बल निम्न बातों पर निर्भर करता है:

- सेल में प्रयुक्त विद्युत अपघट्य;
- इलैक्ट्रोड् का पदार्थ; और
- सेल का ताप

ध्यान दें कि सेल का विद्युत वाहक बल सेल के आकार, अर्थात् प्लेटों के क्षेत्रफल तथा उनके बीच की दूरी पर निर्भर नहीं करता है। अत: दो विभिन्न आकारों के (बड़ा व छोटा) सेलों के विद्युत वाहक बल समान हो सकते हैं– यदि इलैक्ट्रोडों का पदार्थ और विद्युत अपघट्य समान हों।

बड़े आकार के सेल अपने से होकर गुजरने वाली धारा का अधिक प्रतिरोध करते हैं परंतु उन्हें अधिक लम्बे समय तक प्रयोग किया जा सकता है।

उदाहरण 17.8 : जब एक बैटरी से 0.5A, एम्पीयर की धारा खींची जाती है तो उसके सिरों के बीच विभवान्तर 20V होता है और जब 2.0A धारा खींची जाती है तो विभवान्तर 16V रह जाता है। सेल का विद्युत वाहक बल व आतंरिक प्रतिरोध परिकलित कीजिए।

हल : माना E और r बैटरी का विद्युत वाहक बल एवं आतंरिक प्रतिरोध हैं; जब इससे I खींची जाती है तो सेल के सिरों पर विभवान्तर = Ir। तब हम इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$V = E - Ir$$

$I = 0.5\text{A}$ और $V = 20$ वोल्ट के लिए

$$20 = E - 0.5\,r \qquad \text{(i)}$$

$I = 2.0\text{A}$ और $V = 16$ वोल्ट के लिए, हम लिख सकते हैं

$$16 = E - 2r \qquad \text{(ii)}$$

इन समीकरणों को पुन: इस प्रकार लिखा जा सकता है

$$2E - r = 40$$

और

$$E - 2r = 16$$

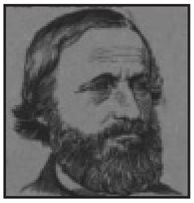
इन समीकरणों को हल करने पर

$$E = 21.3 \text{ V और } r = 2.67\Omega$$

17.7 किरखौफ के नियम

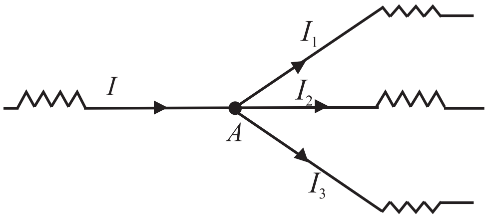
ओम का नियम सरल परिपथों के लिए धारा–वोल्टेज संबंध को दर्शाता है। लेकिन जटिल परिपथों में ओम के नियम के प्रयोग द्वारा धारा वितरण ज्ञात करना कठिन है। सन् 1842 में किरखौफ ने निम्न दो नियम बनाए जिनके द्वारा जटिल विद्युत परिपथों या विद्युत नेटवर्क में धारा वितरण ज्ञात किया जा सकता है।

गुस्टाव रॉबर्ट किरखौफ
(1824–1887)



जर्मन वैज्ञानिक किरखौफ का आधारभूत योगदान कृष्णिका विकिरण व स्पेक्ट्रोस्कोपी में था। लेकिन उन्होंने अन्य क्षेत्रों में भी योगदान दिया। इस अध्याय में आप जटिल विद्युत परिपथों के विश्लेषण के लिए उनके नियमों का अध्ययन करेंगे। बुंसन स्पेक्ट्रम विश्लेषण की सहायता से उन्होंने रूबीडियम व सीजियम की खोज की।

(i) **किरखौफ का प्रथम नियम (जंक्शन नियम):** इसके अनुसार किसी विद्युत नेटवर्क में किसी जंक्शन (बिंदु) की ओर आने वाली धाराओं का योग इससे दूर जाने वाली धाराओं के योग के बराबर होता है।



चित्र. 17.16 :किरखौफ का प्रथम नियम: एक जंक्शन की ओर आने वाली धाराओं का योग जंक्शन से दूर जाने वाली धाराओं के योग के बराबर होता है।

चित्र 17.16 को देखें। यदि हम बिन्दु A पर पहुंचने वाली धाराओं को धनात्मक और इससे दूर जाने वाली धाराओं को ऋणात्मक लें तो

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

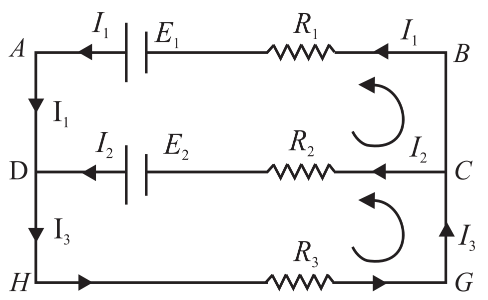
या
$$I - (I_1 + I_2 + I_3) = 0 \tag{17.20}$$

या दूसरे शब्दों में किसी जंक्शन पर सभी धाराओं का बीजगणितीय योग शून्य होता है। किरखौफ का नियम बतलाता है कि किसी भी बिंदु पर अचर धारा प्रवाहित होने की स्थिति में कोई आवेश एकत्रित नहीं होते हैं। किसी भी समय में किसी बिंदु की ओर आने वाले कुल आवेश व उससे दूर जाने वाले कुल आवेश बराबर होने चाहिए।

(ii) **किरखौफ का दूसरा नियम:** यह नियम विद्युत परिपथों में ऊर्जा संरक्षण के सिद्धांत का एक अनुप्रयोग है। यह नियम बतलाता है कि ***विद्युत नेटवर्क के किसी बंद लूप में धाराओं और प्रतिरोधों के गुणनों का बीजीय योग लूप में लगने वाले विद्युत वाहक बलों के बीजीय योग के बराबर होता है।***

इस नियम को उपयोग में लाते समय हम एक बिंदु से प्रारम्भ करते हैं और या तो दक्षिणवर्त या वामावर्त चलकर उसी बिंदु पर पहुँचते हैं। जब हम धारा की दिशा में चलते हैं तो धारा व प्रतिरोध का गुणन धनात्मक लिया जाता है। विद्युत वाहक बल धनात्मक लिया जाता है जब हम सेल से होकर ऋणात्मक इलैक्ट्रोड से धनात्मक इलैक्ट्रोड की ओर चलते है। गणितीय रूप में आप इसे इस प्रकार लिख सकते हैं।

$$IR = E \qquad (17.21)$$



चित्र. 17.17 : किरखौफ के दूसरे नियम को दर्शाने के लिए एक नेटवर्क

हम चित्र 17.17 में दिये गए विद्युत नेटवर्क पर विचार करते हैं। बंद लूप *ADCBA* के लिए हम लिख सकते हैं।

$$I_1R_1 - I_2R_2 = E_1 - E_2$$

इसी प्रकार लूप *DHGCD के लिए*

$$I_2R_2 + (I_1 + I_2)\, R_3 = E_2$$

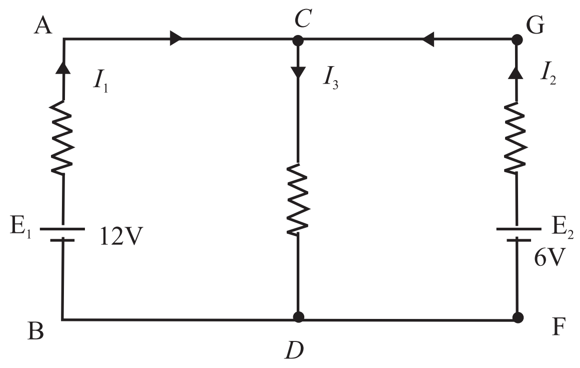
और लूप *AHGBA के लिए*

$$I_1R_1 + I_3\, R_3 = E_1$$

D बिंदु पर $\qquad I_1 + I_2 = I_3$

अधिक व्यापक रूप में किरखौफ के नियम का कथन इस प्रकार दिया जा सकता है: ***किसी परिपथ के बंद लूप में सभी विभवान्तरों का बीजीय योग शून्य होता है।***

उदाहरण 17.9 :चित्र 17.18 में दिए गए नेटवर्क पर विचार करें। नेटवर्क को दो बैटरियों द्वारा विद्युत धारा आपूर्ति की जाती है। I_1, I_2 और I_3. धाराओं के मान ज्ञात कीजिए। धाराओं की दिशाएं तीर द्वारा प्रदर्शित हैं।



चित्र. 17.18 : प्रतिरोधको और बैटरियों के एक नेटवर्क में धाराओं की गणना

हल: जंक्शन C के लिए किरखौफ का प्रथम नियम लगाने पर प्राप्त होता है।

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \qquad \text{(i)}$$

बंद लूपों $ACDBA$ और $GCDFG$ के लिए किरखौफ का दूसरा नियम लगाने पर

$$5I_1 + 2I_3 = 12 \qquad \text{(ii)}$$

और

$$3I_2 + 2I_3 = 6 \qquad \text{(iii)}$$

समीकरण (iii) को समीकरण (ii) में से घटाने पर

$$5I_1 - 3I_2 = 6 \qquad \text{(iv)}$$

समी. (i) को 2 गुणा करके समी. (ii) में जोड़ने पर

$$7I_1 + 2I_2 = 12 \qquad \text{(v)}$$

समी (i) को 2 और समी. (v) को 3 से गुणा करके जोड़ने पर हम प्राप्त करते हैं।

$$31I_1 = 48$$

या

$$I_1 = 1.548\text{A}$$

I_1 का मान समी. (5) में रखने पर, हमें प्राप्त होता है

$$I_2 = 0.582\text{A}$$

और समी. (i) से

$$I_3 = I_1 + I_2 = 2.13\text{A}$$

17.6.1 प्राथमिक एवं द्वितीयक सेलों के संबंध में प्रारंभिक जानकारी

हम देख चुके हैं कि किसी चालक में लगातार धारा प्रावाहित करने के लिए हमें इसके सिरों के बीच विभवान्तर बनाकर रखना पड़ता है। इस काम के लिए, आमतौर पर हम एक युक्ति का उपयोग करते है, जिसे रासायनिक सेल कहते हैं।

रासायनिक सेल दो प्रकार के होते हैं:

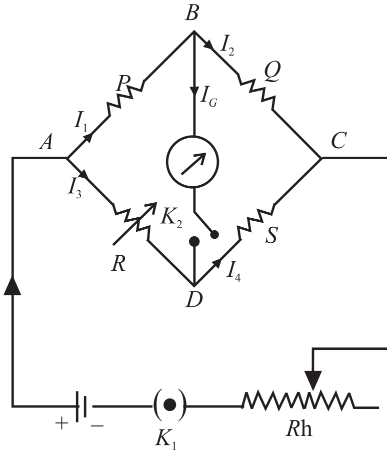
(i) **प्राथमिक सेल:** इन सेलों में रासायनिक ऊर्जा सीधे विद्युत ऊर्जा में रूपान्तरित होती है। इस्तेमाल करने से प्राथमिक सेल के पदार्थ खर्च हो जाते हैं और इसलिए इनको पुन: आवेशित करके उपयोग में नहीं लाया जा सकता। शुष्क सेल, डेनियल सेल, वोल्टाई सेल आदि प्राथमिक सेलों के उदाहरण हैं।

(ii) **द्वितीयक सेल:** ये ऐसे सेल होते हैं जिनमें विद्युत ऊर्जा को एक उत्क्रमणीय रासायनिक अभिक्रिया के रूप में संचयित किया जाता है। जब सेल का उपयोग धारा प्राप्त करने के लिए किया जाता है तो यह रासायनिक अभिक्रिया विपरीत दिशा में होती है और मूल पदार्थ फिर से प्राप्त हो जाते हैं। इसलिए इन सेलों को बार-बार आवेशित किया जा सकता

है। एसिड संचायक बैटरी, जिसका उपयोग हम इन्वर्टर या कार में करते हैं, द्वितीयक सेलों का समुच्चय ही होती है।

17.7.1 व्हीटस्टोन ब्रिज

जैसा कि आप जानते हैं किसी विद्युत परिपथ में एक वोल्टमीटर व अमीटर प्रयोग करके ओम के नियम से प्रतिरोध ज्ञात किया जा सकता है। लेकिन निम्न प्रतिरोधकों के लिए यह मापन परिशुद्ध नहीं भी हो सकता है। इस कठिनाई को दूर करने के लिए हम ह्वीटस्टोन ब्रिज का उपयोग करते हैं। यह चार प्रतिरोधों का एक विन्यास होता है जिसके द्वारा किसी एक प्रतिरोध का मापन अन्य तीन प्रतिरोधों के रुप में किया जाता है। चित्र 17.19 पर विचार करें जहाँ



चित्र 17.19 : ह्वीटस्टोन ब्रिज की संतुलन अवस्था में गैल्वेनोमीटर में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती

(i) P और Q दो समायोज्य प्रतिरोध हैं जो ब्रिज की दो अनुपाती भुजाओं AB और BC से जुड़े हैं।

(ii) R एक समायोज्य ज्ञात प्रतिरोध है। ब्रिज की भुजा AD को ज्ञात भुजा कहते हैं।

(iii) S मापन किया जाने वाला अज्ञात प्रतिरोध है। ब्रिज की CD भुजा अज्ञात भुजा कहलाती है।

(iv) एक सुग्राही गैल्वेनोमीटर G को एक कुंजी k_2 के साथ ब्रिज की BD भुजा में जोड़ा जाता है।

(v) एक बैटरी E को एक कुंजी K_1 के साथ भुजा AC में जोड़ा जाता है। भुजाएं AC तथा AB संयुग्मी भुजाएं कहलाती है।

कुंजिओं को बंद करने पर, सामान्य अवस्था में, गैल्वेनोमीटर में कुछ धारा प्रवाहित होती है जिससे आप धारामापी में कुछ विक्षेप प्राप्त करते हैं। यह प्रदर्शित करता है कि बिन्दुओं B तथा D के मध्य कुछ विभवान्तर है। अब हम निम्न तीन अवस्थाओं पर विचार करेंगे।

(i) **बिंदु B बिंदु D की अपेक्षा अधिक विभव पर है:** धारा B बिंदु D की ओर बहेगी और गैल्वेनोमीटर में एक ओर विक्षेप होगा।

(ii) **बिंदु B बिंदु D की अपेक्षा कम विभव पर है :** धारा D से B की ओर बहेगी और धारामापी में विपरीत दिशा में विक्षेप होगा।

(iii) **दोनों बिन्दुओं B व D का विभव समान है:** इस दशा में धारामापी में कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी और उसमें कोई विक्षेप नहीं होगा अर्थात धारामापी शून्य विक्षेप की स्थिति में है। इस स्थिति में ह्वीटस्टोन ब्रिज *संतुलित अवस्था* में कहलाता है।

बिंदु B तथा D समान विभव पर तभी होंगे जब P के सिरों पर विभव पात R के सिरों पर विभव पात के बराबर होगा। अत: शून्य विक्षेप की स्थिति में

$$I_1 P = I_3 R \qquad (17.22)$$

लेकिन $$I_1 = I_2 + I_G$$

तथा $$I_4 = I_3 + I_G \qquad (17.23)$$

जंक्शन B एवं D पर करखौफ के प्रथम नियम को लगाने पर शून्य विक्षेप ($L_G = 0$) की स्थिति में हमें प्राप्त होता है

$$I_1 = I_2$$

और $$I_3 = I_4 \qquad (17.24)$$

इसी प्रकार Q के सिरों पर विभव पात व S के सिरों पर विभव पात बराबर होगा। अत:

$$I_2 Q = I_4 S \qquad (17.25)$$

समी (17.22) को समी. (17.25) से भाग देने पर

$$\frac{I_1 P}{I_2 Q} = \frac{I_3 R}{I_4 S} \qquad (17.26)$$

समी. (17.24) का उपयोग करने पर

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \qquad (17.27)$$

यह ह्वीटस्टोन ब्रिज के संतुलन की स्थिति है। समीकरण (17.27) से अज्ञात प्रतिरोध S का मान

$$S = \frac{QR}{P}$$

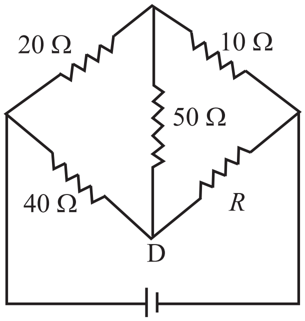
आप आसानी से देख सकते हैं कि व्हीटस्टोन ब्रिज से प्रतिरोध मापन की निम्नांकित विशेषताएं हैं:

(i) समी.. (17.27) द्वारा दी गई संतुलन अवस्था (शून्यविक्षेप अवस्था) आरोपित वोल्टेज पर निर्भर नहीं करती है। दूसरे शब्दों में , यदि आप सेल का विद्युत वाहक बल बदल देते है तो संतुलन नहीं बदलेगा।

(ii) प्रतिरोध मापन धारावाही के अंशाकन की यथार्थता पर निर्भर नहीं करता है। धारामापी का तो केवल शून्य विक्षेप सूचक (धारा संसूचक) की भांति उपयोग किया जाता है।

व्हीटस्टोन ब्रिज द्वारा मापन की यथार्थता को प्रभावित करने वाला मुख्य कारक उसकी सुग्राहिता है जिससे शून्य विक्षेप स्थिति में परिवर्तन को संसूचित किया जा सकता है। यह पाया गया है कि जब ब्रिज प्रतिरोध यथासंभव लगभग बराबर होते हैं तो उनकी सुग्राहिता अधिकतम होती है।

उदाहरण 17.9: चित्र 17.20 में R का मान ज्ञात करें। जब 50Ω के प्रतिरोधक में कोई धारा प्रवाहित न हो रही हो।



चित्र 17.20: जब 50Ω प्रतिरोधक से कोई धारा नहीं गुजरती तो ब्रिज संतुलित होता है।

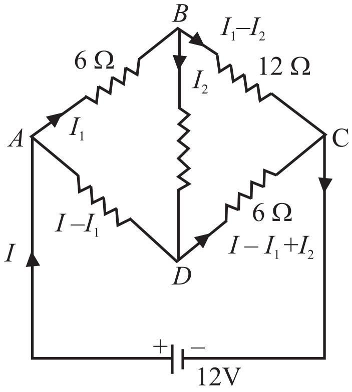
हल: यह व्हीटस्टोन ब्रिज से समतुल्य परिपथ है जिसमें गैल्वेनोमीटर को 50Ω के प्रतिरोधक से बदल दिया गया है। ब्रिज संतुलित है। चूँकि 50Ω के प्रतिरोधक में कोई भी धारा नहीं है:

$$\frac{20}{10} = \frac{40}{R}$$

या $$R = \frac{40 \times 10}{20} = 20\Omega$$

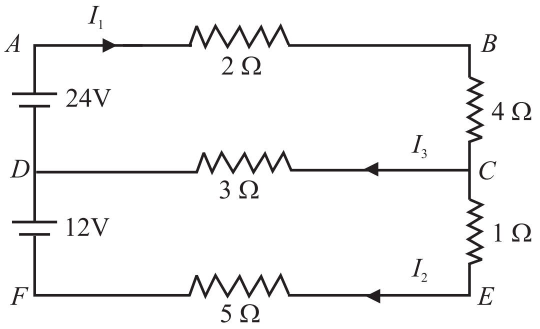
पाठगत प्रश्न 17.3

1. *AB*, *AD* व *BD* भुजाओं में धारा के मान ज्ञात करें।



टिप्पणियाँ

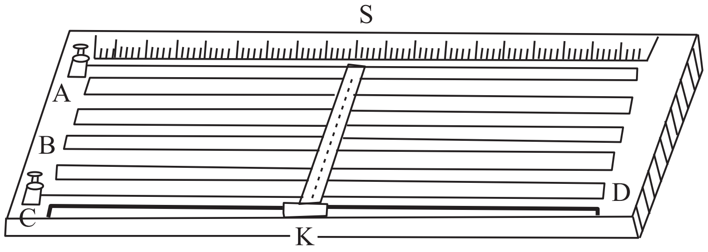
2. निम्न परिपथ की जांच करके I_1, I_2 तथा I_3 के मान ज्ञात करें



अब आप वोल्टमीटर की सहायता से किसी विद्युत स्रोत का विद्युत वाहक बल या किसी परिपथ अवयव के सिरों पर विभवान्तर मापना जान चुके हैं (एक आदर्श वोल्टमीटर का प्रतिरोध अनंत होना चाहिए जिससे कि यह किसी विद्युत वाहक बल स्रोत के सिरों पर लगाए जाने पर उससे कोई धारा न खींचे)। व्यावहारिक दृष्टि से ऐसा वोल्टमीटर बनाना संभव नहीं है जो स्रोत से कोई धारा न खींचे। इस कठिनाई को दूर करने के लिए हम एक विभवमापी का प्रयोग करते हैं जो स्रोत से कोई धारा नहीं लेता और मापन कर सकता है। इसमें शून्य विक्षेप विधि उपयोग में लाई जाती है। विभवमापी का उपयोग किसी सेल के आतंरिक प्रतिरोध परिपथ में बहने वाली धारा तथा प्रतिरोधों की तुलना के लिए होता है।

17.8.1 विभवमापी का वर्णन

विभवमापी में एक लकड़ी का बोर्ड होता है जिसमें बड़ी संख्या में (प्राय: दस) एक समान अनुप्रस्थ काट के परस्पर समान्तर तार खिंचकर बंधे रहते हैं। तार मैंगनिन या नाइक्रोम का होता है। ये तार मोटी तांबे की पट्टियों से श्रेणीक्रम में जुड़े रहते हैं। इस प्रकार सभी तार मिलकर एक अकेले तार की भांति कार्य करते हैं जिसकी लंबाई सभी तारों की लंबाई के योग के बराबर होती है। तारों के अंतिम सिरों पर संयोजी पेंच लगे रहते हैं। लकड़ी के बोर्ड पर तारों के समान्तर एक मीटर स्केल लगा होता है। तारों पर एक विसर्पी कुंजी खिसकती है जिससे किसी भी तार के किसी भी बिंदु पर क्षुर धार संपर्क किया जा सकता है। विसर्पी कुंजी में एक संकेतक होता है जो स्केल पर घूमता है। यह क्षुर धार संपर्क की स्थिति पढ़ता है। A और B तार के सिरे हैं। K विसर्पी कुंजी और S स्केल है। विसर्पी कुंजी छड़ CD पर खिसकती है।



चित्र 17.21 : विभवमापी को दर्शाने वाला आरेख

17.8.2 विभवमापी द्वारा मापन का सिद्धांत

मान लीजिए हमारे पास विद्युत वाहक बल का एक स्थाई स्रोत (जैसे एक संचायक सेल), l लम्बाई के एक समान प्रतिरोध के तार AB के सिरों से जुड़ा है। संचायक का धनात्मक सिरा A पर जुड़ा हुआ है (चित्र 17.22)। तार में होकर एक स्थिर धारा I प्रवाहित होती है। AB पर विभवान्तर का मान

$$V_{AB} = RI$$

यदि r प्रति एकांक लंबाई का प्रतिरोध है तथा K तार के प्रति एंकाक लंबाई पर विभवपात है तो

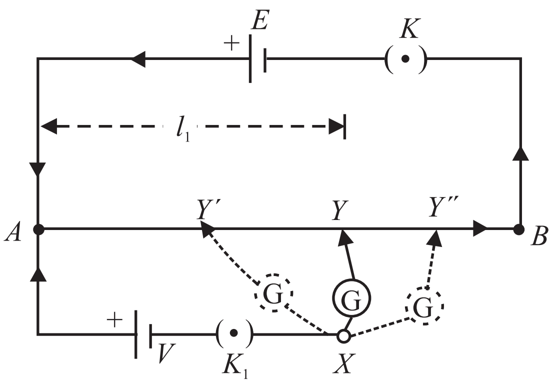
$$R = r\ell$$

और $$E = k\,\ell$$

या $$k = \frac{E}{\ell}$$

तार की ℓ_1 लंबाई पर विभवपात

$$V_1 = k\ell_1 = \frac{E}{\ell}\ell_1 \qquad (17.28)$$



चित्र 17.22 : एक सेल के सिरों का विभवान्तर मापने के लिए विभवमापी परिपथ

अत: विभवपात A से B की ओर दूरी बढ़ने (धनात्मक से ऋणात्मक सिरे की ओर) पर रेखीय रुप में बढ़ता है।

मान लीजिए हम एक अज्ञात वोल्टेज V को मापना चाहते हैं। सेल का धनात्मक सिरा A पर जोड़ देते हैं और ऋणात्मक सिरा धारामापी से होकर विसर्पी कुंजी से जोड़ते हैं जिसका परिवर्ततीय संपर्क Y है। स्मरण रहे कि $V > E$ के लिए शून्य विक्षेप बिंदु प्राप्त करना संभव नहीं होगा। अत: हम विद्युत वाहक बल E(>V) वाले एक मानक सेल का प्रयोग करते हैं, जैसा कि चित्र 17.22 में दर्शाया गया है। इसे जांचने के लिए कुंजियों k व k_1 को लगाइए और विसर्पी कुंजी को सिरों A तथा B पर दबाइए। धारामापी को दोनों सिरों पर विपरीत दिशाओं में विक्षेप का प्रदर्शन करना चाहिए। यदि ऐसा है तो परिपथ सही है।

मान लीजिए माप विसर्पी कुंजी को A से B की ओर चलाना प्रारम्भ करते हैं। Y′ स्थिति में मान लीजिए तार की लंबाई AY′ पर विभवपात वोल्टेज V. से कम है। तब वोल्टेज V के कारण लूप AY'XA में धारा का मान AY′ में विभवान्तर के कारण धारा के मान से अधिक होता है। अत: धारामापी में एक ओर धारा प्रवाहित होती है। फिर विसर्पी कुंजी को और दूर मान लीजिए Y″ तक चलाया जाता है जिससे AY″ पर विभवपात वोल्टेज V से अधिक हो धारामापी दूसरी दिशा में विक्षेप देता है। अब Y और Y″ के बीच में विसर्पी कुंजी को धीरे-धीरे घुमाया जाता है। बिन्दु Y पर स्थिति इस प्रकार की होती है कि AY″ पर विभवपात ठीक V के बराबर हो जाता है। तब बिंदु X और Y समान विभव पर हो जाते हैं जिससे धारामापी

में कोई विक्षेप नहीं होता है। अर्थात शून्य विक्षेप की स्थिति आ जाती है। यदि आप AY की लंबाई l_1 लें तो

$$V = k\ell_1 = \frac{E\ell_1}{\ell} \quad (17.29)$$

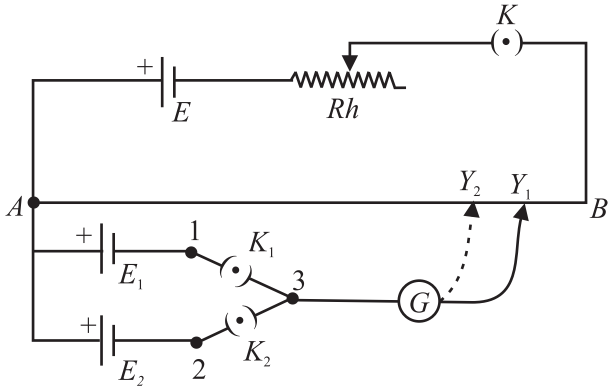
इस प्रकार बिना धारा प्रवाहित हुए ही एक अज्ञात वोल्टेज V का मान ज्ञात किया जा सकता है।

एक विभवमापी के निम्न लाभ हैं:

- जब विभवमापी संतुलित होता है तो मापन किए जाने वाले परिपथ, में कोई धारा नहीं बहती है।
- यह जिस परिपथ में जोड़ा जाता है उसकी दशा में परिवर्तन नहीं करता है।
- इसमें मापन के लिए शून्य विक्षेप की स्थिति उपयोग की जाती है, अतः धारामापी के अंशांकन की आवश्यकता नहीं रहती।

17.8.3 विभवमापी द्वारा दो सेलों के विद्युत वाहक बलों की तुलना करना

आप एक विभवभावी प्रयोग करके सेल का विद्युत वाहक बल ज्ञात करना सीख चुके हैं। उसी तकनीक को आगे बढ़ाकर हम दो सिलों के विद्युत वाहक बलों की तुलना करेंगे। उदाहरण के लिए हम एक डेनियल सेल व एक लेक्लांशी सेल लेते हैं। मान लीजिए इनके विद्युत वाहक बल क्रमशः E_1 और E_2 हैं। परिपथ 17.23 की भांति विभवमापी को परिपथ में जोड़ते हैं। एक E_1 विद्युत वाहक बल के सेल को कुंजी के 1 व 3 सिरों के बीच प्लग लगाकर परिपथ में जोड़ते हैं। जैसा कि पहले बताया जा चुका है, विभवमापी के तार पर विसर्पी कुंजी को खिसकाकर संतुलन बिंदु ज्ञात कर लेते हैं। मान लीजिए कि संतुलन बिंदु Y_1 पर है तथा लंबाई $AY_1 = l_1$। फिर विद्युत वाहक बल E_2 के दूसरे सेल को कुंजी के 2 व 3 सिरों के मध्य प्लग लगाकर परिपथ से जोड़ते हैं। पुनः संतुलन प्राप्त करते हैं। मान लीजिए यह बिंदु Y_2 पर प्राप्त होता है, तथा लंबाई $AY_2 = l_2$



चित्र. 17.23 : E_1 और E_2 सेलों के विद्युत वाहक बलों की तुलना। सेल E का विद्युत वाहक बल E_1 और E_2 के अलग-अलग मानों से अधिक होना चाहिए।

विभवमापी का सिद्धांत लगाने पर हम लिख सकते हैं

$$E_1 = kl_1 \text{ and } E_2 = kl_2$$

जहां पर k तार AB.की विभवमापी प्रवणता है। अत:

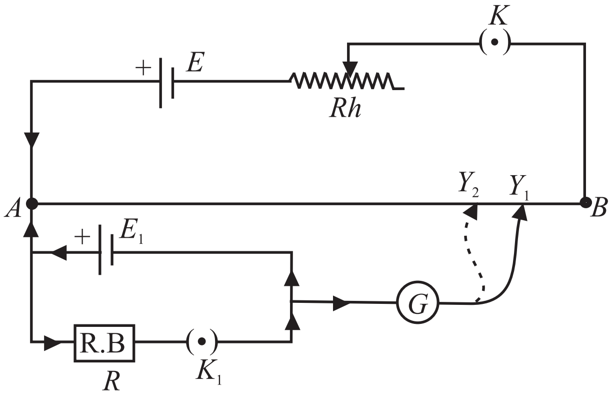
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2} \qquad (17.30)$$

17.8.4 सेल का आंतरिक प्रतिरोध ज्ञात करना

आप जान चुके हैं कि सेल अपने में से होकर प्रवाहित होने वाली धारा पर प्रतिरोध लगाता है जो प्राय: अत्यधिक न्यून होता है। यह प्रतिरोध सेल का आंतरिक प्रतिरोध कहलाता है और सेल के आकार पर निर्भर करता है। अर्थात द्रव में डूबी प्लेटों के क्षेत्रफल, प्लेटों के बीच की दूरी तथा सेल में प्रयुक्त विद्युत अपघट्य की साँद्रता पर निर्भर करता है।

अब हम सीखेंगे कि विभवमापी के उपयोग से किस तरह एक सेल का आंतरिक प्रतिरोध मापा जाता है। चित्र 17.24 को देंखें। यह E_1 विद्युत वाहक बल वाले एक सेल के आंतरिक प्रतिरोध 'r' को मापने के लिए परिपथ आरेख को दर्शाता है। सेल के समान्तर क्रम में एक प्रतिरोध बक्स और एक कुंजी K_1 जोड़ें। प्राथमिक परिपथ में एक मानक सेल, एक धारा नियंत्रक और एक दिशीय कुंजी K होती है। जैसे ही कुंजी K बंद की जाती है तार AB से होकर धारा I प्रवाहित होती है। कुंजी K_1 खुली रखी जाती है और विसर्पी कुंजी को सरकाकर सेल के साथ संतुलन स्थिति ज्ञात कर लेते हैं। मान लीजिये यह Y_1. पर है। यदि $AY_1 = l_1$. तब

$$E_1 = kl_1 \qquad (17.31a)$$



चित्र. 17.24 : एक सेल के आंतरिक प्रतिरोध का मापन

अब कुंजी K_1 बंद कर दी जाती है। इससे सेल में प्रतिरोध उत्पन्न हो जाता है। सेल E_1 के कारण लूप RK_1E_1 में धारा I_1 प्रवाहित होगी। इस धारा I का मान ओम के नियम से

$$I_1 = \frac{E_1}{R+r}$$

जहां r सेल का आतंरिक प्रतिरोध है। अब सेल के सिरों का विभवान्तर V_1 उसके विद्युत वाहक बल E_1 से $I_1 r$ परिमाण से कम है। V_1 का मान है

$$V_1 = I_1 R = \frac{E_1}{R+r} R$$

अब मुख्य परिपथ की धारा I को बिना बदले विभवान्तर V_1 को विभवमापी के तार पर संतुलित होते हैं। संतुलन बिंदु Y_2 पर प्राप्त होता है जहां $AY_2 = l_2$ तथा

$$V_1 = kl_2 \qquad (17.31b)$$

समीकरण 17.30 और समीकरण 17.33 की सहायता से हमें निम्न संबंध प्राप्त होता है

$$\frac{E_1}{V_1} = \frac{\ell_1}{\ell_2} = \frac{R+r}{R}$$

या

$$r = R\left(\frac{l_1}{l_2} - 1\right) \qquad (17.32)$$

इस प्रकार R_1, l_1 और l_2 ,का मान ज्ञात होने पर r का मान ज्ञात किया जा सकता है।

उदाहरण 17.10 : विभवमापी के तार की लंबाई 5 m है। यह एक नियत विद्युत वाहक बल की बैटरी से जोड़ा गया है। डेनियल सेल के लिए शून्य विक्षेप बिंदु 100 cm पर प्राप्त होता है। यदि तार की लम्बाई 7 m रखी जाए तब शून्य विक्षेप स्थिति क्या होगी?

हल: मान लीजिए कि बैटरी का विद्युत वाहक बल E वोल्ट है। 5 m लंबाई के लिए विभव प्रवणता

$$k_1 = \frac{E}{5} \text{ Vm}^{-1}$$

जब विभवमापी के तार की लंबाई 7 m ली जाती है तब विभव प्रणवता का मान होगा।

$$k_2 = \frac{E}{7} \text{ Vm}^{-1}$$

अब यदि शून्य विक्षेप स्थिति l_2 मीटर पर प्राप्त होता है तो

$$E_1 = k_2 \ell_2 = \frac{E}{7} \ell_2$$

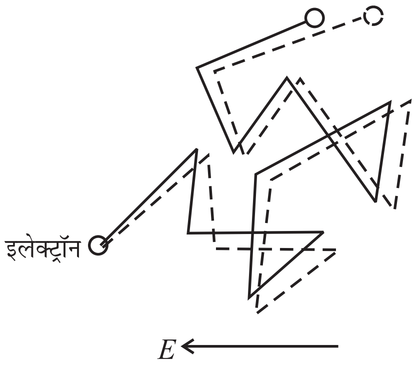
यहां पर एक ही सेल से दो विन्यासों में संतुलन प्राप्त किया गया है। अत:

$$\frac{E}{5} = \frac{E}{7} \ell_2$$

$$\Rightarrow \qquad \ell_2 = 7/5 = 1.4\text{m}$$

17.9 इलेक्ट्रॉनों का अपवाह वेग

अब हम धातुओं में विद्युत चालन की सूक्ष्मदर्शीय छवि को समझने का प्रयास करते हैं। यहां पर एक सरल प्रतिरूप लिया जा रहा है। इस प्रतिरूप का महत्त्व इस तथ्य में निहित है कि यह ओम के नियम की पुष्टि करता है।



चित्र. 17.25 :एक विद्युत क्षेत्र में रखे चालक में इलेक्ट्रॉनों का अपवाह।

हम मानते हैं कि धात्विक ठोसों में परमाणुओं का एक नियमित आवर्ती विन्यास होता है। प्रत्येक परमाणु सामान्यत: मुक्त इलेक्ट्रॉनों का योगदान देता है जिन्हें चालन इलेक्ट्रॉन भी कहते हैं। ये इलेक्ट्रॉन पदार्थ के सम्पूर्ण आयतन में सादृच्छिक ढंग से गति करने को स्वतंत्र होते हैं। लगभग उसी प्रकार जैसे कि गैस के अणु किसी पात्र में मुक्त रूप से विचरण करते हैं। इसी कारण से कभी-कभी चालन इलेक्ट्रॉनों को *इलेक्ट्रॉन गैस* भी कहा जाता है। चालन इलेक्ट्रानों की औसत गति लगभग $10^6 ms^{-1}$ के कोटि की होती हैं।

विद्युत क्षेत्र की अनुपस्थिति में चालक से कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है, क्योंकि मुक्त इलेक्ट्रॉनों का *औसत वेग* शून्य है। $+x$ दिशा में चलने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या $-x$ दिशा में चलने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या के बराबर होती है। अत: किसी दिशा में आवेश का नेट प्रवाह नहीं होता।

चालन इलेक्ट्रॉन ठोस के परमाणुओं से बार-बार टकराते हैं। मुक्त इलेक्ट्रॉन विद्युत क्षेत्र की दिशा के विपरीत गति करते हैं। इलेक्ट्रॉनों का औसत अपवाह वेग $10^{-4} ms^{-1}$ की कोटि का होता है। यह इलेक्ट्रानों के दो क्रमिक संघट्टों के बीच के वेग की तुलना में बहुत कम होता है। विद्युत क्षेत्र लगाए जाने पर, चालन इलेक्ट्रॉन त्वरित हो जाते हैं। इलेक्ट्रॉनों द्वारा प्राप्त की गई अतिरिक्त ऊर्जा परमाणुओं के साथ संघट्ट में क्षय हो जाती है। परमाणु ऊर्जा प्राप्त करते हैं और अधिक तेजी से कंपन करते हैं। चालक गर्म हो जाता है। चित्र 17.25 दर्शाता है कि विद्युत क्षेत्र के लगाए जाने पर इलेक्ट्रॉनों की गति कैसे परिवर्तित होती है।

अब हम चालन इलेक्ट्रानों के अपवाह वेग के लिए एक व्यंजक प्राप्त करेंगे।

माना e और m क्रमश: इलेक्ट्रॉन का आवेश व द्रव्यमान हैं और E विद्युत क्षेत्र है। इलेक्ट्रॉन पर लगने वाला बल eE है। अत: इलेक्ट्रॉन पर लगने वाला त्वरण होगा।

$$\mathbf{a} = \frac{e\mathbf{E}}{m}$$

यदि संघट्टों के बीच का औसत समय τ हो तो

$$\boldsymbol{v}_d = \frac{e\mathbf{E}}{m}\tau$$

समीकरण (17.4) के प्रयोग द्वारा इस परिणाम से हम धारा का व्यंजक ज्ञात कर पाते हैं:

$$I = -neAv_d$$

$$= -neA\frac{eE}{m}\tau$$

$$= -\frac{Ane^2E}{m}\tau$$

चूँकि विद्युत क्षेत्र विभव की ऋणात्मक स्थानिक प्रवणता $\left(E = -\frac{\partial V}{\partial r}\right)$ है। धारा के व्यंजक को हम निम्न प्रकार से लिख सकते हैं।

$$I = +\frac{ne^2A}{m}\frac{V}{\ell}\tau \qquad (17.33)$$

$$\Rightarrow \qquad \frac{V}{I} = \frac{m}{ne^2\tau}\frac{\ell}{A} = R \qquad (17.34)$$

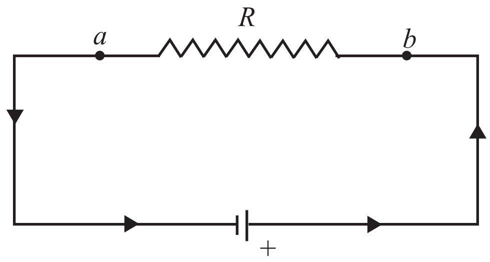
समीकरण (17.34) दर्शाता है कि चालन धारा ओम के नियम का पालन करती है।

समीकरण (17.4) के प्रयोग द्वारा इस परिणाम को हम निम्न प्रकार व्यक्त कर सकते हैं।

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m}{ne^2\tau} \qquad (17.35)$$

17.10 विद्युत परिपथ में ऊर्जा की खपत

हम नीचे दर्शाए गए परिपथ पर विचार करते हैं जहां एक बैटरी को एक बाहरी प्रतिरोधक के साथ जोड़ दिया गया है (चित्र 17.26) धनावेश (मान्यता के अनुसार) प्रतिरोधक में विद्युत धारा की दिशा में प्रवाहित होते है व बैटरी के अंदर ऋणात्मक सिरों से धनात्मक सिरे की ओर प्रवाहित होते हैं। दो बिंदुओं के बीच विभावान्तर आवेशों को गतिज ऊर्जा प्रदान करता है। ये गतिशील आवेश प्रतिरोधक में परमाणुओं (आयनों) से टकराते हैं और इस तरह अपनी गतिज ऊर्जा का एक भाग खो देते हैं। यह ऊर्जा प्रतिरोधक के ताप के साथ बढ़ती है। गतिशील आवेशों की ऊर्जा की क्षतिपूर्ति बैटरी की रासायनिक ऊर्जा के व्यय द्वारा होती है।



चित्र. 17.26 : बैटरी व प्रतिरोधक युक्त परिपथ ऊर्जा की खपत दो बिंदुओं a व b के बीच विभवान्तर व प्रतिरोधक से गुजरने वाली धारा पर निर्भर करती है

एक ΔQ मात्रा के गतिशील आवेश के प्रतिरोधक से गुजरने पर स्थितिज ऊर्जा के ह्रास की दर

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = V\frac{\Delta Q}{\Delta t} = VI \qquad (17.36)$$

जहां पर I विद्युत धारा और V प्रतिरोधक के सिरों के बीच विभवान्तर है।

यह माना जाता है कि संयोजक तारों का प्रतिरोध नगण्य होता है। कुल ह्रास प्रतिरोधक R में ही होता है। ऊर्जा खपत की दर को शक्ति के रूप में परिभाषित करते हैं:

$$P = VI$$

चूँकि $V = IR$

$$P = I^2R = V^2/R \qquad (17.37)$$

शक्ति का SI मात्रक वाट (w) है।

ऊष्मा के रूप में चालक में क्षय हुई विद्युत शक्ति को *जूल ऊष्मा* कहते है। उत्पन्न ऊष्मा (i) धारा के वर्ग यानि I^2 की समानुपातिक है (ii) चालक के प्रतिरोध R की समानुपातिक है और (iii) वह समय t जब तक धारा प्रवाहित की जाती है, उसके समानुपातिक है।

कथन $Q = I^2 Rt$, धारा के तापीय प्रभाव के लिए जूल का नियम कहलाता है।

उदाहरण: 17.11 : आपके घर में 220 वोल्टेज की आपूर्ति के साथ 60W का बल्ब जुड़ा है। बल्ब द्वारा उपभोग में लाई गई शक्ति, बल्ब के तंतु का प्रतिरोध व बल्ब से गुजरने वाली ध ारा का मान ज्ञात कीजिए।

हल : हम जानते हैं कि $\quad I = P/V$

$\therefore \quad = \dfrac{60\text{W}}{220\text{V}} = \dfrac{3}{11}\text{A} = 0.27\text{A}$

बल्ब का प्रतिरोध

$$R = \frac{V}{I}$$

$$= \frac{220V}{3/11A}$$

$$= \frac{220\times 11}{3}\Omega = 807\Omega$$

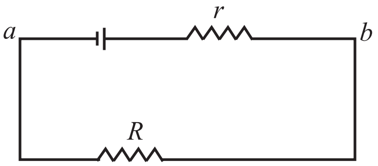
बल्ब प्रति सेंकड 60J ऊर्जा का उपयोग करता है। एक घंटे में यह 60 Wh और एक दिन में $60 \times 24 = 1440$ ऊर्जा है। एक दिन में ऊर्जा की खपत =1.440 WH आम व्यक्ति की भाषा में, इसे 1.4 इकाई ऊर्जा कहते हैं।

पाठगत प्रश्न 17.4

1. जब सेल से ली जाने वाली धारा बढ़ जाती है तो इसकी प्लेटों के बीच विभवान्तर घट जाता है। क्यों?

2. एक धात्विक तार का प्रतिरोध 20° C पर 30Ω व 40° C व 30.16Ω है। प्रतिरोध का ताप गुणांक ज्ञात कीजिए।

3. एक सेल का विद्युत वाहक बल 5.0 V व परिपथ में R 4.5Ω है। यदि a व b बिंदुओं के बीच विभवान्तर 3.0 V हो तो सेल का आतंरिक प्रतिरोध r ज्ञात करें।



4. एक विभवमापी परिपथ में एक अज्ञात विद्युत वाहक बल मापे जाने पर A से 45cm पर शून्य विक्षेप स्थिति प्राप्त होती है। परिपथ में एक 102V का सेल जोड़ दिए जाने पर यह शून्य विक्षेप स्थिति A से 30 cm पर चला जाता है। एक मानक सेल E हमेशा परिपथ में स्थिर धारा प्रवाहित करता है। अज्ञात विद्युत वाहक बल का मान ज्ञात करें।

5. एक विभवमापी परिपथ का प्रयोग दो सेलों E_1 व E_2 के विद्युत वाहक बलों की तुलना के लिए किया जाता है। शून्य विक्षेप स्थिति E_1 व E_2 के लिए क्रमशः 30 cm व 45 cm पर प्राप्त होते हैं। यदि $E_2 = 3.0$ V तो E_1 का मान ज्ञात करें।

6. एक 0.30A की धारा एक 500Ω के प्रतिरोध से होकर गुजरती है। प्रतिरोधक में कितनी ऊर्जा का क्षय होता है?

7. आपके पास दो विद्युत बल्ब हैं जिनमें 40W, 220V और 100W, 220 V छपा है। 220 V विद्युत आपूर्ति के लिए प्रत्येक बल्ब की धारा व प्रतिरोध का मान ज्ञात करें।

आपने क्या सीखा

- अपवाह वेग वह वह औसत वेग है जिससे किसी चालक में विद्युत क्षेत्र लगाने पर इलेक्ट्रॉन विद्युत क्षेत्र की विपरीत दिशा में गति करते हें।
- चालक के किसी अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल में बहने वाली विद्युत धारा उस क्षेत्रफल के एक ओर से दूसरी ओर स्थानांतरित होने वाले आवेश की दर होती है। धारा का मात्रक एम्पियर है जो A से व्यक्त होता है।

- ओम के नियम के अनुसार यदि भौतिक स्थितियां जैसे ताप व दाब आदि समान रहें तो किसी चालक से प्रवाहित होने वाली धारा विभवान्तर के समानुपाती होती है।
- V/I अनुपात को प्रतिरोध कहते हैं और इसे R से व्यक्त करते हैं। प्रतिरोध का मात्रक ओम है। इसे Ω से दर्शाया जाता है।
- यदि किसी चालक के प्रतिरोध के लिए V/I का मान स्थिर न होकर लगाई गई वोल्टेज पर निर्भर करता है तो इस प्रतिरोधक को अन् ओमीय प्रतिरोध कहते हैं।
- किसी पदार्थ की प्रतिरोधकता (या विशिष्ट प्रतिरोध) उस पदार्थ के एक मीटर लंबे और एक वर्ग मीटर अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल वाले तार द्वारा लगाया गया प्रतिरोध है। इसका मात्रक ओम–मीटर है।
- प्रतिरोधकों के श्रेणी संयोजन के लिए तुल्य प्रतिरोध सभी प्रतिरोधों के योग के बराबर होता है।
- समान्तर क्रम में प्रतिरोधकों के संयोजन के लिए तुल्य प्रतिरोध का व्युत्क्रम सभी प्रतिरोध कों के अलग–अलग प्रतिरोधों के व्युत्क्रम का योग होता है।
- प्राथमिक सेलों को पुनरावेशित करके बार–बार उपयोग में नहीं लाया जा सकता जबकि द्वितीयक सेलों को बार–बार पुनरावेशित किया जा सकता है।
- किरखौफ के नियम जटिल विद्युत परिपथों का एक व्यवस्थित ढंग से अध्ययन करने में सहायक होते हैं। प्रथम नियम बताता है कि किसी एक बिंदु की ओर आने वाली धाराओं और उस बिंदु से दूर जाने वाली धाराओं का योग बराबर होता है।

  नियम II बतलाता है कि किसी बंद विद्युत परिपथ में सभी विभवान्तरों का कुल योग शून्य होता है।
- व्हीटस्टोन ब्रिज की सहायता से अज्ञात प्रतिरोध (S) के मान को (P, Q और R) प्रतिरोधों से इसकी तुलना करके ज्ञात किया जा सकता है। संतुलन की स्थिति में

  $P/Q = R/S.$
- किसी सेल का विद्युत वाहक बल उसके सिरों के उस विभवान्तर के बराबर होता है जब इससे कोई परिपथ न जुड़ा हो।
- विभवमापी बिना धारा प्रवाहित किए वोल्टेज मापता है। इसलिए एक ऐसे स्रोत, जिसका आंतरिक प्रतिरोध काफी अधिक है, के विद्युत वाहक बल को मापने में भी इसका उपयोग हो सकता है।
- किसी चालक में इलेक्ट्रॉनों का अपवाह वेग इस प्रकार से सूत्रबद्ध होता है: $v_d = -\frac{eE}{m}\tau$.
- एक विद्युत परिपथ में जूल तापन के कारण शक्ति की खपत होती है

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

पाठांत प्रश्न

1. बाह्य विद्युत क्षेत्र के प्रभाव से एक धात्विक चालक में मुक्त इलेक्ट्रॉनों के अपवाह की व्याख्या करें व अपवाह वेग के लिए व्यंजक प्राप्त करें।

2. विद्युत धारा की परिभाषा दीजिए और ओम के नियम की विवेचना कीजिए।

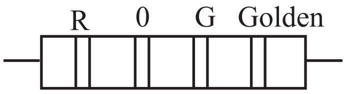
3. चालक की प्रतिरोधकता की परिभाषा दीजिए। एक तार का प्रतिरोध कैसे उसके पदार्थ की प्रतिरोधकता, इसकी लंबाई व अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल पर निर्भर करता है?

4. विद्युत चालकता की परिभाषा दीजिए। इसका मात्रक लिखिए। किसी चालक की चालकता कैसे उसके मुक्त इलेक्ट्रॉनों के संख्या घनत्व पर निर्भर करती है?

5. ओमीय व अन्-ओमीय प्रतिरोधों में अंतर स्पष्ट कीजिए। अन्-ओमीय प्रतिरोधों के कुछ उदाहरण दीजिए।

6. पदार्थ की प्रतिरोधकता पर ताप का क्या प्रभाव पड़ता है? ताप बढ़ने पर पदार्थ की विद्युत चालकता क्यों घटती हैं?

7. चित्र में प्रदर्शित प्रतिरोधक पर बाएं पढ़े जाने वाले रंग लाल, नारंगी, हरा व स्वर्णिम हैं। कलर कोड के अनुसार इसका प्रतिरोध क्या है?



8. R_1, R_2, R_3 प्रतिराधों के तीन प्रतिरोधक (i) श्रेणी क्रम (ii) समान्तर क्रम में जुड़े है। प्रत्येक दशा में तुल्य प्रतिरोध का मान ज्ञात करें।

9. किसी सेल के इलेक्ट्रॉनों के बीच विद्युत वाहक बल और विभवान्तर में क्या अंतर है? दोनों के बीच संबंध स्थापित कीजिए।

10. प्राथमिक एवं द्वितीयक सेलों के बीच अन्तर की व्याख्या कीजिए।

11. एक विद्युत नेटवर्क में धाराओं का विद्युत वाहक बलों को नियंत्रित (निर्धारित) करने के लिए किरखौफ के नियम क्या हैं?

12. प्रतिरोध मापन के लिए व्हीटस्टोन विधि का सिद्धांत दीजिए।

13. विभवमापी के सिद्धांत की विवेचना कीजिए।

14. विभवमापी की सहायता से आप एक अज्ञात विभव का मान कैसे ज्ञात करेंगे?

15. दो सैलों के विद्युत वाहक बल की तुलना के लिए विभवमापी विधि का वर्णन कीजिए।

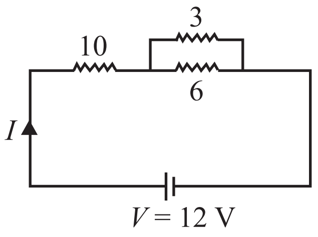
16. एक विभवमापी की सहायता से आप एक सेल का आंतरिक प्रतिरोध कैसे ज्ञात करेंगे? सेल के आंतरिक प्रतिरोध के लिए कौन से कारक उत्तरदायी होते हैं?

17. 1 m लंबे व 0.1 mm त्रिज्या वाले तार का प्रतिरोध 100Ω है। उसके पदार्थ की प्रतिरोध कता ज्ञात कीजिए।

18. 4m लंबे तथा 1mm^2 अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल वाले तार में 2A एम्पीयर धारा प्रवाहित हो रही है। यदि तार के पदार्थ के प्रत्येक घन मीटर में 10^{29} मुक्त इलेक्ट्रॉन है तो एक इलेक्ट्रॉन द्वारा तार की पूरी लंबाई को पार करने में लगे औसत समय की गणना कीजिए।

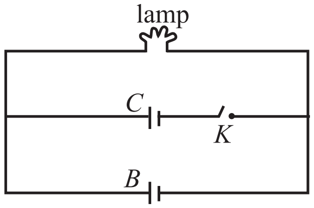
19. मान लीजिए आपके पास तीन प्रतिरोधक हैं जिनमें से प्रत्येक का मान 30Ω है। उन सभी प्रतिरोधकों की सूची बनाइये जो इनकी सहायता से प्राप्त किए जा सकते है।

20. 6.0V विद्युत वाहक बल तथा 1Ω आंतरिक प्रतिरोध वाली बैटरी को जब बाह्य प्रतिरोधक से जोड़ा जाता है तो उसके सिरों के बीच का विभवान्तर गिरकर 5.8V हो जाता है। बाह्य प्रतिरोधक का प्रतिरोध ज्ञात कीजिए।



21. चित्र में दिखाए गए परिपथ के लिए धारा I व तुल्य प्रतिरोध R का मान ज्ञात कीजिए।

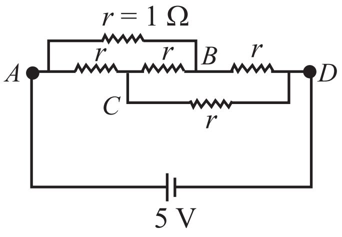
22. दाएं चित्र में दर्शाए गए विद्युत नेटवर्क में एक बल्ब एक संधारित्र व एक बैटरी लगे हैं। बैटरी से सीधे जोड़े जाने पर बल्ब जलता है। इस परिपथ के स्विच को बंद कर देने पर क्या होगा?



23. निम्न व्हीटस्टोन ब्रिज संतुलित है। गणना कीजिए।

(a) परिपथ के तुल्य प्रतिरोध R का मान

(b) AB और DC में भुजाओं विद्युत धारा



पाठगत प्रश्नों के उत्तर

17.1

1. (a) धारा आधी हो जाती है क्योंकि तार का प्रतिरोध दोगुना हो जाता है।

   (b) धारा का मान दोगुना हो जाता है क्योंकि प्रतिरोध आधा हो जाता है।

2. प्रतिरोधकता तार के पदार्थ का गुण है। यह तार की लंबाई या अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल में परिवर्तन के साथ नहीं बदलता।

   $\rho = 2 \times 10^{-8}\ \Omega m$

3. $R = \dfrac{V}{I} = \dfrac{8}{0.15} = \dfrac{800}{15} = 53.3\,\Omega$

   $R = \dfrac{P\ell}{A} \quad \dfrac{800}{15} \quad \dfrac{3}{2\times10^{-4}} \quad \dfrac{800\times2\times10^{-4}}{15\times3} = 35.5 \times 10^{-4}\ \Omega m.$

4. नहीं केवल धात्विक चालक ही एक सीमा तक ओम के नियम का पालन करते हैं। अध चालक और विद्युत अपघट्य ओम के नियम का पालन नहीं करते हैं।

5. $I = \dfrac{q}{\tau} = \dfrac{n|e|}{t} = \dfrac{5\times10^{17}\times1.6\times10^{-19}}{1}\text{A} = 0.8\times10^{-3}\text{A} = 0.8\text{ mA}$

धारा की दिशा इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह की दिशा के विपरीत अर्थात् दाएं से बाएं होती है।

17.2

1. समान्तर क्रम में 1 एक ऐसी स्थिति में वे अपने कार्यों के लिए आवश्यक विभिन्न धराएं खींच सकते हैं और विभिन्न स्विचों की सहायता से स्वतंत्र रूप से कार्य कर सकते है।

2. हम एक वोल्टेज स्टेबलाइजर (स्थिरक) का प्रयोग करते हैं।

3. $R = R_1 + \dfrac{R_2R_3}{R_2+R_3} + R_4 = 2 + \dfrac{10}{3} + 7 = 12.3\ \Omega$

17.3

1. $ABCDA$ लूप के लिए किरखौफ के दूसरे नियम का प्रयोग करने पर

$2I_1 + 4I_1 + 3I_3 = 24$

$6I_1 + 3I_3 = 24 \quad ...(1) \quad \Rightarrow \quad 2I_1 + I_3 = 8 \quad ....(1)$

इसी प्रकार लूप $DCBFD$ के लिए हम लिख सकते हैं

$-3I_3 + 6I_2 = 12 \quad \Rightarrow \quad 2I_2 - I_3 = 4 \quad ...(2)$

जंक्शन D पर किरखौफ के पहले नियम का प्रयोग करने पर

$I_2 + I_3 = I_1$

समीकरण (1) में रखने पर–

$2I_2 + 3I_3 = 8$

$2I_2 - I_3 = 4$

$4I_3 = 4$

$I_3 = 1A$

समी. (2) में रखने पर

$2I_2 = 5 \quad \Rightarrow \quad I_2 = 2.5\text{ A}$

2. $\frac{P}{Q}=\frac{6}{12}=\frac{1}{2}$ और $\frac{R}{S}=\frac{3}{6}=\frac{1}{2}$

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

∴ ब्रिज संतुलित हैं

अतः $V_B = V_D$ और $I_2 = 0$

$$I_1 = \frac{V}{I}=\frac{12}{18}=\frac{2}{3}\text{A}$$

और

$$I - I_1 = \frac{12}{9}=\frac{4}{3}\text{A}$$

17.4

1. $V = E - Ir$ I का मान बढ़ने पर V घटता है।

2. $R_{20} = R_0\,(1 + 20\,\alpha)$

$$R_{40} = R_0\,(1 + 40\alpha)$$

$$\frac{R_{40}}{R_{20}} = \frac{1+40\,\alpha}{1+20\,\alpha}$$

$$\frac{1+40\,\alpha}{1+20\,\alpha} = \frac{30.16}{30} = 1+\frac{0.16}{30}$$

$$1+\frac{20\,\alpha}{1+20\,\alpha} = 1+\frac{0.16}{30}$$

$$\frac{20\,\alpha}{1+20\,\alpha} = \frac{0.16}{30}$$

वज्र गुणन करने पर $600\alpha = 0.16 + 3.2\alpha$

$$\Rightarrow \quad \alpha \simeq \frac{0.16}{600} = 2.67\times10^{-4}\,\text{K}^{-1}$$

3. $I = \frac{V}{R} = \frac{3}{4.5} = \frac{30}{45} = \frac{2}{3}\text{A}$

$$V = \quad -Ir \qquad 3 \quad 5 \quad \frac{2}{3}r$$

$$\therefore\ r = \frac{2\times3}{2} = 3\Omega$$

4. $\frac{E_2}{E_1}=\frac{\ell_2}{\ell_1} \quad \frac{1.02}{E_1} \quad \frac{30}{45} \qquad E_1 \quad 0.51 \quad \frac{3}{2} \quad 1.53\text{V}$

5. $\frac{E_2}{E_1}=\frac{\ell_2}{\ell_1}$

$\frac{E_1}{3}=\frac{2}{3}$

$E_1 = 2\ V$

6. $P = IV$

$= 3 \times 0.3 \times 500$

$= 45$ WaH.

7. $I=\frac{P}{V} \qquad I_1 \quad \frac{40}{220} \quad \frac{2}{11}\text{A}$ और $I_2=\frac{100}{220}=\frac{5}{11}\text{A}$

$R=\frac{V^2}{P} \qquad I_1 \quad \frac{40}{220} \quad \frac{2}{11}\text{A} \quad \frac{V^2}{P} \qquad R_1 \quad \frac{220\times220}{40} \quad 1210$

और $R_2=\frac{220\times220}{100}=484\Omega$

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

17. $3.14 \times 10^{-6}\ \Omega$m. 18. 32 ms.

19. (i) सभी प्रतिरोधक श्रेणी क्रम में हैं; तुल्य प्रतिरोधक 90Ω है।

(ii) सभी प्रतिरोधक समांतर क्रम में हैं; तुल्य प्रतिरोध 10Ω है।

(iii) एक प्रतिरोधक श्रेणी क्रम में जबकि अन्य दो प्रतिरोधक समांतर क्रम में जुड़े हैं, तुल्य प्रतिरोध 45Ω है।

(iv) दो प्रतिरोधक श्रेणी क्रम में और एक प्रतिरोधक उनके समांतर क्रम में जुड़ा है; तुल्य प्रतिरोध 20Ω है।

20. 29Ω 21. $I = 1$A, $R = 12\Omega$

23. (a) $R = r = 1\Omega$ (b) $I = 2.5$A

18

विद्युत चुंबकत्व तथा विद्युतधारा के चुंबकीय प्रभाव

पाठ 15 में आपने देखा कि आवेशित छड़ें कागज के छोटे-छोटे टुकड़ों को किस प्रकार आकर्षित करती हैं। आप चुंबकों से भी खेले होंगे। ये वे पदार्थ हैं जो छोटे-छोटे लोहे के टुकड़ों को आकर्षित करते हैं। क्या आपने विद्युत तथा चुंबकत्व के मध्य किसी संबंध के बारे में कभी सोचा है? इनके मध्य संबंध की खोज ऑर्स्टेड ने 1820 में की थी। अब हम निश्चित रूप से जानते हैं कि चुंबकत्व और विद्युत में घनिष्ठ संबंध है।

इस पाठ में आप चुंबकों के व्यवहार और उनके प्रयोगों तथा विद्युत धारा के चुंबकीय प्रभावों के बारे में जानेंगे। धारा का वहन करने वाले चालकों तथा चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेशों पर भी चर्चा की जाएगी। इन सिद्धांतों के आधार पर हम मोटरों जैसी विद्युत युक्तियों तथा ऐमीटर, वोल्टमीटर, गैल्वेनोमीटर जैसी मापन युक्तियों की कार्य पद्धति पर चर्चा करेंगे।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के पश्चात् आप:

- चुबंकीय क्षेत्र और उसके SI मात्रक को परिभाषित कर सकेंगे;
- पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयवों को सूचीबद्ध कर सकेंगे और उनके मध्य संबंध दर्शा पाएंगे;
- धारा के चुंबकीय प्रभाव तथा ऑर्स्टेड के प्रयोग का वर्णन कर सकेंगे;
- बायो-सावर्ट नियम की परिभाषा और उसके अनुप्रयोग की व्याख्या कर सकेंगे;
- ऐम्पियर परिपथयी नियम की व्याख्या कर सकेंगे और उसके अनुप्रयोगों का वर्णन कर पाएंगे;
- एकसमान विद्युत क्षेत्र एवं चुंबकीय क्षेत्र में आवेशित कण की गति का वर्णन कर सकेंगे;
- साइक्लोट्रॉन की रचना एवं कार्यविधि की व्याख्या कर सकेंगे;

- एक समान चुंबकीय क्षेत्र में स्थित धारा वाहक चालक द्वारा अनुभव किए गए बल के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कर सकेंगे;
- परस्पर समांतर स्थित दो अनंततः लंबे धारा वाहक चालकों के मध्य बल के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कर पाएंगे; और
- गैलवेनोमीटर, ऐमीटर तथा वोल्टमीटर के कार्य सिद्धांत की व्याख्या कर सकेंगे।

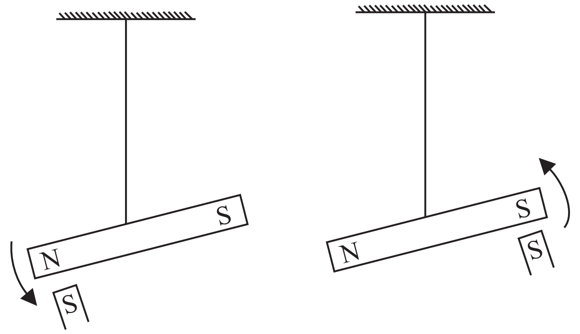
18.1 चुंबक और उनके गुणधर्म

चुंबकत्व की परिघटना 600 BC से ही युनानियों को ज्ञात थी। उन्होंने देखा कि मैग्नेटाइट (Fe_3O_4) कहलाने वाले, कुछ पत्थर; लोहे के टुकड़ों को आकर्षित करते हैं। प्रकृति में पाए जाने वाले मैग्नेटाइट के ये टुकड़े; प्राकृतिक चुंबक कहलाते हैं। प्राकृतिक चुंबक दुर्बल होते हैं परंतु लोहा, निकेल, कोबाल्ट जैसे पदार्थ प्रबल स्थायी चुंबकों में परिणित किए जा सकते हैं। सभी चुंबकों में चाहे वे प्राकृतिक हो या कृत्रिम, समान गुण होते हैं। आप चुम्बकों के मूलभूत गुणधर्मों से परिचित होंगे। पूर्णता की दृष्टि से हम यहां उनकी पुनरावृत्ति कर रहे हैं:

(i) **दैशिक गुणधर्म :** जब किसी लघु दंड चुंबक को उसके द्रव्यमान-केंद्र से स्वतंत्र रूप से इस प्रकार लटकाया जाता है कि वह ऊर्ध्व अक्ष के प्रति घूर्णन कर सके तो वह सदैव लगभग भौगोलिक उत्तर-दक्षिण दिशा में ठहरता है।

(ii) **आकर्षी गुणधर्म :** लोहा, निकैल तथा कोबाल्ट जैसे पदार्थों के छोटे-छोटे टुकड़ों को चुंबक आकर्षित करता है। आकर्षण-बल, चुंबक के सिरों के निकटस्थ बिंदुओं पर अधिकतम होता है। ये बिंदु चुंबक के ध्रुव कहलाते हैं। स्वतंत्र रूप से लटके हुए चुंबक में वह ध्रुव जो भौगोलिक उत्तर की ओर दिष्ट होता है, **उत्तरी ध्रुव** और जो ध्रुव भौगोलिक दक्षिण की ओर दिष्ट होता है वह **दक्षिणी ध्रुव** कहलाता है। क्या ये दैक्षिक और आकर्षी गुणधर्म यह नहीं बताते कि हमारी पृथ्वी भी चुंबक की तरह कार्य करती है? वास्तव में ऐसा ही है।

(iii) दो चुंबकों में विपरीत ध्रुव परस्पर आकर्षित तथा समान ध्रुव परस्पर प्रतिकर्षित होते हैं (चित्र 18.1)।



चित्र. 18.1 : दो-चुंबकों के विपरीत ध्रुव परस्पर आकर्षित तथा समान ध्रुव परस्पर प्रतिकर्षित करते हैं।

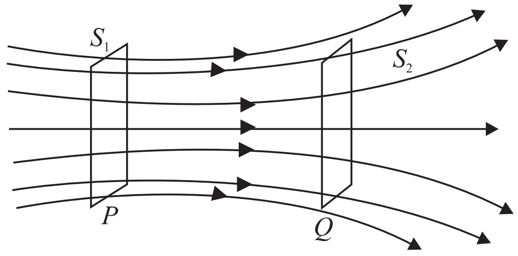
(iv) चुंबक के ध्रुवों को अलग नहीं किया जा सकता, अर्थात चुंबकीय क्षेत्र प्रदान करने वाला सरलतम नमूना एक चुंबकीय द्वि-ध्रुव होता है।

(v) जब किसी चुंबक को लोहे के टुकड़े के समीप लाया जाता है तो लोहे के टुकड़े का समीपस्थ सिरा विपरीत ध्रुवता ग्रहण कर लेता है और सुदूर सिरे की ध्रुवता वही रहती है। यह परिघटना **चुंबकीय प्रेरण** कहलाती है।

18.1.1 चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं

चुंबकों के मध्य अथवा किसी चुंबक और लोहे के टुकड़े के मध्य अन्योन्य क्रियाएं मूलतः सुदूर क्रिया निरुपित करती है। इसे चुंबकीय क्षेत्र के पदों में समझा जा सकता है। क्षेत्र की दिशा और परिमाण को स्पष्ट रूप से देखने की अत्यंत सुविधाजनक विधि, क्षेत्र रेखाओं को खींचना है:

- किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र सदिश **B** की दिशा, उस बिंदु पर क्षेत्र-रेखा की स्पर्श रेखा द्वारा व्यक्त की जाती है।
- रेखाओं के अनुलंब स्थित किसी पृष्ठ के इकाई क्षेत्रफल से होकर गुजरने वाली रेखाओं की संख्या, उस क्षेत्र में चुंबकीय क्षेत्र की प्रबलता के आनुपातिक होती हैं। अतः वह चुंबकीय क्षेत्र **B** प्रबल होगा जहां कि क्षेत्र रेखाएं परस्पर समीप हैं और जहां ये रेखाएं दूर-दूर हैं वहां क्षेत्र दुर्बल होगा।

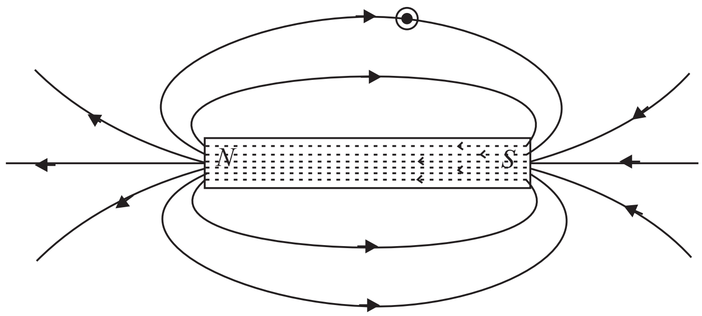


चित्र 18.2: दो समांतर पृष्ठों से होकर गुजरने वाली चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं

चित्र 18.2 में कुछ क्षेत्र रेखाएं दर्शाई गई हैं जो समांतर पृष्ठ S_1 और S_2 से होकर गुजर रही हैं। S_1 का पृष्ठ क्षेत्रफल वही है जो S_2 का पृष्ठ क्षेत्रफल है। परंतु S_2 से होकर गुजरने वाली रेखाओं की तुलना में S_1 से होकर गुजरने वाली रेखाओं की संख्या अधिक है। अतः S_1 से होकर प्रति इकाई गुजरने वाली रेखाओं की संख्या, S_2 से होकर प्रति इकाई गुजरने वाली रेखाओं की संख्या से अधिक है। इस प्रकार हम कह सकते हैं कि Q के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र की तुलना में, P के चारों ओर का चुंबकीय क्षेत्र प्रबल है।

- चुंबक के बाहर, क्षेत्र रेखाएं उत्तरी ध्रुव से दक्षिणी ध्रुव की ओर तथा चुंबक के अंदर ये रेखाएं दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव की ओर गमन करती हुई संवृत वक्र बनाती हैं। (चित्र 18.3)

- दो चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं कभी भी परस्पर नहीं काटती।



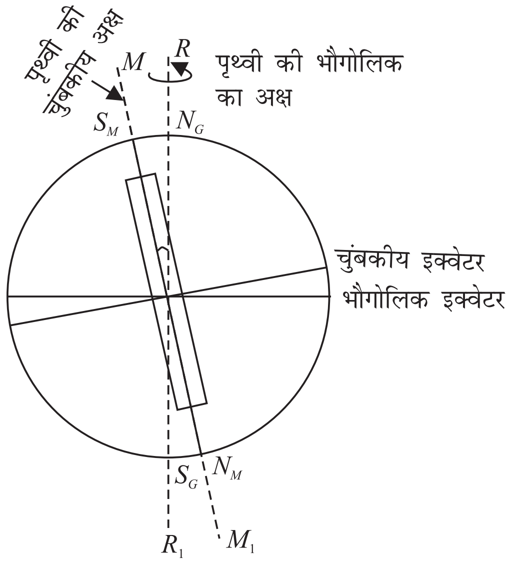
चित्र. 18.3 : दंड चुंबक की चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं

पाठगत प्रश्न 18.1

1. आपको एक चुंबक दिया हुआ है। आप उसके उत्तरी ध्रुव का कैसे पता लगाएंगे?
2. आपको समान दिखने वाले दो लोह दंड दिए हुए हैं। इनमें एक चुंबक है। केवल इन्हीं दो का प्रयोग करके आप कैसे पता लगाएंगे कि इनमें से चुंबक कौन सा है?
3. आपके पास एक धागा और दो दंड चुंबक हैं। इन दोनों चुंबकों की ध्रुवताओं को ज्ञात करने की एक विधि का वर्णन कीजिए।

पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र

चुंबकों के दैशिक गुणधर्म की व्याख्या यह मान कर की जा सकती है कि पृथ्वी एक चुंबक की तरह व्यवहार करती है; अर्थात यह मान सकते हैं कि पृथ्वी के अंदर एक विशाल दंड चुंबक स्थित है। इस चुंबक का दक्षिणी ध्रुव भौगोलिक उत्तरी ध्रुव के निकट और चुंबकीय उत्तरी ध्रुव भौगोलिक दक्षिणी ध्रुव के निकट है। पृथ्वी की घूर्णन–अक्ष RR_1 तथा पृथ्वी की चुंबकीय अक्ष MM_1 है।



चित्र. 18.4 : पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र

क्रियाकलाप 18.1

चुंबकीय सुई के साथ प्रयोग कीजिए। (आप वास्तव में ऐसे ग्लोब के साथ भी प्रयोग कर सकते हैं जिसकी घूर्णन अक्ष के अनुदिश, दंड चुंबक स्थित हो तथा जिसका उत्तरी ध्रुव, दक्षिण की ओर रखा हो। सुई को स्वतंत्र रूप से इस प्रकार लटकाइए कि यह क्षैतिज और ऊर्ध्वसमतलों में घूर्णन कर सके। यदि सुई पृथ्वी के पृष्ठ के विषुवत वृत के समीप होगी तो यह क्षैतिज समतल में ठहर जाएगी। अब इस सुई को उत्तरी गोलार्ध में स्थित स्थानों पर ले जाया जाता है। जैसे-जैसे हम भौगोलिक उत्तरी ध्रुव की ओर जाते हैं चुम्बकीय सुई ऊर्ध्व समतल में घूम जाती है और उसका उत्तरी ध्रुव पृथ्वी की ओर झुक जाता है। अंत में कैनेडा में में हडसन खाड़ी के समीपस्थ किसी बिंदु पर सुई का उत्तरी ध्रुव ऊर्ध्वत: नीचे की दिशा में होगा। उत्तर से 6^o पूर्व की ओर यह स्थान, पृथ्वी के चुंबक का दक्षिणी ध्रुव माना जाता है। यह स्थान पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी ध्रुव से लगभग 650 km दूर है। यदि हम उसी चुंबकीय सुई को दक्षिणी गोलार्ध के स्थानों पर ले जाए तो सुई का दक्षिणी ध्रुव नीचे की ओर झुक जाएगा यह स्थान भौगोलिक दक्षिण से 650 km पश्चिम की ओर दिष्ट होगा। यह बिंदु पृथ्वी के चुंबक का उत्तरी ध्रुव माना जा सकता है। **इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि पृथ्वी की चुंबकीय अक्ष, भौगोलिक अक्ष के संपाती नहीं है।**

पृथ्वी की चुंबकीय अक्ष का महत्वपूर्ण पहलू यह है कि यह स्थिर नहीं है। इसका परिमाण और दिशा, समय के साथ बदलता रहता है।

पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयव

पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का वर्णन करने के लिए तीन मापन योग्य राशियों का प्रयोग किया जाता है। ये पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयव कहलाते हैं:

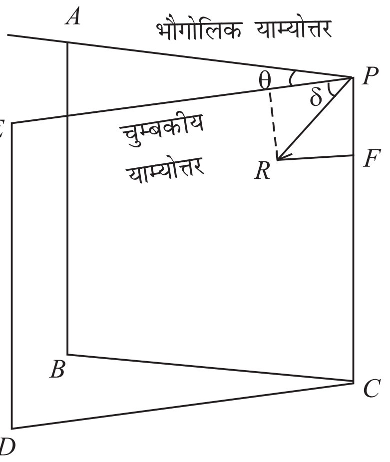
(a) आनति या नति (δ);

(b) दिक्‌पात (θ); तथा

(c) पृथ्वी के क्षेत्र का क्षैतिज घटक (B_M);

(a) आनति या नति

यदि आप चुंबकीय सुई को किसी स्थान पर स्वतंत्र रूप से लटकाएं तो आप देखेंगे कि सुई क्षैतिज समतल में नहीं ठहरती। यह पृथ्वी के क्षेत्र की परिणामी तीव्रता की ओर दिष्ट होगी।



चित्र 18.5: पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के अवयव

चित्र 18.5 में समतल *PCDE* दर्शाया गया है जो पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित बिंदु *P* पर चुंबकीय याम्योत्तर (अर्थात पृथ्वी के चुंबक के उत्तरी और दक्षिणी ध्रुवों से होकर गुजरने वाला ऊर्ध्व समतल)

टिप्पणियाँ

है। उसी प्रकार *PABC* भौगोलिक याम्योत्तर (अर्थात भौगोलिक उत्तरी और दक्षिणी ध्रुवों से होकर गुजरने वाला ऊर्ध्व समतल) है। *PR*, बिंदु P पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण और दिशा निरूपित करता है। ध्यान दें कि *PR*, क्षैतिज दिशा के साथ δ कोण बनाता है। यह कोण पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित P पर आनति या नति कहलाता है। वह कोण जो पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र, चुबंकीय याम्योत्तर में क्षैतिज दिशा के साथ बनाता है नति या **आनति कहलाता** है।

(b) दिक्पात:

चित्र 18.5 का पुन: अवलोकन करें। समतल *PCDE* में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र सदिश (*PR*) शामिल है। समतलों *PCDE* तथा *PABC* के मध्य कोण; बिंदु P पर दिक्पात कहलाता है। यह कोण θ द्वारा दर्शाया गया है।

वह कोण जो चुंबकीय याम्योत्तर किसी स्थान पर भौगोलिक याम्योत्तर के साथ बनाता है, उस स्थान पर दिक्पात कहलाता है।

(c) क्षैतिज घटक:

चित्र 18.5 में बिंदु *P* पर *PR* परिणामी चुंबकीय क्षेत्र है। परिमाण और दिशा में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक *PH* के द्वारा और ऊर्ध्व घटक *PF* के द्वारा निरूपित किया गया है। मान लीजिए कि बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र B है। अब क्षैतिज घटक,

$$B_H = B\cos\delta \qquad (18.1)$$

तथा ऊर्ध्व घटक,

$$B_V = B\sin\delta \qquad (18.2)$$

समीकरणों (18.1) और (18.2) का वर्ग करके जोड़ने पर,

$$B_H^2 + B_V^2 = B^2\cos^2\delta + B^2\sin^2\delta = B^2 \qquad (18.3)$$

समीकरण (18.2) को समीकरण (18.1)से विभाजित करने पर,

$$\frac{B_V}{B_H} = \tan\delta \qquad (18.4)$$

18.2 विद्युत तथा चुंबकत्व: मौलिक संकल्पनाएं

आप जानते हैं कि चालक के सिरों के मध्य विभवांतर के कारण चालक में इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह से विद्युत धारा बनती है। चालक में प्रवाहित होने वाली धारा उसके आसपास के क्षेत्र में स्थित मुक्त चुंबकीय सुई पर बल लगाती है। चुंबकीय सुई एक चुंबक के द्वारा भी प्रभावित होती है अत: हम कहते हैं कि धारा वाहक चालक के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र B दृष्टिगत होता है। इस पाठ में बाद में आप इनके बारे में तथा चुंबकशीलता जैसे शब्दों के बारे में जानेंगे।

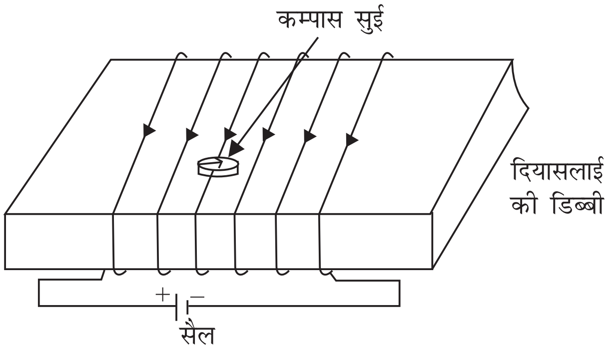
18.2.1 विद्युत धारा के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र

एक सरल प्रयोग कीजिए।

टिप्पणियाँ

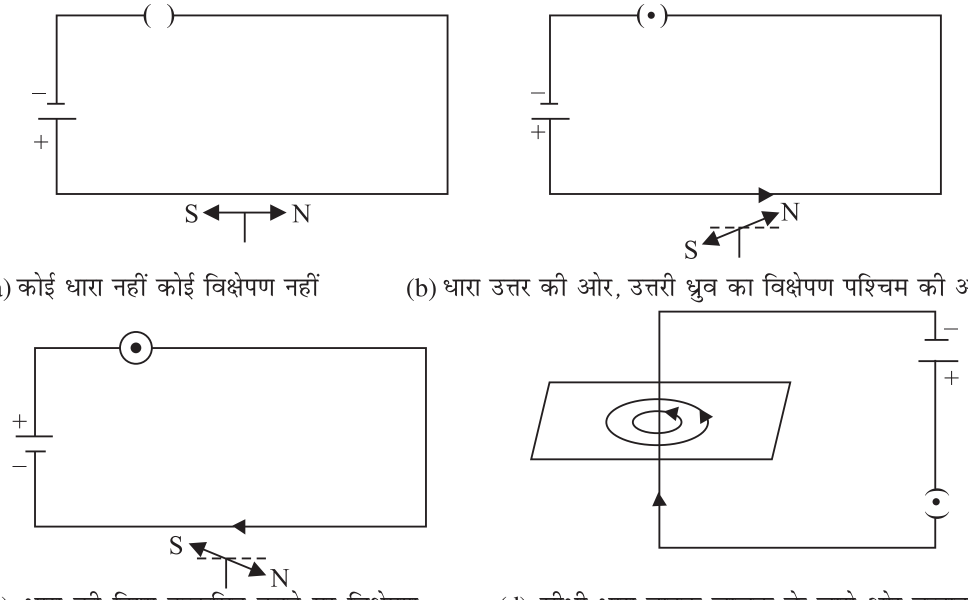
क्रियाकलाप 18.2

1.5 वोल्ट की एक बैटरी, लगभग 1 *m* लम्बा तार, कम्पास सुई (दिक्सूचक) और एक दियासलाई की डिब्बी लीजिए। इस डिब्बी के आधार पर तार के 60–65 लपेटें कुंडलित कीजिए। कुंडलनों के नीचे चित्र 18–6 में दर्शाए गए अनुसार कम्पास सुई को रख दीजिए। अब इस दियासलाई की डिब्बी को मेज पर इस प्रकार रखिए ताकि तार उत्तर–दक्षिण दिशा में रहे। तार के मुक्त सिरों को बैटरी से जोड़ दीजिए। देखिए अब सुई क्या करती है? आप देखेंगे कि सुई विक्षेप दर्शा रही है। इसका यह अर्थ हुआ कि कुंडली में और उसके चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र है। बैटरी के टर्मिनलों को बदलने पर विक्षेप, विपरीत दिशा में हो जाएगा। जब तार में कोई धारा नहीं होती तो कम्पास सुई उत्तर–दक्षिण दिशा दर्शाती है (देखिए चित्र 18.7a, b एवं c)



चित्र. 18.6 : विद्युत धारा के कारण चुंबकीय क्षेत्र का निदर्शन

जब कम्पास सुई को ऊर्ध्व धारा वाहक तार के समीप लाया जाता है तो चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं तार के चारों ओर सकेंद्री वृत के रूप में होती है जैसा कि चित्र 18.7 (d) में दर्शाया गया है।



(a) कोई धारा नहीं कोई विक्षेपण नहीं

(b) धारा उत्तर की ओर, उत्तरी ध्रुव का विक्षेपण पश्चिम की ओर

(c) धारा की दिशा उत्क्रमित करने पर विक्षेपण दिशा भी उत्क्रमित

(d) सीधी धारा वाहक चालक के चारो ओर वृत्ताकार क्षेत्र रेखाएं

चित्र. 18.7 : धारा वाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र

कापेनहगेन डेनमार्क में भौतिकी के प्रोफेसर हंस क्रिश्चियन ऑरस्टेड ने 1820 में इसी प्रकार के प्रयोगों द्वारा सिद्ध किया कि धारा वाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र होता है।

18.3 बायो-सावर्ट नियम

बायो-सावर्ट नियम चालक में धारा और आकाश में स्थित किसी बिंदु के चारों ओर परिणामी चुंबकीय क्षेत्र के मध्य मात्रात्मक संबंध व्यक्त करता है। धारा वाहक चालक का प्रत्येक भाग; बिंदु के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र में अपना योगदान देता है। इस प्रकार बिंदु पर B का नेटमान, चालक के अलग-अलग भागों का संयुक्त प्रभाव होता है। जैसा कि चित्र 18.8 में दर्शाया गया है कि किसी धारा वाहक चालक के कारण नेट चुंबकीय क्षेत्र, $\Delta \ell$ लम्बाई के प्रत्येक अत्यन्त सूक्ष्म अवयव से उत्पन्न योगदानों का सदिश योगफल होता है।

प्रयोग दर्शाते हैं कि किसी अवयव $\Delta \ell$ के कारण क्षेत्र B निम्नलिखित पर निर्भर करता है:-

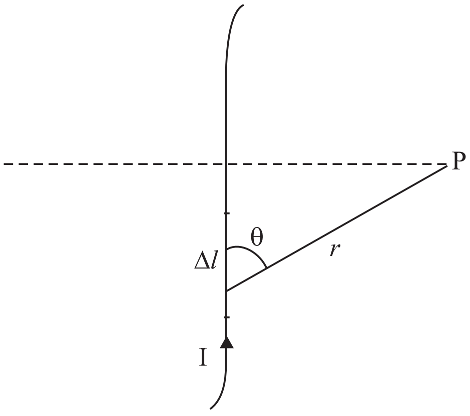
(a) चालक से होकर प्रवाहित धारा, I के समानुपाती;
(b) अवयव की लम्बाई $\Delta \ell$ के समानुपाती;
(c) अवयव $\Delta \ell$ से प्रेक्षण बिंदु P तक की दूरी (r) के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है; और
(d) अवयव और अवयव को प्रेक्षण बिंदु से मिलाने वाली रेखा के मध्य कोण θ की sin के समानुपाती होता है।

इस प्रकार हम लिख सकते हैं:

$$|\Delta B_0| \propto \frac{I \Delta \ell \sin\theta}{r^2}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\, d\ell \sin\theta}{r^2} \qquad (18.5)$$

जब कि μ_0 निर्वात की पारगम्यता है। इसका मान $4\pi \times 10^{-7}\ \text{WA}^{-1}\text{m}^{-1}$ होता है। वायु की परगम्यता का मान भी लगभग μ_0 के बराबर होता है।

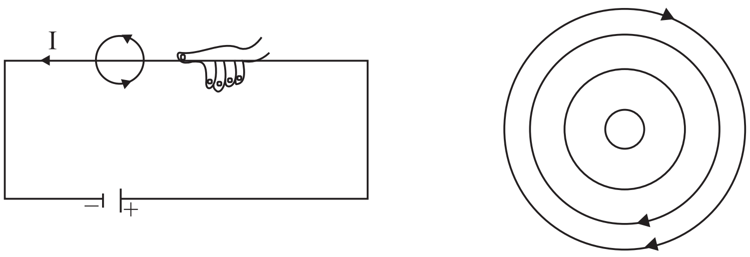


चित्र 18.8: धारा अवयव $\Delta \ell$ के कारण बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र

यदि चालक को वायु के अतिरिक्त किसी अन्य माध्यम में रखा जाए तो क्षेत्र के मान में परिवर्तन हो जाता है और यह $|\mathbf{B}| = \mu |\mathbf{B_0}|$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है। यहां μ माध्यम की पारगम्यता है।

B की दिशा: किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र, सदिश राशि होती है। B की दिशा दक्षिण हस्त पकड़ नियम लागू करके ज्ञात की जा सकती है। इस नियम को लागू करने के लिए, कुछ सरल उदाहरणों में उत्पन्न क्षेत्र की दिशा पर विचार करना चाहिए। जैसा कि चित्र 18.9 (a) में दिखाया गया है तार को अपने सीधे हाथ से इस प्रकार

पकड़िए ताकि अंगूठा, धारा की दिशा में रहे। तब हाथ की मुड़ी हुई उंगलियां, चुंबकीय क्षेत्र की दिशा में दिष्ट होंगी। कागज पर चुंबकीय क्षेत्र निरुपित करने के लिए विचार कीजिए कि धारा, कागज के समतल में प्रवाहित हो रही है। तब दक्षिण हस्त नियम के अनुसार क्षेत्र-रेखाएं, कागज के समतल में होंगी। [चित्र 18.9 (b)]



चित्र. 18.9 :चुंबकीय क्षेत्र की दिशा : (a) दक्षिण हस्त नियमः अंगूठा धारा की दिशा में है, क्षेत्र रेखाएं मुड़ी हुई उंगलियों की दिशा में हैं तथा (b) जब धारा कागज के समतल के लम्बवत् दिशा में होती है तो दक्षिण हस्त नियम के अनुसार, क्षेत्र रेखाएं, कागज के समतल में होंगी।

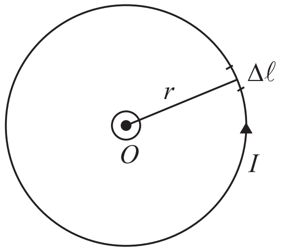
18.3.1 बायो-सावर्ट नियम के अनुप्रयोगः

अब आपको ज्ञात हो गया होगा कि बायो-सावर्ट नियम से चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण प्राप्त होता है। अब हम इस नियम का अनुप्रयोग, विभिन्न आकार के चालकों के चारों ओर क्षेत्र ज्ञात करने के लिए करेंगे। ध्यान दें कि चालक के विभिन्न खंडों से उत्पन्न निवल (नेट) क्षेत्र को परिकलित करने के लिए हमें प्रत्येक खंड से उत्पन्न क्षेत्र-योगदानों को जोड़ना होगा। हम पहले धारा वाहक वृत्ताकार कुंडली पर विचार करेंगे और उसके केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करेंगे।

(a) धारा वाहक वृत्ताकार कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र : चित्र 18.10 का अवलोकन कीजिए। इसमें धारा I के वहन करने वाली त्रिज्या r की वृत्ताकार कुंडली दर्शाई गई है। इसके केंन्द्र O पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करने के लिए, हम पहले इस वृत्ताकार कुंडली में धारा वाहक अल्प अवयव पर विचार करेंगे। धारा अवयव $\Delta \ell$ और r के मध्य कोण 90° है। हमें समीकरण (18.5) से पता है कि $\Delta\ell$ के कारण केंद्र O पर क्षेत्र निम्नलिखित होगाः

$$|\Delta \mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\Delta \ell}{r^2} \sin 90^\circ$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\Delta \ell}{r^2} \qquad (\text{as } \sin 90^\circ = 1)$$



चित्र. 18.10: धारा वाहक वृत्ताकार कुंडली

$\Delta\mathbf{B}$ की दिशा, कुंडली के समतल के अभिलंब है। चूंकि वृत्ताकार कुंडली के प्रत्येक अवयव के कारण क्षेत्र एक ही दिशा में होगा, अत: लूप के केंद्र पर सभी योगदानों को जोड़कर परिणामी क्षेत्र प्राप्त किया जाता है। अत:

$$|\mathbf{B}| = \quad |\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}\,\Sigma\,\Delta\ell = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}\,.\,2\pi r$$

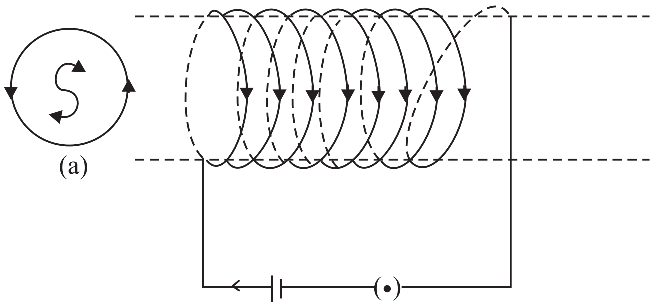
इस प्रकार r त्रिज्या की धारावाही कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र,

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{2r} I \qquad (18.6)$$

यदि कुंडली में तार के एक से अधिक पाश हो (मान लीजिए n लपेटे हैं) तो क्षेत्र निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जाएगा।

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0\, nI}{2r}$$

चित्र 18.7 में दिए गए नियम का प्रयोग कर आप नेट क्षेत्र की दिशा की जांच कर सकते हैं। आप कुंडली के किसी भी खंड में दक्षिण हस्त नियम का उपयोग कर वही परिणाम प्राप्त कर सकते हैं। धारावाहक कुंडली के कारण चुंबकीय क्षेत्र की दिशा के अभिनिर्धारण की एक अन्य सरल विधि तथाकथित छोर नियम है जो चित्र 18.11 (a, b) में दर्शाया गया है।



चित्र 18.11: चुंबकीय क्षेत्र की दिशा: छोर नियम

जब कोई प्रेक्षक किसी भी सिरे से वृत्ताकार कुंडली को देखता है तो उसे धारा दक्षिणावर्ती दिशा में प्रवाहित होती मालूम होती है और कुंडली का फलक, तुल्य चुंबक के दक्षिण ध्रुव की भांति आचरण करता है अर्थात् B की ओर दिष्ट होता है। इसके विपरीत यदि धारा वामावर्ती दिशा में प्रवाहित होती प्रतीत हो तो कुंडली का फलक तुल्य चुंबक के उत्तरी ध्रुव की भांति आचरण करता है, अर्थात क्षेत्र उस सिरे से बाहर की ओर दिष्ट होता है।

पाठगत प्रश्न 18.2

1. निम्नलिखित के द्वारा उत्पन्न क्षेत्र के बारे में आप क्या कहेंगे?

   (i) अचल इलेक्ट्रॉन?

   (ii) गतिमान इलेक्ट्रॉन

2. किसी चालक में इलेक्ट्रॉन तापीय ऊर्जा के कारण लगातार गतिमान रहते हैं। वे चुंबकत्व क्यों नहीं दर्शाते, जब तक उनके मध्य विभवांतर नहीं लगाया जाता?

3. किसी लंबे तार में धारा प्रवाहित हो रही है। पहले इसे एक लपेटे का वृत्ताकार रूप दिया गया है और फिर उसे अपेक्षाकृत कम त्रिज्या के दो लपेटों की कुंडली में परिणित किया गया है। क्या कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र में परिवर्तन होगा? यदि हाँ, तो कितना?

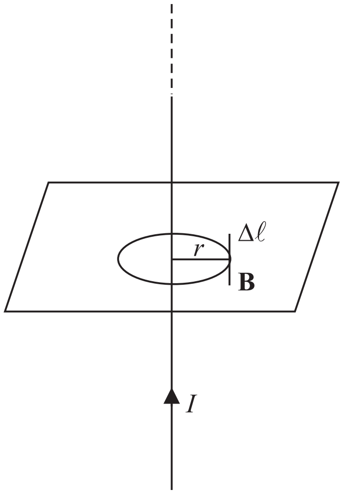
18.4 ऐम्पियर का परिपथीय नियम

कुछ सरल परिस्थितियों में धारा वाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करने के लिए ऐम्पियर का परिपथीय नियम एक अन्य प्रभावशाली विधि है।

ऐम्पियर परिपथीय नियम के अनुसार किसी संवृत लूप के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र का रेखा-समाकल, कुल ध

रा I का μ_0 गुना होता है। गणितीयत: हम लिख सकते हैं कि,

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\ell = \mu_0 I \quad (18.7)$$



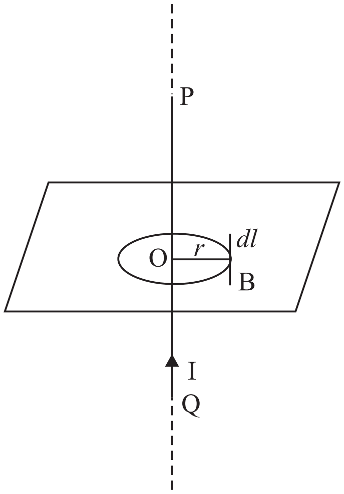
चित्र. 18.12 : *ऐम्पियर का परिपथीय नियम*

ध्यान दें कि यह मान, संवृत पाश के आमाप और आकार पर निर्भर नहीं करता।

एन्ड्रे मेरी ऐम्पियर
(1775 – 1836)

फ्रांसीसी भौतिकीविद्, गणितज्ञ एवं रसायनज्ञ ऐम्पियर एक प्रतिभाशाली बालक थे। उन्होंने 12 वर्ष की आयु में उन्नत गणित में प्रवीणता प्राप्त की। उनमें प्रायोगिक कौशल और सैद्धांतिक कुशाग्रता का अद्भुत मिश्रण था। ऐम्पियर ने यथार्थ प्रयोग किए और अपने परिणामों को वैद्युत गतिकी के सिद्धांत के रूप में प्रस्तुत किया जो विद्युत और उसके चुंबकीय प्रभावों का गणितीय संरूपण है। धारा के मात्रक को ऐम्पियर नाम उन्हीं के सम्मान में दिया गया है। वह अपने कार्य और विचारों में तल्लीय रहते थे और उन्होंने सम्मानों और पुरस्कारों की कभी परवाह नहीं की। एक बार वह सम्राट नैपोलियन के रात्रि भोज के निमंत्रण को भूल गये। उनके समाधि प्रस्तर पर लिखा है: ''Tendun felix" (अंत में प्रसन्न) जिससे प्रतीत होता है कि उन्होंने अत्यंत श्रमसाध्य और परेशानी का जीवन व्यतीत किया। परंतु इससे उनकी सृजनात्मकता में कोई कमी नहीं आई।

18.4.1 ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुप्रयोग



चित्र. 18.13: अनंत लम्बाई का धारा वाहक चालक

अब हम दो सरल अवस्थाओं में चुंबकीय क्षेत्र प्राप्त करने के लिए ऐम्पियर के परिपथीय नियम का अनुप्रयोग करेंगे।

(a) अनंत लम्बाई के धारा वाहक चालक के कारण चुंबकीय क्षेत्र

चित्र 18.13 का अवलोकन करें। इसमें अनंत लम्बाई के धारा वाहक चालक POQ को दर्शाया गया है जो धारा I का वहन कर रहा है। चालक के चारो ओर चित्र में दर्शाए गए समतल में त्रिज्या r के वृत्ताकार लूप पर विचार कीजिए। तब,

$$\Sigma \mathbf{B}.d\ell = B\,2\pi r$$

ऐम्पियर के परिपथीय नियम को लागू करने पर, हम लिख सकते हैं:

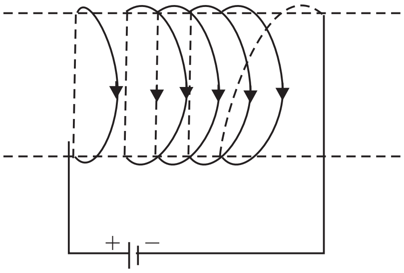
$$|\mathbf{B}|\;2\pi r = \mu_o I$$

अथवा

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad (18.8)$$

यह व्यंजक अनंत लम्बाई के धारा वाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र व्यक्त करता है। मोटरों, जेनरेटरों, खिलौनों, पंखा वाइन्डिगों, ट्रांसफार्मरों तथा वैद्युतचुंबकों आदि में परिनालिकाओं और टोरॉइडों का प्रचुरता से प्रयोग होता है। इनका उपयोग एक समान चुंबकीय क्षेत्र उपलब्ध कराने में होता है। जब हमें अधिक क्षेत्र की आवश्यकता होती है तो कुंडली के अंदर एक मृदु लोहा रख दिया जाता है।

(b) परिनालिका से उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र:



चित्र. 18.14 : परिनालिका

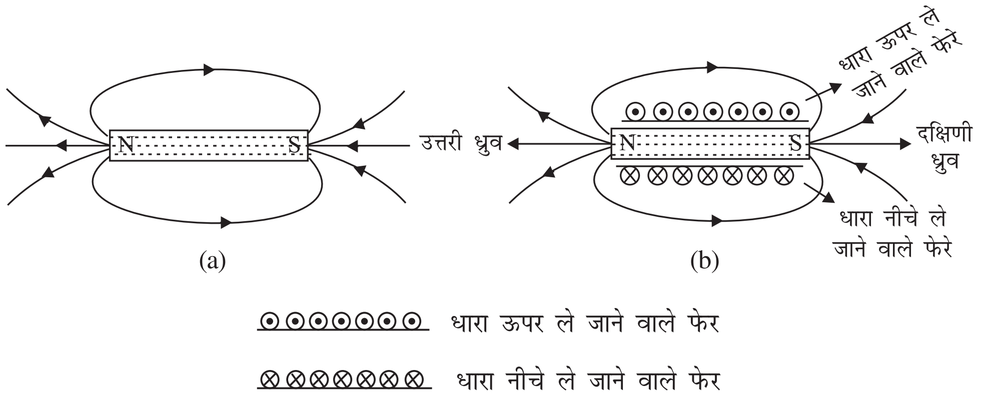
परिनालिका एक ऐसी सीधी कुंडली है जिसमें सार्व अक्ष पर एक सीधी रेखा में अनेक लूप व्यवस्थित रहते हैं जैसा कि चित्र 18.14 में दिखाया गया है। हम जानते हैं कि किसी तार से होकर प्रवाहित धारा I उसके चारो ओर एक चुंबकीय क्षेत्र स्थापित करती है। मान लीजिए कि किसी परिनालिका की लम्बाई ℓ और उसमें फेरों की संख्या N हैं। उसकी अक्ष के अनुदिश (चित्र 18.14) परिनालिका के अंदर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करने के लिए, हम इसे अत्यधिक त्रिज्या वाले टोरॉइडी परिनालिका का एक परिच्छेद मान सकते हैं। इस प्रकार

$$|\mathbf{B}| = \mu_o\, nI$$

क्षेत्र की दिशा परिनालिका की अक्ष के अनुदिश है। सीधी परिनालिका परिमित होती है। अतः $|\mathbf{B}| = \mu_o\, nI$, परिनालिका के अंदर उसके केंद्र के समीप होगा। अल्प त्रिज्या वाली परिनालिकाओं के लिए, सिरों पर, B का परिमाण इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 nI}{2}$$

परिनालिका एक दंड चुंबक की भांति व्यवहार करती है और इसका चुंबकीय क्षेत्र चित्र 18.15 में दर्शाए अनुसार है।



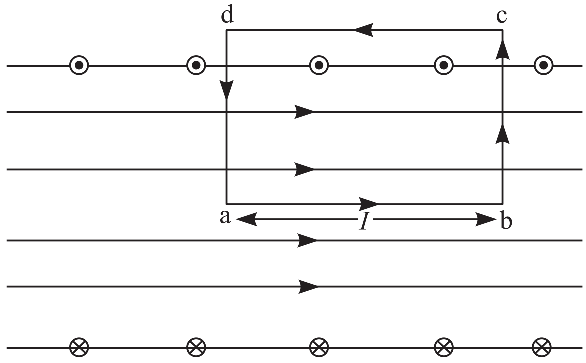
चित्र. 18.15: परिनालिका दंड चुंबक की भांति व्यवहार करती है : (a) दंड चुंबक द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र तथा; (b) धारा वाहक परिनालिका द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र

18.4.2 ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुप्रयोग

(b) ऋजुरेखीय परिनालिका में उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

परिनालिका एक सार्वत्रिक सरल रेखीय अक्ष के ऊपर अनेक वृत्ताकार फेरे लपेट कर बनाई गई कुण्डली होती हैं (देखें चित्र 18.16)। हम जानते हैं कि जब किसी चालक में धारा I प्रवाहित होती है तो इसके चारों ओर एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। माना कि परिनालिका की लम्बाई ℓ है और इसमें N फेरे हैं।

परिनालिका के अन्दर इसके मध्य में चुम्बकीय क्षेत्र एकसमान और अक्ष के समान्तर है। किन्तु परिनालिका के बाहर क्षेत्र इतना क्षीण है कि हम उसे नगण्य मान सकते हैं। ये कथन विशेषकर एक ऐसी परिनालिका के लिए सत्य कहे जाएंगे जिसकी लम्बाई उसके व्यास की तुलना में बहुत अधिक है। एक लम्बी परिनालिका के लिए, जिसके फेरे बहुत सटा सटाकर और एक समान रूप से लपेटे गए हैं, इसके अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र सभी जगह काफी हद तक एक समान है और बाहर शून्य है।



चित्र 18.16

हम एक आयताकार लूप *abcd* लेते हैं जैसा कि चित्र 18.4.2 में दर्शाया गया है। पथ *ab* के अनुदिश चुम्बकीय क्षेत्र एक समान है। इसलिए, इस पथ के लिए $\mathbf{B}\cdot d\ell = B\ell$ पथ *cd* के अनुदिश क्षेत्र शून्य ले सकते हैं क्योंकि यह अत्यन्त क्षीण है। अतः इस पथ के अनुदिश $\mathbf{B}\cdot d\ell = 0$। दोनों छोटी भुजाएं *bc* एवं *da* $\mathbf{B}\cdot d\ell$ में योगदान नहीं करतीं क्योंकि या तो **B** शून्य है (परिनालिका के बाहर) या $d\ell$ के लम्बवत् (परिनालिका के अन्दर)।

टिप्पणियाँ

यदि परिनालिका की प्रति लम्बाई इकाई में फेरों की संख्या *n* हो तो ℓ लम्बाई के आयताकार लूप में फेरों की संख्या $n\ell$ होगी। यदि परिनालिका के प्रत्येक लूप में धारा *i* हो तो लूप में से होकर पार जाने वाली कुल धारा $n\ell i$ होगी। ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुसार,

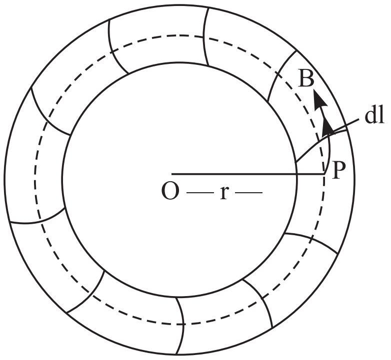
$$\sum \mathbf{B}\cdot d\ell = \mu_0 (nli)$$

अथवा $$B\ell = \mu_0 nli$$

अथवा $$B = \mu_0 ni$$

(c) किसी टोरोयड का चुम्बकीय क्षेत्र

टोरोयड मूलतः एक सिरा विहीन परिनालिका है और इसे एक ऋजुरेखीय परिनालिका को वृत्ताकार रूप में मोड़कर निर्मित किया जाता है।



चित्र 18.17

माना कि हम टोरोयड के अन्दर बिन्दु *P* पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करना चाहते हैं जिसकी केन्द्र *O* से दूरी *r* है। बिन्दु *P* से होकर गुजरने वाला एक वृत्त खींचिए जो टोरोयड के साथ समकेन्द्रिक हो। हर जगह चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा इस वृत्त के हर बिन्दु पर स्पर्श रेखा द्वारा व्यक्त होगी तथा इसका परिमाण सभी बिन्दुओं पर समान होगा। इसलिए हम इसे ऐसे लिख सकते हैं:

$$\sum \mathbf{B}\cdot d\ell = \sum B d\ell = B\sum d\ell$$

परन्तु $\sum d\ell = 2\pi r$ = वृत्ताकार पथ की परिधि

इसलिए, $$\sum \mathbf{B}\cdot d\ell = 2\pi r B$$

यदि N फेरों की कुल संख्या तथा i टोरोयड के प्रत्येक फेरे में प्रवाहित होने वाली धारा हो तो वृत्तीय पथ से घिरे क्षेत्र के आर पार जाने वाली कुल धारा Ni होगी। अतः ऐम्पियर के परिपथीय नियम से

$$\sum \mathbf{B} \cdot d\ell = \mu_0 Ni$$

अथवा $$2\pi r B = \mu_0 Ni$$

अथवा $$B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi r}$$

18.4.3 विद्युत चुम्बक और उनकी प्रबलता को प्रभावित करने वाले कारक

हम देख चुके हैं कि एक धारावाही परिनालिका एक चुम्बक की भांति व्यवहार करती है जिसका एक सिरा, इसमें प्रवाहित होने वाली धारा के अनुरूप उत्तर-ध्रुव की भाँति व्यवहार करता और दूसरा सिरा दक्षिणी ध्रुव की भाँति। इस प्रकार के चुम्बकों की ध्रुवता का निर्धारण सिरों के नियम द्वारा किया जाता है और चुम्बकीय क्षेत्र की प्रबलता का सूत्र है:

$$|\mathbf{B}| = \mu_0 nI$$

जहाँ μ_0 मुक्त आकाश की प्रबलता है, n इकाई लम्बाई में फेरों की संख्या है तथा I परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा है।

स्पष्टतः परिनालिका तभी तक चुम्बक रहती है जब तक इसमें धारा प्रवाहित होती है। अतः एक धारावाही परिनालिका विद्युत चुम्बक कहलाती है।

इसकी प्रबलता निम्नलिखित कारकों पर निर्भर करती है:

(i) परिनालिका की प्रति इकाई लम्बाई में फेरों की संख्या; और

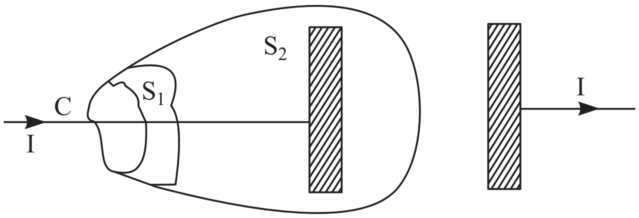
(ii) इसमें प्रवाहित होने वाली धारा

यह भी ध्यान दिया जाना चाहिए कि किसी विद्युत चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र की प्रबलता इसके अन्दर मृदु लौह क्रोड प्रविष्ट कराने से बढ़ जाती है।

18.4.4 विस्थापन धारा की संकल्पना

विस्थापन धारा की संकल्पना मैक्सवेल द्वारा प्रस्तावित की गई थी। जैसा कि हम जानते हैं चालन धारा चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। तथापि, मैक्सवेल के अनुसार, खाली स्थान में (जहाँ चालन धारा विद्यमान नहीं होती) चुम्बकीय क्षेत्र विस्थापन धारा के कारण उत्पन्न होता है, जिसमें चालन धारा की तरह आवेशों का प्रवाह नहीं होता।

एक सरल परिपथ पर विचार कीजिए जिसमें एक छोटा सा समान्तर प्लेट संधारित्र धारा I द्वारा आवेशित किया जा रहा है।



चित्र 18.18

परिरेखा C और पृष्ठ S_1 पर ऐम्पियर का परिपथीय नियम लागू करें तो हम पाते हैं–

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\ell = \mu_0 I$$

किन्तु यदि हम ऐम्पियर का परिपथीय नियम परिरेखा C और पृष्ठ S_2 पर लागू करें तो इस पृष्ठ के पार जाने वाली कोई धारा नहीं है इसलिए हमें प्राप्त होता है

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\ell = 0$$

उपर्युक्त दो समीकरणों में परस्पर विरोधाभास है। इस विरोधाभास को दूर करने के लिए मैक्सवेल ने माना कि संधारित्र की दोनों प्लेटों के बीच भी एक प्रकार की धारा का अस्तित्व होता है। उन्होने इस धारा को विस्थापन धारा कहा और दर्शाया कि यह धारा समय के साथ विद्युत क्षेत्र में होने वाले परिवर्तनों के कारण अस्तित्व में आती है।

विस्थापन धारा का एक सरल व्यञ्जक नीचे दिए अनुसार व्युत्पन्न किया जा सकता है। समान्तर प्लेट संधारित्र पर विचार कीजिए। माना कि संधारित्र की प्लेटों पर किसी क्षण t पर आवेश q है

संधारित्र के अन्दर विद्युत क्षेत्र होगा–

$$E = \frac{q}{A\varepsilon_0}$$

यहाँ A प्लेटों के पृष्ठ का क्षेत्रफल है। इसलिए संधारित्र से गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स है:

$$\phi_E = EA = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

तात्क्षणिक फ्लक्स के परिवर्तन की दर को लिखा जा सकता है

$$\frac{\Delta\phi_E}{\Delta t} = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{I}{\varepsilon_0}$$

अत:, हम लिख सकते हैं

$$\varepsilon_0 \frac{\Delta\phi_E}{\Delta t} = I$$

यह दर्शाता है कि बाँई ओर का व्यञ्जक धारा के समतुल्य है, जो हालांकि चालन धारा I के बराबर तो है लेकिन इससे भिन्न हैं क्योंकि यह मुक्त आवेशों की गति से संबद्ध नहीं है। इसे विस्थापन धारा कहा जाता है। चालन धारा I के विपरीत विस्थापन धारा तब उत्पन्न होती है जब विद्युत क्षेत्र और इसलिए वैद्युत फ्लक्स समय के साथ परिवर्तित होता है।

विस्थापन धारा को चालन धारा I में जोड़ कर, मैक्सवेल ने ऐम्पियर के परिपथी नियम को परिवर्द्धित किया और इसे निम्नलिखित रूप में व्यक्त किया:

$$\sum \mathbf{B}\cdot d\ell = \mu_0\left(I + \varepsilon_0 \frac{\Delta\phi_E}{\Delta t}\right)$$

ऐम्पियर के नियम का मैक्सेवेल द्वारा किया गया परिवर्द्धन बताता है कि चालन धारा के अतिरिक्त समय के साथ परिवर्तित होता विद्युत क्षेत्र भी चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न कर सकता है।

उदाहरण 18.1 : 50 cm लंबी किसी परिनालिका में कुंडलनों की तीन परते हैं और प्रत्येक परत में 250 फेरे हैं। सबसे निचली परत की त्रिज्या 2cm है। यदि इससे होकर प्रवाहित धारा 4.0 A हो तो **B** का परिमाण परिकलित कीजिए:

a) परिनालिका के केंद्र के समीप अक्ष पर और उसकी अक्ष के अनुदिश;

b) अक्ष पर सिरों के समीप; तथा

c) मध्य के समीप परिनालिका के बाहर

हल:

a) केंद्र पर या उसके समीप,

$$B = \mu_o nI = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{3\times 250}{0.5} \times 4 = 16\pi \times 1500 \times 10^{-7}\ \text{T} = 24\pi \times 10^{-4}\ \text{T}$$

b) सिरों पर,

$$B_{\text{सिरे}} = \frac{1}{2}\ B_{\text{केन्द्र}} = 12\pi \times 10^{-4}\ \text{T}$$

c) परिनालिका के बाहर क्षेत्र शून्य होगा।

उदाहरण 18.2 12A के धारा वाहक लंबे सीधे-तार से वह दूरी परिकलित कीजिए जहां चुंबकीय क्षेत्र 3×10^{-5} T होगा।

हल : $$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \Rightarrow r = \frac{\mu_0 I}{2\pi B}$$

$$\therefore \quad r = \frac{2\times 10^{-7}\times 12}{3\times 10^{-5}} = 0.25\ \text{m}$$

पाठगत प्रश्न 18.3

1. चुंबकीय क्षेत्र की बल रेखाओं को खींच कर हमें निम्नलिखित के बारे में जानकारी मिलती है:

   a) केवल क्षेत्र की दिशा

   b) केवल क्षेत्र का परिमाण

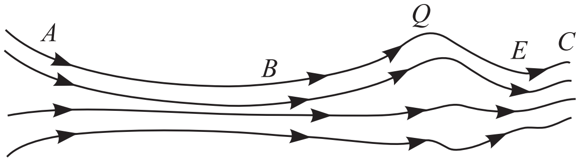
   c) क्षेत्र की दिशा तथा परिमाण दोनों;

   d) क्षेत्र का बल;

2. बायो-सावर्ट नियम और ऐम्पियर परिपथीय नियम में क्या समानता है?

3. किसी असमान चुंबकीय क्षेत्र की निम्नलिखित आरेखित बलरेखाओं में किस बिंदु पर क्षेत्र

   i) एकसमान? ii) सबसे दुर्बल? iii) सबसे प्रबल होगा?



चित्र. 18.19 : एक प्ररूपी चुंबकीय क्षेत्र

4. 10 cm लंबी किसी परिनालिका के अंदर 0.002T का चुंबकीय क्षेत्र स्थापित किया जाना है जबकि उससे होकर 3A की धारा प्रवाहित हो रही है। अपेक्षित फेरों की संख्या परिकलित कीजिए।

4. एम्पियर परिपथीय नियम का प्रयोग करके किसी टोरोयड के कारण चुम्बकीय क्षेत्र का व्यंजक प्राप्त कीजिए।

18.5 किसी चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेश पर बल

कोई आवेशित पिंड जब किसी चुंबकीय क्षेत्र में गति करता है तो वह बल का अनुभव करता है। गतिमान आवेश द्वारा अनुभव किया गया यह बल लोरेन्ट्स बल कहलाता है। चुंबकीय क्षेत्र **B** में वेग $\boldsymbol{v}$ से गतिमान, आवेश +q वाले किसी कण पर लोरेन्ट्स बल इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

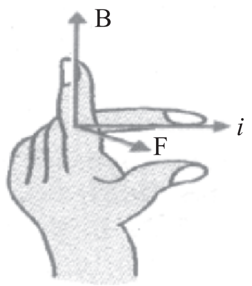
$$\mathbf{F} = q\,(\boldsymbol{v} \times \mathbf{B}) \qquad (18.9)$$

$$|\mathbf{F}| = q\, v B \sin\theta \qquad (18.10)$$

जबकि θ , v और **B** की दिशाओं के मध्य कोण है। F की दिशा फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा दर्शाई जा सकती है। फ्लेमिंग वाम हस्त नियम के अनुसार यदि हम तर्जनी को ऊपर की ओर उठाए तथा वाम हस्त की मध्य उंगली और अँगूठे परस्पर समकोण बनाते हुए इस प्रकार

टिप्पणियाँ

रखे कि तर्जनी, चुंबकीय क्षेत्र की दिशा की ओर और मध्य उँगली धन आवेशित कण की दिशा की ओर दिष्ट हों तो अंगूठा लोरेन्ट्स बल की ओर दिष्ट होगा। (चित्र. 18.20)।



चित्र 18.20: फ्लेमिंग का बाएं हाथ का नियम

ध्यान देने योग्य कुछ महत्वपूर्ण बिंदु:

1. **F** एक यांत्रिक बल है जिसके परिणामस्वरूप कर्ष (खिंचाव) और अपकर्ष (धक्का) उत्पन्न होता है।
2. बल की दिशा फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा व्यक्त की जाती है।
3. आवेश ऋणात्मक होने पर मध्य उँगली, गति की दिशा के विपरीत दिष्ट होगी।
5. यदि आवेश रुक जाता है तो बल तत्काल शून्य हो जाता है।
6. जब आवेश क्षेत्र B के अनुदिश गमन करते हैं तो बल शून्य हो जाता है।
7. जब आवेश, क्षेत्र के अनुलंब गति करते हैं तो बल अधिकतम होता है : $F = qvB$

18.5.1 एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में धारा वाहक चालक पर बल

लोरेन्ट्स बल की संकल्पना को एक समान चुंबकीय क्षेत्र B में रखे धारा वाहक चालकों पर भी आसानी से विस्तारित किया जा सकता है। मान लीजिए कि चुंबकीय क्षेत्र, कागज के समतल के समांतर है और धारा I का वहन करने वाला लम्बाई $\Delta\ell$ का चालक, क्षेत्र के अभिलंबवत् स्थित है। यह भी मान लीजिए कि धारा अपवाह वेग $\boldsymbol{v}_d$ के साथ नीचे की ओर प्रवाहित हो रही है। अत: धारा के लिए उत्तरदायी प्रत्येक मुक्त इलेक्ट्रॉन लोरेन्ट्स बल $\mathbf{F} = e\,\mathbf{v}_d . \mathbf{B}$ का अनुभव करता है।

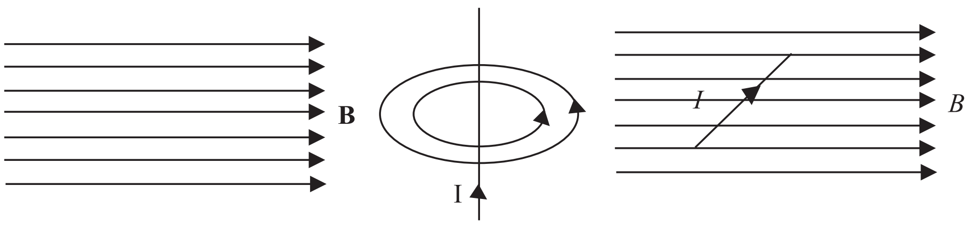
यदि चालक में N मुक्त इलेक्ट्रॉन हों तो इस पर निवल (नेट) बल होगा,

$$F = N e\, v_d B = nA\, \Delta\ell\, e v_d B \qquad (18.11)$$

जबकि n प्रति इकाई आयतन में मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या व्यक्त करता है। परंतु, $neAv_d = I$ है। अत:

$$F = I\, \Delta\ell\, B \qquad (18.12)$$

यदि चालक B के साथ कोण θ बनाता है तो $|\mathbf{F}| = I\, \Delta\ell\, B \sin\theta$



चित्र 18.21: (a) एक समान चुंबकीय क्षेत्र, (b) धारा वाहक प्रेरक के द्वारा तथा (c) धारा वाहक चालक पर बल

बल की दिशा को पुनः फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा व्यक्त किया जा सकता है।

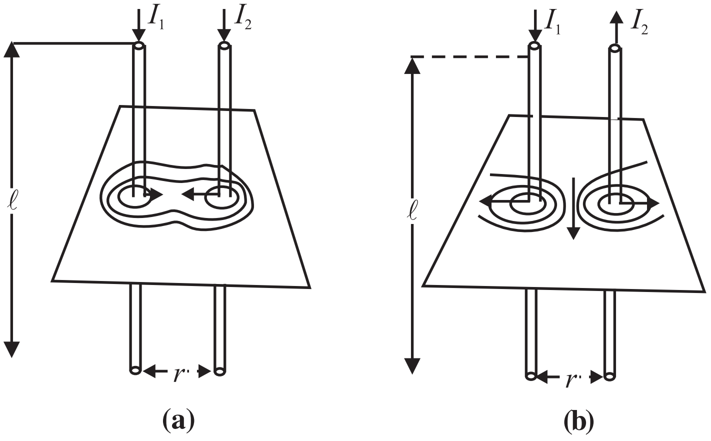
समीकरण (18.12) का प्रयोग, धारा वाहक चालक द्वारा अनुभव किए गए बल के पदों में चुंबकीय क्षेत्र के मात्रक को परिभाषित करने में किया जा सकता है। पदों को पुनः व्यवस्थित करने पर हम लिख सकते है:

$$B = \frac{F}{I\Delta\ell}$$

चूंकि F न्यूटन में, I ऐम्पियर में और $\Delta\ell$ मीटर में हैं अतः B का मात्रक $NA^{-1}\,m^{-1}$ होगा जो टेसला T कहलाता है।

18.5.2 दो समांतर धारा वाहक तारों के मध्य बल

अब आप जान गए हैं कि प्रत्येक धारा वाहक चालक के परिवेश में चुंबकीय क्षेत्र होता है। इसका यह अर्थ हुआ कि यह निकटवर्ती धारा वाहक चालक पर बल डालेगा। परस्पर समांतर स्थित दो धारा वाहक चालकों के मध्य बल, पारस्परिक होता है और इसकी प्रकृति चुंबकीय होती है। धारा वाहक चालक पर कोई नेट विद्युत आवेश नहीं होता अतः यह ऐसे दूसरे तार के साथ विद्युत अन्योन्यक्रिया नहीं कर सकता।



चित्र 18.22: धारा वाहक दो समांतर तारों के मध्य बल का प्रायोगिक निदर्शन

चित्र 18.22 में क्रमशः I_1 और I_2 धाराओं का वहन करने वाले दो समांतर तार दर्शाए गए हैं जो दूरी r से पृथकित हैं। एक तार से दूरी r पर चुंबकीय क्षेत्र $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$ होगा। इसी प्रकार दूसरे तार से दूरी r पर चुंबकीय क्षेत्र $B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$ होगा।

ये क्षेत्र, तारों की लम्बाई के अनुलंब हैं अतः दूसरे धारा वाहक चालक की लम्बाई l पर बल निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जाएगा:

$$F = B\,I\,\ell = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}\,I_2\,\ell$$

अथवा प्रति इकाई लम्बाई बल,= $\frac{\mu_0\, I_1\, I_2}{2\pi r}$

टिप्पणियाँ

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} \text{ होगा} \qquad (18.13)$$

जब धारा एक ही दिशा में हों तो बल आकर्षी और धाराओं के विपरीत दिशा में होने पर ये बल प्रतिकर्षी होते हैं। समीकरण (18.13) का प्रयोग धारा के मात्रक को परिभाषित करने में किया जा सकता है। यदि

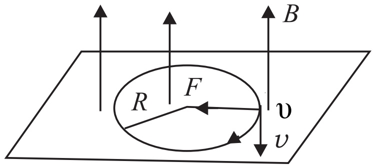
If $I_1 = I_2 = 1\text{A},\ l = 1\text{m}$ तथा $r = 1\text{m}$, हो तो

$$\text{F} = \frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7}\,\text{N}$$

इस प्रकार यदि दो तार समान धारा का वहन कर रहे हों और वे निर्वात अथवा वायु में 1 m की दूरी पर रखे जाएं और वे 2×10^{-7} Nm^{-1} के पारस्परिक बल का अनुभव करें तो प्रत्येक तार में प्रवाहित धारा एक ऐम्पियर होगी।

18.5.3 एकसमान क्षेत्र में आवेशित कण की गति

अब हम ऐसी विभिन्न परिस्थितियों के बारे में सोच सकते हैं जिनमें कोई गतिमान आवेशित कण अथवा धारा वाहक चालक, किसी चुंबकीय क्षेत्र में लोरेन्ट्स बल का अनुभव करे। किसी पिंड पर बल द्वारा किया गया कार्य, गति की दिशा के अनुलंब होता है तो कहा जाएगा कि कोई कार्य नहीं हुआ है। अतः कण की चाल υ और उसकी गतिज ऊर्जा उतनी ही बनी रहेगी जितनी क्षेत्र में गति करते समय थी यद्यपि उसका विक्षेपण हो गया है। इसके विपरीत क्षेत्र में आवेशित कण की चाल और ऊर्जा, कण पर क्षेत्र द्वारा बल के कारण सदैव प्रभावित होगी। कोई आवेशित कण चुंबकीय क्षेत्र के अनुलंब गति करते समय वर्तुल पथ का अनुसरण करता है (चित्र 18.23)। क्योंकि यह प्रत्येक स्थिति में गति की दिशा से समकोण पर बल का अनुभव करता है। हमें ज्ञात है कि चुंबकीय बल $q\upsilon B$ कण को अभिकेंद्री बल $(m\upsilon^2/R)$ प्रदान करता है जिसके कारण वह वृत्त में गति करता रहता है। अतः हम लिख सकते हैं कि,



चित्र 18.23: एक समान चुंबकीय क्षेत्र में आवेशित कण का पथ

$$q\,\upsilon B = \frac{m\upsilon^2}{R}$$

पुनः व्यवस्थित करने पर,
$$R = \frac{m\upsilon}{q\,B} \qquad (18.14)$$

किसी एक समान चुंबकीय क्षेत्र में आवेशित कण द्वारा अनुरेखित पथ की त्रिज्या, इसके संवेग $(m\upsilon)$ के अनुक्रमानुपाती और उसके आवेश तथा चुंबकीय क्षेत्र के व्युत्क्रमानुपाती होती है। इसका यह अर्थ हुआ कि संवेग जितना अधिक होगा, वृत्त उतना ही बड़ा होगा और क्षेत्र जितना अधि क प्रबल होगा वृत्त उतना ही छोटा होगा। वर्तुल पथ में कण के घूर्णन का आवर्तकाल निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जा सकता है:

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon} = \frac{2\pi m}{Bq} \qquad (18.14\ a)$$

ध्यान दें कि आवर्तकाल कण के वेग और कक्षा की त्रिज्या पर निर्भर नहीं करता। इसका यह अर्थ हुआ कि कण यदि एक बार चुंबकीय क्षेत्र में हो तो वह उतनी ही त्रिज्या के वृत के अनुदिश चक्कर लगाता रहेगा। यदि $m, B, q,$ अपरिवर्ती रहें तो υ और R में परिवर्तन होने पर भी आवर्तकाल परिवर्तित नहीं होता। अब विचार कीजिए कि निम्नलिखित अवस्थाओं में R और T का क्या होगा: a) क्षेत्र B को प्रबल कर दिया जाए; b) क्षेत्र B को दुर्बल कर दिया जाए; c) क्षेत्र B का अस्तित्व न हो; d) B की दिशा परिवर्तित कर दी जाए; e) चुंबकीय क्षेत्र में कण, उच्चतर चाल से प्रवेश करें; f) B के साथ कोण बनाता हुआ कण प्रवेश करें; तथा g) आवेशित कण पर आवेश समाप्त हो जाए।

18.5.4 एकसमान विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों में आवेशित कण की गति

(a) विद्युत क्षेत्र में गति

किसी एक समान विद्युत क्षेत्र में E में q आवेश युक्त कण पर लगने वाला बल,

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$$

अतः, इस बल के प्रभाव से यह आवेशित कण त्वरित होगा। इस त्वरण का मान होगा,

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m} = \frac{q\mathbf{E}}{m}$$

यह त्वरण बल की दिशा में होगा। यदि आवेश धनात्मक है तो इसका त्वरण क्षेत्र की दिशा में होगा और यदि आवेश ऋणात्मक है तो त्वरण क्षेत्र की विपरीत दिशा में होगा। गति के समीकरणों के उपयोग द्वारा आवेशित कण के वेग तथा विस्थापन का परिकलन किया जा सकता है:

$$v = u + \left(\frac{qE}{m}\right)t$$

$$s = ut + \frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m}\right)t^2$$

जहाँ t समय को निर्दिष्ट करता है।

(b) चुम्बकीय क्षेत्र में गति

अनुच्छेद 18.5.3 (पृष्ठ 104, पुस्तक 2) के अनुसार किसी चुम्बकीय क्षेत्र में आवेशित कण पर लगने वाले बल का मान होता है

$$F = qBv\sin\theta$$

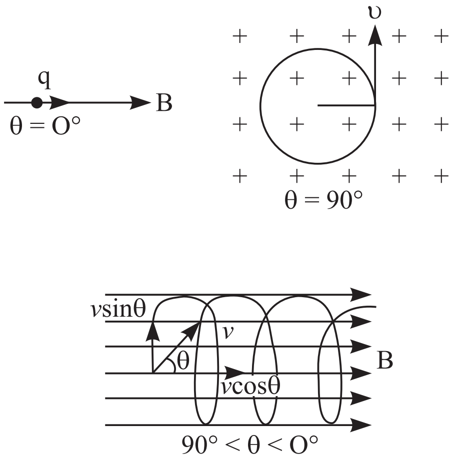
जहाँ θ, वेग तथा चुम्बकीय क्षेत्र के बीच का कोण है।

यदि $\theta = 0$, तो $F = 0$ और आवेशित कण सरल रेखा के अनुदिश किसी स्थिर चालसे गमन करेगा।

यदि $\theta = 90°$, तो F का मान अधिकतम होगा और इस बल की दिशा, फ्लेमिंग के वाम हस्त नियम के अनुसार उस समतल के लम्बवत् होगी जिसमें **v** एवं **B** विद्यमान है, तथा आवेशित कण एक वृत्ताकार पथ में स्थिर चाल तथा आवृत्ति से घूर्णन करेगा।

यदि $\theta \neq 0° \neq 90°$, तो कण का वेग क्षेत्र की लम्बवत् दिशा में $v\sin\theta$ तथा क्षेत्र की समान्तर दिशा में $v\cos\theta$ होगा। अत: कण सर्पिल पथ में गति करेगा।

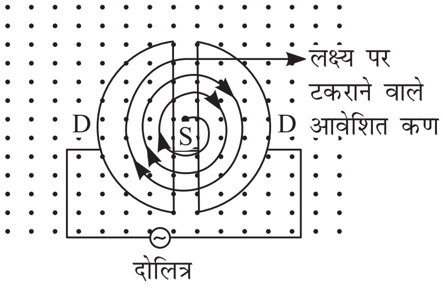
उपरोक्त विवेचन से हमें यह ज्ञात होता है कि, चुम्बकीय क्षेत्र किसी गतिमान आवेश की चाल में परिवर्तन नहीं करता, यह केवल कण की गति की दिशा में परिवर्तन करता है।



चित्र 18.24

18.5.5 साइक्लोट्रॉन

साइक्लोट्रॉन, ई. ओ. लॉरेन्स द्वारा 1929 में आविष्कृत एक ऐसी युक्ति है जिसका उपयोग आवेशित कणों (जैसे प्रोटॉन, ड्यूट्रॉन या एल्फा कणों) को त्वरित करने के लिये किया जाता है। इसमें धातु की दो अर्धवृत्ताकार खोखली डिस्क DD होती हैं। इनका आकार अंग्रेजी के अक्षर 'D' से मिलता जुलता है, इसलिए इन्हें 'डी' कहा जाता है। इनके बीच में कुछ रिक्त स्थान होता है, जिससे ये एक–दूसरे से पृथक्कृत रहती हैं। इन 'डी' को एक वायुरिक्त कक्ष में रखा जाता है।



चित्र 18.25

'डी' के तल की लम्बवत् दिशा में एक विद्युत चुम्बक द्वारा (जिसके ध्रुव सपाट होते हैं) चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न किया जाता है (आरेख में यह पृष्ठ से बाहर की ओर दर्शाया गया है)। एक दोलित्र के द्वारा दो 'डी' के बीच में द्रुत दोलनी विभवान्तर आरोपित किया जाता है। इससे दोनों 'डी' के बीच के रिक्त स्थान में एक दोलनी विद्युत क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है।

दो 'डी' के बीच के रिक्त स्थान में q आवेश युक्त m द्रव्यमान के एक कण पर विचार कीजिए। विद्युत क्षेत्र के कारण यह कण किसी एक 'डी' की ओर त्वरित होता है। 'डी के भीतर यह कण अर्ध वृत्ताकार पथ में दक्षिणावर्त दिशा में एक स्थिर चाल से गति करता है। यदि दोलित्र की आवृत्ति, आवेशित कण के परिक्रमण की आवृति के बराबर हो तो, यह कण दो 'डी' के बीच रिक्त स्थान में उस क्षण पहुँचेगा जब विद्युत क्षेत्र की दिशा के उलट जाने के कारण सामने वाला 'डी' ऋणात्मक हो जाता है।

आवेशित कण के परिक्रमण की आवृति समीकण 18.14a के अनुसार,

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi R} = \frac{Bq}{2\pi m}$$

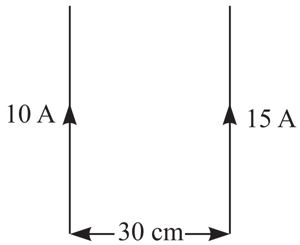
जहाँ, B चुम्बकीय क्षेत्र है।

इसे साइक्लोट्रॉन आवृत्ति भी कहा जाता है और ν_c से निर्दिष्ट किया जाता है। जब $\nu_c = \nu_o =$ दोलित्र की आवृति, तो कण रिक्त स्थान में उस क्षण पहुँचता है जब सामने वाले 'डी' के विभव का चिन्ह उल्टा हो जाता है। इस स्थिति को साइक्लोट्रॉन अनुनाद स्थिति कहा जाता है। इस के कारण, कण ऊर्जा प्राप्त करता है जिससे यह और अधिक त्रिज्या के वृत्त में गति करने लगता है। ऊर्जा में इस वृद्धि को अनेक बार दोहराया जा सकता है।

इस प्रकार, कण की ऊर्जा तथा उसके पथ (मार्ग) की त्रिज्या लगातार बढ़ती जाती है। किन्तु, इस पथ की अधिकतम त्रिज्या 'डी की त्रिज्या R के द्वारा परिसीमित होती है। उच्च ऊर्जा के आवेशित कण अन्ततः 'डी' में बने द्वार से बाहर निकल आते हैं।

उदाहरण 18.3 : चित्र 18.21 का अवलोकन कर, धारा 10A तथा 15A, का वहन करने वाले तारों के मध्य बल परिकलित कीजिए यदि इन तारों की लम्बाई 5m है। इस बल की प्रकृति कैसी होगी?

हल : जब दो लंबे समांतर तारों में एक ही दिशा में धारा प्रवाहित हो तो तार परस्पर आकर्षित होते हैं और आकर्षण बल निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जाएगा।



चित्र 18.26

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{2\times10^{-7}\times10\times15}{3} = 10^{-4}\ \text{N m}^{-1}$$

$$\therefore\ F = 5\times10^{-4}\ \text{N}$$

बल की प्रकृति आकर्षी है।

उदाहरण 18.4 : 3×10^7 m s^{-1} के वेग से कोई इलेक्ट्रॉन अपने अनुलंब, 0.2 T, के एक समान चुंबकीय क्षेत्र में वर्तुल पथ तय करता है। इस पथ की त्रिज्या परिकलित कीजिए।

हल :

हमें ज्ञात है कि, $$R = \frac{mv}{Bq}$$

यहां, $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $v = 3 \times 10^7$ m s^{-1} तथा $B = 0.2$ T. अतः

$$R = \frac{9 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^7}{0.2 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 0.85 \times 10^{-3}$$

$$= 8.5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

पाठगत प्रश्न 18.4

1. प्रोटॉनों की कोई धारा इलेक्ट्रॉनों की धारा के समांतर परंतु विपरीत दिशा में गति कर रही है। इनके मध्य बल की प्रकृति कैसी है?
2. विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्र दोनों किसी इलेक्ट्रॉन को विक्षेपित करते हैं। इनमें क्या अंतर है?
3. कोई पिंड किसी ऊर्ध्व स्प्रिंग से लटका है। यदि इस स्प्रिंग से होकर धारा प्रवाहित की जाए तो पिंड की स्थिति पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
4. साइक्लोट्रॉन किस प्रकार आवेशित कणों को त्वरित करता है?

18.6 द्विध्रुव के रूप में धारा पाश

आपको ध्यान होगा कि कुंडली के केंद्र पर क्षेत्र समीकरण (18.6) के द्वारा निम्नलिखित प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

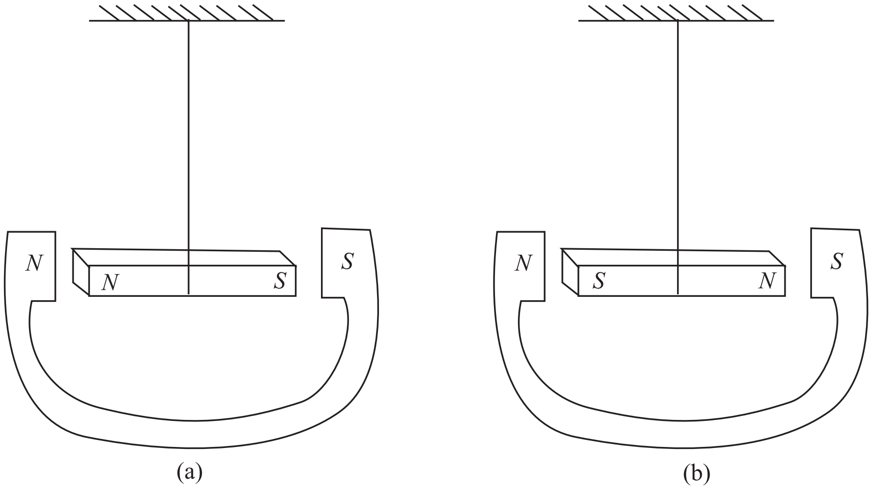
अंश और हर को $2\pi r^2$, से गुणा करने पर हम इसे इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$B = \frac{\mu_0 \, 2I \,.\, \pi r^2}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 \, 2\, I\, A}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3}$$

जबकि A कुंडली का क्षेत्रफल तथा M चुंबकीय आघूर्ण है। यह दर्शाता है कि धारा का वहन करने वाली कुंडली, एक चुंबकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करती है जिसमें उत्तर व दक्षिण ध्रुव हैं। पाश का एक फलक उत्तर ध्रुव और दूसरा फलक दक्षिण ध्रुव की भांति व्यवहार करता है। आइए, एक सरल क्रिया कलाप करें:

क्रियाकलाप 18.3

दंड चुंबक को किसी अश्वनाल चुंबक के ध्रुव-खंडों के मध्य, धागे द्वारा लटकाइए जैसा कि चित्र 18.27 के द्वारा दर्शाया गया है।



चित्र. 18.27 : अश्व नाल चुंबक के मध्य निलंबित दंड चुंबक

यदि दंड चुंबक को चित्र 18.27 (a) में दर्शाए गए अनुसार थोड़ा सा अलग-बगल विस्थापित किया जाए तो क्या होगा? चूंकि सदृश ध्रुव, प्रतिकर्षित होते हैं अतः दंड चुंबक एक बलाघूर्ण का अनुभव करेगा और 180° के कोण से घूमकर चित्र 18.27 में दर्शाए अनुसार संरेखित हो जाएगा। चूंकि धारा पाश एक चुंबक की भांति व्यवहार करता है अतः यह बाह्य क्षेत्र में उसी प्रकार संरेखित हो जाएगा। आप स्थिर वैद्युतिकी के अध्याय में निम्नलिखित समीकरणों का अध्ययन कर चुके हैं। किसी द्विध्रुव से उसकी अक्ष पर स्थित सुदूर बिंदु पर विद्युत क्षेत्र इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{2\mathbf{P}}{x^3} \qquad (18.15\text{ b})$$

धारा वाहक कुंडली के कारण चुंबकीय क्षेत्र,

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\,\text{NIA}}{x^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{M}}{x^3} \qquad (18.15\text{ c})$$

जबकि **M** चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण है।

इन व्यंजकों की तुलना से हमें निम्नलिखित अनुरुपताएं प्राप्त होती हैं:

- धारा लूप एक चुंबकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करता है जिसका चुंबकीय आघूर्ण निम्नलिखित है:

$$\mathbf{M} = \text{NIA} \qquad (18.15\text{ (d)}$$

- चुंबकीय द्विध्रुव के ध्रुवों की भांति धारा पाश के दोनों पार्श्वों को अलग-अलग नहीं किया जा सकता।

- एक समान चुंबकीय क्षेत्र में कोई चुंबकीय द्विध्रुव किसी एकसमान विद्युत क्षेत्र में विद्युत द्विध्रुव की भांति ही व्यवहार करता है।
- चुंबकीय द्विध्रुव में द्विध्रुव की भांति ही चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र होता है।

इस प्रकार, किसी अक्षीय बिंदु पर चुंबकीय द्विध्रुव के कारण उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र, निम्नलिखित व्यंजक के द्वारा व्यक्त किया जाएगा:

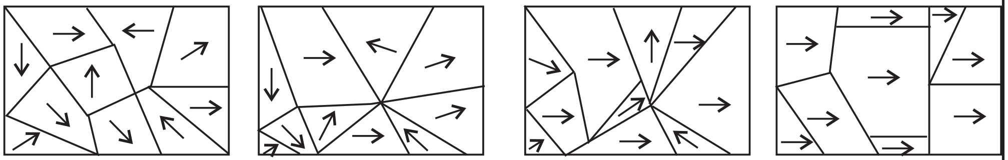
$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{2\mathbf{M}}{x^3} \qquad (18.16)$$

जबकि किसी मध्यवर्ती बिंदु पर क्षेत्र निम्नलिखित होगा:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{\mathbf{M}}{x^3} \qquad (18.17)$$

द्रव्य में चुंबकत्व

चुंबकीय क्षेत्र में सामग्री के व्यवहार के आधार पर हम उन्हें मोटे तौर पर तीन संवर्गों में विभाजित कर सकते हैं: (i) **प्रति चुंबकीय** पदार्थ में चुंबक द्वारा क्षीण प्रतिकर्षण होता है; (ii) **अनुचुंबकीय पदार्थ** में चुंबक द्वारा क्षीण आकर्षण होता है; (iii) **लोह चुंबकीय पदार्थ**, चुंबक द्वारा प्रबल रूप से आकर्षित होते हैं। लोह, निकैल और कोबाल्ट जैसे पदार्थ लोह चुंबकीय कहलाते हैं। अब हम पदार्थ के लोह चुंबकीय, व्यवहार के बारे में विस्तार से अध्ययन करेंगे। लोह चुंबकीय पदार्थ दुर्बल चुंबकीय क्षेत्र में रखे जाने पर भी चुंबक बन जाते हैं। क्योंकि उनके परमाणु, स्थायी चुंबकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करते हैं। इन परमाणु द्विध्रुवों की प्रवृत्ति किसी बाह्य क्षेत्र में परस्पर समांतर संरेखित होने की होती है। ये द्विध्रुव परस्पर स्वतंत्र नहीं होते। प्रत्येक द्विध्रुव अपने परिवेशी द्विध्रुव की उपस्थिति का अनुभव करता है। इस अन्योन्य क्रिया की सही व्याख्या केवल क्वांटम यांत्रिकी के आधार पर की जा सकती है। हालांकि, निम्नलिखित विवरण के आधार पर लोह चुंबकीय पदार्थ में छोटे-छोटे क्षेत्र होते हैं जो डोमेन कहलाते हैं। किसी डोमेन में सभी चुंबकीय द्विध्रुव संरेखित रहते हैं और डोमेनों का चुम्बकत्व अधिकतम होता है। परंतु डोमेन यादृच्छिकत: अभिविन्यस्त रहते हैं। परिणाम स्वरूप किसी प्रतिदर्श का कुल चुंबकीय आघूर्ण शून्य होता है। जब हम बाह्य चुंबकीय क्षेत्र लगाते हैं तो ये डोमेन थोड़ा सा घूर्णन कर स्वंय, क्षेत्र की दिशा में संरेखित हो जाते हैं जिससे परिणामी चुंबकीय आघूर्ण प्राप्त होता है। यह प्रक्रम नीचे चित्र 18.28 में दर्शाए गए सरल आरेख द्वारा आसानी से समझा जा सकता है।



B = 0 (a)   **B** > 0 (b)   **B** >> 0 (c)   **B** >>> 0 (d)

चित्र 18.28 : लोह चंबकीय पदार्थ में डोमेन

टिप्पणियाँ

सारणी 18.1: लोह चुम्बकीय पदार्थ और उनके क्यूरी ताप

पदार्थ	क्यूरी ताप T_c (K)
लोहा	1043
निकेल	631
कोबाल्ट	1394
गैडोलिनियम	317
Fe_2O_3	893

चित्र 18.28 (a) में दस डोमेन दर्शाए गए हैं। सरलता को ध्यान में रखकर हम एक द्विविमीय उदाहरण लेते हैं। सभी डोमेन इस प्रकार दिष्ट हैं कि प्रतिदर्श का कुल चुंबकन शून्य है। आकृति 18.28 (b) में बाह्य चुंबकीय क्षेत्र लागू करने के बाद की स्थिति दर्शाई गई है। डोमेनों की परिसीमाएं (डोमेन की दीवारें) इस प्रकार पुनर्गठित हो जाती हैं कि क्षेत्र की दिशा में चुंबकीय आघूर्ण वाले डोमेन का आमाप, अन्य डोमेन दीवारों की कीमत पर बड़ा हो जाता है। बाह्य क्षेत्र की प्रबलता बढ़ाने पर, अनुकूल डोमेनों के आमाप में वृद्धि हो जाती है और डोमेन के अभिविन्यास में किंचित परिवर्तन हो जाता जिसके फलस्वरूप अधिक चुंबकन हो जाता चित्र [18.28 (c)] है। अति प्रबल अनुप्रयुक्त क्षेत्र के प्रभाव में लगभग समग्र आयतन, एकल डोमेन के रूप में व्यवहार करता है जिससे संतृप्त चुंबकन प्राप्त होता है। जब बाह्य क्षेत्र हटा लिया जाता है तो प्रतिदर्श में नेट चुंबकत्व बना रहता है। लोह चुंबकीय प्रतिदर्शों में डोमेनों को उच्च शक्ति सूक्ष्मदर्शी द्वारा आसानी से देखा जा सकता है।

जब लोह चुंबकीय पदार्थ के ताप में किसी नियत क्रांतिक मान से अधिक वृद्धि की जाती है तो पदार्थ अनुचुंबकीय बन जाता है। यह क्रांतिक ताप, क्यूरी ताप Te कहलाता है। सारणी 18.1 में लोह चुंबकीय पदार्थ और उनके क्यूरी ताप दिये गये हैं।

उदाहरण 18.5 : चुंबकीय आघूर्ण का अल्पतम मान बोर मैग्नेटॉन $\mu_B = \frac{eh}{4\pi m}$ कहलाता है। यह एक मूल नियतांक है। इसका मान परिकलित कीजिए:

हल:

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m}$$

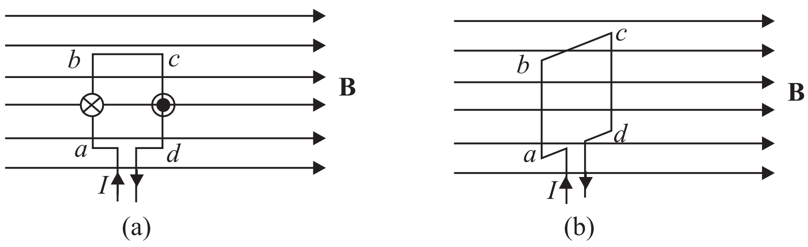
$$= \frac{(1.6\times10^{-19}\,\text{C})\times(6.6\times10^{-34}\,\text{Js})}{4\times3.14\times(9\times10^{-31}\,\text{kg})}$$

$$= 9.34 \times 10^{-24}\ \text{J T}^{-1}$$

18.6.1 धारा लूप पर बल-आघूर्ण

धारा का वहन करने वाले तार के लूप को किसी एकसमान चुंबकीय क्षेत्र (**B**) में रखा गया है। यह किसी नेट बल का अनुभव नहीं करता। परंतु इस पर एक बल-आघूर्ण क्रिया करता है। इस बल-आघूर्ण की प्रवृत्ति पाश को घूर्णित कर इसके समतल को, क्षेत्र की दिशा के अनुलंब लाने की होती है। इसी सिद्धांत के आधार पर सभी विद्युत मोटर तथा मीटर आदि कार्य करते हैं।

हम आयताकार धारावाहक लूप की प्रत्येक भुजा पर बल की जांच करते हैं जहां समतल, एकसमान चुंबकीय क्षेत्र B के समांतर (चित्र 18.29 (a) है।



चित्र 18.29 : आयताकार लूप की भुजा पर बल ज़ब (a) पाश, क्षेत्र के समांतर है, और जब (b) कुंडली, क्षेत्र के अनुलंब है।

ad और *bc* भुजाएँ B के समांतर हैं। अत: उन पर कोई बल क्रिया नहीं करेगा। भुजाएं ab तथा cd हालांकि B के अनुलंब है अत: ये अधिकतम बल का अनुभव करेंगी। हम ab और cd पर बल की दिशा आसानी से ज्ञात कर सकते हैं।

वास्तव में, $|\mathbf{F}_{ab}| = |\mathbf{F}_{cd}|$ और ये विपरीत दिशाओं में क्रिया करते हैं। अत: लूप पर कोई नेट बल नहीं है। चूंकि $\mathbf{F}_{ab}$ और $\mathbf{F}_{cd}$ एक ही रेखा के अनुदिश क्रिया नहीं करते अत: वे लूप पर बल आघूर्ण डालते हैं इसी कारण वह घूम जाता है। यह बात चुंबकीय क्षेत्र में किसी भी आकार के धारा लूप पर लागू होती है।

यदि लूप का समतल चुंबकीय क्षेत्र के अनुलंब हो तो उस पर न तो कोई नेट बल और ना ही कोई बल आघूर्ण (देखिए चित्र 18.29 (b)) होगा।

$$\text{बल आघूर्ण} = \text{बल} \times \text{बल के मध्य लांबिक दूरी}$$

$$= B\,IL.\,b \sin\theta$$

चित्र 18.30 का अवलोकन करें जिसमें धारा *I* को वहन करने वाला लूप *PQRS* दर्शाया गया है। चुंबकीय क्षेत्र B और कुंडली *n* के समतल के अभिलंब के मध्य कोण θ है। तब, बल आघूर्ण,

$$\boldsymbol{\tau} = NBIL\, b \sin\theta$$

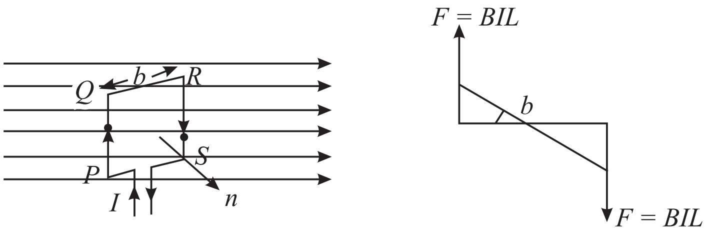
जबकि *N* कुंडली पर फेरों की संख्या है। हम पुन: निम्नलिखित रूप में लिख सकते है:

$$|\boldsymbol{\tau}| = NBI\,A \sin\theta \qquad (18.18)$$

जबकि *A*, कुंडली का क्षेत्रफल = *L x b*

$$|\boldsymbol{\tau}| = |\mathbf{B}|\,|\mathbf{M}| \sin\theta \qquad (18.19)$$

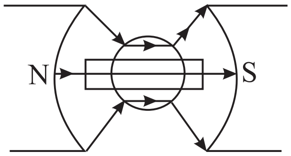
जबकि $\mathbf{M} = NIA$ है जो धारा वाहक कुंडली का चुंबकीय आघूर्ण कहलाता है। इस प्रकार हम देखते हैं कि बल-आघूर्ण *B,A,I,N* तथा θ पर निर्भर करता है।



चित्र 18.30 : धारावाहक पाश पर बल आघूर्ण

यदि चुंबकीय क्षेत्र में लूप का एक समान घूर्णन वांछनीय हो तो हमें अपरिवर्ती बल आघूर्ण चाहिए। यदि कुंडली का समतल सदैव चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश या समांतर हो बलयुग्म लगभग अपरिवर्ती होगा। ऐसा करने के लिए चुंबक के ध्रुवीय टुकड़ों की मोड़ कर और उसके केंद्र पर मृदु लोह क्रोड रखा जाता है ताकि त्रिज्य क्षेत्र प्राप्त हो।

लूप के अंदर स्थित मृदु लोह क्रोड से भी चुंबकीय क्षेत्र प्रबल और एक समान हो जाता है जिससे अधिक बल-आघूर्ण प्राप्त होता है (चित्र 18.30)।



चित्र 18.31: त्रिज्य क्षेत्र में किसी कुंडली पर अपरिवर्ती बल-आघूर्ण

18.6.1.1 चुम्बकीय द्विध्रुव

चुम्बकीय द्विध्रुव से तात्पर्य है

(i) तार की धारावाही वृत्ताकार कुण्डली, तथा

(ii) एक छोटा छड़ चुम्बक

किसी बिन्दु पर चुम्बकीय द्विध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र–

(i) द्विध्रुव की अक्ष पर इसके केन्द्र से r दूरी पर स्थित बिन्दु पर होगा:

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{M}}{r^3}$$

(ii) द्विध्रुव की समद्विभाजक रेखा पर r दूरी पर स्थित किसी बिन्दु पर होगा:

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathbf{M}}{r^3}$$

इसका अर्थ है कि चुम्बकीय क्षेत्र की अक्ष के परित: बेलनाकार (सिलिंडिरिकल) सममिति है।

18.6.1.2 एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित चुम्बकीय द्विध्रुव पर बल-आघूर्ण

अनुभाग 18.6 में हम देख चुके हैं कि धारा पाश (लूप) चुम्बकीय द्विध्रुव की भाँति व्यवहार करता है। 18.6.1 में हमने यह भी देखा है कि किसी एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धारापाश पर एक बल-आघूर्ण लगता है जिसका मान होता है;

$$\tau = \mathbf{M} \times \mathbf{B}$$

$$\Rightarrow \qquad |\tau| = |\mathbf{M}| \times |\mathbf{B}| \sin\theta$$

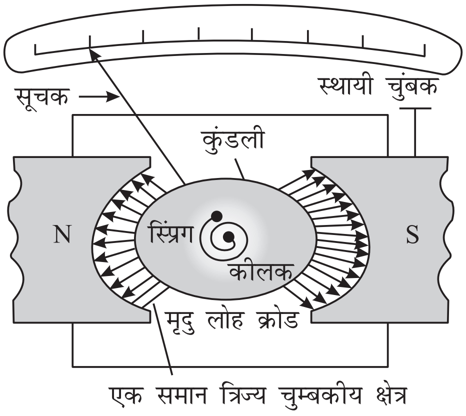
τ की दिशा उस समतल के अभिलम्बवत् होती है जिसमें **M** तथा **B** स्थित हैं, यह दिशा दक्षिण-हस्त स्क्रू नियम द्वारा ज्ञात की जा सकती है।

नोट कीजिये कि इन व्यंजकों में, $\mathbf{M} = NI\mathbf{A}$.

जहाँ **A** की दिशा दक्षिण हस्त नियम द्वारा ज्ञात की जाती है।

18.6.2 गैल्वेनोमीटर

अब तक आपने जो कुछ सीखा है इससे किसी ऐसे यंत्र के बारे में सोच सकते है जिससे किसी भी परिपथ में धारा का संसूचन किया जा सके। परिशुद्धतः ऐसी युक्ति गैल्वेनोमीटर कहलाती है जो इस सिद्धांत पर आधारित है कि धारा का वहन करने वाली कुंडली को जब चुंबकीय क्षेत्र में रखा जाता तो बल आघूर्ण का अनुभव करती है। गैल्वेनोमीटर में अचुंबकीय फ्रेम पर लपेटी हुई एक कुंडली होती है। इस कुंडली के अंदर एक मृदु लोहे का सिलिंडर रखा जाता है। इस व्यवस्था को ऐसे दो कीलकों पर आधार प्रदान किया जाता है जो सूचक युक्त स्प्रिंगों से जुड़े रहते हैं। इसे अश्वनाल चुंबक के ध्रुव टुकड़ों के मध्य रखा जाता है जो त्रिज्य क्षेत्र प्रदान करते है। चल कुंडली गैल्वेनोमीटर के कार्य सिद्धांत को समझने के लिए स्मरण करें कि जब किसी कुंडली से होकर धारा प्रवाहित होती है तो उस पर क्रिया करने वाले बल आघूर्ण के प्रभाव में वह घूम जाती है। स्प्रिंग से प्रत्यानयन बल और इस प्रकार प्रत्यानयन बल आघूर्ण स्थापित हो जाता है। यदि व्यावर्तन कोण (Angle of twist) α और k प्रति इकाई व्यावर्त प्रत्यानयन बलआघूर्ण हो, (जो व्यावर्तनी स्थिरांक कहलाता है,) तो



चित्र 18.32 : चल कुंडली गैल्वेनोमीटर

हम लिख सकते है; $NBIA \sin\theta = k\,\alpha$

चूंकि $\theta = 90^\circ$, $\sin\theta = 1$. अत:

$$NBIA = k\alpha$$

अथवा
$$\frac{INBA}{k} = \alpha \qquad (18.20)$$

और
$$I = \frac{k\alpha}{INBA},$$

जबकि, $\frac{k}{INBA}$ गैल्वेनोमीटर स्थिरांक कहलाता है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि,

$$\alpha \propto I$$

अर्थात; गैलवेनोमीटर में उत्पन्न विक्षेपण उससे होकर प्रवाहित धारा के आनुपातिक होगा बशर्ते कि N, B A और k अपरिवर्ती हों। अनुपात α/I गैल्वेनोमीटर की सुग्राहिता कहलाता है। इसे, प्रति इकाई धारा से उत्पन्न कुंडली में विक्षेपण से परिभाषित किया जाता है। धारा जितनी प्रबल होगी बल आघूर्ण भी उतना ही प्रबल होगा और कुंडली अधिक घूमेगी। अत्यल्प (बहुत ही कम) (अर्थात $0.1\mu A$ कोटि) धारा को प्रति उत्तरित करने के लिए गैल्वेनोमीटर निर्मित किए जा सकते हैं।

गैल्वेनोमीटर की सुग्राहिता : अधिक सुग्राही गैल्वेनोंमीटर प्राप्त करने के लिए;

- N का मान अधिक होना चाहिए;
- B का मान अधिक, एकसमान और त्रिज्य होना चाहिए;
- कुंडली का क्षेत्रफल अधिक होना चाहिए; और
- व्यावर्तनी स्थिरांक अल्प होना चाहिए;

N और A के मान एक सीमा से अधिक नहीं बढ़ाए जा सकते। N और A के अधिक मानों से वैद्युतीय तथा जड़त्वीय प्रतिरोध और गैल्वेनोमीटर के आमाप में वृद्धि हो जाएगी। प्रबल अश्वनाल चुंबल का प्रयोग कर और कुंडली को मृदु लोह क्रोड पर आरोपित कर B के मान में वृद्धि की जा सकती है। क्वाट्र्ज और फॉस्फर ब्रान्ज जैसी सामग्री का प्रयोग कर α के मान में कमी की जा सकती है।

18.6.3 ऐमीटर तथा वोल्टमीटर

(a) ऐमीटर : ऐमीटर, समुचित ढंग से शंट किया गया गैल्वेनोमीटर होता है। इसका स्केल अंशांकित होता है जो परिपथ में धारा का मान दर्शाता है। किसी गैल्वेनोमीटर को ऐमीटर में परिणत करने के लिए अल्प प्रतिरोधी तार को गैल्वेनोमीटर के साथ पार्श्व-संयोजित किया जाता है। शंट का प्रतिरोध, ऐमीटर के परास पर निर्भर करता है और निम्नलिखित प्रकार से परिकलित किया जा सकता है:

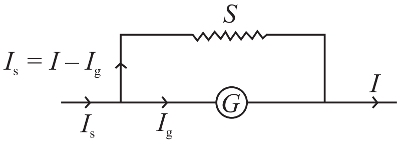
मान लीजिए गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध G और गैल्वेनोमीटर में स्केल-विभाजनों की संख्या N है। k दक्षता अंक अथवा गैल्वेवोमीटर में एक स्केल विक्षेपण के लिए धारा है। गैल्वेनों मीटर के पूरे स्केल पर विक्षेपण उत्पन्न करने के लिए धारा $I_g = Nk$ होगी।

यदि गैल्वेनोमीटर द्वारा मापी जाने वाली अधिकतम धारा I है तो चित्र 18.28 के अनुसार बिंदुओं A और B के मध्य वोल्टता इस प्रकार व्यक्त की जाएगी।

$$V_{AB} = Ig\,G = (I - I_g)\,S$$

ताकि
$$S = \frac{Ig\,G}{I - Ig} \qquad (18.21)$$

जबकि S शंट प्रतिरोध है।



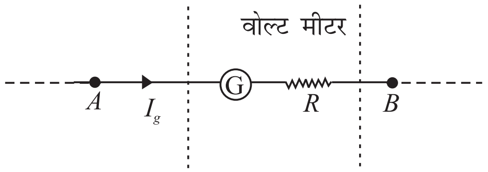
चित्र 18.33 : ऐमीटर के रूप में कार्य करने वाला शंट युक्त गैल्वेनोमीटर.

चूंकि G और S पार्श्व क्रम में संयोजित हैं अत: ऐमीटर का प्रभावी प्रतिरोध R इस प्रकार व्यक्त किया जाएगा: $R = \dfrac{GS}{G+S}$.

चूंकि शंट प्रतिरोध अल्प है अत: गैल्वेनोमीटर और शंट का संयुक्त प्रतिरोध बहुत कम होता है अत: गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध की तुलना में ऐमीटर का प्रतिरोध कम होता है। आदर्श ऐमीटर का प्रतिरोध लगभग नगण्य होता है। इसी कारण जब इसे किसी परिपथ में श्रेणीक्रम में संयोजित किया जाता है तो बिना किसी प्रेक्षणीय कमी के समग्र धारा इससे होकर प्रवाहित हो जाती है।

(b) वोल्टमीटर : वोल्टमीटर का प्रयोग किसी परिपथ में दो बिंदुओं के मध्य विभवांतर के मापन में किया जाता है। गैल्वेनोमीटर कुंडली के साथ उच्च प्रतिरोध को श्रेणी क्रम में संयोजित कर गैल्वेनोमीटर को वोल्टमीटर में परिणत किया जा सकता है जैसा कि चित्र 18.29 में दर्शाया गया है। प्रतिरोध का मान वोल्टमीटर के परास पर निर्भर करता है और निम्नलिखित प्रकार से परिकलित किया जा सकता है:

गैल्वेनोमीटर कुंडली के साथ उच्च प्रतिरोध R श्रेणी क्रम में संयोजित है:



चित्र 18.34 : वोल्टमीटर के रूप में गैल्वेनोमीटर

यदि AB के मध्य विभवान्तर V वोल्ट हो तो वोल्टमीटर का कुल प्रतिरोध G+R होगा। ओम नियम के अनुसार हम लिख सकते हैं;

$$I_g (G + R) = V$$

अथवा $$G + R = \frac{V}{I_g}$$

$$\Rightarrow \qquad R = \frac{V}{I_g} - G \qquad (18.22)$$

इसका यह अर्थ हुआ कि यदि गैल्वेनोमीटर की कुंडली के साथ प्रतिरोध R को श्रेणी क्रम में संयोजित कर दिया जाए तो यह वोल्टमीटर की भांति कार्य करेगा जिसका परास 0-V वोल्ट होगा।

अब गैल्वेनोमीटर की वही मापनी जो रूपान्तरण से पहले अधिकतम विभव $I_g \times G$ का मापन कर रही थी, वोल्टमीटर में रूपान्तरण के बाद विभव V का मापन करेगी। इसका तदनुसार अंशाकन किया जा सकता है। वोल्टमीटर का प्रतिरोध, गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध से अधिक होता है। वोल्टमीटर का प्रभावी प्रतिरोध इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है;

$$R_V = R + G$$

आदर्श वोल्टमीटर का प्रतिरोध अनंत होता है। परिपथ में जिन बिंदुओं के मध्य विभवपात का मापन करना हो इसे पार्श्व संयोजित किया जाता है। यह किसी धारा का **आहरण** नहीं करेगा। परंतु गैल्वेनोमीटर की कुंडली विक्षेपित होगी। ऐसा असंभव लगता है। जरा सोचिए;

उदाहरण 18.6 : 8.0 cm, त्रिज्या और 30 फेरों की कोई वृत्ताकार कुंडली 6.0 A की धारा का वहन कर रही है। यह कुंडली 1.0 T के एकसमान क्षैतिज चुंबकीय क्षेत्र में ऊर्ध्वाधरतः निलंबित है। क्षेत्र रेखाएं, कुंडली के अभिलंब के साथ 90° का कोण बनाती हैं। कुंडली को मुड़ने से रोकने के लिए लगाए गए प्रति बल-आघूर्ण के परिमाण को परिकलित कीजिए।

हल : यहां, $N = 30$, $I = 6.0$ A, $B = 1.0$ T,

$\theta = 90^o$, $r = 8.0$ cm $= 8 \times 10^{-2}$ m

कुंडली का क्षेत्रफल $(A) = \pi r^2 = \frac{22}{7} \times (8 \times 10^{-2})^2 = 2.01 \times 10^{-2}$ m^2

$$\text{बल आघूर्ण} = N\,I\,B\,A \sin\theta$$
$$= 30 \times 6 \times 1{:}\,0 \times (2.01 \times 10\mathbf{-2}) \times \sin 90^o$$
$$= 30 \times 6 \times (2.01 \times 10^{-2})$$
$$= 3.61 \text{ N m}$$

टिप्पणियाँ

उदाहरण 18.7 : 12.0 Ω प्रतिरोध की कुंडली युक्त कोई गैल्वेनोमीटर 2.5 mA की धारा पर पूरे स्केल पर विक्षेपण दर्शाता है। आप इसे

(a) 0 – 2A परास के ऐमीटर और ?

(b) 0 – 10 वोल्ट परास के वोल्टमीटर में कैसे रूपान्तरित करेंगे ?

हल : (a) यहां $G = 12.0\ \Omega,\ I_g = 2.5\ \text{mA} = 2.5 \times 10^{-3}\ \text{A}$,

तथा $I = 2\ \text{A},\ S = ?$

समीकरण (18.21) से हमें ज्ञात है,

$$S = \frac{I_g G}{I - I_g} = \frac{2.5 \times 10^{-3} \times 12}{2 - 2.5 \times 10^{-3}} = 15 \times 10^{-3}\ \Omega$$

अत:0–2V, पठन के ऐमीटर में गैल्वेनोमीटर को रूपान्तरित करने के लिए उसकी कुंडली के साथ

$15 \times 10^{-3}\ \Omega$ प्रतिरोध शंट को पार्श्व-संयोजित किया जाना चाहिए।

(b) वोल्टमीटर में रूपान्तरण के लिए मान लीजिए प्रतिरोध R को श्रेणी-संयोजित किया गया है।

तब $$R = \frac{V}{I_g} - G = \frac{10}{2.5 \times 10^{-3}} - 12 = 4000 - 12 = 3988\ \Omega$$

इस प्रकार गैल्वेनोमीटर को वोल्टमीटर में रुपान्तरित करने के लिए 3988 Ω के प्रतिरोध को श्रेणीक्रम में संयोजित किया जाना चाहिए।

पाठगत प्रश्न 18.5

1. त्रिज्य चुंबकीय क्षेत्र क्या होता है?

2. किसी चल कुंडली गैल्वेनोमीटर में मृदु लोह क्रोड का मुख्य कार्य क्या होता है?

3. ऐमीटर, वोल्टमीटर अथवा गैल्वेनोमीटर में से निम्नतम प्रतिरोध किसका होता है? व्याख्या कीजिए।

4. 20 Ω प्रतिरोध की कुंडली के गैल्वेनोमीटर में पूरे स्केल पर विक्षेपण के लिए 20 mA धारा की आवश्यकता है। इस गैल्वेनोमीटर से होकर 3A की अधिकतम धारा प्रवाहित करने के लिए, कितने प्रतिरोध को किस प्रकार संयोजित किया जाना चाहिए?

आपने क्या सीखा

- प्रत्येक चुंबक में दो ध्रुव होते हैं। इन्हें अलग नहीं किया जा सकता।
- चुंबकीय द्विध्रुव से तात्पर्य (i) ऐसा चुंबक है जिसका द्विध्रुव आघूर्ण $M = m\ell$ (ii) ऐसी धारावाहक कुंडली जिसका द्विध्रुव आघूर्ण $\mathbf{M} = NI\mathbf{A}$ है।
- चुंबकीय द्विध्रुव के अक्ष पर चुंबकीय क्षेत्र, $\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{M}}{x^3}$ के द्वारा विषुवत रेखा पर चुंबकीय क्षेत्र, $\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{M}}{x^3}$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है।
- एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में चुंबकीय द्विध्रुव उसी प्रकार व्यवहार करता है जिस प्रकार एकसमान विद्युत क्षेत्र में विद्युत द्विध्रुव व्यवहार करता है अर्थात् यह किसी नेट बल का अनुभव न करके बल-आघूर्ण,

  $\tau = \mathbf{M} \times \mathbf{B}$ का अनुभव करता है।
- पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र तीन मूल राशियों के द्वारा पूर्णतः वर्णित किया जा सकता है जो पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयव कहलाते हैं:

  – आनति कोण

  – दिक्पात कोण तथा

  – पृथ्वी के क्षेत्र का क्षैतिज घटक
- प्रत्येक धारा वाहक चालक अपने चारों ओर एक चुंबकीय क्षेत्र विकसित करता है। यह चुंबकीय क्षेत्र बायो-सावर्ट नियम के द्वारा व्यक्त किया जाता है;

$$|dB| = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{dl\sin\theta}{r^2}$$

- चुंबकीय क्षेत्र का मात्रक टेसला है।
- धारावाही सपाट कुंडली के केंद्र पर क्षेत्र, $|B| = \frac{\mu_0 I}{2r}$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है। ऐम्पियर का परिपथीय नियम किसी चालक के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण व्यक्त करता है: $\oint \vec{\mathbf{B}}\,.\,d\boldsymbol{l} = \mu_0 I$
- गतिमान आवेश q पर लारेन्ट्ज बल $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{q}\,(\boldsymbol{v} \times \mathbf{B})$ होता है और इसकी दिशा फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा दर्शाई जाती है।
- लम्बाई L और चुंबकीय क्षेत्र B में धारा I का वहन करने वाले तार पर यांत्रिक बल, $F = B\,I\,L$ होता है।

टिप्पणियाँ

- धाराओं I_1 और I_2 का वहन करने वाले समांतर सीधे चालकों के मध्य प्रति इकाई पारस्परिक बल, $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$ होता है।
- किसी टोरोयड के कारण चुम्बकीय क्षेत्र, $B = \frac{\mu_0 N_i}{2\pi r}$
- आवेशित कण एक वृत्ताकार पथ का अनुरेखण करता है जिसकी त्रिज्या $R = \frac{mv}{Bq}$ होती है।
- साइक्लोट्रॉन आवेशित कणों को तीव्र गति से त्वरित करने की एक युक्ति है।
- साइक्लोट्रॉन की आवृत्ति, $\nu_c = \frac{Bq}{2m\pi}$
- धारा लूप एक चुंबकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करता है।
- चुंबकीय क्षेत्र में स्थित कोई धारा वाहक कुंडली, बल आघूर्ण का अनुभव करती है जिसे निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जाता है:

$$\tau = NB\ IA\sin\theta$$
$$= NBIA, (\text{if } \theta = 90^o)$$

- गैल्वेनोमीटर का प्रयोग परिपथ में विद्युत धारा के संसूचन में होता है।
- ऐमीटर एक शंट युक्त गैल्वेनोमीटर होता है और वोल्टमीटर ऐसा गैल्वोनोमीटर होता है जिसमें उच्च प्रतिरोध श्रेणी क्रम में संयोजित रहता है। धारा, ऐमीटर के द्वारा और विभवांतर, वोल्टमीटर के द्वारा मापा जाता है।

पाठांत प्रश्न

1. सामग्री का एक छोटा टुकड़ा चुंबक के समीप लाया गया है। सामग्री के सामने 'हाँ' अथवा 'नहीं' लिखकर रिक्त स्थानों को भरकर निम्नलिखित सारणी को पूरा कीजिए:

सामग्री	प्रतिकर्षण		आकर्षण	
	दुर्बल	प्रबल	दुर्बल	प्रबल
प्रतिचुंबकीय				
अनुचुंबकीय				
लोह चुंबकीय				

2. आपको दो दंड चुंबकों को परस्पर एक साथ किसी डिब्बे में पैक करना है। इन्हें आप कैसे पैक करेंगे और क्यों?

N S अथवा N S
N S S N

3. दो ध्रुवों के मध्य चुंबकीय बल 80 इकाई है। इन ध्रुवों के मध्य दूरी दुगनी कर दी गई है। अब इसके मध्य बल कितना होगा?

4. दंड चुंबक की लम्बाई 10 cm और उसकी अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 1.0 cm^2 है। चुम्बकन तीव्रता $I = 10^2$ A/m है। ध्रुव प्रबलता परिकलित कीजिए।

5. दो सर्वसम चुंबकों में एक के सिरे को दूसरे के सिरे के साथ मिलाकर एक सीधी रेखा में इस प्रकार रखा गया हैं कि दोनों के उत्तरीध्रुव आमने सामने हैं। बल रेखाएं खींचिए जबकि कोई अन्य क्षेत्र उपस्थित नहीं है।

6. वे बिंदु उदासीन बिंदु कहलाते हैं जहां चुंबक का चुंबकीय क्षेत्र, पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के बराबर और विपरीत होता है?

   (a) जब दंड चुंबक को चुंबकीय याम्योत्तर में इस प्रकार रखा जाता है कि उत्तरी ध्रुव उत्तर की ओर दिष्ट हो तो उदासीन बिंदुओं की स्थिति ज्ञात कीजिए।

   (b) जब दंड चुंबक को चुंबकीय याम्योत्तर में इस प्रकार रखा जाता है कि उत्तरी ध्रुव दक्षिण की ओर दिष्ट हो तो उदासीन बिंदुओं की स्थिति ज्ञात कीजिए।

7. यदि 10 cm लंबे दंड चुंबक को दो टुकड़ों में इस प्रकार काटा जाता है कि प्रत्येक टुकड़े की लम्बाई 5 cm हो तो पुराने दंड चुंबक की तुलना में नए दंड चुंबक की ध्रुव प्रबलता कैसी होगी?

8. किसी 10 cm लंबे दंड चुंबक की ध्रुव प्रबलता 10 A m है। दंड चुंबक के केंद्र से 30 cm की दूरी पर अक्ष पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए।

9. आप कैसे दर्शाएंगे कि धारावाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र होता है। किसी स्थान विशेष पर आप उसका परिमाण और दिशा कैसे ज्ञात करेंगे?

10. किसी चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेशित कण पर कोई बल क्रिया करता है परंतु इस बल से कण की चाल में कोई परिवर्तन नहीं होता। ऐसा क्यों है?

11. धारा का वहन करने वाले लंबे सीधे तार के समांतर गतिमान आवेशित कण, क्या किसी क्षण बल का अनुभव करता है?

12. किसी तार से होकर 10 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। यह 5T के चुंबकीय क्षेत्र के अनुलंब रखा गया है। इसकी 1/10 m लम्बाई पर बल परिकलित कीजिए।

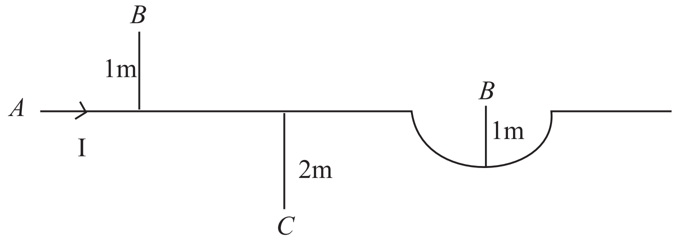
13. एक लंबा सीधा तार 12 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित का कर रहा है। इस तार से 48 cm की दूरी पर चुंबकीय क्षेत्र की प्रबलता परिकलित कीजिए।

14. दो समांतर तार परस्पर 0.05m की दूरी पर स्थित हैं और प्रत्येक की लंबाई 3 m है। प्रत्येक तार में एक दिशा में 5A की धारा प्रवाहित हो रही है। तारों पर क्रिया करने वाला बल परिकलित कीजिए। इस बल की प्रकृति पर भी टिप्पणी दीजिए।

15. 50cm लंबी परिनालिका के केंन्द्र पर चुंबकीय क्षेत्र 4.0×10^{-2} NA^{-1} m^{-1} है जब उससे होकर 8.0A की धारा प्रवाहित होती है। परिनालिका में लपेटों की संख्या परिकलित कीजिए।

16. दो सर्वसम गैल्वेनोमीटर में से एक ऐमीटर में और दूसरा मिलीऐमीटर में परिणित किया गया है। इनमें किस के शंट का प्रतिरोध अधिक होगा?

17. किसी गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध 20 ओम है और यह 0.005A की धारा पर पूरे स्केल का विक्षेपण देता है। 1 A की धारा को मापने के लिए इसे ऐमीटर में रुपान्तरित करने के लिए शंट का मान परिकलित कीजिए। ऐमीटर का प्रतिरोध क्या होगा?
18. कोई इलेक्ट्रॉन 5×10^{-11} त्रिज्या की वृत्ताकार कक्षा में 7.0×10^{15} परिक्रमण प्रति सेकंड की दर से गतिमान है। कक्षा के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र B परिकलित कीजिए।
19. 200 फेरों और 0.16m त्रिज्या की सपाट वृत्ताकार कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए जब कि यह 4.8 ऐम्पियर की धारा का वहन कर रही हो।
20. चित्र 18.30 का अवलोकन कर A, B और C पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए।



चित्र. 18.35

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

18.1

1. धागे की सहायता से किसी चुंबक को उसके द्रव्यमान केंद्र से निलंबित कीजिए। इसे साम्य में आने दीजिए। भौगोलिक उत्तर की ओर दिप्ट करने वाला चुंबक का सिरा उसका उत्तरी ध्रुव कहलाता है।
2. दो दंडों के सिरों को पास-पास लाइए। यदि उनके मध्य आकर्षण होता है तो इनमें दंड चुंबक और दूसरी लोहे की दंड है। इनमें से एक दंड को मेज पर लिटाइए और उसकी लंबाई के अनुदिश दूसरे दंड को एक सिरे से दूसरे सिरे तक स्पर्श करते हुए ले जाइए। यदि एक समान बल का अनुभव हो तो हाथ में पकड़ा हुआ दंड, चुंबक होगा और मेज पर लिटाया गया दंड, लोह का टुकड़ा होगा। यदि एकसमान बल का अनुभव न हो तो स्थिति विपरीत होगी।
3. किसी एक दंड चुंबक को धागे से लटका कर हम उसका दक्षिणी ध्रुव ज्ञात कर सकते हैं। तब दूसरे चुंबक का सिरा जो पहले दंड द्वारा प्रतिकर्षित हुआ है उसका दक्षिणी ध्रुव होगा।

18.2

1. (i) विद्युत (ii) चुंबकीय तथा विद्युत
2. साम्य में कोई चालक उदासीन होता है अर्थात उस पर नेट विद्युत धारा नहीं होती। अपनी सादृच्छिक गति के कारण तापीय इलेक्ट्रॉनों में उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र रद्द हो जाता है।

3. पहले उदाहरण में तार की लम्बाई $l_1 = 2\pi r$ है। परंतु $l_2 = (2\pi r_2)2$.

लेकिन $l_1 = l_2$

$$\therefore \quad 2\pi r = 4\pi r_2 \quad \Rightarrow \quad r_2 = \frac{r}{2}$$

का प्रयोग $|B| = \frac{\mu_0 nI}{2r}$ का प्रयोग करके

$$|B_1| = \frac{\mu_0 I}{2r}, \qquad |B_2| = \frac{\mu_0 .2.I}{2\times\frac{r}{2}} = \frac{\mu_0 I}{2r} = 4B$$

अर्थात 2 फेरों वाली कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र, पहले उदाहरण में चुंबकीय क्षेत्र की अपेक्षा चार गुना प्रबल होगा।

18.3

1. c
2. दोनों नियम धारा वाहक चालकों के कारण चुंबकीय क्षेत्र विनिर्दिष्ट करते हैं।
3. (i) B, (ii) A, (iii) C.
4. $B = \mu_0 \frac{n}{\ell} I \Rightarrow 4\pi \times \frac{10^{-7}\times n}{0.1m} \times 3A = 0.002$ अथवा $n = \frac{.0002\times 10^{7}}{12\pi} = 50$ turns

18.4

1. बल की प्रकृति आकर्षी होगी क्योंकि प्रोटॉनों की धारा, विपरीत दिशा में इलेक्ट्रॉनों के तुल्य है।
2. किसी गतिमान आवेश पर चुंबकीय क्षेत्र द्वारा लगाया गया बल, आवेश की गति के अनुलंब होगा और आवेश पर बल द्वारा किया गया कार्य शून्य होगा। इस कारण आवेश की गतिज ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता। विद्युत क्षेत्र में विक्षेपण, क्षेत्र की दिशा में होता है। अतः क्षेत्र रेखाओं की दिशा में आवेश त्वरित हो जाता है।
3. स्प्रिंग के प्रत्येक फेरे में धारा की दिशा समान होती हैं चूंकि एक ही दिशा में पार्श्व ध राएं आकर्षण बल डालती हैं अतः फेरे समीप आ जाते हैं और पिंड ऊपर की ओर उठ जाता है चाहे स्प्रिंग में धारा की दिशा कोई भी हो।

18.5

1. त्रिज्य चुंबकीय क्षेत्र वह है जिसमें कुंडली का समतल, चुंबकीय क्षेत्र के समांतर होता है।
2. ऐसा करने से मृदु लोह क्रोड से होकर प्रबलता में वृद्धि हो जाती है जिससे गैल्वेनोमीटर की सुग्राहिता में भी वृद्धि हो जाती है।

3. ऐमीटर का प्रतिरोध निम्नतम जबकि वोल्टमीटर का प्रतिरोध अधिकतम होता है। ऐमीटर में निम्न प्रतिरोध गैल्वोनोमीटर की कुंडली के साथ पार्श्व संयोजित जबकि वोल्टमीटर में गैल्वेनोमीटर की कुंडली के साथ उच्च प्रतिरोध श्रेणी संयोजित रहता है।

4. निम्न प्रतिरोध R_s कुंडली के साथ पार्श्व क्रम में संयोजित होना चाहिए:

$$R_s = \frac{G\,I_g}{I - I_g} = \frac{20\times 20\times 10^{-3}}{3 - 20\times 10^{-3}} = 0.13\ \Omega$$

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

1. 10^{-2} T m^{-1}

7. उतना ही

8. 2.3×10^{-6}T

12. 5 N

13. 5 μN

14. 10^{-4} N m^{-1} का आकर्षी बल

15. $\frac{625}{\pi}$ फेरे

17. 0.1Ω.

18. 4.48 πT

19. 1.2π mT

20. $B_A = 2 \times 10^{-7}$ T, $B_B = \pi \times 10^{-7}$ T तथा $B_C = 10^{-7}$ T.

19

विद्युत चुम्बकीय प्रेरण तथा प्रत्यावर्ती धारा

हमें उपलब्ध ऊर्जा का सबसे अधिक सुविधाजनक रूप विद्युत है। यह हमारे घर को प्रकाशित करती है, रेलगाड़ी चलाती है, संचार युक्तियों को प्रचालित करती है और हमारे जीवन को सुखमय बनाती है। हम अपने घरों में जिन विद्युत साधित्रों का उपयोग करते हैं उनकी सूची बहुत लम्बी है। क्या आपने कभी सोचा है कि विद्युत किस प्रकार उत्पन्न होती है?

जल विद्युत, जेनरेटर द्वारा उत्पन्न होती है जो स्वंय, जल ऊर्जा का प्रयोग करने वाली टरबाइन द्वारा प्रचालित होता है। कोयला, गैस अथवा नाभिकीय ईधन शक्ति केन्द्र में जेनरेटर को चलाने के लिए टरबाइन में भाप का प्रयोग होता है। नगर के उपकेंद्र से बिजली हमारे घरों तक केबिलों द्वारा पहुँचती है। क्या आपने कभी विद्युत उपकेन्द्र देखा है? वहां कौन सी बड़ी-बड़ी मशीनें संस्थापित रहती हैं? ये मशीनें ट्रांसफार्मर कहलाती हैं। जेनरेटर और ट्रांसफार्मर मूलत: वे युक्तियां हैं जिनसे हमें विद्युत आसानी से उपलब्ध होती है। ये युक्तियां वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत पर आधारित हैं।

इस पाठ में आप वैद्युत चुंबकीय, प्रेरण, उसके नियामक नियमों और उस पर आधारित युक्तियों के बारे में अध्ययन करेंगे। आप विद्युत जेनरेटरों एवं ट्रांसफार्मरों की रचना और कार्यपद्धति तथा हमें विद्युत शक्ति उपलब्ध कराने में उनकी भूमिका के बारे में भी अध्ययन करेंगे। भंवर धारा और उसके अनुप्रयोग का संक्षिप्त विवरण भी आप इस पाठ में प्राप्त करेंगे।

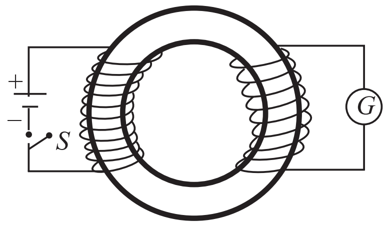
उद्देश्य

इस पाठ का अध्ययन करने के बाद आप

- सरल प्रयोगों के द्वारा वैद्युत चुंबकीय प्रेरण की परिघटना की व्याख्या कर सकेंगे;
- वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के फैराडे नियम और लेन्ज नियम की व्याख्या कर सकेंगे;
- भंवर धाराओं और उनके अनुप्रयोगों की व्याख्या कर सकेंगे;

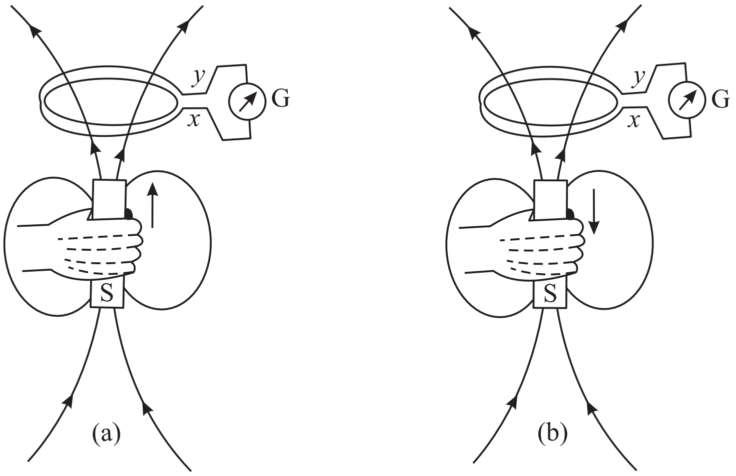
- आत्मप्रेरण और अन्योन्य प्रेरण की परिघटनाओं का विवरण दे सकेंगे;
- *ac* तथा *dc* जेनरेटरों की कार्यपद्धति का विवरण प्रस्तुत कर सकेंगे;
- (i) प्रतिरोधक, (ii) प्रेरक तथा / अथवा,(iii) संधारित्र युक्त ac परिपथों में वोल्टता तथा धारा के मध्य संबंध स्थापित कर सकेंगे;
- श्रेणी LCR परिपथों का विश्लेषण कर सकेंगे; तथा
- ट्रांसफार्मरों की कार्यपद्धति की व्याख्या और उनकी दक्षता में सुधार की विधियां बता सकेंगे;

19.1 वैद्युत चुंबकीय प्रेरण



चित्र 19.1: लोहे के वलय के चारो ओर दो कुंडलियां लपेटी हुई हैं। स्विच के बंद होने या खुलने पर गैल्वेनोमीटर एक क्षण के लिए विक्षेपित होता है।

पिछले पाठ में आपने पढ़ा कि तार में स्थिर धारा के प्रवाह से स्थिर चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। फैराडे ने प्रारंभ में गलत सोचा कि स्थिर चुंबकीय क्षेत्र से विद्युत धारा उत्पन्न हो सकती है। चुंबकीय प्रेरित धाराओं पर अपने कुछ अन्वेषणों में उसने जिस व्यवस्था का प्रयोग किया वह चित्र 19.1 में दिखाई व्यवस्था के सदृश थी। बाईं ओर की कुंडली में धारा प्रवाहित करने से उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र, लोह–वलय में संकेन्द्रित रहता है। दाहिनी ओर की कुंडली, गैल्वेनोमीटर G से संयोजित है जो उस परिपथ में प्रेरित धारा की उपस्थिति दर्शाता है। यह देखा गया कि स्थिर धारा प्रवाहित होने पर G में कोई विक्षेपण नहीं हुआ परंतु जब बाएं परिपथ में स्विच S को बंद किया गया तो गैल्वेनोमीटर ने क्षणिक विक्षेपण दर्शाया। उसी प्रकार स्विच S को खोलने पर क्षणिक विक्षेपण देखा गया परंतु इसकी दिशा विपरीत थी। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि धारा तब ही प्रेरित होती है जब बाएं परिपथ में धारा के कारण चुंबकीय क्षेत्र में परिवर्तन होता है।



चित्र 19.2 : (a) जब चुंबक कुंडली की ओर ले जाया जाता है तो कुंडली में धारा का प्रेरण; तथा (b) जब चुंबक को कुंडली से दूर ले जाया जाता है तो विपरीत दिशा में धारा का प्रेरण;

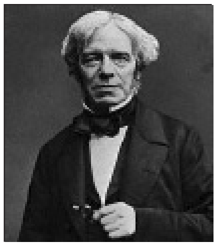
टिप्पणियाँ

परिवर्तन का महत्व चित्र 19.2 में दिखाई गई व्यवस्था के द्वारा भी निदर्शित किया जा सकता है। यदि कुंडली के सापेक्ष चुंबक, विरामावस्था में है तो कुंडली में कोई धारा प्रेरित नहीं होगी। परंतु जब चुंबक को कुंडली की ओर ले जाया जाता है तो चित्र 19.2(a) में व्यक्त दिशा में धारा प्रेरित होगी। इसी प्रकार जब चुंबक को कुंडली से दूर ले जाया जाता है तो धारा विपरीत दिशा में प्रेरित होती है जैसा कि चित्र 19.2 (b) में दिखाया गया है। ध्यान दें कि दोनों ही उदाहरणों में चुंबकीय क्षेत्र, कुंडली के आस-पास बदल जाता है। यदि कुंडली को चुंबक के सापेक्ष खिसकाया जाता है तो कुंडली मं प्रवाहित होती हुई धारा भी देखी जा सकती है। परिपथ में ऐसी धाराओं की उपस्थिति, कुंडली के मुक्त सिरों अर्थात x और y के मध्य प्रेरित विद्युत वाहक बल (emf) का अस्तित्व दर्शाती है।

यह परिघटना जिसमें चुंबकीय क्षेत्र विद्युत वाहक बल (emf) को प्रेरित करता है, विद्युत चुंबकीय प्रेरण कहलाती है। फैराडे की प्रतिभा ने इस कार्य के महत्व को पहचाना जो उसने बाद में भी जारी रखा। इस परिघटना का मात्रात्मक विवरण, फैराडे के वैद्युत चुंबकीय नियम के नाम से ज्ञात हैं। अब हम इनकी चर्चा करेंगे।

माइकल फैराडे

(1791-1867)



ब्रिटिश प्रायोगिक वैज्ञानिक माइकल फैराडे एक ऐसे प्रतिभाशालीव्यक्ति का उदाहरण है जिसने केवल परिश्रम, धैर्य और विज्ञान तथा मानवता के प्रति निष्ठा के आधार पर उच्च स्थान प्राप्त किया। उसने अपने कैरियर का प्रारंभ एक जिल्दसाज के यहां शिक्षु के रूप में किया। जिल्दसाजी के लिए आई विज्ञान की पुस्तको को उसे पढ़ने का अवसर मिला। उसने अपने नोट सर हम्फ्री डेवी को भेजे। डेवी ने इस नवयुवक की प्रतिभा को तत्काल मान्यता देते हुए उसे रॉयल इन्स्टीट्यूट में अपना स्थायी सहायक नियुक्त किया। सर हम्फ्री डेवी ने स्वंय स्वीकार किया कि उसके जीवन की सबसे बड़ी खोज माइकल फैराडे थी। उसका ऐसा सोचना ठीक ही था क्योंकि फैराडे ने ऐसे कुछ आधारभूत अनुसंधान किए जिनके फलस्वरूप विद्युत युग का आगमन हुआ। उसी के अनुसंधानों के फलस्वरूप विद्युत जेनरेटरों, ट्रांसफार्मरों और विद्युत मोटरों का अविष्कार हुआ और विद्युत अपघटन संभव हो सका।

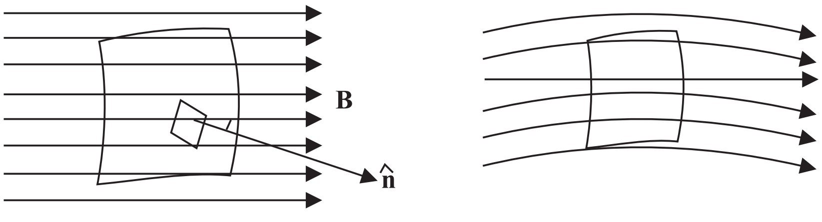
19.1.1 फैराडे के वैद्युत चुंबकीय प्रेरण नियम

परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र और प्रेरित विद्युत वाहक बल के मध्य संबंध, कुंडली के पृष्ठ से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह (Magnetic Flux) ϕ_B के पदों में व्यक्त किया जाता है। अब आप पूछेंगे कि चुंबकीय अभिवाह क्या है? **चुंबकीय अभिवाह** ϕ_B को परिभाषित करने के लिए चित्र 19.3 (a) का अवलोकन करें जिसमें **ds** क्षेत्रफल का एक प्ररुपी अत्यणु अवयव दर्शाया गया है। नियत पृष्ठ को इन अत्यणु अवयवों में विभाजित माना जा सकता है। **ds** की दिशा, उस बिंदु पर पृष्ठ के अभिलंब होती है। स्थिर विद्युतिकी के सादृश्य पर हम अवयव क्षेत्र **ds** के लिए चुंबकीय अभिवाह $d\phi_B$ को इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं:

$$d\phi_B = \mathbf{B.ds} \qquad (19.1a)$$

संपूर्ण पृष्ठ के लिए चुंबकीय अभिवाह, संपूर्ण पृष्ठ पर ऐसे सभी योगदानों का संकलन कर प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार,

$$\phi_B = \sum \mathbf{B.ds} \qquad (19.1b)$$



चित्र 19.3: (a) अत्यणु क्षेत्र ds के लिए चुंबकीय अभिवाह को $d\phi_B$ = B.ds, के द्वारा तथा (b) पृष्ठ का चुंबकीय अभिवाह पृष्ठ को प्रतिच्छेदित करने वाली रेखाओं की संख्या के आनुपातिक होता है।

चुंबकीय अभिवाह का SI मात्रक वेबर (Wb), है, जबकि 1 Wb = 1 Tm^2.

विद्युत रेखाओं के सादृश्य और जैसा कि आकृति 19.3b, में दिखाया गया है किसी पृष्ठ को प्रतिच्छेदित करने वाली चुंबकीय रेखाओं की संख्या, उस पृष्ठ से होकर गुजरने वाले अभिवाह के आनुपातिक होती हैं।

फैराडे नियम के अनुसार किसी तार के पाश के मध्य कोई emf तब प्रेरित होता है जबकि पाश द्वारा परिबद्ध पृष्ठ से जुड़े चुंबकीय अभिवाह में समय के साथ परिवर्तन होता है। प्रेरित emf का परिमाण, चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन-दर के आनुपातिक होता है। गणित की भाषा में हम लिख सकते हैं,

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi_B}{dt} \qquad (19.3)$$

इससे स्पष्ट होता है कि चुंबकीय अभिवाह का मात्रक वेबर (Wb) और emf का मात्रक वोल्ट V परस्पर इस प्रकार संबंधित हैं: 1V = 1Wb s^{-1}.

अब विचार कीजिए कि किसी पास-पास रखे फेरों की कुंडली में emf प्रेरित किया गया है। ऐसी कुंडली में प्रत्येक फेरा, सन्निकटतः एकल पाश की भांति व्यवहार करता है। प्रत्येक फेरे में प्रेरित emf निर्धारित करने के लिए हम फैराडे नियम को लागू कर सकते हैं। चूंकि फेरे श्रेणीक्रम में हैं अतः कुंडली में प्रेरित कुल विद्युत वाहक बल Er, प्रत्येक फेरे में प्रेरित emf के योगफल के बराबर होगा। हम यह मान लेते हैं कि कुंडली इतनी सघन कुंडलित है कि कुंडली के प्रत्येक फेरे से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह का किसी क्षण मान समान होगा। तब प्रत्येक फेरे में समान emf प्रेरित होगा और N फेरों वाली कुंडली में प्रेरित कुल emf निम्नलिखित समीकरण के द्वारा व्यक्त किया जाएगा।

$$|\varepsilon_r| = N|\varepsilon| = N\frac{d\phi_B}{dt} \qquad (19.4)$$

जबकि ϕ_B कुंडली के एकल फेरे से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह है।

अब हम फैराडे नियम को कुछ विशिष्ट उदाहरणों में लागू करते हैं।

उदाहरण 19.1 : 35 mm त्रिज्या और 75 फेरों की वृत्ताकार कुंडली की अक्ष, एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के समांतर है। क्षेत्र का परिमाण 25 mT से 50 mT तक 250 मिली सेकंड में अचर दर से परिवर्तित होता है। इस समय-अंतराल में कुंडली में प्रेरित emf का परिमाण निर्धारित कीजिए।

हल : चूंकि चुंबकीय क्षेत्र एकसमान और कुंडली की अक्ष के समांतर है अतः प्रत्येक फेरे से संबद्ध अभिवाह निम्नलिखित समीकरण के द्वारा व्यक्त किया जाएगाः

$$\phi_B = B\pi R^2$$

जबकि R फेरे की त्रिज्या है। समीकरण 19.4 का प्रयोग करने पर हम देखते हैं कि कुंडली में प्रेरित emf निम्नलिखित होगाः

$$|\varepsilon_r| = N\frac{d\phi_B}{dt} = N\frac{d(\boldsymbol{B}\pi R^2)}{dt} = N\pi R^2\frac{dB}{dt} = N\pi R^2\frac{B_2 - B_1}{t}$$

अतः कुंडली में प्रेरित emf का परिमाण,

$|\varepsilon_r| = 75\pi\,(0.035\text{m})^2\,(0.10\text{T/s}) = 0.030\text{V} = 30\text{mV}$ होगा

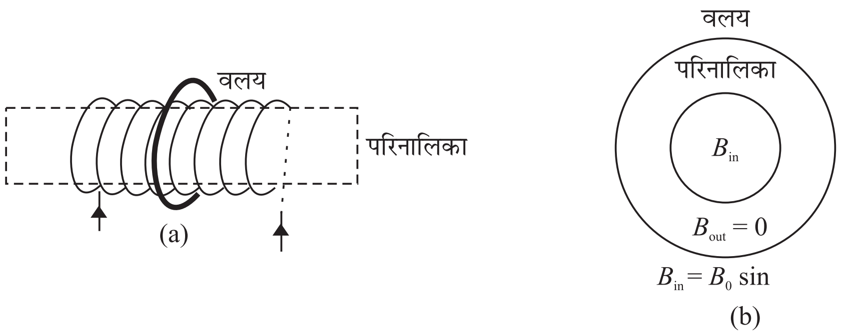
यह उदाहरण काल परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र द्वारा प्रेरित emf की संकल्पना की व्याख्या करता है।

उदाहरण 19.2 : 8cm^2 अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल (चित्र 19.4a और 19.4b). वाली लंबी परिनालिका पर विचार कीजिए। कालपित धारा इसके कुंडलनों में $B(t) = B_0 \sin 2\pi vt$ का चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। यहां B_0 एक स्थिरांक है जो 1.2T के बराबर है तथा v, चुंबकीय क्षेत्र की आवृत्ति है जो 50 Hz है। यदि वलय प्रतिरोध $R = 1.0\Omega$, हो तो त्रिज्या r के वलय में विद्युत वाहक बल तथा प्रेरित धारा परिकलित कीजिए जबकि यह वलय, परिनालिका की अक्ष के साथ संकेंद्री है।

हल : हम जानते हैं कि चुंबकीय अभिवाह,

$\phi_B = B_0 \sin 2\pi vt.A$ होगा

चूंकि परिनालिका के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल पर अभिलंब चुंबकीय क्षेत्र की दिशा में है।



चित्र 19.4 : (a) एक लंबी परिनालिका और उसके बाहर संकेंद्री वलय तथा (b) परिनालिका तथा संकेंद्री वलय का अनुप्रस्थ काट

अत: $|\varepsilon| = \frac{d\phi_B}{dt} = 2\pi\nu A\, B_0 \cos 2\pi\nu t.$

$= 2\pi\ .\ (50 s^{-1})\ (8 \times 10^{-4} m^2)\ (1.2\ T).\cos 2\pi\nu t$

$= 0.3 \cos 2\pi\nu t$ वोल्ट

$= 0.3 \cos 100\pi t$ V

वलय में धारा, $I = \varepsilon/R$. अत:

$$I = \frac{(0.3 \cos 100\pi t)\ V}{(1.0\Omega)}$$

$= +0.3 \cos 100\,\pi\, t$ A

पाठगत प्रश्न 19.1

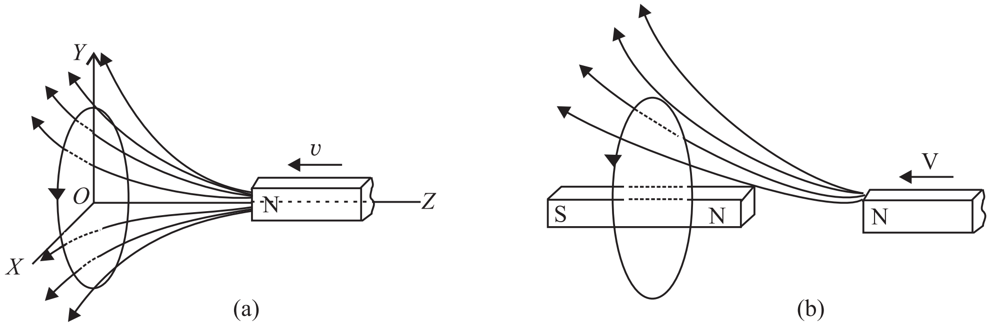
1. किसी 1000 फेरों वाली कुंडली की त्रिज्या 5 cm है। यदि कुंडली से होकर चुंबकीय क्षेत्र (a) 1s (b) 1ms में 10 T से 0 कर दिया जाए तो कुंडली के सिरों के बीच विकसित विद्युत वाहक बल परिकलित कीजिए।

2. किसी 250 फेरों की कुंडली के प्रत्येक पाश से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह $\phi_B(t) = A + Dt^2$, के द्वारा व्यक्त किया गया है जबकि $A = 3$ Wb तथा $D = 15$ Wbs^{-2} स्थिरांक हैं। दर्शाइए (a) कुंडली में प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिमाण $\varepsilon = (2ND)t$ होगा और (b) $t = 0$s तथा $t = 3.0$s पर कुंडली में प्रेरित विद्युत वाहक बल क्या होगा?

3. कोई चालक पाश अपने समतल के अनुलंब किसी आकाशीयत: एक समान चुंबकीय क्षेत्र के साथ नियत कोण θ बनाता है। यदि पाश का क्षेत्रफल S है और क्षेत्र का परिमाण dB/dt,की दर से परिवर्तित होता है तो दर्शाइए पाश में प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिमाण $\varepsilon = (dB/dt)\ S \cos\theta$ के द्वारा व्यक्त किया जाएगा। पाश के किस/किन अभिविन्यास/अभिविन्यासों पर ε का मान (a) अधिकतम तथा? (b) न्यूनतम होगा?

19.1.2 लेन्ज नियम

किसी चालक वलय के समीप पहुँचने वाले (चित्र 19.5a) दंड चुंबक पर विचार कीजिए। इस तंत्र पर फैराडे नियम लागू करने के लिए हम पहले, वलय के सापेक्ष धनात्मक दिशा का चयन करते हैं। O से Z की ओर की दिशा को धनात्मक मान लीजिए। (कोई अन्य विकल्प भी स्वीकार होगा जब तक कि अनुरूपता रहती है)। इस विन्यास के लिए वलय के क्षेत्र पर धनात्मक अभिलंब, z-दिशा में और चुंबकीय अभिवाह ऋणात्मक होगा। चालक वलय और दंड चुंबक के N-ध्रुव के मध्य दूरी जैसे-जैसे कम होती जाती है वैसे-वैसे अधिकाधिक क्षेत्र रेखाएं वलय में प्रवेश करती हैं और अभिवाह अधिकाधिक ऋणात्मक हो जाता है। इस प्रकार $d\phi_B/dt$ ऋणात्मक हो जाता है। फैराडे नियम के अनुसार हमारी मनोनीत दिशा के सापेक्ष ε धनात्मक होगा। धारा I, दिखाई गई दिशा में दिष्ट है।



चित्र 19.5: (a) धातु-वलय के समीप आता दंड चुंबक; तथा (b) समीप आते हुए दंड चुंबक का विरोध करता हुआ प्रेरित धारा का चुंबकीय क्षेत्र

वलय में प्रेरित धारा उसमें द्वितीय चुंबकीय क्षेत्र का निर्माण करती है। इस प्रेरित चुंबकीय क्षेत्र को दंड चुंबक द्वारा उत्पन्न माना जा सकता है। जैसा कि चित्र.19.5 (b) में दर्शाया गया है। स्मरण करें कि प्रेरित चुंबकीय क्षेत्र, मूल चुंबकीय क्षेत्र को प्रतिकर्षित या उसका विरोध करता है। यह विरोध, ऊर्जा संरक्षण के नियम के परिणाम स्वरूप है और इसे लेन्ज नियम का नाम दिया गया है। जब किसी चालक में धारा प्रेरित होती है तो धारा की दिशा ऐसी होगी कि इसका चुंबकीय प्रभाव, प्रेरित करने वाले परिवर्तन का विरोध करे।

इस कथन में मुख्य शब्द विरोध है जो बताता है कि बिना कुछ किए हमें कुछ भी प्राप्त नहीं हो सकता। जब दंड चुंबक को वलय की ओर ले जाया जाता है तो वलय में प्रेरित धारा जो चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है वह अभिवाह परिवर्तन का विरोध करती है। प्रेरित धारा द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र, आगमी चुंबक को प्रतिकर्षित करता है। यदि हम चुंबक को वलय की ओर ले जाना चाहे तो हमें चुंबक पर कार्य करना होगा। यह कार्य वलय में विद्युत ऊर्जा के रूप में प्रकट होगा। अत: लेन्ज नियम ऊर्जा संरक्षण नियम का अनुसरण करता है। हम फैराडे नियम और लेन्ज नियम के संयोजितरूप को इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \qquad (19.5)$$

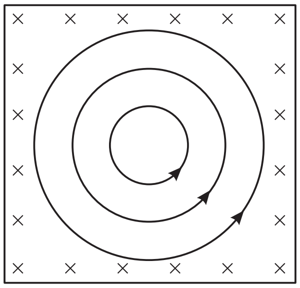
ऋण चिह्न, कारण का विरोध दर्शाता है।

लेन्ज नियम के अनुप्रयोग के रूप में हम उदाहरण 19.2 में दर्शाई गई कुंडली पर पुनः विचार करते हैं। मान लीजिए इसके अक्ष के लिए ऊर्ध्व दिशा का चयन किया गया है और चुंबकीय क्षेत्र इसके अनुदिश ऊर्ध्व दिशा में दिष्ट है। कुंडली के ठीक ऊपर स्थित प्रेक्षक को प्रेरित विद्युत वाहक बल का किस दिशा में बोध होगा? यह दक्षिणावर्ती होगा क्योंकि तब ही इसके कारण उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र (दक्षिण हस्त नियम के अनुसार अद्यो दिष्ट होगा), परिवर्ती चुंबकीय अभिवाह का विरोध करेगा। आगे बढ़ने से पहले आपको लेन्ज नियम को लागू करना सीखना चाहिए। इन अभ्यासों को करने का प्रयास कीजिए।

19.1.3 भंवर धाराएं

हम जानते हैं कि चालक तारों के बन्द लूपों में संबद्ध चुम्बकीय फ्लक्स को परिवर्तित करने पर उनमें धारा प्रेरित होती है। किन्तु, जब किसी ठोस चालक को (जो प्रायः शीट या प्लेट के रूप में होता है) परिवर्तित होते चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो उसमें भी धारा प्रेरित होती है। वास्तव में, चालक के साथ जुड़े चुम्बकीय फ्लक्स को परिवर्तित करने से चालक के अन्दर धाराओं के बन्द लूप बन जाते हैं। ये धाराएं बंद पथों में प्रवाहित होती हैं तथा इनकी दिशा चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् होती है। ये धाराएं भंवर धाराएं कहलाती हैं क्योंकि ये जल में बने भंवर के जैसी दिखाई पड़ती हैं। कभी-कभी इन्हें फोको धाराएं भी कहा जाता है क्योंकि इनकी पहली खोज फोको द्वारा की गई थी।

इन धाराओं की दिशा लेन्ज़ के नियम से ज्ञात की जा सकती है जिसके अनुसार इनकी दिशा ऐसी होगी ताकि यह उस फ्लक्स परिवर्तन का विरोध कर सके जिसके कारण यह उत्पन्न हुई थी। चित्र 19.1.3 में किसी धातु की शीट में लम्बवत् नीचे की ओर जाते चुम्बकीय क्षेत्र में वृद्धि से प्रेरित होने वाली कुछ भंवर धाराएं दर्शाई गई हैं। भंवर धाराएं वृत्ताकार हैं और वामावर्त दिशा में हैं।



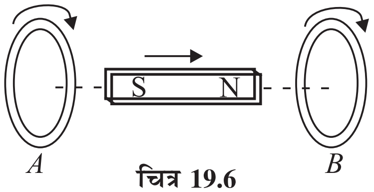
चित्र 19.1.3

धात्विक पिंडों में उत्पन्न होने वाली भंवर धाराओं को बहुत कम प्रतिरोध का सामना करना पड़ता है इसलिए इनका परिमाण बहुत अधिक होता है। स्पष्टतः अनेक वैद्युत उपकरणों और मशीनों के लिए भंवर धाराएं अवांछनीय समझी जाती हैं क्योंकि ये उष्मा उत्पन्न करके ऊर्जा की भारी हानि का कारण बनती है। इसलिए, इन धाराओं को कम करने के लिए धात्विक पिण्डों को एक ठोस टुकड़े के रूप में नहीं लिया जाता है बल्कि उनकी पतली-पतली पट्टियों को एक दूसरे से विद्युतरोधक रखकर जोड़ते हुए बनाया जाता है, जिन्हें लेमिनेशन कहते हैं।

भंवर धाराओं के कई व्यावहारिक प्रयोग भी होते हैं। उदाहरण के लिए इनका उपयोग प्रेरक भट्ठियों में होता है जो निर्वात में विभिन्न धातुओं के निष्कर्षण के लिए उपयोग में लाई जाती हैं। इलेक्ट्रिक ट्रेनों को रोकने के लिए विद्युत ब्रेकों में भी इनका उपयोग होता है।

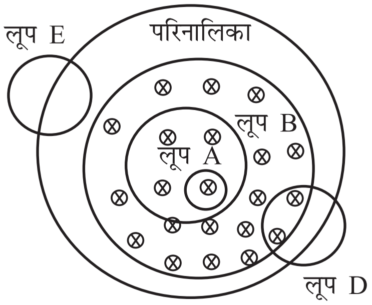
पाठगत प्रश्न 19.2

1. चित्र 19.6 में दंड चुंबक की दाहिनी ओर लाया जाता है। अप्रगामी पाश A और पाश B में प्रेरित धारा की दिशा क्या होंगी?



चित्र 19.6

2. चित्र 19.7 में किसी आदर्श परिनालिका का अनुप्रस्थ काट दर्शाया गया है। परिनालिका के अंदर एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के परिमाण में वृद्धि हो रही है तथा परिनालिका के बाहर **B** =0 है। किन चालक पाशों में प्रेरित धारा उपस्थित है? प्रत्येक पाश में धारा की दिशा क्या होगी?



चित्र 19.7

3. ताम्र वलय की अक्ष के साथ संरेखित किसी दंड चुंबक को अपनी अक्ष के अनुदिश वलय की ओर लाया जाता है। क्या वलय में कोई प्रेरित विद्युत धारा होगी? क्या दंड चुंबक पर कोई चुंबकीय बल होगा? व्याख्या कीजिए।
4. ट्रांस्फॉमरों में पटलित लौह-क्रोड क्यों उपयोग में लाए जाते हैं?

19.2 प्रेरकत्व

जब परिपथ में धारा का परिवर्तन होता है तो उसके चारो ओर परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। यदि इस क्षेत्र का आंशिक भाग स्वत: परिपथ से होकर गुजरता है तो उसमें धारा प्रेरित हो जाती है। अब मान लीजिए इस परिपथ के पड़ोस में दूसरा परिपथ लाया जाता है तो इस परिपथ से होकर जाने वाले चुंबकीय क्षेत्र में भी परिवर्तन हो जाता है और उसके मध्य emf प्रेरित हो जाता है। इस प्रकार इन परिपथों में प्रेरित emf दो प्रकार से प्रकट होता है:

- कुंडली में धारा परिवर्तन से, कुंडली के प्रत्येक फेरे से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन होता है और इस कारण कुंडली के बीच प्रेरित emf प्रकट होता है। यह गुणधर्म आत्मप्रेरण कहलाता है।
- कुंडली-युगल परस्पर इस प्रकार स्थित हों कि एक कुंडली से संबद्ध अभिवाह, दूसरी कुंडली के अभिवाह के साथ योजित हो तो एक कुंडली में धारा परिवर्तन से दूसरी कुंडली में emf प्रेरित होता है। इस घटना को **कुंडली-युगल** का अन्योन्य प्रेरण कहते हैं।

19.2.1 आत्म प्रेरकत्व

विद्युत वाहक चालक सामग्री के किसी पाश पर विचार कीजिए। धारा से चुंबकीय क्षेत्र **B** उत्पन्न होता है। चुंबकीय क्षेत्र से चुंबकीय अभिवाह प्राप्त होता है। पाश से संबद्ध कुल चुंबकीय अभिवाह:

$$d\phi = \mathbf{B.\ ds}$$

चुंबकीय अभिवाह के किसी बाह्य स्रोत (कोई धारा वाहक संलग्न कुंडली) की अनुपस्थिति में, बायो सेवार्ट नियम के अनुसार चुंबकीय क्षेत्र और इस प्रकार पाश में अभिवाह, धारा *(I)* के आनुपातिक होगा, अर्थात

$$\phi \propto I \quad \text{or} \quad \phi = LI \tag{19.6}$$

जबकि *L* कुंडली का आत्मप्रेरकत्व कहलाता है। वे परिपथ अवयव **प्रेरक** कहलाते हैं जो धारा-परिवर्तन का विरोध करते हैं। ये सामान्यत: विभिन्न आकार और आमाप की कुंडलियों के रूप में होते हैं। प्रेरक का प्रतीक है। यदि कुंडली किसी लोह-क्रोड के चारो ओर लपेटी हुई हो ताकि चुंबकीय प्रभाव में वृद्धि हो जाए तो उसे दो रेखाएं ऊपर खींचकर प्रतिकित किया जाता है यथा और किसी प्रेरक का प्रेरकत्व उसकी ज्यामिति पर निर्भर करता है।

(a) आत्म प्रेरकत्व के पदों में फैराडे नियम: अब तक आप सीख चुके हैं कि यदि किसी पाश में धारा-परिवर्तन होता है तो उससे संबद्ध अभिवाह में भी परिवर्तन होता है जिससे कि सिरों के मध्य emf आत्मप्रेरित होता है। लेन्ज नियम के अनुसार आत्म प्रेरित emf उस परिवर्तन का विरोध करता है, जिसके फलस्वरूप वह जनित हुआ है।

L के पदों में प्रेरण के फैराडे नियम और लेन्ज नियम के संयुक्त रूप को व्यक्त करने के लिए हम समीकरण के संयुक्त रूप से व्यक्त करने के लिए हम समीकरण (19.5) और समीकरण (19.6) को संयोजित कर प्राप्त करते हैं:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -\mathrm{L}\frac{dI}{dt} \tag{19.7a}$$

$$\varepsilon = -L\frac{I_2 - I_1}{t} \tag{19.7b}$$

जबकि I_1 और I_2 क्रमश: $t = 0$ और $t = \tau$. पर धारा के प्रारंभिक और अंतिम मान व्यक्त करते हैं। समीकरण (19.7b), का प्रयोग करने पर हम आत्म प्रेरकत्व के मात्रक को इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं:

$$L \text{ के मात्रक} = \frac{\text{emf का मात्रक}}{dI/dt \text{ का मात्रक}}$$

$$= \frac{\text{वोल्ट}}{\text{ऐम्पियर/सेकंड}}$$

$$= \text{ओम-सेकंड}$$

ओम-सेकंड हेनरी कहलाता है जिसे संक्षेप में H द्वारा लिखा जाता है। अधिकांश अनुप्रयोगों के लिए हेनरी एक बड़ा मात्रक है इस कारण हम अक्सर मिली हेनरी, mH (10^{-3} H) तथा माइक्रोहेनरी μH (10^{-6}H) को सुविधाजनक मापों के रूप में प्रयोग करते हैं।

आत्मप्रेरित विद्युत वाहक बल को पश्च emf भी कहते हैं। समीकरण (19.7a) से हमें ज्ञात हैं कि किसी प्रेरक में पश्च emf उसमें धारा परिवर्तन की दर पर निर्भर करता है और यह धारा-परिवर्तन का विरोध करता है। इसके अतिरिक्त चूंकि अनंत emf संभव नहीं है अत: हम समीकरण (19.7b) के आधार पर कह सकते हैं कि प्रेरक धारा में तात्क्षणिक परिवर्तन नहीं हो सकता। इस प्रकार यह निष्कर्ष निकलता है कि **प्रेरक से होकर धारा में तात्क्षणिक परिवर्तन** नहीं हो सकता।

किसी प्रेरक का प्रेरकत्व उसकी ज्यामिति पर निर्भर करता है। सिद्धांत रूप से हम किसी भी परिपथ का आत्म प्रेरकत्व परिकलित कर सकते हैं परंतु वास्तव में सरल ज्यामिति वाली युक्तियों को छोड़कर इसे परिकलित करना बहुत कठिन है। परिनालिका एक ऐसी युक्ति है जिसका विद्युतीय परिपथों में प्रचुरता से प्रयोग होता है। अब हम परिनालिका का आत्म प्रेरकत्व परिकलित करते हैं।

(b) परिनालिका का आत्म प्रेरकत्व : अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A और लंबाई L की किसी लंबी परिनालिका पर विचार कीजिए जिसमें तार के N पर फेरे हैं। इसका प्रेरकत्व ज्ञात करने के लिए हमें परिनालिका में धारा और उससे होकर चुंबकीय अभिवाह में संबंध स्थापित करना चाहिए। पिछले पाठ में आपने किसी लंबी परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र निर्धारित करने के लिए ऐम्पियर नियम का प्रयोग किया था:

$$|\mathbf{B}| = \mu_0 n \mathrm{I}$$

जबकि $n = N/l$ प्रति इकाई लंबाई में फेरों की संख्या और 1 , परिनालिका से होकर धारा है।

परिनालिका के N फेरों से होकर कुल अभिवाह;

$$\phi = N\,|\mathbf{B}|\,A = \frac{\mu_0 \mathrm{N}^2 \mathrm{AI}}{\ell} \qquad (19.8)$$

और परिनालिका का आत्म प्रेरकत्व,

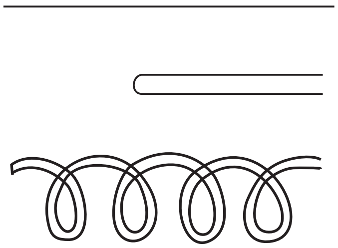
$$\mathrm{L} = \frac{\phi}{I} = \frac{\mu_0 \mathrm{N}^2 \mathrm{A}}{\ell} \text{ होगा} \qquad (19.9)$$

इस व्यंजक का प्रयोग करके आप किसी प्ररुपी परिनालिका का आत्मप्रेरकत्व और पश्च emf परिकलित कर सकते है जिससे आपको उनके परिमाण का अनुमान लग जाएगा।

पाठगत प्रश्न 19.3

1. 1m लंबी और 20cm व्यास की किसी परिनालिका में तार के 10,000 लपेटे हैं। इससे होकर 2.5 A को धारा प्रवाहित हो रही है जिसे 0.1ms में क्रमश: कम करके शून्य कर दिया गया है। जब धारा कम की जा रही हो तो प्रेरक का पश्च emf का परिमाण परिकलित कीजिए।

2. (ℓ) लम्बाई के किसी तार को दो समांतर $\ell/2$, लंबाई के दो संलग्नी रज्जुओं के रुप में किसी बेलनाकार विद्युत रोधक पर कुंडलित कर एक प्रकार का तार कुंडलित अप्रेरकी प्रतिरोधक (आकृति 19.8) बनाया गया है। इस विन्यास को अप्रेरकी क्यों कहा जाता है?

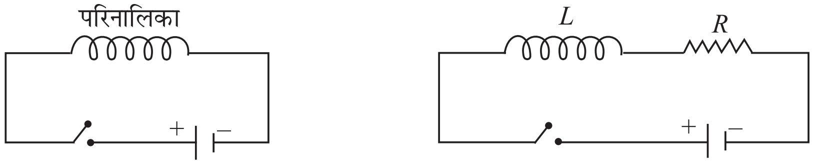


चित्र.19.8: बेलनाकार विद्युत रोधक पर कुंडलित तार

3. किसी 9.7 mH परिनालिका में किस धारा-परिवर्तन की दर से 35 Mv का आत्म प्रेरित emf प्राप्त होगा?

19.2.2 LR परिपथ

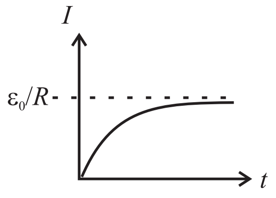
मान लीजिए कोई परिनालिका किसी स्विच के माध्यम से किसी बैटरी से संयोजित है (चित्र 19.9)। $t = 0$, से प्रारंभ कर जब स्विच बंद होता है तो बैटरी के कारण आवेश, परिपथ में गमन करते हैं। परिनालिका का प्रेरकत्व (L) और प्रतिरोध (R), है और इनमें से प्रत्येक, परिपथ में धारा को प्रभावित करता है। परिनालिका के प्रेरणिक और प्रतिरोधक प्रभावों को व्यवस्थात्मकत: चित्र 19.10 में दर्शाया गया है। प्रेरकत्व (L) को प्रतिरोध (R).के साथ श्रेणी संयोजित दिखाया गया है। सरलता की दृष्टि से हम कल्पना करते हैं कि परिपथ में बैटरी के आंतरिक प्रतिरोध सहित कुल प्रतिरोध, R.द्वारा निरुपित किया गया है। इसी प्रकार L में संयोजन तारों का आत्म प्रेरकत्व भी शामिल है। चित्र 19.9 में दर्शाया गया जैसा परिपथ, जिसमें प्रतिरोध और प्रेरकत्व श्रेणी संयोजित होते हैं, LR परिपथ कहलाता है।



चित्र 19.9: LR परिपथ

किसी भी परिपथ में प्रेरकत्व की भूमिका को गुणात्मकत: समझा जा सकता है। परिपथ में धारा $i(t)$ जैसे-जैसे बढ़ती है ($t = 0$ पर $i = 0$) वैसे-वैसे प्रेरकत्व में आत्मप्रेरित emf $\varepsilon = -L\, di/dt$ उत्पन्न होता है जिसको दिशा, वर्धमान धारा की दिशा के विपरीत होती है। धारा में वृद्धि के इस विरोध के कारण धारा में सहसा वृद्धि नहीं हो पाती।

यदि परिपथ में प्रेरकत्व नहीं होता है तो ε_0/R. के द्वारा परिभाषित धारा, तत्काल बढ़कर अधिकतम मान तक पहुंच जाती। परंतु परिपथ में प्रेरकत्व कुंडली होने के कारण धारा क्रमश: बढ़ती हुई ε_0/R के स्थिर मान तक पहुंच जाती है जैसे-जैसे $t \to \tau$ पर पहुँचता है। धारा को स्थिर मान के 2/3 मान तक पहुँचने में लगा समय, L/R के बराबर होगा जो **प्रेरिणिक काल**



चित्र 19.10 : L–R परिपथ में समय के साथ धारा का परिवर्तन।

टिप्पणियाँ

स्थिराँक कहलाता है। LR से कम काल मापनियों पर L/R परिपथ की धारा में उल्लेखनीय परिवर्तन नहीं होता। धारा का समय के सापेक्ष आलेख, चित्र 19.10 में दिखाया गया है।

आप देख सकेते हैं कि L, का मान जितना अधिक होगा, पश्च emf उतना ही अधिक होगा और धारा को वर्धन में अधिक समय लगेगा। (विद्युतीय परिपथ में प्रेरकत्व की भूमिका बहुत कुछ यांत्रिक तंत्रों में द्रव्यमान की भूमिका के सदृश है)। इसी कारण बड़े प्रेरकों युक्त परिपथों में, स्विच बंद करते समय पश्च emf से सावधान रहना चाहिए। पंखा, कम्पयूटर, गीजर अथवा प्रेस करने के लोहे से संयोजित स्विच को बंद करते समय स्फुलिंग का प्रकट होना मुख्यत: पश्च emf के कारण होता है।

पाठगत प्रश्न 19.4

1. बैटरी और स्विच से संयोजित कोई प्रकाश बल्ब स्विच के बंद होते ही लगभग उसी क्षण पूर्ण प्रकाश दे देता है। हालांकि बल्ब के साथ अधिक प्रेरकत्व श्रेणी संयोजित होने पर बल्ब को पूर्ण प्रकाश प्राप्त करने में कई सेकंड लग जाते हैं। ऐसा क्यों है? व्याख्या कीजिए।

2. किसी LR परिपथ में स्विच को बंद करने के 2.2 ms के बाद धारा 48mA तक पहुंचती है। यदि परिपथ में प्रतिरोध 68Ω, हो तो प्रेरकत्व का मान परिकलित कीजिए।

19.2.3 अन्योन्य प्रेरकत्व

जब किसी कुंडली में धारा-परिवर्तन होता है तो उसके चारो ओर परिवर्ती चुंबकीय अभिवाह विकसित हो जाता है जो संलग्नी कुंडली के बीच emf प्रेरित कर देता है। जैसा कि चित्र (19.11) में दर्शाया गया है कि कुंडली B के प्रत्येक फेरे से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह, कुंडली A में धारा के चुंबकीय क्षेत्र के कारण है।

चित्र 19.11 : कुंडली युगल का अन्योन्य प्रेरकत्व

अत: प्रत्येक कुंडली में परिवर्ती धारा, अन्य कुंडली में emf प्रेरित करती है। अर्थात

$$\phi_2 \propto \phi_1 \propto I_1 \Rightarrow \phi_2 = MI_1 \qquad (19.10)$$

जबकि M, कुंडली-युगल का अन्योन्य प्रेरकत्व कहलाता है, साथ ही, दूसरी कुंडली के मध्य प्रेरित पश्च विद्युत वाहक बल,

$$e_2 = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$= -M\frac{dI}{dt} = -M\frac{I_2 - I_1}{t} \text{ होगा} \qquad (19.11)$$

जबकि कुंडली A में धारा को I_1 से I_2 में परिणत होने में t सेकंड लगे हैं। यदि आस-पास कोई चुंबकीय सामग्री नहीं है। अन्योन्य प्रेरकत्व दोनों कुंडलियों की केवल ज्यामिति पर निर्भर करता है। अन्योन्य प्रेरकत्व का मात्रक भी हेनरी (H),है जो आत्म प्रेरकत्व का मात्रक है।

उदाहरण 19.3 : किसी परिपथ में कोई कुंडली, पृथक परिपथ में दूसरी कुंडली के समीप है। इस संयोजन का अन्योन्य प्रेरकत्व 340 mH है। 15ms के काल अंतराल में कुंडली 1 में धारा क्रमश: 28mA से 57 mA हो जाती है और कुंडली 2 में धारा क्रमश: 36 mA से 16 mA हो जाती है। दूसरी कुंडली में धारा के परिवर्तन से प्रत्येक कुंडली में प्रेरित emf निधारित कीजिए।

हल : 15ms के काल अंतराल में कुंडलियों में धारा परिवर्तन की अपरिवर्ती दरें इस प्रकार हैं:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{57\text{mA} - 23\text{mA}}{15\text{ms}} = 2.3\ \text{As}^{-1}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{16\text{mA} - 36\text{mA}}{15\text{ms}} = -1.3\ \text{As}^{-1}$$

समीकरण (19.11), से हमें ज्ञात है कि प्रेरित विद्युत वाहक बलों के परिमाण इस प्रकार होंगे:

$$\varepsilon_1 = -(340\text{mH})\ (2.3\text{As}^{-1}) = -0.78\ \text{V}$$

$$\varepsilon_2 = (340\text{mH})\ (1.3\text{As}^{-1}) = 0.44\ \text{V}$$

ध्यान रहे कि समीकरण 19.11 में ऋण चिह्न, प्रत्येक प्रेरित emf की दिशा बताता है।

अन्योन्य प्रेरकत्व की परिघटना पर आधारित सबसे महत्वपूर्ण साधित्र, ट्रांसफार्मर है। इसके बारे में आप इस पाठ में बाद में जानेंगे। आत्म प्रेरकत्व पर आधारित कुछ आम युक्तियां चोक कुंडली और प्रज्जवलन कुंडली है। हम इन युक्तियों की संक्षेप में चर्चा करेंगे। बाद में आप यह भी जानेंगे कि प्रेरक और संघारित्र का संयोजन, आधारी दोलित्र के रूप में कार्य करता है। संधारित्र के एक बार आवेशित हो जाने के बाद, इस व्यवस्था में आवेश प्रेरक से होकर दोनों प्लेटों के मध्य दोलन करता है।

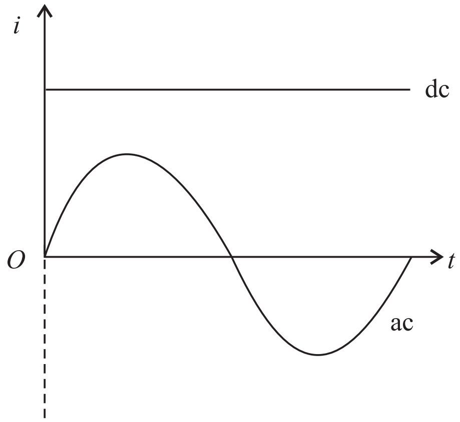
पाठगत प्रश्न 19.5

1. चित्र 19.11 में अन्योन्यत: प्रेरित विद्युत वाहक बलों की, कुंडलियों के दाहिनी ओर स्थित प्रेक्षक के संदर्भ में, दिशा पर विचार कीजिए। (a) जिस क्षण धारा i_1 वर्धमान हो तो दूसरी कुंडली के मध्य emf की दिशा क्या होगी? (b) जिस क्षण धारा i_2 कम हो रही हो तब पहली कुंडली के मध्य emf की दिशा क्या होगी?

2. मान लीजिए कि चित्र 19.11 में कोई एक कुंडली इस प्रकार घूर्णित की गई है कि कुंडलियों के अक्ष परस्पर लंब हो जाएं तब क्या अन्योन्य प्रेरकत्व उतना ही रहेगा, बढ़ जाएगा या कम हो जाएगा? व्याख्या कीजिए।

19.3 प्रत्यावर्ती धारा और वोल्टता

जब किसी प्रतिरोधक से बैटरी जोड़ दी जाती है तो प्रतिरोधक से होकर आवेश केवल एक ही दिशा में प्रवाहित होता है। यदि हम धारा की दिशा को उत्क्रमित करना चाहे तो हमे बैटरी के संयोजनों को उलटना होगा। हालांकि, धारा का परिमाण उतना ही रहेगा। ऐसी धारा दिष्ट धारा कहलाती है। परंतु ऐसी धारा जिसका परिमाण लगातार बदलता रहता है और दिशा आवर्ती रूप से बदलती है, प्रत्यावर्ती धारा (चित्र 19.12) कहलाती है।



चित्र 19.12 : dc तथा ac धारा के तरंग रूप

सामान्यतः प्रत्यावर्ती वोल्टता और धाराओं को गणितीयतः इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

$$V = V_m \cos \omega t \qquad (19.12a)$$

$$I = I_m \cos \omega t \qquad (19.12b)$$

V_m और I_m क्रमशः प्रत्यावर्ती वोल्टता और प्रत्यावर्ती धाराओं के शीर्ष मान हैं। इसके अतिरिक्त हम V और I के वर्ग माध्यमूल मान भी इस प्रकार परिभाषित करते हैं:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ V_m \qquad (19.13a)$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707\ I_m \qquad (19.13b)$$

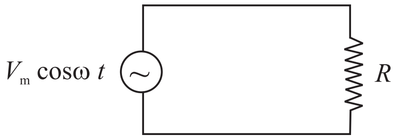
V और I के मध्य संबंध, परिपथ में उपस्थित परिपथ-अवयवों पर निर्भर करता है। अब हम (i) प्रतिरोधक (ii) संधारित्र, तथा (iii) केवल प्रेरक युक्त ac परिपथों का अध्ययन करेंगे।

जार्ज वेस्टिंग हाउस
(1846-1914)

आज सारे विश्व में dc की तुलना में ac का प्रचलन है। इसका श्रेय जार्ज वेस्टिंग हाउस के प्रयासों को जाता है। वह अमरीकी अन्वेषक तथा एक साहसी व्यक्ति थे जिन्हें लगभग 400 पेटेन्टों का श्रेय प्राप्त है। उन्होंने केवल 15 वर्ष की आयु में पहला अविष्कार किया था। उन्होंने वायु ब्रेकों और स्वचालित रेलवे सिगनलों का अविष्कार किया जिससे रेल यातायात निरापद हो गया। जब यूगोस्लाव अन्वेषक नाइकोल टेस्ला (1856-1943) ने घूर्णी चुंबकीय क्षेत्र का विचार प्रस्तुत किया तो जार्ज वेस्टिंग हाउस को उनकी खोज का महत्व तत्काल समझ में आया। उन्होंने टेस्ला को लाभप्रद शर्तों पर अपने साथ कार्य करने के लिए आमंत्रित किया और अपनी विद्युत कम्पनी भी चालू की। जब उनकी कम्पनी ने नियाग्रा प्रपात की ऊर्जा का प्रयोग करते हुए विद्युत का उत्पादन कर, 20km की दूरी पर स्थित नगर को प्रकाशित किया तो उन्हें तत्काल ख्याति प्राप्त हुई।

19.3.1 प्रतिरोधक से संयोजित AC स्रोत

चित्र 19.13 का अवलोकन करें जिसमें किसी ac परिपथ में प्रतिरोधक को दिखाया गया है। धारा का तात्क्षणिक मान, प्रतिरोधक के मध्य विभवांतर के तात्क्षणिक मान को प्रतिरोध से विभाजित करके प्राप्त किया जाता है।



चित्र 19.13 : प्रतिरोधक युक्त कोई ac परिपथ

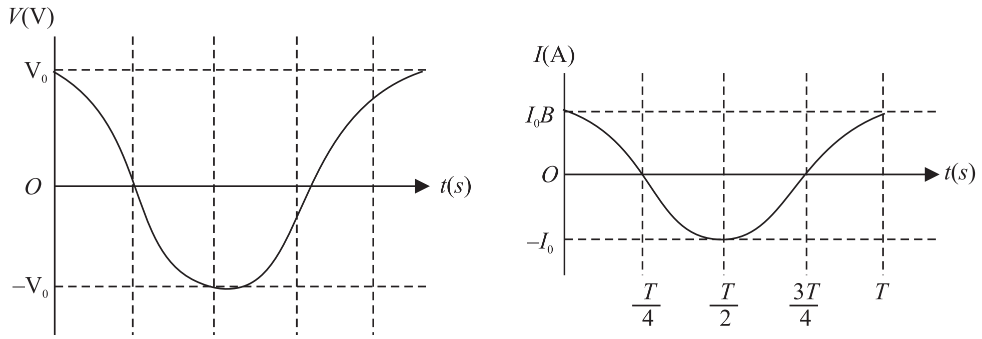
$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{V_m \cos \omega t}{R} \qquad (19.14a)$$

राशि V_m/R का मात्रक, वोल्ट प्रति ओम, (अर्थात ऐम्पियर) है। यह राशि परिपथ में धारा के अधिकतम मान को निरुपित करती है। धारा की दिशा, समय के साथ बदलती है। अत: धारा की दो संभव दिशाओं को निरुपित करने के लिए हम धारा के धनात्मक और ऋणात्मक मानों का प्रयोग करते हैं। समीकरण (19.14a) में V_m/R के लिए परिपथ में अधिकतम धारा, I_m, को प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं,

$$I = I_m \cos \omega t \qquad (19.14b)$$

चित्र 19.14 में प्रतिरोधक के सिरों और प्रतिरोधक में धारा के मध्य विभवांतर का समय के साथ विचरण दर्शाया गया है। ध्यान दें कि विभवांतर और धारा कला संबद्ध हैं अर्थात शिखर और गर्त एक ही समय में पाए जाते हैं।



चित्र 19.14 : किसी शुद्ध प्रतिरोधक परिपथ में धारा और वोल्टता का समय के साथ विचरण

भारत में $V_m = 310V$ तथा $v = 50$ Hz, है। अत: $R = 10\ \Omega$, के लिए हम पाते हैं,

$$V = 310 \cos (2\pi\ 50t)$$

तथा

$$I = \frac{310}{10} \cos (100\pi t)$$

$$= 31 \cos (100\pi t) A$$

V और I चूंकि $\cos (100\pi t)$ के आनुपातिक हैं अत: चक्रों की संमाकल संख्या के लिए औसत धारा शून्य है। प्रतिरोधक में विकसित औसत शक्ति $P = I^2R$ शून्य नहीं होगा। चूंकि I^2, शून्य और I^2, के मध्य आवर्तत विचरण करता है अत: एकल चक्र के लिए हम औसत शक्ति P_{av}, निर्धारित कर सकते हैं:

$$P_{av} = (I^2R)_{av} = R(I^2)_{av} = R\ \frac{I_m^2 + 0}{2}$$

$$P_{av} = R\ \frac{I_m^2}{2} = R\, I^2_{rms} \qquad (19.15)$$

ध्यान दें कि प्रतिरोधक में $(I_m/\sqrt{2}\,)$मान की dc अपरिवर्ती धारा द्वारा समान शक्ति उत्पन्न होगी। यदि हम प्रतिरोधक को $V_m/\sqrt{2}$ वोल्ट विभवांतर के अपरिवर्ती मान के साथ संयोजित करें तब भी वही परिणाम प्राप्त होगा। राशियां $I_m/\sqrt{2}$ तथा $V_m/\sqrt{2}$ क्रमश: धारा और विभवांतर के rms मान कहलाते हैं। शब्द rms वर्ग माध्य मूल का संक्षिप्त रूप है जिसका अर्थ होता है, संदर्भित राशि के वर्ग के माध्य मान का वर्ग मूल।

भारतीय घरों में जहां $V_m = 310\text{V}$, होता है वहां विभवांतर का rms मान,

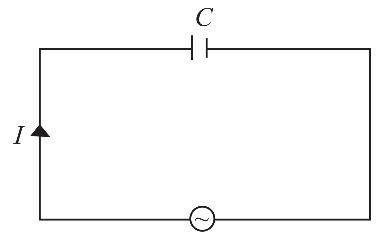
$$V_{rms} = V_m/\sqrt{2} \simeq 220\text{V} \text{ होगा।}$$

सामान्यत: विभवांतर के लिए यही मान उद्धरित किया जाता है। ध्यान दें कि जब विभवांतर 220 V होता है तो ac वोल्टता का शिखर मान 310 V होगा इसी कारण यह इतना घातक है।

पाठगत प्रश्न 19.6

1. ac स्रोत से संयोजित किसी प्रकाश स्रोत के धारा के प्रत्येक चक्र में तात्क्षणिक धारा दो बार शून्य हो जाती है। शून्य धारा वाले क्षणों में बल्ब क्यों नहीं बुझता?
2. 25Ω प्रतिरोध वाली कोई विद्युत आयरन 220 V, 50 Hz के किसी घरेलू प्लग से संयोजित है। इसके सम्पूर्ण चक्र में औसत धारा, शिखर धारा, तात्क्षणिक धारा और rms धारा ज्ञात कीजिए।
3. ac धारा वोल्टता के वर्ग माध्य मूल मान परिकलित करना क्यों आवश्यक है?

19.3.2 संधारित्र से संयोजित कोई AC स्रोत



चित्र 19.15 : किसी ac परिपथ में संधारित्र

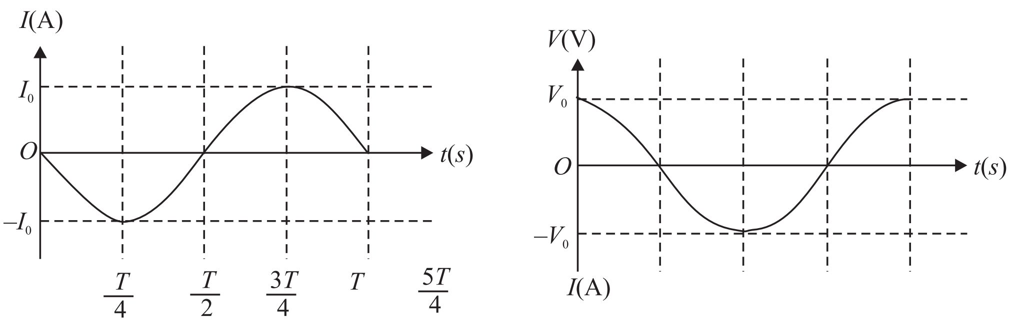
चित्र 19.15 में ac स्रोत से संयोजित कोई संधारित्र दर्शाया गया है। धारिता की परिभाषा से हमें ज्ञात हैं कि संधारित्र पर तात्क्षणिक आवेश, उसके मध्य तात्क्षणिक विभवांतर और धारिता के गुणनफल के बराबर ($q = CV$) होता है। इस प्रकार हम लिख सकते हैं,

$$q = CV_m \cos \omega t \qquad (19.16)$$

चूंकि $I = dq/dt$, अत: हम लिख सकते हैं;

$$I = -\omega CV_m \sin \omega t \qquad (19.17)$$

किसी धारिता परिपथ में V और I में विचरण चित्र 19.16 में दिखाया गया है।



चित्र 19.16: किसी धारिता-परिपथ में V और I में काल के साथ विचरण

प्रतिरोधक के विपरीत, संधारित्र में धारा I और विभवांतर V कला संबद्ध नहीं होते।

धारा-काल आरेख का प्रथम शिखर, विभवांतर-काल आलेख के प्रथम शिखर से एक चौथाई चक्र पहले घटित होता है। **अतः हम कह सकते हैं कि संधारित्र धारा, संधारित विभवांतर से एक चौथाई आवर्त अग्रगामी होती है।** एक चौथाई आवर्त कलांतर $\pi/2$ रेडियन या 90°. के तदनुरुपी होता है। तदनुसार हम यह भी कह सकते हैं कि विभवांतर धारा से 90° पश्चगामी होता है।

समीकरण (19.17) को पुनः निम्नलिखित रूप में लिखने पर,

$$I = -\frac{V_m}{1/(\omega C)} \sin\omega t \qquad (19.18)$$

और समीकरण (19.14a) और समीकरण (19.18), की तुलना करने पर, हम देखते हैं कि $(1/\omega C)$ के मात्रक, प्रतिरोध के मात्रक ही होना चाहिए। राशि $1/\omega C$ धारिता-प्रतिघात कहलाती है और इसे प्रतीक X_C के द्वारा व्यक्त किया जाता है; :

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

$$= \frac{1}{2\pi\nu C} \qquad (19.19)$$

धारिता-प्रतिघात वह माप है जिस सीमा तक कोई संधारित्र किसी परिपथ में ac धारा को सीमित करता है। यह जेनरेटर की धारिता और आवृत्ति पर निर्भर करता है। आवृत्ति तथा धारिता में वृद्धि होने पर धारिता प्रतिघात में कमी हो जाती है। प्रतिरोध तथा धारिता प्रतिघात एक अर्थ में समान हैं क्योंकि दोनों ही ac धारा की सीमाओं का मापते हैं। परंतु प्रतिरोध के विपरीत, धारिता-प्रतिघात, ac की आवृत्ति पर निर्भर करता (चित्र 19.17) है। धारिता-प्रतिघात की संकल्पना के आधार पर हमें समीकरण $I = V/R$ के अनुरुप समीकरण प्राप्त होती है:

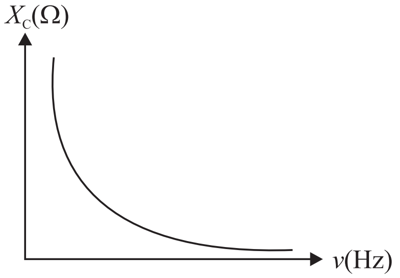
$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_C} \qquad (19.20)$$

संधारित्र को प्रदत्त तात्क्षणिक शक्ति, तात्क्षणिक संधारित्र धारा और विभवांतर का गुणनफल होती है:

$$P = VI$$

$$= -\omega C V^2 \sin\omega t \cos\omega t$$

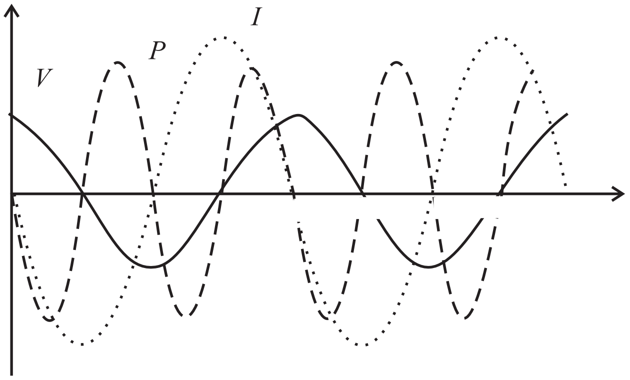
$$= -\frac{1}{2}\omega C V^2 \sin 2\omega t \qquad (19.21)$$



चित्र 19.17 : धारिता प्रतिघात में आवृत्ति के साथ परिवर्तन

P का चिह्न, काल के साथ ऊर्जा-प्रवाह की दिशा निधरित करता है। जब P धनात्मक होता है तो संधारित्र में ऊर्जा का भंडारण होता है। P के ऋणात्मक होने पर

संधारित्र के द्वारा ऊर्जा का विमोचन होता है। चित्र 19.18 में *V*, *I*, और *P* के ग्राफीय निरुपण दर्शाए गए हैं। ध्यान रहे कि धारा और विभवांतर दोनों ही कोणीय आवृत्ति *w* के साथ विचरण कर रहे हैं परंतु शक्ति का कोणीय आवृत्ति 2ω के साथ विचरण होता है। औसत शक्ति शून्य होती है। किसी आवेशन चक्र की अवधि में संधारित्र में भंडारित विद्युत ऊर्जा, संधारित्र का विसर्जन होने पर पूर्णत: पुन: प्राप्त हो जाती है। औसतन किसी चक्र में संधारित्र में न कोई ऊर्जा भंडारित और न कोई ऊर्जा नष्ट होती है।



चित्र 19.18 : *V*, *I* और *P* का काल-विचरण

उदाहरण 19.5 : 100 μF का कोई संधारित्र किसी ऐसे 50Hz ac जेनरेटर से संयोजित है जिसका शिखर आयाम 220 *V* है। संधारित्र के साथ श्रेणी संयोजित किसी rms ac ऐमीटर द्वारा दर्ज की गई धारा परिकलित कीजिए।

हल : किसी संधारिय का धारिता-प्रतिघात निम्नलिखित होता है:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi(50)\,\text{rads}^{-1}(100\times10^{-6}\,\text{F})} = 31.8\Omega$$

यह मानते हुए कि ऐमीटर का प्रतिरोध अल्प होने के कारण यह धारा के मान को प्रभावित नहीं करता अत: संधारित्र में तात्क्षणिक धारा निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त की जाएगी:

$$I = \frac{V}{X_C}\cos\omega t = \frac{220}{31.8}\cos\omega t$$

$$= (-6.92\cos\omega t)\,\text{A}$$

धारा का rms मान,

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{6.92}{\sqrt{2}} = 4.91\text{A}$$

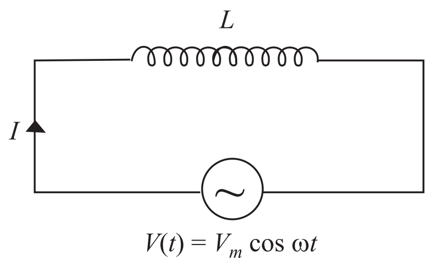
अब निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए:

टिप्पणियाँ

पाठगत प्रश्न 19.7

1. किसी ac जेनरेटर से संयोजित संधारित्र में धारा इसकी धारिता में वृद्धि होने पर क्यों बढ़ती है? व्याख्या कीजिए।
2. संधारित्र किसी ऐसे ac जेनरेटर से संयोजित है जिसका नियत शिखर मान (V_m) परंतु आवृत्ति परिवर्ती है। आवृत्ति कम होने पर क्या आप उसमें धारा-वृद्धि की अपेक्षा करते हैं?
3. क्या किसी ac जेनरेटर द्वारा संधारित्र को प्रदत्त औसत शक्ति शून्य हो सकती है। तर्क सहित उत्तर दीजिए।
4. TV सेट जैसे उच्च आवृत्ति परिपथों में धारिता-प्रतिघात कम क्यों हो जाता हैं?

19.3.3 प्रेरक से संयोजित कोई AC स्रोत



चित्र 19.19 :प्रेरक से संयोजित कोई ac जेनरेटर

अब हम किसी ac स्रोत से संयोजित आदर्श प्रेरक (शून्य प्रतिरोध) पर विचार करते हैं (चित्र 19.19)। यदि प्रेरक के मध्य विभवांतर V हो तो हम लिख सकते है:

$$V = L\frac{dI}{dt} = V_m \cos \omega t \qquad (19.22)$$

समीकरण (19.22) को काल के साथ समाकलित करने पर इसे पुन: इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$dI = \frac{V_m}{L} \cos\omega t \, dt$$

चूंकि cos x का समाकल sin x, होता है। अत:

$$I = \frac{V_m}{\omega L} \sin \omega t + \text{स्थिरांक} \qquad (19.23a)$$

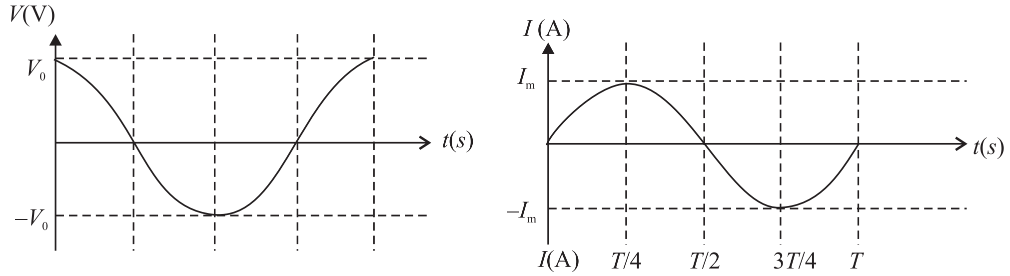
जब $t = 0$, $I = 0$. होता है। अत: समाकलन स्थिरांक शून्य हो जाता है। इस प्रकार,

$$I = \frac{V_m}{\omega L} \sin \omega t \qquad (19.23b)$$

V और I की तुलना करने के लिए हम V_m = 220V और $\omega = 2\pi(50)$ rads^{-1}, तथा $L = 1H$. तब,

$$V = 220 \cos (2\pi\, 50t) \text{ वोल्ट होगा}$$

$$I = \frac{220}{2\pi.50} \sin (2\pi\, 50t) = 0.701 \sin (2\pi\, 50t) \text{ ऐम्पियर होगा}$$



चित्र. 19.20 : किसी प्रेरक के मध्य विभवांतर और उसमें प्रवाहित धारा का काल विचरण। ये कला संबद्ध नहीं हैं।

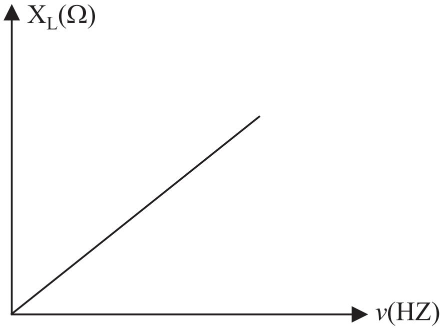
चित्र 19.20 में V और I का काल विचरण दर्शाया गया है। प्रेरक धारा और प्रेरक के मध्य विभवांतर कला संबद्ध नहीं है। विभवांतर वास्तव में धारा से एक चौथाई चक्र पहले शिखर प्राप्त कर लेता है। हम कहते हैं कि प्रेरक में धारा, विभवांतर से $\pi/2$ rad (अथवा 90°) पश्चगामी है। लेन्ज नियम से भी हम यही अपेक्षा करते है। समीकरण (19.23 b) को पुन: इस प्रकार लिखने पर हम यह बात दूसरे विधि से भी प्रस्तुत कर सकते हैं:

$$I = \frac{V_m}{\omega L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

चूंकि $V = V_m \cos \omega t$, अत: $(-\pi/2)$ के लिए कलांतर से तात्पर्य यह होगा कि धारा $\pi/2$. से पश्चगामी है। यह संधारित्र में धारा से विपरीत है जो विभवांतर से अग्रग है। प्रेरक में धारा विभवांतर से पश्चगामी होती है। समीकरण (19.23b) में राशि X_L के मात्रक, प्रतिरोध के ही मात्रक होते हैं। यह राशि प्रेरणिक प्रतिघात कहलाती और प्रतीक X_L के द्वारा व्यक्त की जाती है:

$$X_L = \omega L = 2\,\pi \nu L \qquad (19.24)$$

धारिता-प्रतिघात की ही भांति प्रेरणिक प्रतिघात, X_L, को ओम में व्यक्त किया जाता है। प्रेरणिक प्रतिघात वह माप है जिस सीमा तक प्रेरक, परिपथ में ac धारा को सीमित करता है। यह जेनरेटर के प्रेरकत्व और आवृत्ति पर निर्भर करता है। आवृत्ति अथवा प्रेरकत्व में वृद्धि होने पर प्रेरणिक प्रतिघात में भी वृद्धि होती है। यह धारिता प्रतिघात के ठीक विपरीत है। यदि सीमा-आवृत्ति शून्य हो जाती है तो प्रेरणिक प्रतिघात भी शून्य हो जाता है। स्मरण करे कि $\omega \to 0$ होने पर धारिता प्रतिघात, अनंत की ओर प्रवृत्त होता है (देखिए सारणी 19.1)। चूंकि बैटरी जैसे dc स्रोत में प्रेरणिक प्रभाव लुप्त हो जाते हैं अत: शून्य आवृत्ति के लिए शून्य प्रेरणिक प्रतिघात, किसी dc स्रोत से संयोजित प्रेरक के व्यवहार के संगत है। X_L का आवृत्ति-विचरण आवृत्ति 19.21 में दर्शाया गया है।



चित्र.19.21 : आवृति के फलन के रूप में प्रेरक ($X_L = 2\pi\nu L$) का प्रतिघात। आवृत्ति में वृद्धि होने पर प्रेरणिक प्रतिघात में भी वृद्धि होती है।

सारणी 19.1

परिपथ अवयव	धारा प्रवाह का विरोध	निम्न आवृत्ति पर मान	उच्च आवृत्ति पर मान
प्रतिरोधक	R	R	R
संधारित्र	$X_C = \dfrac{1}{\omega C}$	∞	0
प्रेरक	$X_L = \omega L$	0	∞

प्रेरणिक प्रतिघात की संकल्पना के आधार पर, प्रतिरोध R निहित समीकरण $I = V/R$ में हम प्रेरक अनुरुप का समावेश कर सकते है:

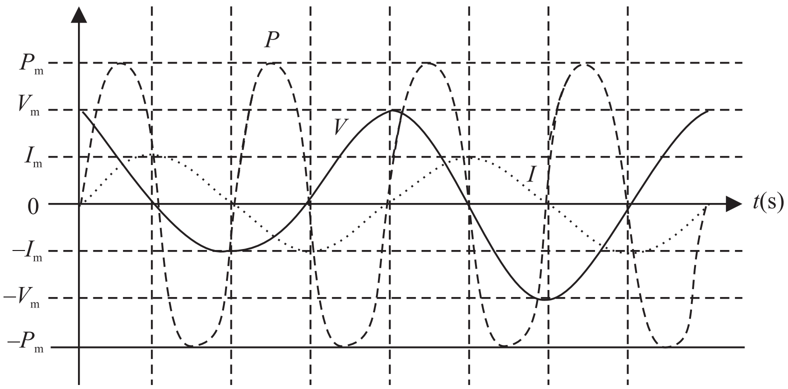
$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_L} \qquad (19.25)$$

प्रेरक को प्रदत्त तात्क्षणिक शक्ति इस प्रकार व्यक्त की जाएगी:

$$P = VI$$

$$= \frac{V_m^2}{\omega L} \sin \omega t \cos \omega t = \frac{V_m^2}{2\omega L} \sin 2\,\omega t \qquad (19.26)$$

प्रेरक के लिए V, I और P का ग्राफीय निरुपण चित्र 19.21 में दर्शाया गया है। यद्यपि धारा तथा विभवांतर दोनों ही कोणीय आवृत्ति के साथ विचरण करते हैं परंतु शक्ति, दुगनी कोणीय आवृत्ति के साथ विचरण करती है। संपूर्ण चक्र में प्रदत्त औसत शक्ति शून्य होती है। ऊर्जा एकांतरत: भंडारित और विमोचित की होती है जैसे-जैसे चुंबकीय क्षेत्र में एकांतरत: वृद्धि और क्षय होता जाता है।



चित्र 19.21: किसी प्रेरणिक परिपथ में विभवांतर, धारा और शक्ति का काल के साथ विचरण

उदाहरण 19.6 : किसी वायु क्रोडित परिनालिका की लम्बाई 25cm और व्यास 2.5cm है तथा इसमें सघन कुंडलित 1000 फेरे हैं। कुंडली का प्रतिरोध 1.00Ω मापा गया है। 100Hz पर, कुंडली के प्रतिरोध के साथ प्रेरणिक प्रतिघात की तुलना कीजिए।

हल : व्यास की तुलना में अधिक लंबाई की परिनालिका का प्रेरकत्व, निम्नलिखित सूत्र के द्वारा व्यक्त किया जाएगा:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 \pi a^2}{\ell}$$

जबकि, N फेरो की संख्या, a त्रिज्या और ℓ परिनालिका की लंबाई है। इन मानों को प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं;

$$L = \frac{(4\pi \times 10^{-7})\ \text{Hm}^{-1}\ (1000)^2\ \pi (0.0125)^2 \text{m}^2}{0.25\text{m}}$$

$$= 2.47 \times 10^{-3}\ \text{H}$$

100Hz की आवृत्ति पर प्रेरणिक प्रतिघात,

$$X_L = \omega L \quad = 2\pi \left(100 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) (2.47 \times 10^{-3})\ \text{H}$$

$$= 1.55\Omega$$

इस प्रकार 100Hz की आवृत्ति पर इस परिनालिका के प्रेरणिक प्रतिघात की नैज (ओमीय) प्रतिरोध R के साथ तुलना की जा सकती है। परिपथ आरेख में इसे इस रूप में दर्शाया जाएगा;

$$\text{L} = 2.47\ \text{H} \quad \text{and} \quad R = 1.00\ \Omega$$

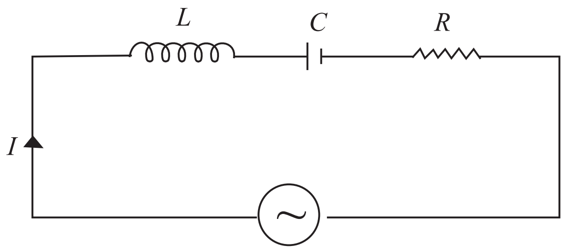
इन धारणाओं को आपने कितना समझा है अब इनका आप परीक्षण करना चाहेगे।

पाठगत प्रश्न 19.8

1. जब कोई आदर्श प्रेरक किसी ac जेनरेटर से संयोजित किया जाता है तो लेन्ज नियम की भूमिका का वर्णन कीजिए।
2. अनुभाग 19.3.1 में आत्मप्रेरकत्व को विद्युतीय जड़त्व के रूप में अभिलक्षित किया गया है। इसे निर्देश के रूप में मानते हुए ac जेनरेटर से संयोजित किसी प्रेरक के आत्म प्रेरकत्व में वृद्धि होने पर आप प्रेरक-धारा में कमी की अपेक्षा क्यों करते हैं?

19.3.4 श्रेणी LCR परिपथ

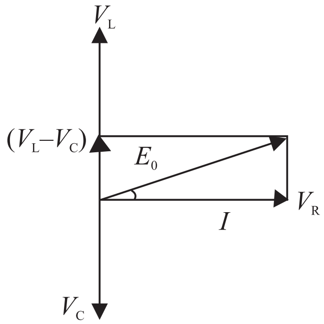
चित्र 19.22 का अवलोकन कीजिए। इसमें एक परिपथ दर्शाया गया है जिसमें एक प्रेरक L, एक संधारित्र C तथा एक प्रतिरोधक R है जो ac स्रोत के साथ श्रेणीक्रम में संयोजित हैं और तात्क्षणिक emf $E = E_m \sin \omega t$ उपलब्ध कराते हैं। सभी तीन परिपथ-अवयवों से प्रवाहित धारा का आयाम और कला समान हैं परंतु जैसा कि पहले बताया जा चुका है उनके मध्य विभवांतर एक ही कला में नहीं हैं।



चित्र. 19.22 : श्रेणी LCR परिपथ

(i) प्रतिरोधक के मध्य विभवान्तर $V_R = I_0R$ हैं और यह धारा के साथ कला संबद्ध है।

(ii) संधारित्र के मध्य P.D. का आयाम $V_C = I_O X_C$ और यह धारा से कोण $\pi/2$ द्वारा पश्चगामी है तथा (iii) प्रेरक के मध्य P.D. का आयाम $V_L = I_0X_L$ और यह धारा से $\pi/2$ कोण द्वारा अग्रग है।



चित्र 19.23 : LCR परिपथ में वोल्टताओं का फेजर आरेख

विभिन्न कलाओं के कारण परिपथ के मध्य परिणामी शिखर वोल्टता प्राप्त करने के लिए हम वोल्टताओं का बीजीयत: संकलन नहीं कर सकते। इन वोल्टताओं का संकलन करने के लिए हम फेजर आरेख खींचते हैं जो तीन वोल्टताओं (आकृति 19.23) का समुचित कला संबंध दर्शाता है। यह आरेख स्पष्ट रुप से दर्शाता है कि प्रेरक और संधारिय के मध्य वोल्टताएं विपरीत कलाओं में हैं और इसलिए प्रतिघाती अवयवों के मध्य निवल वोल्टता $(V_L - V_C)$ होगी। अत: परिपथ के मध्य परिणामी शिखर वोल्टता निम्नलिखित होगी:

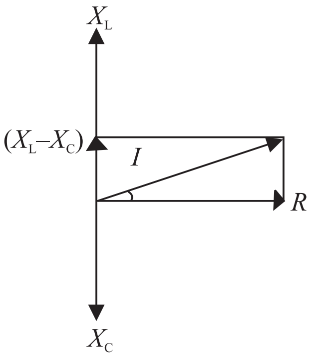
$$E_0 = \sqrt{(V_L - V_C)^2 + V_R^2}$$

$$= \sqrt{I_0^2\{(X_L - X_C)^2 + R^2\}}$$

अथवा
$$\frac{E_0}{I_0} = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$$

LCR परिपथ द्वारा किया गया धारा प्रवाह का विरोध उसकी प्रतिबाधा कहलाता है। परिपथ की प्रतिबाधा इस प्रकार व्यक्त की जाती है:

$$Z = \frac{E_{rms}}{I_{rms}} = \frac{E_0}{I_0} = \sqrt{(X_L - X_C) + R^2} = \sqrt{\left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2 + R^2} \quad (19.27)$$



चित्र 19.24 : Z के लिए फेजर आरेख

अत: LCR परिपथ के बीच rms धारा, इस प्रकार लिखी जा सकती है:

$$I_{rms} = \frac{E_{rms}}{Z}$$

चित्र 19.23 से यह भी स्पष्ट है कि LCR परिपथ में emf धारा के कोण ϕ, के द्वारा अग्रग (अथवा पश्चगामी) होता है

और यह $\tan\phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L I_0 - X_C I_0}{R I_0} = \frac{X_L - X_C}{R}$ (19.28)

इसका अर्थ हुआ कि वोल्टता की भांति R, X_L, X_C और Z भी फेजर आरेख पर निरुपित किए जा सकते है (चित्र 19.24)।

अनुनाद:

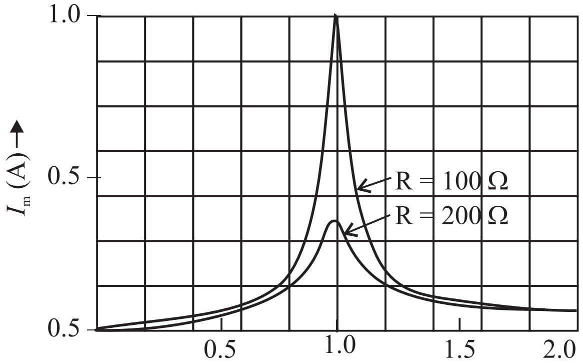
अब आपको ज्ञात हैं कि अनुप्रयुक्त ac स्रोत की आवृत्ति में वृद्धि होने पर प्रेरणिक प्रतिघात (X_L) में वृद्धि तथा धारिता-प्रतिघात (X_C) में कमी हो जाती है। इसके अतिरिक्त ये कला-बाह्य हैं। अत: कोई ऐसी नियत आवृत्ति ν_r होनी चाहिए जिस पर $X_L = X_C$ हो:

अर्थात,
$$2\pi\, \nu_r L = \frac{1}{2\pi\nu_r C}$$

$$\Rightarrow \qquad \nu_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (19.29)$$

यह आवृत्ति **अनुनाद आवृत्ति** कहलाती है और इस आवृत्ति पर, प्रतिबाधा का न्यूतम मान $Z_{min} = R$ होगा। यह परिपथ अब पूर्णत: प्रतिरोधक होगा। संधारित्र और प्रेरक के मध्य वोल्टता का परिमाण समान होता है अत: एक दूसरे को समाप्त कर देती हैं। चूंकि अनुनादी परिपथ पूर्णत:

प्रतिरोधक होता है अत: निबल वोल्टता, धारा ($\phi = 0$) के साथ कला संबद्ध होगी और परिपथ से होकर अधिकतम धारा प्रवाहित होगी। तब परिपथ अनुप्रयुक्त ac के साथ अनुनादी कहा जाएगा। चित्र 19.25 में दर्शाए गए ग्राफ LCR परिपथ में, अनुप्रयुक्त स्रोत की आवृत्ति में विचरण के साथ धारा के शिखर मान में विचरण दर्शाते हैं। किसी LCR परिपथ की अनुनाद आवृत्ति, प्रतिरोध पर निर्भर नहीं करती। परंतु जैसा कि चित्र 19.25 में दर्शाया गया है कि प्रतिरोध में कमी होने पर धारा के शिखर मान में वृद्धि हो जाती है।



चित्र 19.25 :किसी *LCR* परिपथ में आवृत्ति के साथ शिखर धारा में विचरण जब (i) $R = 100\ \Omega$, तथा (ii) $R = 200\ \Omega$ है।

LCR परिपथों में अनुनाद की परिघटना का उपयोग विभिन्न केन्द्रों द्वारा हमारे रेडियो/TV अभिग्राहियों तक प्रेषित आवृत्तियों को समस्वहित करने में किया जाता है। समस्वरक में एक प्रेरक और एक परिवर्ती संघारित्र होता है। हम संधारित्र की धारिता में परिवर्तन कर, LC परिपथ की प्राकृतिक आवृत्ति में परिवर्तन कर सकते हैं। जब समन्वरक परिपथ की प्राकृतिक आवृत्ति, प्रेषित की आवृत्ति के साथ सुमेलित हो जाती तो अपरोधी रेडियो तरंगें, हमारे अभिग्राही ऐन्टेना में अधिकतम धारा प्रेरित करती हैं और हम कहते हैं कि अमुक रेडियो/ TV केंद्र समस्वरित हो गया है।

LCR परिपथ में शक्ति

आप जानते हैं कि ac स्रोत से संयोजित कोई संधारित्र विद्युत ऊर्जा का उत्क्रमणीयत: भंडारण और विमोचन करता है। स्रोत द्वारा किसी निवल ऊर्जा का संभरण नहीं होता। इसी प्रकार किसी ac स्रोत से संयोजित कोई प्रेरक, चुंबकीय ऊर्जा का उत्क्रमणीयत: भंडारण और विमोचन करता है। स्रोत द्वारा किसी निवल ऊर्जा का संभरण नहीं होता। हालांकि, किसी प्रतिरोधक से संयोजित कोई ac जेनरेटर, ऊर्जा की निवल राशि का संभरण करता है। अत: जब कोई प्रतिरोधक, प्रेरक और संधारित्र किसी ac स्रोत के साथ श्रेणी संयोजित किए जाते हैं तो इनमें से केवल प्रतिरोध क से ही निवल ऊर्जा का अंतरण होता है। हम इस बात की पुष्टि किसी स्रोत जो जेनरेटर हो सकता है द्वारा प्रदत्त शक्ति के परिकलन से कर सकते हैं।

तात्क्षणिक शक्ति, वोल्टता और स्रोत द्वारा आहरित धारा का गुणनफल होता है। अत: हम लिख सकते हैं;

$$P = VI$$

V और I, के मान प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं;

$$P = V_m \cos \omega t \; \frac{V_m}{Z} \cos(\omega t + \phi)$$

$$= \frac{V_m^2}{Z}, \; \frac{2\cos \omega t \cos(\omega t + \phi)}{2}$$

$$= \frac{V_m^2}{2Z}\left[\cos\phi + \cos\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right)\right] \qquad (19.30)$$

स्रोत द्वारा प्रदत्त शक्ति में कला कोण ϕ और कोणीय आवृत्ति ω की महत्वपूर्ण भूमिका होती है। यदि किसी विशेष कोणीय आवृत्ति पर प्रतिबाधा Z बहुत अधिक हो तो प्रत्येक समय शक्ति अल्प होगी। यह परिमाण इस धारणा के साथ संगत है कि प्रतिबाधा किस प्रकार अवयवों के संयोजन में ac धारा को सीमित करती है। चूंकि एक चक्र में दूसरे पद का औसत मान शून्य है अतः स्रोत द्वारा परिपथ को प्रदत्त औसत शक्ति निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त की जाएगी:

$$\text{औसत शक्ति} = \frac{V_m^2}{2Z}\cos\phi \qquad (19.31)$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_m}{\sqrt{2}Z}\cos\phi = V_{rms} I_{rms} \cos\phi \qquad (19.32)$$

यहाँ $\cos\phi$ शक्ति गुणक कहलाता है और निम्नलिखित प्रकार से लिखा जाता है:

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \qquad (19.33)$$

शक्ति गुणक के द्वारा जेनरेटर द्वारा प्रदत्त प्रति चक्र अधिकतम औसत शक्ति विसीमित हो जाती है। शुद्ध प्रतिरोधक परिपथ (अथवा किसी अनुनादी परिपथ में जिसमें $X_L = X_C$), $Z = R$, होता है जिससे $\cos\phi = \frac{R}{R} =$ होगा। अर्थात, जब $\phi = 0$ हो प्रति चक्र क्षयित औसत शक्ति अधिकतम होती है: $P_m = V_{rms} I_{rms}$ इसके विपरीत किसी शुद्ध प्रतिघाती परिपथ में जब $R = 0$, $\cos\phi = 0$ या $\phi = 90^0$ होता है तो प्रति चक्र औसत क्षयित शक्ति $P = 0$ होगी। इसका यह अर्थ हुआ कि किसी शुद्ध प्रेरक अथवा शुद्ध संधारित्र में शक्ति ह्रास के बिना धारा बनी रहती है। अतः ऐसी धारा **वाटहीन धारा** कहलाती है।

19.4 शक्ति जेनरेटर

विद्युत शक्ति का सबसे महत्वपूर्ण स्रोत जेनरेटर है। **जेनरेटर वह युक्ति है जो चुंबकीय क्षेत्र की सहायता से यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिणत कर देती है।** विद्युत शक्ति का कोई अन्य स्रोत, जेनरेटर जितनी अधिक मात्रा में विद्युत शक्ति का उत्पादन नहीं कर सकता। कोई चालक अथवा चालकों के समुच्चय को चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णित किया जाता

है और वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के कारण घूर्णी चालक के मध्य वोल्टता विकसित होती है। चालकों के घूर्णन के लिए जल, कोयला, डीजल अथवा गैस अथवा यहां तक कि नाभिकीय ईधन के द्वारा ऊर्जा की आपूर्ति की जाती है। तदनुसार हमारे पास क्रमशः जल विद्युत जेनरेटर, ताप जेनरेटर और नाभिकीय रिऐक्टर हैं।

जेनरेटर दो प्रकार के होते हैं:

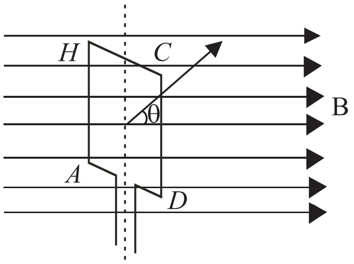
- प्रत्यावर्ती धारा जेनरेटर अथवा Ac जेनरेटर जिन्हें आल्टरनेटर भी कहा जाता है।
- दिष्ट धारा जेनरेटर अथवा D.C. जेनरेटर अथवा डायनेमो।

उपर्युक्त दोनों ही प्रकार के जेनरेटर वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत पर कार्य करते हैं।

19.4.1 A.C. जेनरेटर अथवा आल्टरनेटर:

जेनरेटर में मूलतः तार का एक पाश (लूप) होता है जो चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णन करता है। चित्र 19.26 का अवलोकन करें। इसमें तार का एक आयताकार पाश, किसी एक समान चुंबकीय क्षेत्र में स्थिर दर्शाया गया है। यह पाश जैसे-जैसे अपनी क्षैतिज अक्ष के अनुदिश घूर्णन करता है वैसे-वैसे पाश से होकर चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन होता है। इसे समझने के लिए पाश से होकर चुंबकीय अभिवाह का स्मरण करें जैसा कि चित्र 19.26 में दर्शाया गया है। यह अभिवाह,

$$\phi(t) = \mathbf{B}.\hat{n}A$$



चित्र 19.26 : चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णन करता हुआ तार का एक पाश (लूप)

जबकि **B** क्षेत्र और $\hat{n}$ एक इकाई सदिश है जो क्षेत्रफल A के पाश के समतल के अभिलंब है। यदि किसी क्षण क्षेत्र दिशा और पाश के मध्य कोण को θ, द्वारा व्यक्त किया जाए, तो $\phi(t)$ को इस प्रकार लिखा जा सकता है;

$$\phi(t) = AB\cos\theta$$

जब हम पाश को अपरिवर्ती कोणीय वेग ω, द्वारा घूर्णित करते हैं तो कोण θ इस प्रकार परिवर्तित होता है।

$$\theta = \omega t \qquad (19.34)$$

$$\therefore \quad \phi(t) = AB\cos\omega t$$

अब, फैराडे के वैद्युत चुंबकीय प्रेरण नियम का उपयोग करने पर हम पाश में प्रेरित विद्युत वाहक बल परिकलित कर सकते हैं:

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\phi}{dt} = \omega AB \sin \omega t \quad (19.35)$$

N फेरों की संख्या युक्त कुंडली के मध्य प्रेरित emf निम्नलिखित होगा:

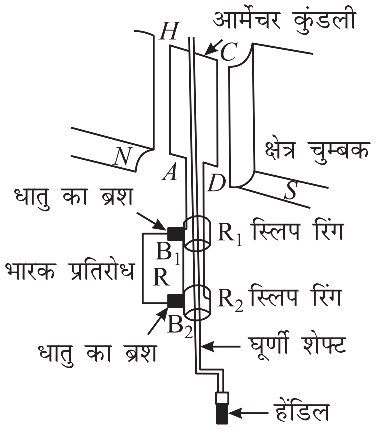
$$\varepsilon(t) = N\omega AB \sin \omega t \quad (19.35a)$$

$$= \varepsilon_0 \sin \omega t$$

अर्थात, जब कोई आयताकार कुंडली किसी एक समान चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णन करती है तो प्रेरित emf ज्यावक्रीय होता है।

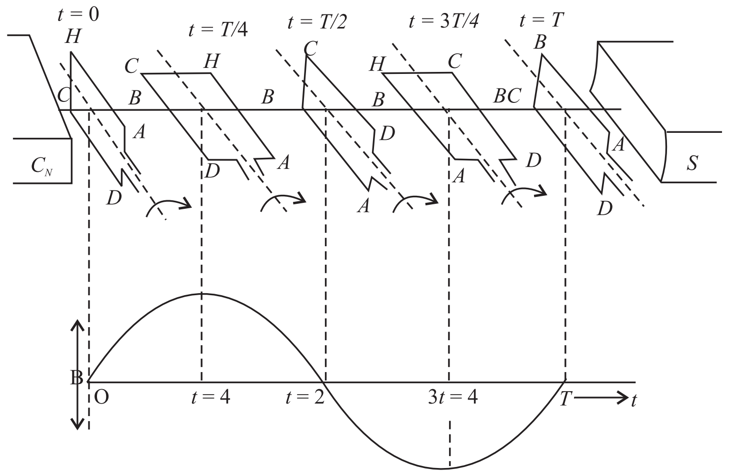
AC जेनरेटर में चार मुख्य भाग (देखिए चित्र 19.27) (i) आर्मेचर, (ii) क्षेत्र चुंबक, (iii) सर्पण वलय (स्लिपरिंग), (iv) ब्रुश होते हैं।

आर्मेचर में विद्युतरोधित ताम्रतार के बड़ी संख्या में फेरे होते हैं जो बेलनाकार मृदुलोह ड्रम पर कुंडलित रहते हैं। यह रोटर शैफ्ट पर चुंबकीय क्षेत्र के समकोण पर घूर्णन करने में समर्थ होता है। यह चुंबकीय क्षेत्र ड्रम की अक्ष के अनुदिश शेटर-शैफ्ट से होकर गुजरती है। मृदु लोह के इस ड्रम से दो उद्देश्यों की पूर्ति होती है: यह कुंडली को आलंब प्रदान करता है और इससे कुंडली से होकर चुंबकीय प्रेरण में वृद्धि होती है। क्षेत्र चुंबक का प्रावधान उसके ध्रुव टुकड़ों के मध्य एक समान और स्थायी त्रिज्य चुंबकीय क्षेत्र उपलब्ध कराने में किया जाता है।



चित्र 19.27 : किसी Ac जेनरेटर का व्यवस्था चित्र

सर्पण वलयों के कारण आर्मेचर में उत्पन्न प्रत्यावर्ती धारा, युक्ति में प्रवाहित होती है। ये सर्पण वलय, युक्ति के मध्य ब्रुशों से होकर संयोजित रहते हैं। ये वे धातु के वलय हैं जिनसे आर्मेचर के दोनों सिरे संयोजित रहते हैं। ये वलय शैफ्ट से बद्ध रहते हें। ये शैफ्ट से तथा परस्पर विद्युत



चित्र 19.28 : किसी ac जेनरेटर की कार्य पद्धति का सिद्धांत

रोधित रहते हैं। ब्रुश दो नम्य धातु अथवा कार्बन की छड़ें [B_1 और B_2] होती हैं (चित्र. 19.27)], जो बद्ध रहती हैं और परिक्रमणकारी वलयों के साथ लगातार संपर्क में रहती हैं। इन ब्रुशों की सहायता से ही धारा आर्मेचर और वलयों से मुख्य तारों तक प्रवाहित होती है जो धारा को बाह्य परिपथ तक पहुँचाते हैं।

किसी ac जेनरेटर की कार्यद्धति का सिद्धांत चित्र 19.28 में दर्शाया गया है।

मान लिजिए की आर्मेचर कुंडली *AHCD* वामावर्त दिशा में घूर्णन करती है। यह जैसे ही घूर्णन करती है वैसे ही इससे संबद्ध अभिवाह में परिवर्तन होता है और कुंडली में धारा प्रेरित होती है। प्रेरित धारा की दिशा फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा व्यक्त की जाती है। आर्मेचर को ऊर्ध्व स्थिति में और उसके घूर्णन को वामावर्ती मानते हुए, तार ac नीचे की ओर और तार dc ऊपर की ओर गति करता है और प्रेरित emf की दिशा H से A और D से C की ओर होती है, अर्थात कुंडली में यह DCHA के अनुदिश प्रवाहित होता है। बाह्य परिपथ में धारा B_1 R B_2 के अनुदिश प्रवाहित होती है जैसा कि चित्र.19.28(a) में दिखाया गया है। आर्मेचर के पहले आधे चक्कर के दौरान धारा की दिशा वही रहती है। हालांकि दूसरे आधे चक्कर के दौरान (देखिए चित्र 19.28(b), तार *AH* ऊपर की ओर और तार CD नीचे की ओर गति करता है। अब आर्मेचर-कुंडली में धारा *AHCD* दिशा में प्रवाहित होती है अर्थात कुंडली में प्रेरित धारा की दिशा उलट गई है। बाह्य परिपथ में दिशा $B_2 RB_1$ होगी। इस प्रकार प्रेरित emf की दिशा तथा धारा बाह्य परिपथ में भी प्रत्येक आधे चक्कर के बाद बदल जाती है। अतः इस प्रकार उत्पन्न धारा प्रत्येक चक्र में एकांतरण करती है [चित्र 19.28(c)]।

जब विपुल शक्ति का निर्गमन होता है तो सपर्ण वलयों और ब्रुशों की व्यवस्था से विद्युत रोधन और स्फुलिंग (स्पार्किंग) की समस्या उत्पन्न होती है। अतः अधिकांश व्यावहारिक जेनरेटरों में आर्मेचर (कुंडली) को अप्रगामी रखते हुए क्षेत्र को घूर्णित किया जाता है। ऐसे जेनरेटर में आर्मेचर कुंडलियां, जेनरेटर के आवरक की आंतरिक परिधि के चारो ओर स्थायी रूप से बद्ध रहती हैं जबकि क्षेत्र चुम्बक के विभिन्न ध्रुव अप्रगामी आर्मेचर के अंदर शैफ्ट पर घूर्णन करते हैं।

19.4.2 डायनेमो (दिष्टधारा जनित्र)

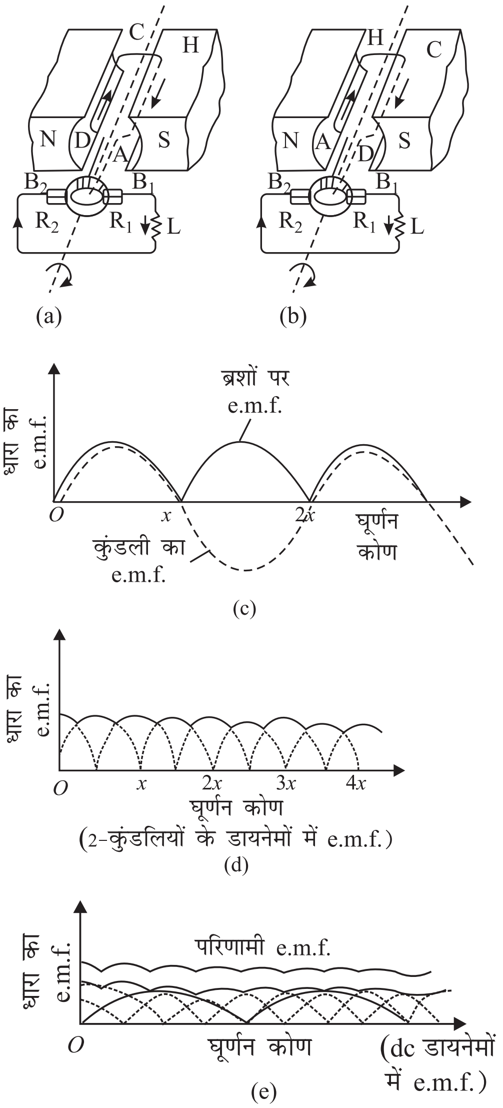
डायनेमो ऐसी मशीन है जिसमें यांत्रिक ऊर्जा दिष्ट धारा के रूप में विद्युतीय ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती हैं। आपने साइकल में लगे डायनेमों को देखा होगा जो प्रकाश प्रदान करने के उद्देश्य से लगाया जाता है। मोटर वाहनों में डायनेमो प्रकाश देने और बैटरी को आवेशित करने का दोहरा कार्य करता है। डायनेमों के मुख्य भाग (i) क्षेत्र चुंबक, (ii) आर्मेचर, (iii) विपाटित वलय दिव् परिवर्तक तथा (iv) ब्रुश होते हें।

डायनेमों और आल्टरनेटर में आर्मेचर और क्षेत्र चुंबकों में भिन्नता होती है। *डायनेमों में क्षेत्र चुंबक अप्रगामी (स्टेटर) और आर्मेचर घूर्णन करता है जबकि आल्टरनेटर में आर्मेचर अप्रगामी (स्टेटर) तथा क्षेत्र चुंबक (रोटर) घूर्णन करता है।*

डायनेमो में AC जेनरेटर द्वारा उत्पन्न ac तरंग रूप अथवा ज्या तरंग, विपाटित वलय दिक् परिवर्तक द्वारा dc रूप में परिणत हो जाती है। दिक् परिवर्तक का प्रत्येक अर्ध, पाश के एक सिरे में स्थायी रूप से संयोजित रहता है और दिक् परिवर्तक पाश के साथ घूर्णन करता है। प्रत्येक

ब्रुश, दिक् परिवर्तक के एक खंड पर दबाव डालता है। ब्रुश अप्रगामी रहते हैं जबकि दिक् परिवर्तक घूर्णन करता है। ब्रुश अब दिक् परिवर्तक के विपरीत खंडों पर दबाव डालते हैं और प्रत्येक बार वोल्टता, ध्रुवता को उलट देती है और विपाटित वलयों की स्थिति बदल जाती है। इसका यह अर्थ हुआ कि एक ध ्रुव सदैव धनात्मक जबकि दूसरा ध्रुव ऋणात्मक हो जाता है और ब्रुशों के मध्य dc उच्चावच वोल्टता प्राप्त होती है।

डायनेमों में भी लगभग वही भाग होते हैं जो ac डायनेमों में होते हैं परंतु डायनेमों में सपर्ण वलय के स्थान पर R_1 और R_2 दो विपाटित वलय होते हैं जो एक ही वलय के दो अध ॅ हैं जैसा कि चित्र 19.29(a) में दिखाया गया है। आर्मेचर कुंडली के सिरे इन वलयों से संयोजित रहते हैं और वलय आर्मेचर के साथ घूर्णन करता है और इसका ब्रुश B_1 और B_2 के साथ संपर्क बदलता रहता है। डायनेमों का यह भाग **दिक् परिवर्तक** कहलाता है।



चित्र 19.29 : दिष्टधारा जनित्र

जब कुंडली को दक्षिणावर्त दिशा में घूर्णित किया जाता है तो आर्मेचर में उत्पन्न धारा ac होती है परंतु दिक् परिवर्तक इसे बाह्य परिपथ में dc में परिणत कर देता है। पहले अर्ध चक्र [चित्र 19.29(a)] में धारा *DCHA* के अनुदिश प्रवाहित होती है। बाह्य परिपथ में धारा $B_1 L B_2$ के अनुदिश प्रवाहित होती है। दूसरे अर्ध चक्र [चित्र 19.29(b)], में आर्मेचर धारा उत्क्रमित होकर *AHCD* के अनुदिश प्रवाहित होती है जैसे ही R_1 वलय B_1 के स्थान पर B_2 के संपर्क में आती है। इस प्रकार बाह्य परिपथ में धारा सदैव एक ही दिशा में प्रवाहित होती है। बाह्य परिपथ में उत्पन्न धारा को ग्राफ द्वारा चित्र 19.29(c) में दिखाया गया है। जैसे ही कुंडली अपनी ऊर्ध्व स्थिति से चुंबकीय बल रेखाओं के लंब दिशा में घूर्णन करती है। ऐसे सरल dc डायनेमों द्वारा जनित धारा एकदिशिक होती है परंतु कुंडली के एक घूर्णन में इसमें पर्याप्त विचरण हो जाता है और यहां तक कि दो बार इसका मान शून्य तक हो जाता है।

इस विचरण को दूर करने की एक विधि यह है कि परस्पर समकोण पर दो कुंडलियों का प्रयोग किया जाए और दिक् परिवर्तक वलय को चार भागों में विभाजित कर कुंडलियों के सिरों से संयोजित किया जाए। ऐसी स्थिति में दोनों कुंडलियों से एक ही प्रकार का emf उत्पन्न

होगा परंतु उनमें $\pi/2$. का कलांतर होगा (परिणामी धारा अथवा विशब. इन दोनों के अध्यारोपण से प्राप्त होगा जैसा कि [चित्र 19.29(d)] में दिखाया गया है। इस प्रकार उच्चावचों में पर्याप्त कमी हो जाती है। इसी प्रकार स्थिर धारा प्राप्त करने के लिए हम बड़ी संख्या में कुंडलियों का प्रयोग करते है और प्रत्येक में फेरों की संख्या पर्याप्त होती है। दिक् परिवर्तक वलय में कुंडलियों के सिरों की संख्या भी उतने ही खंडों में विभाजित रहती है ताकि कुंडलियां स्वतंत्र रूप से कार्य कर सके और बाह्य परिपथ में धारा भेज सके। प्राप्त परिणामी धारा को चित्र 19.29(e) में दर्शाया गया है जो लगभग काल अक्षों के समांतर है।

पाठगत प्रश्न 19.9

1. ac और dc जेनरेटर में अंतर बताइए।
2. जेनरेटर के आवश्यक भागों के नाम लिखिए।
3. dc जेनरेटर में हम दिक् परिवर्तक का प्रयोग क्यों करते हैं?
5. दैनिक जीवन में डायनेमों का कहां प्रयोग होता है?

निम्न वोल्टता और लोड शेडिंग

किसी युक्ति के सामान्य प्रचालन के लिए उचित वोल्टता आवश्यक है। यदि विद्युत संभरण कम्पनी द्वारा संभरित वोल्टता, वांछित मान से कम है तो हमें निम्न वोल्टता की समस्या का सामना करना पड़ता है। साधित्र के लिए निम्न वोल्टता वास्तव में उच्च वोल्टता जितनी हानिकारक नहीं है। हालांकि निम्न वोल्टता के कारण अधिकांश साधित्र समुचित रूप से कार्य नहीं करते। इस के निवारण के लिए हम वोल्टता स्थायीकारियों का प्रयोग करते हैं। यदि निम्न वोल्टता स्थायीकारी की परास में है तो हमें अपरिवर्ती वोल्टता प्राप्त होती है। अपरिवर्ती वोल्टता प्राप्त करने के लिए आप अपरिवर्ती वोल्टता ट्रांसफार्मर का भी प्रयोग कर सकते हैं। जैसा कि आप जानते हैं कि किसी शक्ति केंद्र पर जनित विद्युत, नगर उपकेन्द्र को उच्च वोल्टता पर भेजी जाती है। उपकेन्द्र पर अपचायी ट्रांसफार्मर का प्रयोग कर वोल्टता को कम किया जाता है। ट्रांसफार्मरों के फुंक जाने के खतरे के निवारण के लिए, संभरण-उद्यम ट्रांसफार्मरों पर लोड विनिर्दिष्ट सीमा तक ही रखते हैं। जिस ट्रांसफार्मर से आप वोल्टता प्राप्त कर रहे है यदि अति लोडित (विनिर्दिष्ट मान से अधिक) जो जाए तो संभरण कर्ता या तो शक्ति स्रोत से संभरण बंद करके लोड को कम कर देगा अथवा वह उपभोक्ता से अनुरोध करेगा कि अधिक वाट वाले सधित्र (तापन या शीतलन) को बंद करके लोड को कम कर दें। यह प्रक्रम **लोड शेडिंग** कहलाता है। लोड शेडिंग होने पर आप इन्वर्टरों का प्रयोग कर सकते हैं। इन्वर्टर अल्प आवृत्ति वाले दोलित्र परिपथ होते हैं जो बैटरी से दिष्ट धारा को वांछित मान और वांछित आवृत्ति (230V तथा 50Hz) की प्रत्यावर्ती धारा में परिणत कर देते हैं।

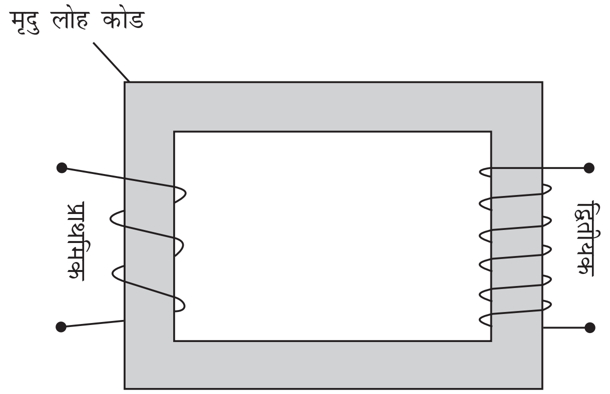
19.5 ट्रांसफार्मर

ट्रांसफार्मर ऐसी युक्ति है जो वैद्युत चुंबकीय प्रेरण की परिघटना पर आधारित है जिससे प्रत्यावर्ती वोल्टता अथवा धारा के परिमाण में परिवर्तन (वृद्धि या कमी) किया जा सकता है। ट्रांसफार्मर में विद्युतरोधित ताम्र तार के कम से कम दो कुंडलन होते हैं जो सार्व चुंबकीय अभिवाह से संबद्ध रहते हैं परंतु कुंडलन एक दूसरे से विद्युतरोधित होते हैं। ट्रांसफार्मर कुंडलन संभरण-स्रोत से संयोजित किए जाते हैं जो ac मेन अथवा जेनरेटर का निर्गम होता है। यह कुंडलन प्राथमिक कुंडलन कहलाता है। लोड R_L से संयोजित ट्रांसफार्मर कुंडलन, द्वितीयक कुंडलन कहलाता है। जब प्राथमिक पर ac लगाई जाती है तो द्वितीयक कुंडलन में emf प्रेरित होता है। प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलन यद्यपि परस्पर विद्युतीयत: विलगित रहते हैं परंतु चुंबकीयत: ये परस्पर युग्मित होते हैं। **मुलत: ट्रांसफार्मर एक ऐसी युक्ति है जो प्राथमिक कुंडलन से विद्युत ऊर्जा (अथवा शक्ति) को द्वितीयक कुंडलन पर अंतरित करती है।** प्राथमिक कुंडलन, परिवर्ती विद्युत ऊर्जा को चुंबकीय ऊर्जा में परिणत करता है। द्वितीयक कुंडलन चुंबकीय ऊर्जा को पुन: विद्युत ऊर्जा में परिणत कर देता है।

आदर्श ट्रांसफार्मर वह है जिसमें

- प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलियों का प्रतिरोध शून्य होता है।
- अभिवाह का कोई क्षरण नहीं होता इस कारण प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलनों के प्रत्येक फेरे के समान अभिवाह संबद्ध होता है।
- क्रोड में कोई ऊर्जा ह्रास नहीं होता।

चित्र 19.30 में किसी प्ररुपी ट्रांसफार्मर का विन्यास दर्शाया गया है। इसमें दो कुंडलियां होती हैं जो प्राथमिक और द्वितीयक कहलाती हैं और क्रोड (ट्रांसफार्मर) पर कुंडलित रहती हैं। ये कुंडलियां विद्युतरोधित ताम्र तार से निर्मित होती हैं और ये ठोस क्रोड के स्थान पर, अलग-अलग पटलित शीट से बने लोहे के वलय के चारो ओर कुंडलित रहती हैं। पटलनों के कारण लोहे में भंवर धारा ह्रास न्यूनतम रहते हैं। ट्रांसफार्मर में ऊर्जा ह्रास को कम करने के लिए क्रोड मृदु लोह के पटलनों और प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलनों के लिए मोटे उच्च चालकता तारों का प्रयोग किया जाता है।



चित्र 19.30 : ट्रांसफार्मर का व्यवस्थात्मक निरुपण

अब हम निम्नलिखित दो उदाहरणों में ट्रांसफार्मर की कार्य पद्धति पर चर्चा करेंगे।

(a) **द्वितीयक एक विवृत परिपथ :** मान लीजिए कि प्राथमिक में धारा, क्रोड से होकर अभिवाह में $d\phi/dt$. की दर से परिवर्तन करती है। तब N_p फेरों वाले प्राथमिक में प्रेरित (पश्च) emf इस प्रकार व्यक्त किया जाएगा।

$$E_p = -N_p \frac{d\phi}{dt}$$

और N_s फेरों वाले द्वितीयक कुंडलन में प्रेरित emf निम्नलिखित होगा:

$$E_s = -N_s \frac{d\phi}{dt}$$

अथवा

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \qquad (19.36)$$

(b) **द्वितीयक विवृत परिपथ नहीं है :** मान लीजिए कि लोड प्रतिरोध R_L, द्वितीयक के मध्य संयोजित है जिसमें द्वितीयक धारा I_s और प्राथमिक धारा I_p होती है। यदि तंत्र से कोई ऊर्जा-ह्रास नहीं है तो हम लिख सकते है:

शक्ति निवेश = शक्ति निर्गम

अथवा

$$E_p I_p = E_s I_s$$

अर्थात्

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{E_s}{E_p} = \frac{N_p}{N_s} = \text{k.} \qquad (19.37)$$

इस प्रकार जब प्रेरित emf अनुप्रयुक्त emf का k गुना हो जाता है तो प्रेरित धारा, मूल धारा के $\frac{1}{k}$ गुनी होती है। दूसरे शब्दों में हम कह सकते हैं कि वोल्टता में जो प्राप्ति होती है वह धारा में नष्ट हो जाती है।

19.5.1 ट्रांसफार्मरों के प्ररुप

मूलतः ट्रांसफार्मर दो प्रकार के होते हैं:

(i) ***उच्चायी ट्रांसफार्मर*** यह द्वितीयक कुंडलनों में वोल्टता में वृद्धि (धारा में कमी) करता है। ऐसे ट्रांसफार्मरों (चित्र 19.31a) में प्राथमिक में फेरों की संख्या की तुलना में द्वितीयक में फेरों की संख्या अधिक होती है।

चित्र 19.31 : लोह क्रोडित (a) उच्चायी तथा (b) अपचायी ट्रांसफार्मर

(ii) अपचायी ट्रांसफार्मर यह द्वितीयक कुंडलनों में वोल्टता में कमी (धारा में वृद्धि) करता है। ऐसे ट्रांसफार्मरों (चित्र 19.31b), में प्राथमिक में फेरों की संख्या की तुलना में द्वितीयक में फेरों की संख्या कम होती है।

19.5.2 ट्रांसफार्मरों की दक्षता

ट्रांसफार्मरों के सिद्धांत की चर्चा करते समय हमने आदर्श ट्रांसफार्मर उसे माना है जिसमें कोई शक्ति ह्रास नहीं होता। परंतु व्यवहार में कुछ ऊर्जा सदैव क्रोड तथा ट्रांसफार्मर कुंडलनों में ऊष्मा के रूप में परिणत हो जाती है। परिणाम स्वरूप द्वितीयक के मध्य विद्युतीय ऊर्जा निर्गम, विद्युतीय ऊर्जा निवेश से कम होता है। ट्रांसफार्मर की दक्षता इस प्रकार व्यक्त की जाती है:

$$\eta = \frac{\text{ऊर्जा शक्ति}}{\text{ऊर्जा निवेश}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{शक्ति निर्गम}}{\text{शक्ति निवेश}} \times 100\%$$

ट्रांसफार्मर की दक्षता 100 प्रतिशत से कम होती है। ट्रासफार्मर में ऊर्जा ह्रास निम्नलिखित कारणों से होते हैं:

(a) ताम्र कुंडलियों में प्रतिरोधक तापन–ताम्र ह्रास

(b) लोह क्रोड तापन के रूप में भंवर धारा ह्रास

(c) बार–बार चुंबकन के उत्क्रमण की अवधि में क्रोड का चुंबकन तापन–शैथिल्य ह्रास

(d) क्रोड से अभिवाह का क्षरण

विद्युत शक्ति संरचरण

अब आप जान गए हैं कि ac अथवा dc जेनरेटरों का प्रयोग करके विद्युत का उत्पादन किस प्रकार किया जा सकता है। आपने दुकानों, ऑफिसों और सिनेमा हॉलों में छोटे जेनरेटर सेट देखे होंगे। जब बिजली गुल हो जाती है तो मेन्स को जेनरेटर के साथ जोड़ दिया जाता है। वाणिज्यिक प्रयोग में लगभग 15kV (किलो वोल्ट) पद दस लाख वाट शक्ति उत्पादन करने वाले जेनरेटर सामान्य प्रचलन में होते हैं। ये विद्युत उत्पादन संयंत्र आपके नगर से सैकड़ों किलोमीटर दूर स्थित हो सकते हैं। अति विशाल कुंडलियों के अंदर चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने के लिए रोटर के घूर्णन हेतु अत्यधिक यांत्रिक शक्ति (गतिज ऊर्जा) की आवश्यकता होती है। रोटरों को टरवाइनों द्वारा घूर्णित किया जाता है। ये टरबाइन विभिन्न ऊर्जा स्रोतों द्वारा चालित की जाती हैं। ऊर्जा ह्रास को न्यूनतम करने के लिए संचरण लाइनों में शक्ति का संचरण निम्न धारा पर किया जाता है। इस कार्य के लिए

कम्पनियां ट्रांसफार्मरों का प्रयोग करके वोल्टता में वृद्धि करती हैं। शक्ति केंद्र पर विभांवतर लगभग 330kV तक बढ़ाया जाता है। इसके साथ अल्प धारा भी रहती है। संचरण लाइनों के उपभोक्ता सिरे पर अपचायी ट्रांसफार्मरों का प्रयोग करके विभवांतर कम किया जाता है।

अब आप यह जानना चाहेंगे कि लंबी दूरी तक विद्युत शक्ति के संचरण में प्रयुक्त उच्च विभवांतर से धारा में कमी किस प्रकार होती है? हम इसे उदाहरण देकर समझाते हैं। मान लीजिए कि कुल प्रतिरोध R की संचरण लाइनों द्वारा विभवांतर V पर विद्युत शक्ति P का संभरण किया जाना है। धारा $I=P/V$ और लाइनों में ह्रास $I^2R = P^2R/V^2$ होगा। इसका यह अर्थ हुआ कि V अधिक होने पर ह्रास कम होगा। वास्तव में V को दुगना करने पर ह्रस एक चौथाई रह जाता है।

अत: उच्च विभवांतर पर विद्युत शक्ति का संचरण अधिक किफायती रहता है। परंतु इससे विद्युतरोधन की समस्या उत्पन्न होती है और संस्थापन लागत में वृद्धि हो जाती है। किसी 400kV सुपरग्रिड में 2500A की धाराएं मिलना एक आम बात है और प्रति किलोमीटर केबल पर लगभग 200 kW का शक्ति ह्रस होता है अर्थात ह्रास 0.02% (प्रतिशत) प्रति किलोमीटर होता है। प्रत्यावर्ती विभवांतरों में वृद्धि तथा कमी ट्रांसफार्मरों द्वारा दक्षतापूर्वक सुगमता से की जा सकती है साथ ही आल्टरनेटरों से dc जेनरेटरों की तुलना में कहीं अधिक (अर्थात 25KV की तुलना में कई हजार वोल्ट) विभवांतर उत्पन्न होता है। इन्हीं कारणों से अधिकांश परिस्थितियों में दिष्ट विभव की अपेक्षा प्रत्यावर्ती विभव का प्रयोग अधिक वांछनीय होता है। हालांकि, अल्प दक्षता और बिजली की चोरी के कारण राष्ट्र को लगभग प्रति वर्ष 50,000 करोड़ रु. की हानि उठानी पड़ती है।

उदाहरण 19.7 : उस ट्रांसफार्मर की दक्षता क्या होगी जिसमें 1880 W प्राथमिक शक्ति से 1730 W द्वितीयक शक्ति प्राप्त होती है?

हल: यहाँ $P_{pri} = 1880\text{W}$ और $P_{sec} = 1730\text{W}$. है।

$$\therefore \quad \text{दक्षता} = \frac{P_{sec}}{P_{pri}} \times 100$$

$$\therefore \quad = \frac{1730\text{W}}{1880\text{W}} \times 100 = 92\%$$

अत: ट्रांसफार्मर की दक्षता 92% है।

उदाहरण 19.8 : किसी ट्रांसफार्मर के प्राथमिक कुंडलन में 100 फेरे तथा उसके द्वितीयक कुंडलन में 500 फेरे है। यदि प्राथमिक वोल्टता तथा धारा क्रमश: 120 V तथा 3A हों तो द्वितीयक वोल्टता तथा धारा क्या होंगी?

हल : यहाँ $N_1 = 100$, $N_2 = 500$, $V_1 = 120\text{V}$ तथा $I_1 = 3\text{A}$ हैं।

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 = \frac{500 \text{ फेरे}}{100 \text{ फेरे}} \times 120 \text{ V} = 600\text{V}$$

$$I_2 = \frac{N_2}{N_1} I_1 = \frac{100 \text{ फेरे}}{500 \text{ फेरे}} \times 3\text{A} = 0.6\text{A}$$

पाठगत प्रश्न 19.10

1. क्या कोई ट्रांसफार्मर dc पर कार्य कर सकता है। औचित्य सहित उत्तर दीजिए।
2. उच्चायी ट्रांसफार्मर के द्वितीयक में प्राथमिक की तुलना में अधिक फेरे क्यों होते हैं?
3. क्या ट्रांसफार्मर में द्वितीयक और प्राथमिक में धारा अनुपात, द्वितीयक और प्राथमिक में वोल्टता अनुपात के बराबर होता है?
4. खिलौना गाड़ियों को चलाने व नियंत्रित करने में शक्ति संभरण के लिए अक्सर ट्रांसफार्मर का प्रयोग किया जाता है। यह ट्रांसफार्मर उच्चायी होता है या अपचायी?

आपने क्या सीखा

- तार की किसी कुंडली में धारा प्रेरित होती है यदि उस कुंडली के पृष्ठ से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन होता है। यह परिघटना **विद्युत चुंबकीय प्रेरण** कहलाती है।
- किसी एकल पाश में प्रेरित विद्युत वाहक बल ε को **फैराडे नियम** द्वारा व्यक्त किया जाता है:

$$e = \frac{d\phi_B}{dt}$$

जबकि ϕ_B पाश से संबद्ध चुंबकीय अभिवाह है।

- **लेन्ज नियम** के अनुसार प्रेरित emf उत्पन्न करने वाले कारण का विरोध करता है।
- जब किसी चालक (प्राय: धातु की शीट) को एक परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो इस चालक में धाराओं के बन्द लूप स्थापित हो जाते हैं। इन धाराओं को भंवर ध ाराएं कहते हैं।
- यदि कुंडली में धारा-परिवर्तन होता है तो उसके मध्य, आत्म प्रेरित emf पाया जाता है।
- लम्बाई l, अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A और N फेरों वाली लंबी सघन कुंडलित परिनालिका में आत्म प्रेरकत्व को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

टिप्पणियाँ

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell}$$

- किसी LR परिपथ में धारा को अधिकतम मान प्राप्त करने में कुछ समय लगता है।
- दो समीपस्थ कुंडलियों में परिवर्ती धारा से अन्योन्य emf प्रेरित होता है।
- किसी LC परिपथ में संधारित्र पर आवेश और परिपथ में धारा, ज्यावक्रीयत: दोलन करती हैं और कोणीय आवृत्ति ω_0 को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- किसी ac परिपथ में स्रोत के मध्य वोल्टता को $V = V_m \cos \omega t$ और धारा को $I = I_m \cos(\omega t + \phi)$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है।
- किसी शुद्ध प्रतिरोधक ac परिपथ में वोल्टता और धारा, कला संबद्ध होती हैं।

  ऐसे परिपथ में औसत शक्ति $P_{av} = \frac{I_m^2 R}{2}$
- किसी शुद्ध धारिता ac परिपथ में वोल्टता से धारा 90^0 अग्रग होती है। ऐसे परिपथ में औसत शक्ति शून्य होती है।
- किसी शुद्ध प्रेरणिक ac परिपथ में, वोल्टता से धारा 90^0 पश्चगामी होती है। ऐसे परिपथ में औसत शक्ति शून्य होती है।
- किसी श्रेणी LCR परिपथ में, $I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{V_m}{[R^2 + (X_L - X_C)^2]^{1/2}}$, होती है।

  जबकि Z परिपथ की प्रतिबाधा है: $Z = [R^2 + (X_L - X_C)^2]^{1/2}$
- $X_L - X_C = 0$, के लिए ac परिपथ, शुद्ध प्रतिरोधक होता है और अधिकतम धारा $I_m = V_m/R$. होगी। यह परिपथ $\omega_o = 1/\sqrt{LC}$ पर अनुनाद में कहा जाएगा।
- औसत शक्ति $P_{av} = V_{rms} . I_{rms} = I^2_{rms} R$ होगी।
- जेनरेटर यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत् ऊर्जा में परिणत करता है। यह वैद्युत चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत पर कार्य करता है।
- ट्रांसफार्मर एक स्थैतिक युक्ति है जो प्रत्यावर्ती उच्च वोल्टता को निम्न प्रत्यावर्ती वोल्टता में और निम्न प्रत्यावर्ती वोल्टता को उच्च प्रत्यावर्ती वोल्टता में परिणत करता है।
- ट्रांसफार्मर दो प्रकार के होते हैं: उच्चायी जो वोल्टता में वृद्धि करते हैं और अपचायी जो वोल्टता में कमी करते हैं।

- द्वितीयक और प्राथमिक में वोल्टता अनुपात वही अनुपात होता है जो द्वितीयक और प्राथमिक फेरो का अनुपात होता है अर्थात्,

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

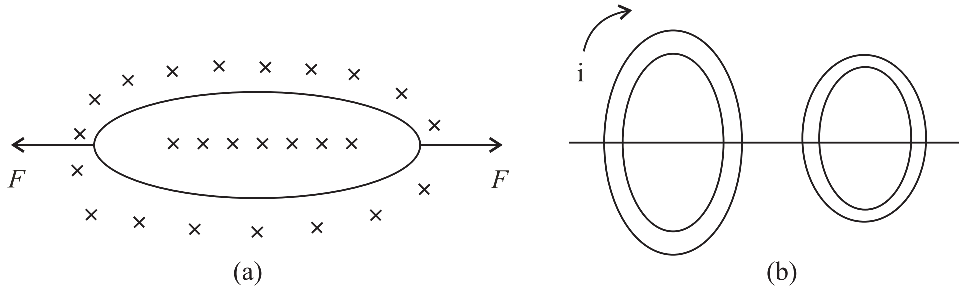
- ट्रांसफार्मर में शक्ति-ह्रासों के मुख्य कारण कुंडलों का तापन और भंवरधारा होती है।
- शक्ति केन्द्र से हमारे घर तक शक्ति के संचरण के लिए, ट्रांसफार्मरों और संचरण लाइनों का प्रयोग किया जाता है।

पाठांत प्रश्न

1. 250 फेरों की किसी कुंडली में प्रत्येक पाश का फलक क्षेत्रफल $S = 9.0 \times 10^{-2}$ m^2 है। (a) यदि कुंडली में प्रेरित emf 7.5V हो तो कुंडली के प्रत्येक फेरे से संबद्ध, अभिवाह-परिवर्तन की दर क्या होगी? (b) यदि एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के कारण अभिवाह, कुंडली की अक्ष से 45^0 के कोण पर हो तो उतने emf को प्रेरित करने के लिए क्षेत्र के परिवर्तन की दर परिकलित कीजिए।

2. (a) चित्र 19.32 में पाश में प्रेरित धारा की दिशा क्या होगी जब F द्वारा अंकित बलों द्वारा कर्षण से पाश के क्षेत्रफल में कमी की जाती है? B की दिशा पृष्ठ के अभिलंबवत् भीतर की ओर है।

   (b) चित्र 19.31b में दर्शाए गए छोटे पाश में प्रेरित धारा की दिशा क्या होगी जब किसी बैटरी (चित्र में नहीं दर्शाई गई है) द्वारा बाईं ओर से दक्षिणावर्ती धारा अचानक बड़े पाश में स्थापित की जाती है?



चित्र 19.32

3. (a) यदि किसी परिनालिका में फेरों की संख्या को दुगना कर दिया जाए तो इसके स्वप्रेरकत्व में कितना परिवर्तन होगा?

   (b) जब स्फुलिंग प्लग पर उच्च वोल्टता लगाने पर स्फुलिंग, प्लग के दोनों चालकों के मध्य उछलता है तो वाहन इंजन में पेट्रोल का प्रज्जवलन होता है। यह उच्च वोल्टता किसी

टिप्पणियाँ

प्रज्जवलन कुंडली द्वारा उपलब्ध कराई जाती है जिसमें संघन कुंडलित दो कुंडलियां एक के ऊपर एक व्यवस्थित रहती हैं। वाहन की बैटरी से धारा कम फेरों वाली कुंडली से होकर प्रवाहित होती है। यह धारा एक स्विच द्वारा आवर्तत: अंतरायित होती है। धारा में अचानक परिवर्तन से अधिक फेरों वाली कुंडली में विपुल emf प्रेरित होता है और यह emf स्फुलिंग का चालन करता है। कोई प्ररुपी प्रज्वलन कुंडली 3.0 A की धारा का अहिरण कर स्फुलिंग प्लगों को 24kV के संभरण करती है। यदि कुंडली में धारा प्रत्येक 0.10ms, के बाद अंतरायन हो तो प्रज्वलन कुंडली का अन्योन्य प्रेरकत्व क्या होगा?

4. (a) किसी ac धारा का rms मान सदैव उसके शिखर मान से कम क्यों होता हैं?

   (b) किसी ac स्रोत से संयोजित 2.5μF संधारित्र में धारा, $I = -4.71 \sin 377t\ \mu A$ के द्वारा व्यक्त की जाती है।

   इस संधारित्र के मध्य अधिकतम वोल्टता परिकलित कीजिए।

5. (a) (i) 25Hz और (ii) 50Hz पर धारिता प्रतिघात ($C = 2\ \mu F$) और प्रेरणिक प्रतिघात ($L = 2\ mH$) परिकलित कीजिए।

   (b) किसी 5V (rms) 100MHz जेनरेटर से संयोजित 22 μH प्रेरक में अधिकतम तथा rms धाराएं परिकलित कीजिए।

6. $R = 580\Omega$, $L = 31mH$, तथा $C = 47\ nF$ युक्त कोई श्रेणी *LCR* परिपथ, किसी ac स्रोत द्वारा चालित है। इस स्रोत का आयाम और कोणीय आवृत्ति क्रमश: 65 *V* तथा 33 krad/s हैं। निर्धारित कीजिए (a) संधारित्र का प्रतिघात, (b) प्रेरक का प्रतिघात, (c) परिपथ की प्रतिबाधा, (d) स्रोत के मध्य वोल्टता और धारा के मध्य कलांतर तथा (e) धारा आयाम। क्या धारा, स्रोत के मध्य वोल्टता से अग्रग है या पश्चगामी?

7. विद्युत चुंबकीय प्रेरण क्या है? फैराडे के विद्युत चुंबकीय प्रेरण नियमों की व्याख्या कीजिए।

8. लेन्ज नियम की परिभाषा कीजिए। दर्शाइए कि लेन्ज नियम, ऊर्जा संरक्षण नियम के परिणामस्वरूप है।

9. आत्म प्रेरण क्या है? आत्म प्रेरण के भौतिक महत्व की व्याख्या कीजिए।

10. आत्म प्रेरकत्व और अन्योन्य प्रेरकत्व में अंतर बताइए। ये किन कारकों पर निर्भर करते हैं?

11. किसी 10H प्रेरक में कितना emf प्रेरित होगा जिसमें धारा 9×10^{-2}s में 10A से 7A में परिवर्तित होती है ?

12. व्याख्या कीजिए कि किसी संधारित्र के प्रतिघात में वर्धमान आवृत्ति के साथ कमी क्यों होती है जबकि किसी प्रेरक का प्रतिघात, वर्धमान आवृत्ति के साथ बढ़ जाता है?

13. किसी *LCR* श्रेणी परिपथ का प्रतिघात क्या होता है? किसी a.c. *LCR* परिपथ में क्षयित शक्ति का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।

14. मान लीजिए कि किसी जेनरेटर की आवृत्ति 60Hz से बढ़ाकर 120Hz कर दी गई है। निर्गम वोल्टता पर इसका क्या प्रभाव पड़ेगा?

15. मोटर तथा जेनरेटर मूलतः विपरीत कार्य करते हैं। यदि कोई यह कहता है कि कोई मोटर एक ही समय में मोटर तथा जेनरेटर दोनों का कार्य करता है। क्या यह कथन वास्तव में सही है?
16. A.C जेनरेटर और ट्रांसफार्मर के प्राथमिक कुंडलन से श्रेणी संयोजित किसी प्रकाश बल्ब से मंद प्रकाश प्राप्त होता है जब द्वितीयक लीड (तार) प्रतिरोधक जैसे लोड से संयोजित की जाती हैं तो प्राथमिक कुंडलन से संयोजित बल्ब से प्रकाश तेज हो जाता है। ऐसा क्यों?
17. यदि बैटरी के टर्मिनल किसी ट्रांसफार्मर के प्राथमिक कुंडलन से संयोजित कर दिए जाते हैं तो द्वितीयक कुंडलनों के मध्य स्थिर विभवांतर प्रकट क्यों नहीं होता?
18. किसी रंगीन टेलीविजन (TV) में पिक्चर ट्यूब को शक्ति संभरण के लिए प्ररुपतः 15,000V A.C. की आवश्यकता होती है। यदि घरेलू निर्गम से मात्र 230 V प्राप्त हो तो इतने विभवांतर का प्रावधान किस प्रकार किया जाता है?
19. क्या दो कुंडलियां बिना लोह क्रोड के ट्रांसफार्मर के रुप में कार्य कर सकती हैं। यदि ऐसा है तो लागत कम करने के लिए लोह क्रोड का बहिष्कार क्यों नहीं कर दिया जाता?
20. किसी ac स्रोत का 10 वोल्ट निर्गम है। किसी विशिष्ट परिपथ को केवल 2 V निवेश की आवश्यकता होती है। किस प्रकार आप ऐसा कर सकेंगे? व्याख्या कीजिए।
21. किसी व्यक्ति के पास एकल ट्रांसफार्मर है जिसकी क्रोड के एक भाग में 50 फेरे और दूसरे भाग में 500 फेरे हैं। यह ट्रांसफार्मर उच्चायी है या अपचायी? व्याख्या कीजिए।
22. कुछ ट्रांसफार्मरों में द्वितीयक पर विभिन्न टर्मिनल अथवा टैप्स होते हैं ताकि विभिन्न टैपों से संयोजन करके द्वितीयक कुंडलनों की कुल संख्या के विभिन्न कार्य, परिपथ में सम्पन्न किए जा सकें। इसका क्या लाभ है?
23. विद्युत वेल्डिंग मशीन में कोई ट्रांसफार्मर 240 V A.C लाइन से 3 A का आहरण कर 400 A का संभरण कर रहा है। इस ट्रांसफार्मर के द्वितीयक के मध्य विभवांतर कितना होगा?
24. कोई 240-V, 400W विद्युत मिक्सर, ट्रांसफार्मर के माध्यम से किसी 120 V शक्ति लाइन से संयोजित है। इस ट्रांसफार्मर में फेरों का अनुपात क्या होगा? शक्ति लाईन से कितनी धारा का आहरण होगा?
25. 125 फेरों वाले किसी ट्रांसफार्मर का प्राथमिक, 220 V_{ae} के किसी गृह प्रकाशन परिपथ से संयोजित है। यदि द्वितीयक को 15000 वोल्ट का संभरण करना पड़े तो इसमें कितने फेरे होने चाहिए?
26. किसी अपचायी ट्रांसफार्मर के द्वितीयक में तार के 25 फेरे हैं और उसका प्राथमिक 220 V ac लाइन से संयोजित है। यदि निर्गम टर्मिनलों पर द्वितीयक 2.5 वोल्ट का संभरण करें तो इसके प्राथमिक में फेरों की संख्या कितनी होगी?
27. किसी अपचायी ट्रांसफार्मर के प्राथमिक में 600 फेरे हैं और यह किसी 120 Vae लाइन से संयोजित है। यदि द्वितीयक अपने टर्मिनल पर 5 वोल्ट का संभरण करे और इलेक्ट्रॉन धारा 3.5A, हो तो द्वितीयक में फेरों की संख्या और प्राथमिक में इलेक्ट्रॉन धारा ज्ञात कीजिए?

28. प्राथमिक में 352 फेरों वाला कोई उच्चायी ट्रांसफार्मर 220V ac लाइन में संयोजित है। द्वितीयक अपने टर्मिनल पर 10,000 वोल्ट का संभरण कर रहा है और धारा 40 मिली ऐम्पियर है।

(a) इसके द्वितीयक में कितने फेरे हैं?

(b) इसके प्राथमिक में धारा कितनी है?

(c) लाइन से कितनी धारा का आहरण हो रहा है?

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

19.1

1. $N = 1000$

$r = 5 \times 10^{-2}\text{m}$

$B_1 = 10\text{T} \quad B_2 = 0\text{T}$

(a) $t = 1\text{s}$ के लिए

(a) $|e| = N\dfrac{(B_2 - B_1)}{t}\pi r^2$

$= 10^3 \times \dfrac{10 \times \pi \times 25 \times 10^{-4}}{1}$

$= 25\pi$ वोल्ट

$= 25 \times 3.14 = 78.50\text{V}$

(b) $t = 1\text{ms}$ के लिए $|e| = \dfrac{10^3 \times 10\pi \times 25 \times 10^{-4}}{10^{-3}}$

$= 78.5 \times 10^3\text{V}$

2. चूंकि $\phi = A + Dt^2 \qquad e_1 = \dfrac{d\phi}{dt} = 2Dt$

$e = Ne_1 = 2N\,Dt$

$= 2 \times 250 \times 15t = 7500t$

$t = 0.\ e_1 = 0\ e = 0\text{V}$

पर $t = 3\text{s},\ e = 22500\text{V}$

3. $\phi = \mathbf{B}\ \mathbf{S} = BS\cos\theta$

$|e| = N\dfrac{d\phi}{dt}$

$|e| = \left|NS\dfrac{dB}{dt}\cos\theta\right|$ चूंकि θ स्थिरांक है

(a) $|e|$ अधिकतम होगा

जब $\cos\theta = 1$, $\theta = 0$, अर्थात कुंडली, क्षेत्र के अभिलंब है।

(b) $|e|$ न्यूनतम होगा

जब $\theta = 90$, अर्थात कुंडली पृष्ठ, क्षेत्र के समांतर है।

19.2

1. जब हम कुंडली को चुंबक की ओर से देखते हैं तो यह A और B दोनों के लिए वामावर्ती होगी।

2. पाश के अतिरिक्त सभी पाशों में चुंबकीय अभिवाह में परिवर्तन है। प्रत्येक के लिए प्रेरित धारा वामावर्ती होगी।

3. हाँ, वलय में प्रेरित धारा है। वलय में प्रेरित धारा के कारण, दंड चुंबक पर प्रतिकर्षी बल कार्य करता है।

4. भंवर धाराओं के कारण होने वाले ऊर्जा क्षय को कम करने के लिए

19.3

1. $$e = L\frac{dI}{dt} = \omega\frac{N^2A}{\ell}\frac{(I_2 - I_1)}{t}$$

$$= \frac{4\pi\times10^{-7}\times\pi\times10^{-2}\times(2.5-0)}{1\times10^{-3}}$$

$$= 10^{-6}\,\text{V}$$

2. क्योंकि दोनों समांतर रज्जुओं में धारा विपरीत दिशाओं में प्रवाहित होती है और आत्म प्रेरित धाराओं का विरोध करती है और इस प्रकार प्रेरण प्रभाव न्यूनतम हो जाते हैं।

3. $$3.5\times10^{-3} = 9.7\times10^{-3}\times\frac{dI}{dt}$$

$$= \frac{dI}{dt} = \frac{3.5}{9.7} = 0.36\,\text{A s}^{-1}$$

19.4

1. चूंकि प्रेरक, पश्च emf प्रेरित करके धारा की वृद्धि में जड़त्व उत्पन्न करता है।

2. $$2.2\times10^{-3} = \frac{L}{R}$$

$$\Rightarrow L = 2.2\times68\times10^{-3}\,\text{H}$$

$$= 150\,\text{mH}$$

19.5

1. (a) यदि Z_i वर्धमान हो तो पहली कुंडली से निर्गत अभिवाह भी वर्धमान होगा। अतः दूसरी कुंडली में प्रेरित धारा इस अभिवाह का विरोध करेगी और यह विरोध वामावर्ती दिशा में प्रवाहित धारा द्वारा होगा जैसा कि O से दिखाई देगा। इस प्रकार B धनात्मक और A ऋणात्मक होगा।

   (b) यदि i_2 कम हो रही हो तो पहली कुंडली से निर्गत अभिवाह भी कम होगा। इसमें वृद्धि करने के लिए प्रेरित धारा को वामावर्ती दिशा में प्रवाहित होकर निर्गमित होना चाहिए और C को धनात्मक विभव पर और D ऋणात्मक होना चाहिए।

2. नहीं, अन्योन्य प्रेरकत्व में कमी होगी। क्योंकि, जब दो कुंडलियां परस्पर समकोण पर होती हैं तो एक कुंडली से दूसरी कुंडली के साथ अभिवाह का युग्मन न्यूनतम होगा।

19.6

1. वास्तव में ऐसा होता है परंतु हम उसका पता नहीं लगा सकते क्योंकि हमारे घरों में ac की आवृत्ति 50Hz होती है। हमारी दृष्टि प्रति सेकंड 15 बार से अधिक तेजी से होने वाले परिवर्तनों का संसूचन नहीं कर सकती।

2. (i) $I_{rms} = \dfrac{E_{rms}}{R} = \dfrac{220}{25}\dfrac{V}{\Omega} = 8.8\text{A}.$

   (ii) धारा का शिखर मान $I_m = \sqrt{2}\ I_{rms} = 1.4 \times 8.8 = 12.32$ A.

   $$\text{तात्क्षणिक धारा} = I_0 \sin 2\pi vt$$

   $$= 12.32 \sin 100\pi t$$

   (iii) चक्रों की समाकल संख्या पर धारा का औसत मान शून्य होगा।

3. चूंकि ac धारा ज्यावक्रीयतः विचरण करती है अतः पूर्णचक्र में इसका औसत मान शून्य होता है परंतु rms मान परिमित होता है।

19.7

1. धारिता-प्रतिघात $X_C = \dfrac{1}{2\pi vC}$. होगा। जब C में वृद्धि होती है तो X_C में कमी तथा I में वृद्धि होगी

   चूंकि $I = \dfrac{V}{X_C}$ increases.

2. किसी आवेशित संधारित्र को विसर्जित होने में कुछ समय लगता है। जैसे स्रोत की आवृत्ति में वृद्धि प्रारम्भ होती है वैसे संधारित्र का पूर्ण विसर्जन होने से पहले उसे आवेशित करना प्रारम्भ कर देती है। अतः संधारित्र पर अधिकतम आवेश और इस प्रकार इससे प्रवाहित अधिकतम धारा में वृद्धि होती है यद्यपि V_m अपरिवर्ती रहता है।

3. अर्धचक्र में आवेशन के दौरान संधारित्र में भंडारित ऊर्जा, विसर्जन अर्धचक्र की अवधि में पूर्णतः पुनः प्राप्ति हो जाती है। परिणामतः संधारित्र में प्रति चक्र भंडारित ऊर्जा शून्य होती है।

4. धारिता-प्रतिघात $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$ होगी। जब ν में वृद्धि होगी तो X_C में कमी होगी। ऐसा इस कारण है कि अब संधारित्र प्लेटों पर अधिक आवेश का संचयन होता है।

19.8

1. लेन्ज नियम के अनुसार जब किसी प्रेरक से होकर ac प्रवाहित होती है तो उसके सिरों के मध्य पश्च emf प्रेरित होता है। पश्च emf , $e = -L\frac{dI}{dt}$

2. $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_L}$ होता है, जब आवृत्ति में वृद्धि होती है तो X_L $(= 2\pi \nu L)$ में वृद्धि होती है अतः I_{rms} में कमी हो जाती है।

19.9

1. (i) a.c. जेनरेटर में सर्पण वलय जबकि dc जेनरेटर में विपाटित वलय दिक् परिवर्तक होता है।

   (ii) a.c. जेनरेटर से उत्पन्न धारा-वोल्टता ज्यावक्रीय रूप में परंतु dc जेनरेटर से उत्पन्न धारा सदैव एक ही दिशा में प्रवाहित होती है।

2. जेनरेटर के चार मुख्य भाग, आर्मेचर, क्षेत्र चुंबक, सर्पण वलय तथा ब्रुश होते हैं।

3. दिक् परिवर्तक ac तरंग रुप को dc तरंग रूप में परिणत करता है।

4. प्रकाश प्रदान करने के उद्देश्य से साइकल में लगाया जाता है।

19.10

1. नहीं, क्योंकि ट्रांसफार्मर की कार्यपद्धति विद्युत-चुंबकीय प्रेरण के सिद्धांत पर आधारित है जिसे काल परिवर्ती धारा की आवश्यकता होती है।

2. क्योंकि प्राथमिक और द्वितीयक कुंडलियों में वोल्टता का अनुपात, उनमें फेरों की संख्या के अनुपात के आनुपातिक होता है।

3. नहीं, वे परस्पर व्युत्क्रम होते हैं।

4. अपचायी ट्रांसफार्मर

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

1. (a) $3 \times 10^{-2}\ W_b\ s^{-1}$ (b) $0.47\ T\ s^{-1}$

4. (b) 5×10^{-2} V

5. (a) (*i*) $\frac{1}{\pi} \times 10^4\ \Omega$ (*ii*) $\frac{1}{2\pi} \times 10^4\ \Omega$

   (b) (*i*) $0.1\ \pi\Omega$ (*ii*) $0.2\ \pi\Omega$

6. (a) $6.7 \times 10^2\ \Omega$ (b) $99\ \Omega$ (c) $813.9\ \Omega$ (d) □ 4 rad

   (e) 0.16 A (f) धारा पश्चगामी

11. 333.3V

23. 1.8A.

24. 1 : 2 , $\frac{10}{3}$A .

25. 8522 फेरे

26. 2200 फेरे

27. 25 फेरे, $\frac{1}{7}$A .

28. (a) 16000 फेरे, (b) $\frac{20}{11}$A (c) 400W

उच्चतर माध्यमिक पाठ्यक्रम

भौतिकी

विद्यार्थी मूल्याकंन पत्र-5

अधिकतम अंक : 50 **समय : $1\frac{1}{2}$ घंटा**

निर्देश

- सभी प्रश्नों के उत्तर कागज की पृथक शीट पर दीजिए।
- अपनी उत्तर पुस्तिका पर निम्नलिखित सूचनाएं दीजिए
  - नाम
  - पंजीयन संख्या
  - विषय
  - मूल्यांकन पत्र संख्या
  - पता
- अपने मूल्यांकन पत्र का मूल्यांकन अपने अध्ययन केन्द्र के विषयाध्यापक से करायें ताकि आपको उनसे अपने कार्य के संबंध में धनात्मक प्रतिक्रिया प्राप्त हो सके।

अपना मूल्यांकन पत्र NIOS को न भेजें

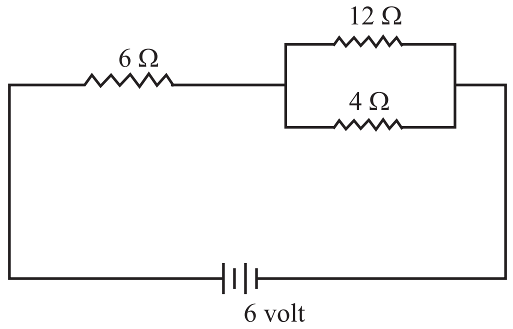
1. $10\mu c$ एवं $-5\mu c$ के दो बिन्दु आवेश, x-अक्ष पर, एक दूसरे से कुछ दूरी पर रखे हैं। यदि $10\mu c$ के आवेश पर 90N का बल +x-अक्ष के अनुदिश लग रहा है तो $-5\mu c$ के बल पर लगने वाले बल का परिमाण और दिशा क्या है? (1)
2. एक विद्युत द्विध्रुव से बहुत अधिक दूरी पर क्षेत्र की तीव्रता दूरी के साथ किस प्रकार बदलती है? (1)
3. किसी बिन्दु आवेश के परित: समविभवी पृष्ठ का आकार कैसा होता है? (1)
4. एक तांबे के तार को खींच कर इसकी लम्बाई दो गुनी कर दी गई है। इसके विशिष्ट प्रतिरोध पर क्या प्रभाव होगा? (1)
5. उस कार्बन-प्रतिरोधक पर बनी रंग पट्टिकाओं का क्रम बताईये जिसके प्रतिरोध का मान $47K\Omega \pm 10\%$ है। (1)
6. पृथ्वी के चुम्बकीय निरक्ष पर नति कोण का मान बताईये। (1)
7. एक प्रेक्षक के सामने की ओर एक तार ऊर्ध्वधरत: पकड़ा गया है जिसमें प्रेक्षक के अनुसार विद्युतधारा ऊपर की ओर प्रवाहित हो रही है। तार के पीछे स्थित किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा क्या होगी (1)

8. किसी श्रेणीक्रम LCR परिपथ की अनुनादी आवृत्ति 100 हर्ट्ज है। 1200 हर्ट्ज आवृत्ति पर इस परिपथ की प्रकृति किस प्रकार की हो जायेगी?

9. $10\mu c$ एवं $-10\mu c$ के दो बिन्दु आवेश निर्वात में एक दूसरे से 1 cm की दूरी पर रखे हैं। उनके ठीक मध्य में चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता की गणना कीजिए। (2)

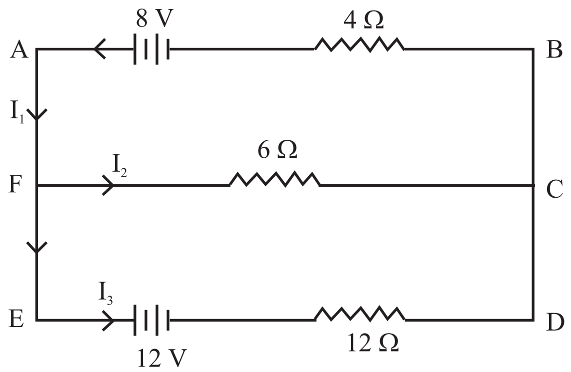
10. एक सेल की *e.m.f* 2.0 V एवं आंतरिक प्रतिरोध $4\,\Omega$ हैं। सेल के सिरों के बीच विभवांतर की गणना कीजिए। (2)

11. दिये गये परिपथ में $6\,\Omega$ के प्रतिरोध में क्षयित शक्ति की गणना कीजिए। (2)



12. फेरों के अनुपात को ध्यान में रखते हुए उच्चायी ट्रांसफार्मर का कार्य सिद्धांत समझाईए। (3)

13. किरखोफ के नियम लिखिए और उनका उपयोग कर दिए गए परिपथ जाल में I_1, I_2, एवं I_3 का मान ज्ञात कीजिए। (4)



14. विद्युतस्थैतिकी का गौस प्रमेय लिखिए। इसका उपयोग करके λ. रैखिक आवेश घनत्व के रेखीय आवेश से *r* दूरी पर स्थित किसी बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र ज्ञात कीजिए।

15. (*a*) दर्शाइये कि C_1 एवं C_2 धारिता के दो संधारित्रों को श्रेणीक्रम में जोड़ें तो उनकी परिणामी धारिता C होगी $\frac{1}{c}=\frac{1}{c_1}+\frac{1}{c_2}$ ।

(*b*) उस संधारित्र की धारिता ज्ञात कीजिए जिसको 12 MF से संधारित्र के साथ श्रेणीक्रम जोड़ने पर कुल 3MF की धारिता प्राप्त होगी। (2 + 2)

16. बियो-सावा का नियम लिखिए और इसका उपयोग एक ऐसी वृत्ताकार कुंडली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए कीजिए जिसमें R त्रिज्या के N फेरे हों और I धारा प्रवाहित हो रही है। (4)

17. गैल्वेनोमीटर की कुंडली में I धारा प्रवाहित करने पर इस पर लगे बलाघूर्ण की गणना कीजिए। चल कुण्डली गैल्वेनोमीटर में त्रिज्य चुम्बकीय क्षेत्र की क्या भूमिका होती है? (4)

18. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण संबंधी फैराडे एवं लेंज के नियम लिखिए। एक वायु-क्रोड कुंडली के श्रेणीक्रम में एक बल्व और समुचित *emf* की बैटरी जुड़ी है। कुंडली के क्रोड में लोहे की एक छड़ प्रविष्ट कराने पर बल्व की धुति पर क्या प्रभाव होगा? (4)

19. परावैद्युत पदार्थ क्या है? विद्युत स्थैतिक क्षेत्र में यह किस प्रकार का व्यवहार करता है? समान्तर प्लेट संधारित्र की प्लेटों के बीच हवा के स्थान पर परावैद्युत पदार्थ की प्लेट लाने से इसकी धारिता कैसे बढ़ जाती है। उपयुक्त त्रिज्या की सहायता से समझाईये। (5)

20. एक श्रेणीक्रम LCR परिपथ में $R = 80\ \Omega$, $L = 100\ mtt$ एवं $C = 25MF$ है एवं इसमें प्रत्यावर्ती *e.m.f* $\varepsilon = 100 \sin (1000t)$ volt जुड़ी है। ज्ञात कीजिए

(*a*) X_l, X_c एवं Z.

(*b*) परिपथ में *rms* धारा

(*c*) परिपथ में शक्ति क्षय

(*d*) अनुनादी आवृत्ति

(*e*) अनुनाद स्थिति में परिपथ की प्रतिबाधा

Ans :

1. $+x$ अक्ष के अनुदिश 10N.

2. $E \propto \frac{1}{r^3}$

3. गोलाकार, जिसके केन्द्र पर बिन्दु आवेश स्थित हो

4. विशिष्ट प्रतिरोध अपरिवर्तित रहेगा

5. पीला, बैंगनी, काला, रूपहला

6. शून्य

7. प्रेक्षक के बाँयें हाथ की ओर

8. प्रेरकीय

9. $1.8 \times 10^9\ N\ C^{-1}$

10. $V = \varepsilon - Ir$, $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ अतः $V = 1.6$ volt

11. परिपथ में धारा, $I = \frac{2}{3}$ A.

$P = I^2R = \left(\frac{2}{3}\right)^2 (6)\ watt = \frac{8}{3}$ वाट

13. $I_1 = 0.5A$, $I_2 = 1.0A$, $I_3 = -0;5A$

14. $\varepsilon = \dfrac{\lambda}{2\pi \in_0 r}$

15. (*b*) 4MF

20. (*a*) $X_l = 100\ \Omega$ $X_c = L_{10}\ \Omega$, $Z = 100\ \Omega$

(*b*) $I_{rms} = 0.707$ ampere

(c) 40 w

(d) 100 Hz

(e) 80 ohm

मॉड्यूल - 6
प्रकाशिकी एवं प्रकाशिक यन्त्र

20 प्रकाश का परावर्तन और अपवर्तन

21 प्रकाश का विक्षेपण एवं प्रकीर्णन

22 तरंग परिघटना एवं प्रकाश

23 प्रकाशीय यंत्र

20

प्रकाश का परावर्तन और अपवर्तन

प्रकाश के द्वारा ही हम वस्तुओं को देख सकते हैं और प्रकाश के ही कारण हम अपने निकटवर्ती परिवेश के साथ दृष्टिगत संपर्क स्थापित कर सकते हैं। प्रकाश के ही माध्यम से हम पुष्पों, पौधों, पक्षियों, प्राणियों तथा अन्य प्रकार के जीवन के रूप में प्रकृति की विभिन्न मनोहारी अभिव्यक्तियों की सुखद अनुभूति कर सकते हैं। क्या आप कल्पना कर सकते हैं कि यदि चाक्षुष-विकृति से युक्त होते तो हम कितनी कमी अनुभव करते? क्या तब हम हीरे की चमक और इन्द्रधनुष की छटा को देख सकते? क्या आपने कभी सोचा कि प्रकाश की सहायता से हम किस प्रकार देख सकते हैं? सूर्य और अन्य तारों से पृथ्वी तक प्रकाश किस प्रकार गमन करता है और यह किससे निर्मित होता है? ऐसे प्रश्न मानव बुद्धि को प्रारंभ से ही आकर्षित कर रहे हैं। अब आप कुछ परिघटनाओं के बारे में जानेंगे जिनसे ऐसे प्रश्नों का उत्तर सुलभ होगा।

दीवार में बने एक छोटे छिद्र से प्रकाश को कमरे में प्रवेश करता देखिए। आप धूलकणों की गति को देखेंगे जो मूलत: एक सरल प्रमाण प्रस्तुत करते हैं कि प्रकाश सीधी रेखा में गमन करता है। सीधी रेखा के आगे लगा तीर का निशान, प्रकाश के संचरण की दिशा निरूपित करता है और यह रेखा किरण कहलाती है; किरणों का संग्रह **किरण पुंज** कहलाता है। प्रकाश की किरणों का विवेचन **ज्यामितीय प्रकाशिकी** के अंतर्गत किया जाता है। अध्याय 22 में आपको बताया जाएगा कि प्रकाश, तरंग के रूप में व्यवहार करता हैं। अल्प तरंग दैर्ध्य की तरंग सन्निकटत: किरण विवेचन के अंतर्गत आती है। जब कोई प्रकाश किरण दर्पण पर गिरती है तो उसकी दिशा में परिवर्तन हो जाता है। यह प्रक्रम *परावर्तन* कहलाता है। परंतु, जब प्रकाश की कोई किरण दो असमान पृष्ठों की परिसीमा पर गिरती है तो वह मुड़ जाती हैं यह प्रक्रम *अपवर्तन* कहलाता है। इस पाठ में आप दर्पणों से परावर्तन और लेन्सों से अपवर्तन के बारे में भी जानेंगे। इन परिघटनाओं के हमारे दैनिक जीवन में अनेक उपयोग हैं जिनमें मोटरवाहन, स्वास्थ्य देखभाल से लेकर संचार तक शामिल हैं।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के बाद आप

- वक्र पृष्ठों पर परावर्तन की व्याख्या और गोलीय दर्पणों की फोकस दूरी और वक्रता-त्रिज्या के मध्य संबंध स्थापित कर सकेंगे;

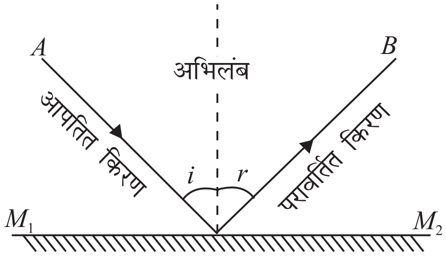
- गोलीय पृष्ठों के लिए चिह्न परिपाटी की व्याख्या कर सकेंगे;
- बिंब दूरी, प्रतिबिंब-दूरी और दर्पण तथा गोलीय आवर्ती पृष्ठ की फोकस दूरी के मध्य संबंध व्युत्पन्न कर सकेंगे;
- अपवर्तन नियमों की परिभाषा दे सकेंगे;
- पूर्ण आंतरिक परावर्तन की व्याख्या और इसके दैनिक जीवन में अनुप्रयोग प्रस्तुत कर सकेंगे;
- किसी लेन्स की फोकस दूरी मापने के लिए न्यूटन का सूत्र व्युत्पन्न कर सकेंगे;
- किसी लेनस की फोकस दूरी ज्ञात करने के लिए विस्थापन विधि का वर्णन कर सकेंगे; तथा
- संपर्क में स्थित लेंस-संयोजन की फोकस दूरी के लिये व्यंजक व्युत्पन्न कर सकेंगे।

20.1 गोलीय पृष्ठों से प्रकाश का परावर्तन

पिछली कक्षाओं में आपको समतल पृष्ठ पर परावर्तन के नियमों के बारे में बताया जा चुका है। हम यहाँ नियमों की पुनरावृत्ति कर रहे हैं:

नियम-I : आपतित किरण, परावर्तित किरण और परावर्तक पृष्ठ के आपतन बिंदु पर अभिलंब सदैव एक ही समतल में होते हैं।

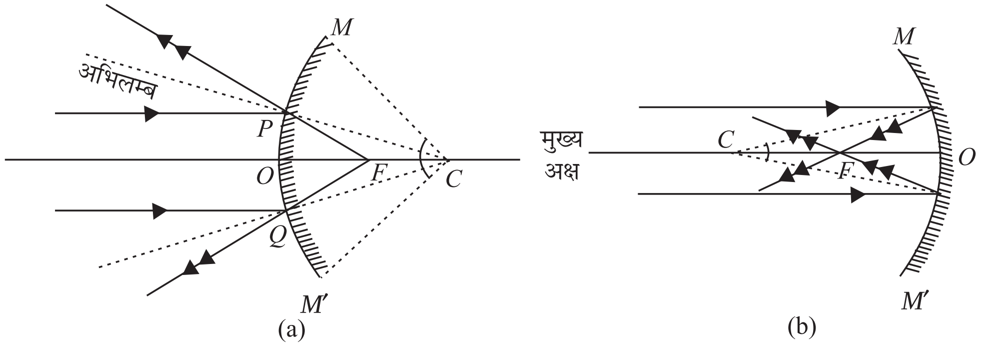
नियम-I : आपतन कोण और परावर्तन कोण बराबर होते हैं:



चित्र 20.1: समतल पृष्ठ से प्रकाश का परावर्तन

$\angle i = \angle r$

ये नियम चित्र 20.1 में दर्शाए गए हैं यद्यपि ये नियम प्रारंभ में समतल पृष्ठों के लिए प्रतिपादित किए गए थे परन्तु ये नियम गोलीय दर्पणों के लिए भी सत्य हैं इसका कारण यह है कि कोई भी गोलीय दर्पण अनेक अत्यंत छोटे-छोटे दर्पणों से निर्मित माना जा सकता है। भली प्रकार पॉलिश की हुई चम्मच गोलीय दर्पण का सुविदित उदाहरण है। क्या आपने ऐसे चम्मच में अपना चेहरा देखा है? चित्र 20.2 (a) और 20.2 (b) में दो मुख्य प्रकार के गोलीय दर्पण दिखाए गए हैं।



चित्र 20.2: गोलीय दर्पण (a) **उत्तल दर्पण** (b) **अवतल दर्पण**

ध्यान दें कि उत्तल दर्पण का परावर्तक पृष्ठ बाहर की ओर उभरा हुआ जब कि अवतल दर्पण का परावर्तक पृष्ठ अंदर की ओर दबा हुआ होता है। अब हम गोलीय दर्पणों के लिए प्रयुक्त कुछ शब्दों की परिभाषा करेंगे।

गोले का वह केन्द्र जिसका दर्पण एक भाग है, दर्पण का वक्रता केन्द्र C और इस गोले की त्रिज्या उसकी **वक्रता त्रिज्या** की कहलाती है। दर्पण के परावर्तक पृष्ठ का मध्य बिंदु O उसका **ध्रुव** कहलाता है। C और O से गुजरने वाली सीधी रेखा, दर्पण की **मुख्य अक्ष** कहलाती है। दर्पण की वृत्ताकार बाहरी रेखा (अथवा परिधि) उसका **द्वारक** तथा कोण ($\angle MCM'$) जो C पर अंतरित करता है, वह दर्पण का **कोणीय द्वारक** कहलाता है। द्वारक, दर्पण के साइज (आमाप) का माप होता है।

मुख्य अक्ष के समांतर गोलीय दर्पण पर आपतित प्रकाश-पुंज परावर्तन के बाद, किसी एक बिंदु पर अभिसारित होता है अथवा उससे अपसरित होता प्रतीत होता है। यह बिंदु, दर्पण का **मुख्य फोकस** कहलाता है। ध्रुव और मुख्य फोकस के बीच की दूरी दर्पण की फोकस दूरी व्यक्त करती है। मुख्य अक्ष के लंबवत् और फोकस से होकर गुजरने वाला समतल, **फोकस समतल** कहलाता है।

हम केवल कम द्वारक वाले दर्पणों और मुख्य अक्ष के समीप अर्थात् **अपाक्षीय किरणों** पर ही चर्चा करेंगे। (मुख्य अक्ष से दूरस्थ किरणें **उपांतीय (या परिधीन)** अथवा **पराफेरल किरणें** कहलाती हैं।

पाठगत प्रश्न 20.1

1. निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए:

   (a) समतल, उत्तल अथवा अवतल दर्पणों में से किस दर्पण की अधिकतम वक्रता-त्रिज्या होती है।

   (b) क्या जल में डुबाने पर गोलीय दर्पण की फोकस दूरी में परिवर्तन होता है?

   (c) समतल या उत्तल दर्पण से बने प्रतिबिंबों की प्रकृति कैसी होती है?

   (d) गोलीय दर्पण का केवल एक ही फोकस बिंदु क्यों होता है?

2. एक ही वक्रता-केन्द्र वाले 5 cm, 7 cm तथा 10 cm वक्रता त्रिज्याओं के अवतल दर्पणों के आरेख खींचिए। प्रत्येक दर्पण की फोकस दूरी परिकलित कीजिए। उनकी सर्वनिष्ठ मुख्य अक्ष के समांतर एक किरण खींचिए और प्रत्येक के लिए परावर्तित किरण भी खींचिए।

3. किसी गोलीय दर्पण की वक्रता-त्रिज्या 30 cm है। इस दर्पण के (i) आंतरिक पृष्ठ पर पॉलिश होने पर (ii) बाह्य पृष्ठ पर पॉलिश होने पर, फोकस की दूरियां क्या होगी?

4. डिश-ऐन्टेना वक्रित क्यों होते हैं?

20.1.2 प्रतिबिंब रचना के लिए किरण आरेख

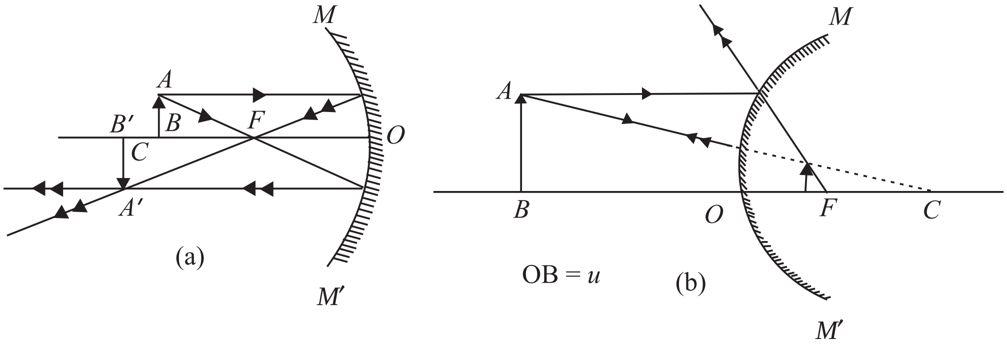
चित्र 20.2(a) तथा 20.2(b) का पुनः अवलोकन करें। आप देखेंगे कि:

- वक्रता-केन्द्र से गुजरने वाली प्रकाश की किरण अपने पथ पर वापस लौट आती है;
- मुख्य अक्ष के समांतर प्रकाश की किरण, परावर्तन के बाद फोकस से होकर गुजरती हैं; और
- F से गुजरने वाली प्रकाश की किरण, मुख्य अक्ष के समांतर परावर्तित होती है;

किसी प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करने के लिए, इन तीन किरणों में से कोई भी दो किरणें चुनी जा सकती हैं। प्रतिबिंब दो प्रकार के होते हैं–वास्तविक तथा आभासी।

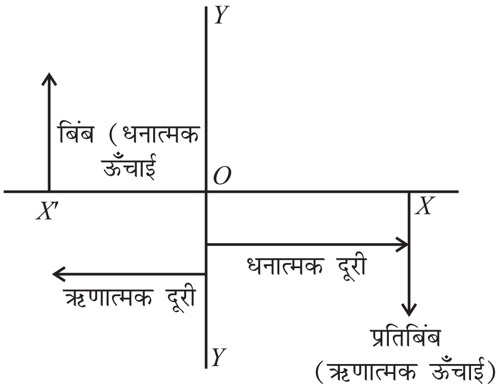
किसी बिंब का वास्तविक प्रतिबिंब तब बनता है जब परावर्तित किरणों वास्तव में परस्पर काटती हैं। ये प्रतिबिंब उल्टे होते हैं और इन्हें परदे पर प्रक्षेपित किया जा सकता है। ये प्रतिबिंब दर्पण के उसी ओर बनती है जिस ओर बिंब होता है। [चित्र 20.3(a)]

किसी बिंब का **आभासी प्रतिबिंब,** उन परावर्तित किरणों द्वारा बनता है जो दर्पण से अपसरित होती प्रतीत होती है। ये प्रतिबिंब सदैव सीधे ओर आभासी होते हैं और इन्हें परदे पर प्रक्षेपित नहीं किया जा सकता। ये दर्पण के पीछे बनते हैं। [चित्र 20.3 (a)]



चित्र 20.3: (a) अवतल दर्पण और (b) उत्तल दर्पण द्वारा बने प्रतिबिंब

20.1.3 चिह्न परिपाटी



चित्र 20.4: चिह्न परिपाटी

हम कार्तीय निर्देशांक पद्धति पर आधारित चिह्न परिपाटी का अनुसरण करते हैं। इस परिपाटी का प्रयोग करते समय निम्नलिखित बिंदु ध्यान में रखे जाने चाहिए:

1. सभी दूरियां दर्पण के ध्रुव (O) से मापी जाती हैं बिंब सदैव बाईं ओर रखा जाता है जिससे आपतित किरण को सदैव बाईं से दाईं ओर गमन करता हुआ लिया जा सके।

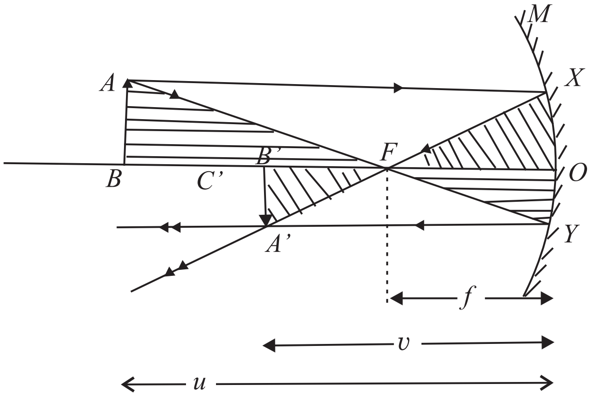
2. ध्रुव (O) के बाईं ओर की सभी दूरियां ऋणात्मक और उसके दाईं ओर की दूरिया धनात्मक मानी जाती हैं।

3. मुख्य अक्ष के ऊपर ओर अभिलंब दिशा में मापी गई दूरियां धनात्मक और मुख्य अक्ष से नीचे मापी गई दूरियां ऋणात्मक मानी जाती हैं।

अवतल दर्पण की वक्रता-त्रिज्या और फोकस दूरी ऋणात्मक और उत्तल दर्पण की वक्रता-त्रिज्या और फोकस दूरी धनात्मक होती है।

20.2 दर्पण सूत्र की व्युत्पत्ति

अब हम गोलीय दर्पण की बिंब दूरी (u), प्रतिबिंब दूरी (v) और उसकी फोकस दूरी (f) के मध्य संबंध ज्ञात करते हैं। हम सरल ज्यामिति का प्रयोग एक संबंध ज्ञात करने के लिए करते हैं जो आश्चर्यजनक रूप से सभी परिस्थितियों में लागू होता है। चित्र 20.5 को देखें जिसमें अवतल दर्पण के सामने रखा बिंब AB दिखाया गया है। इस दर्पण से प्रतिबिंब $A'B'$ बनता है।



चित्र 20.5: अवतल दर्पण के द्वारा प्रतिबिंब की रचना: दर्पण सूत्र

बिंब AB की बिंदु A से निकलने वाली दो किरणें AX तथा AY हैं। M एक अवतल दर्पण है जबकि XA' तथा YA' परावर्तित किरणें हैं।

चिह्न परिपाटी का प्रयोग करते हुए हम लिख सकते हैं:

$$\text{बिंब दूरी}, OB = -u,$$

$$\text{फोकस दूरी}, OF = -f,$$

$$\text{प्रतिबिंब दूरी}, OB' = -v,$$

तथा $$\text{वक्रता-त्रिज्या } OC = -2f$$

ΔABF तथा ΔFOY पर विचार कीजिए। ये समरूप त्रिभुज हैं। अतः हम लिख सकते हैं,

$$\frac{AB}{OY} = \frac{FB}{OF} \qquad (20.1)$$

इसी प्रकार समरूप त्रिभुजों ΔXOF तथा $\Delta B'A'F$ के लिए,

$$\frac{XO}{A'B'} = \frac{OF}{FB'} \qquad (20.2)$$

परन्तु $AB = XO$, चूंकि AX मुख्य अक्ष के समांतर है। इसके साथ-साथ $A'B' = OY$ है। चूंकि समीकरणों (20.1) तथा (20.2) के वाम पक्ष समान हैं अतः इनके दक्षिण पक्ष भी आपस में बराबर होंगे।

टिप्पणियाँ

इस प्रकार,

$$\frac{FB}{OF} = \frac{OF}{FB'} \tag{20.3}$$

समीकरण (20.3) में u, v तथा f के मानों को रखने पर, हम लिख सकते हैं;

$$\frac{-u-(-f)}{-f} = \frac{-f}{-v-(-f)}$$

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

बज्र गुणन (cross multiplication) करने पर,

$$uv - uf - vf + f^2 = f^2$$

or

$$uv = uf + vf$$

दोनों ओर uvf से भाग देने पर हमें फोकस दूरी तथा बिंब और प्रतिबिंब दूरियों के मध्य वांछित संबंध प्राप्त होता है:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} \tag{20.4}$$

अब हम एक अन्य महत्वपूर्ण शब्द **आवर्धन** का समावेश करते हैं। यह प्रतिबिंब के साइज (आमाप) और बिंब के साइज (आमाप) के मध्य अनुपात व्यक्त करता है:

$$m = \frac{\text{प्रतिबिंब का आमाप}}{\text{बिंब का आमाप}} = \frac{h_2}{h_1}$$

परन्तु

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{-v}{-u}$$

अतः

$$m = -\frac{h_2}{h_1} = \frac{v}{u} \tag{20.5}$$

चूंकि वास्तविक प्रतिबिंब उल्टा होता है, हम लिख सकते हैं:

$$m = \frac{A'B'}{AB} = -\frac{v}{u} \tag{20.5b}$$

संख्यात्मक प्रश्नों को हल करने के लिए निम्नलिखित चरणों को याद रखिए:

1. किसी भी गोलीय दर्पण के लिए निम्नलिखित दर्पण सूत्र का प्रयोग करें:

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

2. नियत राशियों के संख्यात्मक मानों को समुचित चिह्नों के साथ प्रतिस्थापित करें।

3. ज्ञात की जाने वाली राशि को कोई चिह्न न दें; प्रासंगिक चिह्न के साथ यह स्वत: प्राप्त जो जाएगी।

4. याद रखें कि वास्तविक प्रतिबिंब के लिए रैखिक आवर्धन ऋणात्मक और आभासी प्रतिबिंब के लिए रैखिक आवर्धन धनात्मक होता है।

5. संख्यात्मक प्रश्न हल प्रारंभ करने से पहले चित्र खींचना सदैव अच्छा रहता है।

पाठगत प्रश्न 20.2

1. यदि दर्पण के समीप खड़े किसी व्यक्ति को अपना सिर छोटा तथा कूल्हे बड़े दिखाई दें तो यह दर्पण किस प्रकार का होगा?

2. दाढ़ी बनाने के दर्पण अवतल और पिछला दृश्य देखने के लिए दर्पण उत्तल क्यों होते हैं? अपने उत्तर के समर्थन में किरण आरेख खींचिए।

3. 25 cm फोकस दूरी के अवतल दर्पण के सम्मुख जैसे-जैसे किसी बिंब की स्थिति में परिवर्तन किया जाता है वैसे-वैसे उसके प्रतिबिंब की स्थिति भी बदलती जाती है। प्रतिबिंब-दूरी व बिंब दूरी के बीच ग्राफ (वक्र) बनाइये जबकि बिंब-दूरी $-x$ से $+x$ तक बदलती जाती है। प्रतिबिंब वास्तविक कब होगा? आभासी प्रतिबिंब कब होगा? दोनों स्थितियों का चित्र खींचिए।

4. वे दो परिस्थितियाँ बताइए जिनमें अवतल दर्पण के सामने रखा कोई बिंब, आवर्धित प्रतिबिंब बनाता है। किरण आरेख खींच कर अपने उत्तर को समझाइए।

5. 2.6 cm ऊँचा कोई बिंब, किसी अवतल दर्पण से 24 cm की दूरी पर स्थित है। इस दर्पण की वक्रता-त्रिज्या 16 cm है। ज्ञात कीजिए (i) प्रतिबिंब की स्थिति, और (ii) प्रतिबिंब का साइज(आमाप) और प्रकृति।

6. कोई अवतल दर्पण 15 cm की दूरी पर रखें बिंब की ऊँचाई से 4 गुना ऊँचाई का वास्तविक प्रतिबिंब बनाता है। प्रतिबिंब की स्थिति और दर्पण की वक्रता-त्रिज्या ज्ञात कीजिए।

7. 20 cm वक्रता-त्रिज्या के किसी उत्तल दर्पण द्वारा बने प्रतिबिंब का साइज (आमाप), बिंब के साइज (आमाप) का आधा है। बिंब और उसके प्रतिबिंब की स्थिति निर्धारित कीजिए।

8. कोई बन्दर 10 cm त्रिज्या की पॉलिश की हुई गोलाकार गेंद को टकटकी लगाकर देखता है। यदि पृष्ठ से उसकी आँख 20 cm की दूरी पर हो तो उसकी आँख का प्रतिबिंब कहाँ बनेगा?

20.3 प्रकाश का अपवर्तन

जब प्रकाश विरल माध्यम (वायु) से सघन माध्यम (जल, काँच) में तिरछा प्रवेश करता है तो संचरण की दिशा में परिवर्तन हो जाता है। **दो असमान माध्यमों की परिसीमा पर प्रकाश**

का इस प्रकार मुड़ना, अपवर्तन कहलाता है।

जब प्रकाश की कोई किरण किसी अंतरापृष्ठ पर अपवर्तित होती है तो यह निम्नलिखित दो नियमों का पालन करती है:

नियम-I: आपतित किरण, अपवर्तित किरण और आपतन बिंदु पर पृष्ठ पर अभिलंब सदैव एक ही समतल में स्थित होते हैं।

नियम-II: आपतन कोण की ज्या (साइन) और अपवर्तन कोण की ज्या (साइन) का अनुपात किसी माध्यम-युगल के लिए अपरिवर्ती होता है। यह आपतन कोण पर निर्भर नहीं करता। नियत रंग के प्रकाश के लिए यह अनुपात केवल दो माध्यमों (माध्यम-युगल) पर निर्भर करता है।

यह नियम हालैंडवासी वैज्ञानिक विलेब्रोर्ड वान रॉयजन स्नेल ने प्रतिपादित किया था ओर उनके सम्मान में यह नियम अक्सर **स्नेल नियम** कहलाता हैं। स्नेल नियम के अनुसार,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \mu_{12}$$

जबकि μ_{12} एक स्थिरांक है और यह पहले माध्यम के सापेक्ष, दूसरे माध्यम का **अपवर्तनांक** कहलाता है, जो निर्धारित करता है कि दोनों माध्यमों को पृथक करने वाले अंतर्पृष्ठ पर कितना बंकन (झुकाव) हो गया है। प्रथम माध्यम में प्रकाश के वेग और दूसरे माध्यम में प्रकाश के वेग के अनुपात के द्वारा भी इसे व्यक्त किया जा सकता है।

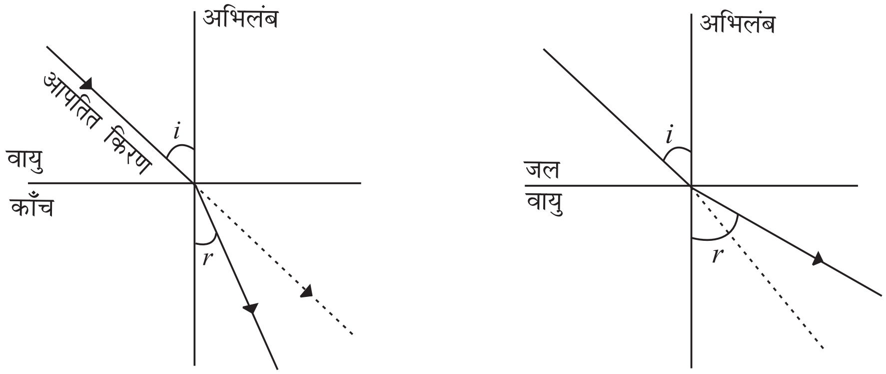
यथा,
$$\mu_{12} = \frac{c_1}{c_2}$$

कुछ प्ररूपी पदार्थों के अपवर्तनांक सारणी 20.1 में दिए गए हैं। ध्यान रहे कि ये मान, वायु और निर्वात के संदर्भ में हैं। अधिक अपवर्तनांक वाला माध्यम प्रकाशत: सघन माध्यम है और जिस माध्यम का अपवर्तनांक कम होता है वह विरल माध्यम कहलाता है। अत: वायु की तुलना में जल सघन है परन्तु काँच की तुलना में जल विरल है। इसी प्रकार सामान्य काँच की तुलना में क्राउन काँच सघन है परन्तु फ्लिन्ट काँच की तुलना में क्राउन काँच विरल है।

सारणी 20.1: कुछ सामान्य पदार्थों के अपवर्तनांक

माध्यम	μ
निर्वात/वायु	1
जल	1.33
सामान्य काँच	1.50
क्राउन काँच	1.52
सघन फ्लिन्ट काँच	1.65
हीरा	2.42

यदि हम वायु से काँच जैसे माध्यम में अपवर्तन पर विचार करें जो वायु की तुलना में प्रकाशतः सघन है [चित्र 20.6 (a)], तो $\angle i$ की तुलना में $\angle r$ कम होगा [चित्र 20.6: (a)] अर्थात् वायु-काँच अंतर्पृष्ठ पर अपवर्तित किरण, अभिलंब से दूर मुड़ जाती है। उसके विपरीत यदि किरण, जल से वायु में प्रवेश करे तो, $\angle i$ की तुलना में $\angle r$ अधिक होगा।



चित्र 20.6: (a) वायु काँच अंतर्पृष्ठ पर अपवर्तन और (b) जल-वायु अंतर्पृष्ठ पर अपवर्तन

विलब्रोर्ड फान रॉयजन स्नेल
(1580 – 1626)

विलब्रोर्ड स्नेल का जन्म लीडेन में 1580 में हुआ था। बहुत कम आयु में उन्होंने गणित का अध्ययन प्रारंभ किया। उन्होंने लीडेन विश्वविद्यालय में प्रवेश किया और प्रारंभ में विधि (कानून) का अध्ययन किया। परन्तु शीघ्र ही उन्होंने अपना ध्यान गणित पर केन्द्रित किया और 20 वर्ष की आयु में विश्वविद्यालय में अध्यापन प्रारंभ किया। 1613 में वह अपने पिता के पद पर गणित के प्रोफेसर नियुक्त हुए।

उन्होंने गणित में महत्वपूर्ण कार्य किया जिसमें बहुभुज द्वारा π के सन्निकट मान के परिकलन की विधि भी सम्मिलित थी। 96 भुजा वाले बहुभुज के प्रयोग करने की उनकी विधि से सात अंकों तक π का सही मान प्राप्त हुआ जब कि चिरसम्मत विधि से π का सही मान 2 अंकों तक ही प्राप्त होता था। स्नेल ने कुछ पुस्तकें भी प्रकाशित की जिनमें धूमकेतु पर किया हुआ उसका कार्य भी शामिल है। यद्यपि विज्ञान में उनका सबसे बड़ा योगदान अपवर्तन नियमों की खोज है। हालांकि अपवर्तन पर किए हुए कार्य को वह प्रकाशित नहीं कर सके। इनके बारे में जानकारी उनकी मृत्यु के 77 वर्ष बाद सन् 1703 में प्राप्त हुई जब हाइगेन्स ने उनके परिणामों को ''डाइऑप्टिक्स'' में प्रकाशित किया।

20.3.1 प्रकाश की उत्क्रमणीयता

चित्र 20.6 (b) का पुनः अवलोकन कीजिए। इसमें उत्क्रमणीयता का सिद्धान्त दर्शाया गया है। ऐसा प्रतीत होता है कि मानों प्रकाश की किरण अपने पथ पर वापस आ रही है। सदैव यह

आवश्यक नहीं कि प्रकाश, वायु से सघन माध्यम में गमन करे। वास्तव में पारदर्शी माध्यमों का कोई भी संयोजन हो सकता है। मान लीजिए कि प्रकाश, जल-काँच पर अंतर्पृष्ठ पर आपतित है। तब स्नेल नियम को लागू करने पर;

$$\frac{\sin i_w}{\sin i_g} = \mu_{wg} \tag{20.6}$$

अब हम वायु-काँच और वायु-जल अंतर्पृष्ठ पर अलग-अलग विचार करते हैं। स्नेल नियम के अनुसार हम लिख सकते हैं,

$$\frac{\sin i_a}{\sin i_g} = \mu_{ag}$$

तथा

$$\frac{\sin i_a}{\sin i_w} = \mu_{aw}$$

इन दोंनों परिणामों को सयुक्त करने पर हम पाते हैं,

$$\mu_{ag} \sin i_g = \mu_{aw} \sin i_w \tag{20.7}$$

इसे पुनः इस प्रकार लिखा जा सकता है,

$$\frac{\sin i_w}{\sin i_g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} \tag{20.8}$$

समीकरण (20.6) तथा समीकरण (20.8) की तुलना करने पर,

$$\mu_{wg} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} \tag{20.9}$$

यह परिणाम दर्शाता है कि जब प्रकाश जल से काँच में गमन करता है तो जल के सापेक्ष काँच के अपवर्तनांक को वायु के सापेक्ष काँच और जल के अपवर्तनांकों के पदों में व्यक्त किया जा सकता है।

उदाहरण 20.1: प्रकाश की कोई किरण जल-काँच अंतर्पृष्ठ पर 30^o के कोण पर आपतित है। अपवर्तन कोण परिकलित कीजिए। दिया है, $\mu_{ag} = 1.5$, $\mu_{aw} = 1.3$

हल: समीकरण (20.8) से हम जानते हैं कि,

$$\frac{\sin i_w}{\sin i_g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}}$$

$$\frac{\sin 30^0}{\sin i_g} = \frac{1.5}{1.3}$$

अथवा $$\sin i_g = \left(\frac{1.3}{1.5}\right) \times \frac{1}{2}$$

$$= 0.4446$$

अथवा $$i_g = 25^o41'$$

उदाहरण 20.2: जल में प्रकाश की चाल परिकलित कीजिए, यदि वायु के सापेक्ष जल का अपवर्तनांक 4/3 है। निर्वात में प्रकाश की चाल = 3×10^8 ms^{-1} है।

हल: हम जानते हैं कि,

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

या $$\upsilon = \frac{c}{\mu}$$

$$= \frac{(3\times10^8 \text{ ms}^{-1})}{4/3}$$

$$= \frac{3\times10^8\times3}{4}$$

$$= 2.25 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

उदाहरण 20.3: जल और काँच के अपवर्तनांक क्रमश: 1.52 तथा 1.33 है। जल के सापेक्ष, काँच का अपवर्तनांक परिकलित कीजिए।

हल: समीकरण (20.9) का प्रयोग कर हम लिख सकते हैं,

$$\mu_{wg} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} = \frac{1.52}{1.33} = 1.14$$

पाठगत प्रश्न 20.3

1. जब काँच की सिल्ली पर कोई प्रकाश पुंज अभिलंबत: आपतित होता है तो पार्श्विक विस्थापन क्या होगा?
2. जब $\angle i < \angle i_c$ तथा $\angle i > \angle i_c$ हों तो किसी अर्धवृत्ताकार काँच की सिल्ली के केन्द्र पर आपतित प्रकाश के पथ का अनुरेखण कीजिए।
3. पृथ्वी का वायुमंडल सूर्य और चन्द्रमा के आभासी आकार को किस प्रकार और क्यों परिवर्तित करता है जब वे क्षितिज के समीप होते हैं?
4. तारे क्यों टिमटिमाते हैं?

5. खाली पात्र की तुलना में जल से भरा पात्र क्यों उथला (कम गहरा) प्रतीत होता है? इसके लिए स्वच्छ किरण आरेख खींचिए।

6. जल के पृष्ठ पर 52° के कोण पर आपतित प्रकाश का अपवर्तन-कोण परिकलित कीजिए जबकि $\mu = 4/3$ है।

20.4 पूर्ण आंतरिक परावर्तन

क्रियाकलाप 20.1

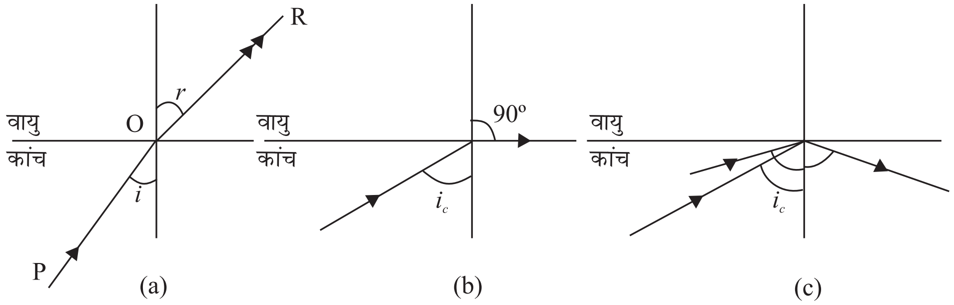
कोई छड़ लीजिए, उसे साइकल-ग्रीज से लेपित कर दीजिए और उसे जल में डुबो दीजिए अथवा एक पतली काँच की शीशी जेसे होम्योपैथिक दवा रखने की शीशी लीजिए और उसे जल में डुबोईए। आप देंखेंगे कि छड़ अथवा शीशी लगभग चांदी की भांति चमकती है। क्या आप इसका कारण जानते हैं? यह विचित्र प्रभाव एक विशेष प्रकार के अपवर्तन के कारण है। हम जानते हैं कि जब कोई प्रकाश-किरण प्रकाशत: सघन माध्यम से प्रकाशत: विरल माध्यम अर्थात् काँच से वायु में अथवा जल से वायु में गमन करती है तो अपवर्तित किरण मुड़कर अभिलंब से दूर हो जाती है। इसका यह अर्थ हुआ कि आपतन कोण की तुलना में अपवर्तन कोण अधिक होता है। जब आपतन कोण बढ़ाया जाता है तो अपवर्तित किरण का क्या होता है? अपवर्तित किरण के झुकाव (बंकन) में भी वृद्धि हो जाती है। अपवर्तन कोण का अधिकतम मान 90° हो सकता है। **सघन माध्यम में आपतन कोण, जिसके लिए विरल माध्यम में (इस उदाहरण में वायु) अपवर्तन कोण 90° होता है, क्रांतिक कोण i_c कहलाता है।** तब अपवर्तित किरण दोनों माध्यमों को पृथक करने वाली परिसीमा के अनुदिश गमन करती है। यदि आपतन कोण, क्रांतिक कोण से अधिक हो तो आपतित किरण उसी माध्यम में वापस परावर्तित हो जाती है जैसा कि चित्र 20.7 (c) में दर्शाया गया है। इस प्रकार का परावर्तन **पूर्ण आंतरिक परावर्तन** कहलाता है और आपतित किरण पूर्ण आंतरिक परावर्तित कही जाएगी। पूर्ण आंतरिक परावर्तन होने के लिए निम्नलिखित दो प्रतिबंधों की संतुष्टि आवश्यक है:

- प्रकाश का प्रकाशत: सघन माध्यम से प्रकाशत: विरल माध्यम में गमन होना चाहिए।
- सघन माध्यम में आपतन कोण दोनों माध्यमों के क्रांतिक कोण से अधिक होना चाहिए।

क्रियाकलाप 20.1 में काँच की नली चांदी जैसी इस कारण प्रतीत होती है क्योंकि उसके पृष्ठ से कुल आंतरिक परावर्तन हो गया है।

स्नेल नियम का प्रयोग कर अपवर्तनांक के पदों में क्रांतिक कोण के लिए व्यंजक आसानी से प्राप्त किया जा सकता है। काँच-वायु अंतरापृष्ठ पर अपवर्तन के लिए हम लिख सकते हैं:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \mu_{ga}$$



चित्र 20.7: (a) $i < i_c$, (b) $i = i_c$ (c) $i > i_c$ तथा
(c) I> i_c के लिए काँच से वायु में गमन के लिए प्रकाश कर अपवर्तन

$r = 90°$ तथा $i = i_c$, रखने पर,

$$\frac{\sin i_c}{\sin 90°} = \mu_{ga}$$

अथवा $$\sin i_c = \mu_{ga}$$

अत: $$\mu_{ag} = \frac{1}{\mu_{ga}} = \frac{1}{\sin i_c}$$

कुछ पदार्थो के क्रांतिक कोण सारणी 20.2 में दिए गए हैं।

उदाहरण 20.4: काँच का अपवर्तनांक 1.52 है। काँच-वायु अंतरापृष्ठ के लिए क्रांतिक-कोण परिकलित कीजिए।

हल: हम जानते हैं कि,

$$\mu = 1/\sin i_c$$

$$\sin i_c = 1/\mu = \frac{1}{1.52}$$

$$\therefore \quad i_c = 42°$$

पारदर्शी पदार्थों में बहुत कुछ चमक पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कारण होती है। अब आप समझ सकते हैं कि हीरें क्यों इतना चमकते हैं? क्योंकि उनके लिए क्रांतिक कोण पर्याप्त कम होता हैऔर क्रिस्टल में प्रवेश करने वाला अधिकांश प्रकाश का अन्तत: बाहर आने से पहले कई बार आंतरिक परावर्तन हो जाता है।

सामान्य परावर्तन में आपतित किरण की तुलना में परावर्तित किरण सदैव क्षीण होती है चाहे परावर्तनी पृष्ठ अति पॉलिश किया हुआ क्यों न हो। इसी कारण कुछ प्रकाश सदैव संचरित अथवा अवशोषित हो जाता है। परन्तु, पूर्ण आंतरिक परावर्तन की स्थिति में, पारदर्शी परिसीमा से शत प्रतिशत (100%) प्रकाश परावर्तित हो जाता है।

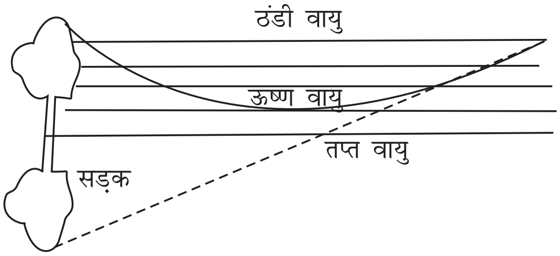
टिप्पणियाँ

20.4.1 अपवर्तन और पूर्ण आंतरिक परावर्तन के अनुप्रयोग

जीवन की वास्तविक परिस्थितियों में इन परिघटनाओं के अनेक उदाहरण हैं। हम इनमें से कुछ पर विचार करेंगे।

(a) मरीचिका: मरीचिका एक प्रकार का प्रकाशिक भ्रम है जो तपती गर्मी के मौसम में रेगिस्तानों अथवा डामर युक्त सड़कों पर देखी जाती है। जैसा कि आपने देखा होगा इससे जल का भ्रम होता है जो वास्तव में वहाँ नहीं होता है।

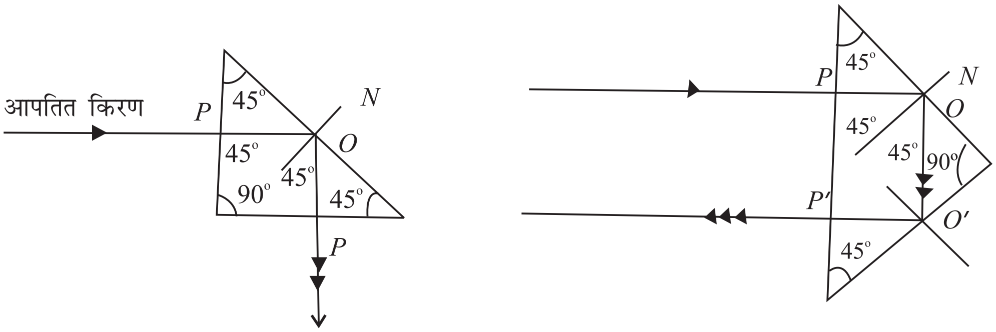
अत्यधिक गर्मी के कारण सड़क बहुत गर्म हो जाती है और इसके संपर्क की वायु भी गर्म हो जाती है। सड़क के ठीक ऊपर की परतों के घनत्व और अपवर्तनांक, अपेक्षाकृत ऊपरी ठंडी परतों की तुलना में कम होते हैं। चूंकि माध्यम में कोई सहसा परिवर्तन नहीं होता (देखिए चित्र 20.9) अत: किसी सुदूर बिंब जैसे कोई वृक्ष से आने वाली प्रकाश की किरण, जैसे-जैसे इन पर्तों से होकर गुजरती है उसमें अधिकाधिक झुकाव (बंकन) होता जाता है। जब यह किसी परत पर दो क्रमागत परतों के लिए क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर गिरती है तो पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाता है। इससे वृक्ष का उल्टा प्रतिबिंब प्राप्त होता है जिससे जल के कुंड का भ्रम होता है।



चित्र 20.8: मरीचिका का बनना

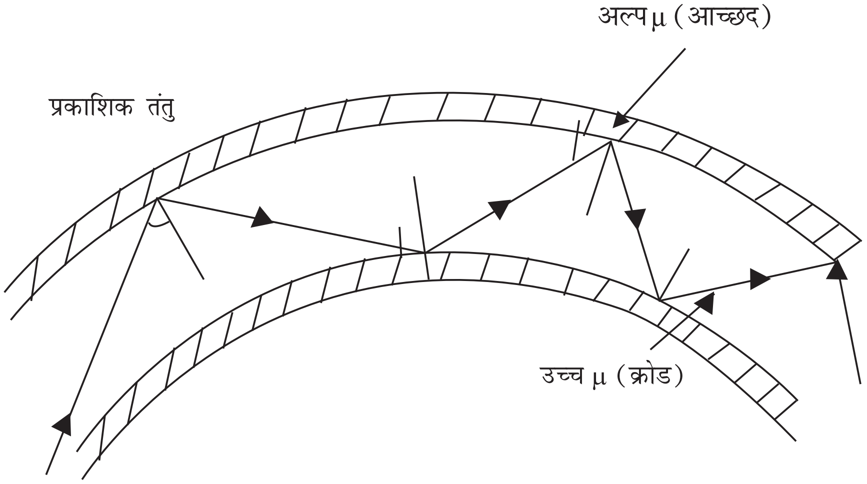
पूर्ण परावर्तक प्रिज्म: प्रकाश के परावर्तन के लिए समकोण युक्त समबाहु त्रिभुजाकार आधार का कोई प्रिज्म अथवा $90^o, 45^o$ तथा 45^o कोण वाला पूर्ण परावर्तक प्रिज्म एक उपयोगी युक्ति है।

चित्र 20.9 (a) का अवलोकन करें। प्रिज्म की सममिति के कारण प्रकाश O पर 45^o के कोण पर आपतित है जो काँच के क्रांतिक कोण 42^o से अधिक है। परिणामस्वरूप प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाता है और वह 90^o के कोण से विचलित हो जाता है।



चित्र 20.9: पूर्णत: परावत्रक प्रिज्म

आपतित किरण के अन्य फलक को चुनने पर किरण O तथा O' पर होने वाले दो क्रमागत पूर्ण आंतरिक परावर्तनों के कारण 180° द्वारा विचलित हो जाती है जैसा कि चित्र 20.9 (b) में दिखाया गया है।



चित्र 20.10: किसी प्रकाशिक तंतु में बहु परावर्तन

'प्रकाशिक तंतु' काँच या क्वार्ट्ज से निर्मित केशवत् संरचना होती हैं। इसकी आंतरिक क्रोड पर ऐसी सामग्री की पतली परत (आच्छद) चढ़ी होती है जिसका अपवर्तनांक किंचित कम होता है। उदाहरणस्वरूप क्रोड का अपवर्तनांक लगभग 1.7 तथा आच्छद का अपवर्तनांक 1. 5 होता है। इस व्यवस्था से पूर्ण आंतरिक परावर्तन सुनिश्चित हो जाता है। यदि आप पूर्ण आंतरिक परावर्तन के प्रतिबंधों का स्मरण करें तो यह बात आसानी से समझ सकते हैं।

जब तंतु के एक सिरे पर प्रकाश अल्प-कोण पर आपतित किया जाता है तो इसमें तंतु के अनुदिश (चित्र 20.10) कई बार पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाते हैं। प्रकाश अन्ततः दूसरे सिरे पर तीव्रता में बिना किसी कमी के निर्गमित हो जाता है (बाहर निकल जाता है)। तंतु मुड़ा होने पर भी यह प्रक्रम अप्रभावित रहता है। आजकल प्रकाशिक तंतुओं का प्रचुरता से प्रयोग होता है। प्रकाशिक तंतुओं का प्रयोग करने वाले नम्य प्रकाश पाइप का प्रयोग, शरीर के अगम्य भागों यथा आमाशय तथा मूत्राशय आदि के लैपेरोस्कोपी परीक्षण में होता है। प्रकाशिक तंतुओं के अन्य चिकित्सीय अनुप्रयोग न्यूरोसर्जरी तथा श्वसनी के अध्ययन में किया जाताहै। चिकित्सीय अनुप्रयोगों के अतिरिक्त प्रकाशिक तंतुओं ने संचार में क्रांतिकारी परिवर्तन ला दिए हैं। प्रत्येक तंतु तीव्रता में बिना किसी अधिक परिवर्तन के 10,000 टेलीफोन संदेशों का दूर तक वहन कर सकता है। इसी कारण लाखों व्यक्ति प्रकाशिक तंतु जालक्रम (नेटवर्क) पर एक महाद्वीप से दूसरे महाद्वीप तक एक साथ बातचीत कर सकते हैं।

पाठगत प्रश्न 20.4

1. जब कोई किरण विरल माध्यम से सघन माध्यम में गमन करती है तो पूर्ण आंतरिक परावर्तन क्यों नहीं होता?

टिप्पणियाँ

2. काँच का क्रांतिक कोण 40^o है। यदि काँच के किसी टुकड़े को जल में डुबो दिया जाए तो क्या इस मान में कोई परिवर्तन होगा? कारण सहित उत्तर दीजिए।

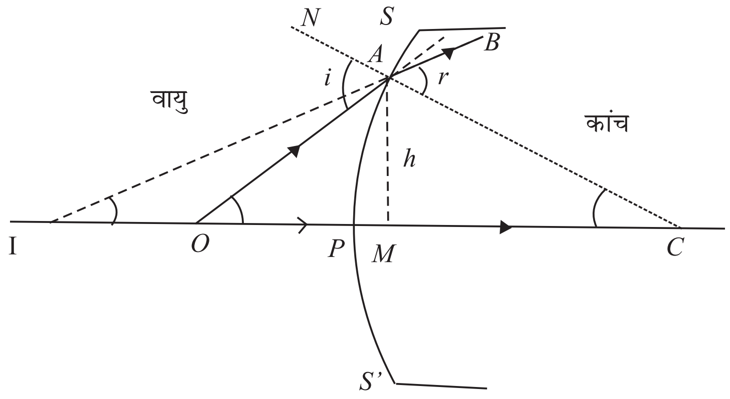
3. किरण आरेख द्वारा दर्शाइए कि (i) समतल दर्पण, और (ii) पूर्ण परावर्तक प्रिज्म का प्रयोग करके प्रकाश किरण किस प्रकार 90^o के कोण से विचलित हो जाती है? दूसरे उदाहरण में प्रकाश की तीव्रता क्यों अधिक होती है?

4. पात्र में कोई द्रव 25 cm की गहराई पर है। ऊपर से देखने पर इसकी आभासी गहराई कितनी होगी, यदि द्रव का अपवर्तनांक 1.25 है। द्रव का क्रांतिक कोण कितना होगा?

20.5 गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन

हम कंचे, जलबूंद, काँच की शीशी जैसे गोलीय पृष्ठों के चारों ओर रखें बिंबों की प्रतिबिंब रचना का अध्ययन कर सकते हैं। गोलीय अपवर्तक पृष्ठोंसे दूरी के मापन में हम उसी चिह्न परिपाटी का प्रयोग करेंगे जो गोलीय दर्पणों के लिए लागू होती है। चित्र 20.11 को देखिए।

SPS′ एक उत्तल अपवर्तक पृष्ठ है जो दो माध्यमों, वायु और काँच को पृथक करती है। *C* इसका वक्रता-केन्द्र है, *P* बिंदु *SPS'* पर लगभग सममितीयत: स्थित है। आप इसे ध्रुव कह सकते हैं। तब *CP* **मुख्य अक्ष** होगी। *O* एक बिंदु बिंब है। *OA* आपतित किरण और *AB* अपवर्तित किरण है। एक अन्य किरण *OP* पृष्ठ पर अभिलंबत: गिरती हैं और अपवर्तन के बाद अविचलित रहती है। *PC* और *AB* वास्तव में *I* से आती प्रतीत होती हैं। अत: *O* का आभासी प्रतिबिंब *I* है।



चित्र 20.11: गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन

यदि $\angle OAN = i$, आपतन कोण तथा $\angle CAB = r$, अपवर्तन कोण हैं तो समुचित चिह्न परिपाटी का प्रयोग कर हम लिख सकते हैं;

$$PO = -u\ ;\ PI = -\upsilon\ ;\ PC = +R$$

मान लीजिए α, β, तथा γ मुख्य अक्ष के साथ क्रमश: *OA*, *IA* तथा *CA*, द्वारा अंतरित कोण हैं और *h* मुख्य अक्ष पर A से खींचे गए अभिलंब की ऊँचाई है। अब ΔOCA तथा ΔICA में,

$$i = \alpha + \gamma \qquad (i \text{ बाह्य कोण}) \qquad (20.10)$$

और

$$r = \beta + \gamma \qquad (r \text{ बाह्य कोण}) \qquad (20.11)$$

स्नेल नियम के अनुसार,

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

जब कि μ वायु के सापेक्ष काँच पृष्ठ का अपवर्तनांक है। अल्प द्वारक वाले पृष्ठ में, A के समीप P होगा और इस प्रकार i और r बहुत छोटे (अत्यल्प) $(\sin i \simeq i, \sin r \simeq r)$ होंगे। अतः ऊपर के समीकरण से प्राप्त होता है;

$$i = \mu r \qquad (20.12)$$

क्रमशः समीकरणों (20.10) और (20.11) से समीकरण (20.12) में i और r के मान प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं:

$$\alpha + \gamma = \mu\,(\beta + \gamma)$$

या

$$\alpha - \mu\beta = \gamma\,(\mu - 1) \qquad (20.13)$$

चूंकि α, β और γ अत्यल्प हैं हम $\tan\,\alpha \simeq \alpha$, $\tan\beta \simeq \beta$, और $\tan\gamma = \gamma$ मान सकते हैं। चित्र 20.11 के संदर्भ में हम इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$\alpha \approx \tan\alpha = \frac{AM}{MO} = \frac{AP}{PO} = \frac{h}{-u} \quad (M, \text{ यदि } P \text{ के बहुत समीप है।})$$

$$\beta \approx \tan\beta = \frac{AM}{MI} = \frac{AM}{PI} = \frac{h}{-v}$$

तथा

$$\gamma \simeq \tan\gamma = \frac{AM}{MC} = \frac{AM}{PC} = \frac{h}{R}$$

समीकरण (20.13) में α, β और γ के मान प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं:

$$\frac{h}{-u} - \frac{\mu h}{v} = (\mu - 1)\,\frac{h}{R}$$

अथवा

$$\frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{R} \qquad (20.14)$$

यह महत्वपूर्ण संबंध, बिंब दूरी और प्रतिबिंब दूरी के साथ अपवर्तक पृष्ठ के अपवर्तनांक और वक्रता-त्रिज्या के मध्य सहसंबंध दर्शाता है।

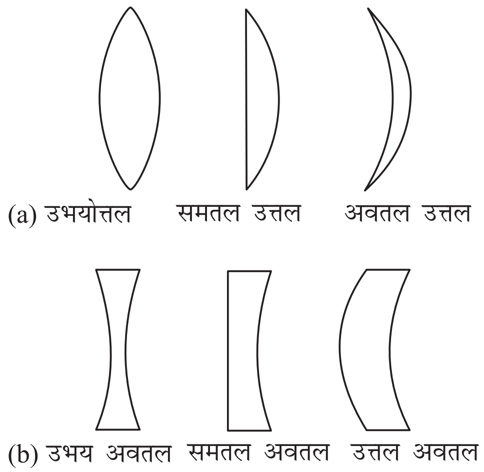
20.5.1 लेन्सों से परावर्तन

लेन्स किसी पारदर्शी पदार्थ (सामान्यतः काँच) का एक पतला टुकड़ा होता है जिसमें दो पृष्ठ होते हैं जिनमें एक या दोनों पृष्ठ वक्रित (अधिकांश गोलीय) रहते हैं आप पिछली कक्षाओं

में पढ़ चुके हैं कि लेन्स मुख्यत: दो प्रकार के होते हैं अर्थात् उत्तल और अवतल लेन्स। इनमें से प्रत्येक तीन प्ररूपों में उपविभाजित रहता है जैसा कि चित्र 20.12 में दिखाया गया है। इस प्रकार समतल-उत्तल और समतल-अवतल लेन्स भी होते हैं।

आधारी नाम पद्धति

पतले लेंस: यदि लेन्स की मोटाई उसकी वक्रता-त्रिज्या की तुलना में नगण्य हो तो यह पतला लेन्स कहलायेगा। हम केवल पतले लेन्सों की ही चर्चा करेंगे। लेन्स के दोनों पृष्ठों के वक्रता केन्द्रों को मिलाने वाली रेखा **मुख्य अक्ष** कहलाती है।



चित्र 20.12: लेंसों के प्रारूप

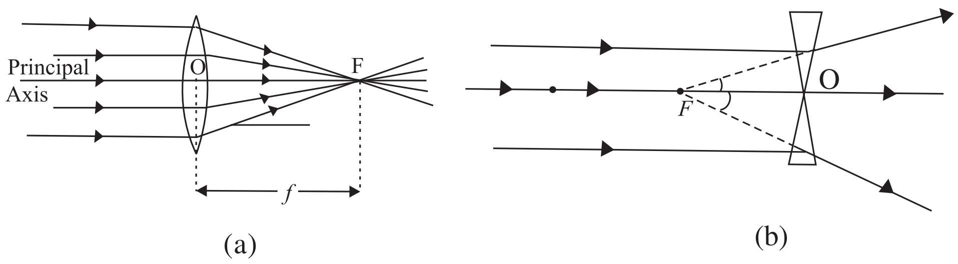
मुख्य अक्ष पर स्थित लेन्स के केन्द्र पर बिंदु **प्रकाशिक केन्द्र** कहलाता है। प्रकाशिक केन्द्र से होकर जाने वाली किरणें विचलित नहीं होती।

मुख्य फोकस वह बिंदु है जिस पर मुख्य अक्ष के समांतर और समीप की किरणें अभिसारित या अपसरित होती प्रतीत होती हैं। यह F द्वारा व्यक्त किया जाता है (चित्र 20.13) है।

लेन्स से होकर प्रकाश की किरणें किसी भी दिशा में गमन कर सकती हैं। अत: प्रत्येक लेन्स के दो मुख्य फोकस होते हैं और लेन्स के दोनों ओर एक-एक फोकस होता है।

प्रकाशिक केन्द्र और मुख्य फोकस के मध्य दूरी **फोकस दूरी** कहलाती हैं। चित्र 20.13 में *OF* फोकस दूरी (*f*) है। चिह्न परिपाटी के अनुसार उत्तल लेन्स के लिए *OF* धनात्मक और अवतल लेन्स के लिए *OF* ऋणात्मक होता है।

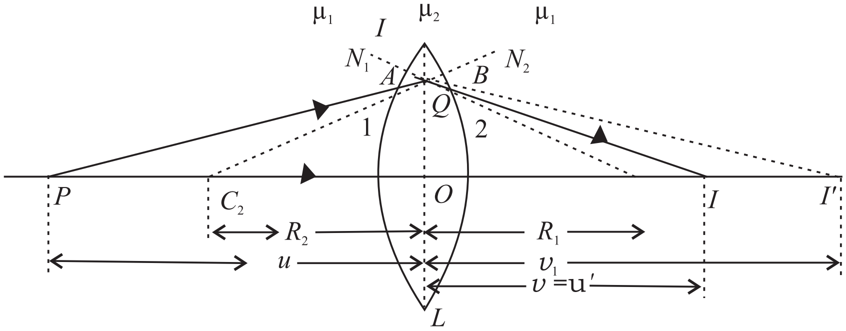
मुख्य अक्ष के अभिलंब और फोकस होकर गुजरने वाला समतल, **फोकस समतल** कहलाता है।



चित्र 23.13: (a) उत्तल, और (b) अवतल लेन्सों के फोकस

20.5.2 लेन्स निर्माता सूत्र और आवर्धन

अब आप अनुमान लगा सकते हैं कि फोकस दूरी का, वक्रता त्रिज्या और लेन्स के पदार्थ के अपवर्तनांक के साथ संबंध होना चाहिए। मान लीजिए कोई पतला उत्तल लेन्स *L*, प्रकाशिक बैंच पर स्थित (चित्र 20.14) है। वायु के सापेक्ष लेन्स की सामग्री का अपवर्तनांक μ और दोनों पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याएं क्रमश: R_1 और R_2 हैं। मान लीजिए कि मुख्य अक्ष पर कोई बिंदुबिंब *P* स्थित है। वक्र पृष्ठों 1 और 2 के वक्रता केन्द्र क्रमश: C_1 और C_2 हैं।



चित्र 20.14: किसी बिंदु बिंब का पतले उभयोत्तल लेन्स द्वारा रचित बिंदु प्रतिबिंब

P से कोई किरण पृष्ठ 1 से *A* पर टकराती है। पृष्ठ 1 के बिंदु *A* पर अभिलंब C_1N_1 है। किरण PA विरल माध्यम (वायु) से सघन माध्यम (काँच) में जाने पर अभिलंब की ओर मुड़ती है और AB दिशा में गमन करती है। **पृष्ठ 2 की अनुपस्थिति** में किरण *AB* मुख्य अक्ष C_2C_1 से बिंदु I' पर मिलेगी। इसी प्रकार *P* से दूसरी किरण प्रकाशिक केन्द्र *O* से होकर बिन्दु I' से गुजरती है। इस प्रकार बिंब P का आभासी प्रतिबिंब I' है।

तब बिंब दूरी $OP = u$ और प्रतिबिंब दूरी $OI' = v_1$ (मान लीजिए) होंगी। समीकरण (20.14) का प्रयोग कर हम लिख सकते हैं:

$$\frac{\mu}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{R_1} \qquad (20.15)$$

लेन्स के दूसरे पृष्ठ 2 की उपस्थिति से किरण *AB*, पृष्ठ से *B* पर टकराती है। बिंदु *B* पर C_2N_2 अभिलंब है। चूंकि किरण *AB*, सघन माध्यम (काँच) से विरल माध्यम (वायु) में गमन कर रही है। अत: यह अभिलंब C_2N_2 से दूर हटकर मुड़ती हुई दिशा *BI* में जाती है और *I* पर *P* से दूसरी किरण से मिलती है। इस प्रकार *I*, लेन्स द्वारा बिंब *P* का प्रतिबिंब है। इसका यह अर्थ हुआ कि प्रतिबिंब दूरी $OI = v$ है।

बिंदु-बिंब *O* पर विचार करने पर, इसका आभासी प्रतिबिंब I' (पृष्ठ 1 के कारण) और अंतिम प्रतिबंब *I*, है। लेन्स के पृष्ठ 2 के लिए आभासी बिंब I' है और *I* अंतिम प्रतिबंब है। तब बिंब दूरी $OI' = u' = v_1$ और प्रतिबिंब दूरी $OI = v$ होगी।

समीकरण (20.12) को लागू करने पर और यह मानते हुए कि किरण AB **काँच से वायु** में गमन कर रही है, हम पाते हैं:

$$\frac{(1/\mu)}{\upsilon}+\frac{1}{\upsilon_1} = \frac{(1/\mu)-1}{R_2}$$

अथवा
$$\frac{1}{\mu\upsilon}-\frac{1}{\upsilon_1} = \frac{1-\mu}{\mu R_2}$$

दोनों ओर μ से गुणा करने पर,

$$\frac{1}{\upsilon}-\frac{\mu}{\upsilon_1} = \frac{\mu-1}{R_2} \qquad (20.16)$$

समीकरण (20.15) और समीकरण (20.16) को जोड़ने पर,

$$\frac{1}{\upsilon}-\frac{1}{u} = (\mu-1)\ \frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2} \qquad (20.17)$$

यदि $u = \infty$ अर्थात् बिंब अनंत पर हो तो आगमी (उससे आनेवाली) किरणें समांतर होंगी और अपवर्तन के बाद; फोकस $(\upsilon = f)$ पर अभिसारित होंगी। तब समीकरण (20.17) इस प्रकार हो जाता है:

$$\frac{1}{f} = (\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \qquad (20.18)$$

यह लेन्स निर्माता सूत्र कहलाता है।

समीकरण (20.17) और (20.18) से हम यह निष्कर्ष निकालते हैं कि;

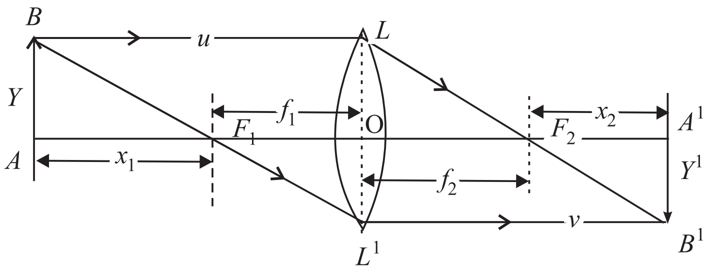
- किसी लेन्स की फोकस दूरी, गोलीय पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याओं पर निर्भर करती हैं। अधिक वक्रता त्रिज्या वाले लेन्स की फोकस दूरी अधिक होगी।
- यदि लेन्सों के पदार्थ का अपवर्तनांक अधिक है तो लेन्स की फोकस दूरी कम होगी।

यदि लेन्स को जल या अन्य किसी अन्य पारदर्शी माध्यम में डुबा दिया जाए तो μ के मान में परिवर्तन हो जाता है और आप स्वयं ज्ञात कर सकते हैं कि फोकस दूरी में वृद्धि हो जाती हैं। यदि माध्यम का घनत्व, लेन्स की सामग्री के घनत्व से अधिक है जैसे कार्बन डाइसल्फाइड तो किरणें अपसरित तक हो सकती है।

20.5.3 न्यूटन का सूत्र

चित्र 20.5.3 में उत्तल लेन्स F_1 द्वारा बिंब AB का $A'B'$ पर निर्मित प्रतिबिम्ब दर्शाया गया है। यहाँ F_1 एवं F_2 क्रमशः लेन्स के प्रथम एवं द्वितीय फोकस हैं।

यदि हम बिम्ब एवं प्रतिबिम्ब की दूरियाँ क्रमशः प्रथम एवं द्वितीय फोकस से मापें और ये x_1 एवं x_2 हों तो –



चित्र 20.5.3

चित्र से, समरूप त्रिभुजों ABF_1 एवं $OL'F_1$ में

$$\frac{-y'}{y} = \frac{-f_1}{-x_1}$$

तथा समरूप त्रिभुजों OLF_2 एवं $A'B'F_2$ में

$$\frac{-y'}{y} = \frac{x_2}{f_2}$$

इन दो समीकरणों की तुलना से हमें प्राप्त होता है:

$$x_1 x_2 = f_1 f_2$$

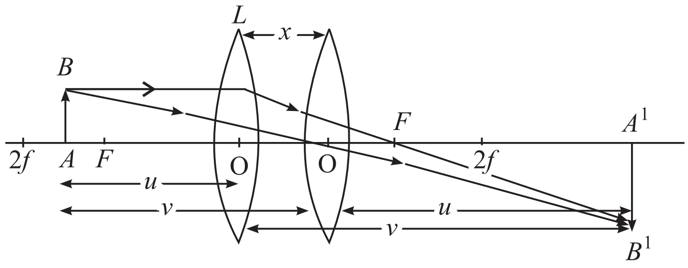
यदि $f_1 \equiv f_2 \approx f$ (ले लें) तो $x_1 x_2 = +f^2$

अथवा $f = \sqrt{x_1 x_2}$

यह संबंध न्यूटन का सूत्र कहलाता है और इसका उपयोग करके हम उत्तल लेन्स की फोकस दूरी सुविधापूर्वक माप सकते हैं।

20.5.4 प्रतिबिम्बों (संयुग्मी बिन्दुओं) की स्थिति ज्ञात करने की विस्थापन विधि

चित्र 20.5.4 में $A'B'$ लेन्स L द्वारा बना बिंब AB का प्रतिबिम्ब है। $OA = u$ तथा $OA' = v$.



चित्र 20.5.4

प्रकाश किरणों की उत्क्रमणीयता का नियम हमें बताता है कि यदि हम लेन्स को दाहिनी ओर इतना विस्थापित करें कि $AO = v$ हो तो फिर से प्रतिबिम्ब उस ही स्थान पर बनेगा, जहाँ पहले बना था।

अतः $$AA' = D = u + v \qquad ...(i)$$

और लेन्स की दो स्थितियों के बीच दूरी

$$OO' = x = (v - u) \qquad ...(ii)$$

समी. (i) एवं (ii) को जोड़ने पर, हमें मिलता है

$$v = \frac{x+D}{2}$$

तथा समी. (i) में से समी. (ii) को घटाने पर, हम पाते हैं:

$$u = \frac{D-x}{2}$$

लेन्स सूत्र में इन मानों को प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं:

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

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{x+D} + \frac{2}{D-x} = \frac{2}{D+x} + \frac{2}{D-x}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2(D-x+D+x)}{D^2-x^2}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{4D}{D^2-x^2}$$

अथवा $$f = \frac{D^2-x^2}{4D}$$

अतः बिम्ब और पर्दे की स्थिति नियत रखते हुए, हम लेन्स की दो स्थितियों के संगत, पर्दे पर बिम्ब का स्पष्ट, चमकदार प्रतिबिम्ब प्राप्त कर सकते हैं। यह भी लेंस की फोकस दूरी f ज्ञात करने की एक सुविधाजनक विधि है।

20.6 लेन्सों द्वारा प्रतिबिंबों का बनना

लेन्सों द्वारा प्रतिबिंबों के बनने में किरणों के निम्नलिखित गुणधर्मो का प्रयोग किया जाता है:

- लेन्स के प्रकाशिक केन्द्र से होकर गुजरने वाली किरण अविचलित रहती है।

- मुख्य अक्ष के समान्तर कोई आपाती किरण अपवर्तन के बाद मुख्य फोकस से होकर गुजरती है।
- F या F' से होकर गुजरने वाली किरण अपवर्तन के बाद, मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती है।

  किरण आरेखों को खींचने के लिए, इन किरणों में से किन्हीं दो किरणों का प्रयोग किया जा सकता है।

लेन्स सूत्र $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ से पता चलता है कि प्रतिबिंब दूरी (v) वस्तुतः बिंब दूरी (u) और लेन्स की फोकस दूरी (f) पर निर्भर करती है।

किसी लेन्स का अभिवर्धन, लेन्स द्वारा निर्मित प्रतिबिंब की ऊँचाई और बिंब की ऊँचाई के अनुपात द्वारा परिभाषित किया जाता है और इसे m द्वारा व्यक्त करते हैं:

$$m = \frac{I}{O} = \frac{v}{u}$$

जबकि I प्रतिबिंब की ऊँचाई और O बिंब की ऊँचाई हैं।

उदाहरणः 20.5: किसी उभयोत्तल लेंस की वक्रता त्रिज्याएं क्रमशः 15cm तथा 30 cm हैं। इसकी फोकस दूरी परिकलित कीजिए। 1.65 अपवर्तनांक वाले द्रव में डुबाने पर इसकी फोकस दूरी भी परिकलित कीजिए। काँच के लिए μ का मान 1.5 है।

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

हलः यहाँ $R_1 = +\,15\text{cm}$, तथा $R_2 = -30\text{cm}$ है। इन मानों को प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं,

$$\frac{1}{f} = (1.5 - 1)\ \frac{1}{15} - \frac{1}{-30}$$

$$\Rightarrow \qquad f = 20\text{ cm}$$

जब लेन्स को द्रव में डुबोया जाता है तो μ के स्थान पर $\mu_{\ell g}$ का प्रयोग किया जाएगा;

$$\mu_{\ell g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{al}}$$

$$= \frac{1.5}{1.65} = \frac{10}{11}$$

अतः

$$\frac{1}{f_l} = (\mu_{\ell g} - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

टिप्पणियाँ

$$= \frac{10}{11} - 1 \quad \frac{1}{15} - \frac{1}{-30}$$

$$= -\frac{1}{110}$$

$$\therefore \quad f = -110\text{cm}$$

चूंकि f ऋणात्मक है अत: लेन्स वास्तव में अवतल लेन्स की तरह व्यवहार करता है।

20.7 लेन्स की क्षमता

लेन्स का एक व्यावहारिक अनुप्रयोग दृष्टि-दोषों को सुधारने में किया जाता है। हो सकता है आप स्वयं चश्में का प्रयोग कर रहे हो अथवा आपने अपने साथियों, माता-पिता अथवा अन्य लोगों को चश्में का प्रयोग करते देखा होगा। जब उनसे लेन्स की क्षमता के बारे में पूछा जाता है तो वे केवल कोई धन या ऋण संख्या बताते हैं। यह संख्या क्या दर्शाती है? यह संख्या लेन्स की डाइऑप्टर में व्यक्त क्षमता है। लेन्स की क्षमता, मीटर में फोकस दूरी के व्युत्क्रम के द्वारा परिभाषित की जाती है:

$$P = \frac{1}{f}$$

लेन्स की क्षमता का SI मात्रक m^{-1} है। डाइऑप्टर मात्र एक व्यावसायिक मात्रक है जिसका चश्मा निर्माता सामान्यत: प्रयोग करते हैं। उत्तल लेन्स की क्षमता धनात्मक और अवतल लेन्स की क्षमता ऋणात्मक होती है। ध्यान रहे कि अधिक क्षमता का होना अल्प फोकस दूरी दर्शाता है। लेन्स निर्माता सूत्र का प्रयोग करने पर हम लेन्स की क्षमता और उसकी वक्रता-त्रिज्या में संबंध स्थापित कर सकते हैं:

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

अथवा

$$P = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

उदाहरण 20.5: ऐसे उभयोत्तल लेन्स की वक्रता त्रिज्या परिकलित कीजिए जिसकी दोनों परतों की त्रिज्याएं समान हैं और जो काँच ($\mu = 1.54$) से निर्मित है ताकि +2.75 डाइऑप्टर की क्षमता प्राप्त हो।

हल:

$$P = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$P = +2.75 \text{ dioptre}$$

$$\mu = 1.54$$

$$R_1 = R$$

तथा $$R_2 = -R$$

लेन्स निर्माता सूत्र में दिए हुए मानों को प्रतिस्थापित करने करने पर हम पाते हैं:

$$2.75 = (0.54)\ \frac{2}{R}$$

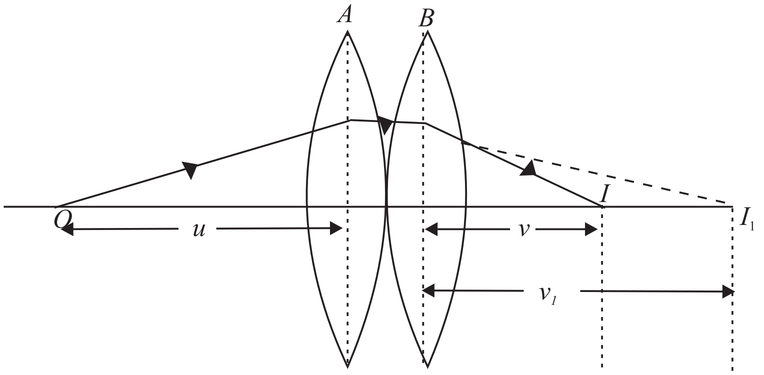
$$R = \frac{0.54 \times 2}{2.75}$$

$$= 0.39 \text{ m}$$

$$= 39 \text{ cm}$$

20.8 लेन्सों का संयोजन

चित्र 20.15 का अवलोकन कीजिए। क्रमशः f_1 और f_2 फोकस दूरियों के दो पतले उत्तल लेन्स परस्पर संपर्क में हैं। इन लेन्सों की उभयनिष्ठ अक्ष पर एक बिंदु बिंब रखा गया है।



चित्र 20.15: संपर्क में रखे दो पतले उत्तल लेन्स

आप देखते हैं कि लेन्स A बिंदु O का I_1 पर प्रतिबिंब बनाता है। यह प्रतिबिंब लेन्स B के लिए आभासी बिंब का कार्य करता है और इस प्रकार अन्तिम प्रतिबिंब I पर बनता है। यदि लेन्स A के लिए बिंब दूरी u तथा प्रतिबिंब दूरी υ_1 हों तो लेन्स सूत्र का प्रयोग करने पर हम लिख सकते हैं;

$$\frac{1}{\upsilon_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} \qquad (20.19)$$

यदि लेन्स B के लिए अंतिम प्रतिबिंब दूरी υ हो तो,

$$\frac{1}{\upsilon} - \frac{1}{\upsilon_1} = \frac{1}{f_2} \qquad (20.20)$$

ध्यान रहे कि उपर्युक्त व्यंजक को लिखने में हमने पतले लेन्स B के लिए υ_1 को बिंब दूरी माना है।

समीकरण (20.19) और समीकरण (20.20) को जोड़ने पर हम पाते हैं;

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \qquad (20.21)$$

यदि इस लेन्स-संयोजन के स्थान पर F फोकस दूरी वाले ऐसे एकल लेन्स का प्रयोग किया जाए कि वह O का प्रतिबिंब 1 की उसी स्थिति पर बनाए तो यह लेन्स, दोनों लेन्सों के तुल्य कहा जाएगा। इसे संयोजन का **तुल्य लेन्स** भी कह सकते हैं। तुल्य लेन्स के लिए हम लिख सकते हैं;

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{F} \qquad (20.22)$$

जबकि,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}. \qquad (20.23)$$

यदि P तुल्य लेन्स की क्षमता और P_1 और P_2 क्रमशः अलग-अलग लेन्सों की क्षमताएँ लें तो,

$$P = P_1 + P_2 \qquad (20.24)$$

ध्यान रहे कि समीकरण (20.23) तथा (20.24) यह मानते हुए व्युत्पन्न किए गए हैं कि दो पतले उत्तल लेन्स संपर्क में हैं। ये समीकरण संपर्क में स्थित दो पतले लेन्सों के सभी संयोजनों के लिए मान्य हैं। (ये पतले लेन्स दोनों उत्तल अथवा अवतल एक उत्तल और दूसरा अवतल हो सकता हैं।

उदाहरण: 20.7: 20 cm और 40 cm फोकस दूरियों के दो पतले उत्तल लेन्स परस्पर संपर्क में हैं। तुल्य लेंस की फोकस दूरी और क्षमता परिकलित कीजिए।

हल: संयोजन की फोकस दूरी के लिए सूत्र $\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ है,

अर्थात्
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{20} + \frac{1}{40}$$

$$= \frac{3}{40}$$

अथवा
$$F = \frac{40}{3} = 13.3\text{cm} = 0.133\text{m}$$

तुल्य लेन्स की क्षमता,

$$P = \frac{1}{F} = \frac{1}{0.133} = +7.5 \text{ डाइऑप्टर}$$

टिप्पणियाँ

पाठगत प्रश्न 20.5

1. किसी लेन्स की फोकस दूरी किन कारकों पर निर्भर करती है?
2. विभिन्न वक्रता त्रिज्याओं वाले लेन्स का प्रयोग उसकी अक्ष पर स्थित बिंब का प्रतिबिंब बनाने में किया गया है। यदि बिंब के सम्मुख लेंस के फलक (पृष्ठ) को उलट दिया जाए तो क्या प्रतिबिंब की स्थिति में परिवर्तन होगा?
3. किसी सम उभयोत्तल लेन्स के पदार्थ का अपवर्तनांक 1.5 है। सिद्ध कीजिए कि इसकी फोकस दूरी, वक्रता त्रिज्या के बराबर होगी।
4. जल के अंदर बना वायु का बुलबुला किस प्रकार का लेन्स होता है?
5. लेन्स को जब किसी पारदर्शी द्रव में डुबोया जाता है तो वह अदृश्य हो जाता है। ऐसा क्यों?
6. यदि दो पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याएं क्रमशः + 20 cm तथा –25cm हों तो लेन्स की फोकस दूरी और लेन्स की क्षमता परिकलित कीजिए। ($\mu = 1.5$).
7. क्या संपर्क में स्थित दो लेन्सों से शून्य क्षमता संभव है?
8. 40 cm फोकस दूरी का एक उत्तल लेन्स, 20 cm की फोकस दूरी के अवतल लेन्स के साथ संपर्क में है। इस संयोजन की फोकस दूरी और क्षमता परिकलित कीजिए।

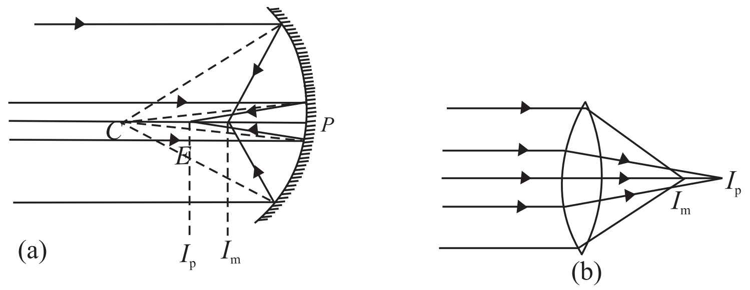
प्रतिबिंब की रचना में दोष

लेन्सों और दर्पणों का हमारे दैनिक जीवन में प्रचुरता से प्रयोग होता है। यह देखा गया है कि इनसे बिंदु का बिंदु प्रतिबिंब प्राप्त नहीं होता। यह बात सूर्य के सामने किसी लेन्स को रखकर और कागज पर उसवे बनने वाले प्रतिबिंब से देखी जा सकती है। आप देखेंगे कि दोनों बिल्कुल सदृश नहीं है। दर्पणों से भी पूर्ण प्रतिबिंब प्राप्त नहीं होता। प्रतिबिंबों की रचना में उत्पन्न दोष विपथन (aberration) कहलाते हैं। विपथन (i) प्रयुक्त लेन्स अथवा दर्पण की गुणता और (ii) प्रयुक्त प्रकाश के प्रारूप (प्रकार) पर निर्भर करते हैं।

लेन्सों और दर्पणों में देखे गए दो मुख्य विपथन (i) गोलीय विपथन तथा (ii) वर्ण विपथन हैं। इन विपथनों के कारण कैमरा, दूरबीन ओर सूक्ष्मदर्शी आदि से निर्मित प्रतिबिंबों में गंभीर दोष उत्पन्न होते हैं।

गोलीय विपथन

ये प्रतिबिंब रचना में एकवर्णी दोष हैं जो अपवर्तक अथवा परावर्तक पृष्ठों की गोलीयता के कारण उत्पन्न होते हैं। उपाक्षीय किरणें तथा उपांत किरणें विभिन्न बिंदुओं क्रमशः I_p और I_m पर प्रतिबिंब का निर्माण करती है (चित्र 20.16)।



चित्र 20.16: उपाक्षीय किरणों तथा उपांत किरणों द्वारा निर्मित क्रमशः प्रतिबिंबों I_p तथा I_m में (a) दर्पण और (b) लेन्स से उत्पन्न गोलीय विपथन

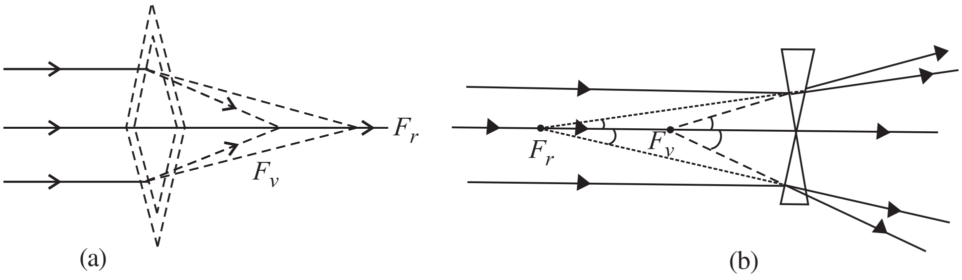
दर्पणों और लेन्सों दोनों में पृष्ठ पर केवल उपाक्षीय किरणों को आपतित कर गोलीय विपथन में कमी की जा सकती है। ''रोक'' (स्टाप) का प्रयोग कर ऐसा किया जाता है। अथवा उपाक्षीय किरणों को अलग करने के लिए केन्द्रिय भाग को ढक दिया जाता है। इस प्रकार केवल उपांत किरणें ही प्रतिबिंब बना पाती है। ''रोक'' (स्टाप) के प्रयोग से हालांकि प्रतिबिंब की द्युति (चमक) में कमी आ जाती है।

दीर्घवृत्तीय अथवा परवलयिक दर्पणों का प्रयोग कहीं अधिक अच्छी विधि है।

लेन्सों में गोलीय विपथन कम करने की अन्य विधियाँ हैं: समतल उत्तल लेन्स का प्रयोग अथवा उत्तल तथा अवतल लेन्स के समुचित संयोजन का प्रयोग।

लेन्सों में वर्ण विपथन

किसी उत्तल लेन्स को ऐसे दो अल्पकोणीय प्रिज्म के तुल्य मापा जा सकता है जिनके आधार एक दूसरे के ऊपर है और अवतल लेन्स ऐसे दो प्रिज्मों के तुल्य होता है जिनके शीर्ष एक दूसरे के ऊपर है। इस प्रकार किसी लेन्स पर आपतित बहुवर्णिक किरण पुंज **परिक्षेपित** हो जाएगा। समातर किरण पुंज विभिन्न रंगीन फोकसों पर फोकसित होगा। गोलीय लेन्सों द्वारा निर्मित प्रतिबिंब का यह दोष **वर्ण विपथन के कारण उत्पन्न होता है (चित्र 20.17)**। स्पष्ट है कि लाल रंग लेन्स से दूर और नीला रंग लेन्स के समीप फोकसित होगा। (अवतल लेन्स में लाल और नीले रंग का फोकसन भी उसी प्रकार परन्तु दूसरे पार्श्व पर होता है।



चित्र 20.17: वर्ण विपथन

इस दोष को दूर करने के लिए हम उपयुक्त पदार्थ के और उपयुक्त फोकस दूरी के अभिसारी लेन्स को उपयुक्त पदार्थ के और उपयुक्त फोकस दूरी के अपसारी लेन्स के साथ संयोजित करते हैं। ऐसा लेन्स संयोजन **अवर्णक लेन्स युग्म** कहलाता है। अवतल लेन्स की फोकस दूरी निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त अवर्णकता के लिए आवश्यक प्रतिबंध द्वारा ज्ञात की जा सकती है:

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = 0$$

जहाँ ω_1 तथा ω_2 दिए गए लेन्सों की परिक्षेपण क्षमताएं हैं।

आपने क्या सीखा

- वास्तविक प्रतिबिंब तब ही बनता है जब परावर्तित किरणें परावर्तन के बाद वास्तव में प्रतिच्छेदन करती हैं (मिलती हैं)। इन्हें परदे पर प्रक्षेपित किया जा सकता है।
- फोकस दूरी, वक्रता त्रिज्या की आधी होती है।

$$f = \frac{R}{2}$$

- बिंब दूरी और प्रतिबिंब दूरी का आवर्धन के साथ निम्नलिखित संबंध है:

$$m = \frac{v}{u}$$

- प्रकाश के अपवर्तन से प्रकाश की चाल में परिवर्तन होता है जब यह एक माध्यम से दूसरे माध्यम में गमन करता है। इससे प्रकाश की किरणें अभिलंब की ओर या अभिलंब से दूर मुड़ जाती हैं।
- अपवर्तनांक μ, दो माध्यमों के अंतरापृष्ठ पर प्रकाश के झुकने या मुड़ने (बंकन) की मात्रा निर्धारित करता है।
- स्नेल नियम को गणितीय रूप में इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \mu_{12}$$

  जबकि i माध्यम 1 में आपतन कोण और r माध्यम 2 में अपवर्तन कोण हैं।
- पूर्ण आंतरिक परावर्तन, अपवर्तन का एक विशेष उदाहरण है जिसमें सघन माध्यम से विरल माध्यम में गमन करते समय प्रकाश, क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर आपतित होता है: क्रांतिक कोण तथा अपवर्तनांक में निम्नलिखित सम्बंध है।

$$\mu = \frac{1}{\sin i_C}$$

- दो गोलीय पृष्ठों अथवा एक गोलीय पृष्ठ और एक समतल पृष्ठ द्वारा परिवद्ध कोई पारदर्शी माध्यम, लेन्स कहलाता है।

- लेन्सों से बने प्रतिबिंब, उनकी फोकस दूरी और उनसे बिंब की दूरी पर निर्भर करते हैं।
- उत्तल लेन्स अभिसारी और अवतल लेन्स अपसारी होते हैं।
- $$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

  $$m = \frac{v}{u}$$

  तथा $$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$$

  फोकस दूरी (f), अपवर्तनांक (μ), वक्रता त्रिज्याएं (R_1, R_2), बिंब दूरी (u) तथा प्रतिबिंब दूरी (v) के मध्य ये सरल संबंध हैं।
- किसी लेन्स की फोकस दूरी ज्ञात करने के लिए न्यूटन के सूत्र का उपयोग किया जा सकता है।
- विस्थापन विधि किसी लेन्स की फोकस दूरी ज्ञात करने की एक अत्यन्त सुविधाजनक विधि है।
- लेन्स की क्षमता व्यक्त करती है कि वह कितना अपसारी अथवा अभिसारी है;

  $$P = \frac{1}{f}$$

  क्षमता को डाइऑप्टर (अथवा SI मात्रक में m^{-1}) में व्यक्त किया जाता है।
- जब f_1 और f_2 फोकस दूरी के दो लेन्सों को संपर्क में रखा जाता है तो तुल्य लेन्स की फोकस दूरी निम्नलिखित संबंध के द्वारा व्यक्त की जाती है:

  $$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

पाठान्त प्रश्न

1. अवतल और उत्तल लेन्सों के उपयोगों को सूचीबद्ध कीजिए।
2. जब अवतल दर्पण तथा उत्तल दर्पण में बिंब (i) अनंत पर (ii) $2f$ पर तथा (iii) f पर हों तो निर्मित प्रतिबिंब की प्रकृति तथा स्थिति कैसी होगी?
3. उन कारकों को सूचीबद्ध कीजिए जिन पर किसी आपतित किरण का पार्श्विक-विस्थापन निर्भर करता है जब वह आयताकार काँच के स्लेबसे गुजरने पर अपवर्तित होती है। यदि आपतन कोण अधिक हो तो पार्श्विक-विस्थापन क्यों अधिक होता है? किरण-आरेख खींच कर दर्शाइए।
4. उन प्रतिबंधों को बताइए जिनके अन्तर्गत प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है।
5. डाइऑप्टर की परिभाषा दीजिए। +1.5 डाइऑप्टर किस अर्थ में –1.5 डाइऑप्टर से भिन्न है।

6. अपवर्तन के कारण प्रकाश की तीव्रता क्यों कम हो जाती है?

7. कोई लैम्प एक दीवार से 4 m की दूरी पर है। उस अवतल दर्पण की फोकस दूरी परिकलित कीजिए जो दीवार पर लैम्प का पांच गुना आवर्धित प्रतिबिंब बनाए। दर्पण को दीवार से कितनी दूरी पर रखा जाना चाहिए?

8. दंत विशेषज्ञ के किसी अवतल दर्पण की वक्रता-त्रिज्या 30 cm है। उसे दांत के कोटर से कितनी दूरी पर रखा जाना चाहिए ताकि कोटर का पांचगुना आवर्धित आभासी प्रतिबिंब प्राप्त हो?

9. लेन्स से 45 cm की दूरी पर स्थित कोई सुई, लेन्स की दूसरी ओर 90 cm की दूरी पर स्थित परदे पर प्रतिबिंब बनाती है। यह लेन्स किस प्रकार का है और इसकी फोकस दूरी निर्धारित कीजिए। यदि सुई का आमाप 5 cm हो तो प्रतिबिंब का क्या आमाप होगा?

10. 3 cm आमाप का कोई बिंब 21 cm फोकस दूरी के अवतल लेन्स के सामने 14 cm की दूरी पर रखा गया है। लेन्स द्वारा बने प्रतिबिंब की प्रकृति बताइए। यदि बिंब को लेन्स से ओर अधिक दूरी पर रखा जाए तो क्या होगा?

11. कोई बिंब किसी उभयोतल लेन्स से 100 cm की दूरी पर रखा गया है जो 20 cm की दूरी पर वास्तविक प्रतिबिंब बनाता है। लेन्स के दो पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याएं क्रमशः 25 cm तथा 12 cm हैं। लेन्स की सामग्री का अपवर्तनांक परिकलित कीजिए।

12. कोई प्रकाश किरण हीरे से काँच में गमन कर रही है। इस किरण के क्रांतिक कोण का मान परिकलित कीजिए जबकि काँच का अपवर्तनांक 1.51 और हीरे का अपवर्तनांक 2. 47 है।

13. संपर्क में स्थित दो समाक्षी पतले उत्तल लेन्सों से 15 cm की दूरी पर एक छोटा बिंब रखा गया है। यदि प्रत्येक लेन्स की फोकस दूरी 20 cm हो तो इस संयोजन की फोकस दूरी और क्षमता तथा बिंब और प्रतिबिंब के मध्य दूरी परिकलित कीजिए।

14. किसी उत्तल लेन्स की फोकस दूरी ज्ञात करते समय बिम्ब को पर्दे से 65 cm की दूरी पर रखा गया। लेन्स की वे दो स्थितियां प्राप्त की गई जिनके लिए बिम्ब के दो स्पष्ट प्रतिबिम्ब पर्दे पर बनें। लेन्स की इन दो स्थितियों के बीच की दूरी 15 cm पाई गई। दिए गए लेनस की फोकस दूरी परिकलित कीजिए।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

20.1

1. (a) समतल दर्पण (जिसकी वक्रता त्रिज्या अनंत है)।

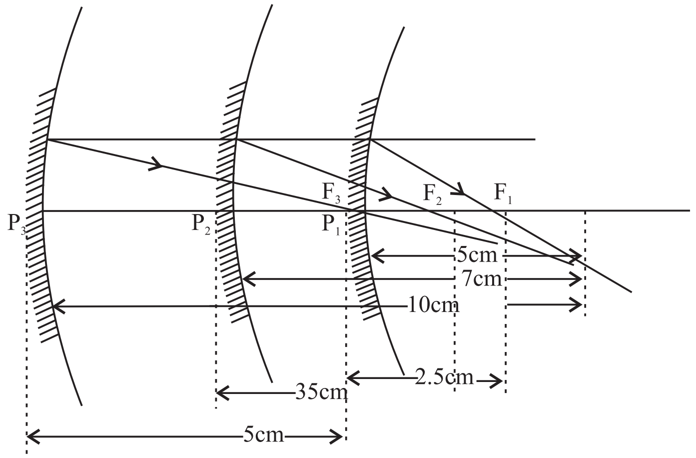
   (b) नहीं। गोलीय दर्पण की फोकस दूरी उसकी वक्रता त्रिज्या की आधी होती है $\left(f = \frac{R}{2}\right)$

   और उसका उस माध्यम से कोई संबंध नहीं होता जिसमें वह डुबाया गया है।

   (c) आभासी

(d) ऐसा इस कारण है कि मुख्य अक्ष के समांतर किरणें, फोकस बिंदु *F* पर अभिसरित होती (मिलती) हैं और *F* से निकलने वाली किरणें दर्पण से परावर्तन के बाद, मुख्य अक्ष के समांतर हो जाती हैं। इस प्रकार *F*, पहले ओर दूसरे फोंकस बिंदु के रूप में कार्य करता है।

2. फोकस दूरी : 2.5cm, 3.5cm, 5cm.



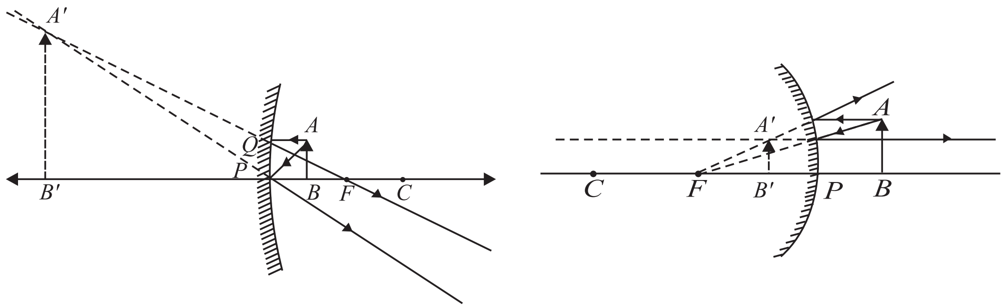
3. $f = -15\text{cm}; f = +15\text{cm}.$

4. डिश ऐन्टेना वक्रित होते हैं ताकि आपतित समांतर किरणें, अभिग्राही पर फोकस हो सकें।

20.2

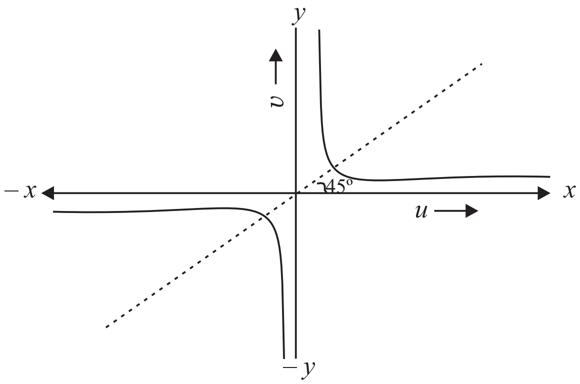
1. दर्पण का ऊपरी भाग उत्तल और निचला भाग अवतल है।

2. अवतल दर्पण के निकट रखे बिंब से परिवर्धित प्रतिबिंब प्राप्त होता है। उत्तल दर्पणों से छोटा सीधा प्रतिबिंब प्राप्त होता है और उसका दृश्य–क्षेत्र विस्तृत होता है।

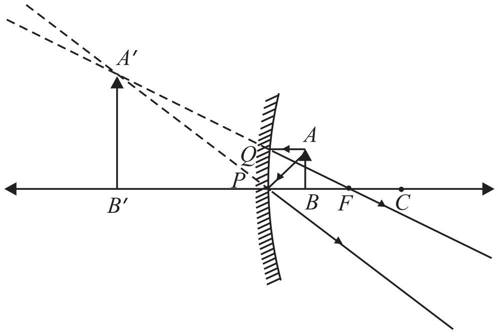


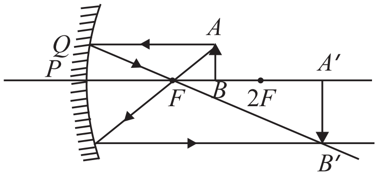
(a) अवतल दर्पण द्वारा बना प्रतिबिंब (b) उत्तल दर्पण द्वारा बना प्रतिबिंब

3. $|u| > f$ के लिए हमें वास्तविक प्रतिबिंब प्राप्त होता है; $u = -2f$ एक ऐसा विशेष उदाहरण है जब दर्पण के वक्रता केन्द्र पर स्थित बिंब, स्वतः इस बिंदु पर वास्तविक प्रतिबिंब बनाता है $(v = -2f)$ $u < f$ के लिए हमें आभासी प्रतिबिंब प्राप्त होता है।



4. जब (i) $u < f$, तथा (ii) $f < u < 2f$.



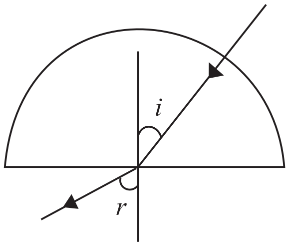


5. (i) दर्पण के सामने 12 cm पर, वास्तविक तथा उल्टा (ii) 0.8 cm
6. $v = -60$ cm, $R = -24$cm   7. $u = -10$ cm, $v = +5$cm
8. $v = 4$ cm

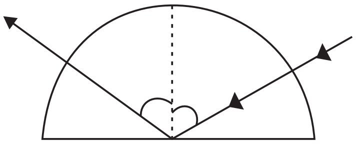
20.3

1. पाश्र्विक विस्थापन नहीं होगा।

2.



$\angle r > \angle i$ जब $\angle i < \angle i_C$

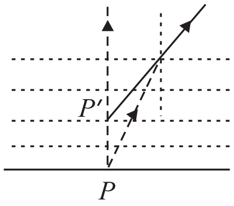


पूर्ण आंतकिर परावर्तन जब $\angle i > \angle i_C$

3. जैसे-जैसे हम ऊँचाई पर जाते हैं वैसे-वैसे वायु का घनत्व और अतः इसका अपवर्तनांक घटता जाता है। परिणामस्वरूप जब सूर्य क्षिजित से नीचे होता है तो उससे आने वाली प्रकाश किरणें विरल से सघन माध्यम में गमन करती हुई जब तक प्रेक्षक के नेत्र तक पहुंचती है अभिलंब की ओर मुड़ जाती हैं। इससे सूर्य का आकार दीर्घित (बड़ा) प्रतीत होता है।

4. वायुमेंडल में वायु की विभिन्न परतों में घनत्व-परिवर्तन के कारण μ के मान में लगातार परिवर्तन होता रहता है। इस कारण वायु का अपवर्तनांक, वायु मंडल के विभिन्न परतों में परिवर्तित होता रहता है। वायुधाराओं और इसके कारण तारे टिमटिमाते हैं।

5. बिंदु P अपवर्तन के कारण P' पर प्रतीत होता है।



6. 36.2^0

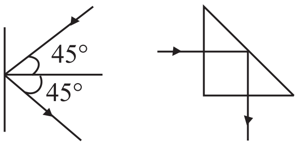
20.4

1. यदि किरण विरल से सघन माध्यम में गमन करती है तो पूर्ण आंतरिक परावर्तन नहीं हो सकता क्योंकि आपतन कोण से अपवर्तन कोण सदैव कम होगा।

2. हाँ, क्रांतिक कोण में परिवर्तन होगा, क्योंकि;

$$\mu_{ag} = \frac{1}{\sin i_c}$$

$$\mu_{\omega g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}}$$

3. 

दूसरे उदाहरण में पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कारण तीव्रता अधिक है।

4. 20cm, $i_c = \sin^{-1} 0.8$

20.5

2. नहीं। लेन्स निर्माता सूत्र में R_1 और R_2 की स्थिति को बदलने पर f का मान प्रभावित नहीं होता। इस कारण प्रतिबिंब उसी स्थिति में बनेगा।

3. लेन्स निर्माता सूत्र में $R_1 = R; R_2 = -R$ तथा $\mu = 1.5$ प्रतिस्थापित करने पर आपको $f = R$ प्राप्त होगा।

4. अवतल लेन्स। परन्तु इसको उत्तल लेन्स जैसा आकार दिया गया है।

5. ऐसा तब होता है जब लेन्स के पदार्थ का अपवर्तनांक, द्रव के अपवर्तनांक के बराबर होता है।

6. $f = 22.2$ cm तथा $P = 4.5$ डाइऑप्टर

7. हाँ, समान फोकस दूरी के उत्तल और अवतल लेन्सों को संपर्क में रखकर;

8. – 40 cm, – 2.5 डाईऑप्टर

अंतिम अभ्यास के प्रश्नों के उत्तर

7. $f = -0.83$, 5m.   8. 12 cm

9. $f = 30$ cm, प्रतिबिंब का साइज (आमाप) = 10 cm, अभिसारी लेन्स;

10. प्रतिबिंब सीधा, आभासी, साइज (आमाप) में छोटा और बिंब की ओर लेन्स से 8.4 cm की दूरी पर स्थित होगा। बिंब को लेन्स से जैसे-जैसे दूर ले जाया जाता है वैसे-वैसे आभासी प्रतिबिंब, लेन्स के फोकस की ओर खिसकता जाता है परन्तु फोकस के आगे कभी नहीं जाता और उसके साइज में क्रमशः कमी होती जाती है।

11. $\mu = 1.5$ 12. 37.7°

13. 10 cm, 10 डाइऑप्टर, 45 cm.

14. f = 15.38 cm

21

प्रकाश का विक्षेपण एवं प्रकीर्णन

पिछले पाठ में आप प्रकाश के परावर्तन, अपवर्तन तथा पूर्ण आतंरिक परावर्तन के बारे में अध्ययन कर चुके हैं। आप दर्पणों और लेंसों से प्रतिबिम्बों के बनने तथा दैनिक जीवन में उनके उपयोग के बारे में भी पढ़ चुके हैं। जब सामान्य प्रकाश के संकीर्ण किरण पुंज का किसी प्रिज्म से अपवर्तन होता है तो हमें रंगो की पट्टी दिखाई देती है। यह परिघटना प्रकाश के परावर्तन या अपवर्तन से भिन्न होनी चाहिए। श्वेत प्रकाश के अपने सात घटकों या तरंगदैर्घ्यों में विभक्त होने को **विक्षेपण** कहते हैं। इस पाठ में आप इस परिघटना के बारे में अध्ययन करेंगे। प्रकृति में इस परिघटना का एक सुन्दर उदाहरण इन्द्रधनुष के रूप में देखने को मिलता है। इस पाठ में आप प्रकाश के प्रकीर्णन की परिघटना का भी अध्ययन करेंगे, जिसके कारण आकाश का रंग नीला और उगता व डूबता हुआ सूर्य लाल दिखाई देता है। रमन प्रभाव के प्रारंभिक ज्ञान की चर्चा भी इस पाठ में की जाएगी।

उद्देश्य

इस पाठ को पढ़ने के पश्चात आप:

- प्रकाश के विक्षेपण की व्याख्या कर पाएंगे;
- प्रिज्म के कोण (A), विचलन कोण (δ), तथा प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक के बीच संबंध स्थापित कर सकेंगे;
- अपवर्तनांक व तरंगदैर्घ्य के बीच संबंध स्थापित कर सकेंगे और प्रिज्म से विक्षेपण की व्याख्या कर पाएंगे;
- प्राथमिक व द्वितीयक इन्द्रधनुषों के बनने की व्याख्या कर सकेंगे;
- प्रकाश के प्रकीर्णन की व्याख्या कर सकेंगे और उसके अनुप्रयोगों को सूचीबद्ध कर सकेंगे; तथा
- रमण प्रभाव की व्याख्या कर सकेंगे।

21.1 प्रकाश का विक्षेपण

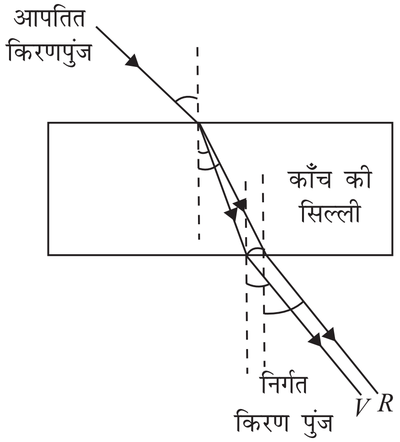
कुछ ग्रहों के चारों ओर के वलयों और इन्द्रधनुष जैसी प्राकृतिक परिघटनाओं की व्याख्या प्रकाश के सरल रेखीय परिगमन के आधार पर नहीं की जा सकती। ऐसी घटनाओं को समझने के लिए प्रकाश को तरंग प्रकृति का माना जाता है। इसके बारे में आप अगले पाठ में पढ़ेंगे। जैसा कि आप जानते हैं, प्रकाश तरंगें अनुप्रस्थ विद्युत-चुम्बकीय तरंगें हैं जो निर्वात में 3×10^8 m s^{-1} की चाल से संचरित होती है। विद्युत-चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के विस्तृत परिसर में दृश्य प्रकाश केवल एक छोटा सा भाग है। सूर्य के प्रकाश में सात पृथक-पृथक रंगों के संगत सात तरंगदैर्घ्य होती हैं। इस प्रकार रंगों की पहचान उनकी तरंगदैर्घ्य से की जा सकती है। आप जान ही चुके हैं कि एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाने पर तरंगों की चाल तथा प्रकाश तरंगों की चाल व उनकी संगत तरंगदैर्घ्य में भी परिवर्तन हो जाता है। जब किसी निश्चित तरंगदैर्घ्य की तरंग मुक्त आकाश से किसी प्रकाशत: सघन माध्यम में प्रवेश करती है तो उसकी चाल कम हो जाती है।

किसी माध्यम के अपर्वतनाँक को निर्वात में प्रकाश के तथा उस माध्यम में उसके वेग के अनुपात से परिभाषित किया जाता है। इसका तात्पर्य यह है कि किसी माध्यम का अपर्वतनांक 3.8×10^{-7} m तथा 5.8×10^{-7} m तरंगदैर्घ्य तरंगों के लिए भिन्न-भिन्न होगा, क्योंकि ये दोनों तरंगे उसी माध्यम में भिन्न-भिन्न चाल से चलेंगीं।

किसी पदार्थ के अपर्वतनांक में तरंगदैर्घ्य के कारण परिवर्तन को वर्ण विक्षेपण कहते हैं। यह परिघटना अपर्वतन से भिन्न है। मुक्त आकाश में, यहां तक कि वायु में भी दृश्य प्रकाश की सभी तरंगो की चाल समान होती है। अत: वे पृथक (या अलग) नहीं होती। ऐसा माध्यम **अक्षेपणी माध्यम** कहलाता है। किन्तु प्रकाशत: सघन माध्यम में प्रकाश की घटक तरंगदैर्घ्य (या वर्ण) भिन्न-भिन्न चाल से चलती हैं, अत: पृथक हो जाती है। ऐसा माध्यम **परिक्षेपी माध्यम** कहलाता है। क्या इससे यह प्रकट होता है कि जब भी प्रकाश किसी सघनतर प्रकाशिक माध्यम से गुजरता है तो उसका वर्ण विक्षेपण हो जाता है? आइये, अब हम इसके बारे में अध्ययन करें।

21.1.1 प्रिज्म से विक्षेपण

प्रकाश के वर्ण विक्षेपण के प्रेक्षण के लिए किसी माध्यम द्वारा रंगो (वर्णों) का पृथक्करण ही पर्याप्त शर्त नहीं है। इन रंगों के बीच पर्याप्त पृथक्करण होना चाहिए और परिक्षेपी माध्यम से निर्गत होने के पश्चात् ये रंग फिर से मिलने नहीं चाहिए। विक्षेपण के प्रेक्षण के लिए कॉच की सिल्ली (चित्र 21.1) उपयुक्त नहीं है क्योंकि निर्गत किरण पुंज की किरणें बहुत पास-पास होती हैं और आपतित किरण पुंज के समांतर होती है।

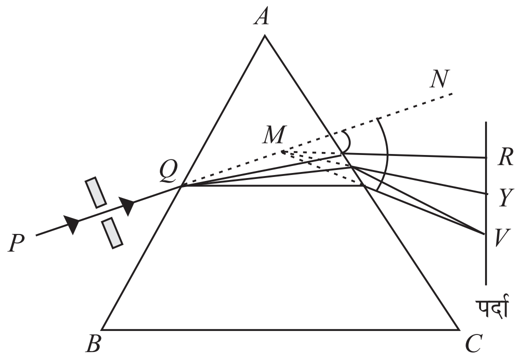


चित्र 21.1 : किसी काँच की सिल्ली से होकर प्रकाश का गमन

प्रकाश के वर्ण विक्षेपण के प्रदर्शन के लिए न्यूटन ने एक प्रिज्म का उपयोग किया। चित्र 21.2 को

देखिए। किसी संकीर्ण झिरी से श्वेत प्रकाश एक प्रिज्म के फलक AB पर पड़ता है और फलक AC से निर्गत प्रकाश विभिन्न रंगों में विभक्त दिखाई देता है। पर्दे पर रंगीन चित्तियाँ देखी जा सकती हैं। AC फलक, AB फलक से अपवर्तित होने वाली किरणों के बीच के प्रथक्करण को बढ़ा देता है। इस प्रकार, आपतित श्वेत प्रकाश *PQ* अपने सात घटक रंगों में विभक्त हो जाता है : बैंगनी, इंडिगो (आसमानी) नीला, हरा, पीला, नारंगी तथा लाल। रंगो के इस क्रम को VIBGYOR से व्यक्त किया जा सकता है। भिन्न-भिन्न चालों से गमन करती तरंगें भिन्न-भिन्न कोणों से अपवर्तित होती हैं और इस प्रकार पृथक हो जाती हैं। श्वेत प्रकाश का अपने घटक रंगों में विभक्त हो जाना **वर्ण विक्षेपण** कहलाता है। MR तथा MV किरणें क्रमशः लाल तथा बैंगनी रंगो के संगत हैं। ये रंग पर्दे पर **स्पेक्ट्रम** बनाते हैं।

आपतित किरण पुंज *PQN* का *MR* तथा *MV* के अनुदिश मुड़ जाना **विचलन** कहलाता है। निर्गत व आपतित किरणों के बीच का कोण **विचलन कोण** कहलाता है। इस प्रकार δ_v तथा δ_r क्रमशः लाल व बैंगनी प्रकाश के लिए विचलन कोणों को प्रकट करते हैं।



चित्र 21.2 : प्रिज्म से प्रकाश का वर्ण विक्षेपण

निम्नलिखित उदाहरण को ध्यान से पढ़िए जो तरंगदैर्घ्य के साथ अपवर्तनांक के परिवर्तन को स्पष्ट कर देगा।

उदाहरण 21.1: 600 nm औसत तरंगदैर्घ्य का एक प्रकाश पुंज काँच के प्रिज्म से अपवर्तन के पश्चात 384 nm, 589 nm तथा 760 nm तरंगदैर्घ्यों के रंगों के पुंजों में विभक्त हो जाती है। इन तरंगदैर्घ्यों के लिए प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिए।

हल : प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक

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

जहां *c* निर्वात में प्रकाश की चाल तथा υ प्रिज्म के माध्यम में प्रकाश का वेग है। क्योंकि तरंग की चाल उसकी तरंगदैर्घ्य तथा आवृत्ति का गुणनफल है:

$c = v\lambda_a$ और $\upsilon = v\lambda_m$

जहाँ λ_a और λ_m क्रमशः वायु तथा उस माध्यम में तरंगदैर्घ्य हैं और υ प्रकाश तरंगों की आवृत्ति है। इस प्रकार

$$\mu = \frac{v\lambda_a}{v\lambda_m} = \frac{\lambda_a}{\lambda_m}$$

384 nm तरंगदैर्घ्य के लिए अपवर्तनांक :

$$\mu_1 = \frac{600 \times 10^{-9}\,\text{m}}{384 \times 10^{-9}\,\text{m}} = 1.56$$

589 nm तरंगदैर्घ्य के लिए अपवर्तनांक :

$$\mu_2 = \frac{600 \times 10^{-9}\,\text{m}}{58.9 \times 10^{-9}\,\text{m}} = 1.02$$

और 760nm तरंगदैर्घ्य के लिए :

$$\mu_3 = \frac{600 \times 10^{-9}\,\text{m}}{760 \times 10^{-9}\,\text{m}} = 0.8$$

हमने देखा कि किसी पदार्थ का अपर्वनांक निर्भर करता है,

- पदार्थ की प्रकृति पर
- प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर

उपरोक्त उदाहरण का एक रोचक परिणाम यह है कि तरंगदैर्घ्य में परिवर्तन $(\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1)$ अपवर्तनांक में परिवर्तन $(\Delta\mu = \mu_2 - \mu_1)$ उत्पन्न करता है। अनुपात $\frac{\Delta\mu}{\Delta\lambda}$ को *प्रिज्म के पदार्थ की स्पेक्ट्रमी परिक्षेपण क्षमता कहते हैं।*

21.1.2 विचलन कोण

अब हम आयतन कोण i, विचलन कोण δ तथा प्रिज्म के कोण A के बीच संबंध स्थापित करेंगे।

मान लीजिए कि किसी प्रिज्म ABC के मुख्य परिच्छेद में फलक AB पर एकवर्णी प्रकाश पुंज PQ आपतित है (चित्र 21.3)। अपवर्तन पर यह प्रिज्म के अंदर QR के अनुदिश और प्रिज्म के फलक AC से बाहर निकलने पर RS के अनुदिश चलती है।

मान लिजिए $\angle A \equiv \angle BAC$ प्रिज्म का अपवर्तक कोण है। हम प्रिज्म के फलक AB तथा AC पर क्रमशः NQ तथा MR अभिलम्ब खींचते हैं और उन्हें पीछे की ओर बढ़ाते हैं ताकि वे O पर मिल जाएं। तब आप देख सकते हैं कि $\angle NQP = \angle i$, $\angle MRS = \angle e$, $\angle RQO = \angle r_1$, और $\angle QRO = \angle r_2$ क्रमशः आपतन कोण, निर्गत कोण तथा AB व AC फलकों पर अपवर्तन कोण हैं। निर्गत किरण RS तथा आपतित किरण PQ के बीच D बिन्दु पर कोण विचलन कोण (δ) कहलाता है।

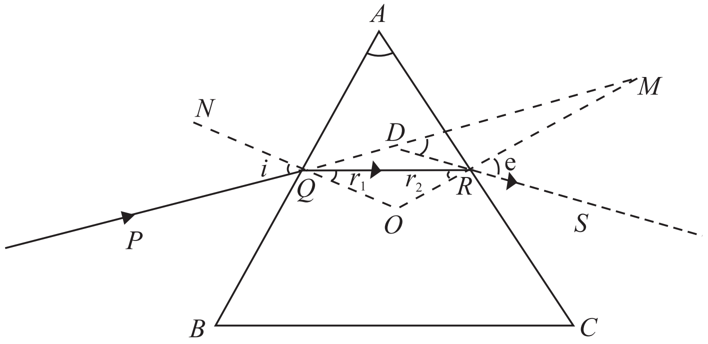
क्योंकि $\angle MDR = \angle\delta$ त्रिभुज QDR का बहिष्कोण है, अतः

$$\angle\delta = \angle DQR + \angle DRQ$$

$$= (\angle i - \angle r_1) + (\angle e - \angle r_2)$$

अथवा

$$\angle\delta = (\angle i + \angle e) - (\angle r_1 + \angle r_2) \qquad (21.1)$$



चित्र 21.3 : प्रिज्म से अपवर्तन

आप जानते हैं कि किसी चतुर्भुज के आंतरिक कोणों का योग 360° होता है। चतुर्भुज $AQOR$ में $\angle AQO = \angle ARO = 90^0$, क्योंकि NQ तथा MR क्रमशः फलकों AB तथा AC पर अभिलम्ब हैं। अतः

$$\angle QAR + \angle QOR = 180^0$$

या $$\angle A + \angle QOR = 180^0 \qquad (21.2)$$

किंतु ΔQOR में

$$\angle OQR + \angle QRO + \angle QOR = 180^0$$

या $$\angle r_1 + \angle r_2 + \angle QOR = 180^0 \qquad (21.3)$$

समीकरणों (21.2) तथा (21.3) की तुलना करने पर, हमें प्राप्त होता है:

$$\angle r_1 + \angle r_2 = \angle A \qquad (21.4)$$

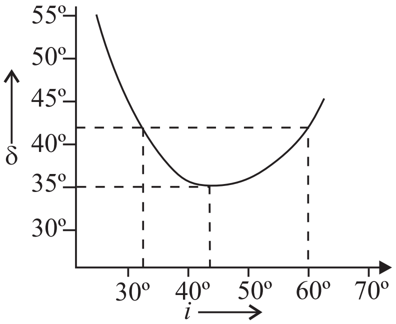
इस परिणाम को समीकरण (21.1) से मिलाने पर, हमें प्राप्त होता है:

$$\angle \delta = (\angle i + \angle e) - \angle A$$

या $$\angle i + \angle e = \angle A + \angle \delta \qquad (21.5)$$

न्यूनतम विचलन कोण

यदि आयतन कोण i में परिवर्तन किया जाए तो विचलन कोण δ में भी परिवर्तन होता है; $\angle i$ के एक निश्चित मान के लिए $\angle \delta$ का मान न्यूनतम हो जाता है, i का मान और अधिक बढ़ाने पर δ का मान बढ़ने लगता है (चित्र 21.4)। विचलन कोण के न्यूनतम मान को *न्यूनतम विचलन कोण* (δ_m) कहते हैं। यह प्रिज्म के पदार्थ तथा प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करता है। वास्तव में दो विभिन्न मान के आपतन कोणों के लिए विचलन कोण का मान एक ही हो सकता है। प्रकाश के उत्क्रमणीयता के नियम के अनुसार, हम पाते है कि



चित्र 21.4 : आपतन कोण और विचलन कोण के बीच ग्राफ

आपतन कोण का दूसरा मान निर्गत कोण (e) के संगत होता है। न्यूनतम विचलन की स्थिति में आपतन कोण का केवल एक मान होता है (अथवा विचलन की स्थिति में आपतन कोण का केवल एक मान होता है (अथवा न्यूनतम विचलन केवल एक विशेष आपतन कोण के लिए ही होता है)। अतः हमें प्राप्त होता है कि

$$\angle e = \angle i$$

इस सत्य का समीकरण (21.5) में उपयोग करने पर और δ के स्थान पर δ_m लिखने पर हमें प्राप्त होता है

$$\angle i = \frac{\angle A + \angle \delta_m}{2} \qquad (21.6)$$

प्रकाश किरणों के उत्क्रमणीयता के नियम तथा उपरोक्त परिणाम (अर्थात् $\angle e = \angle i$ से हमें प्राप्त होता है

$$\angle r_1 = \angle r_2 = \angle r$$

इस परिणाम को समीकरण (21.4) में प्रतिस्थापित करने पर, हम पाते हैं

$$\angle r = \frac{\angle A}{2} \qquad (21.7)$$

न्यूनतम विचलन की स्थिति में प्रकाश पुंज प्रिज्म के अंदर सममिततः तथा उसके आधार के समान्तर होकर गुजरता है। अतः प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक को निम्नलिखित रूप से व्यक्त किया जा सकता है

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \dfrac{A + \delta_m}{2}}{\sin \dfrac{A}{2}} \qquad (21.8)$$

एकवर्णी या बहुवर्णी प्रकाश के लिए प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक μ का मान समीकरण (21.8) का उपयोग कर प्राप्त किया जा सकता है। विभिन्न रंगो (वर्णो) के लिए δ_m का मान भी भिन्न होता है। इससे आपतन कोण का एकमात्र मान प्राप्त होता है और इस मान पर निर्गत किरण सर्वाधिक दीप्त (चमकीली) होती है।

यदि किसी प्रिज्म का कोण A अल्प (कम) हो तो i तथा r का मान भी अल्प रखते हुए हम लिख सकते हैं

$$\sin i = i, \sin r = r, \text{ और } \sin e = e$$

अतः

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r_1} = \frac{i}{r_1} \text{ और } i = \mu r_1$$

साथ ही

$$\mu = \frac{\sin e}{\sin r_2} = \frac{e}{r_2} \quad \text{or} \quad e = \mu r_2$$

अतः

$$\angle i + \angle e = \mu(\angle r_1 + \angle r_2)$$

इस परिणाम को समीकरण (21.4) तथा (21.5), में रखने पर हमें प्राप्त होता है

$$\mu \angle A = \angle A + \angle\delta$$

अथवा

$$\angle\delta = (\mu - 1)\angle A \qquad (21.9)$$

हमें ज्ञात है कि μ का मान प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करता है। अत: विचलन भी तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करेगा। यही कारण है कि δ_V से δ_R भिन्न होता है। क्योंकि काँच में लाल रंग के प्रकाश की चाल बैंगनी रंग के प्रकाश की चाल से अधिक होती है, लाल रंग के प्रकाश का विचलन बैगनी रंग के प्रकाश की तुलना में कम होगा,

$$\delta_V > \delta_R.$$

इसका तात्पर्य है कि $\mu_V > \mu_R$। प्रकाश की तरंगदैर्घ्य के साथ पदार्थ के अपवर्तनांक का यह परिवर्तन प्रकाश के वर्ण विक्षेपण के लिए उत्तरदायी होता है।

21.1.3 कोणीय विक्षेपण तथा परिक्षेपण क्षमता

किन्हीं दो तरंगदैर्ध्यों (रंगों) के विचलन कोणों के अंतर को इन तरंगदैर्घ्य के लिए कोणीय विचलन कहते हैं। लाल और बैगनी रंगों के बीच कोणीय विचलन $\delta_V - \delta_R$ है। स्पेक्ट्रम के दृश्य भाग में पीले रंग की तरंगदैर्घ्य पूरे स्पैक्ट्रम की लगभग औसत तरंगदैर्घ्य है। अत: इस रंग के लिए विचलन δ_Y को, सब विचलनों का औसत विचलन माना जा सकता है।

कोणीय विचलन तथा मध्यमान विचलन के अनुपात को प्रिज्म के पदार्थ की परिक्षेपण क्षमता (ω) कहा जाता है :

$$\omega = \frac{\delta_V - \delta_R}{\delta_Y}$$

समीकरण (21.9) का उपयोग करते हुए हम इस परिणाम को अपर्वतनांको के रूप में भी व्यक्त कर सकते हैं।

$$\omega = \frac{(\mu_V - 1)\angle A - (\mu_R - 1)\angle A}{(\mu_V - 1)\angle A}$$

$$= \frac{\mu_V - \mu_R}{\mu_Y - 1} = \frac{\Delta\mu}{\mu - 1} \qquad (21.10)$$

उदाहरण 21.2 : किसी प्रिज्म का अपवर्तक कोण 30′ है और इसका अपर्वतनांक 1.6. है। प्रिज्म द्वारा उत्पन्न विचलन का परिकलन (गणना) कीजिए।

हल : हम जानते हैं कि, $\delta = (\mu - 1)\angle A$

दिए गए मानों का उपयोग करने पर, हमें प्राप्त होता है

$$\delta = (1.6 - 1) \times \frac{1^o}{2} = \frac{0.6}{2} = 0.3^o = 18'$$

टिप्पणियाँ

उदाहरण 21.3 : किसी प्रिज्म का कोण A है और उसका न्यूनतम विचलन कोण *A*/2 है। एकवर्णीय प्रकाश के लिए प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिए। दिया है $A = 60^o$

हल :

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

दिया है $\delta_m = A/2$, अत:

$$\mu = \frac{\sin \dfrac{A+A/2}{2}}{\sin (A/2)} = \frac{\sin \dfrac{3}{4}A}{\sin \dfrac{A}{2}} = \frac{\sin \dfrac{3}{4}A}{\sin \dfrac{A}{2}} = \sqrt{2} = 1.4$$

पाठगत प्रश्न 21.1

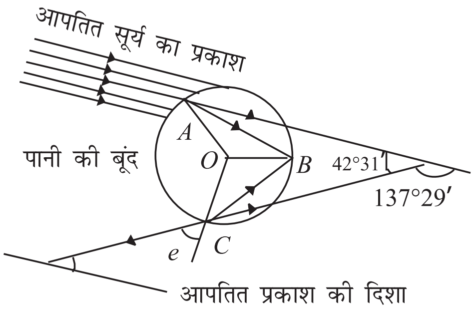
1. अधिकांश सामान्य गैसें दृश्य प्रकाश से वर्ण विक्षेपण क्यों नहीं दिखातीं?
2. श्वेत प्रकाश के घटक रंगों (वर्णों) के लिए μ के आपेक्षिक मान के विषय में अपने ज्ञान के आधार पर बताइए कि कौन का रंग अपने मूल मार्ग से सर्वाधिक विचलित होता है?
3. क्या वर्ण विक्षेपण प्रिज्म के साइज़ तथा उसके कोण पर निर्भर करता है?
4. किसी समबाहु प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक का परिकलन कीजिए यदि न्यूनतम विचलन कोण प्रिज्म के कोण के बराबर हो।

इन्द्रधनुष का निर्माण

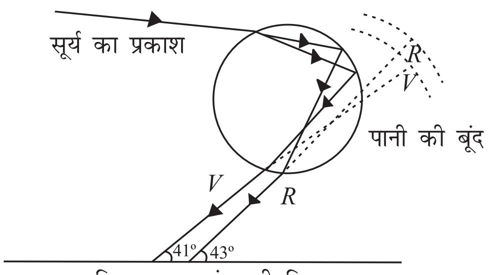
बारिश के दिन वायु में लटकी हुई पानी की बूंदों द्वारा सूर्य के प्रकाश के वर्ण विक्षेपण से प्रकृति में एक भव्य प्रभाव उत्पन्न होता है। यदि सूर्य की ओर हमारी पीठ हो तो, हमें एक दीप्त (चमकीला) व एक धुधंला इन्द्रधनुष दिखाई दे सकता है। चमकीले इन्द्रधनुष को **प्राथमिक** तथा धुँधले को **द्वितीयक इंद्रधनुष** कहते हैं। कभी-कभी हमें केवल एक **इंद्रधनुष** दिखलाई देता है। ये इंद्रधनुष किसी वृत्त की रंगीन चाप के रूप में होते हैं और जिनका संयुक्त केन्द्र सूर्य को हमारी आंख से जोड़ने वाली सरल रेखा पर होता है। इन्द्रधनुष को प्रात: या सांयकाल में किसी फुहारे में भी देखा जा सकता है जब सूर्य की किरणें पानी की बूंदों पर किसी विशेष कोण पर पड़ रही होती हैं।

प्राथमिक इन्द्रधनुष

प्राथमिक इन्द्रधनुष पानी की बूंद द्वारा सूर्य के प्रकाश के दो अपवर्तनों तथा एक आतंरिक परावर्तन से बनता है (चित्र 21.5aदेखिए)। दकार्त ने स्पष्ट किया था कि इन्द्रधनुष उन किरणों के द्वारा दिखाई देता है जिनका न्यूनतम विचलन होता है। सूर्य के प्रकाश की वे समांतर किरणों जिनका विचलन 137º29′ होता है या जो आपतित किरण से हमारी आंख पर 42º31′ का कोण बनाती हैं, पानी की बूंद से बाहर निकलने के पश्चात् इन्द्रधनुष के चमकीले रंगों को उत्पन्न करती हैं। पानी के कारण वर्ण विक्षेपण के कारण भिन्न-भिन्न रंग (लाल से बैगनी तक) अपने-अपने चाप (या वृतांश) बनाते हैं, जो लाल रंग के लिए 43º और बैंगनी के लिए 41º के शंकुओं के अंदर होते हैं और इन्द्रधनुष का बाहरी व भीतरी भाग बनाते हैं (चित्र 21.5 b)।



(a)

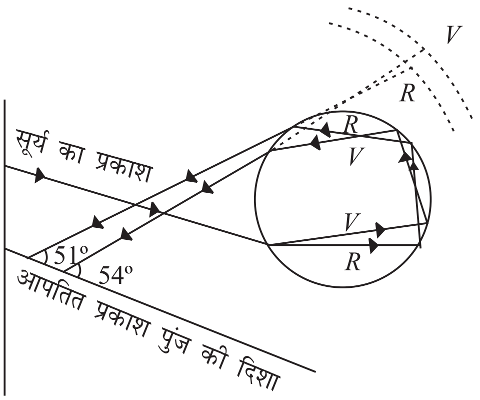


(b)

चित्र. 21.5 : (a)प्रकाश की एक किरण जिसका पानी की बूंद से दो बार अपरावर्तन तथा एक बार आंतरिक परावर्तन होता है। मध्यमान न्यूनतम विचलन कोण 137º29′, और (b) पानी की बूंद द्वारा वर्ण विक्षेपण

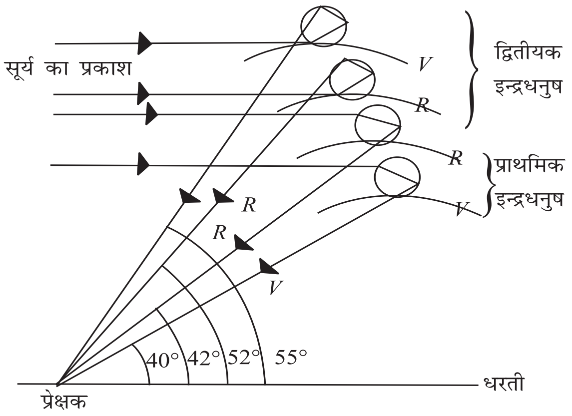
द्वितीयक इन्द्रधनुष

द्वितीयक इन्द्रधनुष पानी की बूंद से सूर्य के प्रकाश के दो बार अपवर्तन व दो बाद आंतरिक परावर्तन से बनता है। लाल व बैगनी रंगों के लिए न्यूनतम विचलन कोण क्रमश: 231º तथा 234º होते हैं। अत: ये लाल रंग के लिए 51º का तथा बैंगनी रंग के लिए 54º का शंकु बनाते हैं। चित्र 21. 6 से स्पष्ट है कि द्वितीयक इन्द्रधनुष में लाल रंग उसके भीतरी भाग तथा बैंगनी रंग उसके बाहरी भाग में होगा।



चित्र 21.6 : द्वितीयक इंद्रधनुष का बनना

चित्र 21.7 में प्राथमिक तथा द्वितीयक इन्द्रधनुषों का एक साथ बनना दिखाया गया है। दो प्रकार के इन्द्रधनुषों के बीच का स्थान अपेक्षाकृत धंधुला होता है। ध्यान दीजिए कि द्वितीयक इन्द्रधनुष प्राथमिक इन्द्रधनुष के ऊपर होता है।



चित्र 21.7 : प्राथमिक तथा द्वितीयक इन्द्रधनुषों का एक साथ बनना

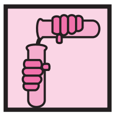
21.2 वायुमंडल में प्रकाश का प्रकीर्णन

दिन में निर्मल आकाश हमें नीला दिखाई देता है। लेकिन बादल श्वेत दिखाई देते हैं। इसी प्रकार, सूर्य के प्रकाश में रत्नों व क्रिस्टलों से चमकीले रंगों का उत्पन्न होना हमारा ध्यान आकर्षित करता है। क्या आप जानना चाहेंगे यह क्यों और कैसे होता है? इन परिघटनाओं की प्रकाश के प्रकीर्णन के आधार पर व्याख्या की जा सकती है। यदि धूल व कणों से रहित बैंन्जीन द्रव को सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में पार्श्व से देखा जाए तो यह चटकीले नीले रंग का दिखाई देता है।

21.2.1 प्रकाश का प्रकीर्णन

यह परिघटना विकिरणों की पदार्थ के साथ अन्योन्यक्रिया (पारस्परिक क्रिया) के कारण होती है। पृथ्वी के वायुमंडल में धूल के कण विद्यमान होते हैं। जब सूर्य का प्रकाश उन पर पड़ता है तो, वह सभी दिशाओं में विसरित हो जाता है। यही कारण है कि प्रकाश उन स्थानों व कोनों तक भी पहुंच जाता है जहां वह सामान्यत: स्रोत से सीधे नहीं पहुँच सकता।

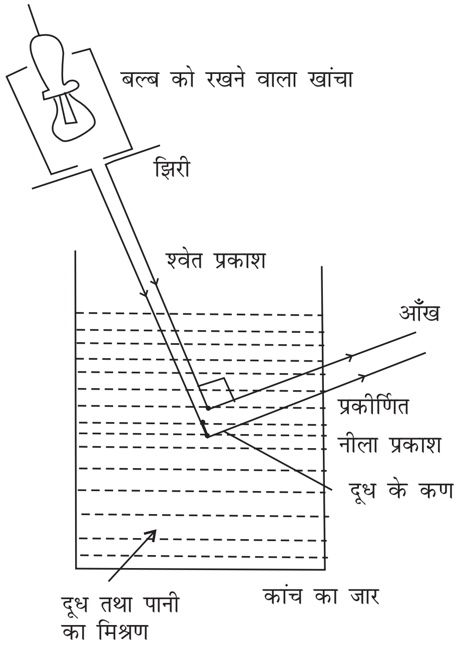
आइए, हम एक सरल क्रियाकलाप करें।



क्रियाकलाप 21.1

एक काँच का जार या टब लेकर इसमें थोडा सा दूध मिलाकर पानी भर दें। एक दूधिया बल्ब से एक संकीर्ण प्रकाश पुंज को इस पर आपतित होने दें। प्रकाश को 90^{o} पर देखें। आप पानी में से एक नीला किरण पुंज देखेंगे। यह प्रयोग दर्शाता है कि प्रकीर्णन के पश्चात् किसी निश्चित दिशा में प्रकाश की तरंगदैर्घ्य विलक्षण रूप से बदल जाती है (चित्र 21.14)।

प्रकीर्णन की परिघटना दो चरणों की प्रक्रिया है। प्रकीर्णक द्वारा प्रकाश का अवशोषण और फिर उसके द्वारा सभी संभव दिशाओं में प्रकाश का तत्काल पुनः उत्सर्जन। इस प्रकार यह परिघटना परावर्तन से भिन्न है। प्रकीर्णन प्रकाश परावर्तन के नियमों का पालन नहीं करता। यह ध्यान में रखना महत्वपूर्ण है कि कणों का साइज उस पर आपतित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य से बड़ा होना चाहिए। बड़े साइज का कण सभी तरंगदैर्घ्यों का समान रूप से प्रकीर्णित करेगा। प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता रेले के प्रकीर्णन के नियम द्वारा प्राप्त होती है। इस नियम के अनुसार प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता उसकी तरंगदैर्घ्य के चतुर्थ घात की समानुपाती होती है :



चित्र 21.8 :दूध के कणों द्वारा प्रकाश का प्रकीर्णन

$$I \alpha \frac{1}{\lambda^4}$$

यहाँ I प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता तथा λ उसकी तरंगदैर्घ्य है। अतः, जब प्रकीर्णक कण पर प्रकाश पड़ता है तो, नीले रंग के प्रकाश का प्रकीर्णन सर्वाधिक तथा लाल रंग का सबसे कम होता है।

उदाहरण 21.4 : जब सूर्य का प्रकाश किसी चिमनी के धुएँ पर पड़ता है तो प्रकीर्णित प्रकाश में 3934Å, 5890Å तथा 6867Å तरंगदैर्घ्य की तीन तरंगें पाई जाती हैं। इनमें से किस का प्रकीर्णन सबसे अधिक तीव्र होगा।

हल : प्रकीर्णित प्रकश की तीव्रता निम्नानुसार प्राप्त होती है :

$$I \alpha \frac{1}{\lambda^4}$$

चूंकि 3934Å सबसे छोटी तरंगदैर्घ्य है, अतः इस का प्रकीर्णन सर्वाधिक तीव्र होगा।

प्रकाश के प्रकीर्णन के आधार पर, हम इनकी व्याख्या कर सकते हैं कि आकाश का रंग नीला क्यों लगता है, बादल क्यों श्वेत लगते हैं तथा उगता और अस्त होता सूर्य क्यों लाल लगता है।

सी.वी. रमन्

(1888 – 1970)

चन्द्रशेखर वेंकट रमन अभी तक भौतिकी में नोबेल पुरस्कार 1930 प्राप्त करने वाले एकमात्र भारतीय हैं। भौतिकी के प्रति उनका लगाव इतना तीव्र था कि उन्होंने भारतीय वित्त विभाग में एक अधिकारी के अपने पद से त्यागपत्र देकर कोलकाता विश्वविद्यालय के भौतिकी विभाग में भौतिकी के पालित प्रोफेसर का पद स्वीकार कर लिया उनके मुख्य

योगदान हैं: प्रकाश के प्रकीर्णन पर रामन् प्रभाव, प्रकाश का आण्विक विवर्तन, धर्नुरज्जुओं का यांत्रिक सिद्धांत, एक्स किरणों का विवर्तन, वाद्य यंत्रों का सिद्धांत तथा क्रिस्टलीय भौतिकी। भारतीय विज्ञान संस्थान, बंगलौर के निदेशक के रूप में और तत्पश्चात रमन् शोध संस्थान के संस्थापक के रूप में उन्होंने भारतीय विज्ञान की बहुत बड़ी सेवा की और स्वतंत्रता पूर्व के काल में उसे एक सुदृढ़ आधार प्रदान किया।

(A) आकाश का नीला रंग

हम जानते हैं कि वायुमंडल में उपस्थित वायु के अणुओं, पानी की बूंदों तथा धूल के कणों से प्रकाश के प्रकीर्णन की व्याख्या रेले के नियम से हो सकती है। छोटी तरंगदैर्घ्य की तरंगों का प्रकीर्णन बड़ी तरंगदैर्ध्य के तरंगों की तुलना में अधिक होता है। अत: नीले प्रकाश का लाल प्रकाश की अपेक्षा लगभग छह गुना अधिक तीव्रता से प्रकीर्णन होता है, क्योंकि नीले प्रकाश की तरंगदैर्घ्य लाल रंग की तरंगदैर्घ्य की लगभग 0.7 गुना होती है। इससे प्रकीर्णित प्रकाश में बैंगनी, नीले तथा हरे रंग प्रचुर मात्रा में हो जाते हैं, और अधिक प्रकीर्णन से बैंगनी प्रकाश प्रेक्षक की आँख तक नहीं पहुँचता क्योंकि आँख बैंगनी प्रकाश के लिए उसके आसपास के अन्य तरंगदैर्घ्यों (नीले) से कम सुग्राही है। अत: हम सूर्य से दूर आकाश को देखते हैं तो वह नीला दिखाई देता है।

उदाहरण 21.5 : किसी बहुत ऊँचाई पर उड़ते हुए अंतरिक्ष यान में स्थित अंतरिक्ष यात्री को आकाश किस रंग का दिखाई देगा?

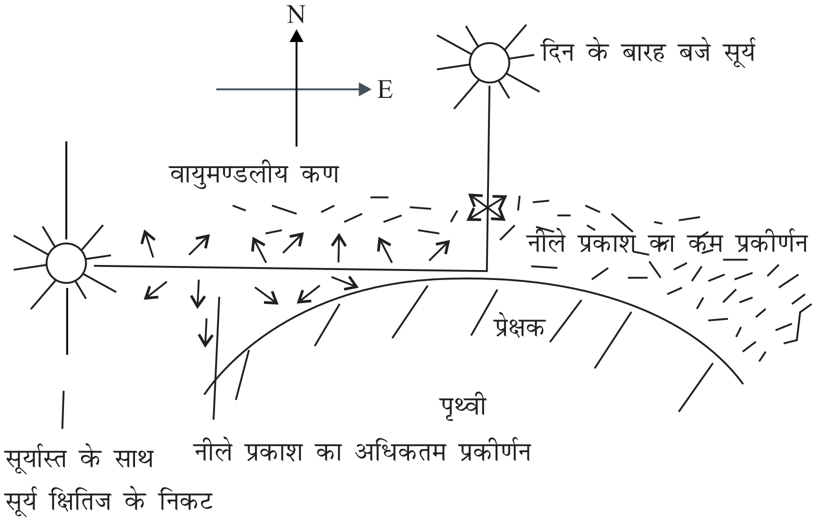
हल : अधिक ऊँचाई पर धूल-कणों तथा वायु के अणुओं की अनुपस्थिति के कारण सूर्य के प्रकाश का प्रकीर्णन नहीं होगा, अत: आकाश उसे काला दिखाई देगा।

(B) बादलों का श्वेत रंग

बादल पानी की छोटी-छोटी बूँदों के मिलने से बनते हैं, जिनका साइज़ दृश्य प्रकाश की औसत तरंगदैर्घ्य से बड़ा हो पाता है। ये बूँदें सभी तरंगदैर्घ्यों (5000Å) का लगभग समान तीव्रता से प्रकीर्णन कर देती हैं। अत: परिणामी प्रकीर्णित प्रकाश श्वेत होता है। इस प्रकार बादलों की पतली परत श्वेत प्रतीत होती है। घने बादलों के विषय में विचार कीजिए और बताइए कि इनका रंग कैसा होगा?

(C) सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य का लाल रंग

अब हम सूर्योदाय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य के लाल रंग का कारण समझ सकते है। प्रात: व सायंकाल के समय जब सूर्य क्षितिज पर होता है, तो प्रकाश को वायुमण्डल में लम्बी दूरी तय करनी पड़ती है। बैंगनी और नीली तरंगदैर्घ्य का धूल के कणों तथा वायु के अणुओं द्वारा लगभग 90° पर प्रकीर्णन हो जाता है। इस प्रकार सूर्य के प्रकाश से छोटी तरंगदैर्घ्य लगभग हट जाती हैं और लाल रंग की लम्बी तरंगदैर्घ्य प्रेक्षक तक पहुँचती है (चित्र 21.9)। अत: सूर्य लाल दिखाई देता है।



चित्र 21.9 : सूर्योदय तथा सूर्यास्त पर सूर्य का लाल रंग (नीला-प्रकाश प्रकीर्णित हो पाता है)

दोपहर के समय, सूर्य शीर्ष पर होता है और प्रेक्षक से उसकी दूरी तुलनात्मक रूप से कम होती है। नीले रंग का भी प्रकीर्णन कम होता है। परिणाम स्वरूप सूर्य श्वेत, वास्तव में किरमिजी रंग का दिखाई देता है।

21.2.2 रमन प्रभाव

जब प्रकाश विकिरणें का किसी (ठोस, द्रव या गैसीय) पारदर्शी पदार्थ से प्रकीर्णन होता है तो प्रकीर्णित प्रकाश विकिरणों की आवृत्ति आपतित विकिरणों की अपेक्षा कम भी हो सकती हैं और अधिक भी। यह परिघटना रमन प्रभाव कहलाती है, क्योंकि इसका प्रेक्षण पहली बार, 1926 में, सी. वी. रमन द्वारा किया गया था। इस प्रकाशिक परिघटना के ही समान एक्स किरणों के प्रकीर्णन की घटना का प्रेक्षण इससे पहले ए एच. कॉम्पटन द्वारा किया जा चुका था। प्रकीर्णित विकिरणों का स्पेक्ट्रम रमन स्पेक्ट्रम कहलाता है। इसमें आपतित विकिरणों से अधिक आवृत्तियों की रेखाएं भी मौजूद हैं (जिन्हें प्रति-स्टॉक रेखाएं कहते है) और आपतित विकिरणों से कम आवृति की रेखाएं भी विद्यमान हैं (जिन्हें स्टॉक रेखाएं कहते हैं)।

रमन प्रभाव की एक सरल व्याख्या नीचे दिए अनुसार की जा सकती है। जब प्रकाश विकिरण किसी पदार्थ से अन्योन्य क्रिया करते हैं तो तीन संभावनाएं हो सकती हैं। पहली संभावना यह है कि पदार्थ से अन्योन्य क्रिया करने वाले विकिरणों की ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता है। अत: इसकी आवृत्ति अपरिवर्तित रहती है। दूसरी संभावना यह है कि प्रकाश विकिरण अपनी कुछ ऊर्जा पदार्थ को दे दें। परिणामस्वरूप, प्रकाश विकिरणों की ऊर्जा कुछ कम हो जाएगी (स्टॉक रेखाओं के संगत)। तीसरी संभावना यह है कि आपतित विकिरण पदार्थ कणों से उस अवस्था में अन्योन्य क्रिया कर सकते हैं, जब वे पहले से ही उद्दीप्त हों। इस प्रक्रम में विकिरणों की ऊर्जा और आवृत्ति बढ़ जाएगी (प्रति स्टॉक रेखाओं के संगत)।

रमन प्रभाव के विभिन्न क्षेत्रों में अनेक अनुप्रयोग हैं। सी.वी. रमन को उनकी इस खोज के लिए 1930 में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया था।

पाठगत प्रश्न 21.2

1. घने बादल काले क्यों दिखाई देते हैं?
2. वर्षा होने के पश्चात् दिन में स्वच्छ आकाश गहरा नीला क्यों दिखाई देता है?
3. क्या आप सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य के लाल रंग के प्रदर्शन के लिए किसी प्रयोग का सुझाव दे सकते हैं?
4. किसी कृत्रिम उपग्रह से लिए गए फोटोग्राफ में आकाश काला क्यों दिखाई देता है?
5. प्रतिस्टॉक रेखाएं क्या होती हैं?

आपने क्या सीखा

- केवल एक ही तरंगदैर्घ्य या रंग का प्रकाश एकवर्णीय कहलाता है, किंतु सूर्य का प्रकाश जिस में कई रंग या तरंगदैर्घ्य हैं बहुवर्णीय है।
- किसी प्रकाशतः सघन माध्यम में प्रवेश करने पर प्रकाश के अपने घटक तरंगदैर्घ्य में विभक्त होने को वर्ण विक्षेपण कहते हैं।
- प्रकाश के विक्षेपण के लिए प्रिज्म का उपयोग किया जाता है और जब विक्षेपण से प्राप्त प्रकाश को किसी पर्दे पर लिया जाता है तो स्पेक्ट्रम बनता है।
- यदि आपतन कोण और निर्गत कोण बराबर हों तो विचलन कोण न्यूनतम होता है। इस स्थिति में उस रंग के प्रकाश के लिए किरणपुंज तीव्रतम होगा।
- किसी छोटे कोण वाले प्रिज्म के लिए विचलन कोण δ तथा अपवर्तनांक μ के बीच का संबंध होता है : $\delta = (\mu - 1)\, A$
- प्रत्येक रंग के लिए किसी निश्चित कोण पर वर्षा की बूंदों से सूर्य के प्रकाश के वर्ण विक्षेपण से इन्द्रधनुष बनता है, जिससे न्यूनतम विचलन की शर्त की संतुष्टि होती है।
- इन्द्रधनुष दो प्रकार के होते हैं: प्राथमिक और द्वितीयक। प्राथमिक इन्द्रधनुष की बाहरी सतह लाल किन्तु भीतरी सतह बैंगनी होती है, शेष रंग इनके बीच में, (VIBGYOR) के क्रम में होते है। द्वितीयक इन्द्रधनुष में रंगों का विन्यास प्राथमिक के ठीक विपरीत होता है।
- आकाश का नीला रंग, बादलों का श्वेत रंग और सूर्योदय व सूर्यास्त के समय सूर्य का रक्ताभ रंग प्रकाश के प्रकीर्णन के कारण होता है। प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता तरंगदैर्घ्य के चतुर्थ घात के प्रतिलोमानुपाती होती है $\left(I \,\alpha \frac{1}{\lambda^4}\right)$। इसे रेले का नियम कहते हैं। इस प्रकार नीले रंग का प्रकीर्णन लाल रंग से अधिक होता है।

- जब प्रकाश विकिरणों का किसी पारदर्शी पदार्थ से प्रकीर्णन होता है तो प्रकीर्णित विकिरणों की आवृत्ति आपतित विकिरणों से अधिक या कम हो सकती है। यह परिघटना रमन प्रभाव कहलाती है।

पाठांत प्रश्न

1. दर्शाइए कि किसी प्रिज्म के लिए $i + e = A + \delta$.
2. विक्षेपण उत्पन्न करने के लिए आप छोटे कोण का प्रिज्म लेंगे या बड़े कोण का ? क्यों?
3. किन प्रतिबंधों के अंतर्गत किसी प्रिज्म द्वारा विचलन उसके अपवर्तनांक का समानुपाती होता है?
4. गहरे सागरों में पानी का रंग नीला क्यों लगता है? व्याख्या कीजिए।
5. किसी 60^0 कोण वाले प्रिज्म के लिए न्यूनतम विचलन कोण 39^0 है। प्रिज्म के काँच का अपर्वतनांक ज्ञात कीजिए।
6. क्राउन कांच द्वारा उत्पन्न लाल, पीले तथा बैंगनी रंगो का विचलन क्रमशः 2.84^o, 3.28^o और 3.72^o है। इस काँच के पदार्थ की परिक्षेपण क्षमता का परिकलन कीजिए।
7. निम्नलिखित आंकड़ों से फ्लिन्ट काँच की परिक्षेपण क्षमता ज्ञात कीजिए: $\mu_C = 1.6444$, $\mu_D = 1.6520$ और $\mu_F = 1.6637$, जहाँ C, D & F फ्रॉनहॉफर–नामपद्धति के अनुसार है।
8. किसी लेन्स को उन दो प्रिज्मों से मिला मान सकते हैं जिनके आधार परस्पर जुड़े हैं। क्या किसी लेंस के उपयोग से हम वर्ण विक्षेपण का प्रेक्षण कर सकते है? अपने उत्तर के लिए उचित तर्क दीजिए।
9. मानव नेत्र में एक उत्तल लेंस होता है। क्या हम केवल अपनी आँख से वर्ण विक्षेपण का प्रेक्षण कर सकते हैं?

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

21.1

1. सभी साधारण गैसों में दृश्य प्रकाश की विभिन्न तरंगदैर्घ्यों के गमन का वेग लगभग एक समान होता है। अतः उनसे दृश्य प्रकाश का वर्ण विक्षेपण नहीं होता। उनका अपवर्तनांक भी 1 के बहुत निकट होता है।
2. बैंगनी, क्योंकि $\lambda_r > \lambda_v$ और किसी प्रकाशतः सघन माध्यम में लाल रंग के प्रकाश का वेग बैंगनी प्रकाश से अधिक होता है।
3. नहीं

4. $\mu = \dfrac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3} = 1.732$

21.2

1. यह सूर्य के प्रकाश का अवशोषण करता है।
2. इसमें धूल के कण और पानी के बड़े अणु नहीं रह जाते और अब प्रकीर्णन ठीक रेले के नियम के अनुसार ही होता है।
3. हम एक गोले पेंदी के फ्लास्क में सोडियम थायोसल्फेट लेकर उसमें थोड़ा सा सल्फ्यूरिक एसिड डालते हैं। किसी अधिक शक्ति के बल्ब से इसको प्रदीप्त करने पर हम सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य के रंग के सदृश देख सकते हैं।
4. बहुत ऊँचाई पर सूर्य के प्रकाश का प्रकीर्णन करने के लिए कण नहीं होते। इससे आकाश काला दिखाई देता है।
5. जिन स्पेक्ट्रमी रेखाओं की आवृत्ति आपतित विकिरणों से अधिक होती है वे प्रतिस्टॉक रेखाएं कहलाती हैं।

पाठान्तर प्रश्नों के उत्तर

5. 1.5   6. 0.27

7. 0.03

22

तरंग परिघटना एवं प्रकाश

इस मॉड्यूल के पिछले दो पाठों में आपने परावर्तन, अपवर्तन, विक्षेपण तथा प्रकाश के प्रकीर्णन के बारे में ज्ञान प्राप्त किया। इनको समझने के लिए हमने इस तथ्य का उपयोग किया था कि प्रकाश सरल रेखा में चलता है। किंतु यह धारणा कोनों पर प्रकाश के मुड़ने (विवर्तन) और प्रकाश तरंगों के अध्यारोपण से ऊर्जा के पुन: वितरण की व्याख्या करने में असफल रही। इन प्रेक्षित परिघटनाओं की व्याख्या केवल प्रकश की तरंग प्रकृति के आधार पर की जा सकी। न्यूटन के समकालीन वैज्ञानिक क्रिस्चियन हाइगेन्स की अभिधारणा थी कि प्रकश तरंग रूप में होता है और प्रकाश का तरंग सिद्धांत व्यतिकरण तथा विवर्तन पर प्रयोगों के प्रेक्षणों से नि:संदेह रूप से स्थापित हो गया। इस पाठ में, आप प्रकाश के ध्रुवीकरण के बारे में भी पढ़ेंगे, जिसने निर्णायक रूप से सिद्ध कर दिया कि प्रकाश तरंग स्वरूप होता है और ये तरंगें अनुप्रस्थ होती हैं।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के पश्चात आप

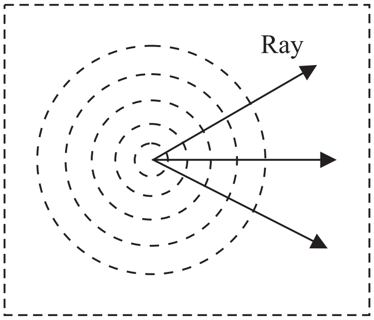
- हाइगेन्स के सिद्धांत के कथन को स्पष्ट कर सकेंगे और इसका तरंग गति की व्याख्या करने में उपयोग कर सकेंगे;
- प्रकाश के व्यतिकरण और विर्वतन की परिघटना की व्याख्या कर सकेंगे;
- किसी एकल-स्लिट से प्रकाश के विर्वतन की व्याख्या कर सकेंगे;
- यह प्रदर्शित कर सकेंगे कि प्रकाश का ध्रुवीकरण उसकी तरंग प्रकृति को स्थापित करता है; और
- ब्रूस्टर के नियम को व्युत्पन्न कर सकेंगे।

22.1 हाइगेन्स का सिद्धांत

हाइगेन्स ने माना कि प्रकाश एक तरंग है जो एक परिकल्पित माध्यम ईथर में गमन करती है। इस परिकल्पित माध्यम का विचित्र गुण है कि यह सर्वव्यापी संपूर्ण दिक्स्थान में, यहाँ तक कि निर्वात् में भी उपस्थित

रहता है। प्रकाश के स्रोत से कम्पन तरंगों के रूप में संचरित होते हैं और उनके द्वारा वाहित ऊर्जा का सभी दिशाओं में समान रूप से वितरण हो जाता है। **तरंगाग्र** की अभिधारणा हाइगेन्स के सिद्धांत का केन्द्र है। अब हम एक सरल क्रियाकलाप से यह समझें कि तरंगाग्र क्या होता है।

क्रियाकलाप 22.1

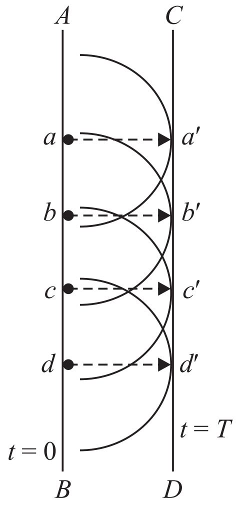


चित्र 22.1: **पानी की सतह पर वृत्ताकार तरंगाग्र**

एक चौड़ी पेंदी का पानी से भरा टब लीजिए और इसमें पत्थर का एक टुकड़ा डाल दीजिए। आप क्या देखते हैं? आप देखेंगे कि पानी के अणुओं के ऊपर और नीचे गति के कारण पानी की सतह पर बनती हुई उर्मिकाएं चारों ओर फैल जाती हैं। यदि इन उर्मिकाओं को ध्यान से देंखे तो आप पाएंगे कि किसी भी उर्मिका की परिधि पर स्थित प्रत्येक बिन्दु समान गति की स्थिति में है। अर्थात् किसी उर्मिका की परिधि पर स्थित प्रत्येक बिन्दु समान आयाम तथा कला में दोलन करता है। दूसरे शब्दों में हम कह सकते हैं कि किसी उर्मिका की परिधि उन बिन्दुओं का बिन्दुपथ है जो किसी क्षण एक ही कला में कम्पन करते हैं और इसे **तरंगाग्र** कहते हैं। अत: पानी की सतह पर विक्षोभ के स्थान से पानी की सतह पर फैलती हुई वृत्ताकार उर्मियां एक वृत्ताकार तरंगाग्र को प्रदर्शित करती हैं। स्पष्टत: तरंगाग्र पर स्थित प्रत्येक बिन्दु की विक्षोभ बिन्दु अर्थात तरंगों के स्रोत से समान दूरी होती है। प्रकाश के किसी बिन्दु स्रोत के लिए किसी समदैशिक माध्यम में उन बिन्दुओं का बिन्दुपथ (लोकस), जहां सभी तरंगे एक ही कला में हैं, एक गोला होगा। इस प्रकार प्रकाश का बिन्दु स्रोत गोलाकार तरंगाग्र उत्सर्जित करता है। दो आयामों में जैसे कि पानी की सतह पर किसी बिन्दु स्रोत से उत्सर्जित तरंगाग्र वृत्ताकार प्रतीत होता है। इसी प्रकार का कोई सरलरेखीय स्रोत बेलनाकार तरंगाग्र उत्सर्जित करता है। तरंग्राग के किसी बिन्दु पर लम्ब उस बिन्दु पर तरंगाग्र की गति की दिशा को प्रकट करता है। यह रेखा प्रकाश की **किरण** कहलाती है, और किरणों के समूह को प्रकाश पुंज कहा जाता है। जब प्रकाश स्रोत बहुत दूरी पर होता है तो तरंगाग्र के किसी छोटे भाग को **समतल तरंगाग्र** माना जा सकता है।

हाइगेन्स के सिद्धांत के अनुसार:

- किसी तरंगाग्र का प्रत्येक बिन्दु एक नये विक्षोभ का स्रोत बन जाता है जो माध्यम में नियत वेग से सब दिशाओं में प्रसारित हो जाते हैं।
- अगले किसी क्षण पर तरंगाग्र की स्थिति इन द्वितीयक तरंगिकाओं का अग्रवर्ती सर्वनिष्ट आवरण खींचकर प्राप्त की जा सकती है।
- किसी समदैशिक माध्यम में, तरंगों द्वारा वाहित ऊर्जा सभी दिशाओं में समान रूप से प्रसारित हो जाती है।
- यदि किसी तरंगाग्र की प्रारंभिक स्थिति, आकार, गति की दिशा तथा चाल ज्ञात हो तो बाद के किसी क्षण पर इसकी स्थिति ज्यामितीय रचना से निश्चित की जा सकती है। ध्यान दीजिए कि कोई तरंगाग्र पीछे की ओर गमन नहीं करता।

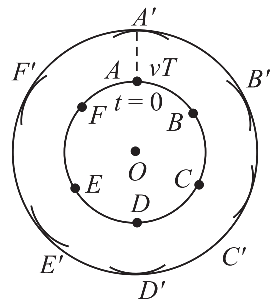


चित्र 22.2: समतल तरगाग्र की रचना

हाइगेन्स की रचना को समझने के लिए, आप किसी खोखले गोले के केन्द्र पर एक बिन्दु स्रोत की कल्पना कर सकते हैं। गोले की बाहरी सतह (पृष्ठ) प्राथमिक तरंगाग्र की भांति है। यदि इस खोखले गोले को एक अधिक त्रिज्या के खोखले गोले में बद कर दिया जाए तो, इस बाहरी गोले की बाहरी सतह द्वितीयक तरंगाग्र की भांति होगीं। (इस प्रकार की व्यवस्था का निकटतम यांत्रिक तुल्यरूप फुटबॉल है।) यदि एक दूसरे गोले को एक और अधिक त्रिज्या के गोले में बंद कर दिया जाए तो सबसे बाहरी (तीसरा) गोला द्वितीयक तरंगाग्र व मध्य का (दूसरा) गोला प्राथमिक तरंगाग्र बन जाएगा। दो विमाओं में प्राथमिक तथा द्वितीयक तरंगाग्र संकेन्द्रीय वृत्तों की भांति प्रतीत होते हैं (चित्र 22.3)।

22.1.1 तरंगों का संचरण

अब हम हाइगेन्स के सिद्धांत का उपयोग प्रकाश तरंगों के तरंगाग्रों के रूप में संचरण की व्याख्या करने के लिए करेंगे। चित्र 22.2 समय $t = 0$ (शून्य) पर एक समतल तरंगाग्र की अवस्थिति तथा आकार को प्रदर्शित करता है। ध्यान रखिए कि सरल रेखा AB पुस्तक के पृष्ठ के लम्बवत् समतल पर स्थित है। तरंगाग्र AB पर a, b, c, से दिखाए गए बिंदु द्वितीयक तरंगिकाओं के स्रोत हैं। ये सभी स्रोत एक ही समय पर द्वितीयक तरंगिकाओं का उत्सर्जन करते हैं, और ये सभी तरंगिकाएं एक ही चाल से तरंग्राग AB की गति की दिशा में गमन करती हैं। चित्र 22.2 में वृत्तकार चाप a, b, c, से उत्सर्जित तरंगिकाओं को प्रदर्शित करते हैं (इनके केन्द्र a, b, c, हैं)। ये तरंगिकाये $r = \upsilon t$, त्रिज्या लेकर खींचे गए हैं, जहां υ तरंगाग्र का वेग है और t वह समय है जिस पर हम तरंगाग्र प्राप्त करना चाहते हैं। इन सभी तरंगिकाओं की स्पर्श रेखा $t = T$ समय पर नए तरंगाग्र को निरुपित करती हैं। अब हम प्रसरणशील वृत्ताकार तरंगाग्र के लिए हाइगेन्स की संरचना का एक अन्य उदाहरण लेते हैं। चित्र 22.3 को देखिए जो $t = 0$ समय पर बिन्दु O पर केन्द्रित वृत्ताकार तरंगाग्र को इंगित करता है। अब कुछ समय पश्चात् $t = T$, पर तरंगाग्र प्राप्त करने के लिए आप क्या करते हैं? आप $A, B, C \ldots$, बिन्दुओं से प्रसरणशील तरंगाग्र का वेग υ और समय T के गुणनफल υT के बराबर त्रिज्या के चाप खींचते हैं। ये चाप द्वितीयक तरंगिकाओं को निरुपित करते हैं। इन चापों की स्पर्शरेखा समय t पर प्रसरणशील वृत्ताकार तरंगाग्र की स्थिति व आकार को निर्धारित करेगी। हम आशा करते हैं कि अब आप हाइगेन्स की संरचना की तकनीक को समझ चुके होंगे। आप आप हाइगेन्स संरचना का भौतिक महत्व जानना चाहेंगे। किसी पिछले क्षण पर किसी तरंगाग्र के आकार व अ वस्थिति को निर्धारित करने से हम तत्वत: तरंगाग्र संचरण का वर्णन कर रहे हैं। अत: हाइगेन्स-संरचना हमें तरंगगति का वर्णन करने में समर्थ बनाता है।



चित्र 22.3: हाइगेन्स के सिद्धांत के प्रयोग द्वारा वृत्ताकार तरंगाग्र की रचना

पाठगत प्रश्न 22.1

1. किसी तरंग के संचरण की दिशा में तथा तरंगाग्र के सापेक्षिक अभिविन्यास में क्या संबंध है?

2. किसी क्षण $t = 0$ s पर द्वितीयक विक्षोभ का एक स्रोत तरंगिकाओं को उत्सर्जित करता है। $t = 3$s तथा $t = 6$s पर तरंगिकाओं की त्रिज्याओं का अनुपात ज्ञात कीजिए।

22.2 प्रकाश का व्यतिकरण

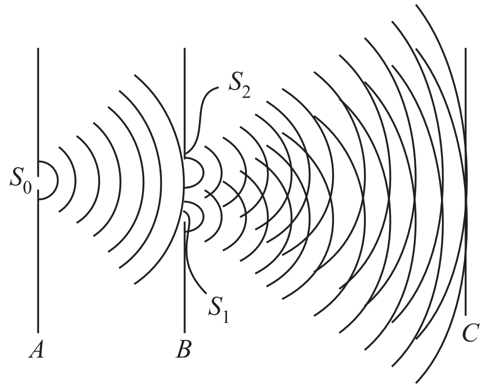
आइए पहले हम एक सरल क्रियाकलाप करें।

क्रियाकलाप 22.2

पानी में कुछ (डिटर्जेन्ट) अपमार्जक मिलाकर एक विलयन बनाइए। तार का एक लूप डुबाइए और इसे हिलाइए। जब आप लूप को बाहर निकालेंगे तो उस पर आपकों साबुन की एक पतली सी फिल्म दिखाई देगी। साबुन की इस फिल्म को एक विद्युत बल्ब के पास लाइए और ऐसी स्थिति में खड़े होइए कि आप फिल्म से परावर्तित प्रकाश को देख सकें। आपको सुन्दर रंग दिखाई देंगे। क्या आप इसका कारण जानते हैं? इसका उत्तर जानने के लिए हमें प्रकाश के **व्यतिकरण** की परिघटना को समझना होगा। सरल शब्दों में **प्रकाश का व्यतिकरण दो कला संबद्ध स्रोतों से उत्पन्न तरंगों के अध्यारोपण के कारण ऊर्जा का पुनर्वितरण है।** प्रकाश के व्यतिकरण की परिघटना का सर्वप्रथम टॉमस यंग ने सन् 1802 में अपने प्रसिद्ध द्वि झिरी प्रयोग द्वारा अवलोकन किया था। इस प्रायोगिक प्रेक्षण की प्रकाश के तरंग सिद्धान्त को प्रतिस्थापित करने में एक बड़ी भूमिका रही। प्रकाश के व्यतिकरण तथा विवर्तन की परिघटनाओं में सम्मिलित मूल सैद्धान्तिक आधार **अध्यारोपण का सिद्धांत** है।

22.2.1 यंग का द्वि-झिरी प्रयोग

यंग के प्रयोग की व्यवस्था को चित्र 22.4 में दिखाया गया है। उसके प्रयोग में सूर्य के प्रकाश को पहले एक सूची छिद्र से और फिर कुछ दूरी पर रखे दो सूची छिद्रों S_1 तथा S_2 से गुजारा गया। S_1 तथा S_2 एक दूसरे के बहुत पास और S से समान दूरी पर स्थित थे। हाइगेन्स के प्रकाश के तरंग सिद्धांत के अनुसार, सूचीछिद्र S से गोलाकार तरंगाग्र विस्तारित होंगे जो सूचीछिद्र S_1 तथा S_2 से दो तरंगाग्रों में विभाजित हो जाएंगे। यदि S किसी एकवर्णीय प्रकाश स्रोत, जैसे सोडियम लैम्प, से प्रदीप्त होता है तो ये (सूचीछिद्र S_1 और S_2)दो कला संबंध स्रोतों की भांति कार्य करेंगे और इन स्रोतों से एक ही कला में तथा समान आयाम की तरंगें निकलेंगी जो S_1 और S_2 से आगे जाकर अध्यारोपण करेंगी। इस अध्यारोपण के फलस्वरूप (S_1 और S_2 से निकलने वाली एक समान तरंगों के) ऊर्जा का पुर्नवितरण हो जाता है, और आगे रखे गए (जैसे पर) पर्दे पर एकान्तर रूप से दीप्त तथा अदीप्त फ्रिन्जों का पैटर्न बन जाता है। अब हम यंग के व्यतिकरण प्रयोग में प्रेक्षित फ्रिंज पैटर्न की व्याख्या के बारे में अध्ययन करेंगे।



चित्र 22.4: यंग के द्वि-झिरी प्रयोग का व्यवस्थात्मक चित्र

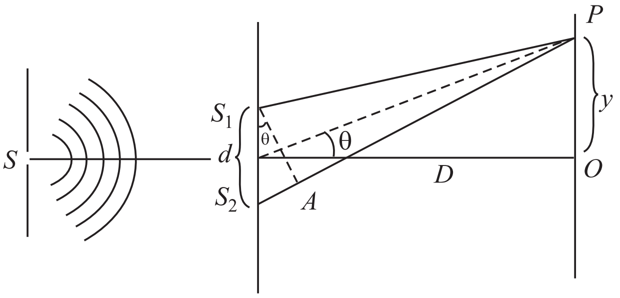
ई. टॉमस यंग
(1773-1829)

16 जून 1773 को जन्में टॉमस यंग को मानव-कर्ण, मानव-नेत्र, हमारे नेत्र कैसे फोकस करते हैं तथा अबिन्दुकता के अध्ययन के लिए सदैव याद किया जाएगा। उनके वर्णान्धता पर शोध ने वर्ण दर्शन के तीन घटकों के सिद्धांत को जन्म दिया। मानव कर्ण व नेत्रों पर कार्य करते हुए, उन्होंने ध्वनि और प्रकाश की चाल पर बहुत समय समर्पित किया। वह जानते थे कि यदि समान तीव्रता की दो ध्वनि तरंगे 180° के कलान्तर पर कान में पड़ती हैं तो वे एक दूसरे के प्रभाव को नष्ट कर देती हैं और कोई ध्वनि नहीं सुनाई देती। उनके मन में यह विचार आया कि यदि प्रकाश तरंग रूप में है तो इसी प्रकार का व्यतिकरण प्रभाव प्रकाश की दो किरण पुंजों के साथ भी होना चाहिए। इस विचार से यंग ने एक प्रयोग की युक्ति निकाली। इस प्रयोग को सामान्यत: यंग का द्वि-झिरी प्रयोग कहा जाता है।

जीवन के बाद के वर्षों में उन्होंने अपना अधिकांश समय नील के डेल्टा में सन् 1799 में खोजे गए रोसेटा प्रस्तर पर पाई गई चित्रलिपि का अर्थ निकालने में लगाया।

(a) संपोषी व्यतिकरण: आपको स्मरण होगा कि अध्यारोपण के सिद्धांत से पर्दे C के कुछ बिन्दुओं पर विस्थापन या आयाम अधिकतम होता है क्योंकि तरंगों के एक समूह के कारण शृंग तरंगों के दूसरे समूह के शृंग के संपाती हो जाता है (अर्थात् दोनों के शृंग एक दूसरे के ऊपर पड़ते हैं)। दूसरे शब्दों में हम कहें तो इस बिन्दु पर तरंगे एक ही कला में पहुंचती है। अत: उनका कुल आयाम अलग-अलग तरंगों के आयाम से अधिक हो जाता है। यही उन बिन्दुओं पर भी होता है जहां दोनों समूहों की तरंगों के गर्त एक दूसरे के ऊपर पड़ते हैं। यदि ये तरंगें प्रकाश की हों तो ऐसे बिन्दु अधिक दीप्त (चमकीले) दिखाई देंगे क्योंकि प्रकाश तरंगों की तीव्रता उनके आयाम के वर्ग के समानुपाती होती है। ऐसे बिन्दुओं पर तरंगों के अध्यारोपण का जो परिणाम होता है उसे *संपोषी व्यतिकरण* कहते हैं।

(b) विनाशी व्यतिकरण: उन बिन्दुओं पर जहाँ एक समूह की तरंगों का शृंग दूसरे समूह की तरंगों के गर्त पर पडता है, या एक समूह की तरंगों का गर्त दूसरे समूह की तरंगों के शृंग पर पड़ता है, वहां पर कुल आयाम शून्य होता है क्योंकि तरंगें इन बिन्दुओं पर पूर्णत: विपरीत कला में पहुँचती हैं। पर्दे पर ऐसे बिन्दु अदीप्त (काले) दिखाई देते हैं। ये बिन्दु **विनाशी व्यतिकरण** को प्रदर्शित करते हैं।



चित्र 22.5: यंग के द्वि-झिरी प्रयोग की ज्यामिति

(c) फ्रिन्जों की तीव्रता: व्यतिकरण के पैटर्न के विश्लेषण के लिए हम आवर्त तरंगों के व्यतिकरण पैटर्न में दीप्त (चमकीली) तथा अदीप्त (काली) फ्रिन्जों की तीव्रता का परिकलन करते हैं। चित्र 22.5 को देखिए जो यंग के प्रयोग की व्यवस्था को निरूपित करता है। व्यतिकरण की परिघटना दो आवर्त तरंगों को अध्यारोपण से उत्पन्न होती है, जिनकी आवृत्ति तथा आयाम

समान होते हैं। किन्तु उनकी कलाओं में अंतर होता है। मान लीजिए दो तरंगों के बीच कलान्तर δ है। हम किसी बिन्दु P पर दोनों तरंगों के कारण विस्थापन y_1 और y_2, को निम्न प्रकार लिख सकते हैं:

$$y_1 = a \sin \omega t$$

और

$$y_2 = a \sin (\omega t + \delta)$$

जहां δ दोनों तरंगों के बीच कलान्तर है। ध्यान दीजिए कि हमने स्थानिक पदों को शामिल नहीं किया है क्योंकि हम दिक्स्थान में एक स्थिर बिन्दु पर विचार कर रहे हैं।

तरंगों के अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार, परिणामी विस्थापन (y) होगा:

$$y = y_1 + y_2$$

$$= a \sin \omega t + a \sin (\omega t + \delta)$$

$$= a [\sin \omega t + \sin (\omega t + \delta)]$$

$$= 2a \sin (\omega t + \frac{\delta}{2}) \cos -\frac{\delta}{2}$$

$$= A \sin (\omega t + \frac{\delta}{2})$$

जहां परिणामी तरंग का आयाम

$$A = 2a \cos (\delta/2).$$

बिन्दु P पर परिणामी तरंग की तीव्रता

$$I \propto A^2$$

$$\propto 4a^2 \cos^2 (\delta/2) \qquad (22.1)$$

दो तरंगों के बीच कलान्तर पर तीव्रता की निर्भरता देखने के लिए हम निम्नलिखित दो स्थितियों पर विचार करते हैं।

स्थिति 1: जब कलान्तर, $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, \ldots, 2n\pi$

$$I = 4a^2 \cos^2 0$$

$$= 4a^2$$

स्थिति 2: जब कलान्तर, $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, \ldots\ldots, (2n+1)\pi$

$$I = 4a^2 \cos^2 (\delta/2)$$

$$= 0$$

इन परिणामों से हम इस निष्कर्ष पर पहुँचते हैं कि जब दो अध्यारोपित तरंगों के बीच कलान्तर 2π का पूर्ण गुणाँक होता है तो दोनो तरंगें पर्दे पर एक ही कला में पहुँचती हैं और उन बिन्दुओं पर तीव्रता तरंगों की अलग-अलग तीव्रता से अधिक होती है। दूसरी ओर जब दो तरंगों के बीच कलांतर π का विषम गुणांक होता हैं तो अध्यारोपित दो तरंगें पर्दे पर विपरीत कला में पहुँचती हैं। ऐसे बिन्दुओं पर तीव्रता शून्य होती है और ये पर्दे पर अदीप्त प्रतीत होते हैं।

(d) कलान्तर और पथान्तर

यह स्पष्ट है कि यह जानने के लिए कि पर्दे पर कोई बिन्दु दीप्त होगा या अदीप्त हमें यह ज्ञात होना चाहिए कि उस बिन्दु पर पहुँचने वाली तरंगों में कलान्तर कितना है। कलान्तर को दो तरंगों की स्रोत से पर्दे तक की यात्रा के दौरान चली गई दूरी या पथांतर के रूप में भी व्यक्त किया जा सकता है। आपको स्मरण होगा कि दोनों तरंगे S_1 और S_2 से समान कला में चली थीं। इस प्रकार बिन्दु P बिन्दु पर उन दोनों तरंगों के बीच जो भी कलान्तर है, वह उनके S_1 तथा S_2 से अवलोकन बिन्दु पहुँचने के लिए अपनाए गए मार्ग या पथान्तर के कारण है। चित्र 22.5 से, हम पथान्तर को इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं

$$\Delta = S_2P - S_1P$$

हम जानते हैं कि एक तरंगदैर्घ्य का पथान्तर 2π के कलान्तर के तुल्य होता है। इस प्रकार कलान्तर δ तथा पथान्तर Δ के बीच यह संबंध होगा

$$\Delta = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)\delta \qquad (22.2)$$

समीकरण (22.1) से हम जानते हैं कि दीप्त फ्रिन्जें संपोषी व्यतिकरण के संगत दो तरंगों के बीच $2n\pi$ कलान्तर होने पर दिखाई देती हैं। इसको समीकरण (22.2) में उपयोग करने पर, हम पाते हैं कि दीप्त फ्रिन्जें दिखाई देने के लिए पथान्तर है।

$$(\Delta)_{\text{bright}} = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)2n\pi = n\lambda;\ n = 0, 1, 2, \ldots \qquad (22.3)$$

इसी प्रकार, अदीप्त फ्रिन्जों के लिए,

$$(\Delta)_{\text{dark}} = (\lambda/2\pi)\ (2n+1)\ \pi$$

$$= (2n+1)\frac{\pi}{2};\ n = 0, 1, 2, \ldots \qquad (22.4)$$

दीप्त तथा अदीप्त (काली) फ्रिन्जों के लिए व्यंजक, प्रयुक्त प्रकाश के पथान्तर तथा तरंगदैर्घ्य के पदों में प्राप्त करने के पश्चात् अब हम देखें कि पथान्तर तथा प्रयोग की ज्यामिति किस प्रकार संबद्ध हैं, अर्थात् देखें कि Δ, स्रोत व पर्दे के बीच की दूरी D, सूची छिद्रों के बीच के पृथक्कन (दूरी) तथा पर्दे पर बिन्दु P की अवस्थिति से किस प्रकार संबद्ध है। चित्र 22.5 से हम देखते हैं कि

$$\Delta = S_2P - S_1P = S_2A = d\sin\theta$$

कोण θ के मान को बहुत कम मानते हुए, हम लिख सकते हैं

$$\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$$

और

$$\sin\theta = x/D$$

समीकरण (22.5) को समीकरणों (22.5) और (22.3) में प्रतिस्थापित करने पर, हम पाते हैं

$$\Delta = d\sin\theta = x\frac{d}{D} \qquad (22.5)$$

समीकरण (22.5) को समीकरणों (22.2) और (22.3) में प्रतिस्थापित करने पर, हम पाते हैं

$$\frac{d}{D}(x_n)_{\text{bright}} = n\lambda$$

या
$$(x_n)_{\text{bright}} = \frac{n\lambda D}{d} \; ; n = 0, 1, 2, \ldots \qquad (22.6)$$

और
$$\frac{d}{D}(x_n)_{\text{dark}} = (n + \frac{1}{2})\lambda$$

या
$$(x_n)_{\text{dark}} = (n + \frac{1}{2})\frac{\lambda D}{d} \; ; n = 0, 1, 2, \ldots \qquad (22.7)$$

समीकरण (22.6) और (22.7) पर्दे पर दीप्त तथा अदीप्त फ्रिन्जों की स्थितियों का उल्लेख करते हैं।

(e) फ्रिंजों की चौड़ाई

अब आप पूछ सकते हैं कि दीप्त या अदीप्त फ्रिंज कितनी चौड़ी है? यह ज्ञात करने के लिए हम दो निकटतम दीप्त (या अदीप्त) फ्रिंजों की स्थिति प्राप्त करें। आइए पहले हम दीप्त फ्रिंजों के लिए यह गणना करें। समीकरण (22.6) से तीसरी व दूसरी दीप्त फ्रिंजों के लिए हम लिख सकते हैं

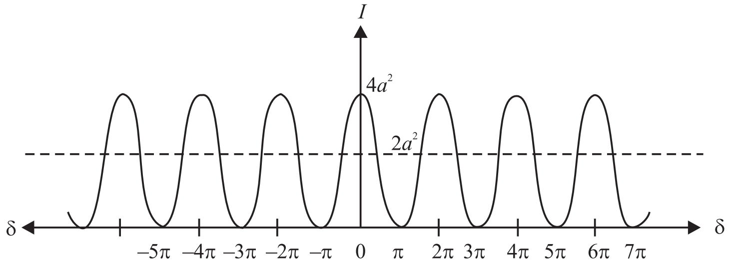
$$(x_3)_{\text{bright}} = 3\frac{\lambda D}{d}$$

और
$$(x_2)_{\text{bright}} = 2\frac{\lambda D}{d}$$

अत: फ्रिंज चौड़ाई β के लए व्यंजक होगा

$$\beta = (x_3)_{\text{bright}} - (x_2)_{\text{bright}} = \frac{\lambda D}{d} \qquad (22.8)$$

n के विभिन्न मान लेकर आप यह सुनिश्चित कर सकते हैं व्यतिकरण प्रतिरूप में सभी फ्रिजों की चौड़ाई समान रहती है। ध्यान दीजिए कि फ्रिन्ज चौड़ाई प्रकाश की तरंगदैर्घ्य और स्रोत तथा पर्दे के बीच की दूरी के समानुपाती व स्लिटों के बीच की दूरी की व्युत्क्रमानुपाती होती है। यथार्थ में, फ्रिंज इतनी सूक्ष्म (पतली) होती हैं कि उन्हें देखने के लिए हमें आवर्धक लेंस का उपयोग करना पड़ता है।



चित्र 22.6: किसी व्यतिकरण प्रतिरूप (पैटर्न) में तीव्रता वितरण

इसके पश्चात आइए हम व्यतिकरण प्रतिरूप में दीप्त और अदीप्त फ्रिंजों की तीव्रता के बारे चर्चा करें। हम जानते हैं कि जब दो तरंगें पर्दे के किसी बिन्दु पर विपरीत कला में पहुंचती हैं तो हमें अदीप्त फ्रिन्जें प्राप्त होती हैं। आप पूछ सकते हैं कि क्या यहां ऊर्जा संरक्षण का नियम लागू नहीं होता, क्योंकि यहां दो तरंगों द्वारा वाहित ऊर्जा का क्षय होता हुआ लगता है। किन्तु ऐसा नहीं है; व्यतिकरण पैटर्न में ऊर्जा संरक्षण का उल्लंघन नहीं होता। वास्तव में अदीप्त फ्रिंजों में जितनी ऊर्जा की कमी होती है, दीप्त फ्रिंजों में उतनी ही ऊर्जा की वृद्धि हो जाती है। समीकरण (22.1)से आप देख सकते हैं कि दीप्त फ्रिंजों पर तीव्रता अकेली तरंग की तीव्रता से चार गुना होती है। अत: चित्र (22.6) में दिखाए गए व्यतिकरण फ्रिंज पैटर्न में **ऊर्जा का पुर्नर्वितरण हो जाता है, और ऊर्जा शून्य तथा $4a^2$ के बीच परिवर्तित होती**

रहती है। प्रत्येक किरण पुंज स्वतंत्र प्रभाव छोड़ते हुए a^2 का योगदान करेगा और व्यतिकरण की अनुपस्थिति में पर्दे पर समान प्रदीप्ति होगी जिसकी तीव्रता सर्वसम स्रोतों से आने वाले प्रकाश के कारण $2a^2$ होगी। यही वह औसत तीव्रंता है जिसे चित्र (22.6) में बिन्दुकित सरल रेखा से दिखाया गया है। आपने देख लिया है कि यंग के प्रयोग में प्रेक्षित व्यतिकरण पैटर्न की तरंग सिद्धांत के आधार पर गुणात्मक और मात्रात्मक (परिमाणात्मक) दोनों रूप में व्याख्या की जा सकती है। यह सुनिश्चित करने के लिए कि यह सब आपको भली भांति समझ में आ जाए निम्नलिखित पाठगत प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

पाठगत प्रश्न 22.2

1. दो तरंगों के अध्यारोपण के क्षेत्र में किसी बिन्दु पर परिणामी विस्थापन किन कारकों पर निर्भर करता है।

2. यंग के प्रयोग में पर्दे पर संपोषी व्यतिकरण किस प्रकार होता है?

3. यदि हम यंग के प्रयोग में दो सूचीछिद्रों S_1 तथा S_2 के स्थान पर दो तापदीप्त प्रकाश के बल्ब ले लें तो क्या तब भी हमें पर्दे पर दीप्त और अदीप्त फ्रिंज दिखाई देंगी?

4. कलासंबंध स्रोतों से क्या तात्पर्य है? क्या हमारी आंखे दो कला संबद्ध स्रोतों की तरह काम नहीं कर सकतीं?

22.3 प्रकाश का विवर्तन

पिछले पाठों में आपकों बताया गया था कि सरल रेखीय संचरण प्रकाश का एक अभिलक्षणिक गुण है। प्रकाश के सरल रेखा में चलने का एक स्पष्ट प्रमाण छायाओं का बनना है। किंतु यदि आप छायाओं के बनने का सावधानी से अध्ययन करें तो आप पाएंगे कि उनके किनारे सुस्पष्ट नहीं होते। उदाहरण के लिए जब प्रकाश बहुत सूक्ष्म छिद्र से गुजरता है या किसी बहुत छोटे विस्तार के अवरोध पर पड़ता है तो प्रकाश के सरल रेखा में चलने के नियम का उल्लंघन हो जाता है। छिद्र या अवरोध के किनारे पर प्रकाश छाया के क्षेत्र में मुड जाता है और सरल रेखा में नहीं चलता। **किसी अवरोध के किनारों पर प्रकाश का मुड़ना विवर्तन कहलाता है।**

प्रकाश के विवर्तन की परिघटना का विस्तार के अध्ययन करने से पहले आप स्वंय प्रकाश का विवर्तन देखना चाहेंगे। एक सरल क्रिया द्वारा आप इसे देख सकते हैं। अपनी आँखों को लगभग बंद रखते हुए रात्रि में सड़क पर लगे बल्बों के प्रकाश को देखिए। आप क्या देखतें हैं? आपको बल्ब से प्रकश छितराता हुआ प्रतीत होगा। यह प्रकाश के विवर्तन (पलकों के किनारे मुड़ने) के कारण होता है।

अपने रूमाल के उपयोग से भी आप विवर्तन को देख सकते हैं। रूमाल को अपनी आंखों के पास लाकर सूर्य या जलते हुए बल्ब को देखिए। आपको वृत्ताकार फ्रिंजें दिखाई देंगी जो रूमाल के ताने बाने के धागों से बने सूक्ष्म छिद्रों के कारण विवर्तन होने से बनती हैं।

उपरोक्त परिस्थितियों में विवर्तन अवरोध/छिद्र बहुत सूक्ष्म हैं। विवर्तन के अवलोकन के लिए निम्नलिखित में एक शर्त का पूरा होना आवश्यक है:

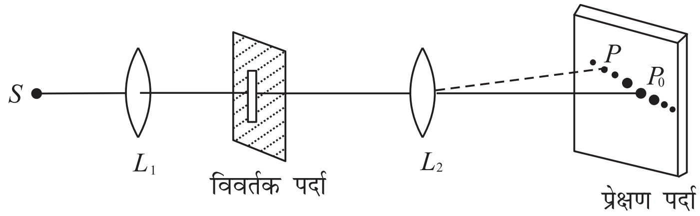
a) अवरोध का छिद्र का साइज आपतित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य की कोटि का होना चाहिए।

b) *अवरोध या छिद्र तथा पर्दे के बीच की दूरी अवरोध या छिद्र के साइज की तुलना में यथेष्ट अधिक (कुछ हजार गुना) होनी चाहिए।*

उपरोक्त प्रेक्षणों के आधार पर, यह समझना आसान है कि हमें सामान्यत: प्रकाश का विवर्तन क्यों नहीं दिखाई देता और प्रकाश सरल रेखा में चलता हुआ क्यों प्रतीत होता है। आपको ज्ञात है कि प्रकाश की तरंग दैर्ध्य 10^{-6} m की कोटि की होती है। अत: प्रकाश के विवर्तन के अवलोकन के लिए, अवरोध या छिद्र का विस्तार इसी कोटि का होना चाहिए।

22.3.1 एकल झिरी पर प्रकाश का विवर्तन

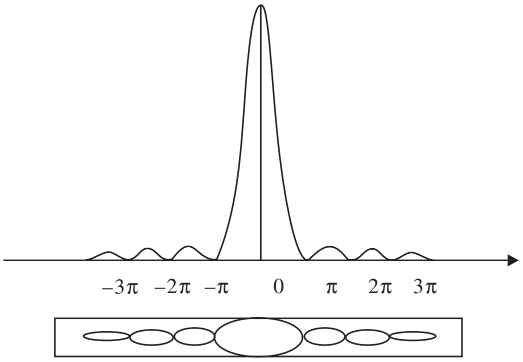
आइए अब हम देखें किसी एकल द्वारक जैसे एकल स्लिट (या झिरी) के लिए विवर्तन पैटर्न किस प्रकार दिखाई देते हैं। चित्र 22.7 को देखिए। यह विवर्तन पैटर्न उत्पन्न करने के लिए प्रयोग की व्यवस्था को प्रदर्शित करता है। *S* एकवर्णी प्रकाश का स्रोत है। इसे एक उत्तल लेंस के फोकस तल पर रखा गया है ताकि एक समतल तरंगाग्र पतली स्लिट पर पड़े। एक अन्य उत्तल लेंस स्लिट के विभिन्न भागों से प्रकाश को पर्दे पर फोकस करता है।



चित्र 22.7: एकल स्लिट विवर्तन का व्यवस्था-चित्र

एक एकल ऊर्ध्वाधर स्लिट द्वारा एक बिन्दु स्रोत से उत्पन्न वास्तविक विवर्तन पैटर्न) (प्रतिरूप) जैसा कि चित्र 22.8 में दिखाया गया है, के निम्नलिखित प्रमुख लक्षण हैं:

- स्लिट की लम्बाई के अभिलम्ब रेखा के अनुदिश प्रकाश की एक क्षैतिज वर्ण रेखा।
- क्षतिज पैटर्न दीप्त बिन्दुओं की एक श्रृंखला होती है।
- केन्द्र पर बिन्दु अधिकतम दीप्त होता है। इस बिन्दु के दोनों ओर सममितत: स्थित कुछ और दीप्त बिन्दु होते हैं जिनकी तीव्रता कम होती जाती है। केन्द्रीय बिन्दु मुख्य उच्चिष्ठ और अन्य बिन्दु द्वितीयक उच्चिष्ठ कहलाते हैं।
- केन्द्रीय बिन्दु की चौड़ाई अन्य बिन्दुओं की चौड़ाई से दुगुनी होती है।



चित्र 22.8 : एकल झिरी से प्राप्त विवर्तन पैटर्न

टिप्पणियाँ

इन परिणामों के सैद्धान्तिक आधार को समझने के लिए हम ध्यान में रखते हैं कि हाइगेन्स के तरंग सिद्धांत के अनुसार जिस अवरोधक पर स्लिट बनी है उस पर समतल तरंगाग्र आपतित हैं। अवरोधक पर आपतित तरंगाग्रों में से उनका केवल वहीं भाग स्लिट से गुजरता है जो स्लिट पर आपतित होता है। तरंगाग्र का यह भाग अवरोधक की दाईं ओर को बढ़ता जाता है। किन्तु स्लिट से गुजरने के बाद तरंगाग्र समतल नहीं रहता। चित्र 22.9 को देखिए जो प्रदर्शित करता है कि द्वारक पर प्रत्येक बिन्दु जैसे $QPR \ldots Q'$ द्वितीयक तरंगिकाओं के लिए कला संबद्ध स्रोतों की श्रृखंला की भांति व्यवहार करते हैं। अवरोध के दाईं ओर तरंगाग्र के केन्द्रीय भाग में किसी बिन्दु जैसे P से, उत्सर्जित तरंगिका, इसके दोनों ओर स्थित बिन्दुओं जैसे Q और R से उत्सर्जित तरंगिकाओं की उपस्थिति के कारण प्रसारित होती है। क्योंकि तरंग्राग का आकार इन तरंगिकाओं की स्पर्श रेखाओं से निर्धारित होता है, तरंगाग्र का केन्द्रीय भाग संचरित होते हुए समतल बना रहता है। किन्तु स्लिट के किनारे के निकट के बिन्दुओं Q और Q' से उत्सर्जित तरंगिकाओं के लिए किनारों के परे उनसे अध्यारोपण के लिए तरंगिकाएं नहीं होती हैं क्योंकि अध्यारोपण तरंगाग्र के आकार को समतल बनाए रखने में सहायक होता है और किनारों के पास स्थित बिन्दुओं से उत्सर्जित तरंगिकाओं के लिए, अध्यारोपण करने वाली तरंगिकाएं अनुपस्थिति हैं, अत: तरंगिकाएं अपने समतल आकार से विचलित हो जाती हैं । दूसरे शब्दों में किनारों पर तरंगिकाएं फैलने को प्रवृत्त होती हैं। परिणामस्वरूप, किसी सीमित साइज के पतले द्वारक पर आपतित तरंगाग्र उससे गुजरने के पश्चात समतल नहीं रहता।

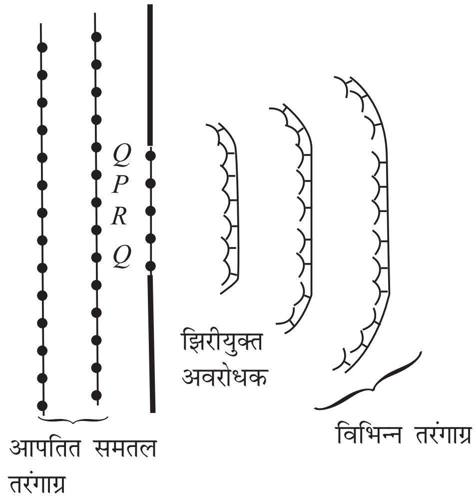
एकल स्लिट के विवर्तन पैटर्न के तीव्रता वितरण को समझने के लिए हम पर्दे पर पहुँचने वाली तरंगों के अध्यारोपण की प्रकृति को निर्धारित करते हैं। हाइगेन्स के सिद्धांत को लगाने के लिए हम स्लिट की चौड़ाई 'a' को कई बराबर भागों (माना 100 भागों) में विभाजित कर लें। इनमें से प्रत्येक भाग को अद्वितीयक तरंगिकाओं का स्रोत माना जा सकता है। इन बिन्दुओं से निकलने वाली तरंगिकाएं स्लिट के दाईं ओर के क्षेत्र में संचरित हो जाती हैं। क्योंकि स्लिट पर समतल तरंगाग्र आपतित है, इन सभी बिन्दुओं से उत्सर्जित होने वाली तरंगिकाएं स्लिट से निकलते समय, समान कला में होती हैं। आइए, अब हम पर्दे के बिन्दु O पर इन तरंगिकाओं के अध्यारोपण के प्रभाव पर विचार करें। चित्र 22.10 की सममिति संकेत करती है कि स्रोत 1 और 100 से उत्सर्जित तरंगिकाएं पर्दे पर एक ही कला में पहुंचेगीं। ऐसा इसलिए क्योंकि दोनों तरंगिकाएं बराबर मार्ग दूरी तय करती हैं। जब ये तरंगिकाएं अपने अपने स्रोतों से चली थीं, वे समान कला में थीं। अत: ये बिन्दु O पर समान कला में पहुँचती हैं और इस प्रकार अध्यारोपण करती हैं कि इनका परिणामी आयाम स्रोत 1 से 100 से एकल तरंगिकाओं के कारण आयाम से बहुत अधिक होगा। इसी प्रकार स्रोत 2 से 50 तक से उत्सर्जित प्रत्येक तरंगिकाओं के संगत स्रोत 99 से 51 तक से उत्सर्जित एक तरंगिका होगी, जिनमें संपोषी व्यतिकरण होगा, जिससे केन्द्र बिन्दु O पर तीव्रता में वृद्धि हो जाएगी।

अब हम पर्दे पर बिन्दु P पर विचार करें जो अन्तिम अक्ष से बाहर है। मान लीजिए बिन्दु P ऐसा है कि स्लिट के सिरों अर्थात स्रोत 1 और 100 के बीच पथान्तर λ है। इस प्रकार स्रोत 1 और 51 से उत्पन्न तरंगिकाओं के बीच पत्थान्तर लगभग $(\lambda/2)$ के बराबर होगा।

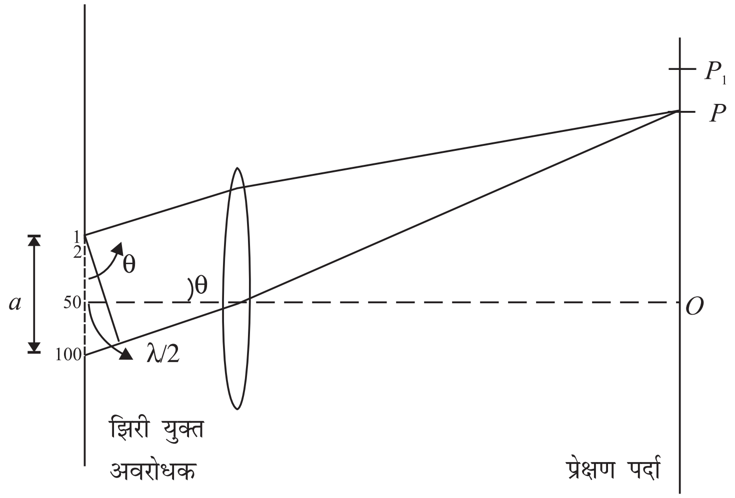
प्रकाश के व्यतिकरण से आपको याद होगा कि स्रोत 1 और 51 से आने वाली तरंगें P पर विपरीत कला में पहुँचती हैं और उनमें विनाशी व्यतिकरण होता है। इसी प्रकार स्रोत 2 से 52 से उत्सर्जित तरंगिकाएं और इसी प्रकार के अन्य युग्मों से उत्सर्जित तरंगिकाएं P बिन्दु पर विनाशी व्यतिकरण उत्पन्न करेंगी। इसलिए बिन्दु P पर हमें न्यूनतम तीव्रता प्राप्त होगी। इसी प्रकार अन्य बिंदुओं पर भी जहाँ तरंगिकाओं के बीच पथान्तर 2λ होगा वहां तीव्रता न्यूनतम होगी। हम कल्पना कर सकते हैं कि स्लिट चार बराबर भागों में विभाजित है और स्रोत 1 और 26, 2 और 27, ... के युग्म (जोड़े) बनाकर दिखा सकते हैं कि पहले और दूसरे चतुर्थांश के बीच पथान्तर $\lambda/2$ है और ये एक दूसरे को निरस्त कर देते है। इसी तर्क के अनुसार तीसरा व चौथा चतुर्थांश भी एक दूसरे को निरस्त कर देते हैं, जिससे तीव्रता न्यूनतम होगी। इसी प्रकार

आगे भी होता रहेगा। अतः हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि जब किसी दिशा में किसी स्लिट अवरोध के अन्तिम छोर के बिन्दुओं से विवर्तित तरंगों के बीच पथान्तर होती λ का पूर्णांक गुणांक होता है तो परिणामी विवर्तित तीव्रता शून्य होती है।

आइए अब हम P और P' बिन्दुओं के बीच स्थित बिन्दु P' पर तीव्रता ज्ञात करें, इसके लिए अन्तिम छोरों पर बिन्दुओं से विवर्तित तरंगों के बीच पथान्तर $3\lambda/2$ है। हम स्लिट पर तरंगाग्र को तीन समान भागों में विभाजित करते हैं। इस स्थिति में दो भागों से (उत्सर्जित) द्वितीयक तरंगिकाओं के बीच पथान्तर $\lambda/2$ है। ये बिन्दु P पर विपरीत कला में पहुँचकर विनाशी व्यतिकरण उत्पन्न करेगीं। तथापि तरंगाग्र के तीसरे



चित्र 22.9: एक पतली झिरी से प्रकाश के विवर्तन के लिए हाइगेन्स की रचना



चित्र 22.10: एकल झिरी विवर्तन का व्यवस्था चित्र

भाग से चलने वाली तरंगिकाएं संपोषी व्यतिकरण में योगदान करेंगी (यह मानते हुए कि इस भाग की तरंगकिओं के लिए पथान्तर शून्य है तथा P पर दीप्ति उत्पन्न करेंगी क्योंकि P' पर तीव्रता के लिए केवल एक तिहाई तरंगाग्र ही योगदान करती है, जबकि O पर तीव्रता के लिए सम्पूर्ण तरंगाग्र योगदान करती है। अतः P' पर तीव्रता O, पर तीव्रता की तुलना में बहुत कम होती है। बिन्दु P' तथा ऐसे ही अन्य बिन्दु द्वितीयक उच्चिष्ठ बनाते हैं।

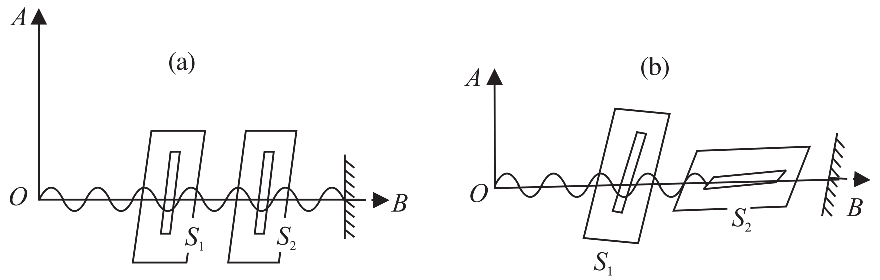
पाठगत प्रश्न 22.3

1. क्या विवर्तन की परिघटना यह दर्शाती है कि प्रकाश सरल रेखीय पथ पर नहीं चलता?
2. प्रकाश के व्यतिकरण व विवर्तन में अंतर लिखिए।
3. एकल झिरी विवर्तन में मुख्य उच्चिष्ठ तथा द्वितीयक उच्चिष्ठ की तीव्रता समान क्यों नहीं होती?

22.4 प्रकाश का ध्रुवीकरण

इस पाठ के पिछले दो भागों में आप प्रकाश के व्यतिकरण और विवर्तन की परिघटना के बारे में अध्ययन कर चुके हैं। व्यतिकरण और विवर्तन के अध्ययन में हमने यह जानने का प्रयत्न नहीं किया कि प्रकाश की तरंगों की प्रकृति कैसी होती है, ये अनुदैर्ध्य हैं या अनुप्रस्थ तथापि, प्रकाश का ध्रुवण निर्णायक रूप से स्थापित करता है कि प्रकाश की तरंगें अनुप्रस्थ होती हैं।

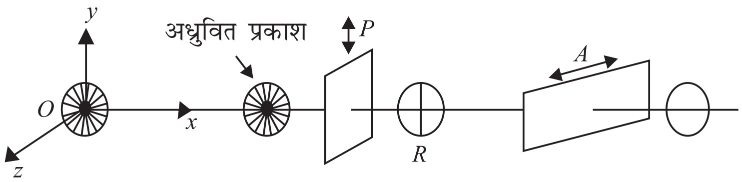
ध्रुवण की परिघटना को समझने के लिए आप एक सरल क्रियाकलाप कर सकते हैं।



चित्र 22.11 : किसी डोरी में उत्पन्न अनुप्रस्थ तरंग a) दो उर्ध्वाधर झिरियों से गुजरती हुई और b) एक ऊर्ध्वाधर और एक क्षैतिज झिरी से गुजरती हुई।

दो गत्ते के टुकड़े लीजिए जिनमें दो पतली झिरियां बनी हों और उन्हें एक दूसरे के समान्तर रखिए। एक लम्बी डोरी को दोनों स्लिटों से गुजरने दीजिए। इसके एक सिरे को स्थिर कर दीजिए और दूसरे सिरे को अपने हाथ में पकड़ कर ऊपर नीचे हिलाकर उसमें अनुप्रस्थ तरंगें उत्पन्न कीजिए। आप देखेंगे कि ऊर्ध्वाधर स्लिट S_1 से भी गुजर जाती है। अब स्लिट S_2 को क्षैतिज रख कर इस प्रयोग को दोहराइए। आप देखेंगे कि तरंग S_2 से आगे नहीं बढ़ पाती है। इसका तात्पर्य यह है कि S_1 से होकर जाने वाली तरंग क्षैतिज स्लिट S_2 से होकर नहीं जा सकती। इसका कारण यह है कि तरंग में कम्पन स्लिट S_2 के लम्बवत होते हैं, जैसा कि चित्र 22.11(b) में दिखाया गया है।

प्रकाश के लिए यह क्रियाकलाप किसी स्रोत को एक बिन्दु O पर रखकर और स्लिटों के स्थान पर दो पोलेरॉइडों को रखकर दोहराया जा सकता है। आप केवल (a) स्थिति में ही (जब दोनों पोलेरॉइड समान्तर हैं) प्रकाश देख पाएंगे। इससे यह प्रदर्शित होता है कि प्रकाश में कंपन केवल एक समतल पर सीमित होते हैं। पहले पोलेराइड से गुजरने के पश्चात प्रकाश रैखिकत: ध्रुवित अथवा समतल ध्रुवित कहलाता है चित्र (22.2)



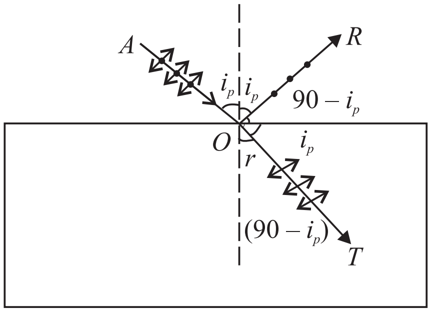
चित्र 22.12 : प्रकाश का ध्रुवण देखने के लिए उपकरण का व्यवस्था-चित्र

जब अध्रुवित प्रकश काँच या पानी जैसे किसी पारदर्शी पदार्थ पर आपतित होता है तो परावर्तित प्रकाश सामान्यत: आंशिक रूप से समतल ध्रुवित होता है। चित्र 22.13 में अध्रुवित प्रकाश की किरण AO काँच की एक प्लेट पर आपतित है। परावर्तित प्रकाश को OR और निर्गत प्रकाश को OT से दिखाया गया है। जब प्रकाश ध्रुवण कोण पर आपतित होता है तो ध्रुवण पूर्ण हो जाता है। इस कोण पर परावर्तित और निर्गत किरणें एक दूसरे के लम्बवत हो जाती हैं।

ध्रुवण कोण काँच की प्लेट या जिस पदार्थ पर प्रकाश आपतित होता है, के आवर्तनांक पर निर्भर करता है। अपवर्तन कोण (r) तथा ध्रुवण कोण i_p के बीच संबंध स्नैल के नियम से प्राप्त होता है। (देखिए चित्र 22.13)

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

$$= \frac{\sin i_p}{\cos i_p} == \tan i_p.$$



चित्र 22.13 : परावर्तित और अपवर्तित प्रकाश का ध्रुवण

इसका आशय यह है कि ध्रुवण कोण i_p पदार्थ के अपवर्तनांक पर निर्भर करता है। वायु-जल अंतरापृष्ठ के लिए $i_p = 53°$। इसका तात्पर्य है कि जब सूर्य क्षितिज से 37° ऊपर होता है, तब किसी शांत तालाब या झील से परावर्तित प्रकाश पूर्णत: रैखिकत: ध्रुवित होगा। किसी चमकीली चिकनी सतह द्वारा परावित्र्तत प्रकाश के कारण उत्पन्न चकाचौंध को ध्रुवण उत्पन्न करने वाले पोलेरॉइड नमक पदार्थ के उपयोग से कम किया जा सकता है। इन्हें क्यूनाइन आइडोसल्फेट क्रिस्टलों को नाइट्रो सैलुलोज की शीट पर एक ही दिशा में पंक्तिबद्ध कर बनाया जाता है। इस प्रकार के क्रिस्टल (जिन्हें द्विवर्णी कहा जाता है) एक विशिष्ट तल में ही प्रकाश का पारगमन करते हैं और इसके लम्बवत तल पर प्रकाश का अवशोषण कर देते हैं। इस प्रकार धूप के चश्मों पर पोलेराइडों की परत धूप की चकाचौंध को, ध्रुवित प्रकाश के एक

घटक का अवशोषण कर, कम कर देते हैं। पोलेरॉइड की डिस्कों का उपयोग फोटोग्राफी में उन्हें कैमरा के लैंसों के सामने लगाकर फिल्टर के रूप में किया जाता है। इससे फोटो में वह विस्तृत विवरण भी आ जाते हैं जो अन्यथा चकाचौंध के कारण छिप जाते। ध्रुवणमापियों का उपयोग चीनी उद्योग में गुणता नियंत्रण के लिए किया जाता है।

पाठगत प्रश्न 22.4

1. प्रकाश का ध्रुवण इसका निश्चित प्रमाण है कि प्रकाश की तरंगे अनुप्रस्थ होती है। इस कथन को उचित सिद्ध कीजिए।

2. क्या यह कहना सही है कि तरंग के गमन की दिशा ध्रुवण तल में हो भी सकती है और नहीं भी हो सकती?

3. मान लीजिए कि अध्रुवित प्रकाश का एक पुंज दो पोलेरॉइडों के समुच्चय पर पड़ता है। यदि इन पोलेराइडों की सहायता से आप प्रकाश को पूर्णतः रोक देना चाहें तो उनकी संरचरण अक्षों के बीच कितना कोण होना चाहिए?

4. क्या वायु में ध्वनि तरंगें ध्रुवण प्रदर्शित करती हैं?

आपने क्या सीखा

- हाइगेन्स के तरंग सिद्धांत के अनुसार, प्रकाश का तरंगाग्रों के रूप में संचरण होता है।
- यदि दो प्रकाश स्रोत, समान आवृत्ति तथा आयाम की तरंगें उत्सर्जित करते हैं और ये तरंगें एक ही मार्ग के अनुदिश गमन करती हैं और इनके बीच एक नियत कलान्तर बना रहता है तो ये दोनो स्रोत कला संबद्ध कहलाते हैं।
- जब दो कला संबद्ध प्रकाश स्रोतों से तरंगों में अध्यारोपण होता है तो भिन्न-भिन्न बिन्दुओं पर ऊर्जा का पुनर्वितरण होता है। इसे प्रकाश का व्यतिकरण कहते हैं।
- संपोषी व्यतिकरण के लिए कलन्तर $\Delta = 2n\,\pi$ और विनाशी व्यतिकरण के लिए $\Delta = (2n + 1)\pi$
- किसी अवरोध या द्वारक के किनारों पर प्रकाश के मुड़ने को प्रकाश का विवर्तन कहते हैं।
- प्रकाश के गमन की दिशा से समतल में प्रकाश के कम्पनों का सीमित हो जाना प्रकाश का ध्रुवण कहलाता है।

पाठांत प्रश्न

1. संक्षेप में प्रकाश की प्रकृति का वर्णन करने के लिए सिद्धांतो की व्याख्या कीजिए।
2. तरंगाग्र से क्या तात्पर्य है? प्रकाश के किरण पुंज की दिशा का संगत तरंग्राग से क्या संबंध होता है? हाइगेन्स के सिद्धांत का कथन कीजिए और प्रकाश तरंगों के संचरण की व्याख्या कीजिए।

3. परावर्तन के नियमों को हाइगेन्स के तरंग सिद्धांत के आधार पर प्राप्त कीजिए।
4. तरंगों के अध्यारोपण का सिद्धांत क्या है? प्रकश के व्यतिकरण की व्याख्या कीजिए।
5. व्यतिकरण उत्पन्न करने के लिए यंग के द्वि-झिरी प्रयोग का वर्णन कीजिए।
6. यंग के द्वि-झिरी प्रयोग में प्राप्त व्यतिकरण पैटर्नों पर क्या प्रभाव पड़ेगा जब:
   (i) एक स्लिट को ढक दें;
   (ii) प्रयोग को वायु के स्थान पर पानी में किया जाए;
   (iii) हरे रंग के प्रकाश स्रोत के स्थान पर पीले रंग के प्रकाश स्रोत का उपयोग करें;
   (iv) दो स्लिटों के बीच की दूरी धीरे-धीरे बढ़ाई जाए;
   (v) एक वर्णी प्रकाश के स्थान पर श्वेत रंग के प्रकाश का उपयोग करें;
   (vi) एकवर्णी प्रकाश के स्थान पर श्वेत रंग के प्रकाश का उपयोग करें;
   (vii) दो स्लिटों को थोडा निकट खिसका दें; और
   (viii) प्रत्येक स्लिट की चौड़ाई बढ़ा दें.
7. यंग के प्रयोग में स्लिटों का पृथक्कन (दूरी) 2 mm और उनके तथा पर्दे के बीच की दूरी 100cm है। स्लिटों को विभाजित करने वाली सरल रेखा पर्दे से जहां पर मिलती है, वहां से 5cm दूरी पर स्थित एक बिन्दु पर पहुँचने वाली तरंगों के बीच पथान्तर ज्ञात कीजिए।
8. हाइगेन्स की संरचना के आधार पर, विवर्तन की परिघटना की व्याख्या कीजिए।
9. आप कैसे प्रदर्शित करेंगे कि प्रकाश की तरंगे अनुप्रस्थ होती हैं?
10. ध्रुवित व अध्रुवित प्रकाश में अंतर लिखिए।
11. ब्रूस्टर का नियम लिखिए और उसकी व्याख्या कीजिए।
12. किसी माध्यम के लिए ध्रुवण कोण 60^o है। उस माध्यम का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिए।
13. किसी पदार्थ का अपवर्तनांक 1.42 है। इस पर आपतित एक अध्रुवित प्रकाश के किरणपुंज के लिए ध्रुवण कोण की गणना कीजिए।

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

22.1

1. एक दूसरे के लम्बवत् $(\theta = \pi/2)$
2. ½

22.2

1. तरंगों के आयाम और उनके बीच कलान्तर पर।
2. जब दो अध्यारोपण करती तरंगों के बीच कलान्तर 2π का पूर्ण गुणांक होता है तो हमें संपोषी व्यतिकरण मिलता है।

टिप्पणियाँ

3. नहीं। क्योंकि प्रकाश के दो स्वतंत्र स्रोत विभिन्न तरंगदैर्घ्य और आयाम की तरंगें उत्सर्जित करेंगे और इन दो तरंगों के बीच नियत कला संबंध नहीं होगा। इस प्रकार से स्रोतों को कला-असंबंध कहते है। व्यतिकरण के प्रेक्षण के लिए प्रकाश के स्रोतों का कला-संबद्ध होना आवश्यक है। जब प्रकाश की तरंगें दो कला-असंबंद्ध स्रोतों से आ रहीं हैं तो जिस बिन्दु पर किसी क्षण दोनों तरंगों के शृंग या गर्त अध्यारोपण कर दीप्ति उत्पन्न कर रहे हैं, वहीं पर अगले क्षण एक स्रोत का शृंग व दूसरे का गर्त मिलकर अंधकार उत्पन्न कर सकते हैं। अतः यदि सूची छिद्रों S_1 और S_2 दो स्थान पर दो तापदीप्त बल्बों का उपयोग किया जाए तो पर्दा समान रूप से प्रकाशित लगेगा।

4. कला संबंद्ध स्रोतों द्वारा उत्सर्जित तरंगे होनी चाहिएं।

   (a) समान आवृत्ति और तरंगदैर्घ्य की,

   (b) एक ही कला में या नियत कलान्तर की,

   (c) समान आयाम तथा आवृत्ति काल की।

   साथ ही ये दोनों बहुत निकट होने चाहिएं। हमारी आँखें इन मापदंडों को पूरा नहीं कर सकतीं।

22.3

1. हाँ

2. व्यतिकरण दो विभिन्न द्वितीयक स्रोतों से निकलने वाली द्वितीयक तरंगों के अध्यारोपण के कारण होता है जबकि विवर्तन एक ही तरंगाग्र के विभिन्न भागों में आने वाली द्वितीयक तरंगों के अध्यारोपण के कारण होता है।

3. तरंगाग्रों के बीच बढ़ते हुए पथान्तर के कारण।

22.4

1. नहीं। क्योंकि अनुदैर्ध्य तरंगों में कम्पनों की दिशा नहीं होती है जो तरंग के गमन की दिशा है।

2. नहीं   3. $90°$ or $270°$ 4. नहीं

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

7. 0.1 mm   12.   1.73   13. $54°$

23

प्रकाशीय यंत्र

हमें अपने आस-पास के संसार के बारे में अधिकांश सूचना अपनी आँखों से प्राप्त होती है। किन्तु जैसा कि आप जानते हैं, हमारी आँख की कुछ सीमाएं हैं। बहुत दूरस्थ वस्तुएँ जैसे तारे, ग्रह आदि हमें इतने छोटे दिखाई देते हैं कि हमें उनका विस्तृत विवरण नहीं मिल पाता। इसी प्रकार बहुत छोटी वस्तुएं जैसे पराग कण, जीवाणु, विषाणु आदि भी नंगी आँख से नहीं दिखाई देते साथ ही हम जो कुछ देखते हैं उसका स्थाई विवरण आँखों में नहीं रहता, सिवाय उसके जो हम याद रख पाते हैं। अत: आप पूछ सकते हैं कि हम बहुत सूक्ष्म और बहुत दूरस्थ वस्तुओं को कैसे देख सकते हैं? इसके लिए प्रयुक्त होने वाली विशेष युक्तियों को प्रकाशीय यंत्र कहते हैं। इस पाठ में दो महत्वपूर्ण प्रकाशीय यंत्रों, सूक्ष्मदर्शी व दूरबीन (टेलीस्कोप) के बारे में अध्ययन करेंगे। जैसा कि आप अवश्य जानते होंगे, सूक्ष्मदर्शी छोटी वस्तुओं को आवर्धित करता है, जबकि दूरबीन का दूरस्थ वस्तुओं को देखने के लिए उपयोग होता है। इन साधित्रों का डिजाइन आवश्यकता पर निर्भर करता है। (पाठ 20 में लेंसों तथा दर्पणों द्वारा प्रतिबिम्ब बनाने के संबंध में प्राप्त ज्ञान आपकों इन यंत्रों की कार्यप्रणाली समझने में सहायक होगा। किसी सूक्ष्मदर्शी की उपयोगिता उसकी आवर्धन क्षमता और विभेदन क्षमता से निर्धारित होती है। दूरबीन के लिए मूल शब्द विभेदन क्षमता है। आपने हब्बल दूरबीन के बारे में पढ़ा होगा, जिसका उपयोग वैज्ञानिकों द्वारा दूरस्थ मंदाकिनियों का विस्तृत विवरण प्राप्त करने और हमारे सौरमंडल के बाहर जीवन-धारणीय ग्रह की खोज के लिए किया जा रहा है।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के प्रश्चात आप:

- *सरल व संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की कार्य प्रणाली की व्याख्या कर सकेंगे;*
- *सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कर सकेंगे;*
- *रेखीय और कोणीय आवर्धन में भेद कर पाएंगे;*
- *अपवर्ती तथा परावर्ती दूरबीनों के कार्य के सिद्धांत की व्याख्या कर सकेंगे; और*
- *आँख, दूरबीन तथा सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता का परिकलन कर सकेंगे;*

23.1 सूक्ष्मदर्शी

पाठ 20 में आप लेंसों तथा दर्पणों द्वारा प्रतिबिम्बों की रचना का ज्ञान प्राप्त कर चुके हैं। यदि आप एक उत्तल लेंस लें और उसे इस पेज के ऊपर कुछ दूरी पर पकड़े रहें तो आप अक्षरों/शब्दों का प्रतिबिम्ब देखेंगे। यदि आप लेंस को इस पेज के पास लाते रहें तो इस पर छपे अक्षर आवधि ˈत होते दिखाई देंगे क्योंकि लेंस से उनका आवर्धित, आभासी तथा सीधा प्रतिबिम्ब बन रहा है। यह लेंस वास्तव में एक आवर्धक लेंस या सरल सूक्ष्मदर्शी का कार्य कर रहा है। आपने किसी डाक्टर को किसी बच्चे के शरीर पर खसरे रोग की जांच करते हुए इस प्रकार के लेंस का उपयोग करते देखा होगा। घड़ी साज तथा जौहरी, घड़ियो के छोटे-छोटे पुर्जो को तथा गहनों पर किए गए महीन काम के आवर्धन के लिए इसका उपयोग करते हैं। आप एक उत्तल लैंस लेकर सूर्य के प्रकाश को एक कागज के टुकड़े पर फोकस कर सकते हैं। आज देखेंगे कि कुछ समय पश्चात् कागज जलने लगता है। अत: उत्तल लेंस से आग लगाई जा सकती है। इसी कारण जंगल में खाली काँच की बोतलों को छोड़ना खतरनाक है। बोतलों पर पड़ने वाला सूर्य का प्रकाश जंगल की सूखी पत्तियों पर फोकस होकर उन्हें जला सकता है। कभी-कभी इससे जंगलों में आग लग जाती है, जिससे जंगल के बहुत बड़े भाग और 1 अथवा रिहायसी इलाके नष्ट हो जाते हैं। इस प्रकार की आग आस्ट्रेलिया, इन्डोनेशिया तथा संयुक्त राज्य अमेरिका में बहुत बार लगती रहती है।

आसपास की वस्तुओं को बीस गुना तक आवर्धित करने के लिए सरल सूक्ष्मदर्शी के रूप में उत्तल लेंस उपयुक्त होता है। अधिक आवर्धन के लिए संयुक्त सूक्ष्मदर्शी का उपयोग किया जाता है जो मूलत: दो लैंसों का संयोजन है। भौतिकी प्रयोगशाला में आवर्धक लैंस का उपयोग चल-सूक्ष्मदर्शी और स्पेक्ट्रोमीटर के साथ लगे वर्नियर पैमाने को पढ़ने के लिए होता है।

सरल और संयुक्त सूक्ष्म दर्शियों का अध्ययन करते समय हमें (i) निकट बिन्दु, (ii) सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी, (iii) कोणीय आवर्धन या आवर्धन क्षमता, (iv) सामान्य समायोजन जैसे पदों के बारे में जानना आवश्यक है। आइए पहले हम इनको परिभाषित करें।

(i) **निकट बिन्दु** आँख से न्यूनतम दूरी है जहां पर स्थित वस्तु का प्रतिबिम्ब आंख के लेंस द्वारा रेटिना (दृष्टिपटल) पर बनता है। निकट बिन्दु प्रत्येक व्यक्ति के लिए समान नहीं होता तथा यह व्यक्ति की आयु के साथ बदलता रहता है। कम आयु 10 साल से कम में निकट बिन्दु 7-8 cm तक हो सकता है। वृद्धावस्था में निकट बिन्दु अधिक दूर हो जाता है, जैसे 100-200 cm या इससे भी अधिक। इस कारण बच्चे अपनी पुस्तकों को पढ़ने के लिए आंखों के निकट रखते हैं और वृद्ध लोग पुस्तक या समाचार पत्र पढ़ने के लिए उसे आंखों से दूर रखते हैं।

(ii) **सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी** वह निकटतम दूरी है जहां तक मानव नेत्र (आंख) किसी वस्तु को बगैर किसी तनाव के स्पष्ट देख सकता है। सामान्य मानव नेत्र के लिए यह दूरी 25 सेमी ली जाती है।

(iii) **कोणीय आवर्धन** किसी बिंब के प्रतिबिम्ब (सूक्ष्मदर्शी द्वारा देखे जाने पर) द्वारा आंख पर बने कोण तथा सुस्पष्ट दृष्टि (दर्शन) की अल्पतम दूरी पर स्थित बिंब द्वारा खाली आँख पर बने कोण के अनुपात को कोणीय आवर्धन कहते हैं। इसे सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता भी कहते हैं।

(iv) **सामान्य समायोजन:** जब प्रतिबिम्ब अनंत पर बनता है तो इसे रेटिना पर फोकस करने के लिए आंख पर न्यूनतम तनाव होता है। इसे सामान्य समायोजन कहते हैं।

(v) **रेखीय आवर्धन:** प्रतिबिम्ब व बिम्ब के साइजों (आमापों) का अनुपात होता है।

(vi) **दर्शन कोण:** किसी वस्तु द्वारा मनुष्य की आँख पर बने कोण को दर्शन कोण कहते हैं।

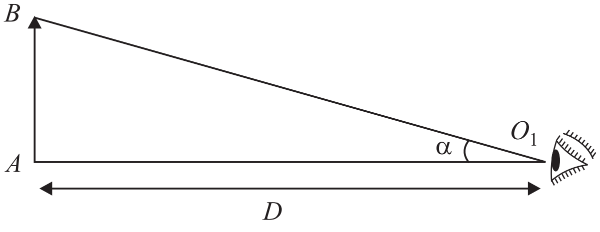
23.1.1 सरल सूक्ष्मदर्शी

जब कम फोकस दूरी के किसी उत्तल लेंस को, छोटी वस्तुओं का आवर्धित प्रतिबिम्ब देखने के लिए उपयोग किया जाता है तो उस लेंस को सरल सूक्ष्मदर्शी कहते हैं।

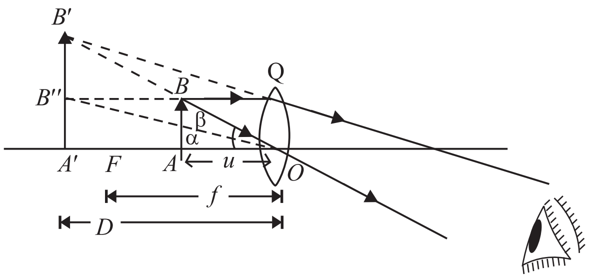
हम जानते हैं कि जब किसी बिंब को किसी उत्तल लेंस के फोकस और प्रकाशिक केन्द्र के बीच में कहीं रखा जाए तो उसका प्रतिबिम्ब आभासी, सीधा, आवर्धित तथा बिंब की ओर ही बनता है। व्यवहार में, ऐसे लेंस को आँख के पास ही रखा जाता है और बिंब की स्थिति को इस प्रकार समायोजित किया जाता है कि प्रतिबिम्ब सुस्पष्ट दृष्टि से अल्पतम दूरी पर बने। चित्र 23.1 में इसका सचित्र उदाहरण दिया गया है। जिसमें F और O के बीच में एक बिंब AB रखा है। इसका आभासी प्रतिबिम्ब $A'B'$ बिंब की ओर ही बनता है। वस्तु की स्थिति को इस प्रकार समायोजित किया जाता है कि प्रतिबिम्ब सुस्पष्ट दृष्टि की अलतम दूरी D पर बने।

सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

किसी प्रकाशिक यंत्र की आवर्धन क्षमता किसी बिंब के प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बने कोण और बिंब द्वारा आँख पर बने कोण का अनुपात है, जबकि दोनो सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी या निकट बिन्दु पर हों। इसे कोणीय आवर्धन भी कहते है और M से प्रकट करते हैं।



(a)



(b)

चित्र 23.1 : आवर्धक लेंस का कोणीय आवर्धन

चित्र 23.1 (a) और (b) से, एक सरल सूक्ष्मदर्शी का कोणीय आवर्धन $M = \dfrac{\angle A'OB'}{AO'B} = \dfrac{\beta}{\alpha}$ । व्यवहार में, कोण α और β बहुत छोटे होते हैं। अत: हम उनके स्थान पर उनकी स्पर्शज्या का मान ले सकते हैं। अर्थात्

$$M = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha} \qquad (23.1)$$

समान त्रिभुजों $A'OB'$ और AOB से हम लिख सकते हैं, $\tan\beta = \dfrac{A'B'}{A'O} = \dfrac{A'B'}{D}$ और

$\tan\alpha = \dfrac{A'B''}{A'O} = \dfrac{AB}{D}$ । समीकरण (23.1) में $\tan\beta$ और $\tan\alpha$ का मान रखने पर, हमें प्राप्त होता है

$$M = \frac{A'B'}{D}\Big/\frac{AB}{D} = \frac{A'B'}{AB}$$

चित्र 23.1 में समान त्रिभुजों AOB और $A'OB'$ में

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'O}{AO} \qquad (23.2)$$

चिह्नों की मानक प्रणाली के अनुसार,

$$A'O = -D$$

और

$$AO = -u$$

अत: समीकरण (23.2) से हमें प्राप्त होता है,

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{D}{u} \qquad (23.3)$$

यदि सरल सूक्ष्मदर्शी के लेंस की फोकस दूरी f हो तो लेंस के सूत्र $\left(\dfrac{1}{v} - \dfrac{1}{u} = \dfrac{1}{f}\right)$ का उपयोग करने और $v = -D$, $u = -u$ और $f = +f$ रखने पर

$$\frac{1}{-D} - \frac{1}{-u} = \frac{1}{f}$$

या

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

दोनों ओर D से गुणा करने पर तथा पदों को व्यवस्थित क्रम में लिखने पर

$$\frac{D}{u} = 1 + \frac{D}{f} \qquad (23.4)$$

समीकरणों (23.3) तथा (23.4) को मिलाने पर हमें प्राप्त होता है

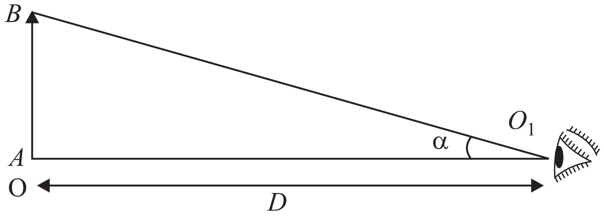
$$\frac{A'B'}{AB} = 1 + \frac{D}{f}$$

या

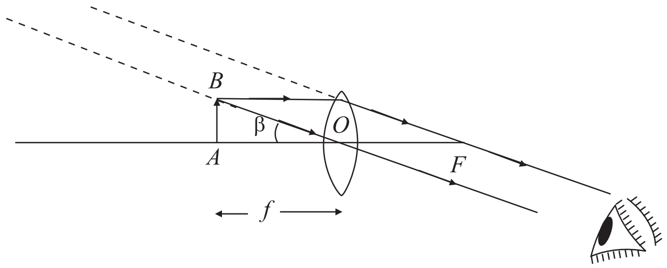
$$M = 1 + \frac{D}{f} \qquad (23.5)$$

इस परिणाम से हम देखते है कि उत्तल लेंस की फोकस दूरी जितनी कम होगी उतना ही अधिक सरल सूक्ष्मदर्शी का कोणीय आवर्धन या आवर्धन क्षमता का मान होगा।

सामान्य समायोजन : इस दशा में, प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनता है। सरल सूक्ष्मदर्शी कीआवध ॅन क्षमता को प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बने कोण और आँख पर बिंब द्वारा बनाए गए कोण के अनुपात से परिभाषित किया जाता है, जबकि बिंब D दूरी पर रखा हो। चित्र 23.1 (a) में प्रतिबिम्ब को स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी (D) पर रखा दिखाया गया है।



(a)



(b)

चित्र 23.2 : सामान्य संयोजन के लिए प्रतिबिम्ब का बनना

आँख पर बिंब पर व प्रतिबिम्ब द्वारा बने कोण क्रमशः α और β हैं। आवर्धन क्षमता की परिभाषा के अनुसार

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

व्यवहार में कोण α और β छोटे हैं, अतः पहले की भांति उनके स्थान पर हम उनकी स्पर्शज्या लिख सकते हैं। तब

$$M = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha}$$

अर्थात्

$$= \frac{AB}{AO} \Big/ \frac{AB}{AO_1}$$

$$= \frac{AO_1}{AO} = \frac{D}{f}$$

या

$$M = \frac{D}{f} \qquad (23.6)$$

ध्यान रखिए कि सामान्य समायोजन में, प्रतिबिम्ब को देखना अधिक आरामदेह होता है? आपकी अवधारणाओं को स्पष्ट करने के लिए, अब हम आपको एक उदाहरण देते हैं, जिसमें एक प्रश्न को हल किया गया है। इसे ध्यानपूर्वक पढ़िए।

उदाहरण 23.1: उस सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता का परिकलन कीजिए जिसकी फोकस दूरी 2.5 cm है।

हलः : किसी सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता समीकरण (23.5) के अनुसार,

$$M = 1 + \frac{D}{f}$$

इसमें $D = 25$ cm और $f = 2.5$cm, रखने पर हम पाते हैं:

$$M = 1 + \frac{25}{2.5} = 1 + 10 = 11$$

23.1.2 A संयुक्त सूक्ष्मदर्शी

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में दो उत्तल लेंस होते हैं। एक कम द्वारक और कम फोकस दूरी का उत्तल लेंस बिंब की ओर होता है अभिदृश्यक कहलाता है। अभिदृश्यक और दूसरा लैंस जो कम फोकस दूरी किन्तु अधिक द्वारक का आँख की ओर होता है अभिदृश्यक और नेत्रिका को एक नली के दो सिरों पर इस प्रकार लगाया जाता है कि उनकी अक्ष एक ही हो।

जब बिंब को अभिदृश्यक F और 2 F के बीच रखा जाता है तो अभिदृश्यक के दूसरी ओर 2F से आगे एक वास्तविक, उल्टा व आवर्धित प्रतिबिम्ब बनता है। यह प्रतिबिम्ब नेत्रिका के लिए बिंब का कार्य करता है और फिर नेत्रिका सरल सूक्ष्मदर्शी की भांति कार्य करती है। नेत्रिका को इस प्रकार समायोजित किया जाता है कि यह प्रतिबिम्ब नेत्रिका के फोकस और प्रकाशिक केन्द्र के बीच में रहे, जिससे आवर्धित प्रतिबिम्ब नेत्रिका से सुस्पष्ट दृष्टि के अल्पतम दूरी पर बने।

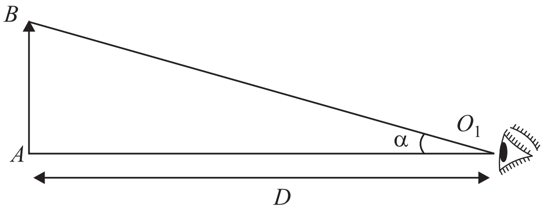
संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता को अन्तिम प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बने कोण और बिंब द्वारा आँख पर बने कोण के अनुपात से परिभाषित किया जाता है जबकि दोनो सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी पर हों। इसे M से निर्दिष्ट किया जाता है। चित्र 23.3 से हम लिख सकते हैं

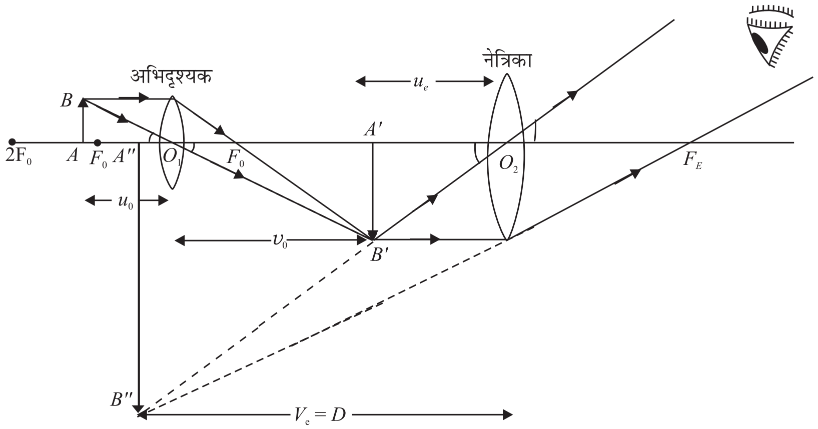
$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

चूँकि α और β बहुत छोटे कोण हैं, इनके स्थान पर हम इनके स्पर्शज्या को ले सकते हैं, जिससे

$$M = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha}$$



(a)



(b)

चित्र 23.3 : ***संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा प्रतिबिम्ब का बनना, जब अंतिम प्रतिबिम्ब सुस्पष्ट दृष्टि से अल्पतम दूरी पर बने।***

$$M = \frac{A''B''}{D} \Big/ \frac{AB}{D}$$

$$\Rightarrow \qquad M = \frac{A''B''}{AB} = \frac{A''B''}{A'B'} \cdot \frac{A'B'}{AB}$$

समान त्रिभुजों $A''B''O_2$ और $A'B'O_2$, से हम लिख सकते हैं,

$$\frac{A''B''}{A'B'} = \frac{A''O_2}{A'O_2} = \frac{D}{u_e}$$

साथ ही समान त्रिभुजों $A'B'O_1$ तथा ABO से हमें प्राप्त होता है।

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{v_o}{u_o}$$

ध्यान दीजिए कि $m_e = \frac{A''B''}{A'B'}$ नेत्रिका द्वारा उत्पन्न आवर्धन है, और $m_o = \frac{A'B'}{AB}$ अभिदृश्यक द्वारा उत्पन्न आवर्धन है। अत:

$$M = \frac{D}{u_e} \cdot \frac{v_o}{u_o} = m_e \times m_o \qquad (23.7)$$

पाठ 20 से लेंस सूत्र के अनुसार, नेत्रिका के लिए हम लिख सकते हैं

$$\frac{1}{v_e} - \frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e}$$

दोनों ओर v_e से गुणा करने पर, हमें प्राप्त होता है

$$\frac{v_e}{v_e} - \frac{v_e}{u_e} = \frac{v_e}{f_e}$$

$$\Rightarrow \qquad \frac{v_e}{u_e} = 1 - \frac{v_e}{f_e}$$

क्योंकि चिह्नों की परिपाटी के अनुसार f_e धनात्मक है और $v_e = -D$ हम लिख सकते हैं

$$m_e = \frac{v_e}{u_e} = 1 + \frac{D}{f_e} \qquad (23.8)$$

समीकरणों (23.7) और 923.8) को मिलाने पर, हमें प्राप्त होता है।

$$M = \frac{v_o}{u_o} \times \quad 1 + \frac{D}{f_e}$$

व्यवहारिक रुप में, अभिदृश्यक की फोकस दूरी बहुत कम होती है और बिंब AB अभिदृश्यक के फोकस के ठीक पीछे रखा जाता है। अर्थात्

$$\therefore \qquad u_o \approx f_0$$

चूँकि नेत्रिका की फोकस दूरी भी बहुत कम होती है। प्रतिबिम्ब $A'B'$ की अभिदृश्यक से दूरी लगभग सूक्ष्मदर्शी की नलिका की लम्बाई (L) के बराबर है, अर्थात्

$$v_o \approx L$$

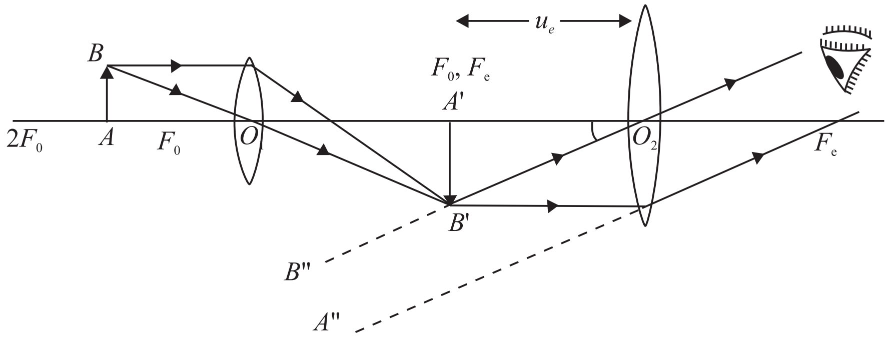
अतः आवर्धन क्षमता को सूक्ष्मदर्शी से संबंधित प्राचलों (पैरामीटरों) के पदों में इस प्रकार लिखा जा सकता है,

$$M = \frac{L}{f_0} \quad 1 + \frac{D}{f_e} \qquad (23.10)$$

सामान्य समायोजन में आवर्धन क्षमता : इस दशा में अंतिम प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनता है। जैसा हम पहले देख चुके हैं, संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता को निम्न प्रकार लिखा जा सकता है,

$$M = m_o \times m_e$$

$$= \frac{v_o}{u_o} \quad \frac{D}{f_e}$$



चित्र 23.4 : समान्य समायोजन में संयुक्त सूक्ष्मदर्शी

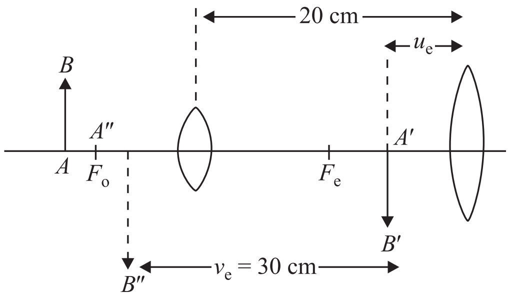
टिप्पणियाँ

अब आप एक आंकिक प्रश्न को देखिए

उदाहरण 23.2 : किसी संयुक्त सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक की फोकस दूरी 2 cm और नेत्रिका की फोकस दूरी 5 cm है। दो लेंसों के केन्द्र के बीच की दूरी 20 cm है। यदि अंतिम प्रतिबिम्ब नेत्रिका से 30 cm दूरी पर बनता है तो सूक्ष्मदर्शी का आवर्धन ज्ञात कीजिए।

हल : अभिदृश्यक के लिए $f_o = 2$ cm और $f_e = 5$ cm। नेत्रिका के लिए $v_e = -30$ cm और $f_e = 5$ cm। हम v_e का मान निम्न समीकरण से ज्ञात कर पाते हैं।

$$\frac{1}{v_e} - \frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e}$$



हल करने पर

$$u_e = -\frac{30}{7} \text{ cm}$$

अभिदृश्यक के लिए

$$v_o = 20 - \frac{30}{7}$$

$$= \frac{110}{7} \text{ cm}$$

निम्न सूत्र का प्रयोग करने पर,

$$\frac{1}{v_o} - \frac{1}{u_o} = \frac{1}{f_o}$$

हमें प्राप्त होता है

$$\frac{1}{110/7} - \frac{1}{u_o} = \frac{1}{2}$$

या

$$u_o = -\frac{110}{48} \text{ cm}$$

अभिदृश्यक की आवर्धन क्षमता

$$m_o = \frac{v_o}{u_o} = \frac{110/7}{-110/48} = -\frac{48}{7}$$

नेत्रिका के कारण आवर्धन

$$m_o = \frac{v_e}{u_e} = \frac{-30/1}{-30/7} = 7$$

अतः संयुक्त सूक्ष्मदर्शी का आवर्धन

$$M = (m_o)(m_e)$$

$$= \left(-\frac{48}{7}\right)(7) = -48$$

पाठगत प्रश्न 23.1

1. (i) सरल सूक्ष्मदर्शी और (ii) संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा बनाए गए प्रतिबिम्बों की प्रकृति कैसी होती है?
2. आवर्धन और आवर्धन क्षमता में क्या अंतर है?
3. किसी सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता 11 है। इसकी फोकस दूरी कितनी होगी?
4. यदि आपके पास 100 cm तथा 4 cm फोकस दूरी के दो उत्तल लेंस हों तो इनमें से किसे आप संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की नेत्रिका बनाने के लिए चुनेंगे और क्यों?
5. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक तथा नेत्रिका दोनों की ही फोकस दूरी कम क्यों होनी चाहिए?

23.2 दूरदर्शक (दूरबीन)

दूरदर्शक का उपयोग दूरस्थ वस्तुओं, जैसे खगोलीय और पार्थिव पिंडों को देखने के लिए होता है। इनमें से कुछ पिंड (या वस्तुएं) हो सकता है नंगी आंख से न दिखाई दें। दूरस्थ वस्तुओं द्वारा आंख पर बना दर्शनकोण इतना छोटा होता है कि हम वस्तु का अनुभव ही नहीं कर सकते। दूरबीनों का उपयोग दर्शन कोण को बढ़ा देता है तथा प्रतिबिम्ब को आंख के निकट ला देता है। मुख्यत: दो प्रकार के दूरदर्शकों का सामान्यत: उपयोग होता है: अपवर्ती दूरदर्शक और परावर्ती दूरदर्शक। अब हम इन पर चर्चा करेंगे।

23.2.1 अपवर्ती दूरदर्शक

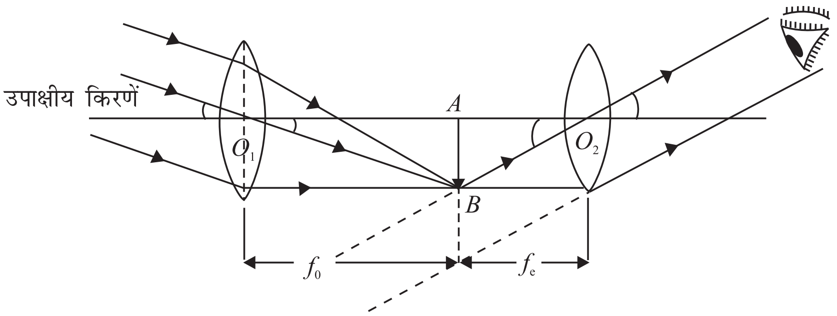
अपवर्ती-दूरदर्शक भी दो प्रकार के होते है:

- **खगोलीय दूरदर्शक:** इनका उपयोग खेगोलीय या आकाशीय पिंडों के प्रेक्षण के लिए होता है।
- **पार्थिव दूरदर्शक:** इनका उपयोग पृथ्वी पर दूर स्थित वस्तुओं को देखने के लिए किया जाता है। इन्हें देखने के लिए यह आवश्यक है कि हमें सीधा प्रतिबिम्ब दिखाई दे। गैलीलियो का दूरदर्शक भी पृथ्वी पर दूर स्थित वस्तुओं को देखने के लिए प्रयुक्त होता है।

  खगोलीय दूरदर्शक उल्टा तथा आभासी प्रतिबिम्ब बनाता है। चूँकि खगोलीय पिंड गोल होते हैं अत: उनके प्रतिबिम्ब के उल्टे होने का प्रेक्षण पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता। इस दूरदर्शक में दो लेंसों का एक तंत्र होता है। वस्तु की ओर के लेंस को *अभिदृश्यक* कहते हैं। इसका द्वारक और फोकस दूरी (f_o) दोनों अधिक होते हैं। दूसरा लेंस, जो आँख की ओर होता है, नेत्रिका कहलाता हैं इसका द्वारक और फोकस दूरी (f_e) दोनों ही कम होते हैं। अभिदृश्यक और नेत्रिका धातु की समाक्ष नलियों में लगे होते हैं।

अभिदृश्यक दूरस्थत बिंब का अपने फोकस तल पर एक वास्तविक और छोटा प्रतिबिम्ब बनाता है। नेत्रिका के लिए यह प्रतिबिम्ब वस्तु का काम करता है और नेत्रिका से इसका एक आवर्धित व आभासी प्रतिबिम्ब बन जाता है। नेत्रिका को आगे-पीछे खिसका कर, इस प्रकार समायोजित किया जाता है कि अन्तिम प्रतिबिम्ब अनंत पर बने। (इस व्यवस्था को सामान्य समायोजन कहते हैं।) नेत्रिका को इस प्रकार भी व्यवस्थित किया जा सकता है कि अन्तिम प्रतिबिम्ब सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी पर बने।

जब अन्तिम प्रतिबिम्ब अनंत पर बनता है (सामान्य समायोजन), खगोलीय पिंड से आने वाली उपाक्षीय किरणें एक दूसरे के समान्तर होती हैं, और मुख्य अक्ष से α (अल्फा) कोण बनाती हैं। ये किरणें अभिदृश्यक से गुजरने के पश्चात्, उसके फोकस तल पर एक वास्तविक और छोटा प्रतिबिम्ब बनाती हैं। इस स्थिति में, नेत्रिका की स्थिति को इस प्रकार समायोजित किया जाता है कि अंतिम प्रतिबिम्ब अनंत पर बने।



चित्र 23.6 : खगोलीय दूरदर्शक का कार्य-सिद्धांत

आवर्धक क्षमता : दूरदर्शक की आवर्धन क्षमता की परिभाषा इस प्रकार की जाती है: यह दूरदर्शक द्वारा देखे जाने पर, प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बनाए गए कोण β और बिंब द्वारा अभिदृश्यक पर बनाए गए कोण का अनुपात है। जब वस्तु तथा प्रतिबिम्ब दोनों अनंत पर हो। इसे *कोणीय आवध* *र्न* भी कहते है और इसे M से निर्दिष्ट किया जाता है। परिभाषा के अनुसार

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

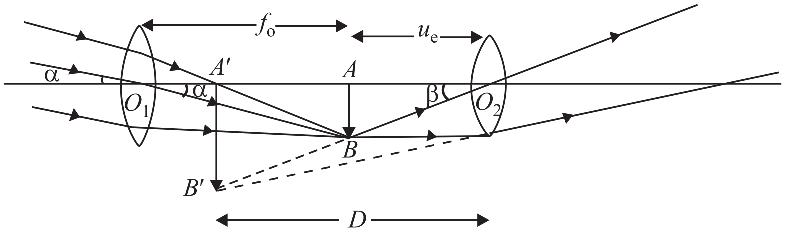
क्योंकि ये दोनों कोण बहुत छोटे हैं, अत: इनके स्थान पर इनकी स्पर्शज्या लिख सकते हैं,

$$M = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha} = \frac{AB/AO_2}{AB/AO_1} = \frac{AO_1}{AO_2}$$

$$= \frac{f_o}{f_e} \qquad (23.11)$$

इससे यह स्पष्ट होता है कि सामान्य समायोजन में किसी दूरदर्शक की आवर्धक समायोजन में किसी दूरदर्शक की आवर्धक क्षमता अधिक होगी यदि अभिदृश्यक की फोकस दूरी अधिक हो और नेत्रिका की फोकस दूरी कम हो। सामान्य समायोजन में दूरदर्शक की लम्बाई $(f_o + f_e)$ होती है।

(b) ***जब अन्तिम प्रतिबिम्ब सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी*** पर बनता है, तो सुदूर खगोलीय पिंडों से आने वाली उपाक्षीय किरणें मुख्य अक्ष से α कोण बनाती हैं। अभिदृश्यक से अपवर्तन के पश्चात् ये किरणें दूसरी ओर एक वास्तविक और उल्टा प्रतिबम्ब AB बनाती हैं। नेत्रिका की स्थिति का समायोजन इस प्रकार किया जाता है कि इससे अन्तिम प्रतिबिम्ब सुपस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी पर बने।



चित्र 23.7 :*D* दूरी पर दूरदर्शक द्वारा बना प्रतिबिम्ब

आवर्धन क्षमता: इसे D दूरी पर बने प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर अंतरित कोण और अनंत पर स्थित बिम्ब द्वारा आंख पर बने कोण के अनुपात से परिभाषित किया जाता है:

$$M = \frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{\tan\beta}{\tan\alpha}$$

$$= \frac{AB/AO_2}{AB/AO_1} = \frac{AO_1}{AO_2}$$

$$= \frac{f_o}{u_e} \qquad (23.12)$$

क्योंकि नेत्रिका के लिए $\frac{1}{v_e} - \frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e}$

हम लिख पाते हैं

$$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{v_e} - \frac{1}{f_e}$$

$$= -\frac{1}{f_e}\left(1 - \frac{f_e}{v_e}\right)$$

या $$M = \frac{f_o}{u_e} = -\frac{f_o}{f_e}\left(1 - \frac{f_e}{v_e}\right) \qquad (23.13)$$

नए कार्तीय चिह्नों की परिपार्टी के अनुसार $f_o = +f_o$, $v_e = -D$, $f_e = +f_e$ अतः हम लिख सकते हैं

$$M = -\frac{f_o}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right) \qquad (23.14)$$

आवर्धन क्षमता का ऋणात्मक चिन्ह प्रदर्शित करता है कि अन्तिम प्रतिबिम्ब उल्टा और वास्तविक है। दूरदर्शक की आवर्धन क्षमता के लिए उपरोक्त व्यंजक से ज्ञात होता है कि सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी पर समायोजन में आवर्धन क्षमता, सामान्य समायोजन में आवर्धन क्षमता से अधिक होती है।

उदाहरण 23.3: किसी पार्थिव दूरदर्शक के अभिदृश्यक तथा नेत्रिका की फोकस दूरी क्रमश: 75 cm और 5 cm है। यदि अन्तिम प्रतिबिम्ब सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी पर बना हो तो, दूरदर्शक की आवर्धन क्षमता ज्ञात कीजिए।

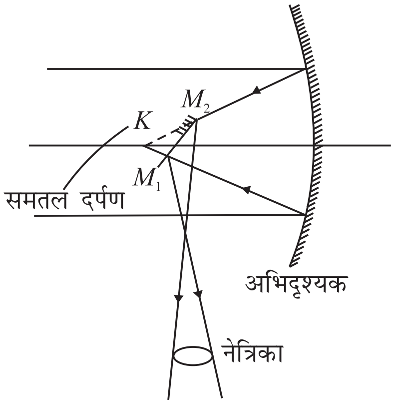
हल:

यहाँ $f_o = 75$ cm, $f_e = 5$ cm, $D = 25$ cm

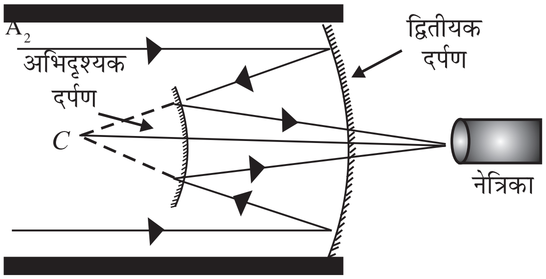
$$M = -\frac{f_o}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{D}\right) = \frac{-75}{5}\left(1+\frac{5}{25}\right) = -18$$

23.2.2 परावर्ती दूरदर्शक (दूरबीन)

परावर्ती दूरदर्शक का उपयोग दूरस्थ तारों को देखने के लिए किया जाता है और इनकी प्रकाश संग्रह करने की क्षमता अधिक होती है ताकि अंतरिक्ष में स्थित धुंधले तारों का भी दीप्त प्रतिबिम्ब बन सके। इनका अभिदृश्यक बड़े द्वारक तथा अधिक फोकस दूरी का अवतल दर्पण होता है। यह अवतल दपर्ण परवलीय होने के कारण गोलीय विपथन (Spherical aberration) से मुक्त होता है।



चित्र 23.8 : न्यूटन का परावर्तक



चित्र 23.9 : केसेग्रेन का परावर्तक

दूरस्थ किसी पिंड से आने वाली किरणें अभिदृश्यक से परावर्तन के पश्चात् उसके फोकस तल उस पिंड का वास्तविक, छोटा व उल्टा प्रतिबिम्ब बनाएंगी, किन्तु, इससे पहले ही ये किरणों एक समतल दपर्ण द्वारा रोक कर परावर्तित कर दी जाती है। यह समतल दपर्ण M_1M_2 अभिदृश्यक के अवतल दपर्ण के मुख्य अक्ष से 45 अंश का कोण बनाता है। समतल दर्पण किरणों को विचलित कर नेत्रिका के सामने एक वास्तविक प्रतिबिम्ब बना देता है। नेत्रिका अवतल दर्पण की अक्ष के लम्बवत् होती है। नेत्रिका का कार्य किसी तारे का आवधि ´त व आभासी प्रतिबिम्ब बनाना होता है ताकि हमारी आंख उसे सुस्पष्ट देख सके।

यदि अवतल दर्पण (अभिदृश्यक) की फोकस दूरी f_o हो तो परावर्तक दूरदर्शक की आवर्धक क्षमता

$$M = \frac{f_o}{f_e}$$

यदि अभिदृश्यक का व्यास D तथा आँख की पुतली का व्यास d हो तो द्युति अनुपात

$$B = D^2/d^2$$

दूसरे प्रकार का परावर्ती दूरदर्शक चित्र (23.9) में दिखाया गया है। इसको केसेग्रेन ने डिजाइन किया था। इसमें अभिदृश्यक के केन्द्र पर एक खिड़की बनी होती है। दूरस्थ तारे से आने वाली किरणें अवतल दपर्ण (अर्थात् अभिदृश्यक) से परावर्तन के पश्चात् एक उत्तल दपर्ण द्वारा अवरोधित की जाती हैं और अन्तिम प्रतिबिम्ब को एक नेत्रिका द्वारा देखा जाता है।

अपवर्ती दूरदर्शक की तुलना में परावर्ती दूरदर्शक में कई लाभ हैं:

- चूँकि परावर्ती दूरदर्शक में अभिदृश्यक लेन्स नहीं वरन् दर्पण होताहै, अत: इसमें वर्ण विपणन नहीं होता। इस प्रकार दूरस्थ तारों से अभिदृश्यक तक पहुंचाने वाली भिन्न-भिन्न रंग की किरणें एक ही बिन्दु पर फोकसित होती हैं।

- क्योकि अवतल दर्पण परवलीय होता है, इसमें गोलीय विपणन नहीं होता और इससे सुस्पष्ट प्रतिबिम्ब बनता है।

- परावर्ती दूरदर्शकों का द्वारक अधिक होता है, जिसके कारण इनकी प्रकाश संग्रहण की क्षमता अधिक होती है। प्रतिबिम्ब की तीव्रता अभिदृश्यक के क्षेत्रफल की समानुपाती होती है:

  $$B \; \alpha \; \frac{\pi D^2}{4}$$

  जहाँ D अभिदृश्यक का व्यास है। यदि d आँख की पुतली का व्यास हो तो दूरदर्शक की तीव्रता B को दूरस्थ वस्तु से अभिदृश्यक द्वारा एकत्र प्रकाश और आँख द्वारा एकत्र प्रकाश की मात्र के अनुपात से परिभाषित किया जाता है।

  $$B = \frac{\pi D^2/4}{\pi d^2/4} = \frac{D^2}{d^2}$$

- परावर्ती दूरदर्शकों में प्रकाश का अवशोषण नगण्य होता है।

- परावर्ती दूरदर्शक के बड़े द्वारक के कारण हम सुदूर तारों को सूक्ष्म विवरण भी देख सकते हैं, और गहन अंतरिक्ष में अन्वेषण कर सकते हैं। यही कारण है कि हाल के वर्षों में खगोलज्ञों ने कई नए तारों और तारकीय निकायों की खोज की है। इस प्रकार की खोजों के विवरणों के बारे में आपको दैनिक समाचार पत्रों तथा विज्ञान-प्रत्रिकाओं में पढ़ना चाहिए।

पाठगत प्रश्न 23.2

1. किसी दूरदर्शक की आवर्धन क्षमता पर क्या प्रभाव पड़ेगा यदि

   (a) अभिदृश्यक की फोकस दूरी बढ़ा दी जाए? ______________________________

   ____

   (b) नेत्रिका की फोकस दूरी बढ़ा दी जाए? ______________________________

   ____

2. किसी दूरदर्शक के अभिदृश्यक तथा नेत्रिका की फोकस दूरी क्रमशः 5 cm और 2 cm है। इसका आवर्धन कितना है?

3. अपवर्ती और परावर्ती दूरदर्शकों में एक अंतर लिखिए।

4. सामान्य समायोजन से क्या तात्पर्य है?

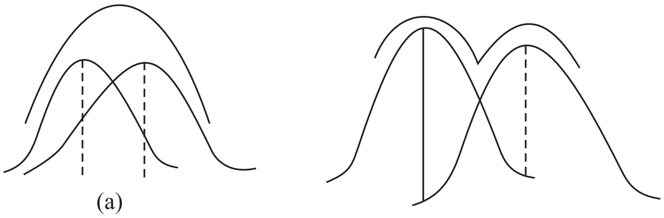
5. यदि किसी दूरदर्शक को उल्टा करके नेत्रिका को अभिदृश्यक की तरह काम में लाया जाए तो क्या वह एक सूक्ष्मदर्शी का काम करेगा?

23.3 विभेदन क्षमताः रेले का निकष (कसौटी)

पिछले पाठों में आप देख चुके हैं कि किसी बिन्दु स्रोत का प्रतिबिम्ब एक बिन्दु नहीं होता बल्कि उसका निश्चित साइज होता है जो एक विवर्तन पैटर्न से घिरा होता है। इसी प्रकार यदि दो बिन्दु आँख स्रोत पास-पास हों तो उनके द्वारा बने विवर्तन पैटर्न एक दूसरे पर आच्छादित हो सकते हैं और नंगी आँख द्वारा उन दोनों को सुस्पष्ट अलग-अलग देखना कठिन हो सकता है। किसी प्रकाशीय यंत्र की विभेदन क्षमता दो बहुत निकट स्थित बिन्दु वस्तुओं के प्रतिबिम्बों को सुस्पष्ट अलग-अलग कर पाने की योग्यता है। रेले ने सुझाव दिया था कि दो प्रतिबिम्बों को हम सुस्पष्ट अलग-अलग तब देख पाते हैं जब एक वस्तु के कारण विर्वतन पैटर्न का पहला निम्निष्ठ दूसरे के केन्द्रीय उच्चिष्ठ पर पड़े। इसे रेले का निकष या कसौटी कहते हैं।

यदि हम यह मान लें कि हमारी आंख की पुतली का व्यास लगभग 2 mm है तो दो बिन्दु सुस्पष्ट रूप से अलग-अलग तब दिखाई देंगे जब वे हमारी आंख पर लगभग एक मिनट का कोण बनाएंगे। इस कोण के व्युत्क्रम को आंख की विभेदन क्षमता कहा जाता है।

आइए, अब हम कुछ सामान्य प्रकाशिय यंत्रों की विभेदन क्षमता का परिकलन करें। हम अपनी चर्चा को दूरदर्शक से प्रारंभ करते हैं।



चित्र 23.10 : विभेदन के लिए रेले की कसौटी (निकष) a) जब कोणीय पृथक्कन θ से कम हो तो दो बिन्दु मिले हुए दिखाई देते हैं b) जब यह θ से अधिक हो तो दोनों बिदु सुस्पष्ट रूप से अलग-अलग दिखाई देते हैं।

किसी दूरदर्शक की विभेदन क्षमता, पास-पास स्थित दो दूर की वस्तुओं के दो अलग-अलग सुस्पष्ट प्रतिबिम्ब बनाने की उसकी सामर्थ्य है। इसे उन दो पास-पास स्थित, किन्तु, अलग-अलग सुस्पष्ट वस्तुओं (या पिडों) द्वारा अभिदृश्यक पर बनाए गए कोण के पदों में मापा जाता है, जिनके प्रतिबिम्ब दूरदर्शक में मात्र पृथक-पृथक दिखाई देते हैं। यह कोण दूरदर्शक की **विभेदन सीमा** कहलाता है। यदि दो सुस्पष्ट वस्तुओं द्वारा बना कोण इस कोण से कम हो तो दूरदर्शक वस्तुओं के प्रतिबिम्बों का विभेदन नहीं कर सकता। यह कोण जितना कम होगा, दूरदर्शक की विभेदन क्षमता उतनी ही अधिक होगी। इस प्रकार विभेदन सीमा के व्युत्क्रम से दूरदर्शक की विभेदन क्षमता प्राप्त होती है।

यदि λ प्रकाश की तरंगदैर्घ्य, D दूरदर्शक के अभिदृश्यक का व्यास और θ बिन्दु बिंब द्वारा अभिदृश्यक पर बना कोण हो तो दूरदर्शक की विभेदन सीमा (रेले की कसौटी या निकष) के अनुसार

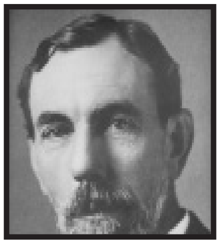
$$\theta = \frac{1.22\lambda}{D}$$

अतः दूरदर्शक की विभेदन क्षमता :

$$(R.P)_T = \frac{1}{\theta} = \frac{D}{1.22\lambda} \qquad (23.15)$$

समीकरण (23.15) से स्पष्ट है कि अधिक विभेदन क्षमता के लिए अधिक द्वारक का अभिदृश्यक या कम तरंगदैर्ध्य के प्रकाश का उपयोग करना चाहिए।

लार्ड रेले
(1842 – 1919)



इंगलैण्ड के एसेक्स में स्थित विथाम में टर्लिंग प्लेस के द्वितीय बेरोन रेले से उत्पन्न जॉन स्ट्रट का अपने बाल्यकाल में बहुत खराब स्वास्थ्य था। लेकिन यह उसका सौभाग्य था कि एडवर्ड रैथ और स्टोक्स उसके शिक्षक थे। परिणामस्वरुप, 1865 में उन्होंने ट्राइपोज परीक्षा सीनियर रेंगलर के रुप में उत्तीर्ण की और स्मिथ्स पुरस्कार के प्रथम प्राप्तकर्ता बने।

आपने आर्गन की खोज की, जिसके लिए उन्हें नोबेल पुरस्कार (1904) प्रदान किया गया। इसके अलावा रेले ने जलगतिकी, ऊष्मागतिकी, प्रकाशिकी एवं गणित के क्षेत्रों में भी व्यापक रुप से काम किया। उनका चल-तरंग सिद्धांत, जिसके अनुसार प्रत्यास्थ तरंगें किसी पृष्ठ द्वारा पथ-प्रदर्शित हो सकती हैं, ने भूकंप विज्ञान एवं इलेक्ट्रॉनिक संकेत संसाधन में अनुसंधान के मार्ग को प्रशस्त किया। अपने जीवन के बाद के वर्षों में, उन्होंने मनोविकार विज्ञान में शोध में भी रूचि दिखाई चंद्रमा तथा मंगल पर उनके नाम के क्रेटर उनके योगदानों के लिए अर्पित की जाने वाली श्रद्धांजलि के उदाहरण हैं।

उदाहरण 23.4: एक 3 cm के द्वारक का दूरदर्शक 80 m दूर स्थित एक खिड़की की जाली पर फोकस किया गया है। यदि जाली के दो तारों के बीच 2 mm की दूरी है तो दूरदर्शक तारों की इस जाली को सुस्पष्ट देख पाएगा या नहीं? प्रकाश की मध्यमान तरंगदैर्ध्य $\lambda = 5.5 \times 10^{-7}$ m

हल: दिया है, $\lambda = 5.5 \times 10^{-7}$ m और $D = 3$ cm $= 3 \times 10^{-2}$ m

अत: विभेदन की सीमा

$$\theta = \frac{1.22\lambda}{D} = \frac{1.22 \times 5.5 \times 10^{-7}\,\text{m}}{3 \times 10^{-2}\,\text{m}} = 2.236 \times 10^{-5}\ \text{rad}$$

यह दूरदर्शक जाली का विभेदन कर पाएगा यदि उसके द्वारा अभिदृश्यक पर बना कोण, विभेदन सीमा, θ, के बराबर या उससे अधिक हो जाली द्वारा अभिदृश्यक पर बना कोण

$$\alpha = \frac{\text{जाली में दो तारों के बीच की दुरी}}{\text{जाली से अभिदृश्यक की दूरी}}$$

$$= \frac{2\ \text{mm}}{80\ \text{m}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{80\ \text{m}} = 2.5 \times 10^{-5}\ \text{rad}$$

क्योंकि 2.5×10^{-5} rad (रेडियन) विभेदन सीमा ($= 2.236 \times 10^{-5}$ रेडियन) से अधिक है, अत: दूरदर्शक जाली के तारों को अलग-अलग देख पाएगा।

23.3.2 सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता

किसी सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता, दो बहुत निकट स्थित वस्तुओं के अलग-अलग (सुस्पष्ट) प्रतिबिम्ब बना सकने की सामर्थ्य है। किसी सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता को उन दो वस्तुओं के बीच के न्यूनतम रेखीय पृथक्करण के पदों में मापा जाता है, जिन्हें सूक्ष्मदर्शी द्वारा मात्र अलग-अलग देखा जा सकता है। दो वस्तुओं के बीच की यह रेखीय-दूरी (पृथक्करण) सूक्ष्मदर्शी की विभेदन सीमा कहलाती है। जितना कम रेखीय पृथक्करण का मान होगा उतनी ही अधिक सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता होगी। इस प्रकार विभेदन सीमा के व्युत्क्रम से सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता प्राप्त होती हैं।

यदि वस्तु को प्रकाशित करने के लिए प्रयुक्त प्रकाश की तरंगदैर्ध्य λ, आंख पर बिन्दु स्रोत से प्रकाश के शंकु का अर्धकोण θ और वस्तु तथा अभिदृश्यक के बीच माध्यम का अपवर्तनांक n हो तो सूक्ष्मदर्शी की विभेदन सीमा के लिए व्यंजक होगा

$$d = \frac{\lambda}{2n\sin\theta} \qquad (23.16)$$

अतः सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता

$$(R.P)_m = \frac{2n\sin\theta}{\lambda} \qquad (23.17)$$

व्यंजक $2n\sin\theta$ को *आंकिक द्वारक* कहते हैं। किसी अभिदृश्यक के लिए इसका व्यवहार में अधिकतम मान 1.6 है। आंख के लिए यह मान 0.004 होता है।

समीकरण (23.17) से स्पष्ट है कि किसी सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता को आंकिक द्वारक बढ़ाकर और वस्तु को प्रकाशित करने के लिए कम तरंगदैर्ध्य के प्रकाश का उपयोग कर बढ़ाया जा सकता है। इसी कारण पराबैंगनी सूक्ष्मदर्शी और इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता बहुत अधिक होती है।

खगोल-विज्ञान में अनुप्रयोग

खगोलीय (या प्रकाशिक) दूरदर्शक तारे, ग्रहों और अन्य खगोलीय पिंडों के प्रेक्षण के लिए उपयेाग में लाए जा सकते हैं। अधिक अच्छी विभेदन क्षमता के लिए प्रकाशिक दूरदर्शकों के अभिदृश्यकों का द्वारक अधिक बड़ा रखा जाता है। किंतु इतने बड़े लेंस को बनाना और उन्हें संभालना कठिन होता है। अतः अधिकतर खगोलीय दूरदर्शक में लेंसों के स्थान पर दर्पणों का उपयोग होता है। दर्पण समान प्रकाशीय गुणवत्ता के लेंसों से कम भारी होते हैं, इन्हें संभालना अधिक आसान होता है। भूतल पर स्थित खगोलीय दूरदर्शकों में प्रतिबिम्ब धुंधले (या अस्पष्ट) होते हैं, साथ ही पराबैगनी किरणें, एक्स किरणें, गामा किरणें आदि पृथ्वी के वायुमण्डल द्वारा अवशोषित हो जाती हैं। अतः उनका अध्ययन भूतल पर स्थित दूरदर्शकों से नहीं हो सकता। खगोलीय पिंडों से आने वाली इन किरणों के अध्ययन के लिए दूरदर्शकों को पृथ्वी के ऊपर, वायुमंडल में, कृत्रिम उपग्रहों में रख दिया जाता है। नासा का हब्बल दूरदर्शक ऐसे ही दूरदर्शक का एक उदाहरण है। चन्द्र एक्स किरण प्रेक्षण दूरदर्शक, कॉम्पटन एक्स-किरण प्रेक्षण दूरदर्शक और अवरक्त किरण दूरदर्शक हाल ही में अंतरिक्ष में स्थापित किए गए हैं।

पाठगत प्रश्न 23.3

1. किसी दूरदर्शक की विभेदन क्षमता को कैसे बढ़ाया जा सकता है?
2. आंख की विभेदन सीमा और विभेदन क्षमता में क्या संबंध है?

3. यदि वस्तु को प्रकाशित करने के लिए प्रयुक्त प्रकाश की तरंगदैर्घ्य को बढ़ा दिया जाए तो किसी सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

4. यदि किसी दूरदर्शक के अभिदृश्यक का व्यास बढ़ा दिया जाए और कम तरंगदैर्घ्य के प्रकाश का उपयोग किया जाए तो उसकी विभेदन क्षमता में किस प्रकार का परिवर्तन होगा?

आपने क्या सीखा

- मानव नेत्र पर किसी वस्तु द्वारा अंतरित कोण दर्शनकोण कहलाता है।
- किसी सूक्ष्मदर्शी का कोणीय आवर्धन या आवर्धन क्षमता, प्रतिबिम्ब तथा बिंब द्वारा आंख पर अंतरित कोणों का अनुपात है जबकि दोनों (अर्थात बिंब और प्रतिबिम्ब) आंख के निकट बिन्दु पर स्थित हों।
- रेखीय (रैखिक) आवर्धन को प्रतिबिम्ब तथा बिंब के साइजों (आमापों) के अनुपात से परिभाषित किया जाता है।
- किसी सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता $M = 1+\frac{D}{f}$, जहां D सुस्पष्ट दृष्टि की अल्पतम दूरी तथा f लेंस की फोकस दूरी है।
- सरल सूक्ष्मतदर्शी के असदृश्य, संयुक्त सूक्ष्म दर्शी में, आवर्धन दो स्तरों पर होता है। इसमें एक नेत्रिका और एक अभिदृश्यक लेंस होताहै और दोनों की ही फोकस दूरी कम होती है।
- संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

$$M = m_0 \times m_e$$

किन्तु $m_e = 1+\frac{D}{f}$ अत:

$$M = \frac{\upsilon_o}{u_o} \quad 1+\frac{D}{f_e}$$

जहाँ υ_0 प्रतिबिम्ब तथा अभिदृश्यक के बीच की दूरी, u_0 अभिदृश्यक की बिंब से दूरी, D सुस्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी और f_e नेत्रिका की फोकस दूरी है।

- दूरदर्शक का उन दूरस्थ वस्तुओं को देखने के लिए उपयोग होता है जो आँख पर बहुत छोटा कोण अंतरित करते हैं। दूरदर्शक के उपयोग से आंख पर दर्शन कोण बढ़ जाता है। दूरस्थ वस्तु आंख के अधिक पास प्रतीत होती है और इसे आसानी से देखा जा सकता है।
- दो प्रकार के दूरदर्शकों का उपयोग किया जाता है: (i) अपवर्ती (ii) परावर्ती

- अपवर्ती दूरदर्शक का अभिदृश्यक एक उत्तल लेंस और परावर्ती का एक अवतल दपर्ण होता है, जिसकी फोकस दूरी अधिक होती है। अपवर्ती दूरदर्शकों की अपेक्षा परावर्ती दूरदर्शकों में कई विशेषताएं होती हैं।

  किसी दूरदर्शक की आवर्धन क्षमता,

$$M = f_o/f_e$$

  जहाँ f_0 अभिदृश्यक की और f_e नेत्रिका की फोकस दूरी है।

पाठांत प्रश्न

1. सरल तथा संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में क्या अंतर है? संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता के लिए एक व्यंजक व्यत्पन्न कीजिए।
2. अपवर्ती व परावर्ती दूरदर्शन में अंतर बताइए। न्यूटनी दूरदर्शक के लिए एक किरण आरेख बनाइए।
3. अपवर्ती दूरदर्शक की आवर्धन क्षमता के लिए एक समीकरण व्युत्पन्न कीजिए।
4. सुस्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी से क्या तात्पर्य है? सामान्य आंख के लिए इसका मान कितना होता है?
5. क्या हम संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा बनाए गए प्रतिबिम्ब का फोटो ले सकते हैं? अपने उत्तर की व्याख्या कीजिए।
6. किसी प्रकाशिय यंत्र की विभेदन क्षमता की परिभाषा लिखिए। सामान्य आंख के लिए विभेदन सीमा का मान कितना होता है?
7. किसी संयुक्त सूक्ष्मदर्शी और पार्थिव दूरदर्शक के डिजाइन में क्या मुख्य अंतर होता है?
8. किसी दूरदर्शक की नेत्रिका की फोकस दूरी 10 cm है। उसके अभिदृश्यक व नेत्रिका के बीच की दूरी 2.1 m है। दूरदर्शक का कोणीय आवर्ध किना होगा?
9. किसी सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक द्वारा बनाया गया प्रतिबिम्ब उसके दूसरे फोकस समतल 18 सेमी दूरी पर है। यदि अभिदृश्यक की फोकस दूरी 4 mm और नेत्रिका की फोकस दूरी 3.125 cm हो तो सूक्ष्मदर्शी का आवर्धन कितना होगा?
10. किसी दूरदर्शक के अभिदृश्यक का व्यास किसी दूसरे दूरदर्शक से तीन गुना है। दूसरे की तुलना में पहला दूरदर्शक कितना गुना अधिक प्रकाश एकत्र करता है?

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

23.1

1. सरल सूक्ष्मदर्शी द्वारा बनाया गया प्रतिबिम्ब आभासी, आवर्धित और सीधा होता है, जबकि संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा बनाया गया प्रतिबिम्ब वास्तविक, आवर्धित और उल्टा होता है।
2. आवर्धन क्षमता प्रतिबिम्ब द्वारा नेत्रिका पर अंतरित कोण तथा बिंब द्वारा निकट बिन्दु पर अंतरित कोण का अनुपात है। आवर्धन, प्रतिबिम्ब तथा बिंब के साइजों (आयापों) का अनुपात है।
3. $m = 11$, $m = 1+\dfrac{D}{f}$ । D =25 cm रखने पर हमें प्राप्त होता है $f = 2.5$ cm
4. यदि आप 4 cm फोकस दूरी का लेंस चुने तो आवर्धन क्षमता अधिक होगी क्योंकि $m = \dfrac{f_o}{f_e}$
5. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता होती है $m = \dfrac{-L}{f_o}\left(1+\dfrac{D}{f_e}\right)$ ।

   स्पष्टत: m का मान अधिक होगा यदि f_o व f_e दोनों का मान कम हो।

23.2

1. (a) अधिक फोकस दूरी का अभिदृश्यक, दूरदर्शक की आवर्धन क्षमता को बढ़ा देता है।

   (b) नेत्रिका की फोकस दूरी बढ़ाने से आवर्धन कम हो जाता है।
2. आवर्धन $m = \dfrac{f_o}{f_e} = \dfrac{50 \text{ cm}}{2 \text{ cm}} = 25$
3. परावर्ती दूरदर्शक का अभिदृश्यक एक गोलीय दर्पण होता है, जबकि अपवर्ती दूरदर्शक का अभिदृश्यक एक उत्तल लैंस होता है।
4. किसी दूरदर्शक को सामान्य समायोजन में कहा जाता है, यदि अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनता हो।
5. नहीं।

23.3

1. अधिक द्वारक का अभिदृश्यक लेकर या कम तरंगदैर्घ्य के प्रकाश का उपयोग करके।
2. आँख की विभेदन सीमा उसकी विभेदन क्षमता के व्युत्क्रमानुपाती होती है। विभेदन सीमा का मान भी बढ़ेगा।

3. क्योंकि किसी दूरदर्शक भी विभेदन क्षमता $= \frac{D}{1.22\lambda}$, इसलिए इसका मान बढ़ेगा।

पाठांत प्रश्नों को उत्तर

8. 21 9. 400

10. 9 गुना।

उच्चतर माध्यमिक पाठ्यक्रम

भौतिकी

विद्यार्थी मूल्यांकन पत्र-6

अधिकतम अंक : 50 **समय : $1\frac{1}{2}$ घंटा**

निर्देश

- सभी प्रश्नों के उत्तर कागज की पृथक शीट पर दीजिए।
- अपनी उत्तर पुस्तिका पर निम्नलिखित सूचनाएं दीजिए
  - नाम
  - पंजीयन संख्या
  - विषय
  - मूल्यांकन पत्र संख्या
  - पता
- अपने मूल्यांकन पत्र का मूल्यांकन अपने अध्ययन केन्द्र के विषयाध्यापक से करायें ताकि आपको उनसे अपने कार्य के संबंध में धनात्मक प्रतिक्रिया प्राप्त हो सके।

अपना मूल्यांकन पत्र NIOS को न भेजें

1. किसी अवतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या 30 *cm* है। इसकी फोकस दूरी कितनी है? (1)
2. काँच का अपवर्तनांक 5.5 है। काँच में प्रकाश का वेग क्या है? (1)
3. 25 cm फोकस दूरी के अवतल लेंस की (डायोप्टरों में) लेंस शक्ति बताइए। (1)
4. जब तरंग एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाती है तो इसके आयाम, तरंगदैर्घ्य, चाल एवं आवृत्ति में से कौन सा अभिलक्षण अपरिवर्तित रहता है? (1)
5. किसी प्रिज्म से गुजरने पर किस रंग की किरण में अधिक विचलन होगा – लाल रंग की या नीले रंग की? (1)
6. जब किसी बिम्ब को लेंस के सामने R दूरी पर रखा जाता है तो इसका समान आकार का प्रतिबिम्ब लेंस के दूसरी ओर बनता है। यह लेंस उत्तल है या अवतल? (1)
7. किसी दूरदर्शी के अभिदृश्यक की फोकस दूरी f_o तथा नेत्रक की फोकस दूरी f_e है। सामान्य समंजन की अवस्था में दूरदर्शी की लंबाई कितनी है? (1)

8. आकाश के नीले रंग के लिए उत्तरदायी प्रकाशीय परिघटना का नाम बताइए। क्या आकाश चांद पर भी नीला दिखाई पड़ता है? (1)

9. किरण आरेख द्वारा दर्शाइए कि कोई पूर्ण परावर्तक प्रिज्म एक प्रकाश किरण को (*i*) 90° पर (*ii*) 180° पर कैसे घुमा देता है? (2)

10. एक 1.5 अपवर्तनांक के द्रव्य से बने, समोत्तल लैंस की फोकस दूरी 20 cm है। इसके पृष्ठों की वक्रता-त्रिज्या ज्ञात कीजिए। (2)

11. जब कोई प्रकाश किरण, वायु-काँच माध्यमों को पृथक करने वाले अंतरापृष्ठ पर पृष्ठ से 30° का कोण बनाते हुए आपतित होती है परावर्तित प्रकाश 100% समतल ध्रुवित पाया जाता है। काँच का वायु के सापेक्ष अपवर्तनांक ज्ञात कीजिए। (2)

12. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा प्रतिबिम्ब का बनना दर्शाने के लिए नामांकित किरण आरेख बनाइए। (2)

13. एक बेलनाकार बर्तन की गहराई 20 cm है। इसमें लबालब जल $\left(\mu = \frac{4}{3}\right)$ भरा है। इसका तल कितने सेंटीमीटर ऊपर उठा हुआ प्रतीत होगा? (4)

14. प्रकाश के व्यतिकरण एवं विवर्तन में स्पष्ट भेद बताइए। (4)

15. लैंसों में वर्ण विपथन क्या होता है समझाइए। इस दोष को कम करने की किसी विधि का वर्णन कीजिए। (4)

16. किसी प्रकाशीय यंत्र की विभेदन क्षमता से क्या अभिप्राय है? उपयुक्त आरेखों की सहायता से दो अत्यंत निकटवर्ती स्पेक्ट्रमी-रेखाओं की विभेदन सीमा के लिए रेले की कसौटी को स्पष्ट कीजिए। (*i*) सूक्ष्मदर्शी (*ii*) दूरदर्शक की विभेदन क्षमता के लिए सूत्र लिखिए।

17. किसी समान कोणी प्रिज्म के लिए दर्शाइए कि $\left(n = \frac{\sin(A+\delta)/2}{Sin\, A/2}\right)$, जहाँ δ न्यूनतम विचलन कोण है। (4)

18. तरंगाग्र के संचरण के लिए हायगेन का नियम लिखिए। (*i*) किसी सुदूरस्थ स्रोत से अवतल दर्पण पर आपतित और परावर्तित, तथा (*ii*) उत्तल लेंस के $2f$ पर स्थित बिन्दु बिम्ब के संगत आपाती और अपवर्तित तरंगाग्रों के आरेख खींचिए। (4)

19. उत्तल लेंस के सामने रखे बिन्दु बिम्ब का प्रतिबिम्ब बनना दर्शाने के लिए स्पष्ट किरण आरेख बनाइए। इसका उपयोग करके 'लेंस निर्माता सूत्र' व्युत्पन्न कीजिए। (5)

20. यंग के द्वि-झिरी प्रयोग का विवरण दीजिए। इसमें बनने वाले व्यतिकरण पैटर्न की फ्रिंज-चौड़ाई का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। (5)

मॉड्यूल - 7
परमाणु एवं नाभिक

24 परमाणु की संरचना
25 विकिरण एवं द्रव्य की द्वैती प्रकृति
26 नाभिक और रेडियोधर्मिता
27 नाभिकीय विखंडन एवं संलयन

24

परमाणु की संरचना

अब तक आप, पदार्थ के यांत्रिक, तापीय, वैद्युत एवम् चुम्बकीय गुणों के विषय में पढ़ चुके हैं। क्या आपने कभी सोचा है कि अलग-अलग पदार्थों में अलग-अलग गुण क्यों होते हैं? ब्लेक बोर्ड पर लिखने वाली चॉक स्टिक, जरा सा दबाने में क्यों टूट जाता है, जबकि अल्युमिनियम की पतीली या कोई भी बर्तन या टुकड़ा ठोकने में पिचक कर फैल जाता है; क्यों कुछ धातुओं (जैसे सोना तांबा इत्यादि) पर प्रकाश की किरणें पड़ने पर उनमें धारा प्रवाहित होने लगती है इत्यादि, ऐसे अनेकों प्रसंग हैं। पदार्थों मे ऐसी विभिन्न एवं विचित्र गुण-धार्मिता को समझने के लिए हमें याद करना चाहिए कि परमाणु किसी पदार्थ की संरचना उसकी बनावट का निर्माणात्मक अवयव होता है। तात्पर्य यह है कि पदार्थ देखने में चाहे जैसी भी आकृति या अवस्था में हो, उनके परमाणुओं की आंतरिक संरचना, जिसे सूक्ष्मदर्शी साधनों से ही देखा जा सकता है, निश्चित तरीके (पैटर्न) से निर्मित होती है। परमाणु की आतंरिक-संरचना ही विभिन्न पदार्थों के अलग-अलग गुणों एवम् अन्य भौतिक प्रभावों के लिए उत्तरदायी है।

परमाणु की संरचना संबंधी हमारी समझ का उद्बोध-विकास समय के एक लम्बे अंतराल में हुआ। इस पाठ में हमने परमाणु संरचना के प्रस्तावित कई प्रारूपों (मॉडलों) की चर्चा की है। रदरफार्ड मॉडल से प्रारंभ करते हुए, जो कि चिर-प्रतिष्ठित विकीर्णन प्रयोग पर आधारित था, बोहर-मॉडल की विशेष चर्चा की गई है। क्योंकि बोहर द्वारा प्रस्तावित एवम् प्रतिष्ठित परमाणु की आंतरिक संरचना का प्रारुप (मॉडल) इलेक्ट्रॉनिक संरचना को अच्छी तरह से उजागर करता है। बोहर का सिद्धांत हाइड्रोजन परमाणु के इलेक्ट्रॉनिकी स्पेक्ट्रम को भलीभाँति समझा सकता है।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के पश्चात आप:

- रदरफोर्ड के प्रकीर्णन-प्रयोग (स्केटरिग एक्सपेरीमेट) तथा इससे मिली जानकारियों की भली-भांति व्याख्या कर सकेंगे;
- रदरफोर्ड द्वारा प्रस्तावित परमाणु-संरचना के प्रारूप को विधिवत समझाते हुए इस प्रस्तावित मॉडल की त्रुटि या कमियों की व्याख्या कर सकेंगे;

- बोहर द्वारा प्रस्तावित परमाणु की आंतरिक संरचना मॉडल के सबसे प्रथम कक्षा में विद्यमान इलेक्ट्रॉन का कक्षा में घूमने का वेग तथा कक्षा की त्रिज्या का अभिकलन कर सकेंगे;
- हाइड्रोजन परमाणु संरचना में उपस्थित इलेक्ट्रॉन में व्याप्त ऊर्जा के लिए आवश्यक गणितीय समीकरण या व्यंजक स्थापित कर सकेंगे, जिससे इलेक्ट्रॉन का आवेश एवं द्रव्यमान ज्ञात हो सकेगा;
- हाइड्रोजन की परमाणु-संरचना में विद्यमान ऊर्जा के आवेशीय स्तर का रेखीय चित्र बनाकर उसके स्पेक्ट्रम को समझा सकेंगे;
- x-किरणों के उत्पादन, गुणों, प्रकार और उपयोगों की व्याख्या कर सकेंगे;
- मोजले का नियम और डुआने हंट नियम को परिभाषित कर सकेंगे।

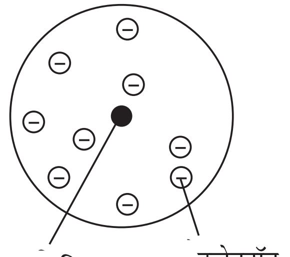
परमाणु की अवधारणा

जितनी पुरानी मानवीय सभ्यता है लगभग उतनी ही पुरानी परमाणु की अवधारणा है। प्राचीन काल में ग्रीस में डेमोक्रिटस तथा भारत में कणाद ने हमारे परिवेश के चारों ओर होने वाले परिवर्तनों में कणों की भूमिका को समझाने का प्रयास किया था। परंतु जान डाल्टन जो एक अंग्रेज रसायनज्ञ थे, ने 1808 में सही मायने में सटीक सिद्धांत प्रतिपादित किया था। परमाणु की व्याख्या करते हुए डाल्टन ने कहा कि परमाणु किसी तत्व का सभी गुणध र्म लिए हुए वह सूक्ष्मतम अविभाज्य कण है जो रासायनिक क्रिया में भाग लेता है। इस व्याख्या से स्पष्ट है कि डाल्टन द्वारा प्रतिपादित परमाणु, तत्व का वह सूक्ष्मतम अन्तिम अविभाज्य कण है जिसकी कोई संरचना नहीं हो सकती। इस अवधारणा की स्वीकृति 19वीं शताब्दी के सभी वैज्ञानिकों ने दी थी। इस शताब्दी में इन लोगों को परमाणु संरचना के बारे में कुछ भी ज्ञान नहीं था। जे.जे. थॉमसन 1897 में एक प्रयोग कर रहे थे जिसमें गैसीय माध्यम में कम दवाब पर, विद्युत का विसर्जन एक विसर्जन-नालिका के भीतर हो रहा था, इसी दौरान उन्होंने इलेक्ट्रॉन की खोज की। यही वह क्रांतिकारी खोज थी जिससे परमाणु की संरचना की झलक दिखाई दी। उन्होंने कहा कि प्रत्येक तत्व के परमाणु की संरचना में ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन का होना अनिवार्य है। चूँकि परमाणु वैसे तो समग्र रूप से उदासीन (न्यूट्रल) होता है, तब यह आवश्यक और तर्कसंगत है कि ऋणात्मक इलेक्ट्रॉन को प्रभावहीन करने के लिए किसी धनात्मक अंश का अस्तित्व हो और चूँकि इलेक्ट्रॉन का भार परमाणु के भार से कई हजार गुना कम होता है तब निष्कर्ष यह निकलता है कि धनात्मक अंश ही परमाणु के अंदर रहता होगा जो परमाणुभार को धारण करता होगा। इन सभी तथ्यों की तर्क-युक्त व्याख्या के संदर्भ में जे.जे. टॉमसन ने परमाणु की संरचना का एक प्रारूप प्रतिपादित किया जिसे 'प्लम पुडिंग मॉडल' के नाम से जाना जाता है। इसे चित्र (24.1) में दर्शाया गया है।

इस मॉडल के अनुसार परमाणु एक सूक्ष्म तथा समान रूप से धनावेशित (पुडिंग) गेंद की आकृति का कण है जिसके अंदर ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन इस प्रकार वितरित रहते हैं कि परमाणु उदासीन बना रहे। इस संरचना से तब सभी वैज्ञानिक सहमत रहे।

टॉमसन के समय से लेकर अब परमाणु संरचना के बारे में जानकारियों की एक से बढ़कर एक खोज हुई। लॉर्ड रदरफोर्ड, नील्सबोहर, जेम्स चाडविक, पॉली, श्रॉडिंजर एवं अन्य लोगों द्वारा किए गए पथ-प्रदर्शक प्रयोगात्मक कार्यों द्वारा परमाणु संरचना के रहस्यात्मक

टिप्पणियाँ

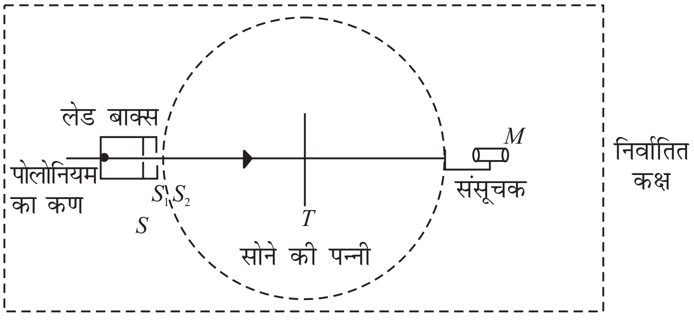


चित्र 24.1 : प्लम-पुडिंग मॉडल

तथ्य उजागर होते गए और आज की सच्चाई यह है कि परमाणु के अभ्यंतर में विद्यमान सूक्ष्मातिसूक्ष्म अंश के अस्तित्व एवं गुणधर्मो की जानकारियों ने एक ऐसी विस्मयकारी सृष्टि कर दी है जिन्होंने नवयुगान्तकारी प्रविधियों जैसे माइक्रो-इलेक्ट्रॉनिक्स, नैनो टेक्नोलॉजी को जन्म दिया है।

24.1 रदरफोर्ड का अल्फा α-कणों के प्रकीर्णन पर प्रयोग

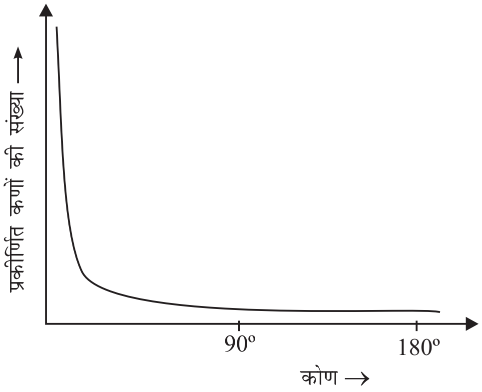
लॉर्ड रदरफोर्ड के परामर्श पर उनके दो शोधकर्ताओं (जीगर एवं मार्सडेन) ने एक प्रयोग का आयोजन किया जिसमें एक लेड-बॉक्स में पोलोनियम स्रोत का कण रखा जाता है। इस स्रोत से उत्सर्जित किरण-पुंज (बीम ऑफ α-पार्टिकल) को सोने की बहुत पतली परत पर बम्बार्ड (आघात) किया जाता है। इससे उत्पन्न प्रकीर्णन द्वारा α कणों को जिन्क सल्फाइड के प्रदीप्त परदे पर डाला जाता है। परिणामस्वरूप परदे से प्रकाश की चमक दिखाई देती है, जिसे कम पावर लेन्स वाले सूक्ष्मदर्शी द्वारा देखा जाता है। जिन्क सल्फाइड का प्रदीप्त परदा (स्क्रीन) एक डिटेक्टर के समान कार्य करता है। यह गोल घूम सकता है इसमें गोलाकार स्केल 'T' के चारो तरफ अंकित रहता है। पूरा उपकरण एक निर्वातित कक्ष (इव्हेकुवेटेड चैम्बर) में इसलिए रखा जाता है ताकि प्रकीर्णन के α अल्फा कण वायु के अणुओं से टकरा न सकें।



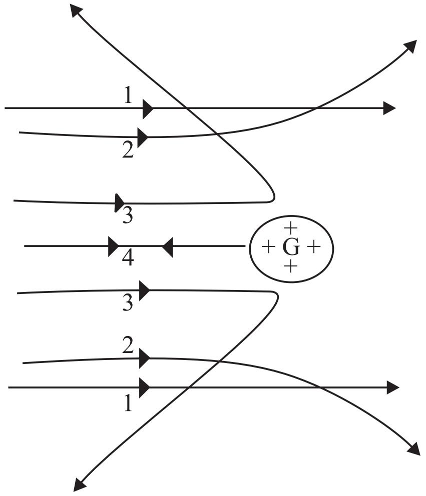
चित्र 24.2 : रदरफोर्ड के प्रकीर्णन प्रयोग में प्रयुक्त उपकरणों की विधिवत जमावट

प्रयोग में इस तर्क को सिद्ध करना था कि यदि थॉमसन का परमाणु संरचना मॉडल सही है तो α कणों की अधिक से अधिक संख्या सीधे सोने की परत पर से गुजरते हुए स्क्रीन पर आपतित होगी। **प्रेक्षण**- प्रयोग में किए गए प्रकीर्णन से उत्पन्न α-किरणों के अधिकांश कण, सोने की परत से सीधे गुजर कर स्क्रीन पर आपतित होते हैं जिससे प्रदीप्त स्क्रीन प्रकाश से दीप्त हो उठता है। जीगर एवं मार्स्डन ने देखा कि कुछ α-कण अधिक कोण (90° से अधि

क) बनाते हुए विक्षेपित (चित्र 24.3) होते पाए गए। कुछ α-कण, जो 180^o कोण बनाते हुए विक्षेपित हुए, वे ऐसे प्रतीत हुए जैसे वे स्रोत की ओर वापस आ रहे हों। (पथ 4) यह प्रेक्षण आश्चर्यजनक और चौंकाने वाला था जिसकी कल्पना रदरफोर्ड ने नहीं की थी।



चित्र 24. 3 : रदरफोर्ड के प्रयोग का परिणाम



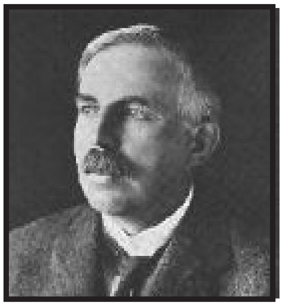
चित्र 24.4 : सोने की पन्नी द्वारा प्रकीर्णन; α-कणों द्वारा अपनाए गए 1,2,3,4 पथों का चित्रण।

व्याख्या एवं निष्कर्ष– उपरोक्त 180^o अंश पर विक्षेपित α-कणों की ऐसी अवस्था को समझाने के लिए लॉर्ड रदर फोर्ड ने परमाणु का न्यूक्लियर मॉडल प्रस्तुत किया। उन्होंने तर्क देते हुए कहा कि α-कण जो न्यूक्लियस से काफी दूरी से गुजरते हैं उन पर बहुत हलका सा कूलॉमी *प्रतिकषर्ण बल* लगता है, इसलिए ये कण बिना विक्षेपित हुए गुजर जाते हैं। परंतु जो प्रकीर्णित α-कण, न्यूक्लियस के समीप से गुजरते हैं उन पर प्रतिकर्षण बल ज्यादा लगता है। अत: वे अधिक, अंश का कोण बनाते हुए विक्षेपित होते हैं। जो α-कण सीधे जाकर न्यूक्लियस पर टकराते हैं उन पर लगने वाला प्रतिकर्षण बल तीव्रतम होता है और वे 180^o अंश का कोण बनाते हुए पुन: आपतित पथ में परावर्तित होते दिखाई देते हैं। (पथ 4, चित्र 24.4)

टिप्पणियाँ

लार्ड रदर फोर्ड

(1871–1937)



न्यूजीलैन्ड में जन्में रदर फोर्ड ने जे.जे. टॉमसन के अधिगत होकर इंग्लैंड के केवेंडिश लेबोरेटरी में अध्ययन किया। उनके द्वारा किए गए प्रयोग कार्य न केवल भविष्य के लिए पथ-प्रदर्शक बने अपितु वैज्ञानिक जगत में मील के पत्थर साबित हुए। बेकेरल के रेडियोधर्मिता अविष्कार को परिष्कृत एवं परिमार्जित करते हुए उसे एक सम्पूर्ण विज्ञान के रूप में निरुपित किया। रदरफोर्ड से पहले के वैज्ञानिक मानते थे कि भारी तत्वों के परमाणु अविभाज्य एवम् अपरिवर्तनशील होते हैं किंतु रदरफोर्ड ने प्रमाणों को लिपिबद्ध करते हुए प्रतिपादित किया कि भारी तत्वों के परमाणु स्वत: विनिष्ट होकर अनेक प्रकार के विकिरण वातावरण में बिखरते हैं। सन् 1898 में रदरफोर्ड ने एक नये अन्वेषण के आधार पर बताया कि रेडियोधर्मी परमाणुओं से दो अलग प्रकार के उत्सर्जन होते हैं जिन्हें रदरफोर्ड ने अल्फा, बीटा किरणों की संज्ञा दी। बाद में बीटा किरणों की तीव्र-गामी इलेक्ट्रॉनों के रूप में दर्शाया गया। रदरफोर्ड एवम् उनके सहायक वैज्ञानिक हैंस जीगर ने मिलकर रदरफोर्ड जीगर डिटेक्टर उपकरण को विकसित किया जो रेडियो एक्टिव परमाणुओं से उत्सर्जित किरणों का वैद्युतीय विधि से पता लगा सकता था। इस उपकरण से वे तत्वों के मौलिक भौतिक स्थिरांक जैसे एवोग्रेडोज नम्बर (किसी पदार्थ के एक ग्राम मोल में अणु या परमाणुओं की संख्या) इत्यादि को नाप सकते थे।

सन् 1911 में रदर फोर्ड ने परमाणु के न्यूक्लियर मॉडल की प्रस्तुति की और व्याख्या की कि परमाणु का लगभग सम्पूर्ण भार न्यूक्लियस में ही संकेन्द्रित रहता है और इलेक्ट्रॉन इसके चारों ओर घूमते रहते हैं। न्यूक्लियस का साइज परमाणु के साइज से 10^{-5} गुना छोटा होता है।

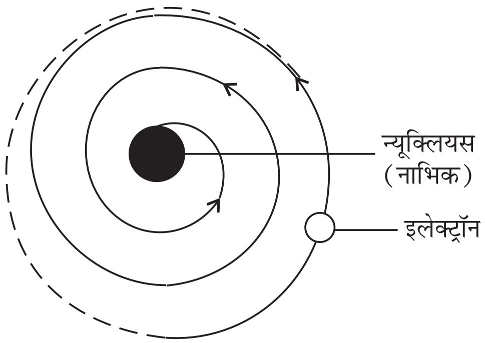
भारत वर्ष के उत्कृष्ट एवं प्रतिष्ठित वैज्ञानिक दार्शनिक डा. डी.एस. कोठारी रदरफोर्ड के विद्यार्थियों में से एक थे, जिन्होंने रदरफोर्ड के मार्ग-दर्शन में तारों (स्टार्स) में होने वाले दाबीय आयनीकरण पर शोध कार्य किया था।

24.1.1 परमाणु का न्यूक्लियर मॉडल

रदरफोर्ड ने तर्क देते हुए कहा कि α-कणों द्वारा अधिक कोण से प्रकीर्णत होने को, परमाणु में कठोर व धनात्मक क्रोड की उपस्थिति की स्थिति के आधार पर ही समझाया जा सकता है और इस प्रकार, उन्होंने परमाणु के नए मॉडल को निम्न विशेषताओं के साथ प्रस्तावित किया–

- परमाणु का पूरा आवेश एवम् द्रव्यमान का अधिकतम भाग केन्द्रीय क्रोड, जो बहुत ही छोटा ($\sim 10^{-15}$ m) में स्थित होता है।
- ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन एक खास दूरी पर न्यूक्लियस के चारों ओर घूमते रहते हैं। इससे परमाणु विद्युतीय तौर पर उदासीन (न्यूट्रल) रहता है, साथ ही स्थिर भी रहता है। रदरफोर्ड

के इस प्रस्तावित मॉडल में कुछ कमियाँ दिखाई दीं। रदरफोर्ड के मॉडल से प्राप्त निष्कर्ष उनके द्वारा स्वयं किए गए प्रयोग के निष्कर्षों के विरुद्ध हो गए।



चित्र 24.5: रदरफोर्ड के परमाणु के मॉडल में इलेक्ट्रॉनों की गति

(i) **परमाणु का स्थायित्व :** हम जानते हैं कि इलेक्ट्रॉन ऋणावेशित होते हैं। ये सब न्यूक्लियस (धनात्मक आवेश) की ओर आकर्षण बल से खिचे रहते हैं तथा त्वरित होते रहते हैं। त्वरित आवेशित कण में से, स्थापित तरंग सिद्धांत के अनुसार विद्युत चुम्बकीय विकिरण विसर्जित होते हैं। इसलिए कक्ष में घूमता हुआ गतिशील इलेक्ट्रॉन ऊर्जा उत्सर्जित करता हुआ अंत में सर्पिल चक्र में गतिमान होते-होते (चित्र 24.5) न्युक्लियस में गिरकर समाविष्ट हो जाना चाहिए। पर ऐसा होता नहीं क्योंकि ऐसे में परमाणु समाप्ति के कगार पर आ जाएंगे। हम सब जानते है कि परमाणु में स्थायित्व होता है और इसलिए पदार्थ भी स्थिर होते हैं।

(ii) **वैद्युत-चुम्बकीय विकिरण की आवृत्ति:** इलेक्ट्रॉन सर्पिल पथ में घूमते-घूमते अंत में न्युक्लियस पर आऐंगे और इस परिभ्रमण में वे सभी प्रकार की आवृत्तियों वाले वैद्युत चुम्बकीय विकिरण उत्सर्जित करेंगे। परिणामस्वरूप, संतत और अविच्छिन्न स्पेक्ट्रम बनना चाहिए। परंतु रदरफोर्ड का प्रकीर्णन प्रयोग दर्शाता है कि परमाणु से उत्सर्जित विकिरण एक निश्चित स्पष्ट आवृत्तियों वाले होते हैं जो रेखीय (लाइन) स्पेक्ट्रम बनाते हैं।

उपरोक्त विचार-विमर्श एवम् समालोचना से आप इस निष्कर्ष पर पहुँचने के लिए आतुर होंगे कि परमाणु का न्यूक्लियर मॉडल प्रायोगिक सत्य को स्थापित करने में सक्षम नहीं है। कोई बात नहीं, परंतु यह अवधारणा अपने आप में बहुत महत्वपूर्ण है। क्योंकि इसने हमारी सोच और समझ को एक सही दिशा दी। इस प्रकार रदरफोर्ड का प्रयोग एवं परमाणु का न्यूक्लियर मॉडल दोनो वैज्ञानिक प्रगति पथ के मील के पत्थर साबित होते हैं।

पाठगत प्रश्न 24.1

1. सही उत्तर चुनिए-

   (a) रदर फोड के प्रकीर्णन प्रयोग के अंतर्गत लक्ष्य (टारगेट) पर किन किरणों की बमबारी की गई? (i) β-किरणें (ii) γ -किरणें (iii) α-किरणें

(b) न्यूक्लियस घिरा होता है–

(i) इलेक्ट्रॉनों द्वारा (ii) प्रोटॉनों द्वारा (iii) α-कणों द्वारा

(c) α-कणों का वृहद कोण में प्रकीर्णित होना दर्शाता है (i) परमाणु के अभ्यंतर में धनावेशित कठोर क्रोड का होना (ii) परमाणु के अभ्यंतर में सरंध्र(पोरस) क्रोड (कोर) का होना। (iii) ऋण–आवेशित क्रोड का होना

2. किन्हीं दो प्रायोगिक प्रेक्षणों का उल्लेख कीजिए, जिन्हें रदर फोर्ड के प्रस्तावित मॉडल द्वारा समझाया नहीं जा सका।

24.2 बोहर का हाइड्रोजन परमाणु मॉडल

रदरफोर्ड के प्रस्तावित मॉडल में विद्यमान त्रुटियों के निराकरण हेतु 1913 में नील्स बोहर ने परमाणु का नया मॉडल प्रस्तुत किया जो मैक्स प्लांक द्वारा प्रस्तावित क्वांटम अवधारणाओं पर आधारित था। बोहर का परमाणु मॉडल, परमाणु संरचना का वर्णन तो करता ही है साथ ही साथ परमाणु के स्थायित्व को भी ध्यान में रखता है। बोहर का परमाणु मॉडल, बडी सफलता के साथ हाइड्रोजन परमाणु के स्पेक्ट्रम को समझा सका। आइए इसके बारे में जानें।

बोहर की अभिधारणाएँ

बोहर ने सौरमण्डल में ग्रहों के सूर्य के चारो ओर की कक्षाओं (आरबिट्स) में परिक्रमण को ध्यान में रखते हुए परमाणु मॉडल की अवधारणा का प्रारंभ किया। रदरफोर्ड के मॉडल में जिस प्रकार से दिक्कते आई, उन्हें भी पुन: न आने देने की सावधानी को ध्यान में रखते हुए बोहर ने कई पूर्वधारणाओं से युक्त चार मान्यताएँ अपनाईं–

(i) *परमाणु के अंदर इलेक्ट्रॉन, वृत्ताकार कक्षाओं (ऑरबिट्स) में न्यूक्लियस के चारों ओर अपकेन्द्रीय बल (सेन्ट्रीपीटल फोर्स), के कारण जो इलेक्ट्रॉन तथा न्यूक्लियस के बीच के कूलॉम आकर्षण बल के द्वारा उत्पन्न होता है, परिभ्रमण करते रहते है। गणितीय सूत्रों द्वारा इसे इस प्रकार लिख सकते हैं–*

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r^2} \qquad (24.1)$$

Z यह दर्शाता है कि न्यूक्लिस पर कितना धनात्मक आवेश है।

उपर्युक्त समीकरण यह बताता है कि प्रोटॉन के आवेश का परिमाण इलेक्ट्रॉन के आवेश के समतुल्य होता है।

(ii) *वृत्ताकार कक्षाओं की असंख्य संभावनाओं के उपरान्त भी केवल वे ही कक्षाएं संभव या कार्यकारी सिद्ध होंगे, जिनके लिए इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग का मान $h/2\pi$ का पूर्ण गुणांक होता है:*

$$|\mathbf{L}| = mvr = \frac{nh}{2\pi} \qquad (24.2)$$

यहाँ **L** वृत्ताकार पथ का कोणीय संवेग है, और वृत्ताकार पथ के लिए यह *mvr* के बराबर होता है। यहाँ *h* प्लैंक स्थिरांक एवं *n* एक पूर्णांक है।

(iii) *कोई एक इलेक्ट्रॉन जो स्वीकृत वृत्त में परिभ्रमण करता है उससे किसी प्रकार की ऊर्जा उत्सर्जित नहीं होती।*.इन वृत्ताकार पथों में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा स्थिर रहती है और ऐसी वृत्ताकार कक्षाओं को *स्थाई अवस्थाएं* कहते हैं। ध्यान रहे कि इन स्थाई अवस्थाओं में इलेक्ट्रॉन परिभ्रमण करेगा ही किंतु उसमें उसकी ऊर्जा स्थाई बनी रहेगी।

(iv) *परमाणु से ऊर्जा का उत्सर्जन तभी हो सकता है जब किसी अधिक ऊर्जा स्तर वाले कक्ष E_f से, उसका इलेक्ट्रॉन अन्य कम ऊर्जा स्तर वाले कक्ष E_i. में गिरता है। ऊर्जा में परिवर्तन, उत्पन्न फोटॉन की ऊर्जा है। इसी प्रकार एक इलेक्ट्रॉन, विकिरण को तभी अवशोषित करता है जब वह निम्न ऊर्जा स्तर कक्ष से उच्च ऊर्जा स्तर कक्ष में ''छलांग'' लगाता है (प्रवेश करता है) इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा में परिवर्तन को, उत्सर्जित या अवशोषित फोटॉन की आवृत्ति या तरंगदैर्घ्य के साथ निम्न प्रकार से संबंधित किया जा सकता है:*

उत्सर्जन के लिए,

$$\Delta E = E_i - E_f = h\nu \qquad (24.3a)$$

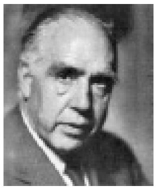
अवशोषण के लिए,

$$\Delta E = E_f - E_i = h\nu \qquad (24.3b)$$

जहाँ ν उत्सर्जित फोटॉन की आवृत्ति है।

नील हेनरिक डेविड बोहर

(1885-1962)



नील बोहर का जन्म डेन्मार्क के कोपनहेगन में हुआ था। उनका लालन-पालन तथा विकास ऐसे माहौल में हुआ था जो उनके अंदर विद्यमान प्रतिभा को विकसित कर सका था। इनके पिता एक जाने-माने प्रतिष्ठित शरीर क्रिया विज्ञानी (फिज़ियोलाजिस्ट) थे जो बालक नील की अभिरूचि भौतिकशास्त्र में जागृत तबसे ही करते रहे जब वे स्कूली शिक्षा प्राप्त करते थे। सन् 1912 के (मार्च से जून माह के बीच) में नील बोहर को इंग्लैंड के मैन्चेस्टर स्थित रदरफोर्ड प्रयोगशाला में कार्य करने का अवसर प्राप्त हुआ। इन्होंने रदरफोर्ड के प्रस्तावित परमाणु मॉडल के आधार पर परमाणुओं की आंतरिक संरचना पर गहन अध्ययन किया। अंत में सफलता उनके हाथ लगी। नील हेनरिक डेविड बोहर ने अपने अभीष्ट लक्ष्य को प्राप्त किया जिसमें उन्होंने हाइड्रोजन परमाणु के परमाण्विक स्पेक्ट्रम को समझाने के प्रयास में परमाणु संरचना का अद्वितीय चित्र प्रस्तुत किया।

1916 में इन्हें कोपनहेगन विश्वविद्यालय में सैद्धांतिक भौतिकी के प्राध्यापक के रूप में नियुक्त किया गया। वे 1920 में सैद्धांतिक भौतिकी संस्थान के विभागाध्यक्ष बनाए गए जहां मृत्युपर्यन्त 1962 तक वह कार्यरत रहे। परमाणु संरचना पर उनके शोध कार्य को सम्मानित करते हुए 1962 में उन्हें भौतिकी में नोबल पुरस्कार प्रदान किया गया।

24.2.1 ऊर्जा-स्तर

nth कक्ष में, जिसकी त्रिज्या r_n, है, उपस्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा की गणना करने के लिए हम समीकरण 24.1 को इस प्रकार पुन: लिख सकते हैं-

$$\frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n^2}$$

यहाँ v_n वृत्ताकार कक्षा में इलेक्ट्रॉन की चाल दर्शाता है।

समीकरण के दोनों पक्षों को mr_n^3 से गुणा करने पर:

$$m^2v_n^2r_n^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}mZe^2r_n$$

इसमें समीकरण (24.2) का प्रयोग करने पर निम्न परिणाम प्राप्त होगा–

$$m^2v_n^2r_n^2 = n^2\frac{h^2}{4\pi^2} = \frac{m}{4\pi\varepsilon_0}Ze^2r_n \qquad (24.4)$$

उपरोक्त समीकरण में उपस्थित विभिन्न पदों को पुन: व्यवस्थित करने पर हमें n^{th} कक्षा की त्रिज्या के लिए समीकरण प्राप्त हो जाएगा:

$$r_n = 4\pi\varepsilon_o\frac{n^2h^2}{4\pi^2mZe^2}$$

$$= \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{Ze^2m\pi} \qquad n=1,2,3,\ldots \quad (24.5)$$

आप ध्यान से समझें कि किसी अनुमत वृत्तीय कक्षा की त्रिज्या उस कक्षा की संख्या के वर्ग के समानुपाती होती है। इसका मतलब यह है कि उच्च क्रम श्रेणी की कक्षा की त्रिज्या भी अधिक होगी। इसके साथ-साथ अनुमत वृत्तीय कक्षाओं की त्रिज्याओं के सापेक्ष मानों का अनुपात $1^2, 2^2, 3^2, 4^2, \ldots$, अर्थात 1 : 4 : 9 : 16 :25 इत्यादि होंगे। हाइड्रोजन परमाणु के लिए (Z = 1), उसके सबसे अंदर की वृत्ताकार कक्षा की त्रिज्या बोहर त्रिज्या कहलाती है। इसे a_0 से दर्शाते हैं तथा उसका मान 5.3×10^{-11}m होता है। दूसरी कक्षाओं की त्रिज्याएँ भी निम्नाँकित समीकरण से ज्ञात कर सकते हैं

$$r_n = n^2a_0$$

उपरोक्त संबंध यह दर्शाता है कि अंदर से बाहरी वृत्ताकार कक्षाओं के बीच की दूरियाँ क्रमश: बढ़ती जाती हैं। समीकरण (24.2) में r_n के मान को समीकरण (24.5) से प्रविष्ट कराने पर एक नया समीकरण प्राप्त होता है जिसके द्वारा किसी विशेष पथ में परिभ्रमणशील इलेक्ट्रॉन की चाल को ज्ञात किया जा सकता है:

$$v_n = \frac{nh}{2\pi mr_n} = \frac{nh}{2\pi m}\cdot\frac{Ze^2m\pi}{n^2h^2\varepsilon_0}$$

$$= \frac{1}{2}\frac{Ze^2}{\varepsilon_0 nh} \qquad (24.6)$$

टिप्पणियाँ

पाठ 16 में बताया गया है कि किसी ऋणात्मक आवेश (यहाँ इसे इलेक्ट्रॉन मान लें) को अनंत से किसी धनात्मक आवेश (यहाँ इसे न्यूक्लियस मान लें) के क्षेत्र में उस आवेश से r दूरी पर लाने में लगने वाली स्थितिज ऊर्जा को ज्ञात करने के लिये हमें कूलॉम बल और दूरी के गुणनफल का समाकलन (इन्टिग्रेशन) करना पड़ता है:

$$U = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_n}^{\infty}\frac{Ze^2}{r^2}dr$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left.\frac{Ze^2}{r}\right]_{r_n}^{\infty}$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n} \qquad (24.7)$$

चूँकि इलेक्ट्रॉन की स्थितिज ऊर्जा अनन्त दूरी पर शून्य होगी, (समीकरण 24.1) के अनुसार

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n} = m\upsilon_n^2$$

इसलिए, n^{th} कक्षा में इलेक्ट्रॉन की स्थितिज ऊर्जा होगी

$$U = -m\upsilon_n^2 \qquad (24.8)$$

चूँकि गतिज ऊर्जा

$$K.E = \frac{1}{2}m\upsilon_n^2 \qquad (24.9)$$

अत: n^{th} कक्षा में इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा E होनी चाहिए

$$E = K.E + U$$

$$= \frac{1}{2}m\upsilon_n^2 - m\upsilon_n^2$$

$$= -\frac{1}{2}m\upsilon_n^2$$

उपरोक्त संबंध तथा समीकरण (24.6) को मिलाकर हम एक नया संबंध बना सकते हैं

$$E = -\frac{m}{2}\left(\frac{2\pi Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 nh}\right)^2$$

$$= -\frac{m}{8\varepsilon_0^2}\frac{Z^2e^4}{n^2h^2} \qquad (24.10)$$

$$= -\frac{RZ^2}{n^2} \quad (n = 1 \text{ या } 2, 3, 4) \qquad (24.11)$$

यहाँ

$$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \qquad (24.12)$$

उपरोक्त समीकरण में R को *रिडबर्ग नियताँक* कहते हैं। समीकरण (24.1) को ध्यान से समझें तो आप पायेंगे कि

- विभिन्न अनुमत कक्षाओं में स्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा उसकी कक्षा क्रम संख्या के वर्ग की व्युत्क्रमानुपाती होती है।
- चूँकि अनुमत कक्ष में ऋणात्मक आवेश रहता है, इसका तात्पर्य यह हुआ कि इलेक्ट्रॉन अब न्यूक्लियस (नाभिक) में बंध गया है।

अब मानक मान $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $\varepsilon_0 = 0.85 \times 10^{-11}$ $C^2 N^1 m^{-2}$, और $h = 6.62 \times 10^{-34}$ Js को समीकरण (24.12) में रखने पर हमें प्राप्त होता है– $R = 2.17 \times 10^{-18}$ J = 13.6eV, क्योंकि 1eV = 1.6×10^{-19} J अब इन मानों को समीकरण 24.11 में रखने पर n^{th} कक्षा के इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा (ev में)

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \qquad (24.13)$$

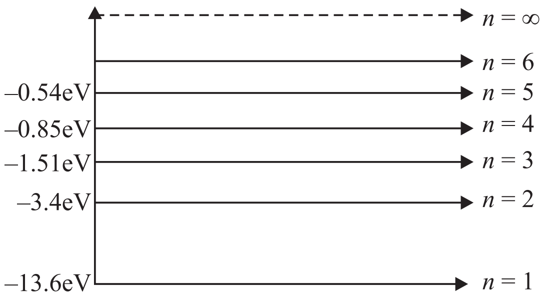
इस प्रकार से प्रत्येक कक्षा की विशिष्ट ऊर्जा को अलग-अलग करके बता सकते हैं, इसमें सबसे पहली कक्षा की ऊर्जा सबसे कम होगी:

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$

और सबसे अधिक ऊर्जा अवस्था

$$E_\infty = 0$$

उपरोक्त तथ्यों से यह मतलब निकलता है कि विभिन्न कक्षाओं में विभिन्न ऊर्जा स्तर होंगे जो– 13.6eV से लेकर 0 तक होंगे। इसे चित्र 24.6 में दर्शाया गया है। $E = 0$ का तात्पर्य हुआ कि इलेक्ट्रोन मुक्त हो जाता है:



चित्र 24.6: हाइड्रोजन परमाणु में ऊर्जा-स्तर

टिप्पणियाँ

बोहर के चौथे अभिगृहीत के अनुसार जब कोई इलेक्ट्रॉन–n^{th} कक्षा से m^{th} कक्षा में आता है तो उत्सर्जित विकिरण की आवृत्ति होती है–

$$\nu_{mn} = \frac{RZ^2}{h}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (24.14)$$

फ्राउनहोफर रेखाएँ

अधिक शक्तिशाली स्पेक्ट्रोस्कोप में यदि सूर्य प्रकाश द्वारा निर्मित स्पेक्ट्रम का ध्यानपूर्वक अध्ययन करें तो इस पूरे स्पेक्ट्रम पर बहुत सी गाढ़ी रेखायें खिंची हुई दृष्टिगत होती हैं। वॉलेस्टन ने सबसे पहले सन् 1802 में इन गाढ़ी रेखाओं को देखा था। परन्तु इनके स्पेक्ट्रम में आने का समुचित अध्ययन फ्राउनहोफर ने किरखौफ के नियमों के अन्तर्गत किया था, और इन्हें *फ्राउनहोफर रेखाओं* का नाम दिया। सूर्य से निकलने वाली किरणें सतत स्पेक्ट्रम को ही उत्सर्जित करती हैं। परंतु इन किरणों को सूर्य की तापीय स्थिति की तुलना में बहुत कम ताप वाले वाष्प एवं गैसों से निर्मित परिवेश से होकर गुजरना पड़ता है जो सूर्य के वातावरण को आच्छादित किए रहता है। इसे क्रोमोस्फियर (~6000ºC), कहते हैं। यह कुछ तरंगदैर्घ्य के संगत प्रकाश को अवघोषित कर लेता है। यही अवशोषित भाग गाढ़ी रेखाओं के रूप में सूर्य के सतत स्पेक्ट्रम पर दिखाई पड़ते हैं। किरखोफ ने अवशोषित प्रकाश तरंगों की तुलना पृथ्वी में पाए जाने वाले तत्वों द्वारा उत्सर्जित प्रकाश तरंगों से की तथा 60 प्रकार के पार्थिव (टेरेस्ट्रियल) तत्वों की पहचान की जो सूर्य के बाहरी वातावरण में विद्यमान रहते हैं। ये तत्व आक्सीजन हाइड्रोजन, सोडियम, लोहा, कैलशियम इत्यादि हैं।

पाठगत प्रश्न 24.2

1. बोहर के अभीगृहीतों में से कौन सा भौतिकी के चिरसम्मत सिद्धांत से तालमेल रखता है तथा कौन सी मान्यता क्वांटम भौतिकी की धारणाओं को बल प्रदान करता है?

2. बोहर के अनुसार कोई भी परमाणु नष्ट क्यों नहीं हो जाता जबकि उसके इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारो ओर परिक्रमा करते हैं?

3. बोहर के अनुसार परमाणु के भीतर क्या होता रहता है जब प्रकाश के फोटान का (i) उत्सर्जन होता है (ii) अवशोषण होता है?

4. बोहर के परमाणु मॉडल के अनुरूप हाइड्रोजन परमाणु के अंदर पहले की तीन कक्षाओं में ऊर्जा का उल्लेख करें।

5. किसी एक परमाणु को उसकी न्यूनतम ऊर्जा स्तर E_0 से उत्तेजित होकर E_1 स्तर की ऊर्जा तक आने पर उत्सर्जित विकिरण का तरंग–दैर्घ्य कितना होगा?

6. हाइड्रोजन परमाणु से nth कक्षा में स्थित इलेक्ट्रॉनों की त्रिज्या समानुपाती होती है–

   (i) $1/n$ के (ii) $1/n^2$ के (iii) n के (iv) n^2 के

7. हाइड्रोजन परमाणु की कक्षा में nth मौजूद इलेक्ट्रॉन की कुल ऊर्जा E_n समानुपाती होता है–

   (i) e^4 के (ii) e^3 के (iii) e^2 के (iv) e के

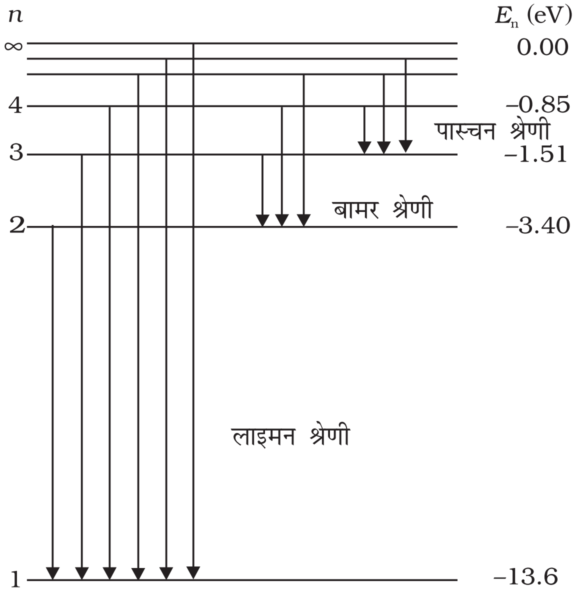
24.3 हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम

नीचे दिए गए चित्र 24.7 को ध्यान से देखिए। यह चित्र दर्शाता है कि हाइड्रोजन परमाणु का आवृत्ति स्पेक्ट्रम कैसा होता है। जैसा कि आप स्वंय भी अवलोकन कर सकते हैं कि लाइन स्पेक्ट्रम में अलग–अलग भागों में कई लाइने हैं। हर भाग में लाइनों का एक खास विन्यास क्रम (पैटर्न) है जिनमें एम सामान्य सूत्र द्वारा प्रकट किया जा सकता है। अत: इन्हें एक श्रेणी क्रम में रखा जा सकता है।

लाइमेन श्रेणी : इसकी खोज एवं पहचान लाइमन ने सन् 1906 में की। बोहर के अनुसार इस श्रेणी की उत्पत्ति तब होती है जब एक इलेक्ट्रॉन छलाँग (जम्प) लगाकर उच्च कक्षाओं ($n = 2, 3, 4...$) से प्रथम क्रम की कक्षा ($m = 1$) में पहुँचता है। इसलिए स्पेक्ट्रम की विभिन्न लाइनों की श्रेणी बनती है जिनकी आवृत्तियों को निम्न समीकरण द्वारा बताया जा सकता है–

$$\nu_{1n} = \frac{R}{h}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

यहां पर n एक सामान्य मूल या स्वाभाविक नम्बर है जिसका मान 1 से अधिक होगा। इस श्रेणी की रेखाएँ स्पेक्ट्रम के पराबैंगनी क्षेत्र में पड़ती हैं।



चित्र 24.7 : हाइड्रोजन परमाणु के ऊर्जा स्तर

बामर श्रेणी : इसकी खोज 1885 में हुई। इसे स्पेक्ट्रम के दृश्य भाग में पाया गया। इस श्रेणी के अस्तित्व में आने के पीछे जो कारण है उसे इस परिकल्पना द्वारा समझा जा सकता है। यदि इलेक्ट्रॉन उच्च कक्षाओं या ऊर्जा स्तरों में $(n = 3, 4, 5...)$ से ऊर्जा स्तर 2 $(m = 2)$ के कक्ष में छलांग लगाता है तो स्पेक्ट्रमी रेखाओं की एक अलग श्रेणी का विकास होता है। इन स्पेक्ट्रम रेखाओं की आवृत्तियों को निम्न समीकरण द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है

$$v_{2n} = \frac{R}{h} \; \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \quad ; n > 2$$

पाश्चन श्रेणी: इसकी खोज 1908 में हुई तथा इसे स्पेक्ट्रम के अवरक्त भाग (इन्फ्रारेड) में पाया गया। इसके अस्तित्व में आने का कारण इस प्रकार समझाया जा सकता है कि जब इलेक्ट्रॉन ऊर्जा स्तर $(n = 4, 5, 6...)$ से छलांग लगाकर ऊर्जा स्तर 3 $(m = 3)$ पर पहुँचता है तो उससे प्राप्त स्पेक्ट्रमी रेखाओं की श्रेणी को पाश्चन श्रेणी कहते हैं। स्पेक्ट्रम रेखाओं की आवृत्तियों को निम्न समीकरण द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$v_{3n} = \frac{R}{h} \; \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \quad ; n > 3$$

ब्रेकेट श्रेणी इस श्रेणी के स्पेक्ट्रल रेखाओं को स्पेक्ट्रम के मध्य अवरक्त (मिड इन्फ्रारेड रीजन) भाग में पाया गया। इनकी उत्पत्ति तब होती है जब इलेक्ट्रान ऊर्जा स्तर $(n = 5, 6...)$ से छलांग लगाकर ऊर्जा स्तर 4 $(m = 4)$ पर आता है। विभिन्न स्पेक्ट्रम रेखाओं की आवृत्तियों को इस प्रकार दर्शा सकते हैं-

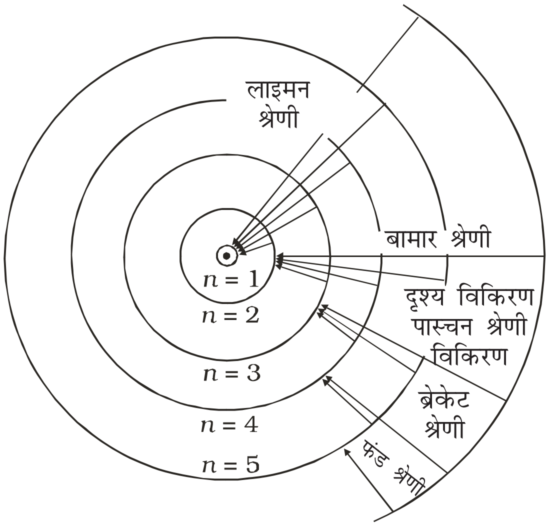
$$v_{4n} = \frac{R}{h} \; \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \quad ; n > 4$$

फंड श्रेणी: इस श्रेणी के रेखाओं को स्पेक्ट्रम के सुदूर अवरक्त क्षेत्र में पाया गया। बोहर के अनुसार इस श्रेणी का विकास तब होता है जब इलेक्ट्रॉन $(n = 6, 7,...)$ से छलांग लगाकर नीचे क्रम की कक्षा 5 $(m_1 = 5)$ में आ जाता है। इस श्रेणी की विभिन्न स्पेक्ट्रम रेखाओं की आवृत्तियाँ हैं–

$$v_{5n} = \frac{R}{h} \; \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \quad ; n > 5$$

बोहर माडल की अद्‌भुत प्रवीणता या सार्थकता इस तथ्य पर आधारित है कि इसके अनुसार स्पेक्ट्रम की श्रेणियों की उत्पत्ति को तो समझाया जाता ही है, इससे एक कदम और आगे इसके द्वारा संभाव्य श्रेणियों के अस्तित्व की भी पूर्व घोषणा की गई थी जिन्हें बाद में सत्य पाया गया। इससे वास्तव में भौतिकी की एक नई विधा का जन्म हुआ। इलेक्ट्रॉनों के उच्च कक्षाओं से नीचे स्तर के कक्ष में पारगमन (ट्राँन्जीशन) से उत्सर्जित भाँति-भाँति की स्पेक्ट्रल रेखाओं को चित्र 24.8 में नीचे दर्शाया गया है।

टिप्पणियाँ



चित्र. 24.8 : हाइड्रोजन परमाणु स्पेक्ट्रम की अनुमत कक्षाएँ और इलेक्ट्रॉन के कक्षीय पारगमन (ट्रान्जीशन) से उत्पन्न कई श्रेणियों की स्पेक्ट्रम रेखाएँ

पाठगत प्रश्न 24.3

1. किसी कक्षीय इलेक्ट्रॉन की कुल ऋणात्मक ऊर्जा का अर्थ है: (a) उसने फोटान का उत्सर्जन किया है। (b) न्यूक्लियस का इलेक्ट्रॉन से आबद्ध हो जाना, (c) वह स्थाई संतुलन में आ गया है। (d) वह बोहर की मान्यता $L = \frac{nh}{2\pi}$ को संतुष्ट करता है।

2. एक इलेक्ट्रॉन कक्षा 4 में छलांग लगाकर पहुँचता है, जब यही इलेक्ट्रोन वापस छलांग लगाकर कम ऊर्जा वाली कक्षा में पहुँचता है तो उत्सर्जित स्पेक्ट्रल लाइनों की संख्या होगी–

   अ) 6, ब) 8, ब) 5, द) 3.

3. लाइमन श्रेणी की स्पेक्ट्रम लाइनों का उत्सर्जन होता है जब इलेक्ट्रॉन उच्च क्रम की कक्ष से .... कक्ष में छलांग लगाता है।

   अ) पहली, ब) दूसरी, स) तीसरी, द) चौथी।

4. बोहर ने इलेक्ट्रॉन के कौन से भौतिक गुणधर्म को क्वांटित किया था।

5. एक इलेक्ट्रॉन तीसरे कक्ष से प्रथम कक्ष में छलाँग लगाकर पहुँचता है। इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग की गणना कीजिए।

24.4 एक्स-किरणें

जब किसी कांच की नलिका में अत्यंत निम्न दाब पर द्रुत गति से चलते हुए इलेक्ट्रॉन अचानक किसी भारी धातु द्वारा रोके जाते हैं तो एक्स-किरणें उत्पन्न होती हैं।

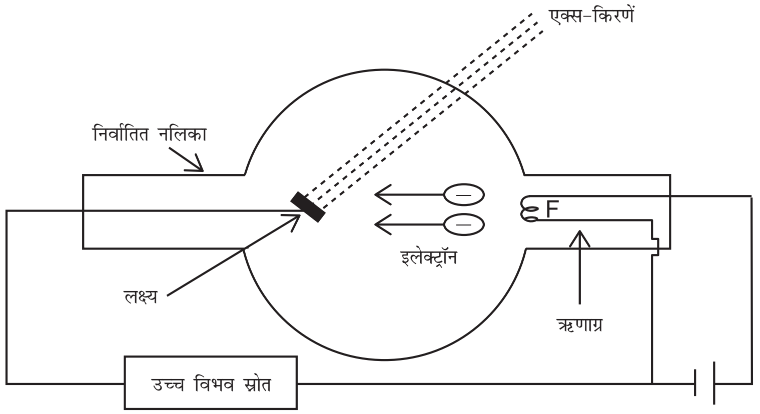


Fig. 24.4

जैसा चित्र 24.4 में दर्शाया गया है तप्त फिलामेंट द्वारा उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन उच्च गलनांक और उच्च परमाणु क्रमांक के धातु से बने टार्गेट पर फोकसित किए जाते हैं। टार्गेट से टकराने पर उनकी 5% ऊर्जा एक्स-किरणों में और शेष ऊष्मा में बदल जाती है। इसलिए टार्गेट में जल-प्रवाहित कर इसे ठंडा रखा जाता है। नलिका के अंदर अत्यंत निम्न दाब रखा जाता है ताकि तप्त तंतु से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा बीच में गैस कणों के साथ संघट्ट से नष्ट न हो और वे सीधे टार्गेट पर पहुंच सकें।

एक्स-किरणों की तीव्रता का नियंत्रण तंतु धारा के समंजन द्वारा तथा गुणवत्ता का नियंत्रण तंतु और टार्गेट के बीच त्वरक वोल्टता के समंजन द्वारा किया जाता है। यह वोल्टता प्राय: 10 kV एवं 1 MV के परिसर में होती है।

एक्स-किरणों के गुण

एक्स-किरणें निम्नलिखित गुण प्रदर्शित करती हैं:

(i) वे फोटोग्राफी प्लेट को प्रभावित करती हैं।

(ii) वे कुछ रासायनिक यौगिकों में स्फुरदीप्ति प्रेरित करती हैं।

(iii) वे गैसों को आयनीकृत करती हैं।

(iv) वे साधारण दर्पणों से परावर्तन, कांच में अपवर्तन, पारंपरिक ग्रेटिंग से विवर्तन प्रदर्शित नहीं करती, परंतु विशिष्ट परिष्कृत तकनीकों से क्रिस्टलों की परमाणु परतों पर ये प्रकाश के सभी सुपरिचित गुण दर्शाती हैं।

(v) वे चुंबकीय या विद्युत क्षेत्रों द्वारा विचलित नहीं होतीं।

एक्स-किरण स्पेक्ट्रम : जिस तत्व के एक्स-किरण स्पेक्ट्रम का अध्ययन करना हो उसको एक्स-किरण नलिका में टार्गेट के स्थान पर रखते हैं और उत्सर्जित एक्स-किरणों के तरंगदैर्ध्य ब्रैग स्पेक्ट्रम मापी द्वारा ज्ञात करते हैं।

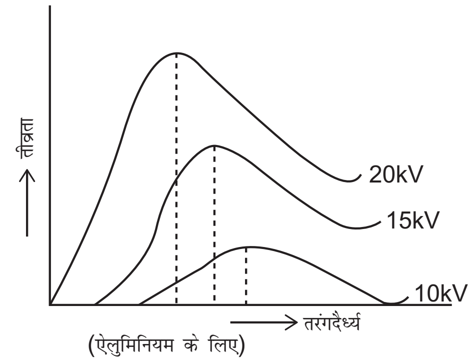
एक्स-किरणें दो प्रकार की होती हैं-

1. **संतत एक्स-किरणें :** सभी एक्स-किरण नलिकाएं एक न्यूनतम तरंगदैर्ध्य से अधिक तरंगदैर्ध्य की सभी एक्स-किरणें उत्सर्जित करती हैं। संतत एक्स-किरणों के स्पेक्ट्रम के कुछ महत्वपूर्ण लक्षण नीचे दिए गए हैं।

   (i) नलिका के सिरों के बीच वोल्टता बढ़ाने पर सभी तरंगदैर्ध्यों की एक्स-किरणों की तीव्रता बढ़ जाती है।

   (ii) उत्सर्जित होने वाली न्यूनतम तरंगदैर्ध्य सुस्पष्टता से परिभाषित होती है और इसका मान लगाई गई वोल्टता पर निर्भर करता है।

   (iii) जैसे-जैसे वोल्टता में वृद्धि होती है, सर्वाधिक उत्सर्जन के संगत तरंगदैर्ध्य का मान कम होता जाता है। देखिए चित्र 24.5



चित्र 24.5

इलेक्ट्रॉन जब परमाणु से संघट्ट करता है तो आपतित इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा विद्युत चुंबकीय तरंगों के संतत एक्स-किरण रूप में परिवर्तित हो जाती है। विराम में आने से पहले इलेक्ट्रॉन अनेक संघट्ट करते हैं और सभी आवृत्तियों के फोटॉन उत्पन्न करते हैं।

जब इलेक्ट्रॉन का परमाणु से आमने-सामने का संघट्ट होता है और यह अपनी पूरी ऊर्जा खो देता है तो अधिकतम आवृत्ति का फोटॉन उत्पन्न होता है। इस प्रकार के संघट्ट के लिए फोटॉन आवृत्ति अधिकतम एवं संगत तरंगदैर्ध्य न्यूनतम होता है।

अत:
$$eV = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$$

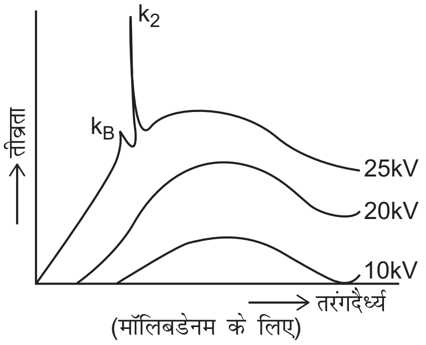
यह डुआने-हंट नियम कहलाता है।

2. अभिलाक्षणिक एक्स-किरणें :

संतत एक्स-किरणों के अतिरिक्त एक्स-किरण नलिकाएं ऐसे विकिरण भी उत्सर्जित करती हैं, जो प्रयुक्त टार्गेट के संगत अभिलाक्षणिक रेखाएं होती हैं। यह देखा गया है कि संतत स्पेक्ट्रम पर कुछ आवृत्तियों के संगत अत्यधिक बड़े परिमाण में ऊर्जा उत्सर्जित होती है। इन रेखाओं की स्थिति लगाई गई वोल्टता पर निर्भर नहीं करती, बल्कि टार्गेट की प्रकृति पर निर्भर करती है।

मोस्ले का नियम

मोस्ले ने अनेक तत्वों की अभिलाक्षणिक एक्स-किरणों का अध्ययन किया। उसने पाया कि कुछ विशिष्ट अभिलाक्षणिक रेखाएं सभी तत्वों के स्पेक्ट्रमों में प्रकट होती हैं परंतु इनके तरंगदैर्ध्य में मामूली अंतर होता है (चित्र 24.6)। प्रत्येक अभिलाक्षणिक रेखा एक विशिष्ट समीकरण का अनुसरण करती है। उदाहरणार्थ, K_2 रेखाएं निम्नलिखित संबंध का अनुसरण करती हैं।



चित्र 24.6

$$\bar{\nu} = R\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right](Z-1)^2$$

आपने क्या सीखा

- रदरफोर्ड के प्रकीर्णन प्रयोग ने परमाणु के अंदर छोटे से केन्द्रीय क्षेत्र की उपस्थिति को इंगित किया जहां पर उसके सभी धनावेशित कण और परमाणु का अधिकाँश द्रव्यमान केन्द्रित होता है। इस क्षेत्र को न्यूक्लियस (नाभिक) नाम दिया गया।
- इलेक्ट्रॉन न्यूक्लियस के चारो ओर घूमता रहता है तथा कुल ऋणात्मक आवेश का समायोजन कुल धनात्मक आवेश, जो न्यूक्लियस में रहता है, द्वारा बना रहता है।
- रदरफोर्ड के परमाणु मॉडल द्वारा परमाणु का प्रेक्षित स्थायित्व तथा परमाणु द्वारा उत्सर्जित विद्युत चुम्बकीय विकिरण का संतोषजनक स्पष्टीकरण नहीं दिया जा सका।
- परमाणु का संतोषजनक मॉडल नील बोहर द्वारा प्रस्तुत किया गया जो कि चार अभिगृहीतों (पास्चुलेट्स) पर आधारित था।
- इलेक्ट्रॉन की अनुमत कक्षाएँ वे होती हैं जिनका कोणीय संवेग $(I\omega) = nh/2\pi$ होता है।
- कोई इलेक्ट्रॉन जब उच्चक्रम की अनुमत कक्ष से निम्न क्रम की कक्षा में छलांग लगाता है तो ऊर्जा का उत्सर्जन होता है और ठीक इसके विपरीत निम्न अनुमत कक्ष से उच्चक्रम की अनुमत कक्ष में जाने पर ऊर्जा का अवशोषण होता है।

- अनुमत कक्षा जिसमें इलेक्ट्रॉन उन्मुक्त न्यूक्लियस के चारों ओर घूमता है, उसकी त्रिज्या को निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है– $a_n = \frac{n^2h^2}{4\pi^2\, mke^2} = \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{Ze^2m\pi}$

  हाइड्रोजन परमाणु की प्रथम अनुमत कक्षी की त्रिज्या का मान $a = 0.53$Å है।
- हाइड्रोजन परमाणु की n^{th} कक्षा में स्थित इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा होती है

$$E_n = -\frac{e^4m}{8h^2\varepsilon_0^2n^2}$$

  कुल ऊर्जा के ऋणात्मक चिन्ह से पता चलता है कि इलेक्ट्रॉन न्यूक्लियस से बँधा रहता है।
- इलेक्ट्रॉन के एक ऊर्जा स्तर E_i से दूसरे ऊर्जास्तर E_f में पारगमन करने से उत्सर्जित फोटॉन की आवृत्ति को निम्न प्रकार से दर्शाते हैं–

$$\nu_{mn} = \frac{R}{h} \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}$$

- जब द्रुतगामी इलेक्ट्रान अचानक किसी भारी धातु द्वारा रोके जाते हैं तो x-किरणें उत्पन्न होती हैं।
- एक्स किरणें दो प्रकार की होती हैं– (i) संतत एवं (ii) अभिलाक्षणिक
- डुआने-हंट के नियमानुसार $eV = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$
- मोसले नियम $\bar{\nu} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)(z-1)^2$

पाठांत प्रश्न

1. रदरफोर्ड के प्रकीर्णन प्रयोग में अधिकांश α-कण लक्ष्य पन्नी (टारगेट फॉएल) से सीधे क्यों गुजरते हैं?
2. रदरफोर्ड के α-किरणों के प्रकीर्णन प्रयोग में कौन सा प्रेक्षण न्यूक्लियस (नाभिक) के अस्तित्व की संभावना के भविष्यकथन में सहायक रहा?
3. रदरफोर्ड ने यह कैसे मान लिया कि इलेक्ट्रॉन न्यूक्लियस (नाभिक) के चारों ओर वृत्तीय कक्षाओं (आरबिट) में परिक्रमा करता है?
4. हाइड्रोजन परमाणु की अपनी पहली कक्षा और दूसरी कक्ष की उत्तेजित अवस्थाओं की ऊर्जाओं का अनुपात क्या होता है?

5. रिडबर्ग नियतांक (कान्सटेंट) का SI मात्रक क्या है?

6. हाइड्रोजन परमाणु का रिडबर्ग नियतांक 1096700 m^{-1} है। लाइमन श्रेणी की छोटी व बड़ी तरंगदैर्घ्य की सीमाओं का परिकलन कीजिए।

7. हाइड्रोजन परमाणु का इलेक्ट्रॉन एक सेकंड में प्रथम कक्षा की कितनी बार परिक्रमा करता है?

8. बोहर के परमाणु माडल के अभिगृहीतों की चर्चा कीजिए।

9. रदरफोर्ड के प्रकीर्णन प्रयोग का वर्णन कीजिए। इसके निष्कर्षों एवम् कमियों पर चर्चा कीजिए।

10. हाइड्रोजन परमाणु की n^{th} कक्षा में इलेक्ट्रोन ऊर्जा का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए।

11. सही उत्तर चुनिए:

 (अ) किसी इलेक्ट्रॉन की nth कक्षा की कुल ऊर्जा E_n समानुपाती होता है–

 (i) $1/n^4$ के (ii) $1/n^2$ के (iii) $1/n^2$ के (iv) $1/n$ के

 (ब) हाइड्रोजन परमाणु की $n = 1$ कक्ष से $n = \infty$ तक इलेक्ट्रॉन को हटाने (विस्थापित करने) में जितनी ऊर्जा की आवश्यकता है वह बराबर होती है

 (i) 13.6 V के (ii) 13.6 eV के (iii) 13.6 MeV के (iv) 13. 6 KeV

 (स) हाइड्रोजन परमाणु में जब इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तर की कक्षा $n = 5, 6, 7,...$ से कम ऊर्जा स्तर की कक्ष $n = 4$ पर छलांग लगाता है तो स्पेक्ट्रल लाइनों का जो समुच्चय (सेट) प्राप्त होता है उसे कहते हैं–

 (i) बामर श्रेणी (ii) ब्रेकेट श्रेणी (iii) पाश्चन श्रेणी (iv) लाइमन श्रेणी

12. हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन के तीसरे और चौथे अनुमत कक्षाओं की त्रिज्या का परिकलन कीजिए?

13. हाइड्रोजन परमाणु में ऊर्जा का संक्रमण (ट्रान्जीशन) ऊर्जा स्तर $n = 3$ से $n = 2$पर होता है। दिया हुआ है कि $R = 1.097 \times 10^7\ m^{-1}$ तब–

 (i) उत्सर्जित विकिरणों की तरंगदैर्घ्य कितनी होती है?

 (ii) क्या ये विकरण स्पेक्ट्रम के दृश्य प्रकाश के परिसर में होंगे?

 (iii) यह संक्रमण (ट्रांजीशन) स्पेक्ट्रमी श्रेणी में किससे संबंधित होगा?

14. हाइड्रोजन का आयनन (आयोनाइजेशन) विभव 13.6 वोल्ट है। परमाणु की ऊर्जा $n = 2$ अवस्था में कितनी होगी?

15. एक्स किरणें कैसे उत्पन्न की जाती हैं? एक नामांकित चित्र बना कर स्पष्ट कीजिए।

16. एक्स किरणों के गुणें को सूचीबद्ध कीजिए और उनकी दृष्य प्रकाश के साथ तुलना कीजिए।

17. संतत एक्स किरणें कैसे उत्पन्न की जाती हैं? उच्चतम आवृत्ति के फोटॉन उत्पादन की क्या शर्ते हैं?

टिप्पणियाँ

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

24.1

1. (a) (iii) (b) (ii) (c) (i) (d) (i)
2. यह रदरफोर्ड के प्रयोग में प्राप्त प्रेक्षण की व्याख्या नहीं कर सका जिसके अनुसार α (अल्फ)कण का अधिक कोण से प्रकीर्णन होता है।

24.2

1. बोहर का पहला अभिगृहित चिरसम्मत भौतिकी (क्लासिकल फिजिक्स) से किया गया, बाकी तीनों क्वांटम भौतिकी से लिए गए हैं।
2. क्योंकि कक्षाएं स्थाई हैं।
3. (i) इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर पर गिरता है।
   (ii) इलेक्ट्रॉन किसी उच्च ऊर्जा की स्थिति में उत्तेजित हो जाता है।
4. $E_1 = -13.6\text{eV}; E_2 = 3.4\text{ eV}, E_3 = -1.51\text{eV}$
5. $\lambda = \dfrac{hc}{E_i - E_0}$
6. (iv)

24.3

1. (ब)
2. (अ) उत्सर्जित स्पेक्ट्रल लाइनों की संख्या $= \frac{1}{2} n(n-1) = \frac{1}{2} \times 4(4-1) = 6$
3. (अ)
4. परिभ्रमणशील (रिव्होल्विंग) इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग।
5. प्रमुख क्वांटम संख्या n के साथ, nth कक्षा की स्थिति से उन तरंग-दैर्ध्यों की संख्या का परिकलन कीजिये जिनका हाइड्रोजन के स्पेक्ट्रम में अवलोकन किया जाता है।

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

4. यह अनुपात 9 : 4 होगा
6. $\lambda_s = 9114\,\text{Å}$, $\lambda_e = 1215\,\text{Å}$
7. 6.57×10^{15} Hz.
11. (a) (i), (b) (ii), (c) (iii), (d) (i), (e) (v)
13. (i) 6563 Å, (ii) दृश्य (iii) बामर श्रेणी
14. –3.4 eV.

टिप्पणियाँ

25

विकिरण एवं द्रव्य की द्वैती प्रकृति

आपने सिनेमा घरों में फिल्में तो अवश्य ही देखी होंगी। पर्दे पर दिखने वाले चित्र/चल चित्र का निर्माण, फिल्म पर अंकित चित्रों/दृश्यों से गुज़रने वाले प्रकाश के द्वारा होता है। पर क्या आपने कभी सोचा है कि फिल्म में ध्वनि/आवाज कहाँ से उत्पन्न होती है? फिल्म के एक तरफ उपस्थित ध्वनि-पथ (ध्वनि-ट्रैक/साऊण्ड ट्रैक) में ध्वनि को भी अंकित किया जाता है। ध्वनि ट्रैक में से प्रकाश पुँज गुजर कर प्रकाश सेल पर गिरता है जो इस प्रकाश पुँज को विद्युत स्पन्दों (Pulses) में परिवर्तित कर देता है। और यही विद्युत स्पन्द ध्वनि/आवाज़ में परिवर्तित हो जाते हैं। इस पाठ में आप उस प्रभाव को पढ़ेगे, जिसके आधार पर फोटो सेल कार्य करता है। इस प्रभाव को प्रकाश विद्युत प्रभाव कहते हैं। घुसपैठियों/चोरों का पता लगाने के लिए उपयोग होने वाले "बर्गलर अलार्म" में भी इस प्रभाव का उपयोग होता है। आइन्सटाइन द्वारा, प्रकाश-विद्युत प्रभाव की दी गई व्याख्या ने डी-ब्रॉग्ली (De-Broglie) को तरंग-कण द्वैतता (ड्यूलिटी) अर्थात् पदार्थ तरंग के साथ-साथ कणों के गुणों को भी दर्शा सकता है, को स्वीकार करने की प्रेरणा दी।

अब आप जान चुके हैं कि कण निश्चित स्थिति, आकार, द्रव्यमान, वेग, संवेग आदि गुणों द्वारा अभिलक्षणित होता है। इन कणों की गति की व्याख्या न्यूटन के गति संबंधी नियमों द्वारा की जाती है। अब इससे हटकर तरंग को लें। यह स्थान और समय में आवर्तता, तरंग-दैर्ध्य, आयाम (एम्प्लीच्यूड), आवृत्ति, तरंग गति, आदि गुणों द्वारा अभिलक्षणित होती है। यह ऊर्जा का परिवहन करती है, पदार्थों का नही! अर्थात् तरंग स्थान में विस्तरित होती है जबकि कण स्थानिक (लोकेलाइज्ड) होते हैं। तरंग-कण द्वैतता शब्द से तात्पर्य उस व्यवहार से है जिसमें एक ही वस्तु विभिन्न परिस्थितियों में तरंग सदृश एवं कण सदृश दोनों ही गुणों का प्रदर्शन करती है। डी-ब्रॉग्ली का तर्क सरल और सीधा सा है। उसका कहना है कि प्रकृति सरलता एवं सममिति (समिट्री) को पसंद करती है। इसलिए यदि द्रव्य-तरंग की द्वैतता प्रकाश द्वारा प्रदर्शित की जा सकती है तो यह पदार्थ द्वारा भी प्रदर्शित की जानी चाहिए। डी-ब्रॉग्ली के इस द्रव्य-तरंग संबंधी विवेचनात्मक कथन की व्याख्या इस पाठ के खण्ड 25.4 में आप पढ़ेंगे।

उद्देश्य

इस पाठ को पढ़ने के बाद, आप :

- प्रकाश-विद्युत प्रभाव को समझा सकेंगे;
- प्रकाश-विद्युत प्रभाव का अध्ययन करने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था का विवरण दे सकेंगे;
- प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन के नियम बता सकेंगे;
- विकिरण की आवृत्ति तथा मंदक-विभव (रिटार्डेशन पोटेंशियल) के बीच ग्राफ की व्याख्या कर सकेंगे;
- संवंग p के कण के साथ सम्बद्ध डि-ब्रॉग्ली तरंग के तरंगदैर्घ्य के लिए व्यंजक लिख सकेंगे;
- डी-ब्राग्ली तरंगों के अस्तित्व के प्रमाण संबंधी प्रायोगिक व्यवस्था का विवरण दे सकेंगे।

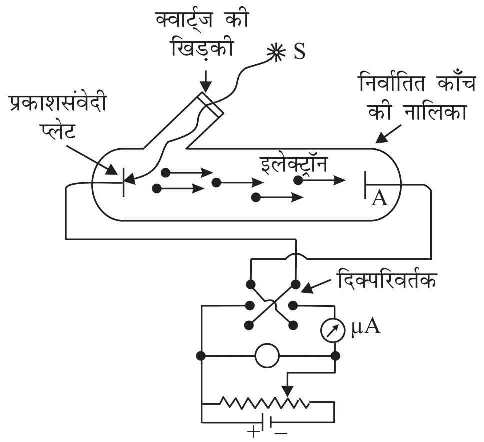
25.1 प्रकाश-विद्युत प्रभाव

सन् 1887 में वैद्युत-चुम्बकीय तरंगों के संचरण (प्रोपोगेशन) पर शोध कार्य करते हुए जर्मन के प्रोफेसर हेनरिच रूडोल्फ हर्ट्ज ने पाया कि स्पार्क (चिंगारी) गेप में मौजूद हवा बहुत अच्छे सुचालक का काम करने लगती है। खासकर तब, जब उसे अल्ट्रावायलेट (पराबैंगनी) किरणों द्वारा प्रदीप्त किया जाये। उनके द्वारा आगे चलकर और भी प्रयोग सम्पन्न किए गए जो यह प्रदर्शित करते हैं कि जिंक धनावेशित हो जाता है जब उस पर अल्ट्रावायलेट किरणें आपतित होकर उसे प्रदीप्त करती हैं। सन् 1900 में लियोनार्ड ने प्रयोग द्वारा दिखाया कि धातु प्लेट की सतह से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं जब उस प्लेट पर उच्च-आवृत्ति वाली प्रकाश किरणें आपतित होती हैं। इस परिघटना को प्रकाश-विद्युत प्रभाव कहते हैं। इस प्रभाव से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन **फोटो इलेक्ट्रॉन** कहलाते हैं।

धातुओं को एक अभिलक्षणिक आवृत्ति वाले प्रकाश से प्रदीप्त करने पर उनसे इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन प्रकाश विद्युत प्रभाव कहलाता है।

25.1.1 प्रकाश-विद्युत प्रभाव के अध्ययन की प्रायोगिक व्यवस्था

चित्र 25.1 को देखिए। यह इस परिघटना के अध्ययन के लिए प्रयुक्त उपकरण की योजनावत् आरेख को दर्शाता है।



चित्र 25.1: प्रकाश-विद्युत प्रभाव के अध्ययन करने की प्रायोगिक व्यवस्था

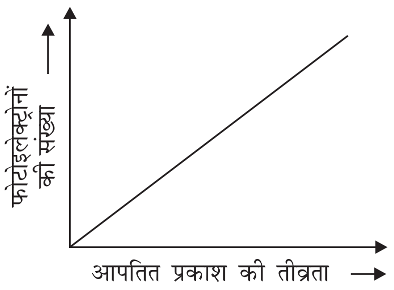
धातु का एक कप C,जिसे फोटो कैथोड कहते हैं, एक निर्वात नली में एक प्लेट A के साथ सील कर दिया जाता है। प्लेट A कैथोड द्वारा उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों को संग्रहित करता है। इन इलेक्ट्रोडों को एक माइक्रो $-\mu$ एमीटर (μA) परिपथ के साथ जोड़ दिया जाता है जैसा कि चित्र 25.1 में दिखाया गया है। बैटरी को इस तरह से जोड़ा जाता है कि प्लेट A की वोल्टता कप C के सापेक्ष धनात्मक होती है। यदि बैटरी के ध्रुवों को उलट दिया जाये तो प्लेट A की वोल्टता C के सापेक्ष ऋणात्मक हो जायेगी।

आपतित प्रकाश की तीव्रता का प्रभाव उत्सर्जित फोटो इलेक्ट्रॉनों की संख्या पर किस प्रकार पड़ता है, इसका अध्ययन करने के लिए प्लेट A को कप C के सापेक्ष धनात्मक विभव पर रखा जाता है।

आपतित प्रकाश की आवृत्ति एवं उसके त्वरक विभव को स्थिर रखते हुए, यह प्रेक्षित किया गया कि उत्सर्जक प्लेट की प्रति इकाई क्षेत्रफल से उत्सर्जित फोटो–इलेक्ट्रॉनों की संख्या प्रकाश की तीव्रता के समानुपाती होती है अर्थात् यह रैखिक रूप से परिवर्तित होता है जैसा कि चित्र 25.2 (a) में दर्शाया गया है।

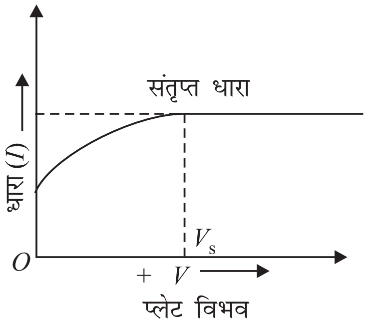
पहली स्थिति: प्लेट A कप C के सापेक्ष धनात्मक

उपरोक्त स्थिति पर विचार करने पर यह देखने में आता है कि जब एक विशेष आवृत्ति वाले प्रकाश की किरणें उत्सर्जक पर आपतित होती हैं तो उससे इलेक्ट्रॉन का उत्सर्जन शुरू हो जाता है। चूंकि प्लेट A, C के सापेक्ष उच्च विभव पर है, उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन एक वोल्टता आकर्षण बल का अनुभव करते हैं। जब हम प्लेट A की वोल्टता बढ़ाते हैं तो उत्सर्जित फोटो इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा बढ़ जाती है। बाह्य परपथ में माइक्रोएमीटर द्वारा दर्शाई जा रही विद्युतधारा उत्सर्जित फोटो इलेक्ट्रॉनों की संख्या पर निर्भर करती है। यदि हम वोल्टता को



चित्र 25.2: (a) फोटो इलेक्ट्रॉनों की संख्या का प्रकाश की तीव्रता के साथ परिवर्तन

लगातार बढ़ाते रहें तो एक स्थिति ऐसी आएगी जब सारे उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन प्लेट A पर एकत्रित हो जाएंगे। ऐसी अवस्था में विद्युतधारा संतृप्त हो जाती है। यदि प्लेट की वोल्टता को और अधिक बढ़ाया जाये तो भी विद्युतधारा का परिमाण स्थिर रहता है। प्लेट वोल्टता के सापेक्ष विद्युतधारा की निर्भरता को चित्र 25.2 (b) में दर्शाया गया है। वोल्टेज V को संतृप्त वोल्टेज कहते हैं।



चित्र 25.2 (b) प्रकाश-विद्युतधारा की विभव पर निर्भरता

द्वितीय स्थिति: प्लेट A कप C के सापेक्ष ऋणात्मक

यदि कप C, धातु प्लेट A के सापेक्ष धनात्मक विभव पर है और एक उचित आवृत्ति की प्रकाश किरण उत्सर्जक पर आपतित होती है तो C द्वारा उत्सर्जित फोटो इलेक्ट्रॉन एक मन्दक-विभव का अनुभव करेंगे जो प्लेट A की ओर उनकी गति में अवरोध उत्पन्न करेगा। फिर भी कप C से उत्सर्जित कुछ फोटो इलेक्ट्रॉन प्लेट A तक पहुंचने में सफल हो जाएंगे। यह एक विद्युतधारा को उत्पन्न करेगा जिसे माइक्रो-एमीटर द्वारा नापा जा सकता है। इस सबका क्या मतलब निकलता है? यदि A और C के बीच मौजूद विभवान्तर वही बल प्रदान करता है जिसके कारण फोटो इलेक्ट्रॉन प्लेट A की तरफ गतिशील होते हैं तो एक भी इलेक्ट्रॉन प्लेट A तक नहीं पहुंच पाता। चूंकि कुछ इलेक्ट्रॉन अवरोधक विभव पर विजय प्राप्त करके प्लेट A पर पहुंचते हैं, इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि इन इलेक्ट्रॉनों में प्रारंभिक गतिज ऊर्जा रही होगी। प्रेक्षण भी इस बात की पुष्टि करते हैं। आपतित प्रकाश, की किसी खास आवृत्ति (फ्रिक्वेंसी) के लिए यदि अवरोधक विभव के परिमाण को धीरे-धीरे बढ़ाते जाएं तब अंत में एक स्थिति आ पहुंचती है जब कोई भी इलेक्ट्रॉन प्लेट A तक नहीं पहुंच पाता, और धारा का मान शून्य हो जाता है।

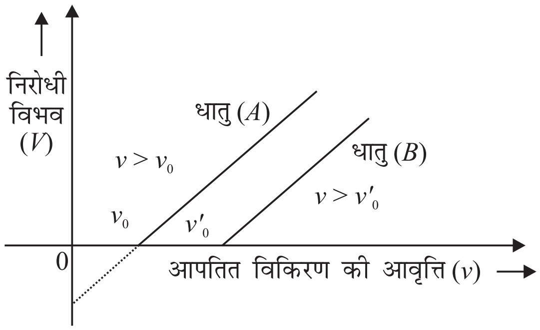
वह अवरोधक विभव जिसके लिए फोटो विद्युतधारा किसी विशिष्ट आवृत्ति वाले आपतित प्रकाश के लिए शून्य हो जाती हो, वह उस आवृत्ति के लिए निरोधी विभव कहलाता है।

निरोधी विभव V_0 के विपरीत किसी इलेक्ट्रॉन द्वारा किया गया कार्य (W) eV_0 होता है, जहाँ e इलेक्ट्रॉन का आवेश है। यह कार्य इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा के मूल्य पर होता है। इसलिए इसे हम इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं–

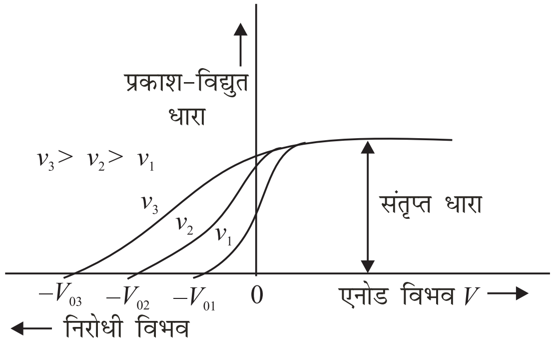
$$eV_0 = \frac{1}{2} m v_{max}^2 \qquad (25.1)$$

मिलिकन ने पाया कि निरोधी विभव V_0 आपतित प्रकाश की आवृत्ति पर निर्भर करता है। निरोधी विभव (V_0) और प्रकाश की आवृत्ति (ν) के मध्य का ग्राफ चित्र 25.3 में दर्शाया गया है। इस चित्र में आप पाएंगे कि एक सबसे कम अंतक आवृत्ति (कट-ऑफ फ्रिक्वेंसी) ν_0 होती है जिसके नीचे की आवृत्ति पर इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन संभव नहीं है। इसे *देहली-आवृत्ति* (थ्रेशहोल्ड फ्रिक्वेंसी) कहते हैं।

आपतित प्रकाश की आवृत्ति का निरोधी विभव पर किस प्रकार प्रभाव पड़ता है, इसका अध्ययन करने के लिए मिलिकन ने प्रकाश की तीव्रता को विभिन्न आवृत्तियों के लिए एक स्थिर मान पर समायोजित किया और एनोड विभव के साथ प्रकाश विद्युतधारा में होने वाले परिवर्तनों का मापन किया। उसने आपतित प्रकाश की विभिन्न आवृत्तियों के लिए निरोधी-विभव के विभिन्न परिमाणों को प्राप्त किया। निरोधी-विभव अधिक आवृत्ति वाले प्रकाश के लिए अधिक ऋणात्मक विभव के होते गए जैसा कि चित्र 24.4 में दर्शाया गया है। इससे यह मतलब निकला कि यदि आपतित प्रकाश की आवृत्ति बढ़ती जाती है तो फोटो इलेक्ट्रॉन की उच्चतम गतिज ऊर्जा भी बढ़ती जाएगी। इसलिए निरोधी-विभव में भी अभिवृद्धि होना जरूरी है ताकि फोटो इलेक्ट्रॉनों को एनोड की ओर पहुंचने से पूर्ण रूप से रोका जा सके। यह प्रयोग यह भी सिद्ध करता है कि अंतक आवृत्ति (कट-ऑफ फ्रिक्वेंसी) ν_0 जैसे किसी गुण का अस्तित्व है जिसके लिए निरोधी विभव शून्य हो जाएगा। इसके अलावा यह भी प्रेक्षित हुआ कि प्रकाश चाहे क्षीण ही क्यों न हो जैसे ही वह पदार्थ (उत्सर्जक) पर आपतित होता है, प्रकाश इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन प्रारंभ हो जाता है अर्थात् प्रकाश इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन तात्क्षणिक है। अब यह हमें ज्ञात है कि आपतित प्रकाश तथा उत्सर्जक से निकले प्रकाश इलेक्ट्रॉनों के बीच समय पश्चता (टाइम लैग) 10^{-9} सेकंड की कोटि की होती है।



चित्र 25.3: निरोधी विभव और आपतित प्रकाश की आवृत्ति



चित्र 25.4: प्रकाश-विद्युत घारा

इन प्रेक्षणों को संक्षिप्त रूप में इस प्रकार उल्लेखित कर सकते हैं:

- प्रकाशीय इलेक्ट्रॉनों का उच्चतम वेग, आपतित प्रकाश की आवृत्ति के साथ बढ़ता है तथा उत्सर्जक पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करता है।
- प्रकाश इलेक्ट्रॉनों का उच्चतम वेग आपतित प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर नहीं करता है।
- प्रत्येक पदार्थ के लिए एक देहली-आवृत्ति (थ्रेशहोल्ड फ्रिक्वेंसी) होती है जिससे कम आवृत्ति पर प्रकाश इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन नहीं होता।
- किसी विशिष्ट आवृत्ति वाले प्रकाश के लिए, उत्सर्जक के प्रति इकाई क्षेत्रफल से उत्सर्जित प्रकाश इलेक्ट्रानों की संख्या आपतित प्रकाश की तीव्रता के समानुपाती होती है।

- धातु की सतह पर प्रकाश के आपतित होने और प्रकाश इलेक्ट्रॉनों के उत्सर्जन के बीच व्यावहारिक रूप से कोई समय पश्चता (10^{-9} सेकंड) नहीं होती। दूसरे शब्दों में, प्रकाश इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन एक तात्क्षणिक प्रक्रिया है।

पाठगत प्रश्न 25.1

1. स्पष्ट बताइये कि निम्नांकित कथन सत्य हैं या असत्य:

   (क) तापायनिक (थर्मिओनिक) उत्सर्जन में इलेक्ट्रॉन फोटॉनों से ऊर्जा ग्रहण करते हैं।

   (ख) प्रकाश इलेक्ट्रॉनों का अधिकतम वेग, आपतित विकिरण की आवृत्ति पर निर्भर नहीं करता है।

   (ग) एक विशिष्ट आवृत्ति (v_0) होती है जिससे कम आवृत्ति पर प्रकाश-विद्युत प्रभाव घटित नहीं होता।

2. चित्र 25.3 को देखिए। x और y अक्ष पर बनते हुए अंत:खंडों (इन्टरसेप्ट्स) की व्याख्या करते हुए प्रवणता (स्लोप) का परिकलन करें।

3. निरोधी विभव ($-V_0$) और आपतित प्रकाश की तीव्रता के बीच ग्राफ खींचिए।

25.2 आइन्सटाइन का प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन का सिद्धान्त

सन् 1905 में आइन्सटाइन ने प्रकश-विद्युत प्रभाव की एक सरल परन्तु क्रान्तिकारी व्याख्या प्रस्तावित की। उन्होंने यह परिकल्पना की कि प्रकाश ऊर्जा के छोटे-छोटे बन्डलों से मिलकर बना होता है। प्रत्येक बन्डल फोटॉन कहलाता है। उनकी अवधारणा के अनुसार प्रकाश-विद्युत प्रभाव फोटॉन तथा पृष्ठ परिबद्ध इलेक्ट्रॉन के बीच टकराव के कारण होता है।

एक फोटॉन की ऊर्जा निम्न व्यंजक द्वारा निरूपित की जाती है:

$$E = hv \qquad (25.2)$$

राबर्ट.ए.मिलिकन
(1868-1953)

राबर्ट ऐन्ड्रूज़ मिलिकन का जन्म 22 मार्च, 1868 को संयुक्त राष्ट्र अमेरिका में हुआ था। स्नातक स्तर की पढ़ाई करते समय उनके प्रिय विषय ग्रीक भाषा तथा गणित थे। सन् 1891 में स्नातक की पढ़ाई पूरी कर उन्होंने दो वर्षों तक प्रारंभिक भौतिकी के शिक्षक पद पर कार्य किया। इन्हीं वर्षों में इनकी विशेष रूचि भौतिकी के प्रति बढ़ी। सन् 1895 में उद्दीप्त सतहों द्वारा उत्सर्जित प्रकाश के ध्रुवण" विषय पर शोध के लिए उन्हें भौतिकी में डाक्टरेट की उपाधि प्राप्त हुई।

मिलिकन ने सन् 1895–96 के दौरान एक वर्ष जर्मनी के बर्लिन एवं गाटिंगन विश्वविद्यालयों में बिताया। ए॰ ए॰ माइकेलसन के आमंत्रण पर 1896 में वह (अमेरिका) वापस लौटे। माइकेलसन के सहायक के रूप में तथा नव स्थापित शिकागो विश्वविद्यालय की रायरसन प्रयोगशाला में वह कार्यरत हुए। इसी विश्वविद्यालय में 1910 में वह प्रोफेसर पद पर नियुक्त हुए जिस पर 1921 तक वहाँ रहे। एक वैज्ञानिक के रूप में विद्युत, प्रकाशिकी एवं आण्विक भौतिकी के क्षेत्रों में उन्होंने अनेकों महत्वपूर्ण खोज की। उनकी सबसे पहली महती सफलता "पाती-बिन्दु विधि" (फालिंग-ड्रॉप मैथड) द्वारा इलेक्ट्रॉन के आवेश का परिशुद्ध निर्धारण थी। उन्होंने यह भी सिद्ध किया कि सभी इलेक्ट्रॉनों के लिए इस राशि का एक नियत मान है जो आवेश की क्वांटित प्रकृति को प्रदर्शित करता है।

उन्होंने आइन्सटाइन के प्रकाश-विद्युत समीकरण का प्रायोगिक सत्यापन भी किया तथा प्लांक-नियतांक h का सीधा प्रकाश-विद्युत निर्धारण भी सबसे पहले किया। जीवन पर्यन्त मिलिकन एक बहु-सृजक लेखक के रूप में अनेक प्रतिष्ठित वैज्ञानिक पत्रिकाओं में लिखते रहे। सन् 1927 में उन्हें भौतिकी में नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया

जहाँ v = आपतित प्रकाश की आवृत्ति तथा h = प्लांक नियतांक है। अब यह कल्पना कीजिए कि एक hv ऊर्जा का फोटॉन किसी धातु की सतह पर आपतित होता है। मान लीजिए कि ϕ_0 वह ऊर्जा है जो धातु के पृष्ठ से इलेक्ट्रॉन को बाहर जाने के लिए आवश्यक है। जैसा कि पिछले पाठ में आप पढ़ चुके हैं, इस ऊर्जा को हम किसी चालक का कार्य फलन (वर्क फंक्शन) भी कहते हैं। ***किसी चालक का कार्य फलन वह न्यूनतम ऊर्जा है जो किसी इलेक्ट्रॉन को उसके पृष्ठ से बाहर लाने के लिए आवश्यक है।***

कुछ धातुओं के कार्यफलन के प्रारूपिक (eV में) मान उनके संगत देहली-आवृति (v) के मानों के साथ सारणी 25.1 में दिए गए हैं।

सारिणी 25.1 कुछ प्रारूपिक धातुओं के कार्यफलन एवं देहली आवृत्तियाँ

धातु	ϕ_0(eV)	v (Hz)
सोडियम	2.5	6.07×10^{14}
पोटेशियम	2.3	5.58×10^{14}
जिंक	3.4	8.25×10^{14}
आयरन	4.8	11.65×10^{14}
निकल	5.9	14.32×10^{14}

अब सोचिए कि क्या होगा यदि एक फोटॉन जिसकी ऊर्जा $E\,(>\phi_0)$ है धातु की सतह के साथ टकराता है? हम उम्मीद कर सकते हैं कि फोटॉन की कुल ऊर्जा E में से ϕ_0 परिमाण की ऊर्जा इलेक्ट्रॉन के धातु के पृष्ठ से निकल कर बाहर आने में खर्च हो जाएगी। ऊर्जा का अन्तर यानी

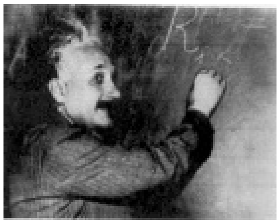
टिप्पणियाँ

$(E - \phi_0)$ उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन का गतिज ऊर्जा के रूप में प्रदान कर दिया जाएगा (धातु के पृष्ठ से बाहर आने से पहले आंतरिक टक्करों के कारण इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा में कुछ क्षति भी हो सकती है)।

गणितीय रूप से, निम्न व्यंजक को हम लिख सकते हैं:

$$hv = \phi_0 + K_{max} \quad (25.3)$$

अल्बर्ट आइन्सटाइन
(1879-1955)



अल्बर्ट आइन्सटाइन वुर्तेमबर्ग, जर्मनी में 1879 को पैदा हुए थे। सन् 1901 में उन्होंने "स्विस" नागरिकता ग्रहण की। चूंकि उन्हें शिक्षक की कोई नौकरी नहीं मिल पा रही थी, उन्होंने स्विस पेटेन्ट आफिस में तकनीकी सहायक की हैसियत से नौकरी कर ली। अपनी इसी नौकरी के दौरान खाली समय में उन्होंने अत्यन्त महत्वपूर्ण शोध कार्य कर डाले जिनमें प्रकाश-विद्युत प्रभाव का सिद्धान्त तथा आपेक्षिकता का विशिष्ट सिद्धांत शामिल थे। सन् 1909 में उन्हें ज्यूरिख में असाधारण विलक्षणता का प्रोफेसर बनाया गया। वर्ष 1911 में उन्होंने प्रेग विश्वविद्यालय में भौतिकी की सैद्धान्तिक भौतिकी शाखा का प्रोफेसर पद स्वीकार किया था। परन्तु इसी प्रकार का और अधिक गरिमायुक्त पद ज्यूरिख में मिल जाने के कारण दूसरे ही वर्ष पुन: ज्यूरिख पहुंच गए। 1914 में उन्हें कैंसर विलहेम भौतिक संस्थान में निदेशक के पद पर नियुक्त किया गया। साथ ही साथ वे बर्लिन विश्वविद्यालय में प्रोफेसर के पद पर थे। सन् 1914 में उन्हें जर्मन नागरिकता प्राप्त हुई। सन् 1921 में उन्हें भौतिकशास्त्र के लिए नोबेल पुरस्कार से नवाज़ा गया। उन्हें यह पुरस्कार उनके क्रांतिकारी शोधकार्यों के लिए दिया गया जो प्रकाश-विद्युत प्रभाव के सिद्धान्त पर प्रकाशित किए गए थे। हालांकि उनकी विश्वभर में प्रसिद्धि उनके आपेक्षिकता के सिद्धांत के लिए कहीं ज्यादा रही। सन् 1933 तक वे बर्लिन में रहे इसके उपरान्त वे जर्मन नागरिकता कतिपय राजनैतिक कारणों से त्यागते हुए प्रवासी के रूप में संयुक्त राष्ट्र अमेरिका चले आए। यहाँ वे प्रिंसटन में सैद्धान्तिक भौतिकी में प्रोफेसर के पद पर नियुक्त हुए।

वे 1940 में अमेरिकी नागरिक बने। सन् 1945 में वे प्रोफेसर के पद से सेवा निवृत्त हुए। 1945-1955 के दरम्यान तथा जीवन के उत्तरार्ध में पूरा समय आपेक्षिकता के सामान्य सिद्धान्त तथा प्रमुख बुनियादी बलों का एकीकरण जैसे कार्यों पर लगाया। आइन्सटाइन ने विज्ञानयुक्त मानवीयता को विकसित और प्रोत्साहित किया। उन्होंने अमेरिकी राष्ट्रपति रूसवेल्ट को नाभिकीय बम का मानवीय विनाश में किए जाने के विरुद्ध अपना विरोध-पत्र भेजा था। उन्हें इस पृथ्वी ग्रह पर कदम रखने वाला सबसे महान वैज्ञानिक माना जाता रहा और इसी लिए उन्हें इस शताब्दी का वैज्ञानिक घोषित किया गया।

आइए, देखें कि प्रेक्षित परिणामों की व्याख्या इस सिद्धांत के आधार पर कैसे की जा सकती है। अगर हम यह मान लें कि

$$\phi_0 = h\nu_0.$$

तो समीकरण (25.3) को हम इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$K_{max} = \frac{1}{2}mv^2 = h(\nu - \nu_o) \qquad (25.4)$$

इस समीकरण, जिसे आइन्सटाइन का प्रकाश-विद्युत समीकरण कहते हैं, निम्नलिखित निहितार्थ निकलते हैं:

- यदि ν_{max} धनात्मक होगा तो $\nu < \nu_o$ के लिए इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन नहीं होगा। तात्पर्य यह है कि आपतित प्रकाश की आवृत्ति देहली-आवृत्ति से अधिक होनी चाहिए।
- K_{max} $(\nu - \nu_o)$ के समानुपाती होता है।
- धातु सतह पर ν आवृत्ति का जो प्रकाश आपतित हो रहा है उसकी तीव्रता (इन्टेन्सीटी) में वृद्धि करते हैं तो साथ-साथ इलेक्ट्रॉन की संख्या (फोटॉन) में भी बढ़ोत्तरी होती है। प्रत्येक फोटॉन में समान ऊर्जा रहती है और उनकी ऊर्जा में किसी प्रकार की अभिवृद्धि नहीं होती। उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की संख्या बढ़ने से प्रकाश विद्युतधारा में भी वृद्धि होती है। प्रकाश की तीव्रता इस प्रकार इन दोनों में वृद्धि के कारक सिद्ध होते हैं।
- चूंकि प्रकाश-विद्युत प्रभाव फोटॉन एवं इलेक्ट्रॉन के आपस में टकराने से उत्पन्न होता है इसलिए फोटॉन से ऊर्जा का स्थानान्तरण तत्क्षणिक (इन्सटेन्टीनियस) होता है। इसमें किसी प्रकार की समय पश्चता (टाइम लेग) नहीं होती।
- चूंकि कार्यफलन पदार्थ का विशेष गुण है अत: ν_0 आवृत्ति का जो प्रकाश आपतित होता है उसकी तीव्रता से इसका कोई संबंध नहीं रहता।

इस प्रकार हम देखते हैं कि आइन्सटाइन के प्रकाश-विद्युत प्रभाव का सिद्धान्त फोटॉन की भौतिक उत्पत्ति की सफलतापूर्वक व्याख्या कर सकता है।

उपरोक्त सैद्धान्तिक अवधारणाओं को अच्छी तरह से समझने के लिए निम्नलिखित उदाहरण को सावधानीपूर्वक हल करें:

उदाहरण 25.1: सोडियम का कार्यफलन 2.3 eV है। परिकलन कीजिए (i) इसकी देहली आवृत्ति (ii) 5×10^{-7}m तरंगदैर्ध्य वाले प्रकाश द्वारा दीप्त सोडियम द्वारा उत्पन्न फोटो इलेक्ट्रॉन का अधिकतम वेग (iii) इसी तरंगदैर्ध्य के प्रकाश का निरोधी-विभव। दिया हुआ है–$h = 6.6 \times 10^{-34}$ J s, $c = 3 \times 10^8$ m s^{-1}, 1eV = 1.6×10^{-19} J, इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg.

हल: (i) देहली आवृत्ति प्राप्त करने के लिए सूत्र है $h\nu_0 = \phi_0$. यहाँ $h = 6.6 \times 10^{-34}$ Js और $\phi_0 = 2.3$ eV $= 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J.

$$\therefore \qquad \nu_0 = \frac{\phi_0}{h}$$

$$= \frac{2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}}{6.6 \times 10^{-34}\ \text{J s}} = 5.6 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

(ii) आइन्सटाइन के प्रकाश-विद्युत समीकरण से हम जानते हैं कि

$$h\nu = \phi_0 + K_{max} = \phi_0 + \frac{1}{2} m v_{max}^2 ,$$

चूंकि $\nu = \frac{c}{\lambda}$, इसे हम इस प्रकार से लिख सकते हैं–

$$E = h \times \frac{c}{\lambda} = \phi_0 + \frac{1}{2} (m v_{max}^2)$$

जहाँ c प्रकाश का वेग और λ इसका तरंगदैर्ध्य है। दिए गए मानों को समीकरण में भरने पर

$$\therefore \quad E = \frac{(6.6 \times 10^{-34}\,Js)(3 \times 10^8\,ms^{-1})}{5 \times 10^{-7}\,m}$$

$$= 3.96 \times 10^{-19}\ J$$

$$\Rightarrow \quad 3.96 \times 10^{-19} = 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19} + \frac{1}{2} m\, v_{max}^2$$

$$= 3.68 \times 10^{-19} + \frac{1}{2} m\, v_{max}^2$$

$$\therefore \quad v_{max}^2 = \frac{2 \times 0.28 \times 10^{-19}}{m} = \frac{2 \times 0.28 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}}$$

$$\therefore \quad v_{max} = \sqrt{\frac{0.56 \times 10^{-19}\,J}{9.1 \times 10^{-31}\,kg}} = 2.5 \times 10^5\ m\ s^{-1}$$

(iii) निरोधी-विभव का सूत्र है–

$$eV_0 = \frac{1}{2} m v_{max}^2$$

$$\therefore \quad V_0 = \frac{0.28 \times 10^{-19}\,J}{1.6 \times 10^{-19}\,JV^{-1}} = 0.18\ V$$

अब आप कुछ सरल प्रश्नों का उत्तर देना चाहेंगे।

पाठगत प्रश्न 25.2

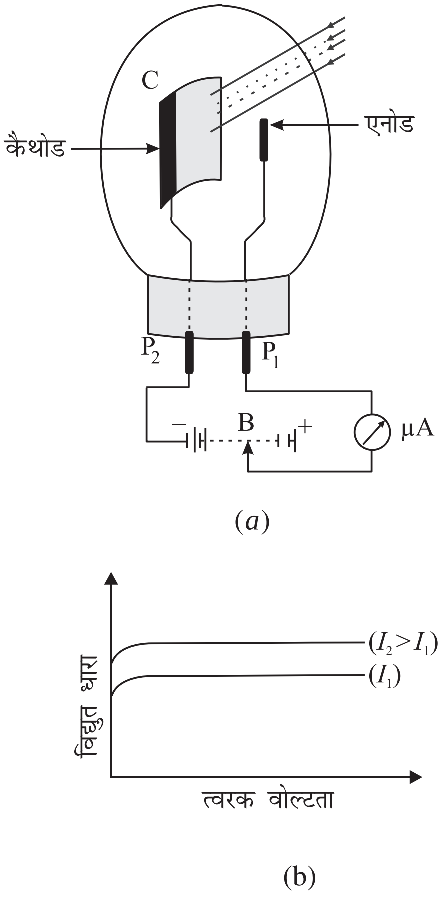
1. ν आवृत्ति वाले फोटॉन के संवेग का परिकलन कीजिए।

2. यदि किसी विद्युत-चुम्बकीय विकिरण का तरंगदैर्ध्य को दुगना कर दिया जाए तो फोटॉनों की ऊर्जा में किस प्रकार परिवर्तन होगा?

3. आपतित विकिरण की तीव्रता को दुगना कर दिया जाता है। उत्सर्जित फोटॉन की गतिज ऊर्जा पर किस प्रकार प्रभाव पड़ेगा?

25.3 प्रकाश-विद्युत नलिका

आपने अब तक विस्तार से प्रकाश-विद्युत प्रभाव को पढ़ लिया है। हम जानते हैं कि जब v_0 से अधिक आवृत्ति वाला प्रकाश किसी पदार्थ की सतह पर आपतित होता है तब इलेक्ट्रॉन का उत्सर्जन होता है। इनकी गतिज ऊर्जा भिन्न-भिन्न होती है। हम यह भी जानते हैं कि इलेक्ट्रॉन के प्रवाह से ही विद्युत धारा उत्पन्न होती है। प्रकाश विद्युत नलिका भी प्रकाश-विद्युत प्रभाव पर आधारित है।



चित्र 24.5: विद्युतधारा तथा त्वरक वोल्टता के बीच संबंध का ग्राफ

प्रकाश-विद्युत नलिका में एक निर्वातित कांच का पात्र होता है जिसमें एक अर्ध-बेलनाकार कैथोड तथा सीधे तार के रूप में एक एनोड होता है। कैथोड पर ऐसे धातु का लेपन होता है जिसका कार्य फलन बहुत कम होता है। इससे यह सुनिश्चित हो जाता है कि पूर्व-निर्धारित आवृत्ति वाले प्रकाश को आपतित करने पर फोटो-इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन होगा। वह देहली आवृत्ति जिसके ऊपर प्रकाश-विद्युत नलिका कार्य करती है, इस लेप के चयन को निर्धारित करती है।

ऐनोड सामान्यत: निकल धातु या प्लेटिनम का बना होता है। विद्युत कनेक्शन P_1 और P_2 इस काँच के पात्र के पृष्ठ पर बाहर तक आते हैं। कैथोड एवं एनोड के बीच एक बैटरी तथा धारामापी को जोड़ दिया जाता है ताकि त्वरण के लिए वोल्टता दी जा सके। बैटरी पर तीर का निशान इस तथ्य को प्रकट करता है कि इसके द्वारा अनुप्रयुक्त वोल्टता को बदला जा सकता है। विद्युत परिपथ में लगा माइक्रोएमीटर प्रवाहित होने वाली विद्युत धारा को नाप सकता हैं [चित्र 25.5 (a)]।

प्रकाश-विद्युत नलिका की कार्य प्रणाली को समझने के लिए मान लीजिए कि देहली-आवृत्ति से उच्च आवृत्ति का प्रकाश कैथोड पर आपतित होता है। कैथोड और एनोड के बीच त्वरित विभव शून्य होने के बावजूद भी कुछ फोटो इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होंगे। जैसा कि आप जान चुके हैं कि ये इलेक्ट्रॉन कैथोड से एक निश्चित गतिज ऊर्जा से उत्सर्जित होकर एनोड तक पहुँचते हैं। इससे एक विद्युत धारा उत्पन्न होती है जिसे माइक्रो एमिटर इंगित करता है। आइए अब हम कुछ त्वरक वोल्टता का प्रयोग करें और देखें कि क्या होता है। स्पष्ट है कि कुछ अधिक इलेक्ट्रॉन एनोड तक पहुंचेंगे और इससे विद्युत धारा का परिणाम बढ़ेगा। इसे चित्र 25.5 (b) में दर्शाया गया है।

जैसे-जैसे हम कैथोड और एनोड के बीच वोल्टता बढ़ाते जाते हैं, प्रकाश-विद्युत नलिका में विद्युत धारा भी बढ़ती जाएगी। परन्तु उच्च वोल्टता पर यह विद्युत धारा एक स्थिर मान पर संतृप्त हो जाती है। इसे चित्र 25.5(b) में दर्शाया गया है। संतृप्त धारा आपतित प्रकाश की तीव्रता (I) द्वारा निर्धारित होती है। संतृप्त धारा का परिमाण नैनो-एम्पियर ($\sim 10^{-9}$ A) की कोटि का होता है। यह प्रेक्षित किया गया है कि यदि प्रकाश की तीव्रता बढ़ा दी जाए तो संतृप्त धारा भी बढ़ जाती है। इसे चित्र 25.5 (b) में दर्शाया गया है।

25.3.1 अनुप्रयोग

प्रकाश-विद्युत नलिका उन सभी प्रकार की प्रक्रियाओं में अत्यन्त उपयोगी सिद्ध हुई है जहाँ प्रकाश-ऊर्जा को तुल्यात्मक विद्युत धारा में रूपान्तरित करना पड़ता है।

(i) चल चित्रों में ध्वनि का पुनरोत्पादन (रिप्रोडक्शन) प्रकाश-विद्युत सेलों का सबसे महत्वपूर्ण उपयोग फिल्मों से ध्वनि का पुनरोत्पादन करना है। ध्वनि-पट्टी एक समान चौड़ाई की फिल्म होती है जिसकी तीव्रता श्रव्य आवृत्ति के अनुसार बदलती रहती है। प्रकाश को इस फिल्म से गुजारने के पश्चात् प्रकाश-विद्युत सेल के कैथोड पर गिराया जाता है। प्रकाश-विद्युत सेल के परिपथ में उत्पन्न विद्युतधारा श्रव्य आवृत्ति के अनुपात में होती है तथा धारा में परिवर्तन भी श्रव्य आवृत्ति में हुए परिवर्तनों के अनुसार होते हैं। इस उत्पन्न हुई वोल्टता को तब एक प्रतिरोध से होकर गुजारा जाता है। प्रतिरोध के दोनों सिरों के बीच उत्पन्न वोल्टता को उपयुक्त ढंग से प्रवर्धित किया जाता है और इसे फिर एक लाउड-स्पीकर में भेज दिया जाता है। लाउड-स्पीकर उसी प्रकार की ध्वनि का पुनरोत्पादन करता है जिसे फिल्म की ध्वनि पट्टी पर रिकार्ड किया गया था। आप इसके बारे में और विस्तार से जान पाएंगे जब फोटोग्राफी और ऑडियो वीडियो-रिकार्डिंग के वैकल्पिक माड्यूल पर चर्चा होगी।

(ii) लम्बी दूरी तक चित्रों का संप्रेषण: प्रकाश-विद्युत नलिकाओं का उन प्रणालियों में भी उपयोग किया जाता है जो चित्रों को लम्बी दूरी तक संप्रेषित कर सके। लम्बी दूरियों तक चित्रों को संप्रेषित करने की तकनीक को प्रकाश-टेलीग्राफी कहते हैं।

(iii) अन्य उपयोग: वस्तुओं अथवा सजीव प्राणियों की गणना करने के लिए प्रयुक्त कई प्रकार की प्रणालियाँ प्रकाश-विद्युत नलिका पर ही आधारित होती हैं। इनका उपयोग चोर-घंटियों, अग्नि-सूचक घंटियों, ट्रैफ्रिक नियम का उल्लंघन करने वालों की पहचान के लिए प्रयुक्त संसूचकों, टेलीविजन कैमरों में, स्केनिंग और प्रसारण तथा उद्योगों में धातु की शीटों में विद्यमान सूक्ष्म त्रुटियों अथवा छिद्रों का पता लगाने के लिए भी होता है।

पाठगत प्रश्न 25.3

1. बताइये कि निम्न कथन सत्य है या असत्य?

   (अ) प्रकाश-इलेक्ट्रॉन नलिका में कैथोड को एनोड के सापेक्ष धनात्मक रूप से बायसित किया जाता है।

टिप्पणियाँ

(ब) प्रकाश-इलेक्ट्रॉन में संतृप्त धारा आपतित विकिरण की आवृत्ति पर निर्भर करती है।

(स) प्रकाश-इलेक्ट्रॉन डायोड में संतृप्त धारा आपतित प्रकाश की तीव्रता के साथ बढ़ती है।

2. प्रकाश-इलेक्ट्रॉन नलिका के तीन अनुप्रयोगों को बताइये।

3. फोटो-ट्यूब को एक छोटे प्रकाश स्रोत, जो उससे 100 cm दूरी पर रखा है, प्रदीप्त किया जाता है। यदि स्रोत को 50 cm पर रख दिया जाए तो फोटो-ट्यूब के अन्दर कैथोड से उत्सर्जित होने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या पर क्या प्रभाव पड़ेगा।

इस पाठ के पिछले खण्ड में आपने आइन्सटाइन के प्रकाश-विद्युत प्रभाव के बारे में पढ़ा तथा यह भी पढ़ा कि प्रकाश फोटॉनों से बना होता है आपने यह भी पढ़ा कि व्यतिकरण और विवर्तन (डिफ्रेक्शन) की परिघटनाओं को प्रकाश के तरंग सिद्धान्त के आधार पर समझाया जा सकता है। प्रकाश की द्वैती प्रकृति को 20वीं सदी के प्रारंभ में भौतिकीविदों ने स्वीकृति प्रदान की। प्रकाश की द्वैती प्रकृति पर विचार करते हुए डी-ब्राग्ली ने स्वयं से प्रश्न किया: यदि प्रकाश द्वैती प्रकृति का प्रदर्शन करता है तो क्या पदार्थ कण भी तरंगों जैसा व्यवहार करेंगे? इस प्रश्न के सही समाधान ने ही डि-ब्रॉग्ली की परिकल्पना को जन्म दिया।

25.4 डि-ब्रॉग्ली की परिकल्पना

एक युवा स्नातक विद्यार्थी के रूप में डि ब्रॉग्ली ने गहन अंतर्दृष्टि के साथ तर्क रखा कि जब प्रकृति में सममितता होती है, प्रकृति अपने सभी भौतिक परिघटनाओं में सादगी और समरूपता को पसन्द करती है तब साधारण कण जिसे हम इलेक्ट्रॉन और प्रोटॉन कहते हैं, वे भी तरंग की विशेषताओं को किसी खास परिस्थिति में प्रदर्शित करेंगे। डि-ब्रॉग्ली का तर्क कुछ इस प्रकार था-प्रकाश एक विद्युत-चुम्बकीय विकिरण है और वह कण-तरंग द्वैतवाद को दर्शाता है। इसलिए आइन्सटीन का द्रव्य-ऊर्जा समतुल्यता का संबंध ($E = mc^2$) जो प्रकाश को फोटॉन के क्वान्टम के रूप में मानता है तभी मान्य होगा यदि पदार्थ भी तरंगवत व्यवहार करे। डि-ब्रॉग्ली ने प्रस्ताव रखा कि किसी कण-द्रव्य का तरंगदैर्ध्य एवं आवृत्ति का निर्धारण उनके संवेग (मोमेन्टम) तथा कण की ऊर्जा द्वारा किया जाना चाहिये ठीक उसी तरह जिस तरह फोटॉन का किया जाता है: ($E = pc$) और p संवेग वाले किसी कण के साथ संबद्ध तरंगदैर्ध्य λ को हम इस प्रकार लिख सकते हैं :

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad (25.5)$$

चूंकि ऐसे कण का संवेग $p = mv$ सूत्र द्वारा दिया जाता है, हम लिख सकते हैं

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad (25.6)$$

λ को डि–ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य कहते हैं। समीकरण (25.5) तरंग–कण द्वैती की पूर्णरूप से व्याख्या करता है। इसका निहितार्थ यह है कि एक कण जिसका संवेग p है, वह तरंग–जैसे गुणधर्म दर्शा सकता है और उसके साथ संबद्ध पदार्थ तरंगों का तरंगदैर्ध्य $\lambda = (h/p)$ है। इसका विलोम भी सत्य है अर्थात् λ तरंगदैर्ध्य वाली कोई तरंग कण जैसे गुण दर्शा सकती है और तरंग–पदार्थ का संवेग h/λ है।

डि–ब्रॉग्ली की पी.एच.डी थीसिस में यही परिकल्पना थी जिसे परीक्षकों द्वारा पहले अस्वीकृत कर दिया गया था। शीघ्र ही प्रायोगिक साक्ष्य द्वारा डी–ब्रॉग्ली की परिकल्पना सत्य सिद्ध हुई। इससे हम सबको एक प्रेरणात्मक सीख लेनी चाहिए: हमें प्रत्येक कथन का गंभीरता के साथ विश्लेषण करना चाहिए तथा उसके प्रयोगात्मक साक्ष्य को खोजना चाहिए।

किसी भी स्थूल वस्तु का वास्तविक तरंगदैर्ध्य अत्यल्प होता है। आप चाहें तो क्रिकेट की गेंद के लिए इसकी गणना करके देख सकते हैं। परन्तु मूल कणों जैसे कि इलेक्ट्रॉन के लिए एकदम भिन्न स्थिति है। जब इसे विभावांतर V से त्वरित किया जाता है तो इसकी ऊर्जा E होती है। अत: हम लिख सकते हैं–

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV \qquad (25.7)$$

या

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

ताकि

$$mv = p = \sqrt{2qmV} \qquad (25.8)$$

इस परिमाण को समीकरण (25.5) के साथ मिलाने पर डी.ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य को हम इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2qmV}} \qquad (25.9)$$

समीकरण (25.9) में आने वाले स्थिरांकों के मान है : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ Js, $q = 1.602 \times 10^{-19}$ C और $m = 9.11 \times 10^{-31}$kg। इन मानों को समीकरण (25.9) में रखने पर हम पाते हैं कि

$$\lambda = \frac{6.625\times10^{-34}\text{Js}}{\sqrt{2\times(1.602\times10^{-19}\text{C})\times(9.11\times10^{-31}\text{kg})}\times\sqrt{V}}$$

$$= \frac{12.3}{\sqrt{V}}\times10^{-10}\text{ m}$$

$$= \frac{12.3}{\sqrt{V}}\text{ Å} \qquad (25.10)$$

इससे यह परिणाम निकलता है कि यदि एक इलेक्ट्रॉन को 100V के विभवांतर से त्वरित किया जाए तो इसका तरंदैर्ध्य होगा

$$\lambda = \frac{12.3}{\sqrt{100}} \text{Å} = 1.23 \text{Å}$$

100V ऊर्जा वाले इलेक्ट्रॉन के तरंगदैर्ध्यई का भी यही मान है। निम्नलिखित समीकरण के प्रयोग द्वारा इसका आप आसानी से सत्यापन कर सकते हैं

$$\lambda = \frac{h}{(2meE)^{½}}$$

100eV ऊर्जा के इलेक्ट्रॉनों के साथ संबंध द्रव्य तरंगों का तरंगदैर्ध्य एक्स-किरण परिसर में होता है और यह किसी ठोस के अंतरापरमाणुक पृथक्करण की कोटि का होता है। इसलिए हम उम्मीद कर सकते हैं कि क्रिस्टल जालक द्वारा उनमें विवर्तन (डिफ्रेक्शन) उत्पन्न हो सकता है।

पदार्थ तरंगों का सबसे प्रथम प्रायोगिक साक्ष्य डेविसन और जर्मर के कार्यों द्वारा प्राप्त हुआ। ये दोनों क्रिस्टल द्वारा इलेक्ट्रॉनों के प्रकीर्णन का अध्ययन कर रहे थे। आइए अब इसके बारे में जानें।

लुई विक्टर डि ब्रॉग्ली
(1892-1987)

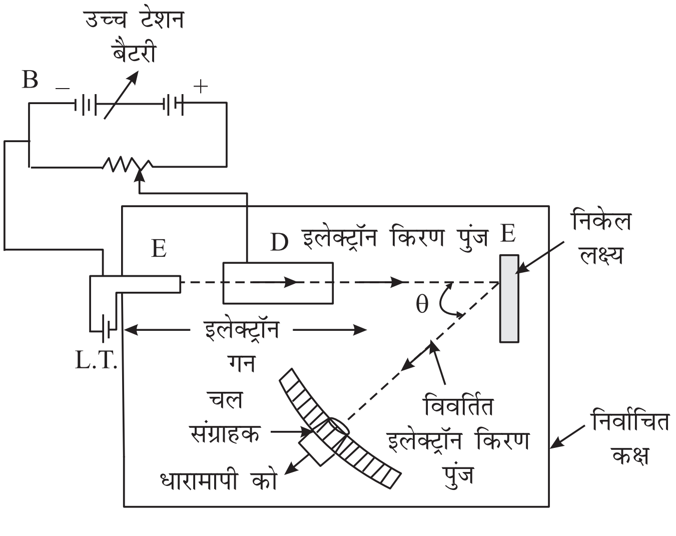
लुई डि ब्रॉग्ली का जन्म 15 अगस्त 1992 को फ्रांस के दीपे (Diepe) नामक स्थान में हुआ था। इन्होंने पहले कला विषयों का अध्ययन किया और 1910 में इतिहास में डिग्री ली। चूंकि उनकी अभिरूचि एवं रूझान विज्ञान के प्रति थी उन्होंने विज्ञान की डिग्री के लिए अध्ययन किया। यह डिग्री उन्हें 1913 में प्राप्त हुई। सन् 1924 में इन्होंने पेरिस विश्वविद्यालय के विज्ञान संकाय में अपना शोध-प्रबंध जमा किया जिस पर उन्हें डाक्टरेट की उपाधि प्राप्त हुई। शोध-प्रबंध का शीर्षक था–''क्वान्टम सिद्धान्त पर शोध''। इस शोध-प्रबंध में कई महत्वपूर्ण परिणाम दिए गए थे जिन्हें उन्होंने लगभग दो वर्ष की अवधि में प्राप्त किए थे। जिन अवधारणाओं को शोध-प्रबंध में सम्मिलित किया गया था वे ही आगे चलकर **तरंग-यांत्रिकी** के विकास में सहायक हुईं। यह सिद्धान्त परमाणु स्तर की भौतिक परिघटनाओं संबंधी हमारी समझ में क्रांतिकारी परिवर्तन लाया।

डि-ब्रॉग्ली को 1929 में इलेक्ट्रॉनों की तरंग-प्रकृति की उनकी खोज के लिए नोबेल पुरस्कर दिया गया।

25.4.1 डि-ब्रॉग्ली तरंगों के अस्तित्व का प्रायोगिक सत्यापन

चित्र 25.6 में डेविसन और जर्मर द्वारा बनाई गई प्रायोगिक व्यवस्था को दर्शाया गया है। इस व्यवस्था में एक तन्तु (F) होता है जो इलेक्ट्रॉन-स्रोत का कार्य करता है। इससे उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों को धात्विक डायाफ्रामों के एक समुच्चय से होकर गुजारा जाता है। इस डायफ्राम

में कई झिरियाँ होती हैं। फिलामेन्ट E से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन विभिन्न दिशाओं में बाहर निकलते हैं। धात्विक डायाफ्राम इन इलेक्ट्रॉनों को समान्तर करने का कार्य करते हैं। केवल वे ही इलेक्ट्रॉन जो डायाफ्राम में बनी झिरियों से होकर गुजर सकते हैं, बाहर निकल सकते हैं। ध्यान दीजिए कि इलेक्ट्रॉनों के समान्तर पुंज की ऊर्जा को त्वरक वोल्टता के परिमाण को नियंत्रित करके परिवर्तित किया जा सकता है। इस व्यवस्था में संसूचक *DT* भी होता है जिसे निकेल क्रिस्टल के अभिलंब के सापेक्ष किसी भी कोण पर रखा जा सकता है। यह संसूचक परावर्तित किरण पुंज की तीव्रता को माप सकता है। ध्यान दीजिए कि निकेल के चयन में कोई विशेष बात नहीं है।



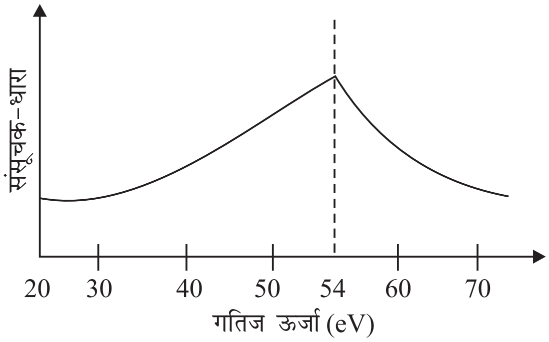
चित्र 25.6: द्रव्य-तरंगों के अस्तित्व के सत्यापन हेतु प्रायोगिक व्यवस्था।

चित्र 25.7 में संसूचक धारा और आपतित इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा के बीच ग्राफ को $\theta = 50^{\circ}$ के लिए ऊर्जा दर्शाया गया है। ग्राफ से आप देख सकते हैं कि संसूचक धारा 50 eV गतिज ऊर्जा वाले इलेक्ट्रॉनों के लिए उच्चिष्ठ का प्रदर्शन करता है। यदि आप समीकरण 25.9 के आधार पर इन इलेक्ट्रॉनों के तरंगदैर्ध्य का परिकलन करें तो आपको निम्न परिणाम प्राप्त होगा।

$$\lambda = \frac{6.62\times10^{-34}\,\text{Js}}{[2\times(9.1\times10^{-31}\,\text{kg})\times54\times1.6\times10^{-19}\,\text{J}]^{1/2}}$$

$$= 1.67\ \text{Å}$$

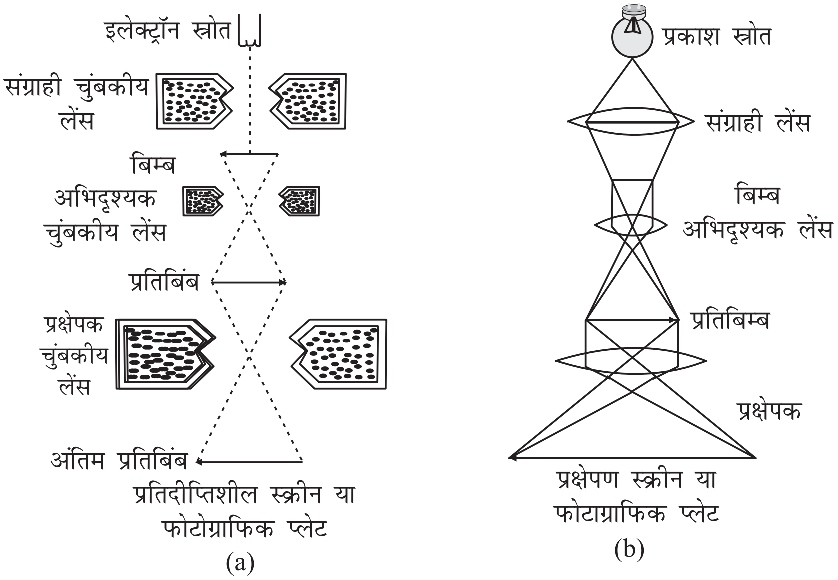
ब्रैग विवर्तन समीकरण $2d\sin\theta = n\lambda$ के आधार पर भी हमें यही मान प्राप्त होता है। अत: डेविसन एवं जर्मर का प्रयोग डी ब्रॉग्ली तरंगों के अस्तित्व का स्पष्ट प्रमाण है।



चित्र 25.7: संसूचक धारा और इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा के बीच ग्राफ

25.4.2 डि-ब्रॉग्ली तरंगों के अनुप्रयोग

हम जाने चुके हैं कि सूक्ष्मतम परिमाण के तरंगदैर्ध्य को इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा को बढ़ाकर प्राप्त किया जा सकता है। 23वें पाठ के अन्तर्गत आपने पढ़ा था कि प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता प्रकाश के तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करती है। वस्तुत: तरंगदैर्ध्य को कम करने से सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता बढ़ती है। क्या आप अनुमान लगा सकते हैं कि यदि फोटॉनों के स्थान पर अति ऊर्जायुक्त इलेक्ट्रॉन पुंज का प्रयोग किया जाए तो क्या होगा? स्पष्ट है कि इलेक्ट्रॉनों के साथ संबद्ध डि-ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य को कम कर देने से आपको सूक्ष्मदर्शी से अति उच्च विभेदन और आवर्धन प्राप्त होगा। इस तकनीक का प्रयोग इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी में किया जाता है। डि-ब्रॉग्ली तरंगों का यह सबसे उत्तम अनुप्रयोग है। चित्र 25.8 में इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी तथा प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शियों की संरचनाओं एवं कार्य-प्रणाली को तुलनात्मक रूप से प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 25.8 : (a) इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी (b) प्रकाशीय सूक्ष्मदर्शी

डेविसन और जर्मर के प्रयोग की कहानी

जर्मर ने अपने नोटबुक में यह अंकित किया था कि उसने निर्वात ट्रेप में (जो कि इलेक्ट्रॉनों को प्रकीर्णित करने का उपकरण है) कुछ दरारों को (क्रेक्स) ढूंढ लिया है (ता. 5 फरवरी 1925) जर्मर तब क्लिंटन डेविसन के साथ न्यूयार्क (यू. एस.ए.) के वेस्टर्न इलेक्ट्रिक संस्था में काम करते थे। वैसे यह कोई पहली बार नहीं था जब उनका उपकरण टूटा हो, और न ही यह पहली बार था जब अपने बेशकीमती निकेल क्रिस्टल को उन्होंने दोबारा उपयोग में लाने योग्य बनाया हो।

उनके प्रयोग में इस प्रकार की टूट-फूट और फिर उनका ठीक-ठाक मरम्मत करना, यह सिलसिला कई बार चलता रहा। परन्तु टूटने की और मरम्मत करने की परिणति के रूप में इस क्रिया का महत्त्वपूर्ण योगदान इलेक्ट्रॉन के विवर्तन की खोज से हुआ। प्रयोग का जो उपकरण 5 फरवरी 1925 में क्षतिग्रस्त हुआ था उसकी मरम्मत अप्रैल 1925 में पूरी हुई और उस ट्यूब को पुनः प्रयोग में लाया जा सका। आने वाले सप्ताहों में जब प्रयोग पुनः शुरू किए गए तो उन्हें वैसे ही परिणाम मिले जो 4 वर्ष पूर्व मिले थे। तब अचानक मई 1925 के मध्य में अप्रत्याशित परिणाम आने शुरू हुए। इससे परेशान डेविसन एवं जर्मर ने प्रयोग को कुछ दिनो के लिए स्थगित कर दिया। उन्होंने ट्यूब को काट-छांटकर उस निकेल लक्ष्य की जांच की जिसपर प्रकीर्णित इलेक्ट्रॉन लम्बवत् टकराते थे। जांच इसलिए भी जरूरी थी ताकि जो अप्रत्याशित परिणाम मिल रहे थे उनके कारण का कोई सुराग ढूंढ़ा जा सके। उन्होंने निकल क्रिस्टल की जांच की तो यह पाया-बहुफलक वाले ''क्रिस्टल निकेल'' की रूपरेखा (मोरफोलोजी) में बदलाव आ गया है। शायद बहुत ज्यादा गरम तापक्रम पर दस फलक (टेन फेसेट्स) वाला क्रिस्टल बन गया था। डेविसन और जेमर ने सोचा कि जो अप्रत्याशित परिणाम आ रहे थे उसका कारण संभवतः टारगेट निकल क्रिस्टल के बाह्य रूपरेखा में बदलाव के कारण प्रकीर्णित इलेक्ट्रॉन का पैटर्न भी बदलने से होगा। दूसरे शब्दों में उन्होंने यह निष्कर्ष निकाला कि क्रिस्टल के अन्दर परमाणुओं का विन्यास (अरेन्जमेन्ट) बदला होगा ना कि परमाणु संरचना जिसके कारण प्रकीर्णन का पैटर्न बदल गया।

1926 के ग्रीष्मकाल में डेविसन अपनी पत्नी के साथ अपने रिश्तेदारों से मेल-मुलाकात करने इंग्लैंड गए थे। इस यात्रा में कुछ यादगार घटना होनी थी। उन दिनों सैद्धान्तिक भौतिकी में मूलभूत परिवर्तन हो रहे थे। इन सभी पेपरों पर बड़ी ही जीवन्त बहस एवं परिचर्चा ब्रिटिश एसोसिएशन फार एडवान्समेन्ट आफ साइन्स द्वारा आक्सफोर्ड में की जा रही थी। डेविसन जो अपने शोधकार्य के क्षेत्र में होनेवाले समकालीन विकास से तो अपने को अवगत रखते थे परन्तु क्वांटम यांत्रिकी के क्षेत्र में जानकारियों से अनभिज्ञ थे। उनके आश्चर्य की सीमा नहीं रही जब इस मीटिंग में डेविसन की उपस्थिति में बॉन नामक वैज्ञानिक ने पेपर पढ़ा जिसमें डेविसन (1923) और कसमान (प्लेटिनम टारगेट) ग्राफ को डि-ब्रॉग्ली के द्रव्य-तरंग के अस्तित्व को सिद्ध करने के लिए ठोस सबूत के रूप में उद्घृत किया गया।

डेविसन 1937 के नोबल पुरस्कार में जी.पी. थॉमसन (जे. जे.थॉमसन के पुत्र) के साथ सहभागी थे।

उदाहरण 25.2: एक इलेक्ट्रॉन को 182V विभवान्तर से त्वरित किया गया। उसके सहचरी तरंगदैर्ध्य का परिकलन कीजिए।

हल: हम जानते हैं कि डि-ब्रॉग्ली द्रव्य तरंगदैर्ध्य $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{12.3}{\sqrt{V}}$ Å. यहाँ $V = 182$V.

$$\lambda = \frac{12.3}{\sqrt{182}} \text{Å} = \frac{12.3}{13.5} = 0.91\text{Å}$$

उदाहरण 25.3: 10^{15}Hz आवृत्ति का प्रकाश एक जिंक प्लेट पर आपतित होता है। उत्सर्जित होने वाले फोटो इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम गतिज ऊर्जा का परिकलन कीजिए। जिंक का कार्य फलन 3.4 eV है।

हल: आइन्सटाइन के संबंध का प्रयोग करने पर

$$h\nu = \phi_0 + K_{max}$$

इस प्रश्न में $h = 6.625 \times 10^{-34}$ Js, $\nu = 10^{15}$ Hz, $E = h\nu = 6.625 \times 10^{-34} \times 10^{15}$ $= 6.625 \times 10^{-19}$ J और $\phi_0 = 3.4$ eV $= 3.4 \times 1.602 \times 10^{19}$J $= 5.4468 \times 10^{-19}$ J

$$\therefore \quad K_{max} = E - \phi_0$$

$$= (6.625 - 5.447) \times 10^{-19}\text{J}$$

$$= 1.178 \times 10^{-19}\text{ J}$$

पाठगत प्रश्न 25.4

1. स्पष्ट कीजिए कि निम्नलिखित कथन सत्य है या असत्य:

   (अ) डि-ब्रॉग्ली के अनुसार स्थिर कणें द्वारा तरंग सदृश गुण दर्शाए जाते हैं।

   (ब) द्रव्य तरंगे वही हैं जिन्हें हम डि-ब्रॉग्ली तरंग कहते हैं।

   (c) इलेक्ट्रॉनों के साथ संबद्ध डि-ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य को कम करने पर, ऊर्जायुक्त इलेक्ट्रॉनों का प्रयोग करने वाली सूक्ष्मदर्शी से अत्यल्प विभेदन प्राप्त होता है।

2. टेबिल पर 50 g वजन की एक गेंद लुढ़क रही है जिसकी चाल 20 cm s^{-1} प्रति सेकंड है। इसका सहचारी तरंगदैर्ध्य कितना होगा? दिया गया है $h = 6.625 \times 10^{-34}$ Js.

3. क्रिकेट बॉल के साथ संबद्ध डि-ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य का हम क्यों प्रेक्षण नहीं कर सकते?

आपने क्या सीखा

- उचित आवृत्ति के प्रकाश के किसी धातु की सतह पर गिरने पर उससे उत्सर्जित होने वाले इलेक्ट्रॉनों को प्रकाश इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन कहते हैं।
- प्रकाश इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन में इलेक्ट्रॉन प्रकाश से ऊर्जा ग्रहण करते हैं।
- निरोधी-विभव आपतित प्रकाश की आवृत्ति में वृद्धि होने के साथ बढ़ता है।

टिप्पणियाँ

- हर पदार्थ की एक आवृत्ति v_0 होती है, जिसके नीचे कोई प्रकाश-विद्युत प्रभाव घटित नहीं होता है।
- प्रकाश इलेक्ट्रॉनों का अधिकतम वेग आपतित प्रकाश की आवृत्ति में वृद्धि के साथ बढ़ता है परन्तु यह आपतित प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर नहीं करता।
- सतह से उत्सर्जित होने वाले प्रकाश इलेक्ट्रॉनों की संख्या आपतित प्रकाश की तीव्रता के समानुपाती होती है।
- आइन्सटाइन ने यह परिकल्पना की कि प्रत्येक फोटॉन की नैसर्गिक ऊर्जा hv के बराबर होती है जिसमें h प्लैंक का नियतांक और v आवृत्ति है।
- प्रकाश इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक प्रकार की प्रकाश नलिका, प्रकाश-विद्युत प्रभाव पर निर्भर करती है।
- प्रकाश नलिका की संतृप्त धारा आपतित प्रकाश की बढ़ती तीव्रता के साथ बढ़ती है।
- गतिमान कणों के साथ-साथ उनकी सहचरी तरंगे होती हैं। तरंगदैर्ध्य का मान h/p द्वारा व्यक्त होता है जहाँ p संवेग (मोमेन्टम) है।

पाठान्त प्रश्न

1. प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन में, आपतित फोटॉनों का क्या होता है?
2. फोटॉन कण और द्रव्य कण में क्या अंतर है?
3. दैनिक जीवन में द्रव्य की तरंग प्रकृति का आभास क्यों नहीं होता?
4. आपतित प्रकाश की तरंग-दैर्ध्य में वृद्धि करने पर प्रकाश-इलेक्ट्रॉन के वेग पर क्या प्रभाव पड़ता है?
5. किसी धातु की देहली-आवृत्ति 5×10^{14} Hz है। क्या 6000Å तरंदैर्ध्य का कोई फोटॉन ऊर्जायुक्त प्रकाश-इलेक्ट्रॉन को उत्सर्जित कर सकता है?
6. क्या किसी धातु की देहली-आवृत्ति उस पर आपतित विकिरणों पर निर्भर करती है?
7. प्रकाश-विद्युत सेल के विभिन्न उपयोग क्या हैं?
8. डेविसन और जर्मर के प्रयोग का उद्देश्य क्या था? यह प्रयोग किस सिद्धान्त पर आधारित है?
9. प्रकाश-विद्युत प्रभाव के अध्ययन के लिए प्रयुक्त प्रयोग का वर्णन कीजिए।
10. निम्नलिखित पदों की व्याख्या कीजिए–(अ) संतृप्त वोल्टता, (ब) निरोधी-विभव।
11. प्रकाश-विद्युत उत्सर्जन के नियमों का उल्लेख कीजिए।

12. आइन्सटाइन के प्रकाश-विद्युत प्रभाव सिद्धान्त की प्रमुख विशेषताओं का वर्णन कीजिए।

13. आइन्सटाइन के संबंध की व्याख्या कीजिए: $h\nu = E_0 + K_{max}$

14. वेग $\upsilon = 1 \times 10^8$ mèks से गतिशील इलेक्ट्रॉनों की सहचरी तरंगदैर्ध्य परिकलित कीजिए। इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान को 9.1×10^{-31} kg तथा h को 6.6×10^{-34} J.s लें।

15. डि-ब्रॉग्ली तरंगों के अस्तित्व का सत्यापन करने वाले प्रयोग का वर्णन कीजिए।

16. दिखाइए कि विभव V से त्वरित इलेक्ट्रॉनों की सहचरी डि-ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य निम्न संबंध का पालन करती है:

$$\lambda = \frac{12.3}{\sqrt{V}}\ \text{Å}$$

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

25.1

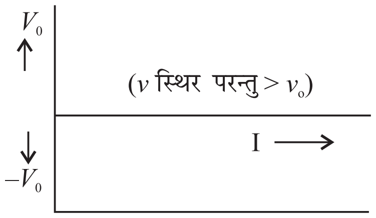
1. (a) असत्य (b) असत्य (c) सत्य

2. x – अंत:खंड देहली आवृत्ति को दर्शाता है।

y – अंत:खंड ex कार्यफलन (ϕ_0) को दर्शाता है।

$V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{h}{e}\nu_0$, इसलिए ग्राफ की प्रवणता $\frac{h}{e}$ होगी।

3.



25.2

(1) $\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{c/\nu} = \frac{h\nu}{c}$

2. $E = hc$èkλ

यदि λ को दुगना कर दें तो E का मान Eèk2 हो जाएगा।

3. कोई प्रभाव नहीं पड़ेगा।

25.3

1. (a) असत्य (b) असत्य (c) सत्य
2. (i) फिल्मों में ध्वनि के पुनरोत्पादन में

   (ii) चित्रों को अत्यधिक दूरी तक संचरित करना

   (iii) चोरों कापता लगाने वाली प्रणाली में
3. प्रकाश-इलेक्ट्रॉनों की संख्या में वृद्धि 4 के गुणक से होगी।

25.4

1. (a) असत्य (b) सत्य (c) सत्य
2. $P = mv$ और $\lambda = \dfrac{h}{P}$

   यहाँ पर $m = 50$ ग्राम $= 0.05$ कि. ग्रा. और $v = 20 \text{ cm s}^{-1}$ 0.02 m s^{-1}

   $\therefore \lambda = 6.6 \times 10^{-32}\text{m}$
3. समीकरण (25.14) से स्पष्ट है कि यदि द्रव्यमान m अधिक है तो λ का कम होगा। यही स्थिति क्रिकेट की गेंद के साथ है।
4. 7.25Å

अन्तिम अभ्यास प्रश्न के उत्तर

14. 7.25 Å

26

नाभिक और रेडियोधर्मिता

अब तक आपने यह जान लिया है कि परमाणु सभी पदार्थों के सूक्ष्मतम तत्व हैं जिनसे पदार्थों का निर्माण होता है। इसमें एक अति लघु **केन्द्रीय क्रोड** होता है, जिसे **नाभिक** कहते हैं तथा जिसके चारों ओर किसी खास निश्चित कक्षाओं में इलेक्ट्रॉन घूमते रहते हैं। यद्यपि नाभिक बहुत सूक्ष्म एवम् नन्हा सा होता है तथापि यह विस्मयकारक रूप से जटिल होता है। अत: इसे आप और अधिक गहराई तथा विस्तार से जानना चाहेंगे। इस नाभिक की भौतिकी के बारे में हमारी जानकारी की यात्रा की शुरूआत उन्नीसवीं शताब्दी के अंत में तब आरंभ हुई जब अचानक संयोग से रेडियोधर्मिता की खोज हुई। रेडियोधर्मिता एक प्राकृतिक किन्तु अद्‌भूत परिघटना है जिसमें परमाणु का नाभिक स्थाई होने तक विघटित होता रहता है। इस खोज ने एक अनोखा साधन वैज्ञानिकों को उपलब्ध करा दिया जिसके जरिए नाभिक की संरचना की खोज-बीन ज्यादा सटीक हो सकी। स्वाभाविक जिज्ञासा उठती रही कि इस नाभिक का आकार कितना बड़ा है? इसके अंदर क्या है? ऐसी कौन से बल हैं जो इसके संघटकों को बाँधे रहते हैं और क्यो बांधे रखते हैं?

वास्तव में जीगर एवं मार्सडन द्वारा (अल्फा) α-कणों को प्रयोग में लाया गया था ताकि उसके प्रकीर्णन से किसी तत्व के परमाणु के अंदर क्या है, उसे देखें। ये α-कण प्राकृतिक रूप से मिलने वाला रेडियोधर्मी तत्व ^{214}Bi से निकलते थे। इन अनुसंधानों ने शोधकार्यों के लिए नए रास्तों एवं प्रबल संभावनाओं को जन्म दिया। परिणामस्वरूप बहुत कम समय में एक नूतन एवं नायाब भौतिकी उभर कर आई जिसने विकास की दिशा एवं दशा बदल दी। इसी नई विधा को आप सविस्तार जानिएगा।

उद्देश्य

इस अध्याय को पढ़ने के पश्चात् आप

- *विभिन्न परमाणुओं के नाभिकों में विद्यमान न्यूट्रोनों एवं प्रोटोनों की संख्या बता सकेंगे;*
- *परमाणु नाभिक के साइज की गणना कर सकेंगे;*
- *नाभिक के अंदर न्यूक्लिआनों के बीच मौजूद बलों की प्रकृति को समझा सकेंगे;*

टिप्पणियाँ

- *द्रव्यमान क्षति और बंधन ऊर्जा को समझा सकेंगे;*
- *प्रति न्यूक्लिऑन वक्र रेखा खींचकर उसके बंधन ऊर्जा को बताते हुए नाभिक परमाणु के स्थायित्व पर चर्चा कर सकेंगे;*
- *रेडियोधर्मिता की प्राकृतिक परिघटना पर चर्चा करते हुए तीनों प्रकार के रेडियो-विकिरणों की पहचान एवं प्रकृति को बता सकेंगे;*
- *रेडियोधर्मी नमूने में हो रही सक्रियता से रेडियो विकिरण की वृद्धि एवं क्षय (डिके) को समझा सकेंगे;*
- *किसी रेडियोधर्मिता वाले तत्व की अर्ध-आयु (हाफ-लाइफ) और उसके क्षयांक (डिके कांसटेन्ट) की गणना कर सकेंगे हैं और*
- *विभिन्न क्षेत्रों में रेडियोधर्मिता की उपयोगिता पर प्रकाश डाल सकेंगे।*

26.1 परमाण्विक नाभिक

परमाणु के अंदर नाभिक की खोज रदरफोर्ड ने 1911 में की थी। उसके तुरंत बाद भौतिकीविदों ने यह जानने का प्रयास तेज कर दिया कि आखिर नाभिक के अंदर क्या रहता है। सन् 1932 में जेम्स चेडविक ने न्यूट्रोन की खोज की। इस खोज ने तो वैज्ञानिक जगत में इस सत्य को पूर्णरूप से प्रतिष्ठित कर दिया कि नाभिक परमाणु प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों जैसे संघटकों से निर्मित होता है। इससे शोध की दिशा एवं गति में जबरदस्त प्रभाव पड़ा।

26.1.1 आवेश एवं द्रव्यमान

परमाण्विक नाभिक में दो प्रकार के कण होते हैं- प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन। प्रोटोन जहां धनावेशित होते हैं वहीं न्यूट्रॉन उदासीन होते हैं। इलेक्ट्रॉन, जो किसी अनुमत विशिष्ट कक्षाओं में रहकर नाभिक के चारों ओर परिक्रमा करते हैं, ऋणावेशित होते हैं। प्रोटॉन के धनावेश का मान ठीक इलेक्ट्रॉन के ऋणावेश के मान के बराबर होता है। जितनी संख्या में इलेक्ट्रोन होंगे ठीक उतनी ही संख्या में प्रोटॉन होंगे, इसीलिए परमाणु का स्थायित्व सदा बना रहता है। न्यूट्रॉन एवं प्रोटॉन संयुक्त रूप से न्यूक्लिऑन नाम से जाने जाते हैं। नाभिक में इन दोनों को मिलाकर जो संख्या बनती है वहीं न्यूक्लिऑन की संख्या कहलाएगी तथा इसे द्रव्यमान संख्या (मॉस नम्बर) कहते हैं। इसे A द्वारा दर्शाया जाता है। किसी परमाणु के नाभिक के अंदर प्रोटॉनों की संख्या (या फिर इलेक्ट्रॉनों की संख्या) उसकी परमाणु क्रमांक कहलाती है। इसे Z द्वारा दर्शाते हैं। नाभिक में मौजूद न्यूट्रॉन को $N = A - Z$. से दर्शाते है। प्राय: $N \geq Z$ होता है। A के बढ़ने के साथ अंतर $(N–Z)$ भी बढ़ता है। लीथियम के नाभिक में 3 प्रोटॉन तथा 4 न्यूट्रॉन होते हैं और उसका परमाणु क्रमांक $Z = 3$ तथा द्रव्यमान संख्या $A = 7$ होती है। न्यूट्रॉनों की तुलना में प्रोटॉनों का द्रव्यमान थोड़ा कम होता है। वैसे परमाणु का पूरा द्रव्यमान नाभिक पर ही केंद्रित होता है। नाभिक का द्रव्यमान प्रोटॉन (या फिर न्यूट्रॉन) के द्रव्यमान एवं A के गुणनफल के लगभग बराबर होता है। चूंकि प्रोटॉन का द्रव्यमान 1.67×10^{-27} kg होता है तथा A का मान अधिकांश नाभिकों के लिए 1और 240 के बीच होता है, इसलिए नाभिकों का द्रव्यमान 1.67×10^{-27}kg और 4.0×10^{-25}kg के बीच होता है। नाभिक का आवेश Ze के बराबर होता है जिसमें e किसी

भी इलेक्ट्रॉन पर आवेश का परिमाण होता है जो 1.6×10^{-19}C कूलाम के बराबर होता है। प्राकृतिक रूप में विद्यमान नाभिकों में Z का मान 1 और 92 के बीच होता है और कृत्रिम रूप से बनाए गए परायूरेनियम तत्वों (ट्रान्सयूरेनिक एलिमेन्टस) में Z की संख्या 93 से 105 के बीच होती है।

26.1.2 आकार (साइज)

परमाणु नाभिक की साइज को सामान्यत: उनकी त्रिज्याओं द्वारा दर्शाया जाता है। अधिकांश नाभिक लगभग वृत्ताकार साइज के होते हैं और इसलिए उनकी त्रिज्या R को निम्न सूत्र से दर्शाया जाता है

$$R = r_0 A^{1/3}$$

यहाँ पर r_0 नाभिकीय त्रिज्या की इकाई है जिसका सांख्यिकीय मान 1.2 फरमी है (फरमी लम्बाई की इकाई है और इसे प्रसिद्ध भौतिकीविद् एनरिको फरमी के सम्मान में यह नाम दिया गया है)। एक फरमी लगभग 10^{-15}m के बराबर होता है। हाइड्रोजन का परमाणु सबसे कम द्रव्यमान का होता है जिसका मान 1.2 f के बराबर होता है क्योंकि हाइड्रोजन के लिए $A=1$ होता है। इसी प्रकार प्राकृतिक यूरेनियम का सबसे अधिक द्रव्यमान के परमाणु की त्रिज्या लगभग 7.5 f होती है, क्योंकि यूरेनियम के लिए $A = 238$ होता है। यहां पर ध्यान दीजिए कि किसी भी वृत्ताकार नाभिक पिंड जिसकी त्रिज्या r है, उसका आयतन $4/3\pi R^3$ के बराबर होता है। अत: नाभिक का आयतन उसके द्रव्यमान संख्या A के समानुपाती होता है।

अब आप नाभिक के आयतन का अनुमान लगाइए कि परमाणु के आयतन के सापेक्ष वह कितना हो सकता है? यह जानते हुए कि नाभिक और परमाणु के साइजों में अंतर क्रमश: 10^{-15} m और 10^{-10}m के बीच होता है, अब यह सुनिश्चित कर सकते हैं कि परमाणु का आयतन नाभिक के आयतन से 10^{+15} गुना होता है। इसे इस प्रकार कल्पना कर समझें कि नाभिकीय आयतन तथा उसके सापेक्ष परमाणु के आयतन की तुलना ऐसी ही है, मानों एक बाल्टी पानी के आयतन की तुलना समूचे भाखड़ा बांध के पानी के आयतन से की जा रही हो।

अब आप नाभिकीय पदार्थ के घनत्व की परिमाण कोटि के बारे से भी जानना चाहेंगे। यदि हम सबसे हल्के नाभिक हाइड्रोजन पर विचार करें जिसका द्रव्यमान 1.673×10^{-27} kg तथा उसकी त्रिज्या 1.2×10^{-15} m, के बराबर है। उसकी आकृति को गोल मान कर उसके घनत्व का परिकलन निम्न सूत्रों द्वारा कर सकते हैं:

$$d_H = \frac{M_H}{\frac{4\pi}{3} R_H^3} = \frac{1.673\times10^{-27}\,\text{kg}}{\frac{4\pi}{3}\times\left(1.2\times10^{-15}\,\text{m}\right)^3} = 2.3\times10^{17}\,\text{kg m}^{-3}.$$

आक्सीजन के लिए $R_0 = 3 \times 10^{-15}$ m और $M_0 = 2.7 \times 10^{26}$ kg, इसलिए $d_0 = 2.39 \times 10^{17}$ kg m^{-3}

यानी हाइड्रोजन और आक्सीजन के नाभिकों का घनत्व एक ही परिमाण कोटि का होता है। हम जानते हैं कि पानी का घनत्व 10^3kg m^{-3} होता है। इसी प्रकार पारे (मरक्यूरी) का घनत्व 13.6×10^3 kg m^{-3} होता है। तब इस तुलनात्मक आंकड़ों से यह निष्कर्ष निकलता है कि

नाभिकीय पदार्थ कितनी विलक्षण परिमाण में सघनता लिए हुए रहता है। इसका एक अनुमान प्राप्त करने के लिए, यदि हम अपनी पृथ्वी को नाभिकीय सघनता से संकुलित द्रव्यमान (= 6×10^{24} kg) वाला एक पिंड मानें तो वह गोल आकृति का होगा जिसकी त्रिज्या 184 m मीटर ही होगी। इसी प्रकार यदि किसी नाभिक की त्रिज्या करीब 10 km हो तो उसका द्रव्यमान सूर्य के द्रव्यमान के बराबर होगा।

26.1.3 संकेतन (नोटेशन)

किसी परमाणु के नाभिक को उस तत्व के रासायनिक प्रतीक के रूप में प्रदर्शित करते हैं तथा उसकी द्रव्यमान संख्या A को उसके ऊपर अंकित करते हैं तथा उसके नीचे परमाणु क्रमांक Z को लिखा जाता है; ये दोनों रसायनिक प्रतीक के बाएँ तरफ ही अंकित होंगे। अर्थात यदि उस परमाणु के तत्व का प्रतीक मान लीजिए X है तो उसके नाभिक का संकेतन $^{A}_{Z}X$ होगा। उदाहरण के लिए, क्लोरीन के नाभिक को लें जिसमें प्रोटोनों की संख्या 17 तथा न्यूट्रानों की संख्या 18 है। उसे $^{35}_{17}Cl$ संकेतन द्वारा लिखेंगे। ध्यान दें कि 35 यहां पर Cl की द्रव्यमान संख्या है। विभिन्न तत्वों के परमाणुओं की समान द्रव्यमान संख्या हो सकती है यद्यपि उनके प्रोटोनों की संख्या भिन्न हो सकती है। ऐसे परमाणु जिनके A का मान तो समान हो परंतु Z के मान अलग-अलग हों उन्हें समभारिक (आइसोबार) कहते हैं। जैसे अरगान, जिसके A का मान 40 तथा Z का मान 18 है, वह कैल्शियम का समभारिक होगा जिसके A का मान 40 और Z का 20 होता है। ध्यान दें कि समभारिकों के रासायनिक गुण को उनके Z निर्धारित करते हैं जो अलग-अलग हैं, इसलिए इनके रासायनिक गुण तो भिन्न होंगे ही।

इसी प्रकार से एक ही तत्व के दो परमाणुओं में जिनके परमाणु क्रमांक Z समान हो किंतु उनके द्रव्यमान क्रमांक A अलग-अलग हों उन्हें समस्थानिक (आइसोटोप्स) कहते है। जैसे क्लोरीन के एक परमाणु जिसका $Z = 17$ और $A = 35$, है तथा दूसरा परमाणु जिसका Z=17 किंतु $A = 37$ है, दोनो एक ही तत्व क्लोरीन के समस्थानिक कहलाएंगे। चूंकि समस्थानिकों के Z का मान समान होते हैं, उनके रासायनिक गुण समान ही होने चाहिएं। ध्यान दें कि समस्थानिकों में न्यूट्रॉन की संख्या अलग-अलग होगी। परंतु यदि दो परमाणुओं में न्यूट्रॉनों की संख्या समान हो तो परमाणु समन्यूट्रॉनिक (आइसोटोन्स) कहलाते हैं। जैसे कि सोडियम जिसका $A = 23$ तथा $Z = 11$ है। मेगनीशियम के परमाणु, जिसका $A = 24$ तथा $Z = 12$ है का समन्यूट्रोनिक हैं क्योंकि दोनों के परमाणुओं के नाभिकों में न्यूट्रॉन की संख्या 12 है।

उदाहरण 26.1 : एक परमाणु $^{238}_{92}U$ के परमाणु में इसके इलेक्ट्रॅनों, प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों की संख्या की गणना कीजिए।

हल : $^{238}_{92}U$ संकेतन यूरेनियम तत्व का है जिसमें 92 प्रोटॉन तथा 238 न्यूक्लिओन हैं। अत: परमाणु क्रमांक $Z = 92 =$ प्रोटोनों की संख्या, द्रव्यमान संख्या $A = 238 =$ प्रोटॉनों और न्यूट्रोनों की संख्या = न्यूक्लिऑनों की संख्या इसलिए न्यूट्रानों की संख्या $= A - Z$

$$= 238 - 92$$

$$= 146$$

उदाहरण 26.2 : नीचे दिए गए समूह से समस्थानिक समभारिक तथा समन्यूट्रोनिक जोड़ियों का चुनाव कीजिए।

${}^{12}_{6}C, {}^{27}_{13}Al, {}^{39}_{19}K, {}^{22}_{14}Si, {}^{76}_{32}Ge, {}^{40}_{20}Ca, {}^{76}_{34}Se, {}^{14}_{6}C$

हल : समस्थानिक – (समान Z मान) : ${}^{12}_{6}C$ और ${}^{14}_{6}C$

समन्यूट्रोनिक – [समान $A - Z$ मान] : $\left[{}^{27}_{13}Al \text{ और } {}^{28}_{14}Si\right], \left[{}^{39}_{19}K \text{ और } {}^{40}_{20}Ca\right]$

आइसोबार (समभारिक) – (समान A का मान) : ${}^{76}_{32}Ge$ और ${}^{76}_{39}Se$

पाठगत प्रश्न 26.1

1. नीचे दिए गए विभिन्न परमाणुओं के संचय से समस्थानिक, समभारिक एवं समन्यूट्रोनिक समूह बनाइए

   ${}^{16}_{8}O, {}^{207}_{82}Pb, {}^{12}_{6}C, {}^{40}_{18}A, {}^{3}_{1}H, {}^{7}_{3}Li, {}^{76}_{32}Ge, {}^{76}_{34}Se, {}^{3}_{2}He, {}^{40}_{20}Ca, {}^{7}_{4}Be, {}^{2}_{1}H,$

   ${}^{14}_{6}C, {}^{235}_{92}U, {}^{206}_{82}Pb, {}^{18}_{8}O, {}^{239}_{92}U, {}^{1}_{1}H, {}^{23}_{11}Na, {}^{27}_{13}Al, {}^{27}_{12}Mg, {}^{28}_{14}Si, {}^{37}_{17}Cl, {}^{35}_{17}Cl$

2. रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिए:

   (i) न्यूट्रोन प्रोटोन की अपेक्षा .... होता है।

   (ii) किसी परमाणु में प्रोटोन एवं न्यूट्रान की संख्याओं का कुल योग उस परमाणु की .... संख्या कहलाती है।

   (iii) प्रोटोन एवं न्यूट्रोनों सम्मिलित रूप से .... कहलाते हैं।

   (iv) ${}^{27}_{13}Al$ संकेतन में न्यूट्रोन की संख्या = ... है।

   (v) ${}^{28}_{14}Si$ संकेतन में प्रोटोनों की संख्या = ... है।

   (vi) दो परमाणु भिन्न-भिन्न तत्वों के होंगे यदि उनके =............................ क्रमांक भिन्न हैं।

3. द्रव्यमान संख्या, परमाणु क्रमांक, तथा न्यूट्रॉन संख्या, इनमें से कौन सा गुण ऐसा है जो एक ही तत्व के दो परमाणुओं में भिन्न नहीं हो सकता है?

26.1.4 एकीकृत (यूनीफाइड) परमाणु द्रव्यमान

प्रयोग द्वारा यह तथ्य ज्ञात किया जा चुका है कि प्रोटोन का द्रव्यमान (m_p), इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान (m_e) का 1836 गुना होता है तथा न्यूट्रॉन का द्रव्यमान (m_n) इलेक्ट्रोन के द्रव्यमान का 1840 गुना (1840 m_e) होता है। चूँकि इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान न्यूक्लिओन के द्रव्यमान की तुलना में नगण्य होता है, अत: परमाणु का द्रव्यमान वास्तविक रूप से न्यूक्लिऑन का ही द्रव्यमान होता है। लेकिन न्यूट्रॉन प्रोटॉन की अपेक्षा कुछ भारी होता है, इसलिए आवश्यकता

महसूस होती है कि कोई एकीकृत मानक चुना जाए जो समस्त परमाणुओं (और प्रोटॉनों एवम् न्यूट्रॉनों) के द्रव्यमानों को भी व्यक्त कर सके। आजकल परमाणु द्रव्यमानों को कार्बन के समस्थानिक ${}^{12}_{6}C$ के वास्तविक द्रव्यमान के रूप में व्यक्त करते हैं। परमाणु द्रव्यमान की इकाई, जिसे u द्वारा दर्शाते हैं, कार्बन आइसोटोप ${}^{12}_{6}C$ के वास्तविक द्रव्यमान का (1/12) हिस्सा होता है। हमें ज्ञात है कि कार्बन परमाणु ${}^{12}_{6}C$ का द्रव्यमान 1.99267×10^{-26}kg है। अत:

1u = (1/12) × द्रव्यमान संख्या 12 के कार्बन परमाणु का द्रव्यमान

$$= (1/12) \times (1.99267 \times 10^{-26} \text{kg})$$

$$= 1.660565 \times 10^{-27} \text{kg}$$

$$= 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

चूंकि प्रोटॉन का द्रव्यमान (m_p) 1.6723×10^{-27}kg, न्यूट्रॉन का द्रव्यमान (m_n) 1.6747×10^{-27}kg, है, इन दोनों को u के रूप में इस प्रकार व्यक्त कर सकते है:

$$m_p = \frac{1.6723 \times 10^{-27}}{1.6606 \times 10^{-27}} \text{u} = 1.00727 \text{ u}$$

और $$m_n = \frac{1.6747 \times 10^{-27}}{1.6606 \times 10^{-27}} \text{ u} = 1.00865 \text{ u}$$

क्या अब आप इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान 9.1×10^{-31}kg को u के रूप में व्यक्त कर सकते हैं? अब चूँकि हम नाभिकीय द्रव्यमानों को u के रूप में व्यक्त करेंगे, इसका ऊर्जा–तुल्यांक ज्ञात करना हमारे लिए काफी उपयोगी होगा। ऐसा करने के लिए हमें आइंसटाइन के द्रव्यमान–ऊर्जा तुल्य संबंध को प्रयोग में लाना होगा। इसे इस प्रकार व्यक्त किया जाता है:

$$\text{ऊर्जा} = \text{द्रव्यमान} \times c^2$$

यहां पर c निर्वात में प्रकाश का वेग है। अत: हम लिख सकते हैं

$$1\text{u} = (1.66 \times 10^{-27}\text{kg})\,(2.9979 \times 10^{8} \text{m s}^{-1})^2$$

$$= 14.92 \times 10^{-11} \text{J}$$

$$= \frac{14.92 \times 10^{-11}}{1.60 \times 10^{-13}} \text{MeV}$$

$$= 931.3 \text{MeV}$$

ध्यान दें कि जूल (J) नाभिकीय भौतिकी के लिए अति विशाल इकाई हो सकती है। अत: हमने u को Mev के रूप में व्यक्त किया है। 1MeV वह ऊर्जा है जिसे एक इलेक्ट्रॉन तब प्राप्त करता है जब उसे एक मिलियन वोल्ट के विभवान्तर पर त्वरित किया जाए। इसका मान 1.6×10^{-13}J जूल के बराबर है।

26.1.5 द्रव्यमान क्षति एवं बंधन ऊर्जा

यह पाया गया है कि किसी भी तत्व के परमाणु के नाभिक का द्रव्यमान नाभिक में उपस्थित न्यूक्लिऑनों के द्रव्यमानों के योग से हमेशा कम रहता है। इस क्षति या कमी को द्रव्यमान क्षति (मॉस डिफेक्ट) कहा जाता है। उदाहरण के लिए, हाइड्रोजन के समस्थानिक ड्यूटीरियम के नाभिक में एक प्रोटॉन और एक न्यूट्रॉन होता है। न्यूट्रॉन तथा प्रोटॉन के मापे गए द्रव्यमान क्रमशः 1.6723×10^{-27} kg तथा 1.6747×10^{-27} kg हैं। इन दोनों का संयुक्त द्रव्यमान 3.34709×10^{-27} kg हुआ। परंतु ड्यूटीरियम के नाभिक का द्रव्यमान 3.34313×10^{-27}kg है, जो प्रोटोन और न्यूट्रोन के संयुक्त द्रव्यमान से कम है। अतः हम कह सकते हैं कि ड्यूटीरियम के लिए द्रव्यमान क्षति 3.96242×10^{-30}kg है। आइए इस द्रव्यमान क्षति को Δm द्वारा दर्शाते हैं। किसी परमाणु ${}_Z^AX$ के लिए, गणितीय रूप से हम लिख सकते हैं न्यूक्लिओनों के द्रव्यमानों का योग $= Zm_p + (A-Z)m_n$

∴ द्रव्यमान गति $$\Delta m = [Z.m_p + (A-Z)m_n] - M \qquad (26.1)$$

जहाँ M नाभिक का वास्तविक द्रव्यमान है।

द्रव्यमान क्षति का ऊर्जा तुल्यांक ज्ञात करने लिए फिर से द्रव्यमान एवं ऊर्जा संबंधी समीकरण का उपयोग करना पड़ेगा

$$\text{BE} = \Delta m\, c^2 \text{ J} \qquad (26.2)$$

ड्यूटीरियम परमाणु के लिए

$$\begin{aligned}\text{BE} &= (3.96242\times10^{-30}\text{ kg}) \times (2.998 \times 10^8\text{m s}^{-1})^2 \\ &= 35.164 \times10^{-14}\text{kg m}^2\text{ s}^{-2} = 3.5164 \times10^{-13}\text{J} \\ &= 2.223 \times 10^6\text{eV}\end{aligned}$$

(चूँकि $1\text{eV} = 1.602\times10^{-19}$J)

इसका मतलब यह हुआ कि कम से कम 2.223MeV ऊर्जा देने पर ही ड्यूटीरियम नाभिक के संघटक कणों (प्रोटॉन और न्यूट्रॉन) को स्वतंत्र किया जा सकेगा। इस परिणामी को आप ऐसा भी कह सकते हैं कि द्रव्यमान क्षति एक ऐसी ऊर्जा के रूप प्रकट होता है जो न्यूक्लिऑनों को बांधे रहता है।

अतः बंधन ऊर्जा प्रति न्यूक्लिओन, $B = \Delta m\, c^2/A$

या $$B = \frac{[Zm_p + (A-Z)m_n - M]\,c^2}{A} \qquad (26.3)$$

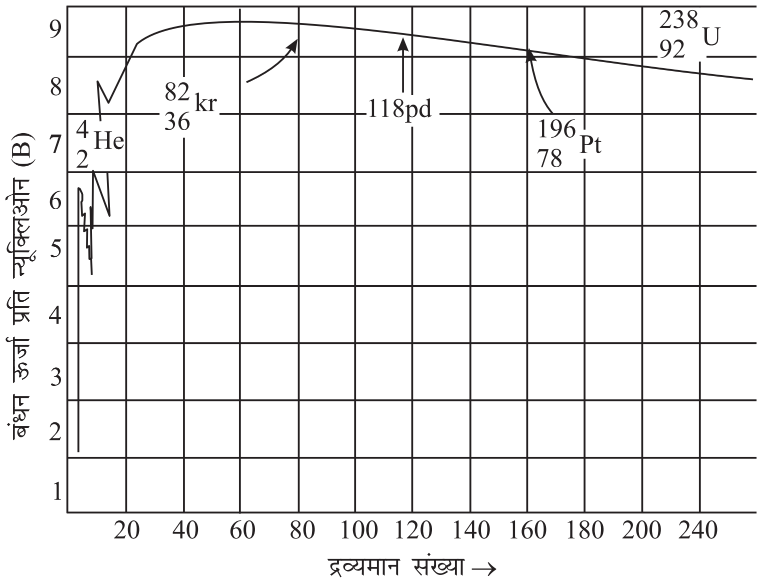
${}_6^{12}C$ के लिए, $Z = 6$ और $A = 12$. होता है, इसलिए $(A-Z) = 12 - 6 = 6$ होगा यहाँ $M = 12$u (1u = 931.3MeV) है।

अत:

$$B = \frac{[6m_p + 6m_n - 12] \times 931.3}{12} \text{ MeV}$$
$$= 7.41 \text{MeV}$$

यहाँ हमने $m_p = 1.00727$ u और $m_n = 1.00865$ u लिया है। उपरोक्त परिकलन यह बताता है कि कार्बन के नाभिक के टूटने से करीब 90 MeV की ऊर्जा निकलती है, जिसका उपयोग विभिन्न उद्देश्यों के लिए किया जा सकता है। यह ऊर्जा $^{238}_{92}U$ जैसे भारी परमाणु के नाभिकीय विखंडन से प्राप्त की जाती है। इसके बारे में और अधिक विस्तार से अगले अध्याय में आप जानेंगे। यही परमाणु बम में भी ऊर्जा का स्रोत होता है।

B बंधन ऊर्जा का मान बढ़ते-बढ़ते लगभग 8.8 MeV हो जाता है जैसे-जैसे हम हीलियम ($A = 4$) से आयरन ($A = 56$) की ओर बढ़ते हैं; इसके बाद इसका मान धीरे-धीरे घटना शुरु होता है और यूरेनियम के लिए यह घटकर 7.6 MeV हो जाता है। चित्र 26.2 में दर्शाया गया है कि बंधन ऊर्जा किस प्रकार से प्रति न्यूक्लिऑन द्रव्यमान के साथ बदलती है।



चित्र 26.2 : प्रति न्यूक्लिओन बंधन ऊर्जा का द्रव्यमान संख्या के साथ परिवर्तन

उपरोक्त चित्र में ध्यान दें, कि बंधन ऊर्जा की वक्र रेखा $^{4}_{2}He$, $^{12}_{6}C$, $^{16}_{8}O$ and $^{20}_{9}Ne$ परमाणुओं के लिए तीखा शीर्ष (शार्प पीक) दर्शाती है। जहाँ B का मान कम दिखता है वे यह दर्शाते हैं कि हल्के नाभिक जिनका द्रव्यमान $A < 20$ (बीस से कम) है कम स्थाई होते हैं। उदाहरण के लिए, भारी हाइड्रोजन ($^{2}_{1}He$) के लिए बंधन ऊर्जा का मान1.1 MeV प्रति न्यूक्लिऑन होता है। $^{4}_{2}He$, $^{12}_{6}C$, $^{16}_{8}O$ (सम-सम नाभिक अर्थात् ऐसे नाभिक जिनमें प्रोटोनों की संख्या तथा न्यूट्रोनों की संख्या भी सम हो) पर आने वाले गौण शिखर (सब्सीडरी पीक्स) यह दर्शाते हैं कि ऐसे नाभिक अपने ठीक समीपस्थ नाभिकों की अपेक्षा अधिक स्थाई होते हैं। प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा की वक्र रेखा नाभिकीय विखंडन एवं नाभिकीय संलयन की परिघटनाओं को समझाने में बहुत ही उपयोगी है।

उदाहरण 26.3 : बोरोन ($^{10}_{5}B$) परमाणु का द्रव्यमान 10.811 u है। इसके द्रव्यमान का परिकलन किलोग्राम में कीजिए।

हल : चूंकि $u = 1.660565 \times 10^{-27} kg$,

$$10.811u = 10.811 \times 1.660565 \times 10^{-27} kg$$

$$= 17.952368 \times 10^{-27} kg$$

पाठागत प्रश्न 26.2

1. $^{7}_{3}Li$ के परमाणु का द्रव्यमान 6.01513 u है। द्रव्यमान क्षति तथा प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा का परिकलन कीजिए। $m_p = 1.00727$ u.; $m_n = 1.00865$ u और 1 u = 931 MeV लें।

2. $^{8}_{4}Be$ परमाणु की त्रिज्या का परिकलन कीजिए।
   [$R = r_0 A^{1/3}$; $r_0 = 1.2 \times 10^{-15}$m लें।]

26.2 न्यूक्लिऑन किस प्रकार एक दूसरे से जुड़े रहते हैं: नाभिकीय बल

जैसे ही भौतिकीविदों ने नाभिक के न्यूट्रॉन-प्रोटॉन की परिकल्पना को स्वीकार किया, एक महत्वपूर्ण प्रश्न उभर कर आया- नाभिक के अंदर न्यूक्लिऑन किस प्रकार एक दूसरे से जुड़े रहते हैं? दूसरे शब्दों में कहें तो जो बल न्यूक्लिऑनों को परस्पर बांधे रखता है उस बल की प्रकृति क्या है? चूंकि गुरुत्वाकर्षण तथा विद्युत-चुम्बकीय बलों की पारस्परिक अन्योन्यक्रियाएं बहुत से प्रेक्षित तथ्यों पर प्रकाश डालते हैं, इसलिए आप की भी चाहत इन्हीं में से किसी बल को चुनने की होगी। चूंकि नाभिक का साइज इतना सूक्ष्म होता है जिसके अंदर प्रोटॉन और न्यूट्रॉन इतनी सघनता से संकुलित होते हैं। इनके बीच लगने वाले बल प्रबल, लघु परिसर के तथा आकर्षी होने चाहिए। ऐसा बल स्थिर वैद्युत (इलेक्ट्रोस्टैटिक) जाति का नहीं हो सकता क्योंकि प्रोटॉनों के बीच ऐसा बल प्रतिकर्षी होता है और यदि केवल ये ही कार्यरत होते, न्यूक्लिओन नाभिक से निकल कर बाहर चले गए होते, जो हमारे अनुभव के विरुद्ध है। इसके अलावा एक और तथ्य यह है कि न्यूक्लिऑनों के बीच कार्यरत बल ही विशाल बंधन ऊर्जा प्रति न्यूक्लिओन (करीब 8 MeV) के लिए उत्तरदायी होता है। अब दूसरा विकल्प गुरुत्वाकर्षण बल का है। निस्संदेह, यह बल न्यूक्लिऑनों की प्रत्येक जोड़ी के बीच आकर्षण बल के रूप में कार्य करता है। लेकिन यह बल इतना क्षीण है कि न्यूक्लिओनों के बीच लगने वाले शक्तिशाली आकर्षण बलों को समझा पाने में सक्षम नहीं है। यदि न्यूक्लिओन-न्यूक्लिओन के बीच कार्यरत बल को 1 मान लें तो गुरुत्वाकर्षण बल का मान 10^{-39} के करीब होगा।

इन सबसे हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि न्यूक्लिओनों के बीच का आकर्षण बल एक नए किस्म का ही है। इसकी किसी भी ऐसे बल, जो चिरसम्मत भौतिकी के क्षेत्र में अब तक ज्ञात है, से तुलना नहीं हो सकती। ऐसे नए आकर्षण बल को *नाभिकीयबल* कहते हैं।

26.2.1 नाभिकीय बल के विशिष्ट गुणधर्म

आप याद कीजिए कि गुरुत्वाकर्षण बल तथा स्थिर विद्युत (इलेक्ट्रोस्टेटिक) दोनों व्युत्क्रम वर्ग नियम का पालन करते हैं। लेकिन न्यूक्लिऑन अति सघनता से संकुलित होते हैं तथा नाभिकीय बल, जो न्यूक्लिओनों को परस्पर बांधे रखता है, पड़ोसी न्यूक्लिओनों के बीच मौजूद होना चाहिए। अत: नाभिकीय बल एक लघु परास बल होना चाहिए जो अति लघु दूरियों ($\sim 10^{-15}$m) तक ही कार्यकारी होता है। इन नाभिकीय बलों को निम्नलिखित कणों के बीच लगने वाले आकर्षी बल को समझा पाने में सक्षम होना चाहिए:

– प्रोटोनों एवं न्यूट्रॉनों के बीच

– दो प्रोटोनों के बीच; तथा

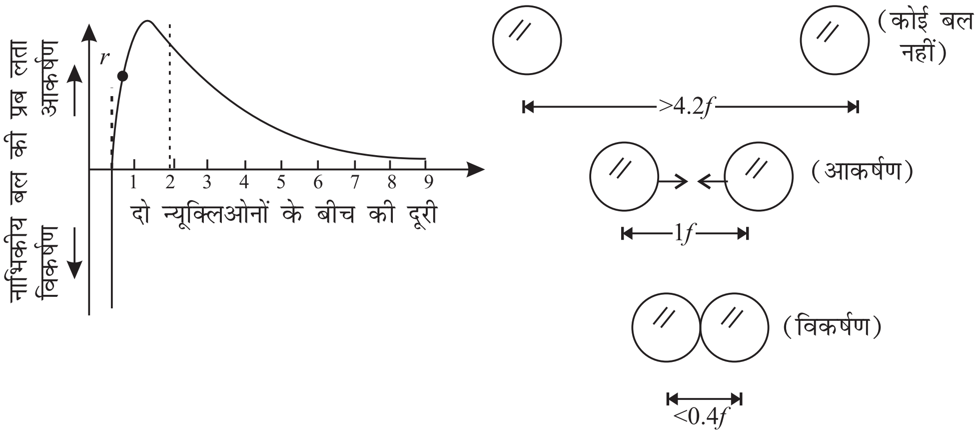
– दो न्यूट्रोनों के बीच

चूंकि प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा B समान है चाहे नाभिक के अन्दर न्यूट्रॉनों और प्रोट्रॉनों का सम्मिश्रण कुछ भी क्यों न हो, उनके बीच के बल को समतुल्य लेने का हमारे पास पूरा औचित्य है। अत: नाभिकीय बल किसी प्रकार से आवेश द्वारा प्रभावित नहीं रहता, अर्थात यह आवेश अनाश्रित होता है।

नाभिकीय बल संतृप्तता के गुणधर्म का भी प्रदर्शन करता है। इसका तात्पर्य यह है कि न्यूक्लिओन केवल सीमित आकर्षण का ही प्रदर्शन करते हैं। अर्थात् नाभिक में मौजूद हर न्यूक्लिओन केवल अपने पड़ोसी यानी निकटस्थ न्यूक्लिओनों के साथ अन्योन्यक्रिया कर सकता है न कि नाभिक में विद्यमान सभी न्यूक्लिओनों के साथ।

यदि नाभिकीय बल केवल आकर्षी प्रकृति का ही होता तो न्यूक्लिऑन इसके प्रभाव से परस्पर संलीन हो जाते। लेकिम हम सब इस तथ्य से अवगत हैं कि न्यूक्लिऑनों के बीच की औसत दूरी स्थिर रहती है जिसके कारण नाभिकीय आयतन कुल न्यूक्लिओनों की संख्या के समानुपाती होता है। इसकी संभावित व्याख्या यह है कि नाभिकीय बल उसी सीमा तक आकर्षण बल के रूप में कार्यरत रहता है जब तक कि न्यूक्लिऑनों के बीच की दूरी किसी क्रांतिक मान पर बनी रहती है। यह दूरी जैसे ही कम होना शुरु होती है नाभिकीय बल में सहसा बहुत परिवर्तन आता है; आकर्षण विकर्षण में बदल जाता है (ध्यान रहे कि यह विकर्षण सामान्य स्थिर वैद्युत विकर्षण वाला बल नहीं है)। नाभिकीय बलों की इन गुणात्मक विशिष्टताओं को चित्र 26.3 में प्रदर्शित किया गया है।

टिप्पणियाँ



चित्र 26.3 : (a) नाभिकीय बलों का दूरी के साथ प्रारूपिक परिवर्तन, तथा (b) दो न्यूक्लिऑनों के बीच की दूरी का न्यूक्लिऑनों के बीच कार्यरत बल पर प्रभाव

26.3 रेडियोधर्मिता

हमारी पृथ्वी की आयु कितनी है? भूगर्भविज्ञानी खुदाई द्वारा प्राप्त शैलों तथा जीवाश्मों की आयु का निर्धारण किस प्रकार करते हैं? कैंसर कोशिकाओं की रेडियो-चिकित्सा क्या है? इन सभी रोचक एवं उपयोगी प्रश्नों के उत्तर रेडियोधार्मिता, जो एक प्राकृतिक परिघटना है जिसमें परमाणु विकिरणों के उत्सर्जन द्वारा स्थायित्व प्राप्त करते हैं, के अध्ययन में अंतर्निहित हैं। यद्यपि इस रेडियोधार्मिता की खोज आकस्मिक रूप से हुई थी तथापि इस खोज ने भौतिकी में अनेक नई संभावनाओं के द्वारा खोल दिए। उद्योगों, कृषि तथा चिकित्सा क्षेत्र में इसके व्यापक अनुप्रयोग हैं। आइए, इसके बारे में जानकारी हासिल करें।

26.3.1 रेडियोधर्मिता की खोज

रेडियाधर्मिता की खोज की कहानी बड़ी रोचक है। सन् 1896 में फ्रांसीसी भौतिकीविद ए.एच. बैक्यूरल प्रतिदीप्ति की परिघटना (जिसमें कुछ पदार्थ दृश्य प्रकाश का उत्सर्जन करते हैं जब उन पर पराबैंगनी विकिरण आकर गिरती है) पर कार्य कर रहे थे। अपनी मेज की एक दराज में विभिन्न प्रकार के खनिजों के नमूनें भी रखे हुए थे। इन्हीं के साथ फोटोग्राफिक प्लेटों के कई बंद डब्बे भी रखे गए थे। किन्हीं कारणों से दराज में रखी हुईं सभी ज्यों की त्यों रखी रहीं। एक दिन बैक्यूरल ने किसी वस्तु का फोटोग्राफ लेने के लिए डिब्बे में बंद रखी फोटोग्राफिक प्लेटों को दराज से निकाला। जब प्लेटों को डेवलप किया तो उन्हें यह जानकर निराशा हुई कि प्लेटें बुरी तरह से धुंधली थीं मानो पूर्व में वे प्रकाश के संपर्क में आई हों। उन्होंने बंद डिब्बों में रखी सभी फोटोग्राफिक प्लेटों का प्रयोग किया और पाया कि सभी प्लेंटें धुधंली थीं। कारण उनकी समझ में नहीं आ रहा था क्योंकि सभी प्लेटों को सावधानीपूर्वक काले कागजों में लपेटकर सील बंद डिब्बों में सुरक्षित रखा गया था। उन्होंने पाया कि उनके दराज में रखे यूरेनियम ने ही (फोटोग्राफिक प्लेटों को) नुकसान पहुंचाया होगा। उन्होंने यह

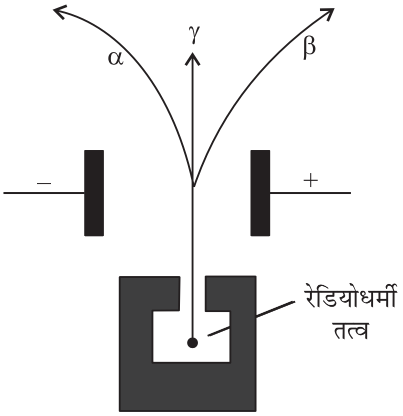
निष्कर्ष निकाला कि यूरेनियम लवण से नए प्रकार का विकिरण उत्पन्न होता है। इस विकिरण को *बैक्यूरल किरणें* कहा गया तथा विकिरण के उत्सर्जन की परिघटना को *रेडियोधर्मिता* नाम दिया गया। इस परिघटना का प्रदर्शन करने वाले तत्वों को *रेडियाधर्मी तत्वों* का नाम दिया गया।

इस खोज के तुरंत पश्चात् मेडम मारी क्यूरी ने व्यापक अध्ययन पर आधारित अपने पति पियरे क्यूरी के साथ मिलकर यूरेनियम अयस्क से बड़ी कठिन और जटिल प्रक्रिया द्वारा, जिसे रासायनिक पृथक्करण (केमिकल फ्रेक्शनिंग) कहते हैं, एक नए तत्व को वियोजित किया। यह नया तत्व यूरेनियम से करोड़ों गुना अधिक क्षमता से रहस्यमयी किरणों को उत्सर्जित कर सकता है। इस नए तत्व का नाम उन्होंने रेडियम रखा। मेडम क्यूरी द्वारा एक और नए रेडियोधर्मी तत्व की खोज की गई जिसका नाम उन्होंने अपने देश पोलेन्ड के सम्मान में पोलोनियम रखा।

26.3.2 विकिरणों की प्रकृति

सन् 1899 में जो एक ब्रिटिश भौतिकीविद लॉर्ड रदरफोर्ड ने रेडियोधर्मी तत्वों द्वारा उत्सर्जित बैक्यूरल किरणों का विश्लेषण किया। उन्होंने दो भिन्न घटकों की उपस्थिति को स्थापित किया: α-कण एवं β-किरणें। तीसरे घटक γ-किरणों का पता पी. विलार्ड ने लगाया।

हम अवगत हैं कि सभी परमाणुओं के नाभिक में धनावेशित प्रोटॉन होते हैं जो स्थिर वैद्युत प्रतिकर्षण के फलस्वरूप एक दूसरे को अत्यधिक प्रबलता से प्रतिकर्षित करते हैं। इस प्रत्याकर्षण पर काबू पाने के लिए नाभिक में न्यूट्रॉन की उपस्थिति गोंद (ग्लू) का काम करती है। परंतु भारी नाभिकों में यह स्थिर वैद्युत प्रतिकर्षण इतना प्रबल होता है कि न्यूट्रॉन की संख्या बढ़ाने से भी नाभिक स्थाई नहीं रह पाता। स्थायित्व प्राप्त करने के लिए ऐसे नाभिक स्वत: विघटित होकर α और β कणों के साथ γ-किरणों का भी उत्सर्जन करने लगते हैं जैसा कि चित्र 26.4 में दर्शाया गया है। इस प्रकार हम यह कह सकते हैं कि प्राकृतिक रेडियोधर्मिता में α व β–कणों और γ-किरणों का उत्सर्जन होता है। उत्सर्जित विकिरणों को रेडियोधर्मी विकिरण रहते हैं तथा (α, β और γ-किरणों के उत्सर्जन के साथ) परमाणु नाभिकों के विघटन (टूटने) की प्रक्रिया को रेडियाधर्मी क्षय करते हैं। कभी–कभी, यह प्रक्रिया स्थाई नाभिकों पर हल्के कणों (जैसे न्यूट्रोन और प्रोटोन) की बमबारी द्वारा भी प्रेरित की जा सकती है। इसे *कृत्रिम रेडियोधर्मिता* कहते हैं। इस परिघटना के विशिष्ट गुण यह है कि यह स्वत: होती है और α अथवा β उत्सर्जनों की स्थिति में नए तत्व से संबंधित नया नाभिक बनता है। अर्थात्, एक तत्व दूसरे तत्व में परिवर्तित हो जाता है। इस प्रकार यह नाभिकीय विघटन की परिघटना है और नए नाभिकों के बनने की संभावना की ओर संकेत करती है। आइए, पहले α, β और γ-विकिरणों के विलक्षण गुणो के विषय में अध्ययन करें।



चित्र 26.4 : α, β γ किरणों का उत्सर्जन

टिप्पणियाँ

(i) α-**कण**

ये कण हीलियम परमाणु (^4_2He) के नाभिक होते हैं और इस नाभिक में दो प्रोटॉनो तथा दो न्यूट्रॉन होते हैं। α कणों के संबंध में विस्तृत अध्ययन उनके निम्नलिखित गुणों को प्रकाश में लाया:

- आवेशित कण होने के कारण ये विद्युत एवम् चुम्बकीय क्षेत्रों में विक्षेपित हो जाते हैं।
- ये कण बेरियम प्लेटिनोसाइनाइड तथा जिंक सल्फाइड जैसे पदार्थों पर प्रतिदीप्ति उत्पन्न करते हैं, फोटोग्राफिक प्लेट को प्रभावित करते हैं, कुछ तत्वों में रेडियाधार्मिता उत्पन्न कर सकते हैं और नाभिकीय अभिक्रिया उत्पन्न करते हैं।
- इन कणों में अत्यधिक आयनकारी क्षमता होती है। मात्र एक α–कण किसी गैस से पारगमन करने की प्रक्रिया में अवशोषित होने के पूर्व हजारों गैस परमाणुओं को आयनीकृत कर सकता है।
- ठोस पदार्थों में पारगमन करने की इन कणों की वेधन क्षमता कम होती है और धातुओं की पतली पन्नियों द्वारा ये परगमन कर प्रकीर्णित होते हैं। एल्युमिनियम की मात्र 0.02 mm मोटी चादर द्वारा रोक लिए जाते हैं।
- किसी रेडियोधर्मी तत्व से उत्सर्जित कणों की ऊर्जा उसे उत्सर्जित करने वाले नाभिक का अभिलक्षण होती है। यह उनके वेग में 1.4×10^7 m s^{-1} से 2.05×10^7 m s^{-1} के परिवर्तन के संगत होता है।

(ii) β-**कण**

β-कण धनावेशित तथा ऋणावेशित भी हो सकते हैं। नाभिक के अंदर एक न्यूट्रोन के प्रोटोन में बदलने और इसकी विपरीत प्रक्रिया के फलस्वरूप ही ये अस्तित्व में आते हैं। β-कणों के विषय में और अधिक अध्ययन करने के उपरांत निम्नलिखित गुणों की जानकारी प्राप्त हुई है:

- आवेशित होने के कारण ये कण विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों में विक्षेपित हो जाते हैं।
- ये कण प्रतिदीप्ति उत्पन्न करने वाली पदार्थों जैसे जिंक सल्फाइड और बेरियम प्लेटिनोसाइनाइड पर डाले जाने पर प्रतिदीप्ति उत्पन्न करते हैं, और ये फोटोग्राफिक प्लेटों को भी प्रभावित करते हैं।
- इन कणों में गैसों के परमाणुओं के अयनीकरण की क्षमता होती है परंतु यह क्षमता α-कणों की क्षमता से कम होती है।
- ऋणावेशित β-कण एल्युमिनियम की कुछ मिलीमीटर तक मोटी चादर से पारगमन कर सकते हैं। इनकी वेधन क्षमता α-कणों से 100 गुना अधिक होती है।

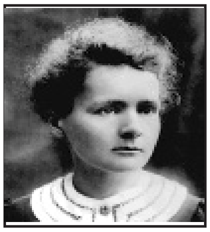
- इनकी औसत ऊर्जाएँ 2 MeV और 3MeV के बीच होती हैं। इन कणों का द्रव्यमान कम होने के कारण इनके वेगों का परास बहुत अधिक होता है जो कि 0.33c से 0.998 c के बीच होता है, जहाँ c प्रकाश के वेग है।

(iii) γ-**कण**

γ-किरणें उच्च आवृत्ति की विद्युत-चुम्बकीय तरंगे हैं, और इसलिए अति ऊर्जात्मक होती है। इनमें निम्नलिखित अभिलक्षणिक गुण पाए जाते हैं:

- ये विद्युत अथवा चुम्बकीय क्षेत्रों द्वारा विक्षेपित नहीं होती हैं। ये निर्वात में प्रकाश के वेग से चलती हैं।
- इनकी वेधन-क्षमता α तथा β–कणों से अधिक होती है; गामा–किरणें लौह धातु तथा लेड की कई सेन्टीमीटर मोटी चादरों को भेद सकती हैं।
- इनमें अयनीकरण क्षमता होती है जो α एवं β-कणों की अपेक्षा कम होती है।
- ये किरणें पदार्थों में प्रतिदीप्ति उत्पन्न कर सकती हैं तथा फोटोग्राफिक प्लेट को भी प्रभावित कर सकती हैं।
- ये किरणें जिन धातु-पृष्ठों पर गिरती हैं उनसे इलेक्ट्रॉन बाहर निकाल देती हैं एवं पृष्ठ को गर्म कर देती है। कठोर गामा किरणें (अर्थात् उच्च ऊर्जा वाली गामा किरणों) का प्रयोग दुर्दम अर्थात् कैंसरकारी कोशिकाओं की रेडियो-चिकित्सा में किया जाता है।

मारी क्यूरी
(1867–1934)



मारी क्यूरी ने रेडियोधर्मिता के क्षेत्र में किए गए अपने अध्ययनों के लिए वर्ष 1903 के भौतिकी नोबेल पुरस्कार को ए. हेनरी बैक्यूरल तथा अपने पति पियरे क्यूरी के साथ संयुक्त रूप से प्राप्त किया। विश्व की वह एकमात्र महिला थीं। जिन्हें दो बार नोबेल पुरस्कार से सम्मानित किया गया था। उन्हें दूसरा नोबल पुरस्कार 1911 में रसायन विज्ञान के क्षेत्र में दिया गया था। कालान्तर में उनकी पुत्री जोलिओट को भी रसायन विज्ञान के क्षेत्र में नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया जो उनकी कृत्रिम रेडियोधर्मिता की खोज के लिए था।

26.3.3 रेडियोधर्मी क्षय

किसी भी रेडियोधर्मी क्षय प्रक्रिया में स्वत: प्रवर्तित (स्पान्टेनियस) उत्सर्जन सें या तो α-कण अथवा एकल β-कण उत्सर्जित होता है। किसी रेडियोधर्मी नाभिक (जिसे *जनक नाभिक* कहते हैं) से α-कण का उत्सर्जन होता है तो यह एक नए नाभिक (जिसे *संतति नाभिक* कहते हैं) में बदल जाता है। इसके परिणामस्वरूप, परमाणु क्रमांक में दो इकाई और द्रव्यमान संख्या में चार इकाई की कमी हो जाती है। इसी प्रकार जनक नाभिक से β–कण के उत्सर्जन से संतति नाभिक प्राप्त होता है और इस प्रक्रिया में परमाणु क्रमांक एक इकाई बढ़ जाता है (यदि

टिप्पणियाँ

यह β-उत्सर्जन है) परन्तु द्रव्यमान संख्या में कोई परिवर्तन नहीं होता। किरणों के उत्सर्जन से जनक नाभिक का न तो परमाणु क्रमांक और न ही द्रव्यमान का संख्या में कोई परिवर्तन होता है। इसलिए किसी नए नाभिक का सृजन नहीं होता।

ध्यान दीजिए कि किसी भी नाभिकीय विघटन में आवेश संख्या (Z) और द्रव्यमान संख्या (A) सदैव संरक्षित रहते हैं। इस प्रकार रेडियोधर्मी नाभिक, जो X द्वारा प्रदर्शित होता है, के लिए नाभिकीय रूपान्तरणों को निम्न प्रकार लिखा जा सकता है–

$$^{A}_{Z}X \xrightarrow{\alpha-\text{क्षय}} {}^{4}_{2}He + {}^{A-4}_{Z-2}Y$$

(α-कण)

$$^{A}_{Z}X \xrightarrow{\beta-\text{क्षय}} {}^{0}_{-1}e + {}^{A}_{Z-1}Y$$

(β-कण)

$$({}^{A}_{Z}X)^* \xrightarrow{\gamma-\text{क्षय}} {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

तत्व के संकेत के ऊपर लगा तारा-चिह्न यह दर्शाता है कि वह उत्तेजित अवस्था में।

26.3.4 रेडियोधर्मी क्षय के नियम

हम जानते हैं कि यदि हमारे पास किसी खास मात्रा में रेडियोधर्मी समस्थानिक पदार्थ है तो विघटनों के कारण उसकी मात्रा समय के साथ धीरे-धीरे कम होती जाएगी। इसे दर्शाने वाला नियम बहुत सरल है। रेडियोधर्मी विघटन की दर बाहरी कारकों जैसे ताप, दबाव आदि पर निर्भर नहीं करती है तथा यह केवल संभाव्यता के नियम पर निर्भर करती है। यह नियम बताता है कि प्रति सेकंड विघटित होने वाले रेडियोधर्मी परमाणुओं की संख्या विघटन के क्षण उपस्थित कुल रेडियाधर्मी परमाणुओं की संख्या के समानुपाती होता है। इसे रेडियोधर्मी क्षय का नियम कहते हैं।

मान लीजिए कि $t = 0$ समय पर रेडियोधर्मी परमाणु की प्रारंभिक संख्या N_o है तथा किसी समय t पर उपस्थित रेडियोधर्मी परमाणुओं की संख्या $N(t)$ है। यदि dN अल्प समय dt में क्षय होने वाले उन परमाणुओं की संख्या को दर्शाता है, तो समय $(t+dt)$ पर परमाणुओं की संख्या $(N - dN)$ होगी। अतः क्षय की दर:

$$\frac{dN(t)}{dt} \propto N,$$

अथवा

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \qquad (26.4)$$

जहां λ क्षय नियतांक है जो क्षय होने वाले रेडियोधर्मी पदार्थ का अभिलक्षण होता है। ऋणात्मक चिन्ह यह बताता है कि समय के साथ नाभिकों की संख्याओं में कमी आती है। इस संबंध को इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$\lambda = -\frac{1}{N(t)}\frac{dN(t)}{dt} \qquad (26.5)$$

हम समी. (26.4) को निम्न प्रकार से लिख सकते हैं :

$$\frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda\, dt$$

समाकलित करने पर,

$N(t) = -\lambda t + k.$

$t = 0$ पर $N(t) = N_0$

अतः $k = ln\, N_0$

अथवा

$\ln N(t) - \ln N_0 = -\lambda t$

or $\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\lambda t$

एंटीलॉग लेने पर हमें वांछित संबंध प्राप्त होता है :

$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$

इस प्रकार, क्षय नियतांक (λ) को विघटन की तात्कालिक दर तथा उस क्षण उपस्थित रेडियोधर्मी परमाणुओं की संख्या के अनुपात के रूप में परिभाषित किया जा सकता है।

क्षय-नियम को कभी-कभी चर-घातांकी रूप में भी व्यक्त करते हैं- और इसे चर घातांकी *क्षय नियम* भी कहते हैं। चर-घातांकी रूप को प्राप्त करने के लिए हम समीकरण (26. 4) को समय के सापेक्ष समाकलित करते हैं:

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) \qquad (26.6)$$

इस नियम से सबसे महत्वपूर्ण निष्कर्ष यह निकलता है कि N तभी शून्य होगा जब $t = \infty$ होगा। इस प्रकार कोई भी रेडियोधर्मी जनक तत्व बहुत लम्बी अवधि में भी पूर्णतः लुप्त नहीं हो सकता। रेडियोधर्मी क्षय नियम बताता है कि यदि भिन्न रेडियोधर्मी तत्वों की प्रारंभिक संख्या एक ही अर्थात् N_0 है तो भी बाद के किसी क्षण $N(t)$ के मान भिन्न-भिन्न होंगे। ऐसा इसलिए होगा क्योंकि उनके क्षय नियतांक (λ) भिन्न-भिन्न होंगे। इसलिए वे विघटन की भिन्न-भिन्न दरें दर्शाएंगे। इसका परिकलन उनकी अर्ध-आयु ($T_{1/2}$) तथा औसत आयु (T_a) से किया जाता है।

विघटन के मात्रक

क्षय नियतांक की माप का मात्रक प्रति सेकेंड है। किसी क्षण पर किसी रेडियोधर्मी पदार्थ की सक्रियता उस क्षण, उसके विघटन दर से मापी जाती है। इसका *SI* मात्रक बैक्यूरल कहलाता है:

1 बेक्युरल = 1 विघटन प्रति सेकंड

क्षय नियतांक का एक अन्य मात्रक क्यूरी है।

$$1 \text{ क्यूरी } = 3.7 \times 10^{10} \text{ विघटन प्रति सेकंड}$$

एक और मात्रक रदरफोर्ड (rd) है:

$$1 \text{ रदरफोर्ड } = 10^{6} \text{ विघटन प्रति सेकेंड}$$

26.3.5 अर्ध-आयु ($T_{1/2}$)

किसी रेडियोधर्मी तत्व की अर्ध-आयु वह समय-अंतराल है जिसमें उसके जनक रेडियोधर्मी परमाणुओं की संख्या अपनी प्रारंभिक संख्या की आधी रह जाती है।

परिभाषा के अनुसार, समय $t = T_{1/2}$, पर $N = N_{0/2}$ समीकरण (26.2) के प्रयोग द्वारा हम लिख सकते हैं:

$$N_0/2 = N_0 \exp(-\lambda T_{1/2})$$

अथवा $\lambda T_{1/2} = \log_e 2$

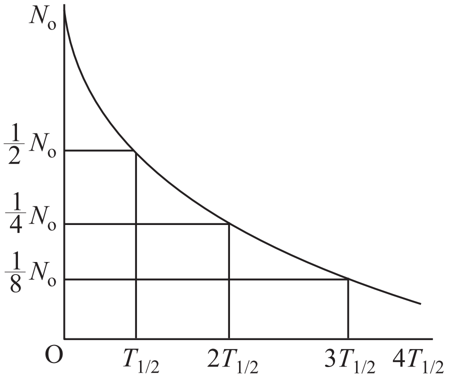
टिप्पणियाँ

अथवा $$T_{1/2} = \frac{\log_e 2}{\lambda}$$

$$= \frac{2.303 \times \log_{10} 2}{\lambda}$$

$$= \frac{2.303 \times 0.3010}{\lambda}$$

$$= \frac{0.693}{\lambda}$$



चित्र 26.5 रेडियोधर्मी क्षय वक्र

इस प्रकार किसी रडियोधर्मी पदार्थ की अर्ध-आयु उसके क्षय-नियतांक की व्युत्क्रमानुपाती होती है और रेडियोधर्मी नाभिक का यह एक अभिलक्षणिक गुण है। ${}^{14}_{6}C$ (रेडियोधर्मी कार्बन) की अर्धआयु 5730 वर्ष है। इसका अर्थ यह हुआ कि ${}^{14}_{6}C$ की 1 g मात्रा को 0.50 g तक घटने में 5730 वर्ष लगेंगे। अगले 5730 वर्षों अर्थात् 11460 वर्षों की कुल अवधि में यह संख्या घटकर $\frac{0.5}{2} = 0.025\,g$ रह जाएगी। रेडियोधर्मी नमूना किस प्रकार विघटित होता है इसे चित्र 26.5 में दिखाया गया है।

उदाहरण 26.4 : मोहनजोदड़ो की खुदाई से प्राप्त एक प्राणी का जीवाश्म कार्बन के एक ग्राम का 9 क्षय प्रतिमिनट की सक्रियता बताता है। इसके आधार पर ज्ञात कीजिए की सिन्धु घाटी सभ्यता कितनी पुरानी है। दिया है कि कार्बन ^{14}C की सक्रियता जीवित प्राणि-प्रतिदर्श के लिए 15 क्षय प्रति मिनट प्रति ग्राम कार्बन है तथा कार्बन (^{14}C) की अर्ध आयु 5730 वर्ष है।

हल : कार्बन ^{14}C, कार्बन का रेडियोधर्मी समस्थानिक है। जीवित प्राणियों में इसका प्रतिशत नियत रहता है। परन्तु मृत्यु होने पर रेडियोधर्मी क्षय के कारण ^{14}C का प्रतिशत घटने लगता है। रेडियोधर्मी क्षय के नियम के अनुसार इसे हम इस प्रकार लिख सकते हैं

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

ताकि $$N/N_0 = \exp(-\lambda t)$$

अथवा $$9/15 = \exp(-\lambda t)$$

अथवा $$\log_e (9/15) = -\lambda t$$

अथवा $$\text{loge}\left(\frac{15}{9}\right) = \lambda t$$

जिससे $$t = 1/\lambda\,[\log_e (15/9)]$$

यहाँ $T_{1/2} = 0.693/\lambda = 5730$ वर्ष। इसलिए

$$t = 2.303 \times (5730/0.693)\,[\log_{10}15 - \log_{10}9]$$

अत:
$$t = 4224.47 \text{ वर्ष}$$

इस प्रकार कार्बन-14 का नमूना 4224.47 वर्ष पहले अस्तित्व में था। अत: सिंधु घाटी सभ्यता का अनुमानित अस्तित्व 4225 वर्ष पूर्व था।

पाठगत प्रश्न 26.3

1. आप किस प्रकार से समझाएंगे कि रेडियोधर्मिता एक नाभिकीय विघटन की परिघटना है?

2. α, β और γ - विकिरणों की आयनीकरण क्षमता एवं वेधन क्षमता की तुलना कीजिए।

3. निम्नलिखित क्षय-समीकरणों में आवेश तथा द्रव्यमान संख्या के संरक्षण नियमों का प्रयोग करते हुए a और b के मानों को ज्ञात करें:

   (i) ${}^{A}_{Z}X = {}^{4}_{2}He + {}^{b}_{a}Y + \gamma$

   (ii) ${}^{4}_{Z}X = {}^{0}_{-1}e + {}^{b}_{a}Y + \gamma$

4. एक रेडियोधर्मी पदार्थ की अर्ध-आयु पांच वर्ष है। कितने समय में इस पदार्थ की 10 g की मात्रा घटकर 2.5g रह जाएगी?

रेडियोधर्मिता के अनुप्रयोग

रेडियोधर्मिता के हमारे दैनिक जीवन में अनेक अनुप्रयोग हैं, जिनमें से कुछ को नीचे बताया जा रहा है

(i) ***चिकित्सा में:*** कैंसर के इलाज (रेडियो-चिकित्सा) में कोबोल्ट के रेडियोधर्मी स्रोत, जिससे X- किरणें उत्सर्जित होती है, का प्रयोग कैंसरकारी कोशिकाओं को नष्ट करने में होता है। एकल रेडियोधर्मी परमाणु के क्षय को एक धारक दीवार के बाहर बहुत दूर पर रखे एक उपकरण द्वारा दर्ज किया जा सकता है। ऐसे उच्च संवेदनशीलता के गुण का उपयोग ट्रेसर टेकनीक कहलाता है तथा इसका उपयोग चिकित्सा क्षेत्र में शरीर के अंदर किसी भाग में व्रण (अल्सर) की पहचान और किस जगह में स्थित है, इसका पता लगाने में किया जाता है। कुछ हानिरहित तत्व, जैसे सोडियम के समस्थानिक $\left({}^{24}_{11}Na\right)$ के कुछ रेडियोधर्मी परमाणुओं को रोगी के शरीर में इन्जेक्शन द्वारा पहुंचाया जाता है। इनकी गति को दर्ज किया जा सकता है। शरीर का प्रभावित भाग रेडियोधर्मी परमाणुओं को अवशोषित कर लेता है जिससे उनकी गति अवरूद्ध हो जाती है। इससे रोगग्रस्त भाग की चिकित्सक अच्छी तरह पहचान कर पाते हैं।

(ii) ***कृषि क्षेत्र में:*** जीवों पर नियंत्रित गामा किरणें डालकर हम फसलों, फलों और सब्जियों की गुणवत्ता और उपज में सुधार ला सकते हैं। भंडारण से पहले उन पर विकिरणों का प्रयोग कर उन्हें क्षति से बचाया जा सकता है।

(iii) ***भूगर्भ विज्ञान में :*** सबसे महत्वपूर्ण उपयोग पुराने जीवाश्मों (फासिल्स) के आयु निर्धारण में होता है। पदार्थों में उपलब्ध जीवित कार्बन की सामान्य सक्रियता लगभग 15 क्षय प्रति मिनट प्रति ग्राम कार्बन पाई जाती है। यह सक्रियता वातावरण में उपलब्ध साधरण कार्बन (C –12) के साथ रेडियोधर्मी कार्बन (C–14) की कुछ मात्रा पाए जाने के कारण होती है। पेड़–पौधे इस समस्थानिक (^{14}C) को वातावरण से प्राप्त करते हैं और यह उन प्राणियों में पहुँचता है जिनका भोजन ही पेड़–पौधे होता है। इस प्रकार समस्त जीव जन्तुओं में उपलब्ध कार्बन का लगभग 10^8 अंश में से एक भाग रेडियोधर्मी कार्बन का होता है। सभी जीवित प्राणियों (जंतु एवं पौधे) की मृतावस्था में उनका वातावरण के साथ संबंध समाप्त हो जाता है क्योंकि वातावरण से कार्बन (14) का अवशोषण नहीं हो पाता है। अत: साम्यावस्था समाप्त हो जाती है और सक्रियता घटने लगती है। इस प्रकार किसी भी नमूने की अनुमानित आयु निर्धारित की जाती है। इसी इसे कार्बन–काल निर्धारण कहते हैं और इसी सिद्धांत के आधार पर पुरातत्व वेत्ता किसी जीवाश्म की आयु निर्धारित करते हैं।

इसी तकनीक का उपयोग भूगर्भीय नमूनों में प्राप्त यूरेनियम अयस्क में उपलब्ध ^{238}U तथा ^{206}Pb की सापेक्षिक मात्राओं को मापकर पृथ्वी की आयु आकलित करने के लिए किया जाता है। मान लीजिए की पृथ्वी की उत्पत्ति के समय प्रारंभिक समय के नमूनों में केवल यूरेनियम ही था और लेड नहीं था। किंतु जैसे-जैसे समय बीतता गया यूरेनियम क्षय के द्वारा लेड में परिवर्तित होता गया। अत: किसी नमूने में उपस्थित लेड की मात्रा उसकी आयु बता सकती है। इस तकनीक के प्रयोग द्वारा पृथ्वी की वर्तमान आयु लगभग 4 अरब वर्ष आंकी गई है।

(iv) ***उद्योगों में :*** भारी मशीनरी के अंदरूनी भागों में छूटी हुई कमियों या अपूर्णताओं को पहचानने के लिए गामा किरणों का प्रयोग किया जाता है। उदाहरण के लिए, यदि अंदरुनी भाग में वायु का बुलबुला रह गया है तो वहाँ पर γ-किरणों का वेधन अधिक होगा।

आपने क्या सीखा

- परमाणु के नाभिक में धनावेशित प्रोटॉन तथा निरावेशित न्यूट्रॉन होते हैं।
- किसी तत्व के परमाणु के नाभिक में उपस्थित प्रोटोनों की संख्या उस तत्व का परमाणु क्रमांक है।
- किसी परमाणु के नाभिक में प्रोटोनों तथा न्यूट्रानों की संख्या का योग उसकी द्रव्यमान संख्या कहलाती है।
- वे परमाणु जिनके परमाणु क्रमांक तो समान होते हैं परंतु उनके द्रव्यमान संख्या भिन्न होते हैं, समस्थानिक कहलाते हैं।

- वे परमाणु जिनकी द्रव्यमान संख्या समान होती है परन्तु उनका परमाणु क्रमांक भिन्न होता है, समभारिक कहलाते हैं।
- वे परमाणु जिनके नाभिको में न्यूट्रॉनों की संख्या समान हो समन्यूट्रॉनिक कहलाते हैं।
- प्रत्येक परमाणु के नाभिक के अंदर स्थित न्युक्लिऑन आपस में तीव्र नाभिकीय आकर्षण बलों से बंधे होते हैं। ये बल लघु परिसर वाले होते हैं और आवेश पर निर्भर नहीं करते हैं।
- नाभिक के न्यूक्लिऑनों का कुल द्रव्यमान, परमाणु के द्रव्यमान से अधिक होता है। द्रव्यमानों के इस अंतर को द्रव्यमान क्षति कहते हैं। बंधन ऊर्जा का यह अनुमापक है।
- नाभिक का साइज (आयतन) उसके न्यूक्लिओनों के कुल द्रव्यमानों पर निर्भर होता है।
- किसी नाभिक से α-कण अथवा β-कण के स्वत: प्रवर्तित उत्सर्जन के बाद अनुगामी γ-विकिरणों का उत्सर्जन रेडियोधर्मिता कहलाता है।
- α-कणों की पहचान हीलियम के नाभिकों के रूप में तथा β-कणों की पहचान द्रुतगामी इलेक्ट्रोनों के रूप में की गई है। γ किरणें छोटी तरंग दैर्ध्य वाली विद्युत-चुम्बकीय तरंगे होती हैं।
- रेडियोधर्मिता क्षय के नियमानुसार, रेडियोधर्मी परमाणुओं के प्रति सेकंड क्षय होने की संख्या विघटन के समय उपस्थित परमाणुओं के संख्या की अनुक्रमानुपाती होती है।
- किसी रेडियाधर्मी पदार्थ की अर्ध-आयु समय का वह अंतराल है जिसमें रेडियोधर्मी परमाणुओं की संख्या अपनी प्रारंभिक संख्या की आधी रह जाती है।
- रेडियोधर्मिता क्षय का चर-घातांकी नियम $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$ है।

पाठांत प्रश्न

1. रेडियोधर्मिता का नमूना कब विघटित होता है?
2. समस्थानिकों और समभारिकों के बीच अंतर स्पष्ट कीजिए।
3. बंधन ऊर्जा प्रति न्यूक्लिऑन तथा द्रव्यमान संख्या के बीच खींचे गए ग्राफ के अभिलक्षण स्पष्ट कीजिए।
4. नाभिकीय बल की क्या प्रकृति होती है? उनके कुछ विशेषताओं को लिखिए।
5. स्पष्ट कीजिए कि किसी रेडियोधर्मी पदार्थ का क्षय नियतांक उसके अर्ध आयु से किस प्रकार का संबंध रखता है।
6. निम्नलिखित शब्दों की परिभाषा लिखिए–

   (i) परमाणु क्रमांक; (ii) द्रव्यमान संख्या; (iii) द्रव्यमान क्षति

   (iv) न्यूक्लिओनों की बंधन ऊर्जा; (v) अर्ध-आयु; (vi) औसत आयु

   (vii) क्षय-नियतांक

7. रेडियोधर्मी क्षय के नियम को स्पष्ट कीजिए।

8. ''कार्बन-काल निर्धारण' क्या होता है? इसकी महत्ता की व्याख्या कीजिए।

9. निम्नलिखित परमाणुओं में न्यूट्रोनों, प्रोटोनों तथा इलेक्ट्रोनों की संख्या ज्ञात करें।

(i) ${}^{23}_{11}Na$; (ii) ${}^{2}_{1}H$; (iii) ${}^{238}_{92}U$; (iv) ${}^{35}_{17}Cl$;

10. निम्नलिखित नाभिकों के लिए द्रव्यमान क्षति और बंधन ऊर्जा का परिकलन कीजिए–

(i) ${}^{4}_{2}He$; (ii) ${}^{7}_{3}Li$; (iii) ${}^{14}_{7}N$;

दिया हुआ है, $1\ u = 1.660566 \times 10^{-27} kg = 931$ MeV, प्रोटॉन का द्रव्यमान $= 1.007276$ u, न्यूट्रॉन का द्रव्यमान $= 1.008665$ u, ${}^{4}_{2}He$ परमाणु का द्रव्यमान $= 4.00260$ u, ${}^{7}_{3}Li$ परमाणु का द्रव्यमान $= 7.01601$ u, ${}^{14}_{7}N$ परमाणु का द्रव्यमान $= 14.00307$ u.

11. यूरेनियम के दो मुख्य समस्थानिकों की वर्तमान प्रचुरता को प्रयोग में लाते हुए तथा यह कल्पना करते हुए कि प्रचुरता अनुपात 1 से अधिक कभी नहीं रहा, भूपर्पटी (क्रस्ट) की अधिकतम संभावित आयु का प्राक्कलन कीजिए। दिया हुआ है कि ${}^{238}U$ और ${}^{235}U$ के मध्य का वर्तमान अनुपात 137.8 : 1 है; ${}^{238}U$ की अर्ध-आयु $= 4.5 \times 10^{9}$ वर्ष; और ${}^{235}U$ की अर्ध-आयु $= 7.13 \times 10^{8}$ वर्ष।

12. किसी रेडियोधर्मी नमूने की सक्रियता 1 घंटे 20 मिनट में उसकी प्रारंभिक मान की $\left(\frac{1}{16}\right)$ रह जाती है। उस नमूने की अर्ध-आयु ज्ञात कीजिए।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

26.1

1.

समस्थानिक	समभारिक	समन्यूट्रॉनिक
${}^{12}_{6}C$ और ${}^{14}_{6}C$	${}^{76}_{32}Ge$ और ${}^{76}_{34}Se$	${}^{2}_{1}H$ और ${}^{3}_{2}He$
${}^{1}_{1}H$, ${}^{2}_{1}H$ और ${}^{3}_{1}H$	${}^{40}_{18}A$ और ${}^{40}_{20}Ca$	${}^{14}_{6}C$ और ${}^{18}_{8}O$
${}^{16}_{8}O$ और ${}^{18}_{8}O$	${}^{76}_{32}Ge$ और ${}^{76}_{34}Se$	${}^{23}_{11}Na$ और ${}^{24}_{12}Mg$
${}^{35}_{17}Cl$ और ${}^{37}_{17}Cl$	${}^{3}_{1}H$ और ${}^{3}_{2}He$	${}^{27}_{13}Al$ और ${}^{28}_{14}Si$
${}^{206}_{82}Pb$ और ${}^{207}_{82}Pb$	${}^{7}_{3}Li$ और ${}^{7}_{4}Be$	${}^{27}_{13}Al$ और ${}^{28}_{14}Si$
${}^{238}_{92}U$ और ${}^{239}_{92}U$		

2. (i) भारी; (ii) द्रव्यमान; (iii) न्यूक्लिऑन; (iv) 14; (v) 14 (vi) परमाणु

3. परमाणु संख्या.

26.2

1. $\Delta m = 1.041358$ u; 969.5 MeV. 2. 2.4×10^{-15}m.

26.3

1. नाभिकीय विघटन में सामान्यत: α या β कणों का उत्सर्जन होता है जिसके परिणामस्वरूप जनक तत्व के परमाणु क्रमांक और द्रव्यमान संख्या में परिवर्तन उत्पन्न होते हैं। α और β कणों के उत्सर्जन से भारी नाभिक अपने द्रव्यमान में कमी कर लेता है। परिणामस्वरूप, थोड़े हल्के द्रव्यमान वाला नाभिक उत्पन्न होता है। इसलिए, यह एक नाभिकीय विघटन की परिघटना है।

2. अयनीकरण क्षमता क्रम–

   $\alpha > \beta > \gamma$

   वेधन क्षमता क्रम–

   $\alpha < \beta < \gamma$

3. i) $a = Z - 2$ और $b = A - 4$

   ii) $a = Z + 1$ और $b = A$.

4. दो अर्ध-आयु का समय लगेगा। एक अर्ध-आयु 10 ग्राम से पांच ग्राम तक घटने में और दूसरी पांच ग्राम से 2.5 ग्राम तक घटने में, अर्थात 10 वर्ष।

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

9. (i) 12, 11, 11 (ii) 1, 1, 1 (iii) 146, 92, 921 (iv) 18, 17, 17

10. (i) 0.034, 28 MeV (ii) 0.044, 37.86 MeV (iii) 0.10854, 101 MeV

11. 6×10^9 वर्ष

12. 20 मिनट

27

नाभिकीय विखंडन एवं संलयन

हम सभी यह जानते हैं कि सूर्य, सतत ऊर्जा प्रदान कर पृथ्वी पर जीवन संभव कर रहा है। सूर्य ऐसा पिछले कई करोड़ वर्षों से करता आ रहा है और आने वाले कई करोड़ वर्षों तक ऐसा करता रहेगा। सूर्य द्वारा विशाल मात्रा में उत्सर्जित इस ऊर्जा का स्रोत क्या है? यह प्रश्न सदैव मानव मस्तिष्क के लिए आकर्षण का केन्द्र बना रहा है। पर अब हमें विश्वस्तता से ज्ञात है कि सूर्य के क्रोड में ऊर्जा, हाइड्रोजन नाभिक के हीलियम नाभिक में, अत्याधिक तापमान पर संलयन के कारण उत्पन्न होती है। यह तथ्य अन्य तारों के लिए भी लागू होता है। किसी संलयन रियेक्टर में इसी तरह की परिस्थितियों के अनुकरण को, आने वाले वर्षों में हमारी ऊर्जा संबंधी सभी आवश्यकताओं के लिए ऊर्जा के परम स्रोत के रूप में देखा जा रहा है।

इसी तरह आपने, ऊर्जा में सुरक्षा एवं तारापुर, कोटा, कैगा, नरोरा, कल्पाकम एवं काकरपरा में स्थित हमारे नाभिकीय रियेक्टरों में विद्युत उत्पादन में नाभिकीय ऊर्जा की भूमिका के विषय में अवश्य पढ़ा होगा। इसी प्रकार आपने समाचार पत्र में पढ़ा होगा कि 6 अगस्त 1945 को जापान के एक बड़े शहर हिरोशिमा में परमाणु बम गिराया गया था जिससे लगभग पूरा शहर कुछ ही क्षणें में नष्ट हो गया एवं लाखों लोग मर गए। इस बम से उत्सर्जित ऊर्जा 20,000 टन टी.एन.टी. (ट्राई नाईट्रो टॉलूईन) के धमाके में उत्सर्जित ऊर्जा के बराबर थी एवं यह बम, मानव इतिहास में एकदम नया था। तब से और अधिक शक्तिशाली (परमाणु, हाइड्रोजन, न्यूट्रॉन) बम निर्मित हो चुके हैं जिनकी विध्वंसक शक्ति कई मेगा टन टी.एन.टी के बराबर है। ऐसा कहा जाता है कि विश्व की महाशक्तियों ने इस तरह से बमों का बड़ी संख्या में संचयन कर रखा है। उनके इस संचय की विध्वंस शक्ति इतनी अधिक है कि यह संपूर्ण पृथ्वी को कई बार नष्ट कर सकती है। ऊर्जा की इस विशाल मात्रा के लिए जो भौतिक प्रक्रिया उत्तरदायी है वह है नाभिकीय विखंडन। अब आप इन प्रक्रियाओं के विषय में जानेंगे।

उद्देश्य

इस पाठ को पढ़ने के पश्चात् आप:

- नाभिकीय अभिक्रियाओं में विभिन्न राशियों के संरक्षण नियमों को बता सकेंगे;

- नाभिकीय शृंखला-अभिक्रिया, नियंत्रित एवं अनियंत्रित विखंडन शृंखला-अभिक्रिया जैसे शब्दों को समझा सकेंगे;
- नाभिकीय रिएक्टर की कार्य-विधि का वर्णन कर सकेंगे; एवं
- तारों में ऊर्जा उत्पादन की क्रियाविधि को समझा सकेंगे।

27.1 रासायनिक एवं नाभिकीय

27.1.1 रासायनिक अभिक्रिया

हम जानते हैं कि सभी पदार्थ परमाणुओं से बने होते हैं। पाठ 26 में आपने पढ़ा कि किसी भी तत्व के रासायनिक गुणों का नियंत्रण, सबसे बाह्य कक्षा में उपस्थित इलेक्ट्रॉन करते हैं। अर्थात्, परमाणु अन्य परमाणु या अणु (परमाणु के समूह) से संयोग करते हैं एवं अपने संयोजक इलेक्ट्रॉन को पुनः व्यवस्थित करते हैं, जिसके साथ-साथ उनकी स्थैतिक ऊर्जा का ह्रास होता है।

अंत:क्रिया करने वाले परमाणु एवं अणु में, संयोजक इलेक्ट्रॉनों की पुनः व्यवस्था के कारण, ऊर्जा या अवशोषण के साथ नए यौगिक अणु के निर्माण को रासायनिक अभिक्रिया कहते हैं। इस प्रक्रिया में नाभिक (न्यूक्लियस) पूर्णतः अप्रभावित रहता है। इतना ही नहीं, आंतरिक कक्षाओं के इलेक्ट्रान भी अप्रभावित रहते हैं।

कार्बन अणु की ऑक्सीजन परमाणु से अंत:क्रिया के द्वारा कार्बन डाइ-ऑक्साइड का बनना रासायनिक अभिक्रिया का उदाहरण है:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 4.08 \text{ eV} \qquad (27.1)$$

इस रासायनिक अभिक्रिया में भाग लेने वाले प्रत्येक कार्बन परमाणु के लिए *4.08* eV ऊर्जा मुक्त होती है। इसे कार्बन डाईऑक्साइड की बंधन ऊर्जा कहते हैं। वे अभिक्रियाएं जिनमें ऊर्जा का उत्सर्जन होता है उन्हें ऊष्माक्षेपी अभिक्रियाएँ कहते हैं। वे रासायनिक अभिक्रियाएं जिन्हें प्रारंभ होने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है उन्हें ऊष्माशोषीय अभिक्रियाएँ कहते हैं। उदाहरण के लिए 4. 03eV ऊर्जा, यदि कार्बन डाईऑक्साइड परमाणु को उपयुक्त परिस्थिति में दी जाए तो वह अपने अव्यवी तत्वों में टूट जाएगा:

$$CO_2 + 4.08\text{eV} \rightarrow C + O_2 \qquad (27.2)$$

जैसे कि समीकरण 27.1 से स्पष्ट हे कि, 4.08 eV की ऊर्जा निकाय से निकल कर CO_2 गैस का निर्माण करती है। अतः CO_2 अणु का द्रव्यमान, C व O_2 के कुल द्रव्यमान से 4.08eV द्रव्यमान तुल्यांक कम होगा। द्रव्यमान के इस ह्रास Δm की गणना समीकरण $E = mc^2$ का उपयोग कर की जा सकती है।

$$\Delta m = \frac{4.08 \times 1.602 \times 10^{-19}}{9 \times 10^{16}} = 7.26 \times 10^{-36} \text{kg} \qquad (27.3)$$

द्रव्यमान में इतने कम/तुच्छ परिवर्तन का पता नहीं लगाया जा सकता है। अत: इसे नगण्य मान कर हम कहते हैं कि रासायनिक अभिक्रिया में द्रव्यमान संरक्षित रहता है, हालांकि द्रव्यमान में तुच्छ परिवर्तन अवश्य रहता है।

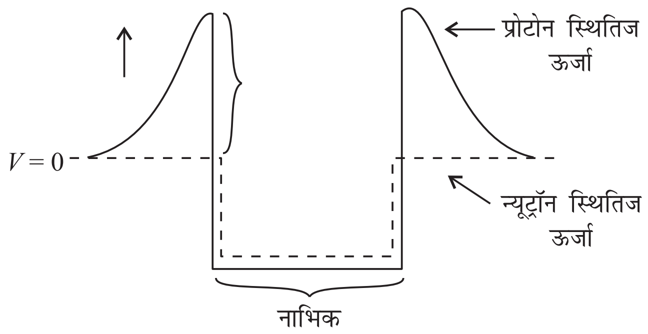
रासायनिक अभिक्रिया में ध्यान रखने योग्य महत्वपूर्ण बिंदू हैं:

- 10 eV की कोटि की ऊर्जा सम्मिलित है।
- द्रव्यमान में ह्रास 10^{-35} kg के क्रम का होता है जो अत्यन्त कम है। अत: हम कहते हैं कि द्रव्यमान संरक्षित रहता है।
- रासायनिक समीकरण के दाहिनी ओर उपस्थित प्रत्येक प्रकार के परमाणुओं की कुल संख्या, समीकरण के बाँई ओर उपस्थित प्रत्येक प्रकार के परमाणुओं की कुल संख्या के सदैव बराबर होती है।

27.1.2 नाभिकीय अभिक्रियाएँ

नाभिकीय अभिक्रियाओं में, अभिकारकों के नाभिक, न कि इलेक्ट्रॉन एक दूसरे से अंत:क्रिया करते हैं। परिणाम के रूप में वे नए तत्व का निर्माण करते हैं।

यह अभिक्रिया नाभिकों का तत्वान्तरण (ट्रान्सम्यूटेशन) भी कहलाती है। पिछले पाठ से आप स्मरण कीजिए जिसमें कहा गया था कि नाभिकीय अभिक्रिया में M eV के तुल्य ऊर्जा का समागम होता है। हम जानते हैं कि परमाणु का सम्पूर्ण आवेश नाभिक में ही संकेन्द्रित होता है जिसका आकार (साइज) लगभग 10^{-15} m होता है। न्यूक्लियस चारो ओर से किसी खास अनुमत कक्षाओं में घूमते हुए इलेक्ट्रॉन द्वारा घिरा रहता है। इनसे प्रबल स्थिर वैद्युत विभव रोधिका (जिसे कूलॉम रोधिका भी कहते हैं) सृजित होती है। जैसा कि चित्र 27.1 में दर्शाया गया है।



चित्र 27.1 : नाभिक के समीप प्रोटोन और न्यूट्रॉन की स्थितिज ऊर्जाएं।

कूलॉम बेरियर का मान कार्बन नाभिक के लिए 3MeV तथा लेड नाभिक के लिए 20 M eV है। इसका तात्पर्य यह हुआ कि नाभिक की ओर लक्षित किसी आवेशित प्रक्षेपक को लक्ष्य नाभिक के कूलॉम रोधिका द्वारा उत्पन्न प्रबल विकर्षण का सामना करना होगा। यदि प्रक्षेपक की गतिज ऊर्जा रोधिका को भेदने के लिए पर्याप्त नहीं है तो वह वापस हो जाएगा और इस प्रकार किसी भी प्रकार की नाभिकीय अभिक्रिया नहीं होगी। कार्बन न्यूक्लियस में प्रोटॉन को

प्रवेश करके तत्वांतरण करने के लिए 3MeV ऊर्जा से अधिक ऊर्जा की आवश्यकता होती है। चूंकि नाभिकीय अभिक्रियाओं में बहुत अधिक ऊर्जा की आवश्यकता होती है, इसीलिए हम अपने दैनिक जीवन में सामान्य ताप और दबाव पर इन नाभिकीय अभिक्रियाओं का अवलोकन नहीं कर सकते।

नाभिकीय तत्वान्तरण या नाभिकीय अभिक्रिया की परिघटना की खोज लार्ड रदरफोर्ड ने सन् 1919 में की थी। उन्होंने नाइट्रोजन गैस पर पोलोनियम स्रोत से प्राप्त 7.7 MeV ऊर्जा के α–कणों की बमबारी कराई। रदरफोर्ड ने अवलोकित किया कि नाइट्रोजन का तत्वान्तरण ऑक्सीजन में हो गया। इस अभिक्रिया में उच्च ऊर्जा वाले प्रोटान की उत्पत्ति होती है:

$$ {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{14}_{17}\text{N} \rightarrow {}^{17}_{8}\text{O} + {}^{1}_{1}\text{H} \qquad (27.5)$$

आक्सीजन के नाभिक और प्रोटान में 6.5 M eV की ऊर्जा समाहित रहती है। इससे स्पष्ट है कि इस अभिक्रिया के लिए किसी बाहरी स्रोत से 1.2 M eV ऊर्जा की आपूर्ति होनी चाहिए। जब बाहर से ऊर्जा ग्रहण की जा रही हो तो ऐसी अभिक्रिया ऊष्मा शोषी अभिक्रिया कहलाएगी। जब एल्युमिनियम पर 7.7 M eV ऊर्जा वाली अल्फा कणों की बमबारी की जाती है (इन कणों को पोलोनियम स्रोत से प्राप्त किया जाता है) तो जो नाभिकीय अभिक्रिया घटित होती है, उससे 10.7 M eV की ऊर्जा उत्पन्न होती है:

$$ {}^{27}_{13}\text{Al} + {}^{4}_{2}\text{He} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^{1}_{1}\text{H} \qquad (27.6)$$

यहाँ पर हम देखते हैं कि निवेशित से अधिक ऊर्जा उत्पन्न और मुक्त हो रही है। इससे इस नाभिकीय अभिक्रिया को ऊष्माक्षेपी (एक्सोथर्मिक) कहते हैं। ध्यान दीजिए कि निवेशित ऊर्जा 7.7M eV थी और अभिक्रिया से 10.7M eV ऊर्जा मुक्त होकर निकल रही है अर्थात् प्रत्येक अभिक्रिया से 3 M eV ऊर्जा की प्राप्ति हो रही है। यह कार्बन परमाणु के दहन से मुक्त होने वाली ऊर्जा से 700, 000 गुना के बराबर है। **पर इस अभिक्रिया का प्रयोग ऊर्जा उत्पादन में नहीं किया जा सकता क्योंकि 1,25,000 आपतित अल्फा कणों में केवल एक कण ही उस अभिक्रिया को क्रियान्वित करने में सफल हो पाता है।** अतः इस अभिक्रिया द्वारा प्राप्त कुल ऊर्जा अभिक्रिया को सम्पन्न कराने में निवेशित ऊर्जा से बहुत ही कम हो जाती है। इस अभिक्रिया में निवेशित ऊर्जा का अपव्यय बहुत हो जाता है।

नाभिकीय अभिक्रिया प्रोटॉनों, ड्यूट्रॉनों, न्यूट्रॉनों के अलावा अन्य हल्के (नाभिकों) द्वारा भी शुरू हो सकती है। **इन सब में न्यूट्रॉन सर्वोत्तम प्रक्षेपक पाया गया है। इसका कारण है न्यूट्रॉनों का उदासीन होना जिसके कारण उन्हें कूलॉमी विकर्षण का सामना नहीं करना पड़ता।** इस प्रकार से समतापीय न्यूट्रॉन (अर्थात् जिनकी ऊर्जा 0.0253 eV हो) लक्ष्य नाभिक को भेदकर नाभिकीय अभिक्रिया को सम्पन्न कर सकता है।

प्रोटॉनों, ड्यूटॉनों तथा न्यूट्रॉनों द्वारा उत्पन्न की जाने वाली नाभिकीय अभिक्रियाओं के कुछ प्रारूपिक उदाहरण हैं–

$$ {}^{6}_{3}\text{Li} + {}^{1}_{1}\text{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\text{He} + {}^{4}_{2}\text{He} \qquad (27.7)$$

$$ {}^{10}_{5}\text{B} + {}^{2}_{1}\text{H} \rightarrow 3\,{}^{4}_{2}\text{He} \qquad (27.8)$$

टिप्पणियाँ

$$^{10}_{5}B + n \rightarrow ^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}He \qquad (27.9)$$

रासायनिक अभिक्रियाओं की तरह नाभिकीय अभिक्रियाएँ भी संरक्षण के नियमों का पालन करती हैं। इन नियमों का उल्लेख नीचे किया जा रहा है।

27.1.3 नाभिकीय अभिक्रियाओं के लिए संरक्षण नियम

- *अभिकारकों की द्रव्यमान-संख्याओं का योग सदैव उत्पादों (प्रोड्क्टस) की द्रव्यमान संख्याओं के योग* के बराबर होता है। समीकरण (27.7) में द्रव्यमान संख्या 7 = 3 + 4 = 6 + 1 संरक्षित रहती है।
- अभिकारकों के परमाणु क्रमांकों का योग सदैव उत्पादों के परमाणु क्रमांकों के योग के बराबर होता है। समीकरण (27.7) में परमाणु क्रमांक 4 = 3 + 1 = 2 + 2 संरक्षित रहता है।
- नाभिकीय अभिक्रिया ऊर्जा संरक्षण नियम का पालन करती है। हम जानते हैं कि द्रव्यमान भी संकेन्द्रित ऊर्जा ही होता है। अतः निवेश गतिज ऊर्जा तथा अभिकारकों के द्रव्यमान का योग निर्गत गतिज ऊर्जा तथा उत्पादों के द्रव्यमान के योग के बराबर होता है।
- नाभिकीय अभिक्रियाएं संवेग संरक्षण नियम का भी पालन करती हैं। परिणामस्वरूप, गतिज ऊर्जा का वितरण समान रूप से सभी उत्पाद नाभिकों में होता है।

पाठगत प्रश्न 27.1

1. सभी समीकरणों को पूरा कीजिए

   (a) $^{19}_{9}F + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{16}_{8}O + ?$

   (b) $^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow ? + ^{4}_{2}He$

   (c) $^{234}_{90}Th \rightarrow ^{234}_{91}Pa + ?$

   (d) $^{63}_{29}Cu + ^{2}_{1}D \rightarrow ^{64}_{30}Zn + ?$

2. निम्नलिखित नाभिकीय अभिक्रियाओं में मुक्त हुई ऊर्जा का परिकलन करें

   $^{10}_{5}B + ^{2}_{1}D \rightarrow 3\,^{4}_{2}He + Q$

   दिया हुआ है– $m(^{10}B)$ = 10.01294 u; $m\left(^{2}_{1}D\right)$ = 2.014103 u, और $m(^{4}_{2}He)$ = 4.002604 और u.

3. $^{14}_{7}\text{N}$ नाभिक पर α कणों की बमबारी करने से $^{17}_{8}\text{O}$ उत्पन्न होता है। इस नाभिकीय अभिक्रिया का समीकरण लिखिए तथा मुक्त हुई ऊर्जा का परिकलन कीजिए

दिया है : $m\left(^{14}_{7}\text{N}\right) = 14.003014\,\text{u}$; $m\left(^{17}_{8}\text{O}\right) = 16.999138\,\text{u}$; $m\left(^{4}_{2}\text{He}\right) = 4.002604$ u; $m\left(^{1}_{1}\text{H}\right) = 1.007825$ u और α–कण की ऊर्जा = 7.7MeV.

27.2 नाभिकीय विखंडन

विखंडन के खोज की कहानी बड़ी रोचक है। सन् 1938 में एनरिको फर्मी, ऑटो हैन एवं अन्य वैज्ञानिकों ने परायूरेनियम तत्वों (जिनके परमाणु क्रमांक 92 से अधिक होते हैं), जो प्रकृति में नही पाए जाते, को उत्पन्न करने के लिए यूरेनियम के नाभिक पर कम गति वाले न्यूट्रॉनों की बमबारी कराई। जब आपतित न्यूट्रॉनों को यूरेनियम नाभिक ने प्रग्रहण कर लिया तब उसके नाभिक में न्यूट्रोन-प्रोट्रोन का अनुपात भी बढ़ गया। इस अनुपात को कम करने के प्रयास में यहाँ अपेक्षा की जा रही थी कि संभवतः यूरेनियम β–सक्रिय हो जाएगा। अर्थात् एक न्यूट्रॉन निश्चित रूप से ऐसा व्यवहार करेगा मानो कि वह प्रोटॉन में परिवर्तित हो गया हो। परिणामस्वरूप β-कण के साथ निम्न समीकरण के अनुसार कुछ ऊर्जा भी मुक्त होनी चाहिए:

$$^{238}_{92}\text{U} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{239}_{93}\text{Np} + ^{0}_{-1}\text{e} + \text{Q} \qquad (27.10)$$

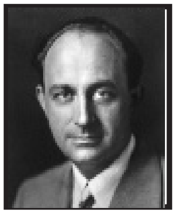
इस अभिक्रिया में 93 परमाणु क्रमांक वाले एक नए परायूरेनियम तत्व के निर्माण की अपेक्षा की जा रही थी। वास्तव में, फर्मी और उसके सहयोगी शोधकर्ताओं ने β–क्रियाशीलता अवलेकित की। जिसकी अर्ध–आयु का मान यूरेनियम के आसपास के भारी तत्वों के अर्ध–आयु के ज्ञात मानों से एकदम अलग था। इन प्रेक्षणों से फर्मी और उसके साथियों ने निष्कर्ष निकाला कि परायूरेनियम तत्व का उत्पादन हुआ था और इस तत्व की पहचान के लिए उन्होंने कुछ रासायनिक विश्लेषण किया किन्तु असफल रहे।

उसी वर्ष में ऑटो हैन एवं फ्रिज स्ट्रॉसमैन ने अनेक प्रयोग किए और इस तथ्य को स्थापित किया कि बेरियम एक मध्यवर्ती द्रव्यमान संख्या वाला तत्व ही इस अभिक्रिया में बनता है न कि परायुरेनिक तत्व और इस अभिक्रिया में लगभग 200 MeV ऊर्जा भी मुक्त होती है। यह अप्रत्याशित परिणाम कि धीमी गति से यूरेनियम नाभिक पर न्यूट्रॉन की बमबारी से बेरियम नामक तत्व उत्पन्न होता है, उस समय की नाभिकीय भौतिकी विज्ञान की जानकारी को अचम्भे में डाल दिया क्योंकि उस समय की यह बहुत बड़ी विरोधात्मक खोज थी। इस पूरे खोज की रिपोर्ट सुप्रतिष्ठित पत्रिका 'नेचर' में दिसम्बर 1938 में प्रकाशित हुई थी।

लिज़ मिटनर, एवं ओटोफ्रिश नाम के वैज्ञानिकों ने इस परिणामों को परमाणु नाभिक के द्रव बूंद मॉडल द्वारा (लिक्विड ड्राप मॉडल ऑफ न्यूक्लियस) समझाया। व्याख्या करते हुए इन वैज्ञानिकों ने इस अभिक्रिया को ''नाभिकीय विखंडन'' से नामजद किया। उन्होंने इस नाम की युक्ति जीव–विज्ञान में प्रयुक्त अभिक्रियात्मक शब्द ''कोशिका विखंडन' से प्रयुक्त किया था। कालान्तर में बोहर और व्हीलर ने नाभिकीय विखंडन में मुक्त होने वाली ऊर्जा का परिकलन किया और साथ ही साथ इस ''द्रव बूंद मॉडल'' के भौतिकीय आधार को स्थापित किया।

टिप्पणियाँ

एनरिको फर्मी
(1901 – 1954)



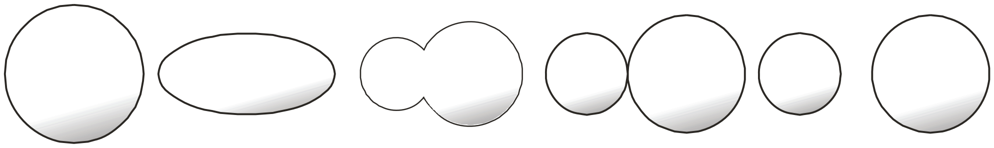
एनरिको फर्मी इटली देश में पैदा हुए भौतिकीविद् थे। नाभिकीय ऊर्जा का मानव कल्याण के लिए शान्तिपूर्ण अनुप्रयोगों के लिए आप ही उत्तरदायी थे। उन्होंने यह प्रदर्शित किया कि किसी भी तत्व को यदि न्यूट्रॉन की धारा से बमबारी कराएंगे तो उसमें रूपान्तरण (ट्रान्सफारमेशन) हो सकता है। स्वयं-पोषित एवं प्रचालित नाभिकीय विखंडन श्रृंखला अभिक्रिया को 1942 में उन्होंने साकार रुप दिया।

फर्मी जब केवल 25 वर्ष की उम्र के थे तब उन्होंने फर्मी-डिराक सांख्यिकी को सूत्रबद्ध किया था। यह सांख्यिकी अर्द्ध पूर्णाकीय स्पिन मान रखने वाले कणों (जिन्हें फर्मियॉन कहते हैं) के लिए लागू होती है। इनकी कम उम्र में ही मृत्यु हो गई। मृत्यु से कुछ वर्ष पूर्व तक वे ब्रह्माण्डीय विकिरण संबंधी सैद्धान्तिक अध्ययन में व्यस्त थे।

27.2.1 नाभिकीय विखंडन की प्रक्रिया

सन् 1939 में बोहर एवं व्हीलर ने नाभिकीय विखंडन के सिद्धांत का विकास नाभिकीय बलों की उन बलों के साथ अनुरुपता के प्रयोग द्वारा किया जो अणुओं को किसी द्रव में परस्पर बांधते हैं। उन्होंने पूर्वानुमान लगाया कि ${}^{238}_{92}U$ की तुलना में ${}^{235}_{92}U$ अधिक विखण्डनीय होता है। चित्र 27.2 का अवलोकन करें। यह तापीय न्यूट्रानों द्वारा ${}^{235}_{92}U$ के निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त नाभिकीय विखंडन को दर्शाता है:

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{141}_{36}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3{}^{1}_{0}n + Q \qquad (27.11)$$

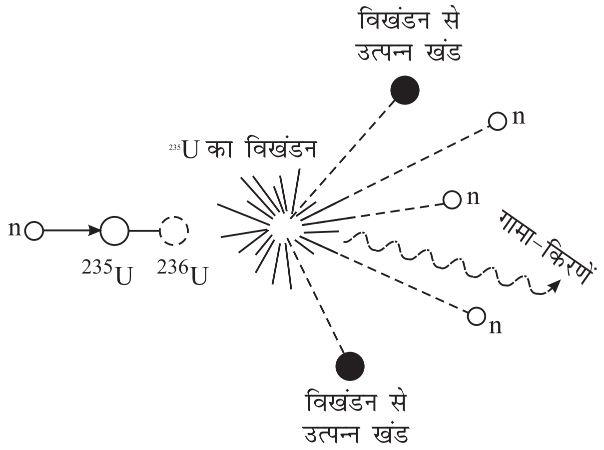


चित्र 27.2: द्रव-बूंद मॉडल के अनुसार किसी नाभिक का विखंडन

उत्सर्जित न्यूट्रॉन की ऊर्जा कुछ MeV कोटि की होती है तथा $Q \simeq 200 MeV$

ध्यान दीजिए कि जैसे ही न्यूट्रॉन का नाभिक में अवशोषण (केप्चर) हुआ उसके 10^{-17} सेकंड में विखंडन की घटना हो जाती है तथा विखंडित न्यूट्रॉनों का उत्सर्जन घटना के 10^{-14} सेकंड पश्चात् प्रारंभ हो जाता है। इसके अलावा विखंडित टुकड़े भी असमान द्रव्यमान के होते हैं; एक टुकड़ा दूसरे की तुलना में 1.5 से 2 गुना तक भारी होता है। समीकरण (27.11) चालीस संभावित प्रकार के विखंडनों जिनके द्वारा ${}^{235}_{92}U$ यूरेनियम न्यूक्लियस का विखंडन हो सकता है, में से केवल एक को ही दर्शाता है। इसका आशय यह हुआ कि ${}^{235}_{92}U$ के विखंडन से मध्यवर्ती द्रव्यमानों वाले लगभग 80 भिन्न नाभिक उत्पन्न होते हैं। भारी विखंडित टुकड़े

125-150 के बीच के द्रव्यमान परास में होते हैं जिनका उच्चिष्ठ 140 के आसपास होता है जबकि हल्के विखांडित टुकड़े 80-100 के बीच के द्रव्यमान परास में होते हैं जिनका उच्चिष्ठ 95 के आसपास होता है। उत्सर्जित न्यूट्रॉनों की संख्या 2 या 3 होती है किन्तु औसतन न्यूट्रोन जो ^{235}U के विखण्डन में उत्सर्जित होते हैं वे 2.54 है।



चित्र 27.3 : नाभिकीय विखंडन

बोहर एव व्हीलर की मान्यता थी कि परमाणु नाभिक एक द्रव की बूंद की तरह समरूप गोलाई आकृति लिए (अपनी सबसे कम ऊर्जा की स्थिति में) सन्तुलन में बना रहता है। उनके अनुसार जब एक तापीय न्यूट्रॉन का न्यक्लियस द्वारा अवशोषण हो जाता है तो इस न्यूट्रॉन की बन्धन ऊर्जा, जो ^{235}U के लिए 6.8 Mev प्रति परमाणु द्रव्यमान इकाई मुक्त होती है। यह मुक्त हुई ऊर्जा न्यूक्लियस को उत्तेजित कर देती है जिससे उसकी आकृति (शेप) विकृत हो जाता है। जहाँ पृष्ठ-तनाव बल पुरानी आकृति को कायम रखने में प्रयासरत रहता है वहीं कूलॉम बल उसे विकृत करने में लगा रहता है। इस खींचा-तानी में नाभिक गोल आकृति तथा डम-बेल आकृतियों के बीच दोलायमान रहता है। इसे चित्र 27.2 में दिखाया गया है। जब दोलनों के बीच का आयाम (एम्पलीचूड) बढ़ जाता है तब कम परास (रेंज) वाला नाभिकीय आकर्षण बल डमबेल के सिरों के बीच घट जाता है। इन दोनों सिरों के बीच प्रतिकर्षण बल घटे हुए नाभिकीय आकर्षण बल से अधिक होते ही नाभिक के दोनों सिरे अलग-अलग विखंडित हो जाते हैं।

ऐसा पदार्थ जैसे $^{235}_{92}U$ यूरेनियम जिसका विखंडन तापीय न्यूट्रॉन द्वारा होता है, विखंडनीय पदार्थ कहलाता है। अन्य विखंडनीय पदार्थ के उदाहरण हैं $^{233}_{90}Th$ (थोरियम), $^{233}_{92}U$ और $^{239}_{93}Pu$ इत्यादि। आप पाएंगे कि इन सभी पदार्थों के नाभिक विषम द्रव्यमान संख्या वाले होते हैं और इनके परमाणु क्रमांक सम संख्या वाले होते हैं।

$^{235}_{92}U$ के विखंडन में मुक्त हुई ऊर्जा का परिकलन उसके नाभिक के विखंडन में द्रव्यमान क्षति (मास डिफेक्ट) को ज्ञात करके किया जा सकता है। इसे सारिणी 27.1 में दिया गया है:

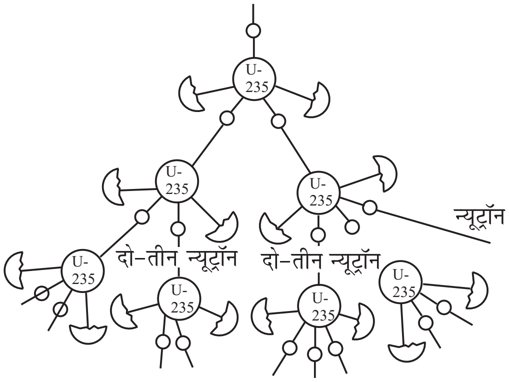
टिप्पणियाँ

सारिणी 27.1: नाभिकीय अभिक्रिया में उत्पन्न हुई ऊर्जा

अभिकारक	द्रव्यमान	उत्पाद	द्रव्यमान
^{235}U	235.0439u	$^{141}_{56}Ba$	140.9139u
^{1}n	1.008665 u	$^{92}_{36}Kr$	91.8973u
		$3\times Vn$	3.025995u
कुल द्रव्यमान	236.052565u	कुल द्रव्यमान	235.837195u
द्रव्यमान क्षति	0.21537u		
मुक्त हुई ऊर्जा	$0.21537\times931\simeq200\,MeV$		

27.2.2 नाभिकीय श्रृंखला अभिक्रिया

अब आप जान चुके हैं कि जब एक न्यूट्रॉन का $^{235}_{92}U$ नाभिक द्वारा प्रग्रहण होता है तो उसका विखंडन दो भागों में हो जाता है और 2 या 3 न्यूट्रॉन उत्पन्न होते हैं। इनमें विखंडन की प्रक्रियाको आगे बढ़ाने की क्षमता होती है। इसने विखंडन श्रृंखला अभिक्रिया को पोषित करने की एक रोमांचक संभावना प्रस्तुत की जिसमें प्रत्येक विखण्डन प्रक्रिया में एक न्यूट्रॉन प्रयुक्त होता है और इनके स्थान पर दो से अधिक न्यूट्रॉन आ जाते हैं। जब न्यूट्रॉनों की दर उनकी क्षति की दर के बराबर हो जाती है तो प्रक्रिया स्वतः पोषित एवं स्वतः स्फूर्त हो जाती है। ऐसी युक्ति जिसका निर्माण स्वतः स्फूर्त एवं नियन्त्रित श्रृंखला अभिक्रिया को पोषित करने के लिए किया जाता है, *नाभिक रियेक्टर* कहलाता है।



चित्र 27.4 : नाभिकीय श्रृंखला अभिक्रिया

नाभिक रिएक्टर उद्देश्यों के अनुसार वर्गीकृत होते हैं। नाभिक शक्ति रिएक्टर का उपयोग विद्युत उत्पादन के लिए होता है। एक शोध रिएक्टर का प्रयोग चिकित्सीय उद्देश्यों, अधिशोधन के लिए किए जाने वाले प्रयोगों या अनुप्रयुक्त शोध के लिए रेडियो समस्थानिकों के उत्पादन के लिए किया जाता है। भारत में भी इनका वर्गीकरण द्रुतगामी (फास्ट) और तापीय रिएक्टर के रूप में करते हैं जो इस बात पर आधारित है कि विखण्डन अभिक्रिया के लिए प्रयुक्त न्यूट्रॉन की ऊर्जा कितनी है। भारत में तापीय शक्ति रिएक्टर तारापुर, नरोरा, कोटा, कैगा आदि में स्थित हैं। तमिलनाडु के समुद्र तटीय कलापक्कम स्थान पर भारत एक द्रुत प्रजनक शोध रिएक्टर को विकसित कर रहा है।

आगे के खण्ड में आपको नाभिकीय रिएक्टर पर विशेष किन्तु संक्षिप्त जानकारी दी जाएगी।

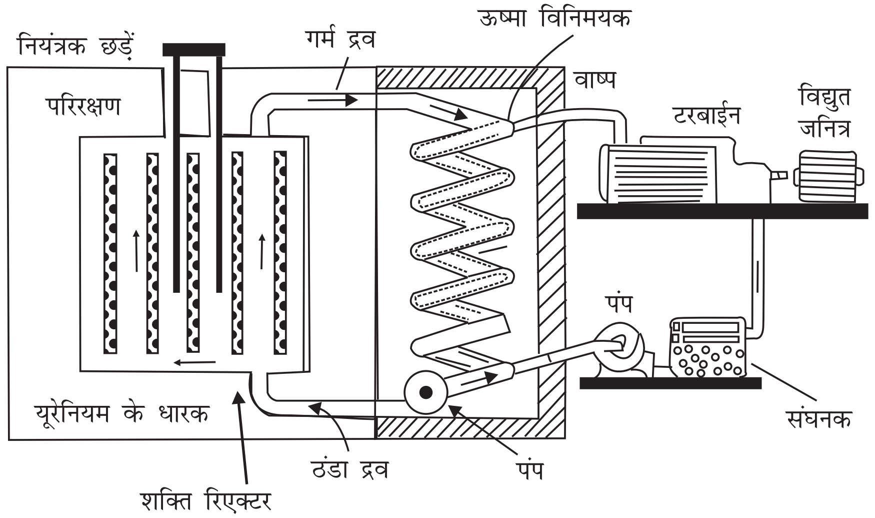
27.3 नाभिकीय रिएक्टर

शिकागो विश्वविद्यालय (संयुक्त राष्ट्र अमेरिका) में फर्मी एवं उसके सहयोगियों द्वारा जब सर्वप्रथम नाभिकीय रिएक्टर का निर्माण किया गया तब से आज तक पूरे विश्व में ऊर्जा-आपूर्ति के प्रयास

में बहुत बड़ी संख्या में नाभिकीय रिएक्टरों का निर्माण हो चुका है। कुछ देशों में तो लगभग 70% बिजली का उत्पादन न्यूक्लियर रिएक्टरों द्वारा होता है, भारत में नाभिकीय शक्ति का प्रयोग मात्र 3% ही है परंतु प्रयास किए जा रहे हैं कि इसका योगदान और बढ़ाया जा सके। ठीक-ठीक आंकड़ों में व्यक्त किया जाये तो हम भारत में 20,000 MW विद्युत-शक्ति नाभिकीय रिएक्टरों द्वारा उत्पन्न करते हैं।

नाभिकीय रिएक्टरों की विशाल जटिल संरचना होती है तथा इसके डिज़ाइन में काफी सावधानी और सतर्कता की जरूरत होती है। सैद्धान्तिक रूप से न्यूक्लियर रिएक्टर और विद्युत (पावर) संयंत्र में समरूपता होती है। नाभिक विखण्डन से उत्पन्न तापीय ऊर्जा को किसी शीतलक जैसे कि जल को ईंधन से प्रवाहित करके अधिक दाब और ताप पर वाष्प में बदला जाता है। (तापीय विद्युत संयंत्र में भी कोयले को ईंधन के रूप में जलाकर वाष्प उत्पन्न की जाती है जिससे विद्युत पैदा करने वाले टरबाइन संचालित होते हैं। चूंकि एक बार की विखण्डन की अभिक्रिया में जो ऊर्जा उत्पन्न होती है वह कोयले को जलाने से उत्पन्न ऊर्जा से 7×10^5 गुना अधिक होती है। नाभिकीय ऊर्जा के प्रयोग द्वारा ग्रीन हाउस गैसों के उत्सर्जन में अभूतपूर्व कमी लाई जा सकती है। यद्यपि नाभिक ऊर्जा शक्ति के संयंत्र के संचालन एवं निर्माण में राजनैतिक एवं सामाजिक परिप्रेक्ष्य में कुछ जटिल समस्याओं को, जिनका वैश्विक स्तर पर भी प्रभाव पड़ता है, सुलझाना या सामंजस्य स्थापित करना अनिवार्य होता है, इन्हीं सब समस्याओं के परिप्रेक्ष्य में हमारी राष्ट्रीय नीति ऊर्जा विकल्पों में नाभिकीय ऊर्जा का क्या स्थान होगा, इस पर अन्तिम निर्णय करेगी।

विद्युत शक्ति उत्पादन में न्यूक्लियर रिएक्टर से प्राप्त ऊर्जा को वाष्प बनाने में प्रयुक्त करते हैं। इस भाप को जनरेटर का टरबाइन चलाने में प्रयोग करते हैं। परन्तु शोधकार्य के लिए प्रयुक्त न्यूक्लियर रिएक्टर में बनी ऊष्मा को समीपस्थ नदी अथवा समुद्र के जल में छोड़ा जाता है। मुम्बई स्थित भाभा एटॉमिक रिसर्च सेन्टर तथा कलपक्कम स्थित इन्दिरा गाँधी रिसर्च सेन्टर, दोनों स्थानों में क्रमशः अरब सागर एवं बंगाल की खाड़ी में ऊष्मा को छोड़ दिया जाता है।



चित्र 27.5 : नाभिकीय रिएक्टर का व्यवस्थात्मक आरेख

किसी रिएक्टर के सामान्य लक्षणों को चित्र 27.5 में दर्शाया गया है। सभी नाभिकीय रिएक्टरों में निम्नलिखित घटक होते हैं:

- **रिएक्टर :** यह वह आन्तरिक भाग है जहाँ नाभिकीय विखण्डन की अभिक्रिया सम्पन्न होती रहती है। इससे ऊर्जा मुक्त होती है। इसके अन्दर ईंधन छड़ें ग्रेफाइट के बने मन्दक में जड़ी रहता हैं तथा नियंत्रक छड़ें होती हैं। इन नियंत्रक छड़ों द्वारा श्रृंखला अभिक्रिया को एक निर्धारित स्तर पर कायम रखा जाता है। नियंत्रक छड़ों में केडमियम या बोरॉन का प्रयोग किया जाता है।
- शीतलक को विखंडन से प्राप्त ऊर्जा को अवशोषित करने के लिए संचारित किया जाता है। सामान्यत:, भारी जल या सामान्य जल का प्रयोग शीतलक के रुप में किया जाता है
- **एक रिफ्लेक्टर (परावर्तक)** होता है जो क्रोड के बगल में रखा रहता है। इसका मुख्य उद्देश्य क्रोड से न्यूट्रॉनों का रिसाव रोकना होता है।
- **प्रेशर-वेहसल:** यह एक विशेष प्रकार का पात्र होता है जिसके अन्दर रिएक्टर की संपूर्ण असेम्बली रखी जाती है। कुछ इंच मोटी परत वाली स्टेनलेस स्टील का प्रयोग इस प्रेशर वेहसल में होता है।
- **परिरक्षक (शील्ड):** रिएक्टर क्रोड से निकलने वाली रेडियोधर्मी विकिरणों से वैज्ञानिकों एवं सहयोगियों को सुरक्षा कवच के रूप में एक मोटी कंक्रीट की दीवार रिएक्टर की पूरी संरचना (असेम्बली) के चारो ओर बनाई जाती है ओर उसे सीसे (लेड) की पर्त से आच्छादित कर दिया जाता है।
- रिएक्टर भवन: सम्पूर्ण नाभिकीय रिएक्टर को अपनी संरचनात्मक (एसेम्बली यूनिट के साथ एक ऐसे भवन में स्थापित किया जाता है जो पूर्णत: वायुरुद्ध (एयर टाइट) हो तथा वहाँ दबाव सामान्य वातावरणीय दाब से कम रखा जाता है ताकि पूरी तरह एयर टाइट रहे।

ऊष्मा, जो रिएक्टर क्रोड भवन में विखण्डन अभिक्रिया से उत्पन्न होती है, उसे बाहर निकालने के लिए किसी शीतलक (कूलेंट) की आवश्यकता होती है जिसे चित्र में दर्शाए अनुसार संचारित किया जाता है। तप्त कूलेन्ट को एक तापीय विनिमयक (हीट एक्सचेंज) से संचारित किया जाता है जहाँ तप्त शीतलक अपना ताप ठंडे जल को प्रदान करता है और इससे पानी की वाष्प बनती है। इस वाष्प का प्रयोग टरबाइन-जनरेटर को संचालित करने के लिए किया जाता है। टरबाइन को चलाने के पश्चात भाप पुन: संघनक (कन्डेन्सर) में आती है और पुन: जल में परिवर्तित हो जाती है। यह जल पुन: ऊष्मा विनिमायक में चला जाता है।

पाठगत प्रश्न 27.2

1. ${}^{238}_{92}U$ यूरेनियम का नाभिक एक न्यूट्रोन को अवशोषित करने के पश्चात् β–सक्रिय क्यों हो जाता है?
2. निम्नलिखित में से कौन-सा नाभिक विखण्डनीय है– ${}^{238}_{92}U$, ${}^{141}Ba$, ${}^{239}Pu$, और ${}^{12}_{6}C$
3. जब ${}^{235}_{92}U$ के विखण्डन में कितनी ऊर्जा मुक्त होती है?

27.3 नाभिकीय संलयन

अब आप जानते हैं कि यूरेनियम के नाभिक को हलके नाभिकों में पृथक किया जा सकता है और ऐसा करने में भारी मात्रा में ऊर्जा मुक्त होती है। अब आप पूछ सकते हैं: यदि हम हल्के नाभिकों को मिला दें तो क्या ऊर्जा उत्पन्न होगी? इस प्रश्न के उत्तर को ढूंढ़ने के लिए आइए हम प्रति न्यूक्लिआन बंधन ऊर्जा (BE/A) वक्र (चित्र 26.2) का अवलोकन करें। आप पाएंगे कि जैसे-जैसे हम हाइड्रोजन से हीलियम तत्व की ओर बढ़ेंगे प्रति न्यूक्लिओन बंधन ऊर्जा में भी वृद्धि होती जाएगी। इसका मतलब यह हुआ कि हाइड्रोजन की अपेक्षा हीलियम अधिक स्थिर है। अब निम्नलिखित समीकरण पर ध्यान दें–

$$ {}_1^2D + {}_1^2D \rightarrow {}_2^4He + Q $$

आप बड़ी आसानी से अभिकारकों एवम् उत्पादों के बंधन ऊर्जा का अवकलन कर सकते हैं:

अभिकारकों की कुल बंधन ऊर्जा $BE_1 = 2 \times 2.22 = 4.44 MeV$

उत्पादों की कुल बंधन ऊर्जा $BE_2 = 28.295 \text{ MeV}$

$$Q = (BE_2 - BE_1) \simeq 24 MeV$$

ध्यान दें कि इस अभिक्रिया में प्रति न्यूक्लिओन मुक्त ऊर्जा $24/4 = 6 MeV$ है, जो नाभिकीय विखण्डन अभिक्रिया से उत्पन्न ऊर्जा $(200/238 = 0.83 \text{ MeV})$ का लगभग 7 गुना है।

वह प्रक्रिया जिसमें दो हल्के नाभिक परस्पर मिलकर अर्थात् संलयित होकर एक भारी नाभिक का निर्माण करते हैं, नाभिकीय संलयन कहलाती है।

नाभिकीय संलयन प्रक्रिया अपने आपको अधिक उपयुक्त संभावित ऊर्जा विकल्प के रूप में प्रस्तुत करती है। यह बात अलग है कि नाभिकीय संलयन की अभिक्रिया को कार्यान्वित करना नाभिकीय विखण्डन की अभिक्रिया के मुकाबले ज्यादा कठिन है। इसका प्रमुख कारण दोनों ड्यूट्रॉनों का धनावेशित होना है। इसलिए संलयन प्रक्रिया में पास आकर मिलने की जगह वे प्रत्याकर्षित हो जाते हैं। प्रत्याकर्षण इतना प्रबल होता है कि अभिक्रिया होना साधारणतया असंभव सा लगता है।

इस अभिक्रिया को संभव बनाने के लिए ड्यूट्रॉनों को लगभग 10 मिलियन केल्विन ताप तक तापित किया जाता है जिसके कारण उसकी गतिज ऊर्जा इतनी अधिक बढ़ जाती है कि ड्यूट्रॉन के नाभिक उस प्रत्याकर्षण बल को लांघकर हीलियम के नाभिक में संलयित हो जाते हैं। परन्तु इतने अधिक-ताप को निरंतर बनाए रखना तथा अभिकारकों को साथ रखने की समस्या आज तक बनी हुई है। अब वह समय दूर नहीं रहा जब इस ऊर्जा स्रोत के दोहन के लिए नियंत्रित ताप नाभिकीय अभिक्रिया को संपन्न करना संभव हो पाएगा।

ड्यूटारियम (भारी हाइड्रोजन) के लगभग अक्षय भण्डार समुद्र में विद्यमान हैं। यदि एक बार इस स्रोत का दोहन शुरू कर दें तो ऊर्जा की समस्या का स्थायी समाधान मिल जाएगा। इससे हम कम लागत में बिजली की असीमित आपूर्ति प्राप्त कर सकेंगे और वह भी बिना किसी प्रदूषण की समस्या के। ऐसा इसलिए है क्योंकि एक ग्राम ड्यूटीरियम 100,000 kwh की ऊर्जा देता है।

27.3.1 सूर्य और तारों में ऊर्जा

हमारे सूर्य के समान तारों का द्रव्यमान बहुत अधिक होता है। वे पिछले अरबों वर्षों से लगातार असीमित ऊर्जा का उत्सर्जन करते आ रहे हैं।

इतनी विशाल ऊर्जा पारंपरिक ईंधन जैसे कि कोयले के जलाने से कभी भी प्राप्त नहीं की जा सकती। नाभिकीय विखण्डन की अभिक्रिया भी इतनी ऊर्जा उत्पन्न नहीं कर सकती क्योंकि सूर्य में भारी तत्व अधिक मात्रा में नहीं पाए जाते। सूर्य में प्रमुख रूप से हाइड्रोजन और हीलियम गैस होती हैं। तब आप यह जानना चाहेंगे कि सूर्य में ऊर्जा का कौन सा स्रोत है? यह प्रश्न मानव मस्तिष्क में सदियों से उठता रहा है। बपचन में आपने भी निम्न शिशु गीत को याद करते समय आकाश को निहारा होगा: ट्विन्कल ट्विन्कल लिटिल स्टार, हाऊ आई वन्डर व्हाट यू आर।

आप जानते होंगे कि अपने विशाल द्रव्यमान के कारण सूर्य बहुत शक्तिशाली गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र उत्पन्न करता है। यह प्रबल क्षेत्र सूर्य के घटक गैसों को बहुत अधिक दबाव से सम्पीड़ित करता है। परिणामस्वरूप, सूर्य के केन्द्र में ताप करोड़ों केल्विन तक जा पहुँचता है। अनुमान लगाया जाता है कि सूर्य के केन्द्र में विद्यमान ताप लगभग दो करोड़ (20 मिलियन) केल्विन के बराबर होता है। इतने उच्च दबाव एवम् ताप पर गैस के अणु बड़ी उच्च चाल से गतिमान होकर आपस में टकराते हैं जिससे ताप-नाभिकीय अभिक्रिया प्रारंभ हो जाती है और विशाल मात्रा में ऊर्जा मुक्त होती है।

बेथे ने यह प्रस्तावित किया कि हाइड्रोजन नाभिकों का हीलियम में संलयन ही तारों में ऊर्जा के उत्पादन के लिए उत्तरदायी होता है:

$$4\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\,{}^{0}_{+1}\mathrm{e} + Q$$

अर्थात् संपूर्ण संलयन की अभिक्रिया में चार हाइड्रोजन के नाभिक हीलियम के नाभिक में संलयित हो जाते हैं, साथ ही दो पॉजिट्रॉनों (इलेक्ट्रॉन जैसे सूक्ष्म कण जिनका द्रव्यमान इलेक्ट्रॉन के बराबर किन्तु आवेश धनात्मक होता है) के मुक्त होने के साथ 26.8 MeV की ऊर्जा भी मुक्त होती है। एक ताप-नाभिकीय अभिक्रिया में विपुल परिणाम में मुक्त होने वाली ऊर्जा ही तारों में ऊर्जा स्रोत का कार्य करती है। अनुमान के अनुसार सूर्य में विद्यमान हाइड्रोजन अभी इतनी मात्रा में उपलब्ध है कि वह सूर्य को 8 अरब वर्षों तक प्रकाशमान रख सकती है।

पाठगत प्रश्न 27.3

1. ${}^{235}_{92}\mathrm{U}^{5}$ यूरेनियम के एक नाभिक के विखण्डन से 200 MeV ऊर्जा मुक्त होती है और 4 प्रोटोनों के संलयन (फ्यूज़न) से 26.8 MeV ऊर्जा निकलती है। इन दोनों में से कौन-सी अभिक्रिया में प्रति इकाई द्रव्यमान (पर यूनिट मास) अधिक ऊर्जा निकलती है?
2. निम्नलिखित अभिक्रियाओं पर विचार कीजिए।

   (*a*) ${}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{7}_{3}\mathrm{Li} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + Q$.

(b) ${}^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H + 4MeV.$

प्रथम अभिक्रिया में Q का मान और द्वितीय अभिक्रिया में ट्रीशियम का द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।

दिया हुआ है कि $m\left({}^{2}_{1}H\right) = 2.014103u, m\left({}^{4}_{2}H\right) = 4.002604u, m\left({}^{1}_{1}H\right) = 1.007825u$ और

$m\left({}^{7}_{3}Li\right) = 7.015982u.$

27.4 नाभिकीय ऊर्जा

हमारी सभी आर्थिक गतिविधियों के लिए हमें ऊर्जा की आवश्यकता होती है। प्रति-व्यक्ति खपत की जाने वाली ऊर्जा की मात्रा किसी भी देश की प्रगति की परिचायक है। 2007 की यूनेस्को रिपोर्ट में दिए गए एक अनुमान के अनुसार हम हमारी धरती माता द्वारा पैदा किए जाने वाले भोजन, पानी और ऊर्जा से 40% अधिक मात्रा में उपभोग कर रहे हैं। वस्तुतः मानव समाज लगातार ऊर्जा की सुरक्षात्मक एवं विश्वसनीय उपलब्धता के बारे से कोशिशें करता रहा है और इसीलिए नए-नए ऊर्जा स्रोतों की खोज करता रहा है। अत्यधिक खपत एवं ऊर्जा के प्रयोग से हमारे पारंपरिक ऊर्जा स्रोत घटते रहे हैं और हो सकता है आनेवाले 100 वर्षों में पूर्णतः समाप्त हो जाएं। नाभिकीय ऊर्जा शायद आगामी भविष्य की जरूरतों को पूरा कर सकने का एक महत्वपूर्ण विकल्प सिद्ध होगा जिसे हम शान्तिपूर्ण अनुप्रयोगों में लगा सकते हैं। आइए इस पर चर्चा करें।

27.4.1 शान्तिपूर्ण अनुप्रयोग

नाभिकीय ऊर्जा का सर्वश्रेष्ठ अनुप्रयोग विद्युत-शक्ति के उत्पादन में होता है। नाभिकीय शक्ति संयंत्र के अनेकों लाभों में से प्रमुख लाभ यह है कि इस संयंत्र में किसी भी तापीय-विद्युत उत्पादक संयंत्र में लगने वाले पारंपरिक ईंधन जैसे किसी इंधन की आवश्यकता नहीं होती है। दूसरा लाभ यह है कि अन्य संयंत्रों में जहाँ पारंपरिक ईंधन जैसे गैस या कोयले का प्रयोग होता है जिससे उत्पन्न धुआं एवं राख पर्यावरण को बहुत अधिक प्रदूषित करते हैं, इन नाभिकीय ऊर्जा संयंत्रों में न धुआँ और न राख उत्पन्न होता है। अतः बिजली शक्ति उत्पादन पूर्णतः प्रदूषण रहित होता है। जो ईंधन परमाणु भट्टी (रिएक्टर) में प्रयुक्त होता है उसे एक बार भट्टी में डाल दिया जाए तो लगातार छः महीनों तक ऊर्जा उत्पादन होती रहती है। इसी विशेषता के कारण नाभिकीय ऊर्जा संयंत्रों का अनुप्रयोग बड़े-बड़े समुद्री जहाजों एवं पनडुब्बियों को विद्युत शक्ति प्रदान कने के लिए होता है।

परमाणु भट्टी (रिएक्टर) में प्रयोग के बाद बचा ईंधन काफी रेडियोधर्मी हो जाता है क्योंकि इसमें बहुत मात्रा में रेडियोआइसोटोप्स मौजूद होते हैं। भारत में अवशिष्ट ईंधन के पुनः प्रयोग के लिए शोधन की तकनीक विकसित हो चुकी है। इस शोधन की तकनीक से प्रयुक्त ईंध न के अवशेष से अनेक रेडियो आइसोटोप्स निकाल लिए जाते हैं जिनका अनुप्रयोग विभिन्न क्षेत्रों जैसे कृषि, औषधि, उद्योग एवं शोधकार्य (रिसर्च) में होता है। रेडियो एक्टिव कचरा को उचित और सुरक्षित तरीके से निष्कासित किया जाता है। इन रेडियाधर्मी टुकड़ों से विकिरण के प्रसार को इधर-उधर खुली जगह या जल में जाने से रोकने के लिए इन्हें भारी मोटी परत

वाली स्टील केस में बन्द करके या तो नमक की गहरी खदानों में या जमीन की काफी गहराई में गाड़ दिया जाता है। परमाणु ऊर्जा के हानिकारक या कहें विध्वंसकारक क्षमता एवं प्रभाव ने तीव्र प्रतिरोध एवं विवाद खड़े किए। इसका नमूना 6 अगस्त 1945 में देखने को मिल चुका है। परमाणु बम को जापान देश के हिरोशिमा में गिराने से बहुत कम समय में हजारों-लाखों लोगों की मृत्यु हो गई। इसके कुछ वर्षों पश्चात इससे भी अधिक विनाशकारी हाइड्रोजन एवं नाइट्रोजन बम तैयार कर लिए गए जो इस समूचे पृथ्वी को अनेक बार विनष्ट करने की क्षमता रखते हैं।

भारत में नाभिकीय शक्ति

भारत को स्वतंत्रता मिलने के कुछ ही वर्षो बाद डा. होमी जहाँगीर भाभा (एच.जे. भाभा) ने सर्वप्रथम नाभिकीय ऊर्जा को सार्वजनिक उपयोग में लाने की संभावना की पहचान एवं पहल की। उन्होंने देश की परमाणु शक्ति की आवश्यकताओं की आपूर्ति को ध्यान में रखते हुए, एक त्रिचरणीय विकास की योजना रूपरेखा तैयार की। ये तीन चरण हैं:

- बिजली को उत्पादित करने के लिए प्राकृतिक यूरेनियम का ईंधन के रूप में उपयोग करके दाबित भारी जलरिएक्टरों का निर्माण जिनसे प्लूटोनियम एक उप उत्पाद के रूप में प्राप्त होता है।
- प्लूटोनियम के दहन से तीव्र प्रजनक रिएक्टर स्थापित करना और इस तरह थोरियम से U-233 प्राप्त करना
- उपरोक्त द्वितीय चरण में और विकास लाते हुए अधिक से अधिक विखण्डनीय पदार्थों का ब्रीडर रिएक्टर में उत्पादन।

भारत में नाभिक शक्ति का उत्पादन वाणिज्यिक रूप में, 14 छोटे रिएक्टरों तथा 1 मध्य आकार के रिएक्टर द्वारा किया जा रहा है। इसके अलावा 8 रिएक्टर अभी निर्माण की प्रक्रिया में हैं तथा और भी रिएक्टरों के निर्माण की योजना चल रही है। अब तक जो नाभिकीय ऊर्जा विकसित हुई है उससे 2×10^{10}kWh की बिजली मिल रही है जो कुल उपलब्ध क्षमता का मात्र 3% ही है।

सरकारी नीति के अनुसार 2020 तक 20GWe की नाभिकीय क्षमता प्राप्त करना है और 2050 तक नाभिकीय ऊर्जा के योगदान को 3% से बढ़ाकर 25% तक लाने की योजना है।

पाठगत प्रश्न 27.4

1. भारत में किस प्रकार के रिएक्टर विद्युत उत्पादन के लिए प्रयोग में लाए जा रहे हैं?
2. एक परमाणु बम में $^{235}_{92}U$ का कितनी मात्रा में विखण्डन होता है जिससे 20,000 टन TNT के समतुल्य ऊर्जा का विस्फोट हो? (दिया गया है कि 1 g TNT लगभग 1000 कैलोरी ऊष्मा देता है।

टिप्पणियाँ

27.4.2 नाभिकीय विकिरण के खतरे एवं सुरक्षा-उपाय

सजीव एवं निर्जीव पदार्थ, जो हमारे चारों ओर के परिवेश में व्याप्त हैं, उनसे ही हमारे पर्यावरण का निर्माण होता है। हमारे इस पर्यावरण में पेड़-पौधे, जीव-जन्तुओं, जलीय जीव तथा मानव जीवन के बीच एक नाजुक संतुलन करोड़ों वर्षों से बना हुआ है। अब इस संतुलन के बिगड़ने का खतरा उत्पन्न हो गया है। बहुत से कारणों के बीच सबसे बड़ा खतरा बढ़ता हुआ प्रदूषण है। पर्यावरण में विद्यमान प्रदूषण के कारकों में सबसे खतरनाक कारक जिसका दीर्घकालीन दुष्प्रभाव जैविक जगत में हो सकता है वह है नाभिकीय विकिरण। प्रकृति में विद्यमान रेडियोधर्मी खनिजों से उत्सर्जित विकिरण तथा अन्तरिक्ष से आपतित विकिरण तो हमारे पर्यावरण में बहुत पहले से ही व्याप्त हैं। किन्तु इनकी मात्रा में मानव निर्मित स्रोतों से उत्तरोत्तर वृद्धि हो रही है। वर्तमान में नाभिकीय विकिरणों के प्रधान मानव-निर्मित स्रोत हैं :

नाभिकीय परीक्षण, नाभिकीय शोधकार्य के उद्देश्यों के लिए स्थापित किए जा रहे विभिन्न प्रकार की नाभिकीय संरचनाएं, नाभिकीय रिएक्टर, एवं रेडियो समस्थानिकों का बीमारियों के इलाज में व्यापक पैमाने पर प्रयोग।

नाभिकीय विकिरण जीवित कोशिकाओं की जटिल संरचनाओं को आयनीकृत कर उनका विनाश कर देता है। इनसे कैंसरकारी वृद्धि हो सकती है, वंध्यापन आ सकता है खतरनाक त्वचा दाह उत्पन्न हो सकते हैं तथा बीमारियों के प्रति शरीर की प्रतिरोधकता घट सकती है। विकिरण आनुवंशिक प्रक्रिया को, विशेष रुप से अजन्में शिशुओं में, छिन्न-भिन्न कर देता है और अपना दुष्प्रभाव आने वाली पांच पीढ़ियों तक छोड़ जाता है। प्रत्यक्ष दुष्प्रभाव के अलावा नाभिकीय विकिरण का परोक्ष प्रभाव हमारे पेड़-पौधों एवं जलीय प्राणियों पर भी पड़ता है। यह विकिरण वनस्पति, मछलियों एवं जीव-जंतुओं को नष्ट करता है।

नाभिकीय विकिरण द्वारा क्षति, शरीर के खुले हुए अंगों के साथ-साथ विकिरण की ऊर्जा तीव्रता एवं प्रकृति पर भी निर्भर करती है। मानव शरीर के विभिन्न अंगों की विकिरण के गति अलग-अलग संवेदनशीलता होती है। α-कण अपनी उच्च आयनन शक्ति के कारण बहुत क्षतिकारक होते हैं। विभिन्न प्रकार के विकिरणों की क्षतिकारक क्षमता की तुलना उनकी आपेक्षिक जैव प्रभावशीलता (रिलेटिव बायलॉजिकल इफेक्टिवनेस) से की जाती है जिसे आर बी ई गुणक कहते हैं। विभिन्न कणों/किरणों के लिए इन गुणाकों के मान सारणी 27.3 में दिए गए हैं।

प्राकृतिक पदार्थों से उत्पन्न विकिरणों पर तो कोई नियंत्रण नहीं हो सकता। किन्तु वे सभी प्रयास तो किए ही जा सकते हैं जिनसे मानव-निर्मित रेडिएशन के स्रोतोंसे विकिरण को कम किया जा सके। इनमें से कुछ निम्नवत प्रयास हो सकते हैं:

- नाभिकीय विस्फोटों को टालना
- रेडियो आइसोटोप्स के उत्पादन में कमी लाना
- कारखानों के कचरों में जिनमें रेडियोधर्मी न्युक्लिआइडों के सूक्ष्म अंश हों, उनका निष्पादन अत्यन्त सावधानी से करना।

सारणी 27.2 : कुछ हल्के नाभिकों की प्रति न्युक्लियॉन बंधन ऊर्जा (BE/A)

न्युक्लियॉन	*BE/A*(MeV में)
^{2}D	1.11
^{3}T	2.827
^{3}He	2.573
^{4}He	7.074
^{6}Li	5.332
^{7}Li	6.541

- नाभिकीय चिकित्सा की दवाएं, और रेडिएशन द्वारा उपचार तभी करना चाहिए जब और कोई विकल्प ही नहीं बचा हो और इसकी मात्रा भी उचित विचार-विमर्श के बाद ही सुनिश्चित करना चाहिये।

आपने क्या सीखा

- रासायनिक अभिक्रिया में संयोजी इलेक्ट्रोन भाग लेते हैं और इस अभिक्रिया में सम्मिलित ऊर्जा 10 eV कोटि की होती है।
- नाभिकीय अभिक्रिया में नाभिकीय कणों द्वारा अन्योन्यक्रिया (इन्टरएक्शन) से नए तत्व का निर्माण होता है।
- नाभिकीय अभिक्रिया में सम्मिलित ऊर्जा MeV कोटि की होती है।
- नाभिकीय अभिक्रिया में परमाणु संख्या, द्रव्यमान संख्या और आवेश संरक्षित रहते हैं।
- जब किसी भारी नाभिक (जैसे यूरेनियम) पर धीमी गति के न्यूट्रॉनों द्वारा बमबारी कराई जाती है तो यह भारी नाभिक 2 भागों में विभक्त हो जाता है तथा 2-3 न्यूट्रोन मुक्त होते हैं और इसके साथ-साथ 200MeV शक्ति की ऊर्जा भी मुक्त होती है। इस अभिक्रिया को नाभिकीय विखण्डन कहते हैं।
- ऐसे पदार्थ जो विखण्डन की प्रक्रिया में विखण्डित होते हैं, इन्हें विखण्डनीय पदार्थ कहते हैं। ^{233}Th, ^{233}U, ^{235}U, और ^{239}Pu इसके उदाहरण हैं।
- श्रृंखला अभिक्रिया तब ही हो पाती है जब एक से अधिक उत्सर्जित न्यूट्रॉन विखण्डन की अभिक्रिया में प्राथमिक विखण्डन को अभिप्रेरित करता हुआ श्रृंखला की अभिक्रिया को स्वरूप देता है।
- न्यूक्लियर रिएक्टर एक ऐसी युक्ति है जिसके द्वारा नियंत्रित श्रृंखला अभिक्रिया स्वत: स्फूर्ति के साथ चलता रहे।
- नाभिकीय संलयन में दो हल्के नाभिक आपस में घुलमिल कर एक हो जाते हैं।
- नाभिकीय संलयन को उत्पन्न करने के लिए अभिकारक नाभिकों को 20 मिलियन (2 करोड़) केल्विन ताप पर तपाया जाता है। इस ताप से नाभिकीय कणों में पर्याप्त गतिज ऊर्जा आ जाती है और ये कूलॉम बेरियर को आसानी से पार कर लेते हैं।
- तारों में ऊर्जा उत्पादन नाभिकीय संलयन अभिक्रिया द्वारा होता है।
- हाइड्रोजन की जितनी मात्रा की खपत सूर्य में होती है वह लगभग 400×10^6 टन प्रति सेकन्ड के बराबर होती है।
- रेडियो आइसोटोप्स के विभिन्न अनुप्रयोग कृषि, औषधि एवं उद्योग के क्षेत्रों में होते हैं।

पाठान्त प्रश्न

1. नाभिकीय अभिक्रिया किस प्रकार से रासायनिक अभिक्रिया से भिन्नता रखती है?
2. विखण्डन रिएक्टर में मंदक (माडरेटर) और अवशोषक (एब्सोर्बर) के क्या उपयोग हैं?
3. बन्धन ऊर्जा प्रति न्यूक्लिओन तथा द्रव्यमान संख्या ग्राफ के आधार पर नाभिकीय संलयन की अभिक्रिया को समझाइये।
4. नाभिकीय अभिक्रिया क्या है? इस नाभिकीय अभिक्रिया के अन्तर्गत संरक्षण नियमों का अनुपालन होता है उसे स्पष्ट कीजिए। नाभिकीय अभिक्रियाओं के तीन उदाहरण दीजिए।
5. नाभिकीय विखण्डन क्या है? उदाहरण सहित अपने उत्तर पर प्रकाश डालें।
6. कितनी मात्रा (किलोग्राम) में ^{235}U की आवश्यकता होगी जो 100 मेगावाट की शक्ति लगातार 30 दिनों तक उत्पन्न कर सके।
7. भारी हाइड्रोजन में निम्नलिखित संलयन की अभिक्रिया होती है–

   $${}^{2}_{1}D + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{4}_{2}He + 24\ MeV$$

   उपरोक्त समीकरण में दर्शाए गए ऊर्जा के उत्पादन के लिए कितनी मात्रा में भारी हाइड्रोजन की आवश्यकता होगी–इसका परिकलन कीजिए।
8. नाभिकीय संलयन क्या है? अपने उत्तर को स्पष्ट करने के लिए नाभिकीय संलयन का एक समीकरण लिखें।
9. सूर्य में ऊर्जा का कौन सा स्रोत है? यह ऊर्जा किस प्रकार उत्पन्न होती है? उदाहरण के द्वारा इस पर प्रकाश डालें।
10. परमाणु रिएक्टर की संरचना का वर्णन कीजिए।
11. निम्नलिखित समीकरण जिस संलयन अभिक्रिया को दर्शा रहा है, उसमें मुक्त होने वाली ऊर्जा का परिकलन करें–

    $$3\,({}^{4}_{2}He) \rightarrow {}^{12}_{6}C$$

    दिया है–एक α-कण का द्रव्यमान = 4.00263u.

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

27.1

1. a. ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{16}_{8}O + {}^{4}_{2}He;$ b. ${}^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{24}_{11}Na + {}^{4}_{2}He;$

c. $^{234}_{90}Th \rightarrow ^{234}_{90}Pa + ^{0}_{-1}e;$ d. $^{63}_{29}Cu + ^{2}_{1}D \rightarrow ^{64}_{30}Zn + ^{1}_{0}n$

2. 17.9MeV

3. $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H + 6.5MeV.$

27.2

1. *n*/*p* के अनुपात में वृद्धि उसके स्वभाविक अनुपात से होने के कारण उसका स्थायित्व घट जाता है। अतः इस अनुपात को घटाने के लिए, क्योंकि तभी स्थायित्व प्राप्त हो सकता है, यह β-कण को उत्सर्जित करता है।

2. 239Pu

3. 200 MeV.

27.3

1. (1) विखंडन में उत्सर्जित होने वाली ऊर्जा 0.84 MeV/u जबकि संलयन में यह 6.7 MeV/u है। इस प्रकार प्रति इकाई द्रव्यमान के लिए उत्सर्जित ऊर्जा संलयन में अधिक है।

2. (*a*) 17.3 MeV, (b) 2.69 MeV.

27.4

1. दाबित भारी जल रिएक्टर 2. लगभग 1 kg

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

6. 30.6 kg 7. 146.6 g 11. 7.35 MeV

उच्चतर माध्यमिक पाठ्यक्रम

भौतिकी

विद्यार्थी मूल्यांकन पत्र – 7

अधिकतम अंक : 50 **समय : $1\frac{1}{2}$ घंटा**

निर्देश

- सभी प्रश्नों के उत्तर कागज की पृथक शीट पर दीजिए।
- अपनी उत्तर पुस्तिका पर निम्नलिखित सूचनाएं दीजिए
  - नाम
  - पंजीयन संख्या
  - विषय
  - मूल्यांकन पत्र संख्या
  - पता
- अपने मूल्यांकन पत्र का मूल्यांकन अपने अध्ययन केन्द्र के विषयाध्यापक से करायें ताकि आपको उनसे अपने कार्य के संबंध में धनात्मक प्रतिक्रिया प्राप्त हो सके।

अपना मूल्यांकन पत्र NIOS को न भेजें

1. हाइड्रोजन परमाणु की प्रथम एवं द्वितीय कक्षाओं की ऊर्जाओं में क्या अनुपात होता है? (1)
2. 1 eV को जूल में व्यक्त कीजिए। (1)
3 1 u को किलोग्राम में व्यक्त कीजिए। (1)
4. द्रव्य की तरंग प्रकृति हमारे दैनंदिन प्रेक्षणों में व्यक्त क्यों नहीं होती? (1)
5. जब किसी रेडियोएक्टिव पदार्थ का द्रव्यमान कम होता है तो उसकी औसत आयु पर क्या प्रभाव पड़ता है? (1)
6. नाभिकीय विखंडन अभिक्रिया में मंदक की क्या भूमिका होती है? (1)
7. आपाती विकिरणों का तरंगदैर्ध्य बढ़ाने से फोटो इलक्ट्रॉनों के वेग में क्या परिवर्तन होता है? (1)
8. समस्थानिक एवं समभारिकों में विभेद कीजिए। (1)
9. 200V के विभवान्तर पर त्वरित किसी इलेक्ट्रॉन का द ब्रॉग्ली तरंगदैर्ध्य ज्ञात कीजिए। (2)
10. उदाहरण देकर रासायनिक एवं नाभिकीय अभिक्रियाओं में अन्तर कीजिए। (2)
11. बोर के हाइड्रोजन परमाणु संबंधी सिद्धान्त के अभिगृहीत लिखिए। (2)

12. दर्शाइए कि किसी नाभिक का घनत्व उसकी द्रव्यमान संख्या पर निर्भर नहीं करता है। (2)

13. किसी रेडियोएक्टिव पदार्थ की अधार्यु एवं औसत आयु में अन्तर लिखिए। उस रेडियोएक्टिव पदार्थ की अर्ध-आयु बताइये जो 16 दिन में अपने प्रारंभिक द्रव्यमान का $\frac{1}{8}$ रह जाता है। (4)

14. ''किसी मूल कण के आवेश (e) अथवा द्रव्यमान की तुलना में इसका विशिष्ट आवेश $\left(\frac{e}{m}\right)$ अधिक महत्वपूर्ण भौतिक राशि होती है।'' इस कथन के समर्थन में उदाहरण दीजिए। (4)

15. निम्नलिखित नाभिकीय अभिक्रियाओं के समीकरण लिखिए:

(a) $^{286}_{88}\mathrm{Ra}$ का अल्फा-क्षय

मॉड्यूल - 8
अर्द्धचालक युक्तियाँ एवं संचार

28 अर्द्धचालक एवं अर्द्धचालक युक्तियाँ

29 अर्द्धचालक युक्तियों के अनुप्रयोग

30 संचार तंत्र

28

अर्द्धचालक एवं अर्द्धचालक युक्तियाँ

जब से आदमी ने गुफाओं से निकलकर सभ्यताओं का निर्माण किया उसकी आरामदायक जीवन की इच्छा भी लगातार प्रबल होती गयी है। आग एवं पहिये के आविष्कार मानव इतिहास में निर्णायक मोड़ सिद्ध हुए। सम्भवतः अगला बड़ा परिवर्तन 'धूसर क्रांति' के रूप में हुआ जिसने संचार आवागमन के साथ जीवन-शैली को ही बदल दिया। अपने घर में बैठे ही हम अपने प्रियजनों से महासागरों एवं महाद्वीपों के पार वीडियो कॉन्फ्रेन्सिंग द्वारा जुड़ सकते हैं।

इस सबको संभव बनाने के लिए ठोस इलेक्ट्रॉनिकी युक्तियों ने महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। इलेक्ट्रॉनिकी विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी की वह शाखा है, जिसमें कुछ विशिष्ट कार्यों को करने के लिए इलेक्ट्रॉनों की गति को समायोजित किया जाता है। वैज्ञानिको ने पदार्थों की वैद्युत प्रकृति का अध्ययन किया है और ऊर्जा बैंडों की अवधारणा का विकास किया है, जिसके पदों में ठोसों का चालकों, अर्द्ध चालकों एवं विद्युतरोधियों में वर्गीकृत किया जा सकता है। इलेक्ट्रॉनिकी युक्तियों के विकास के लिए प्रायः अर्द्ध चालक उपयोग में लाए जाते हैं। सिलिकन एवं जर्मेनियम सर्वाधिक प्रचलित अर्द्धचालक पदार्थ हैं। सामान्यतः एक अर्द्धचालक की चालकता का मान धातुओं एवं अचालाकों की चालकताओं के मध्य में कहीं होता है। परम शून्य (Absolute zero) ताप पर अर्द्धचालक पूर्णतया अचालक की तरह ही व्यवहार करता है। अर्द्धचालक की चालकता कुछ विशेष अशुद्धियों के अपमिश्रण से अत्यंत प्रभावित होती हैं। अपमिश्रित किए जाने वाले इन तत्वों को ***डोपेंट*** कहते हैं।

इस अध्याय में आप विभिन्न प्रकार के अर्द्धचालक, उनके व्यवहार तथा उनसे निर्मित युक्तियों यथा जेनर डायोड, सौर सेल, फोटो डायोड, प्रकाश उत्सर्जक डायोड तथा ट्रांजिस्टर इत्यादि के बारे में पढ़ेंगे। इस अध्याय में आप जेनर डायोड, प्रकाश उत्सर्जक डायोड, फोटो डायोड एवं सौर सेल के I-V अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के विषय में भी अध्ययन करेंगे।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के बाद आप:

- ऊर्जा बैंड क्या हैं और वे किस प्रकार चालकों, कुचालकों और अर्द्ध चालकों का वर्गीकरण करने हेतु प्रयुक्त किए जा सकते हैं, की व्याख्या कर पाएंगे;

- (i) नैज (शुद्ध) एवं बाह्य एवं (ii) n-प्रकार तथा p-प्रकार के अर्द्धचालकों में विभेद कर सकेंगे;
- p–n संधि डायोड में अवक्षय-क्षेत्र तथा विभव-प्राचीर की संरचना समझा पाएंगे;
- p–n संधि डायोड की अग्र एवं उत्क्रम अभिनतियों में I-V अभिलाक्षणिक वक्र का आरेख बना पाएंगे;
- विभिन्न प्रकार के डायोड-जेनर डायोड, प्रकाश उत्सर्जक डायोड, फोटो डायोड और सौर सेल और उनके I-V अभिलाक्षणिक वक्रों के विषय में समझा पाएंगे।
- ट्रांजिस्टर की कार्य-विधि का वर्णन कर सकेंगे;
- ट्रांजिस्टर के विभिन्न क्षेत्रों के आकार, कार्य एवं अपमिश्रण का उन पर प्रभाव बता पाएंगे;
- $p-n-p$ तथा $n-p-n$ ट्रांजिस्टरों के बीच अन्तर बता सकेंगे;
- विभिन्न विन्यास अथवा व्यवस्थायें जिनमें ट्रांजिस्टर को जोड़ा जा सकता है तथा उनके निवेशी एवं निर्गम अभिलक्षण की व्याख्या कर पाएंगे तथा
- निवेश/निर्गम प्रतिरोध, उपयोगों तथा अनुप्रयोगों के आधार पर ट्रांजिस्टर के विभिन्न विन्यासों की तुलना कर सकेंगे।

28.1 ठोसों में ऊर्जा बैंड

परमाणु की संरचना का अध्ययन करते समय आपने सीखा था कि एक विलगित परमाणु में इलेक्ट्रॉन कुछ विविक्त, सुपरिभाषित ऊर्जा अवस्थाओं में विद्यमान रहते हैं। जब दो परमाणु स्थाई संरचना निर्मित करने के लिए एक-दूसरे के पास आते हैं और उनके बीच की दूरी (x) उनके व्यास (d) से कम होने लगती है तो ये ऊर्जा अवस्थाएं एक-दूसरे पर अध्यारोपित होने की ओर प्रवृत्त होती हैं, जो कि पाऊली के अपवर्जन नियम के कारण वर्जित होता है। अत: ये ऊर्जा अवस्थाएं परिवर्धित हो जाती हैं और प्रत्येक अन्योन्यक्रियाकारी ऊर्जा अवस्था के संगत दो अलग-अलग ऊर्जा अवस्थाएं निर्मित हो जाती हैं। एक अवस्था सामान्य ऊर्जा अवस्था से थोड़ी कम हो जाती है, जिसे बंधकारी अवस्था कहते हैं और दूसरी अवस्था सामान्य ऊर्जा अवस्था से थोड़ी अधिक हो जाती है, जिसे बंध रोधकारी अवस्था कहा जाता है।

ठोसों में परमाणुओं की अत्यंत बड़ी संख्या (प्रारूपिकत: 10^{23} परमाणु प्रति घन सेंटीमीटर) पास-पास आकर क्रिस्टल की रचना करती है। यदि N परमाणु अन्योन्य क्रिया करते हैं तो प्रत्येक ऊर्जा अवस्था के संगत 2N ऊर्जा अवस्थाएं निर्मित हो जाएंगी। ये सभी ऊर्जा अवस्थाएं एक-दूसरे के इतने पास होती हैं ($\Delta E \sim 10^{-23}$ eV) कि व्यावहारिक रूप में हम उनकी अलग-अलग पहचान नहीं कर सकते। ऊर्जा अवस्थाओं का यह सतत प्राय: वितरण, जिनमें अलग-अलग होते हुए भी व्यवहारत: भेद नहीं किया जा सकता, ऊर्जा बैंड कहलाता है।

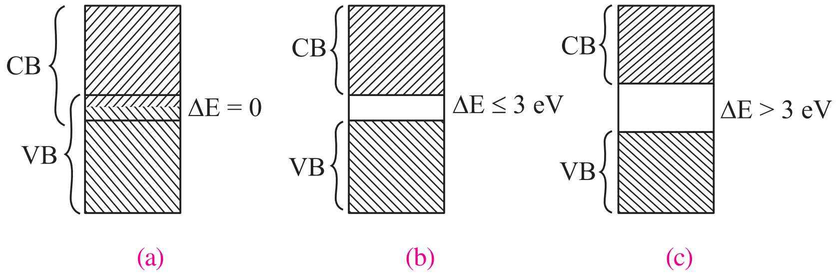
ऊर्जा-अवस्थाओं के बीच अन्योन्यक्रियाओं की यह प्रक्रिया (और परिणामस्वरूप ऊर्जा बैंडों का बनना) बाहरी बिना भरी ऊर्जा अवस्थाओं से शुरू होकर अंदर संयोजकता बैंडों की ओर जाती है। बिना भरी ऊर्जा अवस्थाओं से निर्मित बैंड चालन बैंड कहलाते हैं और फिर भरी

हुई संयोजकता अवस्थाओं से निर्मित बैंड संयोजकता बैंड कहलाते हैं। इन दो बैंडों की साम्य प्राथक्य पर पारस्परिक स्थिति ठोसों की वैद्युत चालकता का निर्धारण करती हैं।

28.1.1 ऊर्जा बैंडों के आधार पर ठोसों का चालकों, अर्द्ध चालकों एवं विद्युत रोधियों में वर्गीकरण

साम्य प्राथक्य पर यदि किसी पदार्थ के चालन बैंड (CB) एवं संयोजकता बैंड (VB) अध्यारोपण करें–जैसा कि धातुओं के प्रकरण में होता है तो पदार्थ चालक होता है (चित्र 28.1a)।

यदि साम्य प्राथक्य पर चालन बैंड पूरी तरह खाली हो। संयोजकता बैंड पूरी तरह भरा हो संयोजकता बैंड के उच्चतम एवं चालन बैंड के निम्नतम स्तर के बीच लघु स्तर के बैंड अंतराल हो, (जिसे वर्जित **ऊर्जा-गैप** कहते हैं) तो पदार्थ अर्द्ध चालक होता है (चित्र 28.1 b)।



चित्र 28.1: ऊर्जा बैंड (a) चालकों, (b) अर्द्ध चालकों (c) विद्युत रोधियों

यदि साम्य प्राथक्य पर CB पूर्णतः खाली हो, VB पूर्णतः भरा हो और उनके बीच विशाल बैंड गैप हो तो पदार्थ विद्युत रोधी होता है (चित्र 28.1c)

28.2 नैज एवं बाह्य अर्द्धचालक

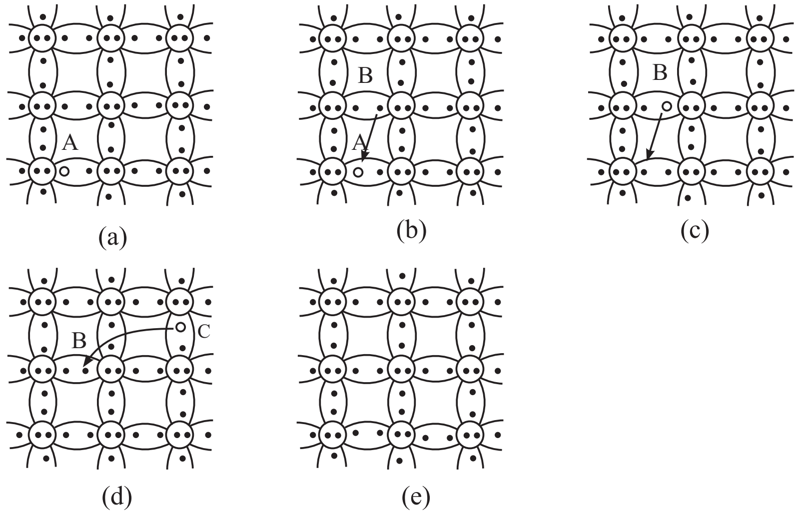
शुद्धता के आधार पर अर्द्धचालकों को नैज (शुद्ध) एवं बाह्य (अशुद्ध) अर्द्धचालकों में वर्गीकृत किया जाता है।

28.2.1 नैज अर्द्धचालक

शुद्ध सिलिकन तथा जर्मोनियम जिनमें कोई अशुद्धि न हो नैज अर्द्धचालक कहलाते हैं। इन तत्वों में इलेक्ट्रॉन क्रिस्टलीय संरचना के अन्तर्गत दृढ़ता के साथ बंधे होते हैं। अर्थात् वे गति के लिये स्वतंत्र नहीं होते। जब शुद्ध सिलिकन को ऊष्मीय ऊर्जा मिल जाती है तो कुछ इलेक्ट्रॉन बंधों से मुक्त हो जाते हैं। प्रत्येक बन्ध के टूटने पर जहाँ एक अवमुक्त इलेक्ट्रॉन प्राप्त होता है तो बन्ध में एक कोटर (होल) भी उत्पन्न हो जाता है। बन्ध में इलेक्ट्रॉन की कमी इलेक्ट्रॉन के बराबर किन्तु धनात्मक आवेश वाले 'कण' के सदृश होती है। इसी रिक्तता को *विवर* (होल) कहते हैं। यहाँ यह ध्यान रखने योग्य है कि इलेक्ट्रॉन तो पूरे क्रिस्टल में भ्रमण के लिये स्वतंत्र होते हैं किन्तु होल केवल एक बंध से दूसरे बंध में ही स्थानान्तरित हो सकते हैं। इलेक्ट्रॉन एवं होल 'स्वतंत्र वाहक' कहलाते हैं तथा इनके प्रवाह से ही धारा उत्पन्न होती है, किन्तु

शुद्ध सिलिकन में इनकी संख्या इतनी कम होती है कि उसकी व्यावहारिक उपयोगिता अत्यन्त सीमित होती है।

ध्यान दें कि नैज अर्द्धचालक में इलेक्ट्रॉन एवं होल सदैव युग्मों में उत्पन्न होते हैं। अत: स्वतंत्र इलेक्ट्रॉनों का ऋणावेश कोटरों के धनावेश के ठीक बराबर होता है। होल का एक बन्ध से दूसरे बन्ध में स्थानांतरण एक इलेक्ट्रॉन के उन्हीं बन्धों के बीच विपरीत दिशा में स्थानान्तरित होने से ही होता है। क्रिस्टल के अन्दर भ्रमण करते हुए अवमुक्त इलेक्ट्रॉन नाभिकों तथा दूसरे अवमुक्त इलेक्ट्रॉनों से लगातार टकराते रहते हैं। इससे उनकी गति यदृच्छ (अनियमित) तथा टेढ़ी-मेढ़ी होती है जो कि गैस में अणुओं की गति से काफी मिलती-जुलती है।



चित्र 28.1: अर्द्धचालक में इलेक्ट्रॉन एवं विवरों (होलों) की गति

चित्र 28.2(a) का अवलोकन करें। बिन्दु A पर इलेक्ट्रॉन व विवर (होल) का एक युग्म उत्पन्न हुआ है। टूटे हुए बन्ध में केवल एक इलेक्ट्रान है जिसकी स्वाभाविक प्रवृत्ति एक अन्य इलेक्ट्रॉन के साथ जोड़ा बनाकर सह संयोजक बन्ध को पूर्ण करने की है। बिन्दु B पर अथवा पास के किसी अन्य बन्ध में से कोई इलेक्ट्रॉन पर्याप्त ऊष्मीय ऊर्जा द्वारा उत्पन्न उत्तेजना से अपने बन्ध को तोड़कर होल A के स्थान पर पहुंच सकता है। परिणामस्वरूप बिन्दु A पर होल विलुप्त हो जाता है। किन्तु बिन्दु B पर एक नया होल प्रकट हो जाता है। इस प्रकार बन्ध में इलेक्ट्रॉन व होल की गति एक दूसरे के विपरीत है। वस्तुत: एक बन्ध से दूसरे बन्ध में इलेक्ट्रॉन के स्थानान्तरण की अवधारणा को ही दूसरे रूप में विपरीत दिशा में *होल गति* कहा जाता है।

अब शायद आप यह जानना चाहेंगे कि तब क्या होगा जब बिन्दु B पर होल समीप के बंध में बिन्दु C से इलेक्ट्रॉन आकर्षित करता है। चित्र 28.2(d) व (e) में दर्शाया गया है कि इलेक्ट्रॉन का C से B को स्थानान्तरण होल को B से C पर स्थानान्तरित कर देता है। परम्परानुसार विद्युतधारा का प्रवाह होलों की गति के अनुदिश माना जाता है।

परम शून्य ताप पर समस्त इलेक्ट्रान अपने मूल परमाणु के साथ दृढ़ता के साथ बंधे होते हैं, इस कारण अर्द्धचालक एक अचालक की भांति व्यवहार करता है। साधारण ताप पर ऊष्मीय

विक्षोभ के कारण परमाणु में कोई इलेक्ट्रॉन नाभिक के प्रभाव से मुक्त हो सकता हैं इस प्रकार एक सह–संयोजक बन्ध के टूटने से मुक्त इलेक्ट्रॉन क्रिस्टल में स्वतंत्र हो जाता है तथा बन्ध में एक रिक्तता (होल) उत्पन्न हो जाती है। **ऊष्मीय विक्षोभ के कारण उत्पन्न इलेक्ट्रॉन होल के युग्मों के कारण ही अर्द्धचालक की वैद्युत चालकता होती है।** साधारणत (300K) ताप पर Ge में नैज वाहक सघनता लगभग $2.5 \times 10^{19}\ m^{-3}$ होती है। ताप बढ़ने पर उत्पन्न इलेक्ट्रॉन होलों की सघनता बढ़ती है तथा वैद्युत चालकता बढ़ती जाती है। दूसरे शब्दों में यह भी कहा जा सकता है कि ताप बढ़ने पर प्रतिरोधकता घटती है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि अर्द्धचालकों का प्रतिरोध–ताप गुणांक ऋणात्मक होता है।

28.2.2 बाह्य अर्द्धचालक

आप जानते हैं कि नैज अर्द्धचालक उच्च प्रतिरोधकता वाले होते हैं तथा उनकी चालकता में बहुत अधिक परिवर्तन सम्भव नहीं है। इस कारण से नैज (शुद्ध) अर्द्धचालकों की सीमित उपयोगिता होती है और अधिकतर वे ऊष्मीय अथवा प्रकाश संवेदी प्रतिरोध के रूप में प्रयक्त होते हैं। इन कमियों को दूर करने के लिये नैज (शुद्ध) अर्द्धचालकों में दूसरे पदार्थों की अल्प मात्रा अपमिश्रित की जाती है जिससे होल अथवा इलेक्ट्रॉनों में से किसी एक की संख्या बढ़ जाती है।

ध्यान दें कि इन अपमिश्रित पदार्थों को अपद्रव्य या अशुद्धि इसलिए कहा जाता है क्योंकि एक शुद्ध पदार्थ में दूसरे तत्व का मिश्रण किया जाता है।

नैज (शुद्ध) अर्द्धचालक में अशुद्धि मिश्रण की प्रक्रिया को ही मादन, अपमिश्रण अथवा डोपिंग कहते हैं तथा अशुद्धि परमाणु अपदव्य, मादक, अपमिश्रक या डोपेन्ट कहलाता है। अपमिश्रित अर्द्धचालक ही अपद्रव्यी अर्द्धचालक कहे जाते हैं।

अपमिश्रण के लिए अपद्रव्य (डोपेन्ट) सामान्यत: आवर्त सारणी के तृतीय समूह (जिनमें तीन संयोजी इलेक्ट्रॉन होते हैं) अथवा पंचम समूह (जिनमें पाँच संयोजी इलेक्ट्रॉन होते हैं) के तत्वों से लिए जाते हैं। चित्र 28.3 में आवर्त सारणी का एक लघु अंश दर्शाया गया है जिसमें तृतीय एवं पंचम समूह के अपमिश्रण में प्रयुक्त होने वाले तत्व देखें जा सकते हैं।

	III	IV	V	VI
II	Al	Si	P	S
Zn	Ga	Ge	As	Se
Cd	In	Sn	Sb	Te
Hg				

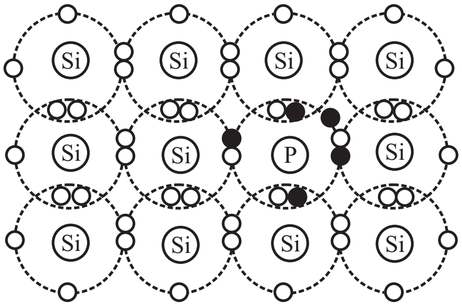
चित्र 28.3: आवर्त सारणी का एक अंश। नैज अर्द्धचालकों के अपमिश्रण में तृतीय व पंचम समूह के तत्व ही प्रयुक्त होते हैं।

सामान्यतया अपद्रव्य (अशुद्धि) की सूक्ष्म मात्रा का ही शुद्ध अर्द्धचालकों में अपमिश्रण किया जाता है। इसका मान शुद्ध अर्द्धचालकों के 10^8 परमाणुओं के मध्य अशुद्धि के एक परमाणु

की कोटि का ही होता हे। ये अशुद्धि परमाणु आवेश वाहकों का सन्तुलन परिवर्तित कर देते हैंक्योंकि इनसे मुक्त इलेक्ट्रॉन अथवा कोटरों में से किसी एक की संख्या बढ़ जाती है। अपमिश्रण अर्द्धचालक की चालकता बढ़ा देता है। अपद्रव्यी अर्द्धचालकों में अधिकांश आवेश वाहक अशुद्धि परमाणु के ही कारण होते हैं।

28.2.3 *n*-प्रकार एवं *p*-प्रकार के अर्द्धचालक

सिलिकन के इलेक्ट्रॉन विन्यास ($1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$, $3p^2$), से ज्ञात होता है कि दस इलेक्ट्रॉन तो नाभिक के साथ दृढ़ता से बंधे होते हैं और चार इलेक्ट्रॉन बाह्यतम कक्षा में नाभिक के चतुर्दिश परिक्रमण करते हैं। सिलिकन के नैज अर्द्धचालक में, एक Si परमाणु चार अन्य Si परमाणुओं के साथ एक-एक संयोजी इलेक्ट्रॉन की साझेदारी करता है। (इसे सह-'संयोजक बन्ध कहते हैं)। ऐसा ही जर्मैनियम के बारे में भी सत्य है जिसका इलेक्ट्रॉन विन्यास $1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$, $3p^6$, $3d^{10}$, $4s^2$, $4p^2$ होता है। जब सिलिकन अथवा जर्मैनियम क्रिस्टल में पंच संयोजक तत्व (जिसके बाह्यतम कक्षा में पाँच इलेक्ट्रॉन होते हैं) जैसे फॉस्फोरस, आर्सैनिक, एंटीमनी आदि का अपमिश्रण किया जाता है तो अशुद्धि परमाणु के चार इलेक्ट्रॉन तो समीप के चार अर्द्धचालक परमाणुओं के साथ चार सह-संयोजक बन्ध बना लेते हैं किन्तु पाँचवा संयोजी इलेक्ट्रॉन बन्धन मुक्त रह जाता है, जो कि चित्र 28.4 के अनुसार, वैद्युत चालन के लिए उपलब्ध रहता है। इस प्रकार पंच संयोजक तत्व से अपमिश्रित सिलिकन अथवा जर्मैनियम क्रिस्टल में मुक्त इलेक्ट्रॉन की अधिकता होती है तथा वह *n*-प्रकार का अर्द्धचालक कहा जाता है। इन अशुद्धियों को 'दाता अशुद्धि' कहते हैं।



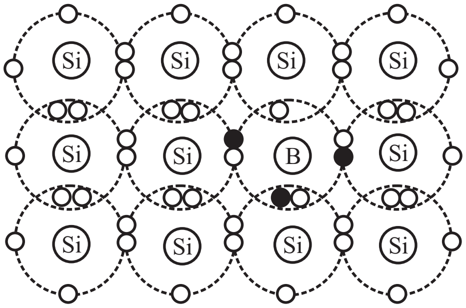
चित्र 28.4: *n*-प्रकार के अर्द्धचालक में सह-संयोजक बन्ध।

ध्यान दें कि *n*-प्रकार के अर्द्धचालक में 'मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या होलों की संख्या से बहुत अधिक होती है। अक्षर '*n*' का अभिप्राय इलेक्ट्रॉन के ऋणावेश (negative charge) से है।

यदि सिलिकन (अथवा जर्मैनियम) क्रिस्टल में त्रिसंयोजक (जिसके बाह्यतम कक्ष में तीन इलेक्ट्रॉन होते हैं) तत्व जैसे बोरॉन, एल्यूमिनियम, गैलियम, इन्डियम इत्यादि का अपमिश्रण किया जाय तो तीन सह-संयोजक बन्ध हो जाते हैं किन्तु चौथे बन्ध में एक इलेक्ट्रॉन की रिक्तता' रहती है जिसे 'विवर अथवा होल कहते हैं। यह चित्र 28.5 में दर्शाया गया है। ऐसे अर्द्धचालक को *p*-प्रकार का अर्द्धचालक कहते हैं तथा अशुद्धियाँ 'ग्राही' अशुद्धियाँ कहलाती हैं।

यहाँ यह पूछना स्वाभाविक है कि क्या *n*-प्रकार का अर्द्धचालक ऋणावेशित होता है? उत्तर है–नहीं। नैज तथा अपद्रव्यी अर्द्धचालक दोनों ही विद्युत उदासीन होते हैं।

टिप्पणियाँ



चित्र 28.5: *p*-प्रकार के अर्द्धचालक में सह-संयोजक बन्ध

ध्यान दें कि *p*-प्रकार के अर्द्धचालके में ग्राही अशुद्धि के कारण उत्पन्न होलों की संख्या उन आवेश वाहकों से बहुत अधिक होती है जो साधारण ताप पर ऊष्मीय विक्षोभ के कारण सहसंयोजक बंधों के टूटने से उत्पन्न होते हैं। अत: होलों की कुल संख्या इलेक्ट्रॉनों की संख्या से बहुत अधिक होती है। अर्थात, *p*-प्रकार के अर्द्धचालक में होल प्रमुख आवेश वाहक होते हैं।

पाठगत प्रश्न 28.1

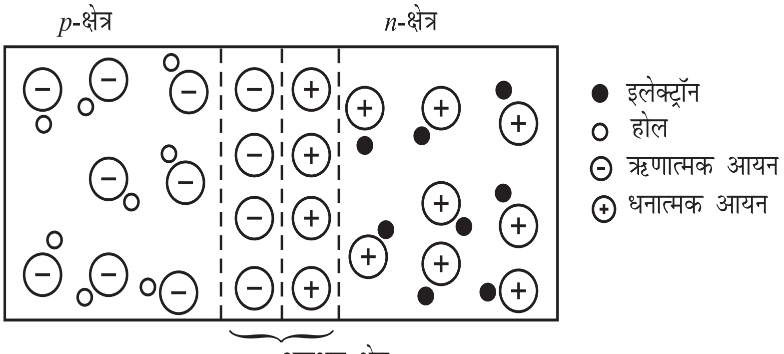
1. शुद्ध सिलिकन में 300K पर नैज आवेश वाहकों की सघनता $1.5 \times 10^{16}\,m^{-3}$ है तो विवरों एवं स्वतंत्र इलेक्ट्रॉनों की सघनता क्या होगी?
2. निम्नलिखित में से किसके अपमिश्रण से *n*-प्रकार का अर्द्धचालक प्राप्त होता है?
   (i) त्रि-संयोजक अशुद्धि
   (ii) पंच संयोजक अशुद्धि
   (iii) चतुर्थ संयोजक अशुद्धि
   (iv) त्रि-संयोजक तथा चतुर्थ संयोजक कोई भी अशुद्धि।
3. नैज अर्द्धचालक को .... के मिश्रण से बाह्य अर्द्धचालक में परिवर्तित किया जा सकता है। यह प्रक्रिया .... कहलाती है।
4. इलेक्ट्रॉन *n*-प्रकार के अर्द्धचालक में तथा होल *p*-प्रकार के अर्द्धचालक में .... आवेश वाहक होते हैं।
5. नैज अर्द्धचालक की तुलना में अपद्रव्यी अर्द्धचालक की प्रतिरोधकता .... होती है।

28.3 *p-n* संधि

अब तक आप पढ़ चुके हैं कि *n*-प्रकार तथा *p*-प्रकार के अर्द्धचालकों में क्रमश: इलेक्ट्रॉन व होल बहुसंख्यक आवेश वाहक होते हैं। यहाँ यह सोचना बहुत रोचक होगा कि एक *n*-प्रकार तथा एक *p*-प्रकार के अर्द्धचालक के मध्य सम्पर्क स्थापित करने पर क्या कोई उपयोगी युक्ति बनेगी? इसका उत्तर जानने के लिये हमें *p-n* संधि की संरचना व कार्य-विधि का अध्ययन करना होगा।

28.3.1 *p-n* संधि की संरचना

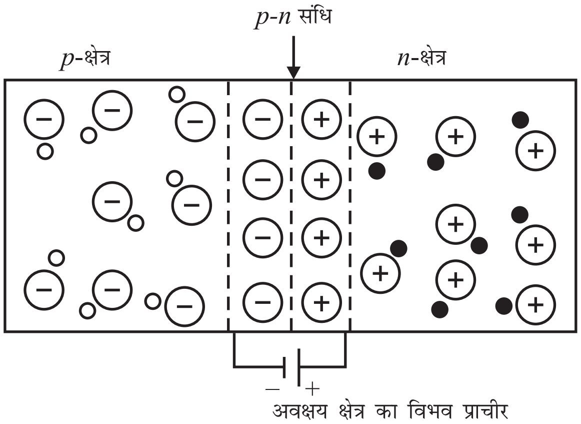
जैसा कि चित्र 28.6 में दर्शाया गया है कि *p–n* संधि के बनने की सबसे सरल विधि यह है कि किसी अर्द्धचालक क्रिस्टल के एक भाग में दाता अशुद्धि का तथा दूसरे भाग में ग्राही अशुद्धि का अपमिश्रण किया जाए।



चित्र 28.6: अवक्षय-क्षेत्र सहित *p-n* संधि

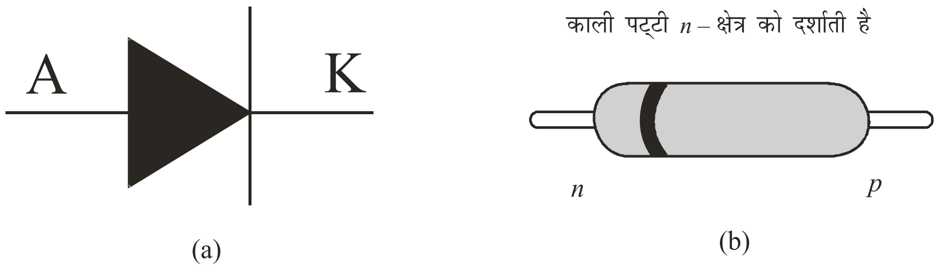
क्रिस्टल के *n*-क्षेत्र में इलेक्ट्रॉनों की तथा *p*-क्षेत्र में विवरों (holes) की सघनता होती है। अतः इलेक्ट्रॉनों का p-क्षेत्र की ओर तथा होलों का *n*-क्षेत्र की ओर विसरण होने लगता है। इस प्रक्रिया में कुछ इलेक्ट्रॉन व होल पुनर्संयोजन (Recombination) कर समाप्त भी हो जाते हैं। इसके परिणामस्वरूप संधि के पास *n*-क्षेत्र में धनायन तथा p-क्षेत्र में ऋणायन उत्पन्न हो जाते हैं। संधि के दोनों ओर इन स्थिर आयनों की उत्पत्ति से इलेक्ट्रॉन व होलों का विसरण बाधित होता है। इस प्रकार इलेक्ट्रॉनों व होलों के पुनर्संयोजन से संधि के दोनों ओर ऐसा सूक्ष्मक्षेत्र उत्पन्न हो जाता है जिसमें चलनशील (Mobile) आवेश वाहकों का अभाव होता है। इसकी चौड़ाई 0.5 माइक्रोमीटर होती है तथा इसे अवक्षय क्षेत्र अथवा अन्तराशील–आवेश क्षेत्र कहते हैं।

संधि के पास एकत्रित आवेश विद्युत-क्षेत्र स्थापित करते हैं जिसके परिणामस्वरूप विकसित स्थिर–विद्युत विभव को 'विभव प्राचीर' कहते हैं। इस विभव की ध्रुवीयता चित्र 28.7 में प्रदर्शित है। बाह्य विद्युत-क्षेत्र की अनुपस्थिति में विभव प्राचीर संधि के पार आवेश वाहकों के विसरण को रोक देता है।



चित्र 28.7: अवक्षय क्षेत्र के कारण विभव प्राचीर

विभव प्राचीर का मान प्रयुक्त अर्द्धचालक के ऊपर निर्भर करता है। Ge व Si के लिए इसका मान क्रमश: 0.3 V व 0.7 V होता है। *p-n* संधि एक डायोड की भांति कार्य करती है। इसका सांकेतिक निरूपण चित्र 28.8(a) में किया गया है। *p*-क्षेत्र वाणाग्र A से प्रदर्शित है तथा धनोद (एनोड) का कार्य करता है। इसी प्रकार *n*-क्षेत्र बार (Bar) K से प्रदर्शित है तथा ऋणोद (कैथोड) का कार्य करताहै। चित्र 28.8(b) में बाजार में उपलब्ध *p-n* संधि डायोड का चित्र प्रदर्शित है।



चित्र 28.8 (a) *p-n* संधि डायोड का प्रतीक। परम्परागत धारा की दिशा वाणाग्र के अनुदिश अर्थात् *p* से *n*-क्षेत्र की ओर है। (b) बाजार में उपलब्ध p - n संधि डायोड

अर्द्धचालक डायोड की पहचान के लिए दो अक्षर तथा एक अंक से बना एक 'कोड' होता है। प्रथम अक्षर प्रयुक्त पदार्थ को इंगित करता है। A ऐसे पदार्थ को निरूपित करता है जिसमें वर्जित क्षेत्र 0.6eV से 1.0eV के मध्य हो यथा जर्मेनियम, B ऐसे पदार्थ को निरूपित करता है जिसमें वार्जित क्षेत्र 1.0eV से 1.3 eV के मध्य हो यथा सिलिकन। द्वितीय अक्षर मुख्य अनुप्रयोग को इंगित करता है।: A संसूचक डायोड (Detection Diode), B परिवर्तनशील धारिता डायोड (Variable Capacitance Diode), E टनल डायोड (Tunnel Diode), Y दिष्टकारी डायोड (Rectifying diode) तथा Z जेनर डायोड को निरूपित करते हैं। क्रोड में दिए गए अंक शक्ति रेटिंग (Power Rating), शिखर उत्क्रम वोल्टता (Peak Reverse Voltage), महत्तम धारा रेटिंग (Maximum Current Rating) इत्यादि के सूचक हैं। निर्माता की केटलॉग में इनका विवरण होता है। उदाहरणत: By 127 सिलिकन दिष्टकारी डायोड का संकेतन है तथा Bz 248 सिलिकन जेनर डायोड का संकेतन है।

एनोड (धनोद) एवं कैथोड (ऋणोद) की दृष्टव्य पहचान के लिए निर्माता निम्नलिखित में से कोई विधि अपनाते हैं:

- डायोड के ऊपर प्रतीक (symbol) बना देते हैं।
- डायोड के ऊपर लाल एवं नीले रंग के चिन्ह बना देते हैं। लाल चिह्न एनोड तथा नीला चिह्न कैथोड को दर्शाता है।
- डायोड के ऊपर एक सिरे की ओर एक छोटा छल्ला बना देते हैं। यह कैथोड को दर्शाता है। चित्र 28.8(b) में *p-n* संधि का *n*-क्षेत्र काली पट्टी (Band) से दर्शाया गया है।

ध्यान रखें कि डायोड रेटिंगों की निर्धारित सीमा के अन्दर कार्य करना आवश्यक है ताकि युक्ति नष्ट न हो।

पाठगत प्रश्न 28.2

1. रिक्त स्थान भरिये:

   (a) .... के संधि के पार विसरण करने से *p-n* संधि की रचना होती है।

   (b) विभव प्राचीर का मान सिलिकन डायोड में .... वोल्ट तथा जर्मेनियम डायोड में .... वोल्ट होता है।

   (c) अचलशील ग्राही एवं दाता आयन वाले क्षेत्र को .... कहते हैं।

   (d) बिना बाह्य विद्युत क्षेत्र के *p-n* संधि में इलेक्ट्रॉनों का विसरण *n*-क्षेत्र से *p*-क्षेत्र की ओर होता है क्योंकि .... की सघनता *p* क्षेत्र की तुलना में *n*-क्षेत्र में .... होती है।

2. सही विकल्प चुनिये:

   (a) *p-n* संधि पर विभव प्राचीर संधि के दोनों ओर स्थित कुछ आवेशों के कारण होता है। ये आवेश हैं–
   - (i) बहुसंख्यक वाहक,
   - (ii) अल्पसंख्यक वाहक,
   - (iii) स्थिर दाता व ग्राही आयन,
   - (iv) उपर्युक्त में से कोई नहीं।

   (b) बिना बाह्य विभव के *p-n* संधि में संधि धारा साम्य स्थिति में
   - (i) केवल अल्पसंख्यक आवेश वाहकों के विसरण के कारण होती है।
   - (ii) केवल बहुसंख्यक आवेश वाहकों के विसरण के कारण होती है।
   - (iii) शून्य होती है क्योंकि कोई ओवश संधि को पार नहीं कर पाते।
   - (iv) शून्य होती है क्योंकि बराबर किन्तु विपरीत आवेश संधि को पार कर रहे होते हैं।

   (c) अर्द्धचालक डायोड में, विभव प्राचीर प्रतिकर्षित करता है–
   - (i) दोनों क्षेत्रों के अल्पसंख्यक आवेश वाहकों को।
   - (ii) दोनों क्षेत्रों के बहुसंख्यक आवेश वाहकों को।
   - (iii) बहुसंख्यक तथा अल्पसंख्यक दोनों आवेश वाहकों को।
   - (iv) उपर्युक्त में से कोई नहीं।

3. अवक्षय क्षेत्र को इस नाम से क्यों जानते हैं तथा इसमें क्या स्थित होते हैं?

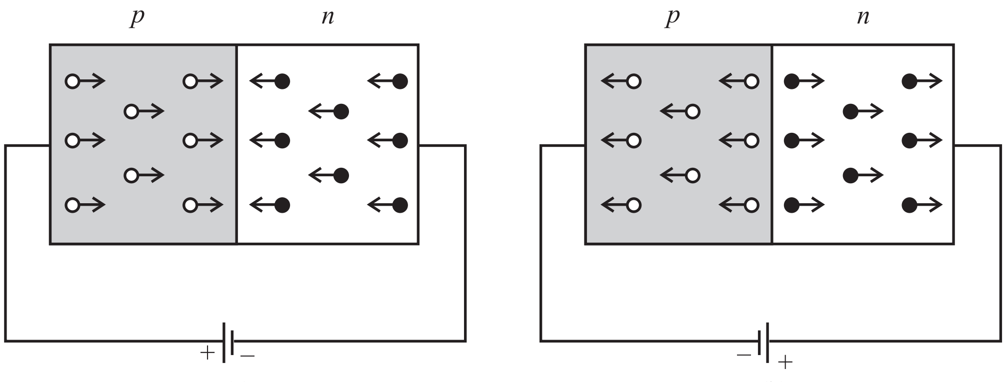
28.4 अग्र एवं उत्क्रम अभिनत *p-n* संधि

अभिनति अथवा बायसिंग का अभिप्राय है: (युक्ति को) वोल्टता देना। *p-n* संधि में वैद्युत चालन के लिए आवश्यक है कि इलेक्ट्रॉन *n*-क्षेत्र से *p*-क्षेत्र को तथा होल उसके विपरीत दिशा में प्रवाहित हो। इसके लिए *p-n* संधि डायोड के दोनों सिरों के बीच एक बैटरी जोड़नी होती है

ताकि विभव प्राचीर के प्रभाव को समाप्त किया जा सके। *p-n* संधि से बैटरी जोड़ने की दो विधियाँ हैं:

- **अग्र अभिनति** जिसमें बैटरी के धनात्मक सिरे को *p*-क्षेत्र से तथा ऋणात्मक सिरे को *n*-क्षेत्र से जोड़ा जाय [चित्र 28.9(a)]
- **उत्क्रम अभिनति** जिसमें बैटरी के ऋणात्मक सिरे को *p*-क्षेत्र से तथा धनात्मक सिरे को *n*-क्षेत्र से जोड़ा जाय [चित्र 28.9(b)]।

  जब *p-n* संधि को विभव प्राचीर से अधिक अग्र अभिनति दी जाती है तो होल *p*-क्षेत्र से *n*-क्षेत्र की ओर तथा इलेक्ट्रॉन उसके विपरीत दिशा में संधि के पार अनुगमन करते हैं। इससे डायोड में अग्र धारा उत्पन्न होती है। यह धारा अग्र अभिनति के बढ़ने के साथ बढ़ती है, किन्तु इसका मान कुछ मिली एम्पियर की कोटि का ही होता है। अग्र अभिनति *p-n* संधि के प्रतिरोध को 'अग्र प्रतिरोध' कहते हैं। इसका मान बहुत कम 10Ω से 30Ω के मध्य ही होता है।



चित्र 28.9 (a) अग्र अभिनत, तथा (b) उत्क्रम अभिनत *p-n* संधि।

उत्क्रम अभिनत *p-n* संधि में होल *p*-क्षेत्र में तथा इलेक्ट्रॉन *n*-क्षेत्र में संधि से दूर हटने का प्रयास करते हैं। इसका यह अर्थ कदापि नहीं है कि परिपथ में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती। वस्तुत: ऊष्मीय विक्षोभ के कारण भंजित सह-संयोजक बंधो से उत्पन्न इलेक्ट्रॉन व होल सूक्ष्म मात्रा में विद्युतधारा उत्पन्न करते हैं। इन अल्पसंख्यक आवेश वाहकों के द्वारा उत्पन्न धारा को उत्क्रम संतृप्त धारा अथवा लीकेज धारा कहते हैं। वाणिज्यिक रुप से उपलब्ध अधिकतर डायोडों में उत्क्रम धारा नियत होती है तथा उत्क्रम अभिनति पर निर्भर नहीं करती। इसका मान Ge डायोडों में कुछ माइक्रोएम्पियर तथा Si डायोडों में कुछ नेनोएम्पियर होता है।

अग्र अभिनति में अल्प प्रतिरोध तथा उत्क्रम अभिनति में उच्च प्रतिरोध के कारण *p-n* संधि दिष्टकारी के रूप में कार्य करती है।

जब उत्क्रम अभिनति कुछ सौ वोल्ट की होती है तो *p-n* संधि में प्रवाहित उत्क्रम धारा का मान तीव्रता से यकायक बढ़ने लगता है। इससे उत्पन्न अत्याधिक ऊष्मा युक्ति को स्थायी रूप से क्षतिग्रस्त कर सकती है। जिस उत्क्रम विभव पर यह घटना होती है उसे भंजन विभव कहते हैं। इसकी व्याख्या निम्नलिखित तरीके से की जा सकती है–

उत्क्रम अभिनति लगाने से संधि में उच्च विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है जो (1) अल्पसंख्यक आवेश वाहकों को त्वरित करता है। ये वाहक बन्ध के इलेक्ट्रॉनों को टक्कर द्वारा ऊर्जा प्रदान कर मुक्त कर देते हैं (ऐवलांश प्रभाव), (2) विद्युत बल द्वारा सह संयोजक बन्ध टूट जाते हैं (जेनर प्रभाव)। भंजन की इस घटना में बहुत बड़ी संख्या में इलेक्ट्रॉन व होलों के युग्म उत्पन्न होते हैं जिससे उच्च उत्क्रम धारा उत्पन्न होती है।

पाठगत प्रश्न 28.3

1. अग्र अभिनति को परिभाषित कीजिए।

2. उत्क्रम अभिनति को परिभाषित कीजिए।

3. रिक्त स्थान भरिए:

   (a) *p-n* संधि डायोड को अग्र अभिनत करने पर अवक्षय क्षेत्र की चौड़ाई .... जाती है।

   (b) *p-n* संधि को उत्क्रम अभिनत करने पर अवक्षय क्षेत्र की चौड़ाई .... जाती है।

   (c) जब उत्क्रम अभिनति अत्याधिक हो जाती है तो *p-n* संधि में धारा अचानक ....। इस वोल्टता को .... कहते हैं।

4. सही विकल्प चुनिए:

   (a) अग्र अभिनत संधि में

      (i) *n*-क्षेत्र से होल *p*-क्षेत्र की ओर चलते हैं।

      (ii) अल्पसंख्यक वाहक ही चलते हैं।

      (iii) आवेश वाहक नहीं चलते हैं।

      (iv) दोनों ही (*n* तथा *p*) क्षेत्रों के बहुसंख्यक आवेश वाहक दूसरे क्षेत्र की ओर चलने लगते हैं।

   (b) उत्क्रम अभिनत संधि में

      (i) विभव प्राचीर के कारण आवेश वाहक गतिमान नहीं हो पाते।

      (ii) केवल बहुसंख्यक आवेश वाहक ही स्थानान्तरिक होते हैं।

      (iii) केवल अल्पसंख्यक आवेश वाहक ही स्थानान्तरित होते है।

      (iv) उपर्युक्त में से कोई नहीं।

5. कौन-से दो प्रकार के 'भंजन' उत्क्रम अभिनत *p-n* संधि में होते हैं। उनमें विभेद कीजिए।

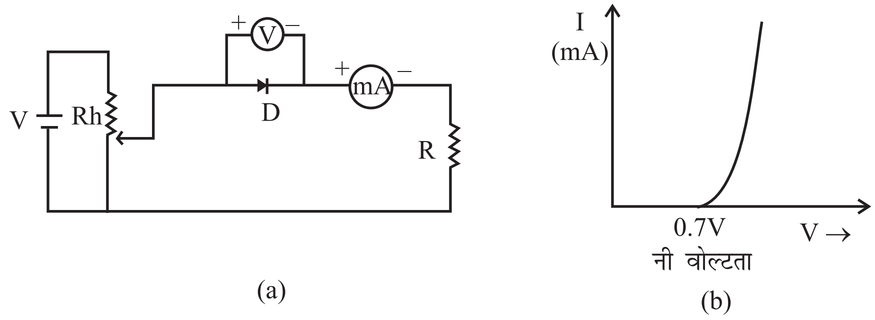
28.5 *p-n* संधि के अभिलक्षण

किसी अर्द्धचालक डायोड का अनुप्रयोग उसके धारा–विभव अभिलाक्षणिक वक्र पर निर्भर करता है।

28.5.1 अग्र अभिनति अभिलक्षण

चित्र 28.10(a) को ध्यान दें। *p-n* संधि डायोड के अग्र अभिनति वक्र खींचने के लिए बैटरी B का धनात्मक सिरा डायोड के *p*-क्षेत्र से जुटा है। धारा–विभाजक के रूप में प्रयुक्त धारा–नियन्त्रक द्वारा डायोड की दी जाने वाली वोल्टता को परिवर्तित किया जा सकता है। मिलीएमीटर (mA) परिपथ में धारा तथा वोल्टमीटर (V) डायोड के बीच वोल्टता को मापता है। परम्परागत धारा की दिशा डायोड के प्रतीक में वाणाग्र की ओर होती है। अग्र अभिनत डायोड में धारा का बहुत कम अवरोध होता है जिसके कारण वोल्टता बढ़ाने पर धारा तीव्रता से बढ़ती है। अतः धारा को नियन्त्रित करने के लिए परिपथ में प्रतिरोध (R) जोड़ा जाता हैं। यदि ऐसा न करे तो अत्यधिक धारा के प्रवाह से डायोड को स्थायी क्षति हो सकती है।

p-n संधि का अग्र अभिनति में *I-V* अभिलाक्षणिक वक्र चित्र 29.10(b) में दर्शाया गया है।



चित्र 28.10: (a) अग्र अभिनत *p-n* संधि डायोड के *I-V* अभिलक्षणों के लिए परिपथ (b) अभिलक्षण वक्र

ध्यान दें कि अभिलक्षण वक्र मूल बिन्दु से नहीं गुजरता, बल्कि V-अक्ष से 0.7V के पास मिलता है। इसका अर्थ है कि *p-n* संधि डायोड में तब तक वैद्युत चालन नहीं होता जब तक कि विभव प्राचीर से अधिक बाह्य वोल्टता न दी जाय। इस आवश्यक न्यूनतम वोल्टता को 'नी वोल्टता' (Knee Voltage) कहते हैं। Si डायोड में इसका मान लगभग 0.7V तथा Ge डायोड में लगभग 0.3V होता है।

यह वोल्टता होल–इलेक्ट्रॉन संयोजन के लिए आवश्यक है। जैसे ही दी गयी वोल्टता (Knee Voltage) से अधिक होती है, धारा वृद्धि रेखीय होती है। 1V की वोल्टता के द्वारा उत्पन्न धारा का मान 30–80 mA हो सकता है।

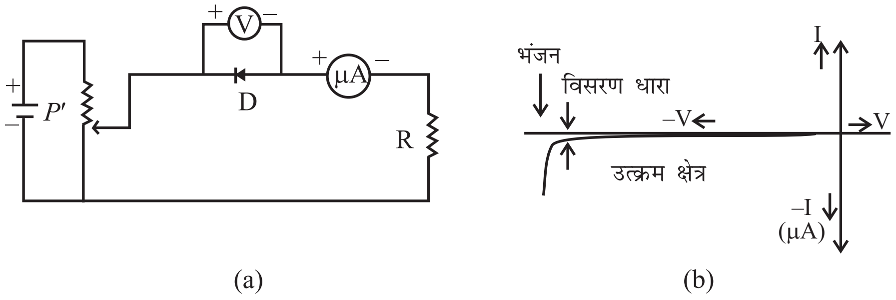
28.5.2 उत्क्रम अभिनति अभिलक्षित

p-n संधि के उत्क्रम अभिनति अभिलक्षण जानने के लिए आवश्यक परिपथ चित्र 28.11(a) में दर्शाया गया है। यदि चित्र 28.10(a) में दर्शाये गये अग्र *I-V* अभिलक्षणों के परिपथ से तुलना करें तो निम्नलिखित अन्तर पायेंगे–

(i) संधि (अथवा बैटरी) के सिरे उलट दिये गये हैं।

(ii) मिलीएमीटर के स्थान पर माइक्रोएमीटर लगाया गया है।

उत्क्रम बायस में *p-n* संधि का एक प्रारुपिक अभिलाक्षणिक आरेख चित्र 28.11 (b) में दर्शाया गया है।



चित्र 28.11: (a) *p-n* संधि के उत्क्रम अभिनति में *I-V* अभिलक्षित हेतु परिपर्थ
(b) उत्क्रम अभिनति अभिलाक्षणिक वक्र

ध्यान दें कि उत्क्रम अभिनति में भंजन वोल्टता के नीचे संधि धारा का मान न्यून होता है किन्तु भंजन वोल्टता में अल्प वृद्धि से ही धारा का मान तीव्रता से बढ़ता है। इसके अतिरिक्त 28.10(b) तथा 28.11 (b) के चित्रों की तुलना से स्पष्ट है कि *p-n* संधि डायोड का प्रतिरोध अग्र अभिनति में न्यून तथा उत्क्रम अभिनति में उच्च होता है। उत्क्रम धारा में तीव्र वृद्धि संधि के प्रतिरोध में यकायक अत्यन्त कमी के कारण होती है।

इस प्रकार यह निष्कर्ष निकलता है कि *p-n* संधि में वैद्युत चालन एक दिशा में ही होता है। यह एक दिशीय धारा प्रवाह तब होता है जब इलेक्ट्रॉन *n*-प्रकार के क्षेत्र से *p*-प्रकार के क्षेत्र की ओर तथा होल उसके विपरीत दिशा में अनुगमन करते हैं।

आपने मैट्रो स्टेशन के उपमार्ग पर टर्न स्टाइल (Turn Styles) देखें होंगे जो लोगों को एक दिशा में ही जाने की अनुमति देते हैं। डायोड इलेक्ट्रॉनों के लिए एक प्रकार का 'टर्नस्टाइल' ही है।

p-n संधि के अनेकानेक अनुप्रयोग है यथा :

1. डायोड में एक दिशीय वैद्युत चालन के गुण को प्रत्यावर्ती वोल्टता को दिष्ट वोल्टता में परिवर्तित करने के लिए दिष्टकारी के रूप में किया जाता है। डायोड सैलफोनों, सीडी

प्लेयर, लैप-टॉप आदि की बैटरी के ऊर्जन में 'एडेप्टर' में प्रयुक्त होते हैं। आप इसका विस्तृत अध्ययन अगले अध्याय में करेंगे।

2. बैटरी का इस्तेमाल करने वाली कई युक्तियों में डायोड प्रयुक्त होता है क्योंकि वह उत्क्रम अभिनत होकर बैटरी से धारा के निर्गम को अवरुद्ध कर देता हैं। इससे अति संवेदनशील इलेक्ट्रॉनिक युक्तियाँ सुरक्षित रहती है।

टिप्पणियाँ

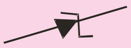
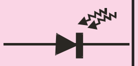
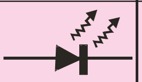
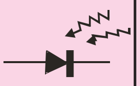
पाठगत प्रश्न 28.4

1. 'नी वोल्टता (Knee Voltage) की अवधारणा को स्पष्ट करिये।
2. (a) नी वोल्टता सिलिकन डायोड में .... तथा जर्मेनियम डायोड में .... होती है।
   (b) *p-n* संधि डायोड में धारा प्रवाह केवल .... दिशा में ही होता है।
   (c) जर्मेनियम डायोड में उत्क्रम अभिनत धारा का मान लगभग .... होता है।
3. सही विकल्प चुनिये:
   (a) अग्र अभिनत *p-n* संधि डायोड के *I-V* अभिलाक्षणिक वक्र होते हैं–
   (i) केवल अरेखीय
   (ii) केवल रेखीय
   (iii) रेखीय तथा अरेखीय दोनों अंशों सहित
   (iv) उपर्युक्त में से कोई नहीं।
   (b) जब अग्र अभिनत *p-n* संधि की वोल्टता बढ़ाई जाती है तो वोल्टता में अल्प वृद्धि के फलस्वरूप धारा में तीव्र परिवर्तन।
   (i) लगभग तुरन्त होता है।
   (ii) तभी होता है जब अग्र अभिनत विभव प्राचीर से अधिक हो।
   (iii) जब संधि का भंजन होता है।
   (iv) उपर्युक्त में से कोई नहीं।

28.6 विभिन्न प्रकार के डायोड

p-n संधि डायोड के विद्युतीय एवं प्रकाशीय व्यवहार में परिवर्तन अपद्रव्य पदार्थ की प्रकृति, मात्रा तथा डायोड की ज्यामिति (जैसे साइज, क्षेत्रफल आदि) में परिवर्तन करके किया जा सकता है। इस अंक में विभिन्न विशिष्ट क्षमताओं वाले डायोडों को सूचीबद्ध किया गया है। प्रत्येक डायोड का अपना विशिष्ट प्रतीक होता है जो उसकी प्रकृति तथा कार्य-प्रणाली को प्रतिबिम्बित करता है।

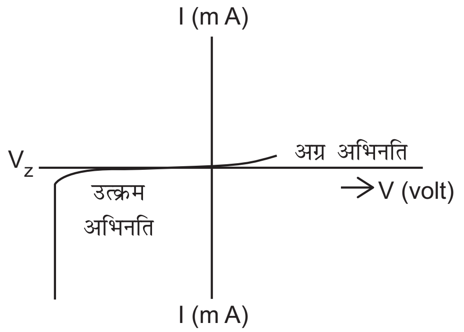
निम्नलिखित सारणी का उपयोग विभिन्न डायोडों की तुलना करने के लिए किया जा सकता है:

नाम	प्रतीक	संरचना-विधि	सिद्धान्त	मुख्य कार्य	मुख्य उपयोग
जेनर डायोड		अत्यधिक अपमिश्रित p एवं n क्षेत्रों वाला p-n संधि डायोड अत्यन्त सूक्ष्म अवक्षय पर्त (<10 nm)।	जेनर/ ऐवलांश भंजन	बिना क्षतिग्रस्त हुए उत्क्रम अभिनति भंजन वोल्टता पर सतत धारा प्रवाहित कर देता है।	वोल्टता स्थायीकारी अथवा नियामक
फोटो डायोड		p-n संधि डायोड जिसमें प्रकाश उत्सर्जी अर्द्धचालक पदार्थ प्रयुक्त होता होता है। प्रकाश उत्सर्जक डायोड (LED) p-क्षेत्र की चौड़ाई संसूचित की जाने वाले विकिरण की तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करती है।	प्रकाश वोल्टाई प्रभाव	उत्क्रम अभिनति में प्रकाशीय निवेश का विद्युत धारा में परिवर्तित कर देता है।	वीसीआर एवं टी वी में रिमोट कन्ट्रोल का रिसीवर
		p-n संधि डायोड जिसमें प्रयुक्त पदार्थ के वर्जित क्षेत्र की चौड़ाई निकट अवरक्त अथवा दृश्य प्रकाशीय क्षेत्रों में होती है।	विद्युत प्रदीप्ति	अग्र अभिनति में विद्युत निवेश को प्रकाशीय निर्गम में परिवर्तित कर देता है।	मल्टीमीटर डिजिटल घड़ियाँ, प्रदर्शी औजार, कैलकुलेटर, स्विच बोर्ड, चोर घंटी तथा रिमोट कन्ट्रोल युक्तियाँ,
सौर सेल		p-n संधि डायोड जिसमें p-अथवा n-क्षेत्र बहुत पतला होता है ताकि संधि पर पहुंचने से पूर्व प्रकाश का बहुत अधिक अवशोषण न हो	प्रकाश वोल्टाई प्रभाव	सौर ऊर्जा का वैद्युत ऊर्जा में परिवर्तन	1. उपग्रहों की ऊर्जा प्रणालियों 2. बैटरियों को चार्ज करने में 3. केलकुलेटर्स में

28.6.1 जेनर डायोड के अभिलक्षण

जेनर डायोड संधि के p क्षेत्र एवं n क्षेत्र दोनों को अधिकता में अपमिश्रित कर बनाया जाता है। इसके फलस्वरूप बहुत पतले $(< 10^{-6}\, m)$ अवक्षय क्षेत्र का निर्माण हो जाता है। उत्क्रम अभिनत विभव बहुत कम, 5 वोल्ट होने पर भी, अवक्षय क्षेत्र के पार वैद्युत क्षेत्र अत्यधिक होता है $(\sim 5\times 10^{6}\, N\, C^{-1})$।

जेनर डायोड का *I-V* अभिलक्षण – वक्र चित्र 28.12 में दर्शाया गया है।

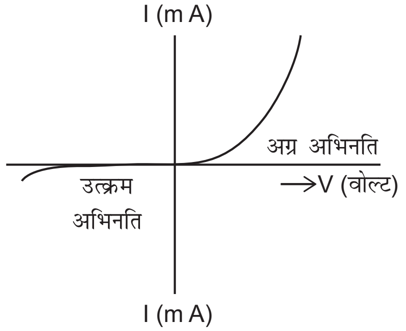


चित्र 28.12

यह देखा गया है कि जेनर डायोड में जब उत्क्रम अभिनत विभव V भंजक विभव के समीप पहुंचता है तो विद्युत धारा में बहुत अधिकत: परिवर्तन होता है। भंजक विभव के बाद विद्युत धारा में अत्यधिक परिवर्तन अधिकांशत: नगण्य उत्क्रम अभिनत विभव द्वारा उत्पन्न किया जा सकता है। यद्यपि जेनर डायोड में विद्युत धारा का परास बहुत बदलता है, परंतु जेनर विभव नियत रहता है।

28.6.2 प्रकाश उत्सर्जक डायोड के *I-V* अभिलक्षण

प्रकाश उत्सर्जक डायोड में जब अग्रधारा कम होती है तो उत्सर्जित प्रकाश की तीव्रता भी कम होती है। जैसे-जैसे अग्रधारा बढ़ती है, उत्सर्जित प्रकाश की तीव्रता भी बढ़ती है एवं अधिकतम मान प्राप्त कर लेती है। पुन: अग्रधारा में वृद्धि के परिणामस्वरूप प्रकाश की तीव्रता घट जाती है। LED को इस प्रकार अभिनत किया जाता है कि उत्सर्जित प्रकाश की दक्षता अधिकतम रहे। LED के *I-V* अभिलक्षण Si संधि डायोड की तरह होते हैं, जो चित्र 28.13 में दिखाए गए हैं।



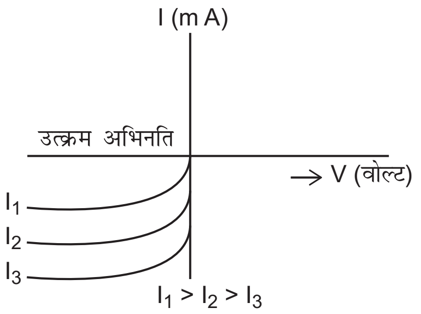
चित्र 28.13

लेकिन देहली वोल्टता बहुत अधिक होती है एवं प्रत्येक रंग के LED के लिए इसका मान अलग-अलग होता है।

LED के लिए भंजक विभव बहुत कम, प्रारूपिक रूप से लगभग 5V, होता है।

28.6.3 फोटो डायोड के *I-V* अभिलक्षण

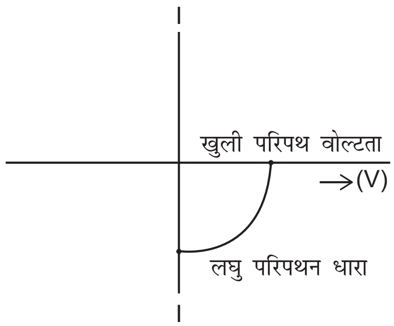
फोटो डायोड इस प्रकार बनाए जाते हैं कि डायोड के अवक्षय-क्षेत्र के समीप इलेक्ट्रॉन- होल युग्म उत्पन्न हो जाएं। संधि के वैद्युत क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉन-होल युग्म पुनः संयोजित होने से पूर्व पृथक हो जाते हैं।



चित्र 28.14

वैद्युत क्षेत्र की दिशा इस प्रकार होती है कि इलेक्ट्रॉन *n* सिरे एवं होल *p* सिरे की ओर पहुंचते हैं। इलेक्ट्रॉन *n* सिरे पर एवं होल *p* सिरे पर एकत्र हो जाते हैं एवं एक विद्युत वाहक बल (emf) उत्पन्न करते हैं। जब कोई बाह्य लोड जोड़ा जाता है तो धारा प्रवाहित होती है। फोटो धारा का परिमाण आपतित प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर करता है।

फोटो डायोड के *I-V* अभिलक्षण चित्र 28.14 में दर्शाए गए हैं।



चित्र 28.15

28.6.4 सौर सेल के *I-V* अभिलक्षण

सौर सेल पर प्रकाश पड़ने से emf की उत्पत्ति निम्नलिखित तीन बुनियादी प्रक्रमों के कारण होती है : जनन, पृथक्करण एवं संचयन। इलेक्ट्रॉन-होल युग्मों का जनन संधि के निकट के प्रकाश ($h\nu > E_g$) के कारण होता है। इलेक्ट्रॉनों और होलों का पृथक्करण अवक्षय-परत के विद्युत क्षेत्र के कारण होता है। इलेक्ट्रॉन *n*-क्षेत्र और होल *p*-क्षेत्र में जाते हैं।

n-क्षेत्र में पहुंचने वाले इलेक्ट्रॉन सम्मुख संपर्क द्वारा एकत्रित किए जाते हैं तथा *n*-क्षेत्र में पहुंचने वाले होल पश्च संपर्क द्वारा एकत्रित किए जाते हैं। इस प्रकार *p*-क्षेत्र धनात्मक तथा *n*-क्षेत्र ऋणात्मक होकर फोटो वोल्टता उत्पन्न करती है।

सौर सेल के *I-V* अभिलक्षण वक्र चित्र 28.15 में दर्शाए गए हैं। ये निर्देशांक अक्षों के चतुर्थ चतुर्थांश में बनाए गए हैं। ऐसा इसलिए है, क्योंकि सौर सेल धारा लेता नहीं है, उल्टे यह लोड को धारा प्रदान करता है।

पाठगत प्रश्न 28.5

1. सही विकल्प चुनें:

   (अ) जेनर डायोड कार्य करता है

   (i) अग्र अभिनति में

   (ii) उत्क्रम अभिनति में

(iii) दोनों में

(iv) दोनों में से किसी में नहीं।

(ब) जेनर डायोड

(i) एक अत्यधिक अपमिश्रित (doped) p-n संधि डायोड होता है।

(ii) एक अल्प अपमिश्रित p-n संधि डायोड होता है।

(iii) एक मध्यम अपमिश्ररित p-n संधि डायोड होता है।

(iv) सामान्य p-n संधि डायोड का ही दूसरा नाम है।

(स) जेनर डायोड का उपयोग होता है

(i) एक प्रवर्धक के रूप में।

(ii) एक दिष्टकारी के रूप में।

(iii) एक स्थिर धारा युक्ति के रूप में।

(iv) एक स्थिर वोल्टता युक्ति के रूप में।

2. रिक्त स्थान भरिये:

(क) जेनर डायोड .... भंजन क्रिया विधि पर आधारित होता है।

(ख) फोटो डायोड .... अभिनत होने पर कार्य करता है।

(ग) फोटो डायोड में p-n संधि .... अर्द्धचालक पदार्थ से बनायी जाती है।

(घ) एल ई डी (LED) आवर्त सारणी के .... चालक तत्वों से बनाये जाते हैं।

(ङ) प्रकाश उत्सर्जी डायोड (LED) .... अभिनति में कार्य करते हैं।

(च) एल ई डी (LED) के प्रतीक चिह्न में तीर प्रकाश के .... को दर्शाता है।

(छ) एल ई डी (LED) में प्रकाश का उत्सर्जन इलेक्ट्रॉन विवरों (Holes) के .... के कारण होता है।

(ज) एल ई डी (LED) .... के सिद्धान्त पर आधारित होता है।

(ज) सौर सेल .... प्रभाव पर आधारित होते हैं।

(झ) जब वर्जित बैण्ड ऊर्जा से .... ऊर्जा का सूर्य का प्रकाश सौर सेल पर डाला जाता है तो सौर ऊर्जा .... हो जाती है तथा होल व इलेक्ट्रॉनों के युग्म उत्पन्न होते हैं।

28.7 ट्रांजिस्टर – *pnp* एवं *npn*

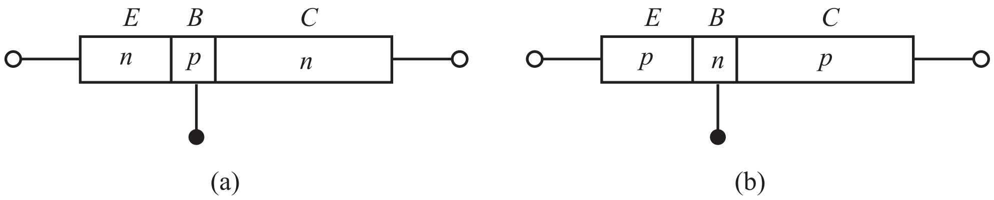
पिछले अनुच्छेद में आपने p-n संधि डायोड का अध्ययन किया है जो कि धारा को केवल एक दिशा में ही प्रवाहित होने देता है। इस कारण से इसका उपयोग दिष्टकारी (Rectifier) एवं संसूचक (Detector) के रूप में ही सम्भव है। द्वि-ध्रुवीय संधि ट्रांजिस्टर (Bipolar Junction Transistor) एक अन्य अत्यन्त उपयोगी अर्द्धचालक युक्ति है।

ट्रांजिस्टर का आविष्कार जॉहन बार्डीन, वाल्टर ब्रटेन तथा विलियम शॉक्ले ने 1948 में अमेरिका की सुप्रसिद्ध बैल प्रयोगशाला में किया था। इससे इलेक्ट्रॉनिक उद्योग के क्षेत्र में नयी क्रांति का सूत्रपात हुआ। इसके उपयोग दैनिक जीवन में इस्तेमाल की जाने वाली वस्तुओं जैसे गैस-लाइटर व खिलौनों से लेकर प्रवर्धकों (Amplifiers) तथा रेडियो व टी वी सैटों तक में हैं। एक स्विच-युक्ति के रूप में ये सड़क पर यातायात को नियन्त्रित करने में उपयोग किये जाते हैं तो कम्प्यूटरों, अन्तरिक्षयानों तथा संचार व्यवस्थाओं की ऊर्जा प्रणालियों में भी इनका उपयोग है।

ट्रांजिस्टर मूलत: सिलिकन अथवा जर्मेनियम क्रिस्टल से बने होते हैं जिनके p तथा n प्रकार के क्षेत्र चित्र 28.16 में दर्शाये गए हैं। इन तीन क्षेत्रों को उत्सर्जक (E), आधार (B), तथा संग्राहक (C) कहा जाता है। आधार (B) मध्य में स्थित होता है तथा उत्सर्जक (E) व संग्राहक (C) बाहरी क्षेत्र है।

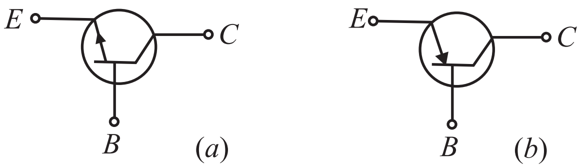
ध्यान दें कि उत्सर्जक एवं संग्राहक एक ही प्रकार (n अथवा p) के अर्द्धचालक होते हैं तथा संग्राहक तीनों में सबसे बड़े आकार का होता है।

आधार (B) उत्सर्जक से संग्राहक के बीच धारा प्रवाह को नियन्त्रित करता है। यह 'नियंत्रण' डायोड में संभव नहीं है। मिश्रित अपद्रव्यों के दृष्टिकोण से ट्रांजिस्टर दो प्रकार के होते हैं–*n-p-n* तथा *p-n-p* । सामान्यत: अपमिश्रण का स्तर उत्सर्जक में सर्वाधिक, संग्राहक में मध्यम तथा आधार में से सबसे कम होता है।



चित्र 28.16: (a) *n-p-n* एवं (b) *p-n-p* ट्रांजिस्टर

ट्रांजिस्टर के विभिन्न क्षेत्रों के नाम से उनके कार्य के बारे में पता चलता है। *n-p-n* ट्रांजिस्टर में बहुसंख्यक आवेश वाहक (इलेक्ट्रॉन) उत्सर्जक से आधार में प्रविष्ट होते हैं। बहुत छोटे आकार तथा अत्यंत अल्प अपमिश्रण के कारण आधार अधिकांश इलेक्ट्रॉनों को संग्राहक की ओर जाने देता है। अपने बड़े आकार के कारण संग्राहक में अन्य दो क्षेत्रों की तुलना में अधिक ऊष्मा उत्पन्न होती है।

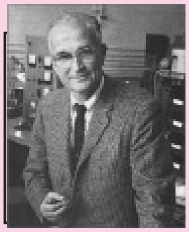


चित्र 28.17 (a) *n-p-n*, (b) *p-n-p* ट्रांजिस्टरों के प्रतीक

चित्र 28.17 में *n-p-n* व *p-n-p* ट्रांजिस्टरों का सांकेतिक निरूपण किया गया है। वाणाग्र परम्परागत धारा-प्रवाह की दिशा को इंगित करता है। आप शायद यह जानना चाहेंगे कि *n-p-n* ट्रांजिस्टर में वाणाग्र बाहर की ओर तथा *p-n-p* ट्रांजिस्टर अन्दर की ओर क्यों होता है? *n-p-n* ट्रांजिस्टर में इलेक्ट्रॉन का प्रवाह उत्सर्जक से आधार की ओर होता है। अत: परम्परागत धारा-प्रवाह आधार से उत्सर्जक की ओर माना जाता है। इसी कारण से वाणाग्र आधार से बाहर की ओर है। *p-n-p* ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक धारा होलों के उत्सर्जक से आधार की ओर प्रवाह के कारण होती है। इस प्रकार परम्परागत धारा उत्सर्जक से आधार की ओर प्रवाहित होती है।

ट्रांजिस्टर द्वि-ध्रुवीय युक्ति है, अत: इसकी क्रिया बहुसंख्यक एवं अल्पसंख्यक दोनों प्रकार के आवेश वाहकों पर निर्भर करती है।

विलियम ब्रैडफोर्ड शॉक्ले
(1910 – 1989)



इंग्लैण्ड में जन्में अमेरिकी भौतिकीविद् डब्ल्य. बी. शॉक्ले उन तीन वैज्ञानिकों में से एक थे जिनको ट्रांजिस्टर के आविष्कार के लिए सन् 1956 में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार मिला था। मूलत: ठोस प्रावस्था भौतिक शास्त्री शॉक्ले ने अर्द्धचालकों में बैण्डों की सैद्धान्तिक समझ, मिश्रधातुओं में व्यवस्था एवं अव्यवस्था, निर्वात टयूबों का सिद्धान्त, अवस्थिति भ्रंश (Dislocation) का सिद्धान्त तथा लौह चुम्बकीय परिक्षेत्रों (Domains) जैसे विषयों के विकास में महत्वपूर्ण योगदान किया। वे सचमुच इलेक्ट्रॉनिकीय क्रांति के अगुआ थे।

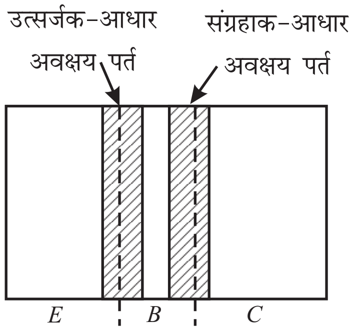
28.7.1 कार्यविधि सिद्धान्त

आप *p-n* संधि की क्रिया-विधि से परिचित हो चुके हैं। अब हम ट्रांजिस्टर की क्रिया-विधि के सिद्धान्त को समझेंगे। पहले *n-p-n* ट्रांजिस्टर की चर्चा की जाएगी क्योंकि इसका उपयोग ज्यादा किया जाता है। जब तक ट्रांजिस्टर को कोई वोल्टता न दी जाय, मुक्त इलेक्ट्रॉनों के संधियों के पार विसरण से चित्र 28.18 के अनुसार दो अवक्षय पर्त बन जाती है। प्रत्येक अवक्षय-पर्त के लिए 25°C पर विभव प्राचीर का मान सिलिकन ट्रांजिस्टर में 0.7V तथा जर्मेनियम ट्रांजिस्टर में 0.3V होता है। जैसा कि आपको विदित है कि सिलिकन ट्रांजिस्टर अधिक वोल्टता रेटिंग, धारा रेटिंग तथा कम ताप सहनशीलता के कारण जर्मेनियम ट्रांजिस्टर की तुलना में अधिक उपयोग में लाए जाते हैं। इस चर्चा में सिलिकन ट्रांजिस्टर की ही बात करेंगे जब तक कि किसी अन्य का उल्लेख न हो।

ट्रांजिस्टर के तीनों क्षेत्रों में अपमिश्रण का स्तर अलग-अलग होता है, अत: अवक्षय पर्त की चौड़ाई भी भिन्न होती है। यदि किसी क्षेत्र में अत्यधिक अपमिश्रण किया जाये तो संधि के समीप आयनों की सघनता भी अधिक होगी। इसके परिणामस्वरूप अवक्षय पर्त पतली होगी। यही बात विलोमत: भी कही जा सकती है। उत्सर्जक एवं संग्राहक की तुलना में आधार अत्यन्त कम अपमिश्रित होता है। अत: अवक्षय पर्त इसमें काफी अन्दर तक होती है, जबकि उत्सर्जक

टिप्पणियाँ

अथवा संग्राहक में इसका बेधन काफी कम होता है (चित्र 28.18)। इसके अतिरिक्त उत्सर्जक अवक्षय पर्त संग्राहक अवक्षय पर्त की तुलना में संकीर्ण होती है।

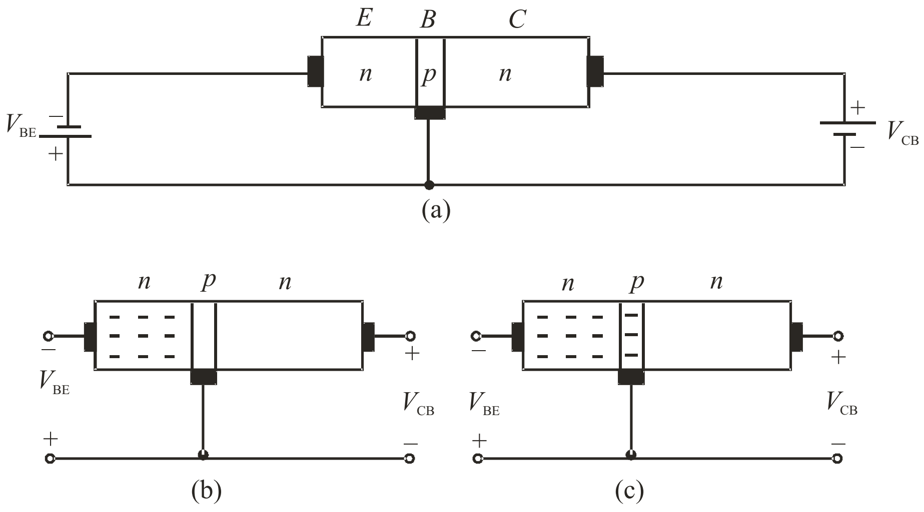


चित्र 28.18 : ट्रांजिस्टर में अवक्षय पर्तें जब उसे कोई वोल्टता न दी जाए।

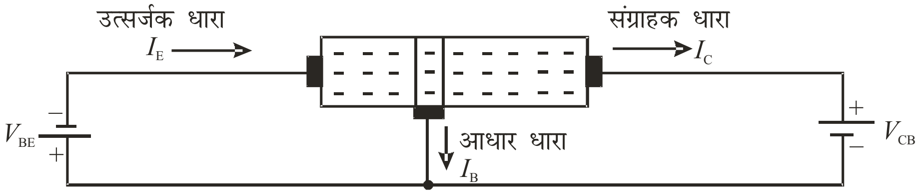
ट्रांजिस्टर के ठीक तरीके से कार्य करने के लिए यह आवश्यक है कि इसके सिरों के मध्य उचित वोल्टता प्रदान की जाय। इसी प्रक्रिया को ट्रांजिस्टर की अभिनति कहते हैं।

n-p-n ट्रांजिस्टर

*n-p-n*ट्रांजिस्टर की अभिनति विधि चित्र 28.19(a) में दर्शायी गयी है। **उत्सर्जक-आधार संधि अग्र अभिनत, जबकि संग्राहक-आधार संधि उत्क्रम अभिनत है।** अत: ऐसा प्रतीत हो सकता है कि उत्सर्जक धारा बहुत अधिक तथा संग्राहक-धारा बहुत कम होगी। किन्तु देखा यह गया है कि संग्राहक धारा उत्सर्जक धारा के लगभग बराबर होती है। अब हम इसका कारण समझने का प्रयास करते हैं। अग्र अभिनत उत्सर्जक से मुक्त-इलेक्ट्रॉन विभव-प्राचीर को पार कर आधार में प्रवेश करते हैं (चित्र 28.19(b) को देखें)। जब V_{BE} विभव प्राचीर (0.6 V से 0.7 V सिलिकन ट्रांजिस्टर में) से अधिक हो जाता है तो इलेक्ट्रॉन आधार क्षेत्र में प्रवेश कर जाते हैं, जैसा कि चित्र 28.19(c) में दर्शाया गया है। एक बार आधार में पहुंचने पर ये इलेक्ट्रॉन या तो पतले आधार से होते हुए बाहर आधार की लीड तक पहुंचते है अथवा संग्राहक संधि को पार कर संग्राहक क्षेत्र में अनुगमन करते हैं। आधार धारा जिसे पुनर्संयोजन धारा भी कहते हैं, अत्यन्त अल्प होती है क्योंकि आधार पतला तथा अल्प अपमिश्रित होता है और उसमें बहुत कम होल होते हैं। V_{BE} >0.7 V के लिए अधिकतर इलेक्ट्रॉन संग्राहक की अवक्षय पर्त में विसरित होते हैं इस पर्त के मुक्त इलेक्ट्रॉन अवक्षय पर्त क्षेत्र द्वारा धकेले जाने से संग्राहक भाग [चित्र 28.19(d)] में अनुगमन करते हुए बाहर संग्राहक की लीड तक पहुंचते हैं। इस प्रकार स्रोत के ऋणात्मक सिरे से इलेक्ट्रॉन की स्थिर धारा निकल कर उत्सर्जक भाग में प्रवेश करती है।



टिप्पणियाँ



(d)

चित्र 28.19: n-p-n ट्रांजिस्टर जब (a) उत्सर्जक अग्र अभिनत तथा संग्राहक उत्क्रम अभिनत हो (b) उत्सर्जक में मुक्त इलेक्ट्रॉन (c) आधार में प्रविष्ट मुक्त इलेक्ट्रॉन (d) आधार के रास्ते संग्राहक जाते हुए मुक्त इलेक्ट्रॉन

अग्र अभिनति के कारण इलेक्ट्रॉन आधार क्षेत्र में प्रवेश करते हैं। लगभग समस्त इलेक्ट्रॉन आधार से गुजरते हुए संग्राहक की अवक्षय पर्त में विसरण करते हैं। अवक्षय पर्त क्षेत्र (Deplition layer field) इलेक्ट्रॉनों की स्थिर धारा को संग्राहक भाग में भेजता है। अधिकतर ट्रांजिस्टरों में उत्सर्जक से निकले 95 प्रतिशत से अधिक इलेक्ट्रॉन संग्राहक में प्रवाहित होते हैं तथा 5 प्रतिशत से भी कम आधार लीड तक पहुंचते हैं।

यहाँ यह निष्कर्ष नहीं निकाला जाना चाहिए कि दो पृथक डायोडों को एक दूसरे से उलटे जोड़कर ट्रांजिस्टर बनाया जा सकता है। ऐसे परिपथ में प्रत्येक डायोड में दो अपमिश्रित भाग तथा सम्पूर्ण परिपथ में चार अपमिश्रित भाग हो जायेंगे। इसके अतिरिक्त आधार भी वैसा नहीं होगा जैसा ट्रांजिस्टर में होता है। **ट्रांजिस्टर की उचित कार्य-विधि के लिए आवश्यक यह है कि अत्याधिक अपमिश्रित उत्सर्जक एवं मध्यम अपमिश्रित संग्राहक के मध्य पतला व अल्प अपमिश्रित आधार हो।** मुक्त इलेक्ट्रॉन आधार को लघु समयान्तराल में ही पार कर संग्राहक में पहुंच जाते हैं।

संग्राहक धारा (I_c) व उत्सर्जक-धारा (I_E) में संबंध धारा-लाभ (α) की भाषा में व्यक्त किया जाता है–

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}. \qquad (28.1)$$

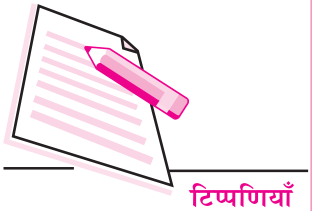
यहाँ α का मान एक के लगभग बराबर, वास्तव में एक से बहुत थोड़ा ही कम होता है।

इसी प्रकार संग्राहक धारा एवं आधार का संबंध भी यूनानी भाषा के अक्षर बीटा द्वारा व्यक्त किया जाता है–

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \qquad (28.2)$$

बीटा ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में धारा-लाभ को व्यक्त करता है। बीटा (β) का मान एक से बहुत अधिक होता है।

संग्राहक धारा व आधार धारा का योग ही उत्सर्जक धारा होता है, अतः



$$I_E = I_c + I_B$$

सम्पूर्ण समीकरण को I_C से विभाजित करने पर,

$$\frac{I_E}{I_C} = 1 + \frac{I_B}{I_C}. \qquad (28.3)$$

α एवं β के पदों में, इसे हम लिख सकते हैं–

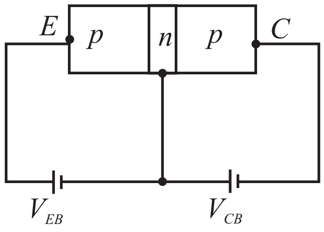
$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$$

अथवा
$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \qquad (28.4)$$

अब हम देखेंगे कि *p-n-p* ट्रांजिस्टर *n-p-n* ट्रांजिस्टर से किस प्रकार भिन्न है:

p-n-p ट्रांजिस्टर

चित्र 28.20 सक्रिय क्षेत्र में क्रिया के लिए अभिनत ट्रांजिस्टर दर्शाया गया है। ध्यान दें कि *n-p-n* ट्रांजिस्टर के स्थान पर *p-n-p* ट्रांजिस्टर लेने पर बैटरी के सिरे उलट दिये हैं।



चित्र 28.20 : सक्रिय क्रिया के लिए अभिनत *p-n-p* ट्रांजिस्टर

पूर्व की भांति, उत्सर्जक–आधार संधि V_{EB} वोल्टता की बैटरी द्वारा अभिनत है तथा संग्राहक आधार संधि V_{CB} वोल्टता की बैटरी द्वारा उत्क्रम अभिनत है। उत्क्रम अभिनत संग्राहक आधार संधि की तुलना में उत्सर्जक आधार संधि का प्रतिरोध बहुत कम है क्योंकि यह अग्र अभिनत है। अत: उत्सर्जक आधार संधि को अल्प अग्र अभिनति वोल्टता (0.6V) दी जाती है, जब कि संग्राहक आधार संधि की दी गयी उत्क्रम अभिनति वोल्टता कहीं अधिक (9V) होती है।

उत्सर्जक–आधार संधि की अग्र अभिनति उत्सर्जक (*p*-क्षेत्र) में विद्यमान बहुसंख्यक वाहकों अर्थात् होलों के आधार (*n*-क्षेत्र) में विसरण करती है क्योंकि वे बैटरी के धनात्मक सिरे से प्रतिकर्षित होते हैं। आधार की चौड़ाई बहुत कम तथा अपमिश्रण बहुत हल्का होने के कारण उसमें प्रवेश करने वाले होलों में से बहुत कम (दो से पाँच प्रतिशत) ही इलेक्ट्रॉनों के साथ पुनर्संयोजन करते है जबकि 95 से 98 प्रतिशत ही संग्राहक भाग में पहुंच जाते हैं। संग्राहक आधार क्षेत्र के उत्क्रम अभिनत होने के कारण वहाँ पहुंचने वाले होल संग्राहक के ऋणात्मक विभव से आकर्षित होते हैं जिससे संग्राहक धारा बढ़ जाती है। अत: उत्सर्जक धारा में वृद्धि संग्राहक धारा में भी वृद्धि करती है। 28.1 से समीकरण 28.4 तक यहाँ भी सत्य हैं।

पाठगत प्रश्न 28.6

1. सही विकल्प चुनिए:
   (a) ट्रांजिस्टर के प्रतीक में वाणाग्र की दिशा होती है–
      (i) उत्सर्जक क्षेत्र में होलों के प्रवाह की ओर।
      (ii) उत्सर्जक क्षेत्र में इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह की ओर।
      (iii) उपर्युक्त क्षेत्र में बहुसंख्य आवेश वाहकों के प्रवाह की ओर।
      (iv) उपर्युक्त में से कोई नहीं।
   (b) ट्रांजिस्टर में प्राय: की जाने वाली अभिनति में उत्सर्जक धारा–
      (i) संग्राहक धारा से कम होती है।
      (ii) आधार धारा तथा संग्राहक धारा के योग के बराबर होती है।
      (iii) आधार धारा के बराबर होती है।
      (iv) उपर्युक्त में से कोई नहीं।
2. रिक्त स्थान भरिये:
   (a) ट्रांजिस्टर में .... क्षेत्र तथा .... संधि होती हैं।
   (b) ट्रांजिस्टर में .... की चौड़ाई सबसे कम होती है।
   (c) उत्सर्जक क्षेत्र ट्रांजिस्टर में .... अपमिश्रिण होता है जबकि .... क्षेत्र सबसे कम अपमिश्रित होता है।
   (d) ट्रांजिस्टर में संग्राहक का आकार .... तथा अपमिश्रिण .... होता है।
   (e) ट्रांजिस्टर तब सक्रिय क्षेत्र में कहा जाता है जब .... संधि अग्र अभिनत तथा .... संधि उत्क्रम अभिनत होती है।
   (f) दो प्रकार के ट्रांजिस्टर हैं: .... तथा .... ।

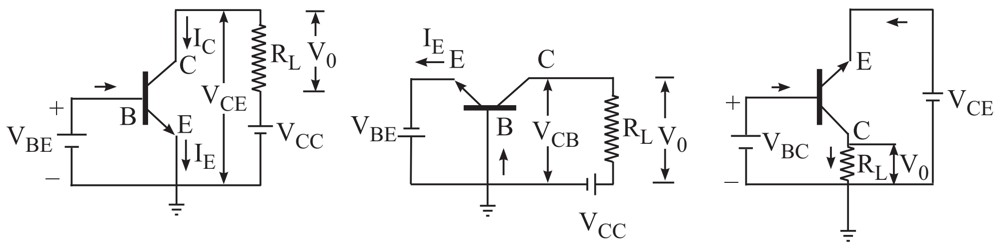
अब आप ट्रांजिस्टर के कार्य सिद्धांत के बारे में सीख चुके हैं। आइये देखें कि किसी ट्रांजिस्टर को हम किन विभिन्न विन्यासों में उपयोग कर सकते हैं।

28.7.2 ट्रांजिस्टर विन्यास

ट्रांजिस्टर दो 'पोर्ट' वाली युक्ति है। निवेश मिलने पर वह एक निर्गम प्रदान करता है। निवेश एवं निर्गम में प्रत्येक के लिए दो टर्मिनलों की आवश्यकता है। तीन टर्मिनलों में से एक को उभयनिष्ठ कर दें तो ट्रांजिस्टर में यह आवश्यकता पूर्ण हो जाती है। 28.21 के चित्रों में ट्रांजिस्टर के विभिन्न विन्यास दर्शाये गये है, जो निवेश एवं निर्गम के मध्य एक टर्मिनल को उभयनिष्ठ करने पर बनते हैं।

- जब उत्सर्जक निवेशी एवं निर्गम परिपथों के बीच उभयनिष्ठ हो तो उभयनिष्ठ-उत्सर्जक (*CE*) विन्यास बनता है [चित्र 28.21 (a)]।
- जब आधार निवेशी एवं निर्गम परिपथों के बीच उभयनिष्ठ हो तो उभयनिष्ठ आधार (CB) विन्यास बनता है [चित्र 28.21(b)]।
- जब संग्राहक निवेशी एवं निर्गम परिपथों के बीच उभयनिष्ठ हो तो उभयनिष्ठ संग्राहक (CC) विन्यास बनता है [चित्र 28.21(c)]।

तीनों विन्यासों में ट्रांजिस्टर अभिलक्षण भिन्न-भिन्न होते हैं। CE विन्यास सबसे अधिक प्रयुक्त होता है क्योंकि यह उच्च वोल्टता-लाभ, धारा-लाभ एवं शक्ति-लाभ प्रदान करता है। CB विन्यास में ट्रांजिस्टर को नियत धारा स्रोत के रूप में उपयोग किया जा सकता है, जबकि CC विन्यास अक्सर 'प्रतिबाधा-मैचिंग' (Impedence Matching) के रूप में इस्तेमाल होता है।



चित्र 28.21: ट्रांजिस्टर विन्यास (a) CE, (b) CB, तथा (c) CC

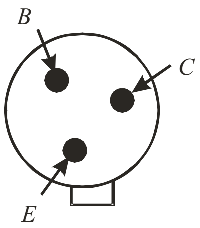
प्रत्येक विन्यास के लिए अभिलक्षण खींचे जा सकते हैं: (a) निवेशी अभिलक्षण, (b) निर्गम अभिलक्षण, (c) पारस्परिक हस्तान्तरण अभिलक्षण।

सारणी 28.2: ट्रांजिस्टर के विभिन्न अभिलक्षणों से संबंधित भौतिक राशियाँ

विन्यास	निवेशी अभिलक्षण	निर्गम अभिलक्षण	पारस्परिक (हस्तान्तरण) अभिलक्षण	महत्वपूर्ण ट्रांजिस्टर नियतांक
CE	V_{BE} एवं I_B में जबकि V_{CE} नियत	V_{CE} एवं I_C में जबकि I_B नियत	I_B एवं I_C में	धारा-लाभ (β)
CB	V_{BE} एवं I_E में जबकि V_{CB} नियत	V_{CB} एवं I_C जबकि I_E नियत	I_E एवं I_C	धारा-लाभ α
CC	V_{CB} एवं I_B में जबकि V_{CE} नियत	V_{CE} एवं I_E जबकि I_B नियत	I_B एवं I_E	

ट्रांजिस्टर को व्यवहारिक प्रयोग में लाने से पूर्व उसके आधार, उत्सर्जक व संग्राहक के सिरों (leads) की पहचान आवश्यक है। इसके लिए निम्नलिखित विधि अपनायी जाती है:

धातु की टोपी (cap) पर छोटे से खाचे (Notch) को देखिये। इसके समीप स्थित सिरा (टर्मिनल) ही उत्सर्जक है। अन्य दो भागों (टर्मीनलों) की पहचान के लिए ट्रांजिस्टर को उलटिए। आधार एवं संग्राहक को चित्र 28.22 के अनुसार आसानी से पहचाना जा सकता है।



चित्र 28.22: ट्रांजिस्टर के भागों की पहचान

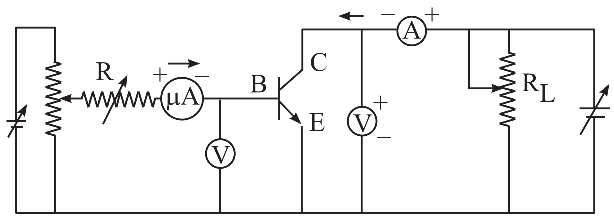
p-n संधि की तरह ट्रांजिस्टरों का भी दो अक्षर व एक संख्या से बना एक 'कोड' होता है। प्रथम अक्षर प्रयुक्त पदार्थ को इंगित करता है तथा दूसरा अक्षर मुख्य अनुप्रयोग बताता हैं। C श्रव्य आवृत्ति ट्रांजिस्टर, D शक्ति ट्रांजिस्टर, F रेडियो आवृति ट्रांजिस्टर को प्रदर्शित करते हैं। संख्या क्रमांक निर्माता द्वारा पहचान के लिए निर्धारित अंक होते हैं। उदाहरणतः AC 125 AF (श्रव्य आवृत्ति) अनुप्रयोग के लिए जर्मेनियम ट्रांजिस्टर का कोड है।

28.8 ट्रांजिस्टर अभिलक्षण

जैसा कि पहले बताया गया है कि ट्रांजिस्टर की क्रियाविधि का अध्ययन निवेशी एवं निर्गम *I-V* अभिलक्षणों से किया जा सकता है। ये अभिलक्षण विशिष्ट होते हैं तथा विन्यास पर निर्भर करते हैं। सर्वप्रथम हम CE विन्यास का अध्ययन करेंगे।

28.8.1 *npn* ट्रांजिस्टर का उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास

जब उज्सर्जक निवेशी एवं निर्गम परिपथों के बीच उभयनिष्ठ हो तो *CE* अभिलक्षण ट्रांजिस्टर के धारा एवं वोल्टता के मध्य संबंध को व्यक्त करते हैं। *npn* ट्रांजिस्टर के *CE* अभिलक्षणों के लिए परिपथ चित्र 28.23 में प्रदर्शित है। V_{BB} $0 - 3\ V$ की परिवर्तनशील (Variable) *dc* (दिष्ट) आपूर्ति है तथा V_{ce} $0 - 15 V$ की परिवर्तनशील *dc* आपूर्ति (Supply) है। R_1 एवं R_2 विभव विभाजक है तथा *R* परिवर्तनशील प्रतिरोध (Variable Resistance) हैं। यह आधार व उत्सर्जक के मध्य वोल्टता V_{BE} को नियन्त्रित करने के लिए प्रयोग में लाया गया है।

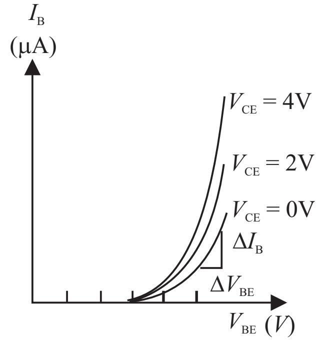


चित्र 28.23 : ट्रांजिस्टर के CE विन्यास में निवेशी एवं निर्गम अभिलक्षणों के लिए परिपथ

निवेशी अभिलक्षण

CE विन्यास में निवेशी अभिलक्षण V_{BE} को परिवर्तित करने पर I_B में परिवर्तन प्रदर्शित करते हैं जबकि V_{CE} को नियत रखा गया हो। अभिलाक्षणिक वक्र खींचने के लिए *R* एवं R_1 की

सहायता से V_{CE} को स्थिर रखते हुए V_{BE} में धीरे-धीरे परिवर्तन किया जाता है तथा I_B के समवर्ती मान आधार से जुड़े माइक्रोएम्पियरमीटर द्वारा मापे जाते हैं। चित्र 29.24 में *npn* ट्रांजिस्टर का CE विन्यास में सामान्य अभिलाक्षणिक वक्र दर्शाया गया है।



चित्र 28.24: npn ट्रांजिस्टर का CE विन्यास में निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र

ध्यान दें कि V_{CE} के निश्चित मान के लिए, वक्र *p-n* संधि के *I-V* अभिलाक्षणिक वक्र की भांति ही है। V_{BE}< 0.5V, पर I_B में तीव्रता से वृद्धि होती है।

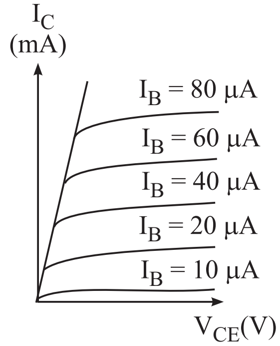
निवेशी अभिलक्षणों की प्रवणता (ढलान) के व्युत्क्रम (Reciprocal) से ट्रांजिस्टर का निवेशी प्रतिरोध ज्ञात किया जा सकता है जो कि आधार-उत्सर्जक वोल्टता में अल्प परिवर्तन एवं उत्पन्न आधार-धारा में परिवर्तन के अनुपात के बराबर होता है जबकि संग्राहक-उत्सर्जक वोल्टता नियत हो:

$$R_{ie} = \left.\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}\right|_{V_{BE}} \qquad (28.5)$$

सामान्यतया R_{ie} का मान 20-100Ω के मध्य होता है। यहाँ ध्यान देने योग्य तथ्य है कि वक्र रेखीय नहीं है, अतः निवेशी प्रतिरोध का मान मापन-बिन्दु (क्रियाकारी-बिन्दु) के बदलने पर बदल जाता है। V_{CE} के बढ़ने पर वक्र ऊर्ध्वाधर (Vertical) हो जाता है, अतः R_{ie} घटता जाता है।

निर्गम अभिलक्षण

निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र V_{CE}, के साथ संग्राहक धारा I_C में परिवर्तन को चित्रित करते है जबकि आधार-धारा I_B स्थिर रखी गयी हो। निर्गम अभिलक्षण जानने के लिए I_B को R_1 एवं R के समायोजन से स्थिर रखते हैं। V_{CE} को 0.5V के अन्तराल में 0 से 10V तक R_2 में परिवर्तन करके बढ़ाते जाते हैं तथा समवर्ती I_B = 40 μA, 60 μA, 80 μA आदि पर प्राप्त किये जा सकते हैं। यहाँ यह सावधानी रखना परम आवश्यक है कि I_B का मान रेटिंग के मान से कभी अधिक न होने पाये।



चित्र 28.25: npn ट्रांजिस्टर के CE विन्यास में निर्गम अभिलाक्षणिक वक्र

इस विन्यास के निवेशी अभिलक्षाण चित्र 28.25 में दर्शाए गए हैं।

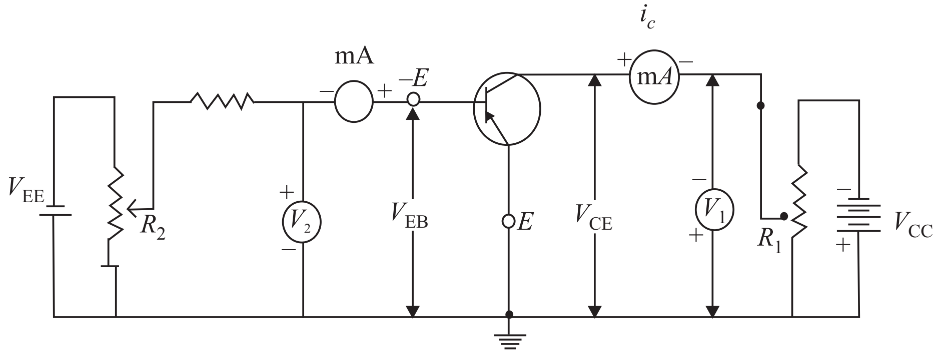
निवेशी अभिलक्षणों में आपने ध्यान दिया होगा कि I_B के निश्चित मान के लिए V_{CE} के बढ़ने पर I_C में परिवर्तन हो रहा है, तथा V_{CE} के निश्चित मान के लिए I_B के बढ़ने पर I_C भी बढ़ जाती है। इन अभिलक्षणों से निर्गम प्रतिचालकता या एडमिटैन्स (Admittance) h_{oe} ज्ञात की जा सकती है:

$$h_{oe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} \qquad (28.6)$$

यहाँ Δ न्यून परिवर्तन को इंगित करता है।

28.8.2 ट्रांजिस्टर का उभयनिष्ठ उत्सर्जक (*CE*) विन्यास

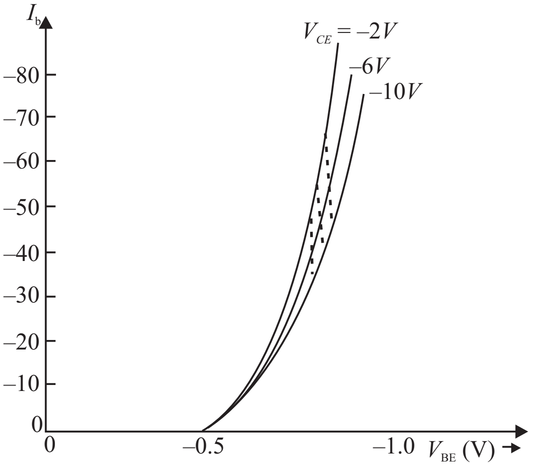
पिछले अनुच्छेद में आपने *n-p-n* ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में निवेशी एवं निर्गम अभिलक्षण जाने। अब हम *p-n-p* ट्रांजिस्टर पर विचार करेंगे। चित्र 28.26 में *p-n-p* ट्रांजिस्टर के CE अभिलक्षणों के लिए परिपथ दर्शाया गया है। ट्रांजिस्टर सक्रिय क्षेत्र में क्रिया करने के लिए अभिनत है। माइक्रोएमीटर एवं वोल्टमीटर आधार-उत्सर्जक परिपथ में क्रमशः आधार-धारा (I_B) एवं आधार व उत्सर्जक के बीच वोल्टता के मापन के लिए लगाये गये हैं। इसी प्रकार मिलीएमीटर व वोल्टमीटर संग्राहक-उत्सर्जक परिपथ में क्रमशः संग्राहक धारा एवं संग्राहक व उत्सर्जक के मध्य वोल्टता मापन के लिए जोड़े गये हैं।



चित्र 28.26: *p-n-p* ट्रांजिस्टर के CE विन्यास में निवेशी व निर्गम अभिलक्षण जानने के लिए परिपथ

निवेशी अभिलक्षण

निवेशी अभिलक्षण $\boldsymbol{V_{CE}}$ के स्थिर मानों के लिए V_{BE} तथा I_B के मध्य ग्राफ हैं। निवेशी अभिलक्षण खींचने के लिए उत्सर्जक-संग्राहक परिपथ में विभव-विभाजक इस प्रकार समायोजित किया जाता है कि वोल्टमीटर स्थिर मान दर्शाता है। तदुपरान्त उत्सर्जक-आधार परिपथ का विभव-विभाजक इस प्रकार समायोजित किया जाता है कि आधार-उत्सर्जक वोल्टता शून्य हो। इस स्थिति में आधार-धारा भी शून्य पायी जाती हैं। V_{CE} को स्थिर रखते हुए V_{BE} को धीरे-धीरे बढ़ाया जाता है तथा आधार-धारा में परिवर्तित को माइक्रोएमीटर द्वारा ज्ञात करते हैं। जैसे $V_{CE} = -2V$ पर



चित्र 28.27 : एक विशिष्ठ *p-n-p* ट्रांजिस्टर के CE विन्यास में निवेशी अभिलक्षण

निवेशी अभिलक्षण खींचने हों तो उत्सर्जक-संग्राहक परिपथ का वोल्टमीटर 2V प्रदर्शित करे। तब उत्सर्जक-आधार परिपथ के विभव-विभाजक को V_{BE} के शून्य मान के लिए समायोजन करते हैं। इसी प्रकार $V_{CE} = -6V, -10V$ इत्यादि के लिए ट्रांजिस्टर के CE विन्यास में निवेशी अभिलाक्षणिक वक्र बनाये जा सकते हैं। चित्र 28.27 में CE विन्यास के निवेशी अभिलक्षण दर्शाये गये हैं। जैसा कि देखा जा सकता है कि इन निवेशी अभिलक्षणों की प्रकृति p - n संधि की अग्र-अभिलक्षणों के समान ही है। जब तक आधार-वोल्टता का मान विभव प्राचीर (सिलिकन ट्रांजिस्टर में 0.7V के लगभग) से कम रहता है तब तक आधार-धारा शून्य रहती है। जैसे ही आधार वोल्टता विभव प्राचीर से अधिक होने लगती है, धारा भी शुरू में धीरे -धीरे बढ़ने लगती है और फिर तीव्रता से बढ़ती है।

आपको स्मरण होगा कि ये वक्र *n-p-n* ट्रांजिस्टर के CE विन्यास में अभिलाक्षणिक वक्रों के समान ही हैं।

निवेशी अभिलाक्षणिक वक्रों की प्रवणता (Gradient) या ढलान के व्युत्क्रम (Reciprocal) से ट्रांजिस्टर का a.c. निवेशी प्रतिरोध ज्ञात किया जा सकता है।

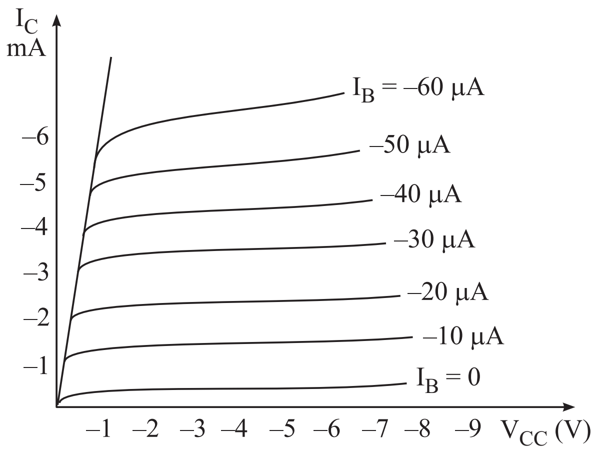
ट्रांजिस्टर के *CE* विन्यास में a.c. निवेशी प्रतिरोध,

$$R_{in} = \left.\frac{\Delta V_{BC}}{\Delta I_B}\right|_{V_{CE}}$$

इस विन्यास में R_{in} 1 KΩ की कोटि का होता है।

निर्गम अभिलक्षण

ये आधार-धारा विभिन्न स्थिर मानों के लिए संग्राहक-उत्सर्जक वोल्टता (V_{CE}) तथा संग्राहक धारा (I_C) के बीच के ग्राफ होते हैं। इन अभिलक्षणों को बनाने के लिए V_{CE} को शून्य रखकर V_{BE} को समायोजित किया जाता है ताकि आधार-उत्सर्जक परिपथ में माइक्रोएमीटर में प्रदर्शित धारा का मान स्थिर रहे। अब I_B को स्थिर रखते हुए V_{CE} को शून्य से आगे छोटे-छोटे अन्तरालों में बढ़ाया जाता है तथा समवर्ती संग्राहक धारा (I_c) का मान संग्राहक के साथ श्रेणी में लगे मिलीएमीटर से ज्ञात कर लिया जाता है।



चित्र 28.28: *p-n-p* ट्रांजिस्टर के CE विन्यास में निर्गम अभिलक्षण

$I_B = 50\mu$ पर निर्गम अभिलक्षण कैसे बनाए जाएं?

इसके लिए V_{BE} इस प्रकारा समायोजित किया जाता है मिलीएमीटर 50 µA पढ़ें। V_{CE} को धीरे-धीर बढ़ाकर I_c का समवर्ती मान ज्ञात किया जाता है। V_{CE} व I_c के बीच का ग्राफ $\mathbf{I_B = 50\ \mu A}$ पर निर्गम अभिलक्षण दर्शाता है। इसी प्रकार $I_B = 100\ \mu A, 200\ \mu A$ इत्यादि पर निवेशी अभिलक्षण प्राप्त किये जा सकते हैं।

उदाहरण 28.1: यदि किसी ट्रांजिस्टर का धारा-लाभ $\alpha = 0.98$ हो तो धारा-लाभ (β) की गणना कीजिए।

हल : $\beta = \dfrac{\alpha}{1-\alpha} = \dfrac{0.98}{1-0.98} = 49$

उदारहण 28.2 किसी ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक धारा में 1mA का परिवर्तन संग्राहक-धारा को 0.99 mA से परिवर्तित कर देता है तो a.c. धारा-लाभ बताइए।

हल : दिया है, $\Delta I_e = 1\text{ mA} = 1 \times 10^{-3}\text{ A}$ एवं $\Delta I_c = 0.99\text{ mA} = 0.99 \times 10^{-3}\text{ A}$

अतः ट्रांजिस्टर का a.c. धारा-लाभ, $\alpha = \dfrac{\Delta I_c}{\Delta I_e} = \dfrac{0.99 \times 10^{-3}\text{ A}}{1 \times 10^{-3}\text{ A}} = 0.99$

पाठगत प्रश्न 28.7

1. पाठ्य अन्तर्गामी प्रश्न
   (a) .... वक्र एक निश्चित निर्गत वोल्टता के लिये निवेशी धारा तथा निवेशी वोल्टता के मध्य संबंध को प्रदर्शित करता है।
   (b) .... वक्र एक निश्चित निवेशी धारा के लिए निर्गत धारा तथा निर्गत वोल्टता के मध्य संबंध को प्रदर्शित करता है।
   (c) उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के ट्रांजिस्टर में .... एवं .... निर्गती सिरों का कार्य करते हैं।
   (d) उभयनिष्ठ आधार विन्यास वाले ट्रांजिस्टर में .... एवं .... निवेशी सिरे जबकि .... एवं .... निर्गती सिरे हैं।

आपने क्या सीखा

- अर्द्धचालक पदार्थों की चालकता का मान चालकों एवं अचालकों के मध्य होता है। उदाहरण–सिलिकन एवं जर्मेनियम।
- अर्द्धचालक दो प्रकार के होते हैं: नैज (शुद्ध) तथा बाह्य (अपमिश्रित अथवा मादित)।

- बाह्य अर्द्धचालक *p*-प्रकार (जिनमें तृतीय समूह की अशुद्धि से अपमिश्रण किया जाता है) अथवा *n*-प्रकार (जिसमें पंचम समूह की अशुद्धि का अपमिश्रण किया जाता है) के हो सकते हैं।
- *p-n* संधि डायोड एक *p*-प्रकार के तथा *n*-प्रकार के क्षेत्र से मिलकर बना होता है जिसके प्रत्येक सिरे पर एक टर्मीनल बनाया होता है।
- जब *p-n* संधि की रचना होती है तो विवरों (होलों) एवं इलेक्ट्रॉनों के संधि के पार विसरण से अवक्षय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है जिसमें कोई चलनशील आवेश वाहक नहीं होते।
- अवक्षय क्षेत्र के आयन संधि पर विभवान्तर उत्पन्न कर देते हैं जिसे विभव प्राचीर कहते हैं।
- अग्र अभिनत *p-n* संधि का अल्प प्रतिरोध होता है।
- उत्क्रम अभिनत *p-n* संधि का उच्च प्रतिरोध होता है।
- *p-n* संधि में धारा प्रवाह केवल एक दिशा में ही होता है।
- विभिन्न प्रकार के डायोड फोटो डायोड, प्रकाश उत्सर्जक डायोड, जेनर डायोड और सौर सेल हें।
- फोटो डायोड परिपथ में हमेशा उत्क्रम अभिनति में संयोजित किया जाता है।
- ट्रांजिस्टर में तीन अलग-अलग क्षेत्र (उत्सर्जक, आधार एवं संग्राहक) तथा दो संधियां होती हैं। उत्सर्जक सर्वाधिक अपमिश्रित तथा आधार सबसे कम अपमिश्रित होता है। संग्राहक का आकार सबसे बड़ा जबकि आधार सबसे पतला होता है।
- ट्रांजिस्टर *p-n-p* अथवा *n-p-n* प्रकार का हो सकता है।
- ट्रांजिस्टर को तीन विन्यासों अथवा व्यवस्थाओं में जोड़ा जा सकता है–

  उभयनिष्ठ आधार (*CB*), उभयनिष्ठ उत्सर्जक (*CE*) अथवा उभयनिष्ठ संग्राहक (*CC*).
- ट्रांजिस्टर के अभिलक्षण विन्यास के अनुसार भिन्न-भिन्न होते हैं।
- *CE* विन्यास को अन्य विन्यासों के ऊपर वरीयता दी जाती है, क्योंकि, इसमें धारा-लाभ तथा 'वोल्टता-लाभ' दोनों ही उच्च होते हैं।

पाठांत प्रश्न

1. *p-n* संधि डायोड की महत्वपूर्ण विशेषताओं का वर्णन करिये।
2. *p-n* संधि डायोड में अवक्षय क्षेत्र की संरचना की व्याख्या करिये।
3. कौन से आवेश वाहक *p-n* संधि डायोड में अग्र धारा प्रवाहित करते हैं?

4. विभेद कीजिये:

   (i) अग्र अभिनति तथा उत्क्रम अभिनति,

   (ii) एवलांश भंजन तथा जेनर भंजन।

5. *p-n-p* तथा *n-p-n* ट्रांजिस्टरों की कार्यविधि समझाइए।

6. किसी ट्रांजिस्टर के लिए धारा-लाभ α एवं β को परिभाषित कीजिए।

7. यदि $\alpha = 0.998$, तो I_E में 4 mA. परिवर्तन के कारण I_C में परिवर्तन की गणना कीजिए।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

28.1

1. प्रत्येक 7.5×10^{15} 2. (ii)

3. अशुद्धि अथवा अपद्रव्य, अपमिश्रण (डोपिंग)

4. बहुसंख्यक   5. कम

28.2

1. (a) बहुसंख्यक आवेश वाहकों   (b) अवक्षय क्षेत्र

   (c) 0.7 वोल्ट , 0.3 वोल्ट   (d) अधिक, इलेक्ट्रॉनों

2. (a) (iii), (b) (iii), (c) (i)

28.3

3. (a) घटता है   (b) बढ़ता है   (c) बढ़ जाती है, भंजन वोल्टता

4. (a) (iv);   (b) (iii)

28.4

2. (a) 0.7 वोल्ट, 0.3 वोल्ट   (b) एक   (c) μA

3. (a) (iii);   (b) (ii)

28.5

1. (a) (ii),   (b) (i),   (c) (iv)

2. (a) जेनर, (b) उत्क्रम, (c) प्रकाश संवेदी,
   (d) समूह तृतीय व पंचम, (e) अग्र, (f) उत्सर्जन,
   (g) पुनर्संयोजन (h) विद्युत प्रदीप्ति (Electroluminiscence),
   (i) फोटो वोल्टाइक (j) अधिक, अवशोषित।

28.6

1. (a) (i); (b) (ii)
2. (a) तीन, दो (b) आधार (c) सर्वाधिक, आधार,
   (d) सर्वाधिक, मध्यम (e) उत्सर्जक–आधार, आधार–संग्रहाक
   (f) *npn*, *pnp*

28.7

1. (a) निवेशी अभिलाक्षणिक (b) निर्गम अभिलाक्षणिक
   (c) संग्राहक, उत्सर्जक (d) आधार एवं उत्सर्जक, आधार एवं संग्राहक

पाठांत प्रश्न

7. 3.992 mA

29

अर्द्धचालक युक्तियों के अनुप्रयोग

पिछले अध्याय में आपने अर्द्धचालक युक्तियों जैसे *p-n* संधि डायोड, जेनर डायोड, LED, सौर सेल एवं ट्रांजिस्टर के सिद्धांत पढ़े। अपने लघु आकार एवं विशिष्ट वैद्युत गुणों के कारण इन युक्तियों के घरेलू उपकरणों एवं यंत्रों जैसे गैस-लाइटर, सुरक्षा सूचक घंटी, रेडियो, टीवी, टेलीफोन, टेप रिकार्डर, सीडी प्लेयर, कम्प्यूटर, पंखा नियंत्रक, आदि में अनेक अनुप्रयोग है। बड़े उद्यमों की नियंत्रण प्रक्रिया में, हवाई जहाजों के उड्डयन नियंत्रण उपकरणों तथा उपग्रहों की ऊर्जन प्रणालियों में अर्द्धचालक युक्तियाँ ही प्रयुक्त होती हैं। एक प्रकार से, जिन्दगी के बारे में इनके बिना सोचना असंभव है।

इस अध्याय में आप डायोड एवं ट्रांजिस्टर के कुछ सरल अनुप्रयोग सीखेंगे। इस चर्चा के बाद डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्स के आधारभूत तथ्यों से परिचय होगा। इलेक्ट्रॉनिक्स की इस शाखा में ऐसे विशिष्ट सिगनल/ तरंग-रूप प्रयुक्त होते हैं जो 0 एवं 1 द्वारा दर्शायी जाने वाली केवल दो अवस्थाओं में ही मौजूद हो सकते हैं। डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्स तार्किक परिपथ (Logic Gates) की अवधारणा पर आधारित होते हैं। ये परिपथ डिजिटल स्वरूप में निवेश ग्रहण कर सकते हैं तथा एक तार्किक क्रिया-विधि (Logic Operation) के उपरांत एक निश्चित निर्गम देते हैं। आप इन तार्किक परिपथों के प्रतीक, वास्तविक स्वरूप आदि के बारे में इस अध्याय में पढ़ेंगे।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के पश्चात आप:

- डायोड की अर्द्ध-तरंग एवं पूर्व-तरंग दिष्टकारी के रूप में व्याख्या कर सकेंगे;
- जेनर डायोड की वोल्टेज नियंत्रक (Voltage Regulator) के रूप में व्याख्या कर सकेंगे;
- ट्रांजिस्टर को प्रवर्धक, स्विच एवं दोलित्र के रूप में उपयोग में ला पाएंगे;
- तार्किक परिपथों की सत्य सारणी सहित व्याख्या कर पाएंगे, तथा
- सरल परिपथ अवयवों द्वारा तार्किक परिपथों की रचना कर पाएंगे।

29.1 $p-n$ संधि डायोड के अनुप्रयोग

आप अब तक p–n संधि में असममित वैद्युत चालन के बारे में पढ़ चुके हैं अर्थात् इसका अग्र अभिनति में प्रतिरोध उत्क्रम अभिनति में प्रतिरोध से भिन्न होता है। इस विशेषता के कारण डायोड दिष्टकरण (Rectification) अर्थात् प्रत्यावर्ती सिगनल को दिष्ट सिगनल (नियम मान का) में परिवर्तित करने के लिए इस्तेमाल किया जाता है। दैनिक जीवन में इसकी सैल फोन, लैप-टॉप आदि के आवेशन (Charging) में आवश्यकता होती है।

29.1.1 p-n संधि डायोड दिष्टकारी के रूप में

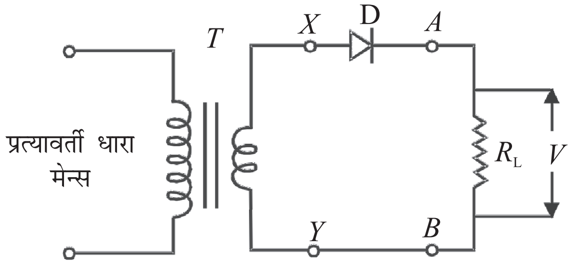
आपने मॉड्यूल 5 के अध्याय में पढ़ा था कि हमारे घरों में विद्युत आपूर्ति प्रत्यावर्ती वोल्टता के रूप में होती है। यह 50 हट्र्ज आवृत्ति का ज्या सिगनल (Sinusoidal Signal) होता है। इसका तात्पर्य है कि वोल्टता (अथवा धारा) एक चक्र में दो बार शून्य होती है अर्थात् शून्य वोल्टता स्तर के दोनों ओर सममिति रूप से तरंग-रूप एक अर्द्ध चक्र (Half cycle) में धनात्मक तथा दूसरे अर्द्ध चक्र में ऋणात्मक होता है। ऐसी तरंग की औसत वोल्टता शून्य होगी।

a) अर्द्ध-तरंग दिष्टकरण

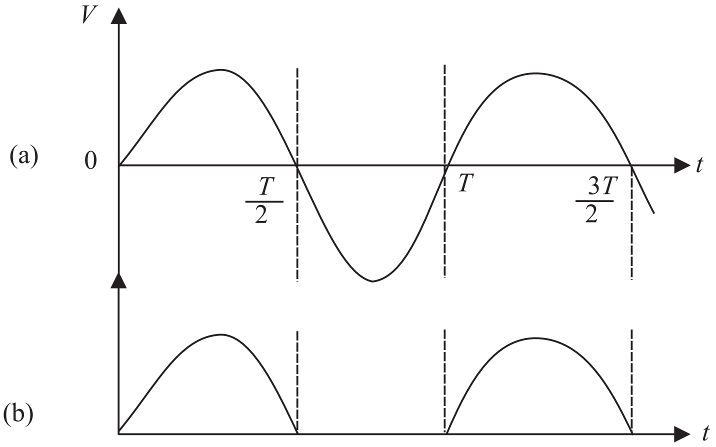
चित्र 29.1 का अवलोकन करें। प्रत्यावर्ती धारा-स्रोत से प्राप्त सिगनल को अपचायी ट्रांसफार्मर T में निवेश किया जाता है जो कि उसको X तथा Y बिन्दुओं के बीच निर्गत करता है। इन सिरों के बीच p-n संधि डायोड D के माध्यम से लोड-प्रतिरोध R_L भी जोड़ दिया जाता है। आप शायद यह जानना चाहेंगे कि यहाँ अपचायी ट्रांसफार्मर क्यों प्रयुक्त हुआ है। ऐसा इसलिए किया गया है क्योंकि अधिकतर इलेक्ट्रॉनिक युक्तियों में 220V से काफी कम वोल्टता-स्तर की आवश्यकता होती है। अपचायी ट्रांसफार्मर के निर्गम के रूप में प्रत्यावर्ती सिगनल प्राप्त किया जाता है। जैसा कि चित्र 29.2 (a) में दर्शाया गया है कि बिन्दु Y के सापेक्ष बिन्दु X का विभव ज्या फलन (Sine Function) की भांति परिवर्तित होता है। 0 से $T/2$ के समयान्तराल के बीच होने वाले धनात्मक अर्द्ध-चक्र में डायोड D अग्र अभिनत होने के कारण वैद्युत चालन करता है अर्थात् धारा R_L में A से B की ओर प्रवाहित होती है। किन्तु समयान्तराल $T/2$ से T के बीच होने वाले ऋणात्मक अर्द्ध-चक्र में डायोड D उत्क्रम अभिनत होने के कारण वैद्युत चालन नहीं करता अर्थात् R_L में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती। यह चित्र 29.2(b) में देखा जा सकता है। इस प्रकार p-n संधि ज्या-तरंग (Sine Wave) के एक अर्द्ध-चक्र में ही वैद्युत चालन करती है इसलिए यह अर्द्ध-तरंग दिष्टकारी का कार्य करता है।

अचालन वाले अर्द्ध-चक्र में डायोड के बीच अधिकतम उत्क्रम वोल्टता शिखर प्रत्यावर्ती वोल्टता V_m के बराबर होती है। अधिकतम उत्क्रम वोल्टता जिसे डायोड बिना भंजन के सहन कर सकता है, शिखर व्युत्क्रम वोल्टता **[Peak Inverse Voltage(PIV)]** कहलाती है। अत: स्पष्ट है कि दिष्टकारी के रूप में ऐसे डायोड का प्रयोग करना चाहिए जिसकी PIV दिष्टकृत की जाने वाली प्रत्यावर्ती शिखर वोल्टता से अधिक हो, अन्यथा डायोड को क्षति पहुंच सकती है। अर्द्ध तरंग दिष्टकारी के परिपथ में वोल्टमीटर द्वारा R_L के सिरों के बीच मापी गयी दिष्ट वोल्टता V_{dc} का मान निम्नलिखित होता है

$$V_{dc} = V_m/\pi \qquad (29.1)$$



चित्र 29.1: अर्द्ध तरंग दिष्टकारी का परिपथ



चित्र 29.2: (a) निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता (b) अर्द्ध तरंग दिष्ट निर्गम

जहाँ V_m शिखर प्रत्यावर्ती वोल्टता है। लोड प्रतिरोध R_L में प्रवाहित दिष्ट धारा निम्नलिखित होती है

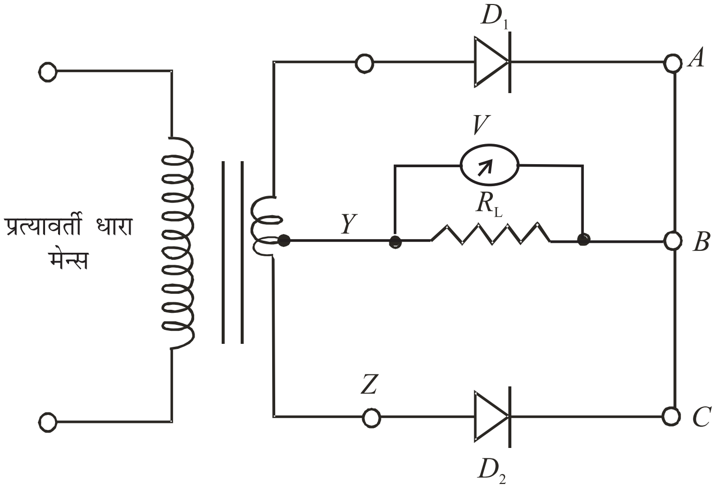
$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L} = \frac{V_m}{\pi R_L} \qquad (29.2)$$

ध्यान दें कि यहाँ केवल आधी निवेशी शक्ति का उपयोग हो रहा है। इसलिए दिष्ट धारा प्राप्त करने की यह अच्छी दक्षतापूर्ण विधि नहीं कही जा सकती। यहाँ यह तर्क दिया जा सकता है कि एक के बजाय दो डायोड इस प्रकार इस्तेमाल क्यों नहीं किये जाते जिसमें वे एक-एक करके क्रमागत रूप से प्रत्येक अर्द्धचक्र में कार्य करें। इसी को पूर्ण-तरंग दिष्टकारी कहते हैं जिसका अब हम अध्ययन करेंगे।

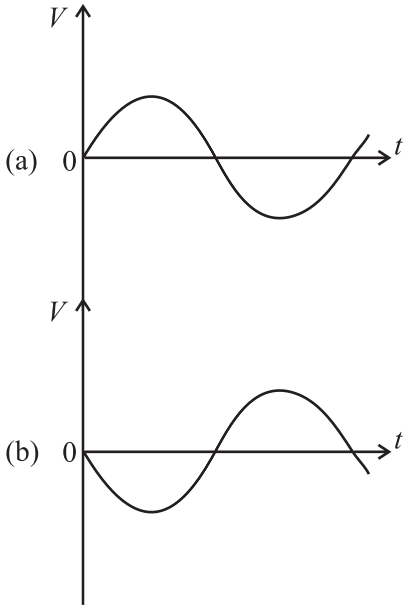
b) पूर्ण-तरंग दिष्टकरण

पूर्ण तरंग दिष्टकरण के लिए निवेशी सिगनल चित्र 29.3 में दर्शाये गये परिपथ में अपचायी ट्रांसफार्मर की प्राथमिक कुण्डली में दिया जाता है (इसके द्वितीयक कुण्डली में दो एकसमान कुण्डलियाँ श्रेणीबद्ध होती है)। D_1 एवं D_2 दो p-n संधि डायोड है। लोड-प्रतिरोध (R_L) का एक सिरा द्वितीयक कुण्डली के फेरों के मध्य बिन्दु Y से तथा दूसरा सिरा डायोड D_1 एवं D_2 के केथोड सिरों से जोड़ दिया जाता है। इन डायोडों के द्वितीयक कुण्डली के सिरों X एवं Z के साथ क्रमशः जुड़े होते हैं। Y के सापेक्ष X तथा Z का विभव विपरीत कला में होता है अर्थात् जब

X का विभव धनात्मक होता है तो Z का विभव ऋणात्मक होगा तथा यही कथन विलोमत: भी सत्य है। चित्र 29.4(a) तथा (b) इसको ग्राफ के माध्यम से प्रदर्शित किया गया है।

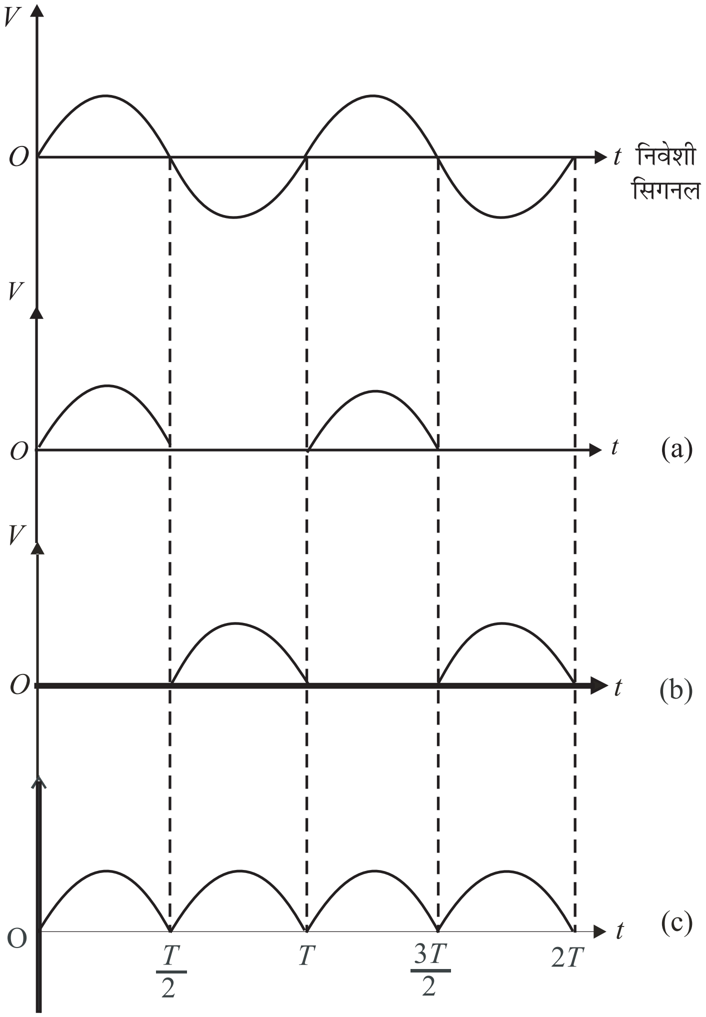


चित्र 29.3: दो डायोडों वाला पूर्ण-तरंग दिष्टकारी



चित्र 29.4 : (a) Y के सापेक्ष X बिन्दु पर विभव धनात्मक है, तथा (b) बिन्दु Z का विभव Y के सापेक्ष ऋणात्मक है।

मान लीजिये, शुरू में Y के सापेक्ष बिन्दु X धनात्मक, किन्तु बिन्दु Y ऋणात्मक विभव पर है। इस स्थिति में डायोड D_1 में विद्युत प्रवाह तो होगा किन्तु डायोड D_2 में ऐसा नहीं होगा। अत: लोड-प्रतिरोध R_L में धारा B से Y की ओर प्रवाहित होगी तथा R_L के बीच निर्गत वोल्टता चित्र 29.5(a) के अनुसार होगी। अगले अर्द्ध चक्र में, X ऋणात्मक तथा Z धनात्मक विभव पर होगा। इस स्थिति में डायोड D_2 में विद्युत प्रवाह होगा तथा उसकी लोड-प्रतिरोध में दिशा पूर्ववत् अर्थात् B से Y की ओर ही होगी। संगत तरंग-रूप चित्र 29.5(b) में दर्शाया गया है। R_L के बीच निर्गत वोल्टता एकदिश, किन्तु स्पन्दनयुक्त होती है, जैसा कि चित्र 29.5(c) में प्रदर्शित है।



चित्र 29.5 : R_L के बीच वोल्टता a) जब D_1 में वैद्युत-प्रवाह होता है, b) D_2 वैद्युत-प्रवाह होता है, c) पूर्ण-तरंग दिष्टकारी का कुल निर्गम

लोड में धारा प्रवाह ज्या-तरंग (Sine Wave) के संपूर्ण चक्र में होने के कारण इस प्रक्रिया को पूर्ण-तरंग दिष्टकरण कहते हैं। दिष्ट-वोल्टता एवं दिष्ट-धारा के मान निम्नलिखित हैं-

$$V_{dc} = 2 \times V_m/\pi \qquad (29.3)$$

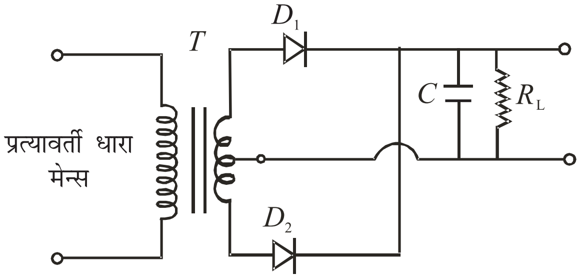
तथा

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L} = \frac{2V_m}{\pi R_L} \qquad (29.4)$$

ध्यान दें कि पूर्ण-तरंग दिष्टकरण के उपरांत लोड-प्रतिरोध में प्रवाहित होने वाली धारा एक-दिशीय होते हुए भी बहुत अधिक व्यवहारिक उपयोग के योग्य नहीं है क्योंकि इसका मान महत्तम से न्यूनतम के बीच लगातार स्पन्दित (Pulsate) होता है। उच्चावच घटक (Fluctuating component) को कम कर स्थिर धारा प्राप्त करने के लिए स्पन्दीय भाग को 'फिल्टर' किया जाता है। आपको यह जिज्ञासा होगी कि यह कैसे किया जाता है। अब हम इन महत्वपूर्ण प्रश्नों के उत्तर ढूढ़ेंगे।

फिल्टरिंग (Filtering)

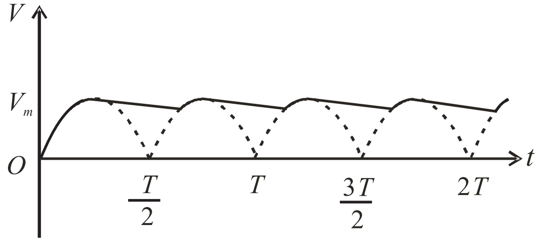
आपको याद होगा कि संधारित्र की प्रतिबाधा (Impedence) स्रोत की आवृत्ति पर निर्भर करती है। अत: चित्र 29.6 में दर्शाया गया लोड-प्रतिरोध के समांतर संधारित्र C उच्च आवृत्ति वाले घटक को फिल्टर करेगा।



चित्र 29.6 : पूर्ण तरंग दिष्टकरण में संधारित्र-फिल्टर का परिपथ चित्र

जब डायोड D_1 में कालांश $t = T/4$ की अवधि में वैद्युत चालन होता है तो संधारित्र अधिकतम विभव V_m तक आवेशित हो जाता है। जब $T/4 < t < T/2$ अवधि में धारा घटती है तो संधारित्र अनावेशित होते हुए लोड में धारा का मान स्थिर रखने का प्रयास करता है जिससे उच्चावचन (Fluctuations) काफी हद तक कम हो जाते हैं, जैसा कि चित्र 29.7 में दर्शाया गया है। धारिता एवं लोड-प्रतिरोध का मान जितना अधिक होगा निर्गत दिष्ट धारा में उच्चावचन उतने ही कम होंगे। उच्चावचन को कम करने के लिए लोड के समांतर लगाये जाने वाले इस संधारित्र को फिल्टर संधारित्र कहते हैं। विद्युत आपूर्ति यूनिट (Power Supply Unit) में LC तथा C-L-C (अथवा π) 'फिल्टर' लगाकर ऊर्मित प्रभाव (Ripple Effect) को कम किया जाता है। आप इनका विस्तृत अध्ययन उच्चतर कक्षाओं में कर पायेंगे।

> उच्च गुणवत्ता के शक्ति प्रदायों में प्रेरकों एवं संधारित्रों के संयोजनों $L-C-L$ अथवा $C-L-C$ का उपयोग किया जाता है। जिस प्रकार इन अवयवों को जोड़ा जाता है उसी के अनुसार इन्हें 'T' अथवा 'π'-फिल्टर कहा जाता है।



चित्र 29.7: निर्गत वोल्टता जब संधारित्र फिल्टर के रूप में प्रयुक्त हो।

विशेष प्रकार के p-n संधि जिन्हें जेनर डायोड करते हैं, उत्क्रम-अभिनति में वोल्टता-नियंत्रक का कार्य करते हैं। अब आप इस विषय का अध्ययन कर पायेंगे।

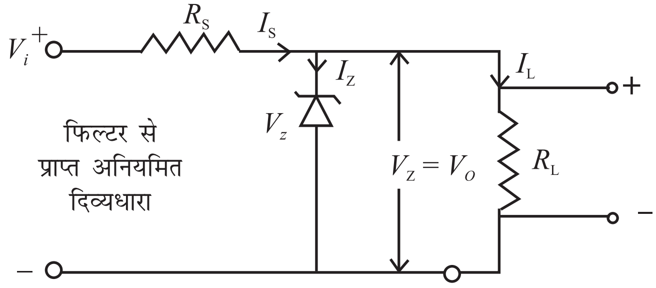
29.1.2 वोल्टता-नियंत्रक के रूप में जेनर डायोड

फिल्टर युक्त अर्द्ध-तरंग एवं पूर्ण-तरंग दिष्टकारी सरलतम प्रकार की विद्युत आपूर्ति व्यवस्थायें हैं। इनसे प्राप्त होने वाली धारा प्राय: शुद्ध दिष्ट धारा तो होती है, किन्तु इनका एक बड़ा दोष यह है कि यदि प्रतिरोध घटने पर लोड-धारा बढ़ जाय तो निर्गत वोल्टता घट जाती है। इसका

कारण यह है कि अत्यधिक धारा-प्रवाह होने पर फिल्टर-संधारित्र अधिक अनावेशित हो जाता है तथा लोड-प्रतिरोध के बीच इसकी वोल्टता घट जाती है। इसी प्रकार यदि प्रत्यावर्ती निवेश में परिवर्तन होता है तो दिष्ट निर्गम भी परिवर्तित हो जाता है। स्पष्ट है कि परिवर्तनशील निर्गत वोल्टता वाली आपूर्ति-व्यवस्था से क्रियारत विभिन्न युक्तियों की कार्य-कुशलता भी प्रभावित होगी। उदाहरणत: यदि एक प्रवर्ध क्रियारत है तो इससे उत्पन्न ध्वनि की गुणवत्ता खराब होगी। इस दोष को दूर करने के लिए किसी सामान्य विद्युत आपूर्ति इकाई के साथ एक जेनर डायोड प्रयोग किया जाता है; निर्गत दिष्ट वोल्टता अब स्थिर होती है। इस प्रकार के परिपथ को नियंत्रित विद्युत आपूर्ति कहते हैं।

जेनर वोल्टता नियंत्रित आपूर्ति का परिपथ चित्र 29.8 में दर्शाया गया है। इसमें एक जेनर डायोड है जो भंजन वोल्टता (V_z) पर कार्य करता है। निर्गत स्थिर वोल्टता (V_O) जो भंजन वोल्टता के बराबर ही होता है। एक उपयुक्त श्रेणीबद्ध प्रतिरोध R_s परिपथ में धारा नियंत्रित करने के लिए लगाया जाता है जो अतिरिक्त वोल्टता को विभाजित कर अलग कर देता है। जेनर डायोड का एनोड निवेशी आपूर्ति के ऋणात्मक सिरे से जोड़ दिया जाता है तथा केथोड को श्रेणीबद्ध प्रतिरोध R_s के माध्यम से आपूर्ति के धनात्मक सिरे से जोड़ा जाता है। इस प्रकार जेनर डायोड उत्क्रम अभिनत होता है। लोड-प्रतिरोध जेनर डायोड के समांतर लगाते हैं। जेनर नियामत तभी होगा जब निवेशी आपूर्ति वोल्टता (V_i) का मान V_z से अधिक हो। भंजन के उपरांत, जेनर डायोड के बीच वोल्टता स्थिर रहती है तथा प्रवाहित धारा पर निर्भर नहीं करती। R_s में प्रवाहित धारा I_s का मान निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त किया जा सकता है :

$$I_s = (V_i - V_z)/R_s \qquad (29.5)$$



चित्र 29.8 : वोल्टता नियंत्रक के रुप में जेनर डायोड

धारा I_z को दो भागों में विभाजन होता है : जेनर धारा I_Z एवं लोड धारा I_L। अब किरचॉफ के नियमों से यह कहा जा सकता है

$$I_s = I_z + I_L$$

या

$$I_z = I_s - I_L \qquad (29.6)$$

जेनर डायोड के कार्य करने के लिए कुछ न्यूनतम धारा ($I_{Z_{min}}$) इसमें अवश्य प्रवाहित होनी चाहिए। अत: लोड धारा (I_L) मुख्य धारा I_s से सदैव कुछ कम होती है। $I_{Z_{min}}$ का मान सामान्यतया 5 mA से 20 mA के मध्य होता है। यदि लोड-धारा शून्य हो तो धारा I_s सम्पूर्णतया जेनर डायोड से ही प्रवाहित होगी तथा निर्गत वोल्टता V_O का मान V_z के बराबर ही होगा। जब कुछ लोड-धारा

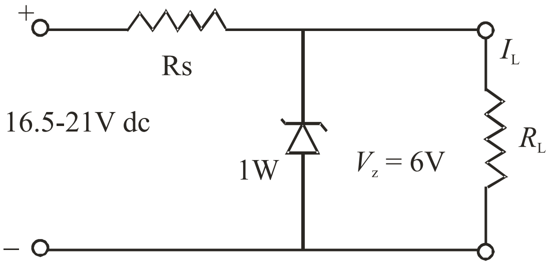
I_L भी प्रवाहित होती है तो जेनर धारा भी इतनी ही मात्रा में कम होगी किन्तु निर्गत वोल्टता का मान पूर्ववत V_z ही रहेगा। इसी प्रकार यदि प्रत्यावर्ती स्रोत वोल्टता बढ़ती या घटती है तो निवेशी वोल्टता V_i भी तदनुसार बढ़ेगी या घटेगी। इसके परिणामस्वरूप धारा I_s समीकरण (29.5) के अनुसार परिवर्तित होगी। V_i में परिवर्तन I_s के बदल जाने के कारण श्रेणी-प्रतिरोध R_s के मध्य विभवान्तर के रूप में प्रकट होता है। जेनर वोल्टता V_z तथा निर्वात वोल्टता V_O अपरिवर्तित रहते हैं। इस प्रकार निवेशी वोल्टता एवं धारा (अथवा लोड प्रतिरोध) में परिवर्तन से अप्रभावित रहते हुए निर्गत वोल्टता स्थिर (Stabilized) हो जाती है।

जेनर डायोड में ऊर्जा की खपत निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त की जा सकती है

$$P_d = V_z \times I_z \tag{29.7}$$

यह खपत निर्माता द्वारा अनुमोदित महत्तम ऊर्जा खपत दर के मान से अधिक नहीं होनी चाहिए। अब हम जेनर नियंत्रित विद्युत आपूर्ति को एक उदाहरण द्वारा समझेंगे।

उदाहरण 29.1: यदि किसी परिपथ में लोड धारा 0 से बढ़कर 100 mA तथा निवेशी आपूर्ति वोल्टता 16.5 V से बढ़कर 21 V हो जाती हो तो एक ऐसे परिपथ की रचना करिये जिससे कि 6 V की स्थिर आपूर्ति प्राप्त हो सके।



हल : हम 6 V (भंजन वोल्टता) का जेनर डायोड लेते हैं। मान लीजिये इसकी $I_{Z_{min}}$ का मान 5 mA है। जेनर डायोड में अधिकतम धारा तब प्रवाहित होगी जब लोड-धारा शून्य हो। इसका मान (100+5) mA= 0.105A होगा।

R_s का मान न्यूनतम निवेशी वोल्टता तथा अधिकतम आवश्यक धारा द्वारा निर्धारित होता है :

$$R_s = \frac{V_{z_{min}} - V_z}{I_{max}} = \frac{16.5V - 6V}{105mA} = 100\,\Omega$$

निवेशी वोल्टता के अधिकतम होने पर जेनर डायोड में प्रवाहित धारा भी अधिकतम होगी। अतः अधिकतम जेनर धारा $I_{max} = (21V - 6V)/100\,\Omega \approx 0.15$ A.

डायोड में अधिकतम ऊर्जा खपत की दर = 6V × 0.15A= 0.9W.

इससे निष्कर्ष निकलता है कि प्रयुक्त डायोड 6V, 1W एवं 100 π का होना चाहिए तथा इसके परिपथ की रचना संलग्न चित्रानुसार होनी चाहिए। यह लोड एवं निवेश में निर्धारित सीमाओं के अंदर परिवर्तन होने पर 6V का स्थिर निर्गम प्रदान करेगा।

पाठगत प्रश्न 29.1

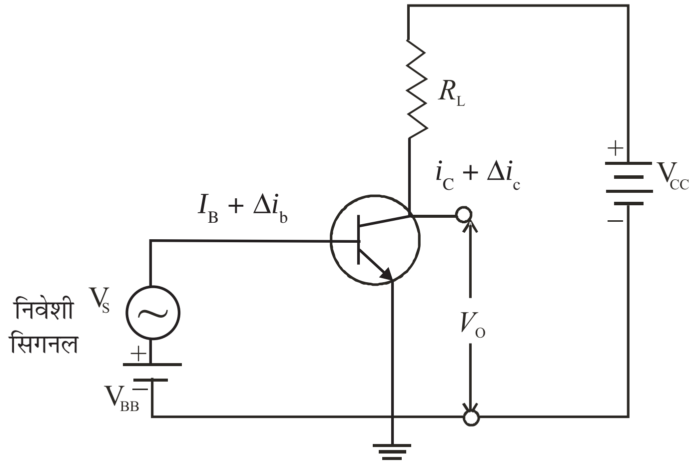
1. फिल्टर संधारित्र युक्त पूर्ण-तरंग दिष्टकारी के परिपथ की रचना कीजिए।
2. यदि उदाहरण 29.1 में दर्शाये गये नियंत्रण-परिपथ (Regulator Circuit) में जेनर डायोड को उत्क्रम अभिनत के बजाय अग्र अभिनत किया जाय तो उसकी निर्गत वोल्टता पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

29.2 ट्रांजिस्टर के अनुप्रयोग

पिछले अध्याय में आपने ट्रांजिस्टर के सिद्धांत का विस्तार से अध्ययन किया था। सामान्यतया संग्राहक उत्क्रम अभिनत होता है तथा संग्राहक उत्सर्जक परिपथ में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती। यदि आधार-परिपथ में अल्प मात्रा में भी धारा प्रवाहित हो तो संग्राहक परिपथ में अत्याधिक धारा प्रवाह होता है। इस विशेषता के कारण ही ट्रांजिस्टर के अनेकानेक अनुप्रयोग हैं। किन्तु यहाँ हम प्रवर्धक, स्विच एवं दोलित्र के रूप में उसके अनुप्रयोगों की चर्चा करेंगे।

29.2.1 ट्रांजिस्टर एक प्रवर्धक के रूप में

वैद्युत सिगनल कोई वोल्टता अथवा धारा ही होती है जिसमें उपयोगी सूचना निहित होती है। इसे एक उदाहरण से देखें : जब हम माइक्रोफोन के सम्मुख कुछ बोलते हैं तो डायाफ्राम कम्पन्न करता है जिससे कुण्डली में अति सूक्ष्म वोल्टता उत्पन्न हो जाती है जिसकी मात्रा ध्वनि की तीव्रता पर निर्भर करती है। यह प्रेरित वोल्टता इतने क्षीण सिगनल के रूप में होती है कि उससे लाउडस्पीकर ध्वनि उत्पन्न नहीं कर सकता। इस कारण से इसे प्रवर्धक नामक युक्ति में निवेश किया जाता है। प्रवर्धक निवेशी सिगनल के स्तर (परिमाण) को बढ़ाकर आवर्धित निर्गम प्रदान करता है। आवर्धित निर्गम वोल्टता V_O तथा निवेशी सिगनल वोल्टता V_i के अनुपात को *वोल्टता-लाभ* (Av) कहते हैं।



चित्र 29.9: मूल प्रवर्धक परिपथ जिसमें *n-p-n* ट्रांजिस्टर *CE* व्यवस्था में है।

अर्थात् $$A_V = \frac{V_O}{V_i} \qquad (29.8)$$

इसी प्रकार, धारा-लाभ एवं शक्ति-लाभ को परिभाषित किया जा सकता है :

$$A_L = \frac{i_O}{i_i} \qquad (29.10)$$

$$A_p = \frac{P_O}{P_i} \qquad (29.11)$$

प्रवर्धक की भांति ट्रांजिस्टर का परिपथ चित्र 29.9 में दर्शाया गया है। यहाँ CE विन्यास के *n-p-n* ट्रांजिस्टर को प्रयोग किया गया है। इसका संग्राहक बैटरी V_{CE} के द्वारा लोड-प्रतिरोध के माध्यम से उत्क्रम अभिनत है। आधार-धारा (I_B) के प्रवाहित होने पर संग्राहक धारा (I_C) का प्रवाह भी होने लगता है। I_B के कम होने पर एक स्थिति ऐसी आती है कि I_C लगभग शून्य हो जाती है। यह I_B में परिवर्तन की निम्नतम सीमा है। इसी प्रकार I_B के बढ़ने पर संतृप्त अवस्था की स्थिति आ जाती है तथा I_C बढ़ना बंद कर देती है। यह I_B की ऊपरी सीमा का द्योतक है। निवेशी सिगनल के भरोसेमंद प्रवर्धन के लिए यह आवश्यक है कि I_B परिवर्तन के सीमांत मानों (न्यूनतम व अधिकतम) के माध्य के बराबर आधार धारा बैटरी V_{BB} द्वारा आधार को अग्र-अभिनत कर प्रवाहित की जाय। क्रियाकारी बिन्दु ट्रांजिस्टर के रेखीय क्रियाकारी क्षेत्र के मध्य में चुना जा सकता है। इसे आधार की अभिनति कहते हैं। V_{BB} के साथ श्रेणी में उस सिगनल स्रोत को जोड़ा जाता है जो निवेशी सिगनल υ_S प्रदान करता है।

V_{BB} में प्रत्यावर्ती सिगनल वोल्टता υ_S के मिलने के कारण दिष्ट अभिनत धारा I_B में Δi_b परिवर्तन होता है। सिगनल वोल्टता को इस प्रकार न्यून रखा जाता है कि सिगनल धारा Δi_b के I_B में जुड़ने अथवा घटने पर आधार-धारा में परिवर्तन के सीमांत मानों (Limiting Values) के परे नहीं होता। अन्यथा ट्रांजिस्टर संस्तब्ध (Cut-off) अथवा संतृप्त (Saturation) क्षेत्रों में चला जायेगा तथा प्रवर्धित निर्गम (Amplified Output) अत्यधिक विकृत (Distorted) तथा शोरयुक्त होगा। ध्यान दें कि सिगनल धारा

$$\Delta i_b = \upsilon_S / r_i \qquad (29.12)$$

जहाँ r_i निवेशी प्रतिबाधा (Input Impedence) है। आधार धारा में इस परिवर्तन Δi_b से संग्राहक-धारा में बहुत अधिक परिवर्तन Δi_C होता है

$$\Delta i_c = \beta \Delta i_b = \beta \upsilon_s / r_i \qquad (29.13)$$

जहाँ β प्रत्यावर्ती धारा प्रवर्धन गुणांक है जो कि $\Delta i_c / \Delta i_b$ के बराबर होता है। समीकरण (29.13) से,

$$\upsilon_s = \Delta i_c \times r_i / \beta \qquad (29.14)$$

चित्र 29.9 के निर्गम परिपथ में किरचॉफ के नियम लगाने पर

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_L \qquad (29.15)$$

समीकरण (29.15) का अवकलन करने पर

$$dV_{CC} = dV_{CE} + dI_C \times R_L \qquad (29.16)$$

टिप्पणियाँ

V_{CC} नियत है, अतः $dV_{CC} = 0$

$$dV_{CE} = -dI_C \times R_L$$

लेकिन dV_{CE} वस्तुतः निर्गम में परिवर्तन $\Delta\upsilon_0$ तथा i_c में परिवर्तन dI_C है, अतएव

$$\Delta\upsilon_0 = -\Delta i_c \times R_L$$

अतः प्रवर्धक का वोल्टता-लाभ

$$A_V = \upsilon_0/\upsilon_S = -(\Delta i_c \times R_L)/(\Delta i_c \times r_i/\beta)$$

$$= -\beta \times R_L / r_i \qquad (29.17)$$

अनुपात β/r_i ट्रांजिस्टर की अन्योन्य चालकता (Trans conductance) कहते हैं तथा g_m से निरूपित करते हैं। अतः समीकरण (29.17) को निम्नलिखित रूप में लिखा जा सकता है :

$$A_V = -g_m \times R_L \qquad (29.18)$$

यहाँ ऋणात्मक चिन्ह इस बात का द्योतक है कि निवेश तथा निर्गम विपरीत कला में हैं अर्थात् उनमें 180° का कलान्तर है। शक्ति लाभ,

$$A_P = A_I \times A_V = \beta \times A_V \qquad (29.19)$$

शक्ति-लाभ से यह अभिप्राय नहीं है कि प्रवर्धक द्वारा ऊर्जा संरक्षण के नियम का उल्लंघन होता है। प्रवर्धक के प्रत्यावर्ती शक्ति निर्गम का मान प्रत्यावर्ती सिगनल शक्ति निवेश से अधिक अवश्य है, किन्तु यह वृद्धि अभिनति के दिष्ट-स्रोतों द्वारा प्रदान की गयी ऊर्जा से ही हुई है।

जॉहन बार्डीन
(1908 – 1991)

जॉह्न बार्डीन विज्ञान के इतिहास में अकेले ऐसे शोधकर्त्ता हुए हैं जिन्हें भौतिकी का नोबेल पुरस्कार दो बार प्राप्त हुआ। उनका जन्म मैडीसन, विसकोन्सिन, अमेरिका के एक अत्यंत शिक्षित परिवार में हुआ। बालक के रूप में वे इतने होनहार थे कि उनके माता-पिता ने उनको तीसरी कक्षा से जूनियर हाई स्कूल में सीधे ही प्रवेश दिलाया। उन्होंने वैद्युत अभियन्त्रण में स्नातक किया। जीवन वृत्ति के लिए उन्हें भी संघर्ष करना पड़ा। गल्फ आयल कम्पनी के साथ भू भौतिकविद् के रूप में तीन वर्ष व्यतीत करने के उपरांत वे गणितीय भौतिकी में Ph.D करने के लिए प्रिंसटॉन चले गये। हारवर्ड, मिनेसोटा तथा नेवल आर्डमेन्स प्रयोशाला में थोड़े-थोड़े समय तक कार्य करने के बाद वे बैल प्रयोगशाला में विलियम शॉक्ले के शोध-समूह में सम्मिलित हो गये। वॉल्टर ब्रटेन के साथ उन्होंने प्रथम ट्रांजिस्टर विकसित किया जिसके लिए बार्डीन, ब्रटेन एवं शॉक्ले को 1956 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार दिया गया।

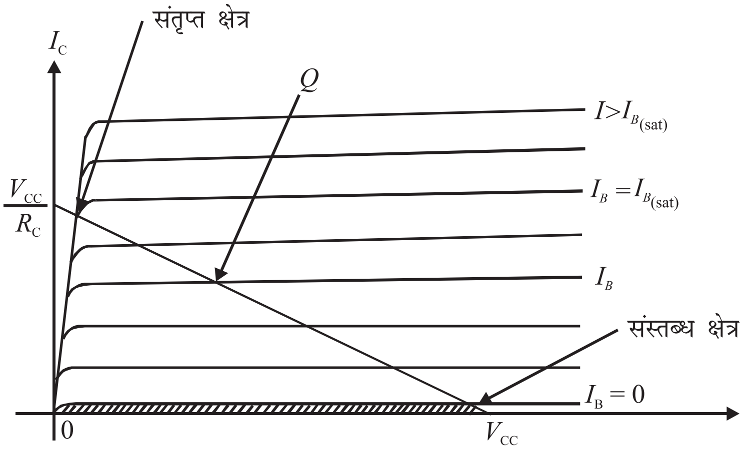
अतिचालकता पर सैद्धांतिक कार्य के लिए बार्डीन को लियोन सी कूपर तथा आर शिफर के साथ संयुक्त रूप से 1972 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार पुनः दिया गया।

पाठगत प्रश्न 29.2

1. *CE* विन्यास वाले प्रवर्धक में υ_i का मान 20 mV तथा υ_o का 1 वोल्ट है। वोल्टता-लाभ की गणना कीजिये।
2. एक प्रवर्धक के P_0 का मान P_i के मान का 200 गुणा है। शक्ति लाभ की गणना कीजिये।
3. CE विन्यास के प्रवर्धक के लिए $R_L = 2000\ \Omega$, $r_i = 500\ \Omega$ तथा $\beta = 50$ हैं। वोल्टता-लाभ एवं शक्ति-लाभ की गणना कीजिये।

29.2.2 ट्रांजिस्टर स्विच के रुप में

दैनिक जीवन में हम यंत्रों जैसे लैम्प, पंखा, मशीन आदि को चालू या बन्द करने के लिए वैद्युत स्विचों को हाथ से ऑन या ऑफ करते हैं। ध्यान दें कि किसी स्विच की दो भिन्न स्थितियाँ होती हैं: ऑन एवं ऑफ। इलेक्ट्रॉनिक्स में भी ऐसी स्थितियाँ होती हैं जहाँ किसी युक्ति को केवल दो भिन्न वोल्टता स्तरों पर ही निवेश करना पड़ता है। यह स्विच के कार्य करने जैसा ही है। स्विच ऑन होने पर एक वोल्टता स्तर होता है तो स्विच ऑफ होने पर दूसरा वोल्टता स्तर। सामान्यतया इस प्रकार के वोल्टता स्तर कम्प्यूटर में होते हैं जहाँ डिजिटल सिगनल प्रयुक्त होते हैं। ऐसा ट्रांजिस्टर की क्रिया (operation) अरेखीय क्षेत्र (Non-linear region) में करके किया जाता है। चित्र 29.10 में दर्शाये ट्रांजिस्टर अभिलक्षणों में दो चरम क्षेत्र हैः संस्तब्ध क्षेत्र तथा संतृप्त क्षेत्र। शून्य आधार ($I_B = 0$) के नीचे के छायांकित क्षेत्र संस्तब्ध क्षेत्र है। ट्रांजिस्टर में वैद्युत चालन नहीं होता तथा सम्पूर्ण वोल्टता आपूर्ति V_{CC} ट्रांजिस्टर में संग्राहक एवं उत्सर्जक के मध्य होती है। अर्थात् संग्राहक पर निर्गत वोल्टता V_{CC} है।

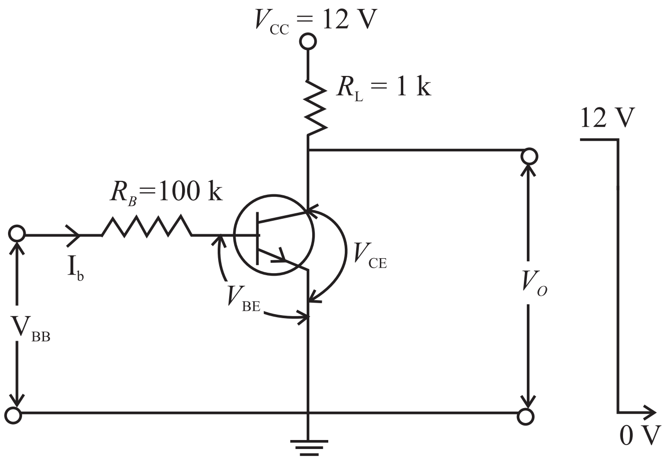


चित्र. 29.10 : ट्रांजिस्टर के निर्गम अभिलक्षण

जब आधार-धारा I_B संतृप्त मान से अधिक हो जाती है तो ट्रांजिस्टर में अच्छे तरीके से वैद्युत चालन होता है तथा संग्राहक-उत्सर्जक वोल्टता लगभग शून्य हो जाती है। इस स्थिति में, संग्राहक

एवं धरातल के मध्य निर्गत वोल्टता शून्य हो जाती है तथा सम्पूर्ण वोल्टता लोड-प्रतिरोध R_L के मध्य ही होती है। अर्थात् संग्राहक-धारा,

$$I_C = \frac{V_{ce}}{R_L}$$



चित्र. 29.11: ट्रांजिस्टर स्विच के रुप में।

चित्र 29.11 में ट्रांजिस्टर का स्विच के रुप में परिपथ दर्शाया गया है। ट्रांजिस्टर को स्विच ऑन अथवा ऑफ करने के लिए नियंत्रण-सिगनल V_{BB} के रुप में दिया जाता है। निवेशी पाश (लूप) के लिए,

$$I_B R_B + V_{BE} - V_{BB} = 0$$

जब $V_{BB} = 0$, हो तो उपर्युक्त समीकरण से हमें प्राप्त होता है।

$$I_B = -\frac{V_{BE}}{R_B} \qquad (29.20)$$

चूँकि I_B का मान शून्य से कम है। अत: ट्रांजिस्टर संस्तब्ध (cut-off) अवस्था में है तथा

$$V_0 = V_{CC} \qquad (29.21)$$

यदि $V_{BB} = 5V$, तथा $V_{BE} = 0.7$ V चयनित ट्रांजिस्टर के लिए हो तो समीकरण (29.20) से हमें प्राप्त होता है

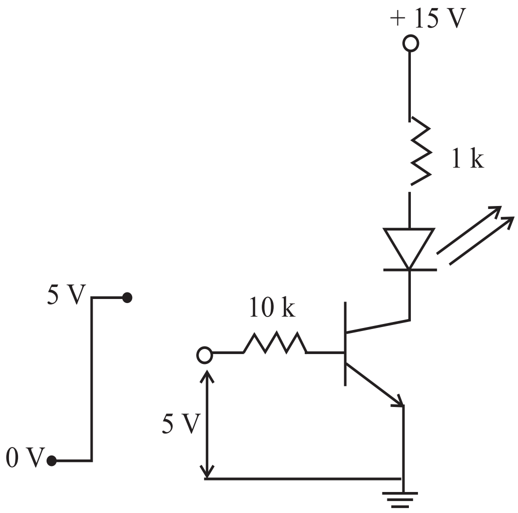
$$I_B\,(100\ k\Omega) + 0.7V - 5\ V = 0.$$

$$\therefore \qquad I_B = \frac{5V - 0.7V}{100k\Omega} = 43\ \mu A$$

सामान्य ट्रांजिस्टरों में, आधार-धारा का यह मान ट्रांजिस्टर को पूर्ण संतृप्तता में पहुँचाने के लिए पर्याप्त है। इस स्थिति में $V_O = V_{CEsat} = 0$ एवं संग्राहक-धारा

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_L} = \frac{12V}{1\hbar\Omega} = 12\text{mA}.$$

इस प्रकार के स्विच प्रदर्शों (Displays) के द्योतक (Indicator) के रुप में भी इस्तेमाल किये जा सकते हैं। उदाहरणत: यदि किसी LED को संग्राहक-प्रतिरोधक के साथ चित्र 29.12 के अनुसार श्रेणी में जोड़ दिया जाय तो संग्राहक धारा LED को उच्च निवेश (+5V) पर क्रिया रत कर प्रकाशमान कर देती है। निवेश के शून्य (निम्न स्तर) पर होने पर LED कार्य करना बन्द कर देता है क्योंकि परिपथ में संग्राहक-धारा प्रवाहित नहीं होती।



चित्र. 29.12: ट्रांजिस्टर स्विच वाला LED द्योतक (इंडीकेटर)

ट्रांजिस्टर का एक अन्य महत्वपूर्ण अनुप्रयोग वांछित आवृतिका दोलतीय सिगनल (Oscillating Signal) उत्पन्न करना है। यह विशेष प्रकार के परिपथ से किया जाता है जिसे दोलित्र कहते हैं। दोलित्रों के अनेकानेक अनुप्रयोग है, विशेषकर रेडियो प्रेषी (Transmitter) द्वारा केरियर तरंग आवृत्ति उत्पन्न करने में। ये जनित्रों (Generators), इलेक्ट्रॉनिक घड़ियों तथा कम्प्यूटर आदि में भी इस्तेमाल होते हैं। दोलित्र अनेक प्रकार के होते हैं। यहाँ हम ट्रांजिस्टर से बनने वाले सामान्य दोलित्र की चर्चा करेंगे।

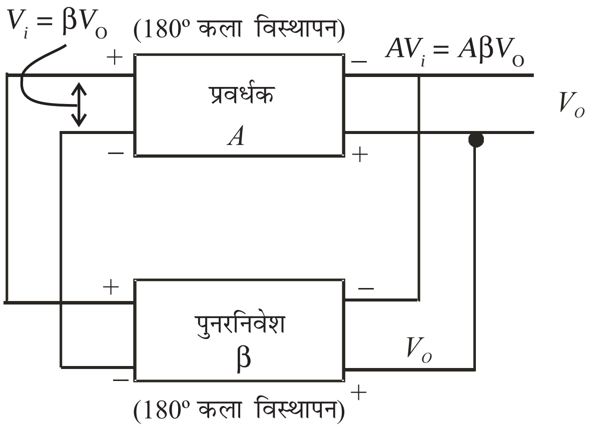
29.2.3 ट्रांजिस्टर एक दोलित्र के रुप में

इलेक्ट्रानिक दोलित्र (Oscillator) एक ऐसी युक्ति है जिससे सतत वैद्युत दोलन उत्पन्न किये जा सकते है। किसी दोलित्र में एक समान्तर LC परिपथ अनुनादी परिपथ के रुप में तथा प्रवर्धक ऊर्जा का अनुनादी परिपथ में पुनरनिवेश (Feed back) करने के लिए प्रयुक्त होते हैं। L एवं C का उचित चयन करके इससे श्रव्य (Audio) से लेकर रेडियो, तक की आवृत्तियाँ उत्पन्न की जा सकती हैं।

जब किसी आवेशित संधारित्र को प्रेरक (Inductor) के साथ जोड़ा जाता है तो आवेश दोलन करता है, किन्तु विकिरण एवं तारों में ऊष्मा के रुप में ऊर्जा के ह्रास के कारण दोलनों का आयाम लगातार घटता जाता है। किसी ज्या-तरंग दोलित्र से उत्पन्न दोलन स्थायी हों (अर्थात्

समय के साथ क्षीण न हो), इसके लिए यह आवश्यक है कि प्रवर्धक से ऊर्जा का धनात्मक पुनर्निवेशन किया जाय। मूल सिद्धांत यह है कि निर्गत सिगनल का एक अंश निवेशी सिगनल में पुनर्निवेशित हो। परिपथ का लाभ (gain) तथा पुनर्निवेशी सिगनल (Feed Signal) की कला (Phase) को समायोजित कर प्रत्येक चक्र में हुए ऊर्जा-क्षय की पुन:पूर्ति की जा सकती है ताकि वांछित आवृत्ति के स्थायी दोलन प्राप्त हो सके।

जैसा कि चित्र 29.13 में प्रदर्शित है कि दोलित्र-आरेख के दो मुख्य भाग हैं: एक प्रवर्धक जिसका लाभ 'A' है तथा एक पुनर्निवेशन परिपथ जिसका पुनर्निवेशन गुणांक B है।

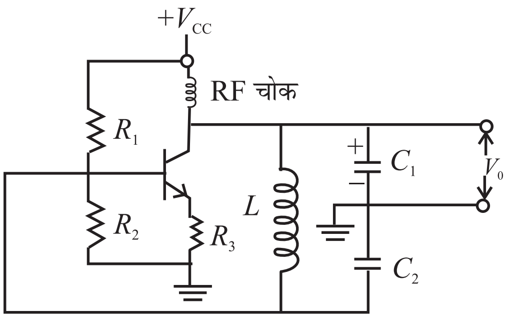


चित्र. 29.13: दोलित्र का आरेख

यदि $A\beta < 1$ तो V_O लगातार घटता जाता है। इसके विपरीत, यदि $A\beta > 1$ तो V_0 धीरे-धीरे बढ़ता जाता है। लेकिन यदि $A\beta = 1$ हो तो V_0 का अचर मान मिलता है जिसके कारण दोलन स्थायी अथवा पोषित रहते हैं।

अब हम *CE* प्रवर्धक पर विचार करें जिसकी कि अनुच्छेद 29.2.1 में चर्चा हुई थी। इसमें निवेश तथा निर्गम के मध्य 180° का कलान्तर होता है अर्थात् इसका ऋणात्मक लाभ ($-A$) है। अत: $A\beta = 1$ के लिए आवश्यक है कि β भी ऋणात्मक हो तथा इसका मान $-A^{-1}$ के बराबर हो । अर्थात् पुनर्निवेशन परिपथ में भी 180° का कला-विस्थापन आवश्यक है।

चित्र. 29.14 में एक दोलित्र का परिपथ दर्शाया गया है जिसमें एक *CE* विन्यास में एक ट्रांजिस्टर प्रवर्धक है तथा एक *LC* टैंक-परिपथ (Tank Circuit) है। इसे कॉलपिट दोलित्र कहते हैं।



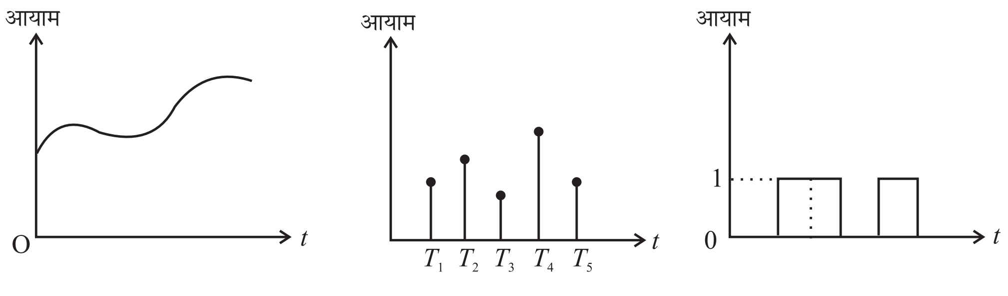
चित्र.29.14 : कॉलपिट-दोलित्र

यहाँ C_1, C_2 तथा L टैंक-परिपथ की रचना करते हैं। दोलित धारा अनुनादी आवृत्ति पर प्रवाहित होती है। निर्गम C_1 के बीच प्राप्त होता है तथा CE विन्यास के ट्रांजिस्टर-प्रवर्धक के आधार से जुड़े C_2 के बीच पुनर्निवेशन होता है। यहाँ 180° का कला-विस्थापन संधारित्र C_2 के द्वारा प्रदान किया जाता है। C_2 की एक प्लेट धरातल से तथा दूसरी प्लेट प्रेरक-कुण्डली से जुड़ी होती है। इस प्रकार कुल पाश लाभ (Total loop gain) धनात्मक होता है। जब अनुनादी आवृत्ति पर ट्रांजिस्टर प्रवर्धक का लाभ पर्याप्त मात्र में बढ़ चुका हो तो निर्गम पर स्थायी (पोषित) दोलन प्राप्त होते हैं।

29.3 तर्क परिपथ अथवा लॉजिक गेट्स (Logic Gates)

इलेक्ट्रानिक्स में प्राय: दो प्रकार के तरंगरुप मिलते हैं। इन तरंग-रुपों में समाहित सूचना ही सिगनल कहलाती है। यदि किसी सिगनल का तात्कालिक (Instantaneous) मान आयाम की सीमा के अन्दर कुछ भी सम्भव है तो उसे अविरत सिगनल (Continuous signal) कहते हैं। किंतु यदि सिगनल का शून्य के अतिरिक्त अन्य कोई मान कुछ विशेष समय-बिन्दुओं पर ही सम्भव है तो उसे विविक्त सिगनल (Discrete signal) कहते हैं। जब सिगनल के आयाम के मान सीमित संख्या (जैसे दो) में ही हो सकते हैं तो उसे डिजिटल सिगनल कहते हैं।

डिजिटल सिगनल चरण-बद्ध तरीके से ही परिवतर्तित होते हैं। डिजिटल सिगनल के एक दूसरे से काफी भिन्न दो मान होते हैं जिन्हें प्राय: '0' एवं '1' से व्यक्त करते हैं। सामान्यत: 0V बिट '0' को तथा 5V बिट '1' को व्यक्त करता है। ये वोल्टता-स्तर एक दूसरे से इतने पृथक है कि लगभग 2V की सीमा में कोई सहगामी शोर, [(0V + 2 V) 0 स्तर के लिए तथा (5V – 2V)1 स्तर के लिए] सिगनल की गुणवत्ता को प्रभावित नहीं करता। इस प्रकार डिजिटल सिगनल शोर से लगभग अप्रभावित रहते हैं। कम्प्यूटर में प्रयुक्त सिगनल डिजिटल होते हैं। डिजिटल सिगनल में सूचना को अंकों (Bits) को अनेक प्रकार से क्रमबद्ध करके 'कोड' कर दिया जाता है। प्रत्येक बिट नियत (Fixed) समयावधि की स्पन्द (Pulse) होती है।



चित्र. 29.15: a) अविरल **(continuous)** सिगनल, **b)** विविक्त **(Discrete)** सिगनल, और **c)** डिजिटल सिगनल

विभिन्न गणितीय संक्रियायें (Operations) डिजिटल सिगनल द्वारा की जा सकती है। इन संक्रियाओं के गणित को बूलियन बीजगणित कहते हैं।

योग (Addition) एवं गुणन (Multiplication) बूलियन बीजगणित में मूल संक्रियायें हैं। यदि कोई आंकड़े (Data) डिजिटल अर्थात् 0 एवं 1 के रुप में हैं तो निम्नलिखित सर्वसमिकाएं लागू होंगी।

$$A \times 0 = 0 \qquad (29.22)$$

$$A + 1 = 1 \qquad (29.23)$$

इन संक्रियाओं को करने वाले परिपथों को तर्क परिपथ अथवा लॉजिक गेट्स (Logic Gates) कहते हैं। अब हम इन्हीं लॉजिक गेट्स के बारे में पढ़ेंगे।

29.3.1 आधारभूत लॉजिक गेट्स (तर्क परिपथ)

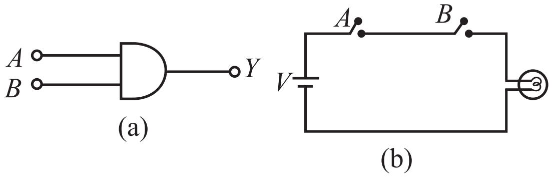
लॉजिक गेट ऐसी युक्तियाँ हैं जिनमें एक या एक से अधिक निवेश किन्तु सिर्फ एक निर्गम होता है। निवेश में बिट्स (Bits) अथवा उनका क्रम परिवर्तित होने पर निर्गम परिवर्तित हो सकता है। इन परिपथों द्वारा उत्पन्न निर्गम बूलियन तर्क के नियमों पर आधारित होता है। मूलत: तीन प्रकार के लॉजिक गेट होते हैं:

1. AND गेट, 2. OR गेट, 3. NOT गेट

ये परिपथ क्रमश: गुणन, योग तथा व्युत्क्रम (Inversion) की संक्रियायें करते हैं। अब हम इनकी कार्य-प्रणाली समझेंगे।

1. AND गेट

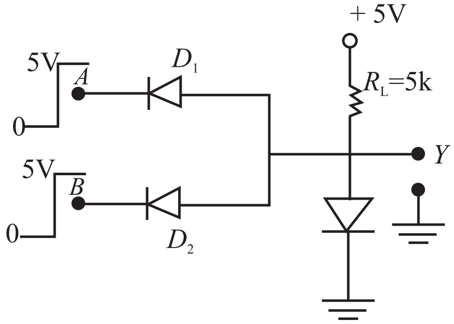
किसी AND गेट के दो या दो से अधिक निवेश हो सकते हैं, किन्तु निर्गम केवल एक ही होता है। दो निवेश वाले AND गेट का तर्क-प्रतीक अथवा लॉजिक सिम्बल (Logic Symbol) चित्र. 29.16(a) में दर्शाया गया है। हम किसी AND के व्यवहार को कई श्रेणीबद्ध स्विचों के माध्यम से समझ सकते हैं। स्विच A और B गेट के दो निवेश हैं तथा बल्ब निर्गम Y प्रदान करता है। ऑन स्विच निवेश '1' का तथा ऑफ स्विच निवेश '0' द्योतक हैं। स्पष्ट है कि बल्ब तभी जलेगा जबकि वह आपूर्ति वोल्टता से जुड़ा हो। यह तभी होगा जब दोनों स्विच A तथा B एक साथ ऑन हो (अर्थात् '1' पर हों)। चित्र 29.16(c) में सारणी से दर्शाया गया है। इस सारणी को 'सत्यता-सारणी कहते हैं।



(a) (b)

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(c)



(d)

चित्र. 29.16: a) AND गेट का प्रतीक, b) AND गेट के समरुप स्विचों की क्रिया, c) AND गेट की सत्यता-सारणी, और d) डायोडों द्वारा AND गेट की रचना।

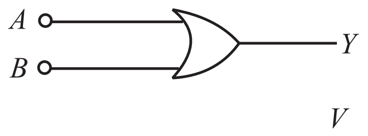
AND संक्रिया को बूलियन व्यंजक द्वारा निम्न प्रकार निरुपित किया जाता है:

$Y = A.B = AB = A \times B$ तथा A AND B पढ़ा जाता है।

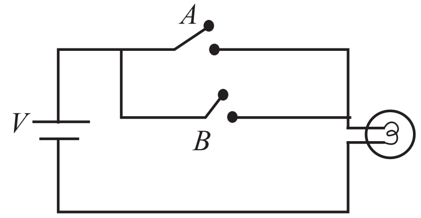
AND गेट की व्यवहारिक रचना : डायोडों द्वारा निर्मित लॉजिक गेट को DDL गेट कहते हैं। DDLगेट का अभिप्राय है डायोड-डायोड लॉजिक गेट। दो निवेश वाले AND गेट की रचना चित्र 29.16 (d) में दर्शायी गयी है। डायोड D_1 व D_2 समान्तर में जुड़े हैं तथा उनको 5 V की बैटरी एवं 5 kΩ प्रतिरोध के द्वारा अभिनति प्रदान की गयी है। निर्गम एनोड पर लिया गया है। कैथेड A तथा B निवेश टर्मीनल का कार्य करते हैं। जब A अथवा B अथवा दोनों टर्मीनलों को धरातल (0 स्तर) से जोड़ देते हैं तो सम्बंधित डायोड में वैद्युत चालन होता है तथा विभवान्तर प्रतिरोध के बीच प्रकट होगा। निर्गम 0.7 V अर्थात् 0 स्तर पर होगा। जब दोनों टर्मीनल 5V (अर्थात् निवेश 1,1 हो) तो दोनों में से किसी डायोड में वैद्युत चालन नहीं होगा। अतएव निर्गम 5V होगा (अर्थात् 1 के स्तर पर)

2 OR गेट

OR गेट में दो या दो से अधिक निवेश, किन्तु केवल एक निर्गम होता है। दो निवेश वाले OR गेट का तर्क-प्रतीक अथवा लॉजिक सिम्बल (Logic Symbol) चित्र. 29.17(a) में दर्शाया गया है। हम OR गेट का व्यवहार समान्तर में लगे कई स्विचों के माध्यम से समझ सकते हैं। दो निवेश वाले OR गेट का वैद्युत समरुप चित्र. 29.17(b) में दर्शाया गया है। स्विच A तथा B गेट के दो निवेश तथा बल्ब निर्गम Y प्रदान करता है। ऑन स्विच लॉजिक निवेश '1' को तथा ऑफ स्विच लॉजिक निवेश '0' को निरुपित करते हैं। इसी प्रकार, जलता हुआ बल्ब लॉजिक निर्गम '1' को तथा बुझाा हुआ बल्ब लॉजिक निर्गम '0' को निरुपित करते हैं। यहाँ A अथवा B अथवा दोनों स्विच ऑन हों तो आपूर्ति वोल्टता निर्गम Y पर प्रकट होती है। OR गेट के लिए निवेश-निर्गम सम्बन्ध चित्र. 29.17(c) में सत्यता-सारणी (Truth Table) द्वारा दर्शाया गया है।



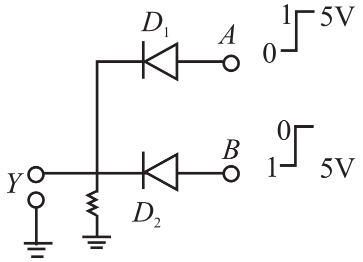
(a)



(b)

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(c)



(d)

चित्र. 29.17: a) OR गेट का प्रतीक, b) OR गेट का स्विच समरुप, c) डायोडों द्वारा OR गेट की रचना

OR संक्रिया का बूलियन व्यंजक निम्नलिखित प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है–

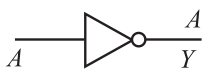
$Y = A + B$ तथा इसे A OR B पढ़ा जाता है।

OR गेट की व्यवहारिक रचना: डायोडों द्वारा निर्मित दो निवेश वाले OR गेट को चित्र. 29.17 (d) में दर्शाया गया है। डायोड D_1 और D_2 के कैथोड एक दूसरे के समान्तर तथा धरातल से 5 kΩ के प्रतिरोध द्वारा जुड़े हुए हैं। निर्गम कैथोड पर तथा दोनों निवेश A व B एनोड पर जोड़े जाते हैं। जब A अथवा B अथवा दोनों 5 V की बैटरी के धनात्मक सिरे से जोड़ दिये जाते हैं तो सम्बन्धित डायोड में अथवा दोनों ही डायोडों में वैद्युत चालन होता है। इसके परिणामस्वरुप निर्गम पर विभव 5V (अर्थात् स्तर '1') होगा। जब दोनों ही स्विच खुले हों तो निर्गम 0 V (अर्थात् '0' स्तर पर) होगा।

3. NOT गेट

एक अन्य महत्वपूर्ण गेट **NOT** गेट है जो कि सिगनल को उलट देता है अर्थात् निवेश '1' होने पर निर्गम '0' तथा विलोमत: निवेश '0' होने पर निर्गम '1' होगा।

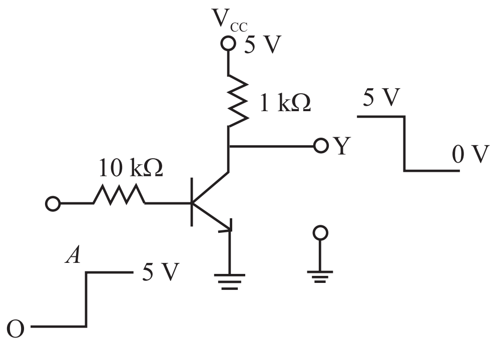
NOT गेट का प्रतीक (Symbol) चित्र. 29.18(a) में दर्शाया गया है। NOT की सत्यता-सारणी (Truth Table) चित्र. 29.18(b) में दर्शायी गयी है।



(a)

A	$Y = \bar{A}$
0	1
1	0

(b)



चित्र 29.18: (a) NOT गेट का प्रतीक, (b) NOT गेट की सत्यता सारणी
(c) NOT गेट का क्रिया-कारी परिपथ

NOT गेट के परिपथ की रचना ट्रांजिस्टर के स्विच की भांति कार्य हेतु बनाये जाने वाले परिपथ के समान ही है। इसे चित्र 29.18(c) में दर्शाया गया है। जब निवेश A, '0' के स्तर पर होता है तो ट्रांजिस्टर ऑफ रहता है। अत: सम्पूर्ण V_{CC} वोल्टता (5V) निर्गम Y पर ही प्रकट होती है। इसके विपरीत, जब निवेश A '1' (5V) पर होता तो ट्रांजिस्टर में वैद्युत चालन होता है तथा निर्गत वोल्टता '0' होती है।

विलोम संक्रिया (Inversion Operation) निवेश के संकेत के ऊपर एक रेखा (Bar) खींचकर प्रदर्शित की जाती है, तथा Y = NOT $(A) = \bar{A}$

अब तक हमने आधारभूत लॉजिक गेटों की चर्चा की है। आप पूछ सकते हैं: क्या इनका संयोजन (Combination) कर नये प्रकार के गेट बनाये जा सकते हैं। आपकों इसका उत्तर अगले परिच्छेद में मिलेगा।

टिप्पणियाँ

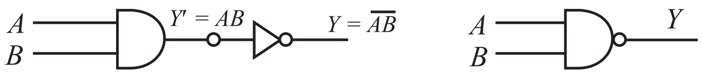
29.3.2 लॉजिक गेटों का संयोजन (Combination of Logic Gates)

लॉजिक गेटों के संयोजन से बनने वाले दो सबसे महत्वपूर्ण लॉजिक गेट हैं (1) NAND [NOT+AND] गेट, तथा (2) NOR [NOT+OR] गेट। डिजिटल इलेक्ट्रॉनिक्स में NAND गेट तथा NOR गेट को संरचनात्मक इकाई (Building Block) माना जाता है क्योंकि दोनों में से कोई एक प्रकार की गेटों की पर्याप्त संख्या को विशिष्ट प्रकार से जोड़कर OR, AND तथा NOT तीनों की संक्रियायें की जा सकती हैं। इसी कारण से, NAND एवं NOR गेटों को सार्वभौमिक गेट्स (Universal Gates) भी कहा जा सकता है। अब हम संयोजन लॉजिक गेटों के बारे में पढ़ेंगे।

1. NAND गेट

AND तथा NOT गेट के चित्र. 29.19 के अनुसार संयोजन से NAND गेट की रचना की जा सकती है। यहाँ AND गेट का निर्गम NOT द्वारा उलट दिया जाता है। NAND गेट का तर्क-प्रतीक अथवा लॉजिक सिम्बल (Logic Symbol) चित्र. 29.19(b) में दर्शाया गया है। NAND गेट की सत्यता सारणी चित्र 29.19(c) में दी हुई है। AND गेट के निर्गम का विलोम कर इस सारणी को बनाया जा सकता है। NAND गेट की सत्यता-सारणी यह दर्शाती है कि कम से कम एक एक निवेश के '0' पर निर्गम '1' प्राप्त होता है। NAND संक्रिया का बूलियन व्यजंक निम्न प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$Y = A.B = A \times B = AB$$



(a) (b)

A	B	$Y' = AB$	$Y = \overline{AB}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

(c)

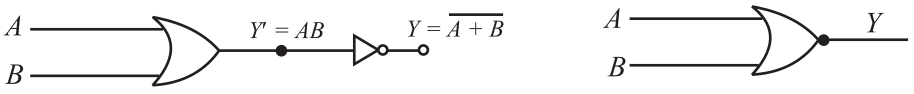
चित्र 29.19: (a) NAND एक संयोजन लॉजिक गेट की भांति, (b) NAND गेट का प्रतीक, (c) NAND गेट की सत्यता-सारणी

2. NOR गेट

NOR गेट को OR गेट तथा NOT गेट के संयोजन से चित्र 29.20(a) के अनुसार बनाया जाता है। यहाँ OR गेट के निर्गम का NOT गेट द्वारा विलोम कर अंतिम निर्गम Y पर प्राप्त किया जाता

है। NOR गेट की सत्यता-सारणी चित्र 29.20(c) दर्शायी गयी है जिसे OR गेट के निर्गम को उलटकर बनाया जा सकता है। NOT गेट की सत्यता-सारणी यह दर्शाती है कि निर्गम '1' तभी प्राप्त होता है जबकि दोनों निवेश '0' हों। NOR संक्रिया का बूलियन व्यंजक निम्नलिखित है:

$$Y = \overline{A + B}.$$



(a) (b)

A	B	$Y' = A+B$	$Y = \overline{A+B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

चित्र 29.20: (a) NOR संयोजन लॉजिक गेट की भांति, (b) NOR गेट का प्रतीक (c) NOR गेट की सत्यता-सारणी।

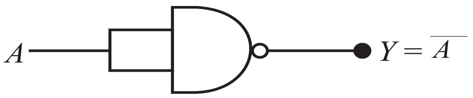
जैसा कि पूर्व में कहा जा चुका है कि NAND तथा NOR गेट समस्त लॉजिक गेटों की रचना की बुनियादी इकाई हैं। अब हम यह देखेंगे कि तीन आधारभूत गेटों- AND, OR और NOT की रचना NAND गेट से कैसे की जा सकती है।

29.3.4 मूल गेटों की NAND गेट से रचना

NAND गेट को सार्वभौमिक गेट इसलिए कहा जा सकता है क्योंकि इससे अन्य समस्त गेटों की रचना की जा सकती है।

(a) NOT गेट की रचना : NAND गेट के दोनों निवेशी सिरों को चित्र 29.22 के अनुसार जोड़ दिया जाय तो इससे निर्मित गेट NOT गेट होगा। आप सत्यता-सारणी बनाकर इसकी जाँच कर सकते हैं।

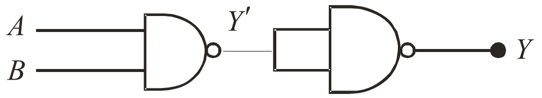
यहाँ पर $A = B$



चित्र 29.21: NAND गेट एक NOT गेट की भांति।

(b) **AND गेट की रचना** : दो NAND गेटों से एक AND गेट बनाया जा सकता है। पहले NAND गेट के निर्गम को NOT गेट के रुप में प्रयुक्त दूसरे NAND गेट द्वारा उलट दिया जाता है;

चित्र 29.22(a) का अवलोकन करें। यह संयोजन AND गेट की भांति व्यवहार करता है जैसा कि सत्यता-सारणी, चित्र 29.22.(b), से स्पष्ट है।

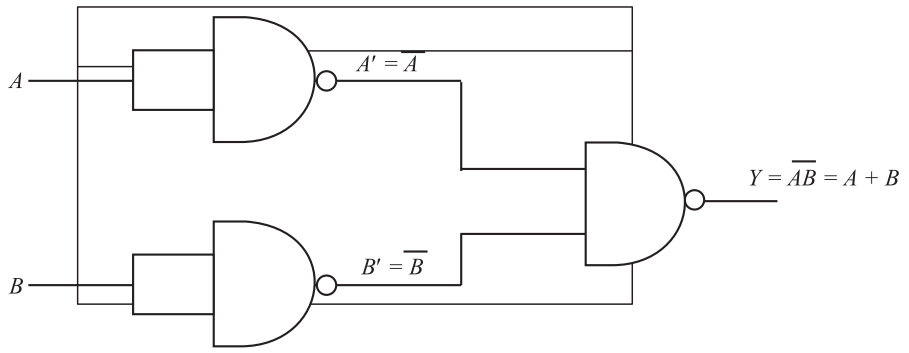


A	B	$Y' = \overline{AB}$	$Y = AB$
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

(b)

चित्र 29. 22: (a) NAND गेटों द्वारा AND गेट की रचना b) NAND गेटों द्वारा बने AND गेट की सत्यता-सारणी

c) **OR गेट की रचना :** तीन NAND गेटों द्वारा OR गेट का निर्माण किया जा सकता है। दो NAND गेट विलोमक के रूप में प्रयुक्त होते हैं तथा उनके निर्गम तीसरे NAND गेट के निवेश बनते हैं, जैसा कि चित्र 29.23 में दर्शाया गया है संयोजन OR गेट की भांति कार्य करता है।



चित्र 29.23 : तीन NAND गेटों से निर्मित OR गेट

पाठगत प्रश्न 29.3

चित्र 29.23 के लिए बनायी गयी निम्नलिखित सत्यता-सारणी को पूर्ण करिये तथा सिद्ध करिये कि ये OR गेट को निरूपित करती है।

A	B	A'	B'	Y
0	0	–	–	–
0	1	–	–	–
1	0	–	–	–
1	1	–	–	–

आपने क्या सीखा

- *p-n* संधि डायोड दिष्टकारी की भांति कार्य करता है जिससे प्रत्यावर्ती धारा को दिष्टधारा में परिवर्तित किया जा सकता है।
- पूर्ण-तरंग दिष्टकारी के निर्गम की तुलना में अर्द्ध-तरंग दिष्टकारी के निर्गम में प्रत्यावर्ती घटक अधिक होता है।
- जेनर डायोड शक्ति-आपूर्ति के निर्गम को स्थिर करता है।
- यदि जेनर डायोड स्टेबिलाइजर (Stabilizer) के रूप में प्रयुक्त हो तो ऊर्जा का व्यय तब अधिक होता है जब लोड में कम धारा प्रवाहित हो।
- प्रवर्धन के लिए ट्रांजिस्टर को निवेशी धारा की आवश्यकता होती है।
- ट्रांजिस्टर को स्विच की भांति प्रयोग किया जा सकता है यदि वह संतृप्त तथा संस्तब्ध क्षेत्रों में ही अभिनत रहे।
- लॉजिक गेट मूलतः तीन प्रकार के होते हैं - AND, OR तथा NOT
- NAND गेट सार्वभौमिक गेट है क्योंकि इससे समस्त अन्य गेट बनाये जा सकते हैं।

पाठांत प्रश्न

1. फिल्टर-संधारित्र वाले अर्द्ध-तरंग दिष्टकारी की तुलना में बिना संधारित्र वाले *p-n* संधि की शिखर व्युत्क्रम अथवा पीक इनवर्स वोल्टेज PIV (Peak Inverse Voltage) दो गुना क्यों होती है?
2. लोड में परिवर्तन के बावजूद भी जेनर डायोड धारा को स्थिर (Stabilized) कैसे रख पाता है?
3. प्रवर्धक के उचित प्रकार से कार्य करने के लिए निवेशी सिगनल के आयाम में परिवर्तन की सीमा क्या होनी चाहिए?
4. NOR गेट की रचना डायोड तथा ट्रांजिस्टर के द्वारा कीजिए।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

29.1

1. चित्र 29.6 को देखें।
2. पूर्ण-तरंग दिष्टकारी में दोनों डायोड *C* को अधिकतम वोल्टता V_{max} तक प्रत्येक अर्द्धचक्र में आवेशित कर देते हैं। अतः डायोडों का PIV $2 \times V_{max}$ होगा।

3. $R_z = 100\,\Omega$, $R_s = 100\,\Omega$ तथा $R = R_z + R_s = 200\,\Omega$
अतः,

$$I = \frac{21}{200} = 0.105\text{A}$$

तथा $V = IR = 0.105 \times 100$
$= 10.5\text{V}$

29.2

1. $|A_v| = \frac{V_0}{V_i} = \frac{1\text{V}}{20\text{ mV}} = 50$

2. $A_p = \frac{P_0}{P_i} = 200$

3. $|A_v| = \frac{\beta \times R_L}{r_i} = \frac{50 \times 2000\Omega}{500\Omega} = 200$

$$A_p = \beta A_v = 50 \times 200 = 10000.$$

29.3

A	B	A'	B'	Y
0	0	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

30

संचार तंत्र

संचार प्रत्येक जीवित प्राणी का एक मूल अभिलक्षण है। संचार में किसी व्यक्ति/स्थान से सूचना का प्रेषण तथा अन्य व्यक्ति/स्थान द्वारा उसका अभिग्रहण होता है। जंतु जगत में, संचार यांत्रिक, श्रव्य तथा रासायनिक संकेतों द्वारा होता है। आपने देखा होगा कि किसी घुसपैठिए को देखकर, जो उनके जीवन को संकट में डाल सकता है, गौरेयाँ किस प्रकार जोर–जोर से शोर मचाने लगती हैं। मनुष्यों को संचार का एक अत्यंत सशक्त माध्यम वाणी के वरदान स्वरूप मिला हुआ है। अपने आस–पास जो कुछ भी घटित हो रहा है उसको हम देख सकते हैं, उसके बारे में सोच सकते हैं तथा उसका अनुभव भी कर सकते हैं इसका अर्थ यह हुआ कि यांत्रिक (ताली बजाने, थपथपाने) एवं प्रकाश–यांत्रिक संकेतों (सिर हिलाने, संकेत करने) के अतिरिक्त संचार हेतु हम $20\,\text{Hz} - 20\,\text{kHz}$ के श्रव्य परिसर में ध्वनि तथा $400\,\text{Å} - 7000\text{Å}$ के दृश्य परिसर में प्रकाश का प्रयोग भी कर सकते हैं। आपको इस बात की अनुभूति होनी चाहिए कि उच्चारित या लिखित शब्दों का कोई अर्थ निकले, इसमें भाषा बड़ी महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है, यह नैसर्गिक रूप से हम तक पहुंचता है। जब लिखित अक्षरों का जन्म नहीं हुआ था तब संचार का माध्यम मौखिक ही था। संचार के द्वितीय युग का श्रीगणेश मुद्रण मशीन के आविष्कार के साथ हुआ। उन्नीसवीं शताब्दी के आरंभिक काल में टेलीग्राफ का आविष्कार तृतीय युग अथवा तीसरे चरण के श्रीगणेश का सूचक था। क्रांतिकारी तकनीकी विकासों ने सूचना के द्रुत, दक्ष एवं यथातथ्य संचरण को संभव बनाया। टेलीग्राफ, फैक्स, टेलीफोन, रेडियो, मोबाइल फोनों, उपग्रहों तथा कंप्यूटरों जैसे साधनों एवं तकनीकों के प्रयोग द्वारा दूरस्थ स्थानों तक संचार स्थापित करना संभव है। महासागर एवं पर्वत मालाएं अब कोई अवरोध नहीं प्रस्तुत करते हैं तथा काल एवं दूरी के व्यवरोध अब अस्तित्वहीन प्रतीत होते हैं। ऑन–लाइन अभिगमन (शिक्षा), प्रकाशन (शोध), बैंकिंग (व्यवसाय), जिन्हें विज्ञान कथाओं के विषय रहे बहुत अधिक समय नहीं बीता है, अब सामान्य गतिविधियाँ हैं। वस्तुतः इलेक्ट्रॉनिक संचार तकनीकों के कंप्यूटरों के साथ संयोजन ने सूचना एवं संचार प्रौद्योगिकियों (आई सी टी) के एक अति सशक्त एवं उर्वर क्षेत्र के द्वार खोल दिए हैं।

क्या आपने कभी उस टेक्नोलॉजी के विषय में सोचा है जिसने इन सब प्रौद्योगिकियों के विकास को संभव बनाया? इस प्रश्न का उत्तर आप इस पाठ में खोज पाएंगे।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के बाद आप

- सुदूर संचार तंत्र में प्रयुक्त होने वाले अवयवों की सूची बना पाएंगे;
- अनुरूप एवं अंकीय संकेतों की व्याख्या कर पाएंगे;
- वर्णन कर पाएंगे कि विद्युत-चुंबकीय तरंगे सूचना के वाहक के रूप में कैसे कार्य करती हैं;
- (वाक्, टीवी एवं डिजीटली) सिग्नलों की बैंड-चौड़ाई बता पाएंगे;
- विभिन्न संप्रेषण माध्यमों को सूचीबद्ध कर सकेंगे और उनकी विशिष्ट बैंड-चौड़ाइयां निर्दिष्ट कर सकेंगे;
- भू-तरंग प्रगमन, व्योम तरंग प्रगमन तथा आकाश तरंग प्रगमन के महत्व की व्याख्या कर सकेंगे;
- मॉडुलन की आवश्यकता बता सकेंगे; तथा
- आयाम मॉडुलित तरंग के जनन और संसूचन की व्याख्या कर सकेंगे।

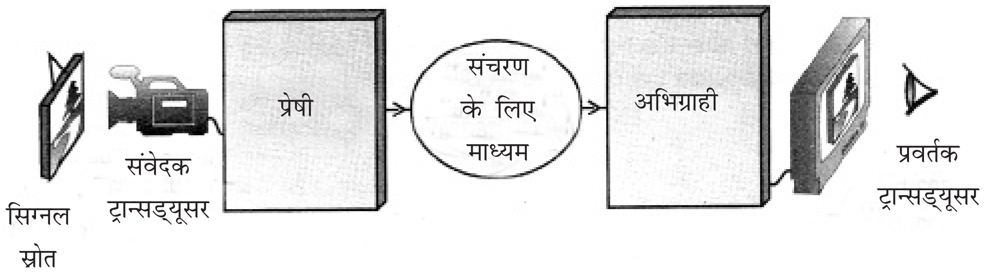
30.1 एक आदर्श संचार तंत्र

संचार तंत्र सूचना के

– एकैकी अर्थात् स्थल-स्थल संचरण का कार्य करते हैं;

– एक से अनेक अर्थात् प्रसारण संचरण का कार्य करते हैं; तथा

– अनेक से अनेक अर्थात् टेलीफोन कांफ्रेंस कॉल अथवा एक चैटरूप से होने वाले संचरण का कार्य करते हैं।



चित्र 30.1: संचार तंत्र के लिए एक व्यवस्थात्मक विन्यास

आधुनिक काल के एक प्रारूपिक संचार तंत्र में सूचना वैद्युत संकेतों (वोल्टता या धारा) के रूप में होती है जो **बैंड विस्तार** कहलाने वाली आवृत्तियों के एक परिसर में विस्तारित होती

है। (कुछ शोर संकेत के साथ जाकर मिल जाता है जो वांछित सूचना को बाधित करने का प्रयास करता है) किसी (संचार) तंत्र के वैज्ञानिक विश्लेषण के लिए हम उस तंत्र का उसके मूल घटकों के रूप में प्रतिरूपण करते हैं। अब आप इनके विषय में पढ़ेंगे:

30.1.1 संचार तंत्र के अवयव

चित्र 30.1 को देखिए। यह किसी प्रारूपिक संचार तंत्र के रचना खंडों को दर्शाता है। ध्यान दें कि ये किसी संचार तंत्र के अनिवार्य अवयव हैं:

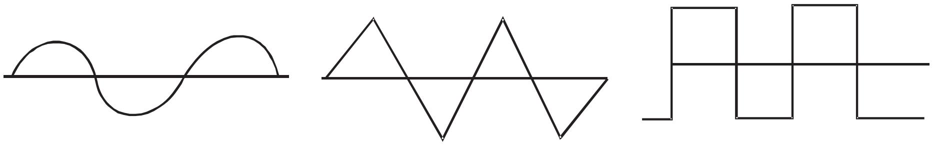
- एक संकेत का स्रोत, एक संवेदक ट्रान्सड्यूसर तथा एक **प्रेषी**, जो संकेत को वहन करने वाली सूचना का प्रमोचन करता है।
- दूरस्थ स्थानों तक संकेत के पथप्रदर्शन एवं उसे अपने साथ वहन करने के लिए एक मध्यवर्ती **माध्यम/चैनल**; तथा
- एक संकेत अभिग्राही एवं एक प्रवर्तक ट्रांस्ड्यूसर जो सिग्नल को अवरूद्ध करने एवं सूचना की पुनः प्राप्ति के लिए प्रयुक्त होता है।

30.2 संकेतों के प्रकार–एनालौग और डिजिटल

अब आपको ज्ञात हो चुका है कि सूचना का संचार संकेतों के माध्यम से होता है। इन्हें इनकी उत्पत्ति और प्रवृत्ति के आधार पर वर्गीकृत किया जाता है। इस आधार पर हमारे पास निम्न संकेत उपलब्ध होते हैं:

- संतत काल (एनालौग) तथा विविक्त काल (डिजिटल) संकेत;
- कोडित एवं अकोडित संकेत;
- आवर्ती एवं अनावर्ती संकेत;
- ऊर्जा एवं शक्ति संकेत; तथा
- निर्धारणात्मक एवं यादृच्छिक संकेत।

हम इनमें से केवल एनालौग (अनुरूप) तथा डिजिटल (अंकीय) प्रणालियों पर ही विचार करेंगे। मनुष्य द्वारा परस्पर वार्तालाप करते समय या फोनोग्राफ से उत्पन्न ध्वनि संतत रूप से परिवर्तित वैद्युत अनुरूप संकेतों में रूपांतरित हो जाती है। [चित्र 30.2 (b), (c)]। चित्र 30.2 पर ध्यान देने पर आप पाएंगे कि संकेतों को निरूपित करने वाले तरंगरूप एक विशिष्ट आवृत्ति से संबंध रखते हैं और ये आवर्ती होते हैं; जबकि इनमें से एक ज्यावक्रीय है तो अन्य स्पंदित है। वस्तुतः, इन्हें ज्या तथा वर्ग तरंगरूपों के उप-वर्ग के रूप में माना जाता है। संकेत को एनालौग (अनुरूप) (अथवा संतत) और डिजिटल (अंकीय) (अथवा विविक्त) दोनों रूपों में ही संकुलित किया जा सकता है। उदाहरण के लिए, वाक् एक एनालौग अनुरूप संकेत है जो समय के साथ संतत रूप से परिवर्तित होती है। इसके विपरीत, कंप्यूटर की फाइलें प्रतीकात्मक ''विविक्त-काल'' अंकीय संकेतों के रूप में होती हैं।



चित्र 30.2: (a) संतत (ज्या वक्रीय) तथा (b) विविक्त संकेत

डिजिटल (अंकीय) फार्मेट में, संकेत **बिट्स** (बाइनरी डिजिट्स का संक्षिप्त रूप) की शृंखलाओं के रूप में होते हैं। प्रत्येक बिट या तो 'चालू' अथवा 'बंद' (1 अथवा 0) इन दोनों में से किसी एक को निरूपित करता है। **द्वि-आधारी** पद्धति उस संख्या पद्धति को निरूपित करती हे जो 1 और 0 केवल दो अंकों का ही प्रयोग करती है (दशमलव पद्धति से इसकी तुलना कीजिए जो 0 से 9 तक दस इंकों का प्रयोग करती है)। सूचना वहन करने वाले प्रत्येक संकेत को हम विविक्त-काल, आयाम-अवांछित अंकीय संकेत के रूप में रूपांतरित कर सकते हैं। एक कांपैक्ट डिस्क (सीडी) में ऑडियो को डिजिटल (अंकीय) संकेतों के रूप में भंडारित किया जाता है ठीक उसी प्रकार जैसे कि वीडियो डिस्क (डीवीसी) में वीडियों को डिजिटल (अंकीय) रूप में भंडारित किया जाता है।

संचार प्रणालियाँ या तो आधारभूत रूप से एनालौग (अनुरूप) हो सकती हैं जैसे आयाम माडुलन (AM) रेडियो अथवा कंप्यूटर नेटवर्कों जैसी अंकीय हो सकती है। सामान्तया, (एनालौग) अनुरूप प्रणालियां एक ही प्रकार के अनुप्रयोग के लिए डिजिटल (अंकीय) प्रणालियों की तुलना में अधिक महंगी होती हैं। परंतु डिजिटल (अंकीय) प्रणालियाँ अधिक दक्ष होती हैं, बेहतर ढंग से कार्य करती हैं (कम त्रुटि एवं शोर उत्पन्न करती हैं) तथा अधिक लोच का गुण लिए होती हैं यह जानना रोचक होगा कि दोनों में ही एनालौग (अनुरूप) संकेतों का प्रयोग किया जाता है, जैसे कि इन्टरनेट (बेतार संचार का एक उदाहरण) में वोल्टता एवं सैलुतर फोन (बेतार संचार) में विद्युत-चुंबकीय विकिरण।

30.3 सिग्नलों की बैंड चौड़ाई

संचार तंत्रों में सबसे महत्वपूर्ण प्राचल, संकेत का बैंड विस्तार होता है, जो उस आवृत्ति परिसर को निरूपित करता है जिसमें संकेत परिवर्तित होता है। परन्तु, एनालौग (अनुरूप) एवं डिजिटल (अंकीय) संकेतों में इसके भिन्न अर्थ हैं जहां एनालौग (अनुरूप) बैंड विस्तार कार्यक्रम के जिस परिसर में कोई संकेत स्थित होता है, उसका सूचक होता है। वहीं डिजिटल (अंकीय) बैंड विस्तार किसी अंकीय संकेत में निहित सूचना के परिणाम का निर्धारण करता है। यही कारण है कि एनालौग (अनुरूप) बैंड विस्तार को आवृत्ति अर्थात् Hz में जबकि डिजिटल (अंकीय) बैंड विस्तार को बिट्स प्रति सेकेंड (bps) में व्यक्त किया जाता है। कुछ ऑडियो संकेतों के आवृत्ति परिसर एवं उनके बैंड विस्तार सारणी 30.1 में दिए गए हैं। ध्यान दें कि मानक वाणी का बैंड विस्तार लगभग 4 kHz होता है। आयाम माडुलिक (एफ एम) रेडियो प्रेषण में बैंड विस्तार लगभग 10 kHz होता है। जबकि आवृत्ति माडुलिक (एफ एम) प्रेषण में 15 kHz होता है। परंतु एफ एम प्रसारण द्वारा प्राप्त संकेत की गुणवत्ता ए एम द्वारा प्राप्त संकेत की गुणवत्ता से निर्णायक रूप से बेहतर होती है। एक वीडियो संकेत का बैंड

विस्तार लगभग 4.2 MHz तथा एक टेलीविजन प्रसारण चैनल का बैंड विस्तार 6 MHz होता है। एक प्रारूपिक मॉडम, जो एनालौग (अनुरूप) टेलीफोन लाइनों से अंकीय संकेतों के संचरण हेतु प्रयुक्त होने वाली एक युक्ति है, का बैंड विस्तार 32 kbps, 64 kbps अथवा 512 kbps होता है।

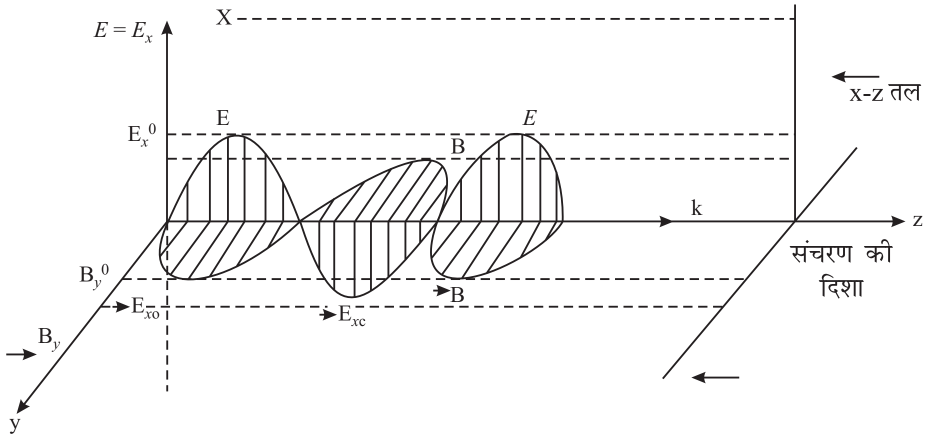
सारणी 30.1: प्रारूपिक ऑडियो बैंड विस्तार

स्त्रोत	आवृत्ति परिसर (H_E)	बैंड विस्तार (kHz)
गिटार	82–880	... 0.8
वॉयलिन	196–2794	... 2.6
स्वर (a,e,i,o,u)	250–5000	... 4
व्यंजन		
टेलिफोन संकेत	200–3200	... 3

30.3.1 संचार में विद्युत-चुंबकीय तरंगें

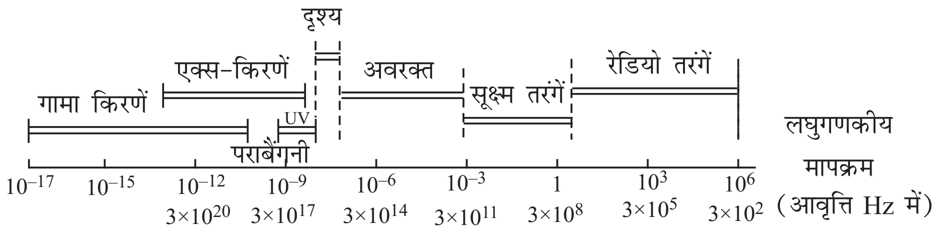
संचार में, वैद्युत संकेत को प्रेषी से अभिग्राही तक पहुंचाने के लिए हम भिन्न-भिन्न विधियों का उपयोग करते हैं। विद्युत एवं चुंबकत्व के मॉड्यूलों से आप स्मरण करेंगे कि धारा को किसी धातु के चालक से धारा संकेत या वोल्टता पात के रूप में, वायु से विद्युत-चुंबकीय विकिरण के रूप में अथवा प्रकाश संकेत में परिवर्तित करके प्रकाशिक तंतु के माध्यम से भेजा जा सकता है। प्रणाली चाहे कोई भी हो, संकेत का प्रेषण मैक्सवेल द्वारा दिए गए विद्युत चुंबकीय तरंग संचरण के चिरसम्मत सिद्धांत द्वारा ही निगमित होता है।

जैसा कि नाम से विदित है, विद्युत-चुंबकीय तरंगों में विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र एक दिक्काल परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र को उत्पन्न करता है जो प्रत्युत्तर में एक विद्युत क्षेत्र को उत्पन्न करता है। यह परस्पर सहायक भूमिका विद्युत-चुंबकीय नियमों के अनुसार विद्युत-चुंबकीय तरंगों के संचरण का कारण बनती है। एक समतल विद्युत चुंबकीय तरंग का चित्रमय निरूपण चित्र 30.3 में दर्शाया गया है।



चित्र 30.3: विद्युत चुम्बकीय तरंगों का संचरण

गणितीय रूप से, इन्हें हम इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं: $E = E_0 \sin(kz - \omega t)$ और $H = H_0 \sin(kz - \omega t)$। विद्युत-चुंबकीय तरंगों के अस्तित्व का प्रत्यक्ष प्रायोगिक साक्ष्य 1888 में हर्ट्ज द्वारा किए गए प्रभावशाली प्रयोगों की एक शृंखला द्वारा ही सामने आया। उन्होंने पाया कि उनके उपकरण से यथेष्ट दूरी पर विद्युत चुंबकीय प्रेरण के प्रभाव का वह संसूचन कर सकते थे। विद्युत-चुंबकीय तरंगों के तरंगदैर्ध्य और आवृत्ति के मापन द्वारा उन्होंने उनकी चाल का परिकलन किया जिसे उन्होंने प्रकाश की चाल के तुल्य ही पाया। उन्होंने यह भी दर्शाया कि विद्युत चुंबकीय तरंगे प्रकाश सदृश परिघटनाओं का प्रदर्शन करती हैं। जैसा कि अब हमें ज्ञात है, तरंगदैर्घ्यों का परिसर अति व्यापक है। यह (1m से 10m) तरंगदैर्घ्यों वाले) रेडियो तरंगों से लेकर (400 mm तरंगदैर्घ्य वाले) दृव्य प्रकाश तक विस्तारित होता है जैसा कि चित्र 30.4 में दर्शाया गया है। इसने इस ेत्र में अच्छी-खासी रुचि एवं सक्रियता को जन्म लिया। सन् 1895 में भारतीय भौतिकीविद जगदीश चन्द्र बोस ने 25 mm से लेकर 5m के तरंगदैर्घ्य परिसर में तरंगों को उत्पन्न किया और रेडियो प्रसारण की संभावना को प्रदर्शित किया। इस कार्य का व्यावहारिक प्रयोग गुग्लीएल्मो मारकोनी द्वारा किया गया जो एटलांटिक महासागर के पार विद्युत-चुंबकीय तरंगों को प्रेषित करने में सफल रहे। इस घटना से विद्युत-चुंबकीय तरंगों के प्रयोग द्वारा संचार युग का श्रीगणेश किया। मारकोनी को कार्ल फर्डीनेंड ब्रान के साथ वर्ष 1909 का भौतिकी का नोबेल पुरस्कार संयुक्त रूप से प्रदान किया गया।



चित्र 30.4: विद्युत चुम्बकीय स्प्रेक्ट्रम : तरंगदैर्घ्यों का मान निर्वात (वायु) में है। स्पेक्ट्रम के उत्तरोत्तर क्षेत्रों की सीमायें स्पष्ट रूप से निर्धारित नहीं हैं।

किसी संचार तंत्र में प्रेषी, ऐंटिना की सहायता से विद्युत-चुंबकीय तरंगों को विकिरित करता है। ये तंरगे आकाशक से होकर संचरित होती हैं और एक अभिग्राही द्वारा ग्रहण की जाती हैं। अभिग्राही पर एक अन्य ऐंटेना करता है। अब हम रेडियो तरंगों का प्रयोग विभिन्न उद्देश्यों के लिए करते हैं, जैसे कि टेलीविजन प्रसारण, ए. एम. (आयाम माडुलिक) और एफ. एम. (आवृत्ति माडुलिक) रेडिया, उपग्रह टी वी प्रसारण, सैलफोन द्वारा वार्तालाप इत्यादि। इसप्रकार का प्रत्येक संकेत एक भिन्न आवृत्ति का प्रयोग करता है और इस प्रकार से ही ये सभी संकेत एक-दूसरे से पृथक्कृत होते हैं।

अगले दो पाठों में आप इन प्रेषणों की क्रियाविधि तथा कुछ सामान्य संचार युक्तियों की कार्य-पद्धति के संबंध में विस्तृत ज्ञान प्राप्त करेंगे। सारणी 31.2 में रेडियो एवं टी वी प्रसारण के लिए अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर स्वीकृत विद्युत-चुंबकीय वर्णक्रम, (स्पेक्ट्रम) प्रचलित बैंडों के नाम तथा उनके अनुप्रयोगों को हमने सूचीबद्ध किया है।

(Hz में व्यक्त आवृत्ति v, मीटर में व्यक्त तरंगदैर्घ्य λ, निर्वात में विद्युत चुम्बकीय तरंगों की चाल c से $c = v\lambda$ सह-संबंध द्वारा संबंधित होती है जहाँ $c = 3 \times 10^8$ m/s है।)

सारणी 30.2: रेडियो आवृत्ति बैंड

बैंड	आवृत्ति परिसर	तरंगदैर्ध्य परिसर	अनुप्रयोग
अत्यंत निम्न आवृत्ति (ईएलएफ)	< 3 kHz	> 100 km	मेन्स की विद्युत
अति निम्न आवृत्ति (वीएलएफ)	3 - 30 kHz	100 – 10 km	सोनार
निम्न आवृत्ति (एल एफ)	30 - 300 kHz	10 – 1 km	समुद्री नौवाहन
मध्य आवृत्ति (एम एफ)	300 kHz - 3 MHz	1 km – 100 m	मध्य तरंग रेडियो
उच्च आवृत्ति (एच एफ)	3 - 30 MHz	100 – 1 m	लघु तरंग रेडियो
अत्युच्च आवृत्ति (वीएचएफ)	30 – 300 MHz	10 – 1 m	एफ एम रेडियो
परा उच्च आवृत्ति (यूएचएफ)	300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm	वाणिज्यिक टीवीए रेडियो, राडार
अति उच्च आवृत्ति (एसएसएफ)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	उपग्रह संचार, सैलुलर मोबाइल वाणिज्यिक टी वी

ए एम रेडियो को उन बैंडों, जिन्हें प्रचलित रूप से दीर्घ तरंगः 144–3513 kHz (एल एफ), मध्य तरंगः 530 – 1,700 kHz (एम एफ) तथा लघु तरंग 3 – 30 MHz एच एम) कहते हैं, में प्रसारित किया जाता है। **मध्य तरंग** सामान्य रूप से वाणिज्यिक ए एम रेडियो के लिए प्रयोग में लाया जाता है। **दीर्घ तरंग** को प्रत्येक स्थान (देश) में प्रयोग में लाया जाता है सिवाय उत्तरी और दक्षिणी अमेरिका के जहाँ इस बैंड को वैमानिक संचालन के लिए आरक्षित रखा जाता है। दीर्घ एवं मध्य-तरंग बैंडों के लिए तरंगदैर्ध्य पर्याप्त रूप से दीर्घ होता है ताकि भू-तरंग संचरण द्वारा पृथ्वी की वक्रता के आस-पास विवर्तित हो सके। विशेष रूप से रात्रि के समय ए एम रेडियो को यह एक दीर्घ परिसर प्रदान करता है। **लघु तरंग** का प्रयोग उन रेडियो (प्रसारण) सेवाओं द्वारा किया जाता है जिनका उद्देश्य प्रसारण को ग्राही स्टेशन से विशाल दूरियों तक पहुंचाना होता है; लघु तरंग प्रसारणों का सुदूर परिसर निम्न ऑडियो तद्रूपता के मूल्य पर ही संभव हो पाता है। लघु तरंग के संचल का मोड आयनमंडली होता है।

सारणी 30.3: वाणिज्यिक एफ एम रेडियो एवं टी वी प्रसारण हेतु

आवृत्ति बैंड	प्रसारण की प्रवृत्ति
41 – 68 MHz	वीएचएफ टीवी
88- 104 MHz	एफ एम रेडियो
104 – 174 MHz	केवल टीवी नेटवर्कों के लिए एस (सॉन्डरकेनाल) जिसका अर्थ है विशेष चैनल
174 – 230 MHz	वीएचएफ टीवी
230 – 470 MHz	केबल टीवी नेटवर्क के लिए एच (हाइपर) बैंड
470 – 960 MHz	यूएचएफ टीवी

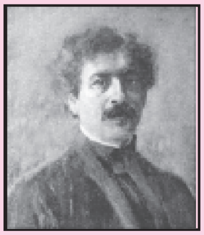
प्रसारण बैंडों के मध्य की आवृत्तियों का प्रयोग रेडियों संचार के अन्य रूपों, जैसे वॉकी टॉकी, कार्डलैस टेलीफोन, रेडियो नियंत्रण, शौकिया रेडियो, इत्यादि में होता है।

आपने इंटरनेट द्वारा संभव बनाए गए मोबाइल फोनों तथा इंटरनेट प्रोटोकॉल टेलीविजन के संबंध में पढ़ा होगा। क्या अपने कभी विचार किया है कि कौन-सी टेक्नालॉजी इस सशक्तीकरण को संभव बना रही है? क्या यह तंतु प्रकाशित संचार है? क्या इसमें लेसर की कोई भूमिका है, ऐसे सभी प्रश्नों के उत्तरों को आप अगले यूनिट में पढ़ेंगे।

पाठगत प्रश्न 30.1

1. विद्युत-चुंबकीय तरंग क्या है?
2. आकाश से संचारित होनेवाली 30 MHz आवृत्ति के रेडियो तरंग के तरंगदैर्ध्य का परिकलन कीजिए।
3. (i) दृश्य प्रकाश (ii) रेडियो तरंगों का आवृत्ति परिसर क्या है?

जगदीश चन्द्र बोस
(1858 – 1937)



भारत में अपनी स्कूली शिक्षा पूरी करने के बाद चिकित्सा विज्ञान का अध्ययन करने के लिए जगदीश चन्द्र बोस 1980 में लंदन विश्वविद्यालय चले गए। एक वर्ष के अंदर उन्होंने क्राईस्ट कॉलेज से प्राकृतिक विज्ञान का अध्ययन करनेके लिए कैंब्रिज विश्वविद्यालय से छात्रवृत्ति प्राप्त की। कैंब्रिज में प्रोफेसर हैसे नामक प्राध्यापक का उन पर गहन प्रभाव पड़ा। सन् 1884 में बोस को कैंब्रिज विश्वविद्यालय से बी. ए. की उपाधि तथा लंदन विश्वविद्यालय से बी. एस. सी. की उपाधि प्राप्त हुई। तदुपरांत बोस भारत लौट आए और कलकत्ता (अब कोलकाता) के प्रेसीडेंसी कॉलेज में कार्यकारी प्रोफेसर के रूप में शिक्षण कार्य का उत्तरादायित्व उन्होंने संभाला। प्रेसीडेंसी कॉलेज में पढ़ने वाले उनके अनेक छात्रों के भाग्य में अपने-अपने तरह से प्रसिद्धि प्राप्त करना था। इनमें से कुछ छात्र थे सत्येन्द्र नाथ बोस, जिन्हें बोस-आइंस्टाइन सांख्यिकी पर किए गए अपने अग्रणी कार्य के लिए प्रसिद्धि मिली, तथा एम. एन. साह जिन्होंन तापीय आयनन का क्रांतिकारी सिद्धांत दिया। इस सिद्धांत ने भौतिकविदों को तारों को कुछ समूहों के रूप में वर्गीकृत करने में सक्षम बनाया।

सन् 1894 में जे. सी. बोस ने प्रेसीडेंसी कॉलेज में एक स्नानघर से जुड़े एक छोटे से कमरे को प्रयोगशाला में बदल दिया। उन्होंने अपवर्तन, विवर्तन तथा ध्रुवण संबंधित प्रयोग किए। विकिरण के अभिग्रहण के लिए एक अति सुग्राही गैल्वीनोमीटर से संबद्ध भांति-भांति की संधियों का उन्होंने प्रयोग किया। लघु तरंगदैर्ध्य वाले रेडियो तरंगों तथा श्वेत एवं पराबैंगनी

प्रकाश दोनों के लिए ही अभिग्राहियों के निर्माण के लिए गैलेना के क्रिस्टलों की प्रयोग विधि का उन्होंने विकास किया। सन् 1895 में बोस ने रेडियो प्रेषण का प्रथम सार्वजनिक प्रदर्शन किया। विद्युत-चुंबकीय तरंगों के प्रयोग द्वारा उन्होंने दूर से ही एक घंटी को बजाकर तथा बारुद का विस्फोट कर दिखाया। सन् 1897 में लॉर्ड रैले ने एक व्याख्यान देने के लिए उन्हें आमंत्रित किया। बोस ने माइक्रोवेव (2.5 cm से 5 cm) से संबंधित अपने प्रयोगों का प्रदर्शन इंग्लैंड के रॉयल संस्थान तथा अन्य सोसाइटियों के समक्ष किया। परंतु उन्हें नोबेल पुरस्कार से वंचित होना पड़ा जो संभवत: उनके इस कार्य के व्यापक व्यावहारिक अनुप्रयोग न होने के कारण ही था। उन्नीसवीं शताब्दी के अंत तक बोस की रुचि पादपों में अनुक्रिया-परिघटना की ओर हो चली थी। सन् 1915 में बोस प्रेसीडेंसी कॉलेज से सेवा निवृत्त हुए तथा उन्हें यहीं पर प्रोफेसर एमेरिटस नियुक्त किया गया। दो वर्ष उपरांत कोलकाता में बोस संस्थान की स्थापना हुई। सन् 1920 में बोस को रॉयल सोसाइटी का फैलो नियुक्त किया गया।

30.4 संचार माध्यम

संचार माध्यम दो प्रकार के होते हैं: तार चैनल (जो पथनिर्देशित माध्यम होता है) एवं बेतार चैनल जो एक अनिर्देर्शित माध्यम होता है। तार चैनल प्रेषी को भौतिक रूप से अभिग्राही के साथ एक 'तार' द्वारा जोड़ते हैं। यह तार संचरण लाइनों का व्यावर्तित युग्म, एक समाक्ष केबल अथवा प्रकाशिक तंतु हो सकता है। परिणामस्वरुप, तार चैनल बेतार चैनलों की अपेक्षा अधिक निजी तथा तुलनात्मक रूप से व्यतिकरण के लिए भी कम प्रवृत्ति रखने वाला होता है। सरल तार चैनत एकल प्रेषी को एकल अभिग्राही के साथ जोड़ते नेटवर्क में सामान्य रूप से प्रेक्षित किया जाता है जहां एक केवल हमारे घरों में लगे टेलीफोन सेटों तक पहुंचाता है। कुछ बेतार चैनल प्रसारण विधा (मोड) में कार्य करते हैं अर्थात एक या अधिक प्रेषी अनेक अभिग्रहियों के साथ जुड़े होते हैं जैसा कि केवल टेलीविजन नेटवर्क के साथ होता है।

बेतार चैनल कहीं अधिक सार्वजनिक होते हैं जिनके प्रेषी ऐंटीना एक संकेत को विकरित करता है जो निकट ही में रखे गए एक समस्वरित ऐंटीना द्वारा ग्रहण किया जा सकता है। रेडियो प्रेषण में, बेतार या प्रेषी से अभिग्राही तक रेडियो तरंगों का अनिर्देशित संचरण विद्युत चुम्बकीय तरंगों की आवृत्ति पर निर्भर करता है। जैसा कि आप इस पाठ में पढ़ेंगे, ऊँचे टावरों का प्रयोग करके सीधी दृष्टि रेखा द्वारा तरंगों को भू (चर पृष्ठीय) तरंगों, व्योम तरंगों तथा आकाश तरंगों के रूप में प्रेषित किया जाता है या फिर उन्हें कृत्रिम उपग्रहों तक पहुँचाकर वहां से फिर प्रसारित किया जाता है। बेतार प्रेषण लचीला होता है। इसके साथ संबद्ध लाभ यह है कि एक अभिग्राही किसी भी स्रोत से होने वाले प्रेषण को ग्रहण कर सकता है। परिणामस्वरुप, अभिग्राही इलेक्ट्रॉनिकी का समस्वरित्र वांछित संकेतों का वरण कर आवांछित संकेतों का परिवर्जन कर सकता है। एकमात्र अवगुण यह है कि इस स्थिति में अधिक व्यतिकरण और शोर का बोलबाला होता है।

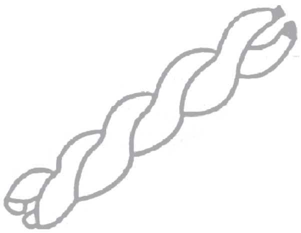
विद्युत-चुंबकीय संकेतों के संचरण के लिए हम माइक्रोवेव (सूक्ष्म तरंग) आवृत्तियों का प्रयोग करते हैं। आप पढ़ चुके हैं कि ये आवृत्तियां GHz के परिसर में होती है। इस आवृत्ति परिसर

को आगे विभिन्न बैंडों में विभाजित किया जाता है। भारतीय उपग्रह INSAT- 4 C का प्रचालन C- बैंड (4–8GHz) में होता है जबकि एडुसैट का प्रचालन Ku (कू) बैंड (12–18 GHz) में होता है।

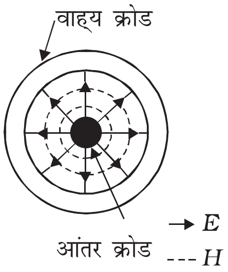
30.4.1 संचरण लाइनें

संचरण लाइन, जो एक द्रव्य माध्यम होता है, पथनिर्देशित संचार के लिए मार्ग का काम करता है। संचरण लाइन की रचना इससे संचरित होने वाले संकेत के आवृत्ति परिसर का निर्धारण करती है। चित्र 30.5 में कुछ प्रारुपिक संचरण लाइनों को दर्शाया गया है। संचरण लाइन का सरलतम रूप समांतर चालकों का एक युग्म होता है। ये चालक वायु या किसी परावैद्युत माध्यम द्वारा पृथक्कृत होते हैं। इनका प्रयोग टेलीफोन व्यवस्था में किया जाता है। परंतु यदि चालकों के बीच की दूरी प्रचालन आवृत्ति के लगभग आधे के बराबर हो तो ऐसी लाइनों में विकरित करने की प्रवृत्ति पाई जाती है। विशेष रूप से, उच्च आवृत्तियों पर इनमें शोर उत्पन्न होने की प्रवृत्ति पाई जा सकती है जो इनकी उपयोगिता को सीमित करता है। इस समस्या पर विजय प्राप्त करने के लिए हम व्यावर्तित युगल तारों का उपयोग करते हैं। इनका उपयोग कंम्पयूटर नेटवर्किंग में किया जाता है।

उच्च आवृत्तियों के संकेतों ($\leq$3GHz) पर, विकिरण क्षति को न्यूनतम करने के लिए हम समाक्ष केबलों का उपयोग करते हैं। किसी समाक्ष केबल में एक चालक खोखला होता है जबकि दूसरे चालक को केबल की पूरी लंबाई में पहले चालक के अंदर उसके केंद्र पर रखा जाता है। इन चालकों को एक पालिथीन (परावैद्युत) की अंतरालक परतों द्वारा पृथक्कृत किया जाता है तथा वैद्युत क्षेत्र चालकों के मध्य वलयाकार सीमित होता है। इन केबलों का उपयोग केबल टीवी के संकेतों को वहन करने के लिए किया जाता है। इसे ध्यान में रखना महत्वपूर्ण होगा कि आदर्श रूप से परावैद्युत पदार्थों का प्रतिरोध अनंत होना चाहिए। परंतु, व्यवहार में, उनका प्रतिरोध परिमित होता है तथा वह भी आवृत्ति में वृद्धि के साथ घटता है। परिणामस्वरुप, समक्ष केबल भी एक सीमित परिसर (अधिकतम 40 GHz तक जब विशिष्ट परावैद्युत पदार्थों का प्रयोग किया जाता है) में ही उपयोगी होते हैं। 40GHz से अधिक की आवृत्तियों पर हम तरंग पथकों का उपयोग करते हैं। परंतु 300GHz से अधिक की आवृत्तियों पर उनका आकार अति लघु (लगभग 4mm) हो जाता है और यह व्यावहारिक समस्याएं उत्पन्न करता है। इस आवृत्ति के ऊपर हम पथनिर्देशित तरंग संचरण के लिए प्रकाशिक तंतुओं का उपयोग करते हैं।



(a)



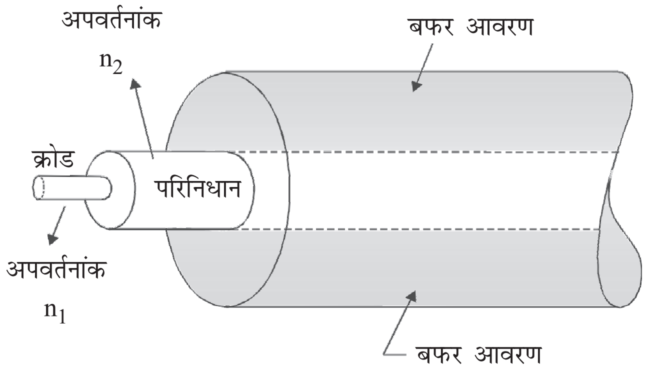
(b)

चित्र 30.5: (a) व्यावर्तित युग्म (b) एक समाक्ष केबल

30.4.2 प्रकाशिक तंतु

सन् 1960 में लेसर की खोज संचार प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में संपूर्ण क्रांति ले आई। लेसर को जो प्रकाश तरंगों का एक अत्यंत कलासंबद्ध स्रोत होता है, प्रकाशिक तरंग पथक, जैसे कि एक प्रकाशिक तंतु से संचरित होने वाले सूचनावाहक संकेतों (वाक्, डाटा या वीडियो) के लिए एक अत्यंत उच्च क्षमता के वाहक तरंग के रूप में प्रयुक्त किया जासकता है। सभी सुदूर संचार व्यवस्थाओं में प्रयुक्त होने वाला मूल सिद्धांत बहुसंकेतन अर्थात समान मार्गों पर भिन्न संदेशों का समकालिक संचरण होता है। इसे समझने के लिए, आइए किसी मानव वाणी से प्रेषण का उदाहरण लें। मानव वाणी को प्रेषित करने के लिए आवश्यक आवृत्ति बैंड v_1 = 200 Hz to v_2 = 4000 Hz, तक विस्तृत होता है अर्थात इस आवृत्ति बैंड में उपस्थित सूचना उस बैंड के अंतर्गत संचरित हो सकती है जिसकी चौड़ाई $v_1 - v_2$ = 3800 Hz, है। यह बैंड वर्णक्रम के किसी भी क्षेत्र में स्थित हो सकता है। उच्च आवृत्ति के क्षेत्रों में संचार चैनलों के लिए कहीं अधिक स्थान उपलब्ध होता है। अतः निम्न आवृत्तियों की तुलना में इनमें कहीं अधिक संभावित क्षमता होती है। दृश्य प्रकाशिक क्षेत्र के 600 nm के तरंगदैर्ध्य के लिए संगत आवृत्ति का मान 5 X 10^{14} Hz, जबकि 6cm के तरंगदैर्ध्य पर आवृत्ति का मान 5 x 10^9 Hz है। इस तरह प्रकाशिक तंतु में दृश्य प्रकाश की संचार क्षमता एक धात्विक चालक से संचरित होने वाले प्रारूपिक माइक्रोवेव की तुलना में लगभग 100,000 गुना अधिक होती है।

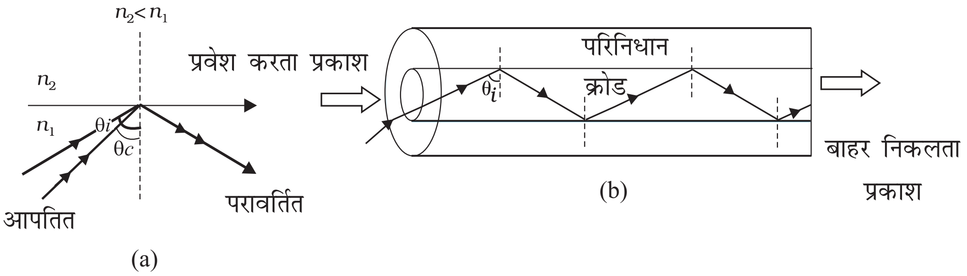
सर्वाधिक व्यापक रूप से प्रयुक्त होने वाला प्रकाशिक तरंग पथक सोपान-सूचक प्रकाशिक तंतु है। इसमें एक बेलनाकार केंद्रीय कांच या प्लास्टिक निर्मित क्रोड (जिसका अपवर्तनांक n_1) होता है तथा उसी पदार्थ का बना परंतु (क्रोड से) तनिक निम्न (लगभग 1 प्रतिशत) अपवर्तनांक (n_2) का परिनिधान होता है। प्रकाशिक तंतु को उसके आस-पास के भौतिक परिवेश से सुरक्षा प्रदान करने के लिए साधारणतया उस पर एक बाह्य आवरण चढ़ा होता है (चित्र 30.6)।



चित्र 30.6: एक लेपित सिलिका निर्मित्त क्रोड और एक विद्युत सिलिका निर्मित्त परिनिधान युक्त एक प्रारूपिक प्रकाशिक तन्तु

जब क्रोड (n_1) से प्रकाश परिनिधान ($n_2 < n_1$), के अंतरापृष्ठ पर आपतित होता है तो पूर्ण आंतरित परावर्तन के लिए आयतन का क्रांतिक कोण सूत्र $\theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$ द्वारा प्राप्त होता

है। इस प्रकार किसी प्रकाशिक तंतु में प्रकाश की किरण को क्रोड में इस रूप में प्रवेश करने दिया जाता है ताकि यह क्रोड़-परिनिधान अंतरापृष्ठ पर क्रांतिक कोण से अधिक कोण $\theta_1 > \theta_c$ पर आपतित हो। यह किरण फिर क्रोड-परिनिधान के ऊपरी और निचले अंतरापृष्ठों से बारंबार पूर्ण आतंरिक परावर्तनों द्वारा क्रोड से होकर पथ प्रदर्शित होती है। स्मरण कीजिए कि तरंग प्रकाशिकी के अंतर्गत आपने पढ़ा था कि जब किसी समतल तरंग का पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है तो अंतरापृष्ठ के अनुदिश परिनिधान (विरल माध्यम) से होकर एक तरंग संचरित होती है जिसका अंतरापृष्ठ से दूर जाने पर आयाम चरघातांकी रूप से घटता है। क्रोड में स्थित तरंग की संपूर्ण ऊर्जा परावर्तित हो जाती है, परंतु परिनिधान में अंतरापृष्ठ के अनुदिश एक वैद्युत शक्ति का संचरण होता है। ऐसी तरंग को आयाम-ह्रासी तरंग कहते हैं तथा व्यापक रूप से इसका उपयोग एकीकृत प्रकाशिकी में किसी लेसर पुंज की ऊर्जा को एक तनु फिल्म तरंग पथक के साथ युग्मित करने हेतु किया जाता है (चित्र 30.7)



चित्र 30.7: (a) पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (b) वास्तविक प्रकाश तन्तु में प्रकाश का परिरोधन

पाठगत प्रश्न 30.2

1. समाक्ष केबल क्या होते हैं? इनका प्रचालन आवृत्ति परिसर लिखिए।
2. किसी प्रकाशिक तंतु से होकर प्रकाश का पथ-प्रदर्शित करने में प्रयुक्त होने वाले मूल सिद्धांत का कथन लिखिए।

30.5 अनिर्देशित माध्यम

पृथ्वी के चारों ओर के आकाश अर्थात वायुमण्डल के प्रयोग द्वारा एक प्रेषी एवं एक अभिग्राही स्टेशन के मध्य के बेतार संचार को आकाशीय संचार कहते हैं। एक स्थान से अन्य स्थान तक विद्युत चुंबकीय तरंगों के संचरण में पृथ्वी के वायुमण्डल की अति रोचक भूमिका होती है। इसका कारण ऊँचाई के साथ वायु के तापमान, उसके घनत्व, विद्युत चालकता तथा अवशोषण अभिलक्षणों में परिवर्तनों का होना है। उदाहरण के लिए, अवरक्त क्षेत्र के अधिकांश विकिरणों को वायुमण्डल द्वारा अवशोषित कर लिया जाता है। परावैंगनी विकिरणों को ओजोन परत अवशोषित कर लेती है।

संचार में निम्न पांच परतें मुख्य भूमिका निभाती हैं:

- लगभग 60 *km* की ऊँचाई पर स्थित *C* परत विद्युत चुंबकीय तरंगों के 3kHz – 300kHz की आवृत्ति परिसर में परावर्तित करती है। इसलिए इसका उपयोग सीधे सुदूर संचार के लिए किया जाता है।

- लगभग 80 *km* की ऊँचाई पर स्थित *D* परत निम्न आवृत्ति परिसर (3kHz – 300kHz) की विद्युत चुंबकीय तरंगों को परावर्तित करती है परंतु मध्यम आवृत्ति परिसर (300 kHz – 3MHz) और उच्च आवृत्ति परिसर (3 – 30MHz) की तरंगों को अवशोषित करती है।

- लगभग 110 *km* की ऊँचाई पर स्थित *E* परत मध्यम आवृत्ति परिसर की तरंगों के संचार में सहायक होती है परंतु दिन के समय उच्च आवृत्ति परिसर के तरंगों को परावर्तित करती है।

- लगभग 180 km की ऊँचाई पर स्थित F_1 परत अधिकांश उच्च आवृत्ति तरंगों को परावर्तित होने देती है।

- F_2 परत (जिसकी दिन के साथ ऊँचाई 300 *km* तथा रात के समय 350 *km* होती है) 30 *MHz* तक की आवृत्ति वाले विद्युत-चुंबकीय तरंगों को परावर्तित करती है और इससे अधिक आवृत्ति वाले तरंगों को पारगमित होने की अनुमति देती है।

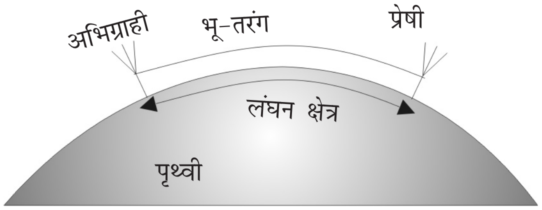
अपनी पिछली कक्षाओं में पढ़ी बातों से आप स्मरण कीजिए कि ऊँचाई के साथ तापमान, वायु घनत्व तथा विद्युत चालकता के परिवर्तन के आधार पर वायुमण्डल को अनेक परतों में विभाजित हुआ माना जाता है। पृथ्वी के निकट स्थित वायुमण्उलीय परत को **क्षोभमण्डल** कहते है।। यह समुद्र तल से लगभग 12 km की ऊँचाई पर स्थित होता है। **क्षोभमण्डल** का तापमान 290 K (विषुवतवृत्त पर) से 220 K (क्षोभसीमा पर) के मध्य परिवर्तित होता है। इस परत से लगभग 50 km तक विस्तृत अगली परत को समतापमंडल कहते हैं। ओजोन परत निचले समतापमण्डल में पाई जाती है जो लगभग 15 km से 30 km तक विस्तृत परत को मध्यमण्डल कहते हैं। इस परत का निम्नतम तापमान 180 K होता है। मध्यमण्डल से ऊपर लगभग 350 km तक आयनीकृत अणुओं और इलेक्ट्रॉनों का एक क्षेत्र होता है जिसे आयन मण्डल कहते हैं। आयनमण्डल में तापमान में ऊँचाई के साथ वृद्धि होती है जो लगभग 1000 K तक जा सकता है। रेडियो तरंगों के संचरण को आयनमण्डल प्रभावित करता है। यह D, E, F और F_2 परतों में विभाजित होता है। यह विभाजन इलेक्ट्रानों के संख्या घनत्व, जो ऊँचाई के साथ D- परत में लगभग $10^9\,m^{-3}$ घनत्व मान से $10^{11}\,m^{-3}$ घनत्व मान तथा F_2 परत[1] में विभाजित होता है। यह विभाजन इलेक्ट्रॉनों के संख्या घनत्व, जो ऊँचाई के साथ D -परत में लगभग $10^{12} m^{-3}$ घनत्व मान तक वृद्धि को प्राप्त होता है, पर आधारित होता है। तापमान, घनत्व तथा चालकता में होने वाले ये परिवर्तन भिन्न ऊँचाईयों पर सौर विकिरणों के भिन्न अवशोषण तथा संघटन इत्यादि में परिवर्तनों के कारण होते हैं।

आकाशीय संचार का प्रमुख लक्षण यह है कि किसी भी प्रेषी के ऐंटीना द्वारा विकिरित संकेत को अभिग्राही के ऐंटीना तक अवश्य पहुंचना चाहिए। भू-तरंग संचार, आकाश तरंग संचार,

व्योम तरंग संचार और उपग्रह के माध्यम से संचार इनमें से किसी के द्वारा भी संभव हो सकता हैं आइए, अब इनके संबंध में जानकारी प्राप्त करें।

30.5.1 भू-तरंग संचरण

भू-तरंग संचरण में, विद्युत चुंबकीय तरंगे भू-पृष्ठ के अनुदिश गमन करती हैं। ये पिंडों के कोनों के चारों ओर मुड़ सकती हैं। परंतु भूभाग द्वारा प्रभावित होती हैं विद्युत चुंबकीय तरंगों के प्रेषित करने के लिए एक ऊर्ध्वाधर ऐंटीना का प्रयोग किया जाता है। यदि वैद्युत क्षेत्र E ऊर्ध्वाधर और चुंबकीय क्षेत्र B क्षैतिज परंतु E एवं B दोनों सदिशों के लंबवत् होगी। भू-पृष्ठ के द्रव्यात्मक गुण, जैसे कि इनकी चालकता, अपवर्तनांक एवं परावैद्युतांक ऐसे तरंगों को नियंत्रित करते हुए पाए जाते हैं। यही कारण है कि भू-तरंग संचरण रेगिस्तान की अपेक्षा समुद्र के ऊपर कहीं बेहतर होता है। व्यवहारिक रूप से, भू-तरंगें पृथ्वी के वक्र पृष्ठ द्वारा प्रकीर्णन के कारण द्रुतता से **क्षीणन को प्राप्त होती** हैं। एक अधिक तरंगदैर्ध्य से लघु क्षीणन उत्पन्न होता है। अर्थात भू-तरंगें लघु आवृत्तियों के रूप में ही अधिक उपयोगी होती हैं तथा महासागर में स्थित पनडुब्बियों के साथ संपर्क स्थापित करने का एकमात्र उपाय प्रदान करती हैं। इसके अतिरिक्त, यह संचरण विधा लघु परिसर संचार के लिए उपयुक्त होती है। इन्हीं कारणों से भू-तरंग संचरण का उपयोग रेडियो तरंगो (300 kHz – 3 MHz) के प्रेषण के लिए किया जाता है।

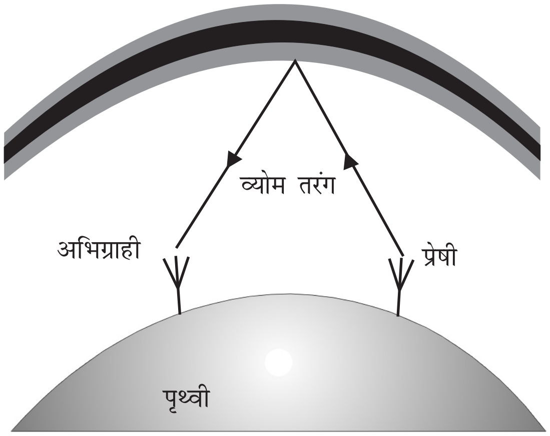


चित्र 30.8: भू-तरंग संचरण

30.5.2 व्योम तरंग या आयनमंडलीय संचरण

व्योम तरंग या आयनमंडलीय संचरण में, एक प्रेषी ऐंटीना द्वारा प्रमोचित 3 MHz – 30 MHz के मध्य की आवृत्ति परिसर की विद्युत चुंबकीय तरंगें ऊपर की दिशा में संचरित होती हैं। आयनमण्डल से परावर्तित होकर ये तरंगे फिर दूरस्थ स्थानों पर वापस लौटती हैं। इस विद्या में आयनमण्डल की परावर्तक क्षमता व्योम तरंग के अभिलक्षणों को नियंत्रित करती है। आयनमण्डल पृथ्वी के चारों ओर एक अदृश्य ''दर्पण'' का कार्य करता है। प्रकाशिक आवृत्तियों पर यह पारदर्शी होता है परंतु रेडियो आवृत्तियों पर यह विद्युत चुंबकीय विकिरण को पृथ्वी पर वापस परावर्तित कर देता है।

एकल आयनमण्डलीय परावर्तन द्वारा भू-पृष्ठ पर जिस अधिकतम दूरी तक पहुंचा जा सकता है। वह 2010 से 3000 km के मध्य में स्थित होती है। यह दूरी परावर्तक परत की ऊंचाई पर निर्भर करती है। एकल परावर्तन में होने वाला संचार विलंब 6.8 से 10 ms के परिसर



चित्र 30.9: व्योम तरंग संचरण

टिप्पणियाँ

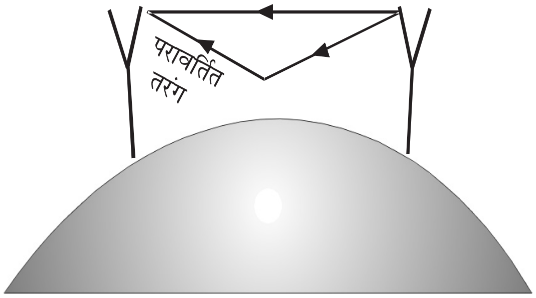
में रहता है, जो एक लघु समय अंतराल है। इस संचरण विधा का उपयोग सुदूर (लघु तरंग) संचार में लगभग 5 से 10 MHz की आवृत्ति परिसर में किया जाता है। 10 MHz, से अधिक आवृत्ति पर, तरंगें आयनमंडल से पारगमित हो जाती हैं और पृथ्वी की ओर परावर्तित नहीं होती। परंतु आयनमंडल की आयनीकृत परतों के संख्या घनत्व तथा उनकी ऊंचाई में विचरणों के कारण इसमें अनियमित दैनिक एवं ऋतुनिष्ठ परिवर्तन होते हैं। सूर्य की उपस्थिति या अनुपस्थिति के अनुसार, दिन के समय आयनमंडल का संघटन रात की तुलना में भिन्न होता है। यही कारण है कि अंतर्राष्ट्रीय प्रसारण रात में ही किए जाते हैं क्योंकि आयनमंडल के परावर्तन अभिलक्षण रात के समय अधिक अच्छे होते हैं।

30.5.3 आकाश तरंग संचरण

रेडियो स्टेशन पर आपने अति उच्च ऐंटीना देखे होंगे। इन्हें प्रसारण के लिए काम में लाया जाता है। व्योम तरंग संचरण में ऐंटीना द्वारा विकिरित कुछ VHF रेडियो तरंगें (30 MHz – 300 MHz) सीधे आकाश से संचारित होकर या पृथ्वी की वक्रता द्वारा परावर्तित होकर अभिग्राही तक पहुंचती हैं। (ध्यान दें कि भू-परावर्तित तरंगे भू-तरंगों से भिन्न होती हैं)

व्यवहार में, सीधी तरंग विधा अधिक प्रभावी होती है। परंतु तथाकथित दृष्टि रेखा संचरण दूरियों तक ही यह सीमित होती हैं तथा पृथ्वी की वक्रता एवं ऐंटीना की ऊँचाई व्याप्ति क्षेत्र के विस्तार को प्रतिबंधित करती है।

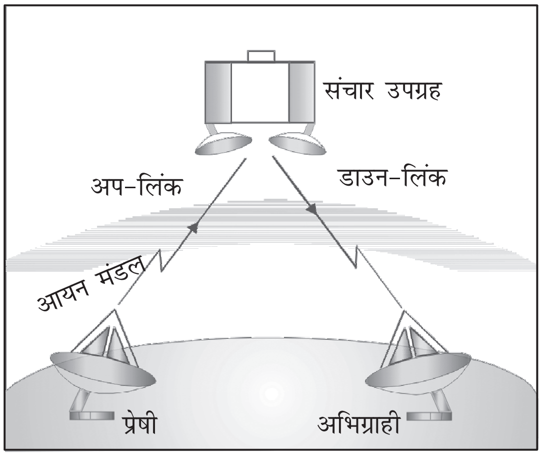
अब तक आपने पढ़ा कि भू-तरंगों में चालक क्षतियां होती हैं, दृष्टि-रेखा के कारण आकाश तरंगों की सीमाएं होती हैं तथा व्योम तरंगें एक निश्चित आवृत्ति के ऊपर ही आयनमंडल से पारगमित होती हैं। सन् 1950 के दशक में संचार उपग्रहों के प्रमोचन से इनमें से कुछ कठिनाइयों पर विजय प्राप्त करना संभव हुआ है। उपग्रह संचार प्रेषण और संचार के रूप एवं फार्मेट में क्रांतिकारी परिवर्तन ले आया है। अब हम दूर से भी वास्तविक काल में बात कर सकते हैं। आइए, अब इसके बारे में जानें।



चित्र 30.10: व्योम तरंग संचरण

30.5.4 उपग्रह संचार

उपग्रह संचार के मूल सिद्धांत को चित्र 30.11 में दर्शाया गया है। माडुलित वाहक तरंगों को एक प्रेषी उपग्रह की ओर भेजा जाता है। उपग्रह का अभिग्राही ग्रहण किए गए संकेत को प्रवर्धित करता है और फिर इसे पृथ्वी तक एक भिन्न आवृत्ति पर पुनः प्रेषित कर देता है ताकि व्यतिकरण का परिवर्जन किया जा सके। इन चरणों को अप-लिकिंग तथा डाउन-लिंकिंग कहते हैं। जैसा कि प्रकाश तरंगों के संदर्भ में हम जान चुके हैं, किसी संचार चैनल की क्षमता को संचार आवृत्ति में वृद्धि करके बढ़ाया जा सकता है। हम कितनी अधिक आवृत्ति तक जा सकते हैं? अब आपको यह ज्ञात है कि आयनमण्डल 10 MHz, से अधिक की आवृत्तियों को परावर्तित नहीं करता है तथा ऐसी उच्च आवृत्तियों के लिए हम आकाश तरंग संचरण, जिसमें ऊंचे टावरों द्वारा सीधा प्रेषण देता है, को वरीयता देते हैं। परंतु इस दृष्टि रेखा प्रेषण का सीमित परास होता है अर्थात इसकी सीमित पहुंच होती है। अतः दीर्घ परास बेतार संचार, जिसमें 30 MHz, से अधिक की आवृत्तियों का प्रयोग किया जाता है जैसा कि 50-100 MHz, का उपयोग किया जाता है।



चित्र 30.11: उपग्रह संचार

पृथ्वी और उपग्रह के मध्य लगने वाला गुरुत्वाकर्षण बल लगभग 36,000 km की ऊंचाई पर मुक्तपात गति से पृथ्वी के परितः उपग्रह के परिक्रमण के लिए आवश्यक अभिकेन्द्री बल

को प्रदान करने का कार्य करता है। वह कक्षा जिसमें विषुवत् वृत्त के चारों ओर एक परिक्रमण में लगने वाला समय पृथ्वी के एक दिन के घूर्णन काल के बिल्कुल समतुल्य होता है भूस्थिर कक्षा कहलाती है अर्थात् पृथ्वी के सापेक्ष उपग्रह स्थिर प्रतीत होता है। पृथ्वी की कक्षा में परिक्रमण करते उपग्रहों तक भू-स्टेशन संकेत को भेजते हैं जो उसे प्रवर्धित करके पृथ्वी की ओर पुनः प्रेषित कर देता है। यदि उपग्रह भूस्थिर कक्षा में नहीं होते तो आकाश में उनकी गति के कारण अभिग्राही ऐंटीना को हमें बार-बार समायोजित करना पड़ता। वर्तमान में संचार उपग्रहों के लिए दो अन्य कक्षाएं काम में लाई जा रही हैं: (i) *ध्रुवीय वृत्तीय कक्षा जो दोनों* ध्रुवों के ऊपर से गुजरती हुई (अर्थात् 90 अंश की आनति पर) लगभग 1000 km की ऊँचाई पर स्थित होती है, और (ii) *अति दीर्घवृत्तीय आनत कक्षा* (63° की आनति पर) जिसका उपयोग अधिक ऊँचाई के क्षेत्रों से संचार हेतु किया जाता है।

पाठगत प्रश्न 30.3

1. कुछ रेडियो स्टेशनों के प्रसारण को दिन की तुलना में आप रात को अधिक स्पष्ट कैसे सुन पाते हैं।

2. निम्न में से प्रत्येक का सही विकल्प चुनिए:

   (अ) साधारणतया UHF परिसर की आवृत्तियों का संचरण निम्न के माध्यम से होता है

   (i) भू-तरंगें

   (ii) व्योम तरंगों

   (iii) पृष्ठीय तरंगों

   (iv) आकाश तरंगों

   (ब) उपग्रहों को निम्न प्रकार के संचार के लिए उपयोग में लाया जाता है

   (i) निम्नं (< 30 MHz) आवृत्तियों और लघु परास के लिए

   ii) निम्न (< 30 MHz) आवृत्तियों और दीर्घ परास के लिए

   (iii) उच्च (> 30 MHz) आवृत्तियों और लघु परास के लिए

   (iv) उच्च (> 30 MHz) आवृत्तियों और दीर्घ परास के लिए

एडुसैट

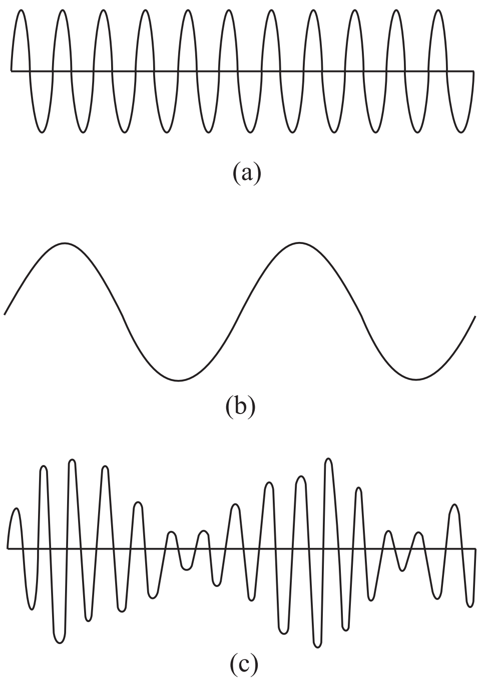
भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संस्थान, भारत सरकार के अंतरिक्ष विभाग ने सितंबर 2004 को **एडुसैट** नामक शिक्षा को पूर्णतया समर्पित एक उपग्रह का प्रमोचन किया। इस उपग्रह

का प्रभाव समग्र देश पर पड़ा है। यह कू बैंड में कार्य करता है। इसे सात वर्षों के लिए सेवाएं प्रदान करने के लिए डिजाइन किया गया है। इस उपग्रह में रेडियो और टीवी प्रसारण, इंटरनेट आधारित शिक्षा डाटा प्रसारण, टॉक-ढौक विकल्प, दृश्य-श्रव्य इंटरएक्शन, इंटरनेट पर वॉयल चैटिंग तथा वीडियो कांफ्रेसिंग की क्षमता विद्यमान है। इसने अनेक संभावनाओं के द्वार खोल दिए हैं: एक महानगर के किसी प्रतिष्ठित शिक्षण संस्थान का कोई शिक्षक सुदूर स्थित किसी स्कूल के विद्यार्थियों के साथ वीडियो कांफ्रेंसिंग कर सकता है या गांवों में स्कूल छोड़ चुके विद्यार्थी इंटरनेट आधारित शिक्षण सहयोग प्राप्त करके मुख्य शिक्षा व्यवस्था में वापस लौट सकते हैं। एडुसैट में 72 चैनलों को प्रसारित करने की क्षमता है। राज्य सरकारों तथा मुक्त विद्यालयी राष्ट्रीय संस्थान समेत अनेक राष्ट्रीय संस्थानों द्वारा बहुसंख्या में नेटवर्क स्थापित किए गए हैं। क्षेत्रीय भाषाओं में भी शिक्षा प्रदान करने के लिए ऐसे नेटवर्कों को सफलतापूर्वक काम में लाया जा रहा है।

30.6 मॉडुलन - एनालॉग (अनुरूप) ए एम एवं एफ एम, डिजिटल (पी सी एम)

किसी संकेत को संसाधित कर उसे संप्रेषण हेतु उपयुक्त बनाने की प्रक्रिया को मॉडुलन कहते हैं। दैनिक संचार में, अधिकांश सूचना को वहन करने वाले संकेत 20 kHz से कम आवृत्ति के ऑडियो संकेत होते हैं। लघु दूरियों के लिए हम सीधा संपर्क स्थापित कर सकते हैं। परंतु विशाल दूरियों तक ऐसे संकेतों को संप्रेषित करना व्यावहारिक नहीं होता है। यह निम्न दो कारणों से होता है :

- संप्रेषित किए जाने वाले संकेत के लिए एक ऐंटिना अथवा एरियल होना चाहिए जिसका आकार संकेत के तरंगदैर्घ्य से तुलनीय होना चाहिए ताकि संकेत के समय-विचरण का संवेदन ऐंटिना द्वारा उपयुक्त रूप से किया जा सके। इसका अर्थ यह है कि निम्न-आवृत्ति अथवा विशाल तरंगदैर्घ्य वाले संकेतों के लिए ऐंटिना का आकार अति विशाल होना चाहिए।
- निम्न आवृत्ति वाले संकेतों द्वारा वहन की जाने वाली शक्ति का मान कम होता है और (संकेत) अधिक दूरी तक नहीं जा सकते। यह अवशोषण/विकिरण हानि के कारण होने वाले



चित्र 30.12: एक मॉडुलन संकेत द्वारा किसी वाहक तरंग का मॉडुलन : (a) एक उच्च आवृत्ति की ज्यावक्रीय वाहक तरंग, (b) एक निम्न आवृत्ति का मॉडुलक संकेत (संदेश अथवा सूचना संकेत), (c) आयाम मॉडुलित वाहक तरंग।

संतत ह्रास अथवा क्षीणन के कारण होता है। इसका आशय यह है कि विशाल दूरी के संप्रेषण के लिए उच्च आवृत्तियों का उपयोग किया जाना चाहिए। परंतु ये (आवृत्तियां) लाभदायक सूचना को वहन नहीं कर सकती हैं। अत: हमारी स्थिति निम्नांकित स्थिति के अनुरूप ही है :

किसी सैनिक चौकी पर, भारतीय सेना आगे बढ़ती शत्रु सेना को देखती है। प्राण हानि कम से कम हो तथा चौकी को शत्रु के अधिकार में जाने से बचाया जा सके, इसके लिए सेना को बेस कैंप से एक सैनिक टुकड़ी को बुलाए जाने की आवश्यकता है। परंतु जब तक सेना का कोई जवान वहां जाकर संदेश को पहुंचाएगा और सैनिक टुकड़ी सहायता को पहुंचेगी, तब तक वह चौकी शत्रु के अधिकार में चली जाएगी। इसलिए, सेना को एक संदेशवाहक, मान लें कि एक घोड़े की आवश्यकता है जो तेज दौड़ सके। परंतु घोड़ा संदेश को नहीं पहुंचा सकता। ऐसे में जो उपाय हो सकता है, वह है: जवान को घोड़े की पीठ पर बिठा दें; घोड़ा दौड़े और संदेश को जवान संदेश को बेस कैंप तक पहुंचा दे।

संकेत के संप्रेषण के लिए, ऑडियो संकेत जवान एवं उच्च (रेडियो) आवृत्ति घोड़े (वाहक) का कार्य करती है। इस प्रकार हम कह सकते हैं कि किसी निम्न आवृत्ति संकेत को उच्च आवृत्ति के वाहक तरंग पर अध्यारोपित कर हम संकेत को संसाधित करते एवं उसे संप्रेषण के लिए उपयुक्त बनाते हैं। एक संकेत जनित्र के उपयोग द्वारा हम मूल संकेत को वैद्युत संकेत में, जिसे **बेस बैंड** संकेत कहते हैं, परिवर्तित करते हैं। तदुपरांत, मॉडुलक में वाहक तरंगों पर हम बेस बैंड संकेत का अध्यारोपित करते हैं। वाहक तरंग में उत्पन्न परिवर्तन को वाहक तरंग का मॉडुलन कहते हैं तथा मॉडुलन के लिए प्रयुक्त संदेशवाहक संकेत को **मॉडुलक संकेत** कहते हैं। वाहक तरंग संतत अथवा स्पंदित हो सकता है। चूंकि एक ज्यावक्रीय तरंग आयाम, आवृत्ति तथा कला द्वारा अभिलक्षणित होती है, इनमें से किसी भी भौतिक प्राचल को मॉडुलित (अथवा परिवर्तित) करना संभव है। इसे एनालॉग (अनुरूप) मॉडुलन कहते हैं। अनुरूप मॉडुलन के विभिन्न प्रकार होते हैं : **आयाम मॉडुलन (ए एम); आवृत्ति मॉडुलन (एफ एम); मॉडुलन (पीसीएम)** को प्राथमिकता दी जाती है।

आयाम मॉडुलन में, किसी उच्च आवृत्ति के वाहक तरंग (चित्र 30.12a) के आयाम को एक निम्न आवृत्ति के ऑडियो अथवा वीडियो मॉडुलक संकेत की तीव्रता के अनुसार परिवर्तित किया जाता है (चित्र 30.12.b)। जब मॉडुलक तरंग के आयाम में वृद्धि होती है तो मॉडुलित वाहक तरंग का आयाम भी बढ़ता है तथा इसका विलोम भी सत्य है। मॉडुलित तरंग का अन्वालोप मॉडुलक संकेत के आयाम और आवृत्ति के अनुसार अपना आकार ग्रहण करता है (चित्र 30.12.c)।

इसे अच्छी तरह से समझने के लिए, हम ऑडियो संकेत एवं वाहक संकेत के तत्क्षणिक आयामों के व्यंजनों को निम्न प्रकार से लिखते हैं :

$$\upsilon_a(t) = \upsilon_{ao} \sin\omega_a t \qquad (30.1a)$$

और

$$\upsilon_c(t) = \upsilon_{co} \sin\omega_c t \qquad (30.1b)$$

जहां w_a और w_c क्रमश: ऑडियो और वाहक तरंगों की कोणीय आवृत्तियां तथा υ_{ao} और υ_{co} क्रमश: ऑडियो और वाहक तरंगों के आयामों को सूचित करते हैं। आयाम मॉडुलन में,

मॉडुलक (ऑडियो) संकेत को वाहक तरंग पर अध्यारोपित किया जाता है ताकि परिणामी मॉडुलित तरंग के आयाम को निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सके :

$$A\,(t) = \upsilon_{co} + \upsilon_{a}(t) = \upsilon_{co} + \upsilon_{ao}\sin\omega_{a}t$$

$$= \upsilon_{co}\left[1 + \frac{\upsilon_{ao}}{\upsilon_{co}}\sin\omega_{a}t\right] \qquad (30.2)$$

अतः मॉडुलित तरंग को निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है :

$$\upsilon_{c}^{\text{mod}}(t) = A\sin\omega_{c}t = \upsilon_{co}\left[1 + \frac{\upsilon_{ao}}{\upsilon_{co}}\sin\omega_{a}t\right]\sin\omega_{c}t \qquad (30.3)$$

समीकरण (30.3) पर ध्यान देने पर हम पाते हैं कि मॉडुलित तरंग का तत्क्षणिक आयाम अनुरूप ऑडियो संकेत के आयाम और आवृत्ति द्वारा निर्धारित होता है। $\upsilon_{ao}/\upsilon_{co}$ अनुपात इसका एक माप हमें प्रदान करता है कि वाहक आयाम अनुरूप मॉडुलन संकेत द्वारा किस सीमा तक परिवर्तित होता है। इस अनुपात को आयाम मॉडुलन सूचकांक कहते हैं। इसे हम m_a द्वारा निरूपित करेंगे। मॉडुलन सूचकांक के प्रयोग द्वारा, समीकरण (30.3) को हम निम्न प्रकार से लिख सकते हैं :

$$\upsilon_{c}^{\text{mod}} = \upsilon_{co}(1 + m_{a}\sin\omega_{a}t)\sin\omega_{c}t$$

$$= \upsilon_{co}\sin\omega_{c}t + \upsilon_{co}ma\sin\omega_{a}t\sin\omega_{c}t$$

$$= \upsilon_{co}\sin\omega_{c}t + \frac{\upsilon_{co}m_{a}}{2}\cos(\omega_{c} - \omega_{a})t - \frac{\upsilon_{co}m_{a}}{2}\cos(\omega_{c} + \omega_{a})t \qquad (30.4)$$

समीकरण (30.4) पर ध्यान देने पर हम पाते हैं कि–

- चित्र 30.2(c) में दर्शाए मॉडुलित तरंग के तीन घटक हैं। पहला पद वाहक तरंग को निरूपित करता है; दूसरा पद, जिसकी आवृत्ति वाहक तरंग की आवृत्ति से कम है, निचला साइड बैंड प्रदान करता है; और तीसरा पद, जिसकी आवृत्ति वाहक तरंग की आवृत्ति से अधिक है, ऊपरी बैंड है; तथा

- मॉडुलक संकेत की आवृत्ति आयाम मॉडुलित तरंग में प्रत्यक्ष रूप से उपस्थित नहीं होती है।

  यदि किसी ए एम प्रणाली में, मॉडुलक संकेत

  $\upsilon_a = 4\sin 6283t$ तथा निचले साइड बैंड की आवृत्ति 3.5×10^5 Hz है तो वाहक तरंग की आवृत्ति होगी :

$$\omega_C = \omega_a + 2\pi \times (3.5) \times 10^5$$

$$= 6283 + 22 \times 10^5$$

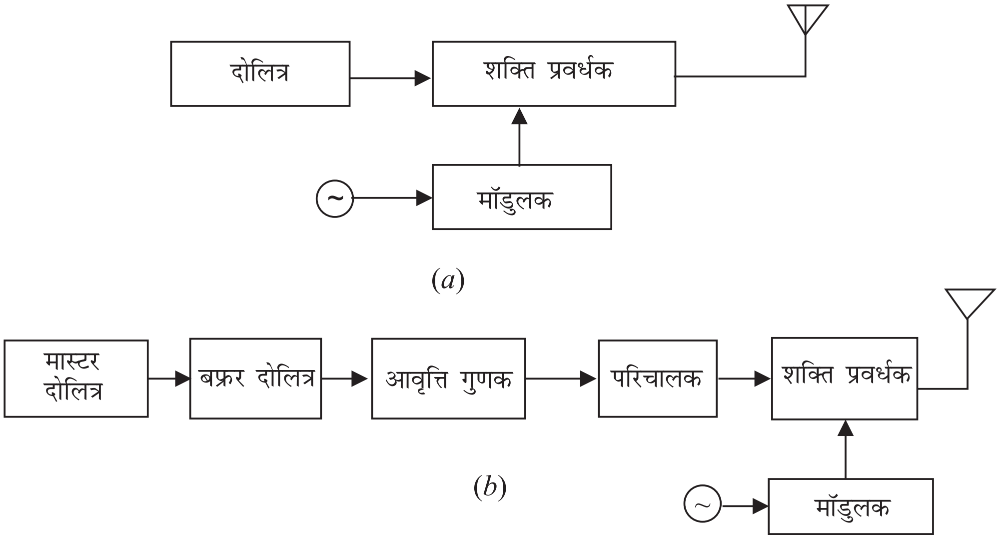
$$= (2200 + 6.283) \times 10^3\ \text{rad}$$

$$= 2.206 \times 10^6\ \text{rad}$$

यह जानना महत्वपूर्ण होगा कि सर्वाधिक दक्ष सूचना का अंतरण तब होता है जब संचार तंत्र द्वारा संचरित महत्तम शक्ति साइड बैंडों में उपस्थित होती है।

एक मूलभूत अनुरूप प्रेषी के ब्लॉक आरेख को चित्र 30.13 (a) में दर्शाया गया है। दोलित्र एक नियत आवृत्ति प्रदान करता है तथा शक्ति प्रवर्धक संकेत को मॉडुलित करता है।

इसके अतिरिक्त, प्रधान (मास्टर) दोलित्र तथा शेष परिपथ के मध्य एक बेहतर प्रवर्धक को लगाया जाता है। संकेत की आवृत्ति एवं आयाम को संवर्धित करने के लिए, संकेत के मॉडुलन के पूर्व आवृत्ति गुणक तथा परिचालक प्रवर्धकों को शक्ति प्रवर्धक में लगाया जाता है।

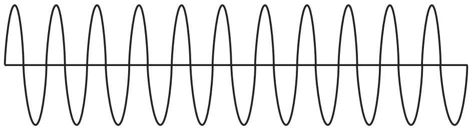


चित्र 30.13: (a) एक मूलभूत एवं (b) एक ए एम प्रेषी का ब्लॉक आरेख

किसी भी प्रसारण के लिए, विकिरित की जाने वाली महत्तम शक्ति का नियंत्रण भारत सरकार द्वारा किया जाता है। रेडियो प्रेषियों के लिए यह 500 W से 50 kW के परिसर में होता है। हर प्रसारणकर्त्ता को एक निश्चित आवृत्ति प्रदान की जाती है जिसका कड़ाई से पालन आवश्यक है ताकि अन्य संकेतों के साथ व्यतिकरण को रोका जा सके। इसे सुनिश्चित करने के लिए, अवांछित आवृत्तियों को युग्मन परिपथों के उपयोग द्वारा छांट दिया जाता है। इससे संबद्ध विवरणों की और अधिक चर्चा हम यहां नहीं करेंगे।

पिछले पचास वर्षों से भारत में रेडियो संचार के सर्वाधिक प्रचलित रूप मध्य तरंग (520 – 1700 kHz) तथा लघु तरंग (4.39 – 5.18 MHz; 5.72 – 6.33 MHz) अनुरूप ए एम प्रसारण रहे हैं। आज भी व्यापक रूप से इनका उपयोग होता है यद्यपि आजकल अनुरूप एफ एम प्रसारण को इसकी बेहतर गुणता के कारण प्राथमिकता दी जाती है। इसके अतिरिक्त, तुलनात्मक रूप से अब रेडियो का उपयोग स्वतंत्र हो गया है तथा निजी प्रसारणकर्त्ता विशाल रूप में इस क्षेत्र में प्रवेश कर रहे हैं। कुछ शैक्षिक संस्थानों ने भी शिक्षा तथा ग्रामीण युवकों एवं गृहणियों के सशक्तीकरण के लिए अब अपने एफ एम रेडियो स्टेशन स्थापित कर लिए हैं। टीवी प्रसारण में, ऑडियो, आवृत्ति मॉडुलित जबकि वीडियो (चित्र), आयाम मॉडुलित होता है।

आवृत्ति मॉडुलन में, वाहक तरंग का आयाम स्थिर रहता है परंतु इसकी आवृत्ति ऑडियो तथा वीडियो तरंग के तत्क्षणिक आयाम के अनुसार संतत रूप से परिवर्तित की जाती है। जब मॉडुलक संकेत वोल्टता का आयाम अधिक होता है तो वाहक आवृत्ति बढ़ जाती है और जब मॉडुलक संकेत का आयाम निम्न होता है तो वाहक आवृत्ति घट जाती है अर्थात् एफ एम तरंग की आवृत्ति एक अल्पतम से एक महत्तम मान के बीच परिवर्तित होती है जो मॉडुलक संकेत के अल्पतम तथा महत्तम मानों के साथ संगतता रखते हैं (चित्र 30.14)।



चित्र 30.14: एक आवृत्ति मॉडुलित वाहक तरंग

एक एफ एम प्रेषी में मुख्य रूप से एक दोलित्र होता है जिसकी वाहक तरंग की आवृत्ति को निवेशी ऑडियो संकेत के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। (सामान्यतया, किसी LC दोलित्र में धारिता अथवा संधारित्र को आवेशित करने वाली धारा को बदल कर, उदाहरण के लिए, एक पश्च बायासित डायोड के प्रयोग द्वारा चूंकि ऐसे डायोड की धारिता आरोपित वोल्टता के साथ परिवर्तित होती है, इसे संभव बनाया जाता है।) मॉडुलित संकेत की शक्ति को संवर्धित करने के उपरांत इसे प्रेषी ऐंटिना पर निवेशित किया जाता है। निम्न-आवृत्ति रेडियो प्रसारण केंद्र आयाम मॉडुलन का ही उपयोग करते हैं क्योंकि यह एक सरल एवं सशक्त तकनीक है।

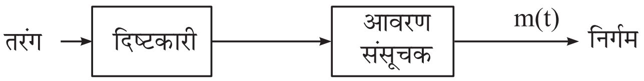
कला मॉडुलन में वाहक संकेत के कला-कोण को मॉडुलन आवृत्ति के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। अनुरूप स्पंद मॉडुलन या तो आयाम मॉडुलित होता है अथवा समय मॉडुलित। इसी प्रकार, डिजिटल स्पंद मॉडुलन दो प्रकार का होता है : स्पंद कोड मॉडुलन एवं स्पंद डेल्टा मॉडुलन।

स्पंद कोड मॉडुलन में, मॉडुलक संकेत का पहले प्रतिचयन किया जाता है और (एक नियत संदर्भ के सापेक्ष) प्रत्येक प्रतिदर्श के परिमाण को क्वांटित किया जाता है। यह एक अनुरूप संकेत का अंकीय (डिजिटल) निरूपण है जहां संकेत के परिमाण का नियमित रूप से प्रतिचयन T_s अवधि वाले एकसमान अंतरालों पर किया जाता है। सामान्यतया, द्वि-आधारी कोड को किसी अनुरूप धारा को मॉडुलित करके एक संचरण माध्यम, जैसे कि लैंडलाइन से होकर संप्रेषित किया जाता है जबकि स्पंद कोड मॉडुलन का उपयोग डिजिटल टेलीफोन तंत्रों तथा काम्पैक्ट डिस्कों पर डिजिटल ऑडियो रिकार्डिंग हेतु किया जाता है।

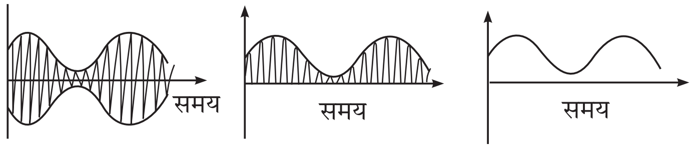
30.7 विमॉडुलन

सूचना को वहन करने वाला मॉडुलित संकेत जब एक बार ऐंटिना द्वारा विकिरित हो जाता है तो यह आकाश से होकर संचरित होता है। चूंकि अनेक प्रेषी स्टेशन होते हैं, हजारों की संख्या में संकेत हमारे ऐंटिना तक पहुंचते हैं।

टिप्पणियाँ



(a)



(i) AM निवेशित तरंग (ii) दिष्टकृत तरंग (iii) RF अवयव रहित निर्गम के

(b)

चित्र 30.15: (a) AM सिग्नलों के लिए विमोडिलित ब्लॉक आरेख (i) निवेशी मॉडुलित तरंग, (ii) दिष्टकृत मॉडुलित तरंग, (iii) निर्गमित विमॉडुलित तरंग

हमें वांछित संकेत को चयनित करना पड़ता है तथा वाहक तरंग एवं मॉडुलक संकेत को वियुग्मित करना पड़ता है। इस प्रक्रिया को **विमॉडुलन** कहते हैं।

ध्यान दें कि ऑडियो संकेत के मॉडुलन एवं विमॉडुलन के कारण इसके आयाम, आवृत्ति तथा कला में विरूपण उत्पन्न होते हैं। ये उच्च संनादी, काल विलंब तथा इसी प्रकार के अन्य विक्षोभों का कारण बनते हैं।

पाठगत प्रश्न 30.4

1. निम्नलिखित में से सही विकल्प चुनिये :
   (a) मॉडुलन का प्रयोग होता है,
      (i) बैंड विस्तार को कम करने के लिए
      (ii) भिन्न उपयोक्ताओं के संप्रेषणों के पृथक्करण के लिए,
      (iii) विशाल दूरियों तक सूचना के संप्रेषण को सुनिश्चित करने के लिए,
      (iv) व्यावहारिक ऐंटिनाओं के प्रयोग को संभव बनाने के लिए,
   (b) प्रसारण में ए एम का उपयोग निम्नलिखित कारण से किया जाता है :
      (i) अन्य मॉडुलन तंत्रों की तुलना में रव (शोर) के प्रति इसमें अधिक प्रतिरोधकता होती है।
      (ii) अन्य तंत्रों की तुलना में इसे कम संप्रेषण शक्ति की आवश्यकता होती है।
      (iii) यह अभिग्राही की जटिलता से मुक्ति प्रदान करता है।
      (iv) कोई अन्य मॉडुलन तंत्र तद्रूप संप्रेषण हेतु आवश्यक बैंड विस्तार नहीं प्रदान कर सकता है।
2. रेडियों ऐन्टेना का आदर्श साइज क्या होता हे?

30.8 संचार के अनुप्रयोग

हाल के वर्षों में, संचार के संसार ने मुद्रित टेक्स्ट में टेलीग्राफ, टेलीफोन, रेडियो, टेलीविजन, मोबाइल फोन, इंटरनेट तथा (दृश्य और श्रव्य) कम्प्यूटर कांफ्रेंसिंग तक की लंबी यात्रा द्रुत गति से तय की है। विश्व भर के देशों के बीच राष्ट्रीय एवं अंतर्राष्ट्रीय संचारों में उच्च मानक प्राप्त करने की होड़ लगी है। संचार उपग्रहों के माध्यम से होने वाले रेडियो और टीवी प्रसारण को भूमंडल के दूरस्थ किनारों पर अवस्थित अधिकांश जनसंख्या तक भी ले जाया जा रहा है। स्वचालित टेलीफोन एक्सचेंजों की घरेलू अवस्था को साधारणतया तंतु प्रकाशिक केबल, समक्ष केबल, माइक्रोवेच रेडियो रीले तथा एक उपग्रह प्रणाली के आधुनिक नेटवर्को द्वारा जोड़ा जाता है।

सेलुलर या मोबाइल टेलीफोन सेवाएं अब व्यापक रूप से उपलब्ध हैं और इन सेवाओं में (अपने देश के अतिरिक्त) बाहर के देशों तक भी रोमिंग सेवा सम्मिलित है। सेलुलर प्रणाली आधार स्टेशनों तथा ऐंटिनाओं के एक रेडियो नेटवर्क की तरह कार्य करता है। (किसी महानगर में एक आधार स्टेशन के व्याप्ति क्षेत्र को सेल कहते हैं जिसका विस्तार क्षेत्र 1 km से 50 km के त्रिज्या परिसर में होता है।) एक सेल फोन में एक निम्न शक्ति प्रेषी और एक निम्न शक्ति अभिग्राही होते हैं। यह दोनों का एक साथ उपयोग कर सकता है, भिन्न आवृत्तियों की पहचान कर सकता है तथा आवृत्तियों के मध्य स्वचालित रूप से स्विचन भी कर सकता है। आधार स्टेशन निम्न शक्ति पर प्रेषण भी कर सकते हैं। प्रत्येक आधार स्टेशन सावधानीपूर्वक चयनित की गई आवृत्तियों का उपयोग प्रतिवेशी सेलों के साथ व्यतिकरण को कम करने के लिए करता है।

उस स्थिति में, जहां बहु पर्सनल कंप्यूटरों का उपयोग किया जाता है जैसे कि प्राय: आपके स्थानीय अध्ययन केंद्र में, वहां सभी कम्प्यूटरों को एक ही नेटवर्क के रूप में जोड़ने में यह सहायता करता है ताकि वे परस्पर संवाद कर सके और हम–

- कम्प्यूटरों के मध्य एक एकल मुद्रक का प्रयोग कर सकते हैं;
- सभी कम्प्यूटरों के मध्य एक एकल इंटरनेट संबंधन का प्रयोग कर सकते हैं;
- किसी भी कम्प्यूटर पर साझे फाइलों एवं अभिलेखों तक अभिगम्यता प्राप्त (एक्सेस) प्राप्त कर सकते हैं;
- गेम खेल सकते हैं जो बहु उपभोक्ताओं को भिन्न कम्प्यूटरों को प्रयोग करने की अनुमति देता है;और
- किसी युक्ति जैसे कि एक डीवीडी प्लेयर के निर्गम को अन्य कम्प्यूटर (रों) तक भेज सकते हैं।

पर्सनल कम्प्यूटरों के एक ऐसे नेटवर्क को स्थापित करने के लिए तीन चरण होते हैं:

- नेटवर्क के लिए टैक्नोलॉजी का चयन कीजिए। मुख्य प्रौद्योगिकियां जिनके मध्य चयन किया जा सकता है वे हैं मानक ईथरनेट, फोन लाइन आधारित प्रौद्योगिकी, पावर लाइन आधारित प्रौद्योगिकी तथा बेतार प्रौद्योगिकी।

- हार्डवेयर को खरीदकर उसे स्थापित कीजिए।
- प्रणाली को विन्यासित करें और प्रत्येक अवयव को परस्पर सही ढंग से संवाद करने के लिए तैयार करें।

इंटरनेट विश्व भर में कम्प्यूटरों का एक विशाल नेटवर्क है। यह अनेक भिन्न प्रकार के संचारों को समाहित करता है। जैसे-जैसे टैक्नोलॉजी उन्नत होती जाएगी यह अन्य सभी प्रकार के संचारों को एक में ही मिलाकर उन्हें प्रतिस्थापित कर देगा। पत्रिकाओं और समाचार पत्रों को पुस्तकालयों, कला एवं शोध के साथ ऑनलाइन किया जा रहा है। संचार के अधिकांश प्रकारों के विपरीत यह वर्ल्ड वाइड वेव के माध्यम से सूचना के अथाह भंडार तक एक्सेस (अभिगम्यता) प्रदान करने में सहायक होता है। वर्ल्ड वाइड वेव इंटरनेट का मल्टीमीडिया वाला भाग है। यह टेक्स्ट को ध्वनि, चित्रों, रेखाचित्रों, चार्ट, ग्राफ, एनिमेशन तथा वीडियो के साथ भी समन्वित करता है। नवीन नवाचार जैसे कि जावा, जो एक वेव आधारित प्रोग्रामिंग भाषा है, किसी अभिलेख में संनिहित साधारण कार्यों के निष्पादन की अनुमति देता है। जैसे-जैसे इंटरनेट अधिक व्यापक होता जाएगा वैसे-वैसे यह अधिक महत्वपूर्ण एवं क्षमतावार प्रकार का संचार जाना जाएगा। भारत में लाखों स्कूलों को कम्पयूटरों और इंटरनेट की अभिगम्यता प्रदान की जा रही है ताकि शिक्षा की गुणवत्ता को सुधारा जा सके। मानव संसाधन विकास मंत्रालय साक्षात नामक एक एकल स्टॉप पोर्टल को विकसित कर रहा है जिससे कि आप अभिगम्यता प्राप्त कर सकते हैं। मुक्त विद्यालय राष्ट्रीय संस्थान भी इसमें अपना योगदान दे रहा है।

एक टेलीविजन सेट की कैथोड किरण नालिका में, ''कैथोड'' इलेक्ट्रॉनों को एक किरण के रूप में उसकी ''नलिका'' में सृजित निर्वात में उत्सर्जित करता है। इलेक्ट्रॉन धारा को एनोडों द्वारा फोकसित एवं त्वरित किया जाता है। यह इलेक्ट्रॉन धारा नलिका के दूसरे छोर पर स्थित स्क्रीन से टकराती है। स्क्रीन का भीतरी भाग स्फुरदीप्तिकारी पदार्थ से पुता होता है जो इलेक्ट्रॉन पुंज के टकराने पर दीप्त होता है। कैथोड किरण-पुन्ज वस्तु से आने वाले विडियो सिग्नलों का वाहित करता है और तदनुसार पर्दे पर प्रतिबिंब बनाता है।

एक फैक्स मशीन में संप्रेषित किए जाने वाले दस्तावेज (प्रलेख) को एक प्रकाश संसूचक की सहायता से स्कैन करके एक संकेत कोड को उत्पन्न किया जाता है और इसके उपरांत इसे टेलीफोन लाइन के माध्यम से संप्रेषित किया जाता है।

एक मोडेम (मॉडुलक/विमॉडुलक) किसी अंकीय बिट शृंखला को (मॉडुलक में) अनुरूप (एनालांग) संकेत तथा अनुरूप (एनालॉग) संकेत को (विमॉडुलक में) अंकीय बिट शृंखला में परिवर्तित करता है। किसी डिजिटल स्रोत का किसी अनुरूप (एनालॉग) संचार चैनल के साथ इंटरफेस बनाने के लिए मोडेम का उपयोग एक प्रेषी के रूप में किया जाता है; तथा एक संचार चैनल का किसी डिजिटल रिसीवर के साथ इंटरफेस बनाने के लिए भी मोडेम का उपयोग एक अभिग्राही के रूप में किया जाता है।

आपने क्या सीखा

- आधुनिक काल के एक प्रारूपिक संचार तंत्र में सूचना वैद्युत संकेतों (वोल्टता या धारा) के रूप में होती है।
- एक संचार तंत्र के आवश्यक अवयव हैं: (i) एक प्रेषी (ii) संकेत को दूरस्थ स्थानों तक ले जाने के लिए एक माध्यम अथवा क्रियाविधि, तथा (iii) संकेत के अवरोधन तथा सूचना को वापस प्राप्त करने के लिए एक अभिग्राही।
- मूल रूप से एक ऐंटेना अथवा एरियल चालकों का एक निकाय है जो वांछित रेडियो आवृत्ति परिसर में विद्युत-चुंबकीय तरंगों का एक प्रभावी विकिरण एवं अवशोषक होता है।
- एनालौग (अनुरूप) संकेत वे भौतिक संकेत होते है। जो समय के साथ संतत रूप से परिवर्तित होते हैं जबकि डिजिटल (अंकीय) संकेत विक्ति स्पंदों के रूप में होते हैं।
- डिजिटल (अंकीय) संचार तंत्र अपने एनालौग (अनुरूप) प्रतिवेशियों की तुलना में अधिक दक्ष होते हैं, बेहतर ढंग से कार्य करते हैं तथा अधिक लोच का गुण लिए होते हैं।
- आयाम माडुलित (ए एफ) रेडियो का प्रसारण तीन बैंडों में किया जाता है, 144–351 kHz की आवृत्ति पर दीर्घ तरंग (एल एफ), 530-1,7000 kHz की आवृत्ति पर मध्य तरंग (एच एफ) तथा 3-30 MHz की आवृत्ति पर लघु तरंग (क्षय एफ)। आवृत्ति माडुलित (एफ एम) रेडियो का प्रसारण 88-104 MHz की आवृत्ति पर वाहक तरंगों के माध्यम से किया जाता है। (वी एच एफ)। व्यावसायिक टी वी प्रसारण वी एच एफ–यू एच एफ परिसर में किया जाता है।
- वैद्युत संचार चैनल (निर्देशित माध्यमों के प्रयोग से) तार चैनल या (अनिर्देशित माध्यमों के प्रयोग से) बेतार चैनल इन दो प्रकार के हो सकते हैं।
- एक ही मार्ग पर भिन्न संदेशों (जिनमें प्रत्येक की कोई आवृत्ति बैंड चौड़ाई होती है) के समकालिक प्रेषण की प्रक्रिया को बहुसंकेतन कहते हैं। वाहक की आवृत्ति जितनी अधिक होगी उतनी ही अधिक इसकी संदेशवाहक क्षमता भी होगी।
- भिन्न चैनलों की तुलना करने पर, किसी प्रकाशिक तंतु में दृश्य प्रकाश (जिसकी आवृत्ति लगभग 10^{14} Hz) की तुलना में कहीं अधिक होती है।
- (किसी लेसर द्वारा उत्सर्जित) प्रकाश पुंज को एक प्रकाशिक तंतु अपने एक छोर से दूसरे छोर तक पथनिर्देशित करता है। यह आंतर क्रोड (जिसका अपवर्तनांक n_1) है तथा परिनिधान (जिसका अपवर्तनांक $n_2 > n_1$) है के अंतरापृष्ठ पर होने वाली पूर्ण आंतरिक परावर्तन की परिघटना द्वारा संभव होता है।
- बेतार रेडियो प्रेषण में चालकों का एक निकाय, जिन्हें ऐंटीना का एरियल कहते हैं। वाहक रेडियो तरंगों को आकाश में प्रमोचित करता है और अभिग्राही स्थल पर भी उनका

संसूचन करता है। वायुमण्डल से होकर रेडियो तरंगों का संचरण तरंगों की आवृत्ति पर निर्भर करता है। लगभग 1 MHz तक की निम्न एवं मध्यम आवृत्ति रेडियो तरंगों का उपयोग भू (या पृष्ठीय) तरंग संचार में किया जाता है। 300 kHz – 3 MHz तक की उच्च-आवृत्ति तरंगे आयनमंडल द्वारा परावर्तित कर लौटा दी जाती हैं। VHF और UHF तरंगों का प्रेषण या तो ऊँचे टावरों के प्रयोग द्वारा सीधी दृष्टि रेखा द्वारा किया जाता है (आकाश तरंग या क्षोभमंडलीय संचार) अथवा कृत्रिम उपग्रहों तक उन्हें भेजकर, फिर वहां से उन्हें प्रसारित कर किया जाता है।

- सेलुलर या मोबाइल टेलीफोन व्यवस्था एक रेडियो नेटवर्क की तरह कार्य करती है जिसमें किसी महानगर को 1 से 50 km के त्रिज्य क्षेत्र में सेलों के रूप में विभाजित किया जाता है और प्रत्येक सेल को एक आधार स्टेशन के व्याप्ति क्षेत्र के अंदर लिया जाता है। एक सेलुलर फोन में एक निम्न शक्ति का प्रेषी एवं एक निम्न शक्ति का अभिग्राही होता है।

- कोई अनुरूप (एनालॉग) संकेत इसके प्रतिदर्शों, जिन्हें समान अंतरालों T_s पर लिया जाता है, द्वारा पूर्ण रूप से वर्णित होता है, यदि और केवल यदि प्रतिचयन आवृत्ति ($f_s = 1/T_s$) अनुरूप (एनालॉग) संकेत के महत्तम घटक के दोगुने के बराबर हो।

- निम्न आवृत्तियों को व्यावहारिक आकार के एरियल अथवा ऐंटिना के माध्यम से विशाल दूरियों तक संप्रेषित नहीं किया जा सकता। निम्न आवृत्ति के संदेशों को एक उच्च आवृत्ति के वाहक तरंग पर मॉडुलन नामक प्रक्रिया द्वारा अध्यारोपित किया जाता है। आयाम मॉडुलन (एएम) में, किसी उच्च आवृत्ति के वाहक तरंग के आयाम को एक निम्न आवृत्ति के सूचना संकेत की तीव्रता के अनुसार परिवर्तित किया जाता है। आवृत्ति मॉडुलन (एफ एम) में, वाहक तरंग का आयाम स्थिर रहता है, परंतु इसकी आवृत्ति सूचना संकेत के तात्क्षणिक आयाम के अनुसार परिवर्तित की जाती है अर्थात् मॉडुलित वाहक तरंग की आवृत्ति एक अल्पतम से एक महत्तम मान के मध्य परिवर्तित होती है जो मॉडुलक संकेत के अल्पतम तथा महत्तम मानों से संगतता रखते हैं।

- अंकीय स्पंद कोड मॉडुलन (पीसीएम) तकनीक में, सर्वप्रथम मॉडुलक संकेत का प्रतिचयन किया जाता है, (एक नियत संदर्भ के सापेक्ष) हर प्रतिदर्श के परिमाण को क्वांटित किया जाता है तथा इसके उपरांत एक अनुरूप धारा को मॉडुलित करके द्वि-आधारी कोड को सामान्यतया किसी लैंडलाइन से होकर संप्रेषित किया जाता है।

पाठांत प्रश्न

1. किसी संचार तंत्र के आवश्यक अवयव क्या हैं?
2. ऐंटेना क्या होता है?
3. किसी संचार तंत्र में एक अभिग्राही के महत्वपूर्ण अभिलक्षण क्या होते हैं?

टिप्पणियाँ

4. एनालौग (अनुरूप) और डिजिटल (अंकीय) संकेतों के मध्य विभेद कीजिए। 'बिट' की परिभाषा दीजिए।

5. वी एच एफ बैंड 30-300 MHz के आवृत्ति परिसर तक निस्तारित होता है। किसी विद्युत-चुंबकीय तंरग की चाल को आवृत्ति और तरंगदैर्ध्य से संबंधित करने वाले सह-संबंध का उपयोग करके निर्वात में वी एच एफ तरंगदैर्ध्य परिसर का निर्धारण कीजिए। निर्वात में प्रकाश की चाल को 3×10^8 ms^{-1} लें।

6. समझाइए कि सुदूर रेडियो प्रसारण लघुतरंग बैंडों का उपयोग क्यों करते हैं?

7. इसका औचित्य बताइए कि सुदूर टीवी प्रेषण में उपग्रहों का उपयोग क्यों करते हैं?

8. किसी प्रकाशिक तंतु का क्रोड कांच निर्मित है जिसका अपर्वनांक 1.51 तथा परिनिधान का अपर्वतनांक 1.49 है। पूर्ण आंतरिक परावर्तन के लिए क्रांतिक कोण के मान का परिकलन कीजिए।

9. पर्सनल कंप्यूटरों के तथाकथित नेटवर्क को स्थापित करने के कुछ लाभों को गिनाइए।

10. मॉडुलन से क्या अभिप्राय है? इसकी आवश्यकता समझाइए।

11. संचार तंत्र में मॉडुलन और विमॉडुलन की भूमिका समझाइए।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

30.1

1. विद्युत चुंबकीय तरंगें आकाश में 3×10^8 ms की चाल से एक-दूसरे के अभिलंबवत् गमनशील समय के साथ परिवर्ती वैद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों का क्रम हैं।

2. $\lambda = \dfrac{C}{\nu} = \dfrac{3 \times 10^8\, ms^{-1}}{30 \times 10^6\, s^{-1}} = 10$ m

3. (क) दृश्य प्रकाश का आवृत्ति परिसर 10^{14} Hz से 10^{15} Hz है

   (ख) रेडियो तरंगों का आवृत्ति परिसर 30 kHz से 300 kHz है।

30.2

1. समाक्ष केवल दो बिंदुओं को जोड़ने वाला एक ऐसा चालक युग्म है, जिसमें एक चालक एक खोखले बेलन के रूप में होता है और दूसरा ठोस चालक पहले चालक की अक्ष पर रखा होता है और ये दोनों चालक एक विद्युतरोधी द्वारा पृथक्कृत होते हैं। यह निदर्शक चैनल 30 GHz से 40 GHz आवृत्ति परिसर में प्रयुक्त होता है।

2. प्रकाशिक तंतु में प्रयुक्त होने वाला सिद्धांत प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परिवर्तन है, जिसके कारण प्रकाश किरण बिना किसी ऊर्जा क्षय के प्रकाश तंतु के अनुदिश गमन कर सकती है।

30.3

1. व्योम तरंग संचार प्राय: रात के समय बेहतर होता है, क्योंकि सूर्य की अनुपस्थिति में आयन मंडल की संरचना नियत बनी रहती है, जिससे यह बेहतर परावर्तक की भांति व्यवहार करता है।
2. (a) (iv) (b) (iii)

30.4

1. (a) (iii), (b) (iii)
2. संप्रेषी ऐन्टेना का न्यूनतम साइज संप्रेष्य सिग्नल के तरंगदैर्ध्य के साथ तुलनीय होना चाहिए। अधिकतम शक्ति संप्रेषण के लिए ऐन्टेना का साइज कम-से-कम होना चाहिए।

पाठांत प्रश्नों की आंकिक समस्याओं के उत्तर

5. 10 m- 1 m
8. $\sin^{-1} n_2/n_1 = 80.66°$

उच्चतर माध्यमिक पाठ्यक्रम
भौतिकी
विद्यार्थी मूल्यांकंन पत्र-8

अधिकतम अंक : 50 **समय : $1\frac{1}{2}$ घंटा**

निर्देश

- सभी प्रश्नों के उत्तर कागज की पृथक शीट पर दीजिए।
- अपनी उत्तर पुस्तिका पर निम्नलिखित सूचनाएं दीजिए
  - नाम
  - पंजीयन संख्या
  - विषय
  - मूल्यांकन पत्र संख्या
  - पता
- अपने मूल्यांकन पत्र का मूल्यांकन अपने अध्ययन केन्द्र के विषयाध्यापक से करायें ताकि आपको उनसे अपने कार्य के संबंध में धनात्मक प्रतिक्रिया प्राप्त हो सके।

अपना मूल्यांकन पत्र NIOS को न भेजें

1. n-प्रकार के अर्द्ध-चालकों में अधिसंख्यक आवेश वाहकों के नाम लिखिए। 1
2. n-p-n ट्रांजिस्टर का संकेत चिह्न बनाइए। 1
3. अर्द्धचालकों के संदर्भ में मापन (डॉपिंग) शब्द का अर्थ लिखिए। 1
4. किसी p-*n* संधि के आस-पास अपचय (depletion) क्षेत्र की चौड़ाई पर अग्र-बायसन का क्या प्रभाव होता है? 1
5. किसी ट्रांजिस्टर में आप संग्राहक और उत्सर्जक की पहचान किस प्रकार करते हैं? 1
6. NOR गेट का तर्क चिह्न बनाइए। 1
7. सिलिकन एवं जर्मेनियम में कमरे के ताप पर किसका मुक्त आवेश वाहक घनत्व अधिक है। क्यों? 1
8. उभयनिष्ठ आधार विन्यास में धारा-लब्धि 1 से कम होती है फिर भी वोल्टता लब्धि हो सकती है। कैसे? 1
9. LED और सौर सेल में भेद कीजिए। प्रत्येक का चित्र बनाइए। 2
10. एक *pn* संधि डायोड के लिए (*i*) अग्र बायस (*ii*) पश्च बायस में अभिलाक्षणिक वक्र खींचिए। 2
11. किसी अर्द्धतरंग दिष्टकारी में निवेशी आवृत्ति 50 Hz है। इसके निर्गम की आवृत्ति क्या है? इतनी ही निवेशी आवृत्ति के लिए पूर्णतरंग दिष्टकारी की निर्गम आवृत्ति कितनी होती है? 2

12. दो प्रवर्धकों को एक के बाद एक श्रेणीक्रम में जोड़ा गया है। पहले प्रवर्धक की वोल्टता लब्धि 10 है और दूसरे प्रवर्धक की वोल्टता लब्धि 20 है। यदि निवेशी सिग्नल 0.01V है तो निर्गत ac सिग्नल का परिमाण क्या है? 2

13. *p-n* संधि-डायोडों की सहायता से आप AND गेट कैसे प्राप्त करेंगे? परिपथ आरेख बनाकर इसकी सत्यता सारणी को समझाइए। 4

14. किसी उभयनिष्ठ उत्सर्जक प्रवर्धक के लिए, 5 kΩ संग्राहक प्रतिरोध के सिरों के बीच श्रव्य सिग्नल वोल्टता 5V है। यदि ट्रांजिस्टर का धारा प्रवर्धक गुणांक 100 मान लिया जाय और आधार पर प्रतिरोध 1 kΩ निवेशी सिग्नल वोल्टता तथा आधार धारा ज्ञात कीजिए। 4

15. उभयनिष्ठ आधार विन्यास तथा उभयनिष्ठ उत्सर्जन विन्यास में धारालब्धि की परिभाषा कीजिए। इन दोनों में संबंध स्थापित कीजिए। 4

16. उपयुक्त आरेखों की सहायता से समझाइए कि 4

(*a*) कोई संधारित्र प्रत्यावर्ती *dc* को सुस्थिर *dc* में कैसे परिवर्तित करता है?

(*b*) अधिभार में परिवर्तन होने पर जेनर डायोड *dc* निर्गत वोल्टता को कैसे स्थायी करता है?

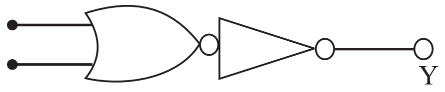
17. समझाइए : 4

(*i*) किसी ट्रांजिस्टर को प्रवर्धक के रूप में उपयोग करने के लिए बायसित क्यों करना होता है?

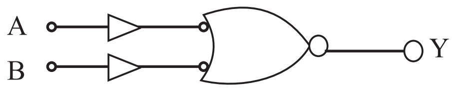
(*ii*) किसी ट्रांजिस्टर की उपयुक्त कार्यप्रणाली के लिए निवेशी सिग्नल के आयाम का परिवर्तन परास कैसे निर्धारित किया जाता है?

(*iii*) अधिभार प्रतिरोध बढ़ाकर किसी प्रवर्धक की वोल्टता लब्धि में एक सीमा से अधिक वृद्धि क्यों नहीं की जा सकती?

18. नीचे दिए गए परिपथों में संसूचित तर्क गेटों को पहचानिए :

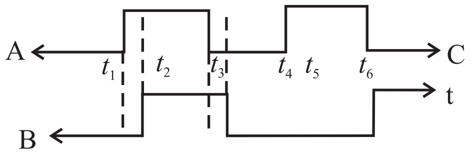


(a)



(b)

नीचे दिए गए निवेशी सिग्नलों A एवं B के संगत प्रत्येक गेट का निर्गत तरंग रूप बनाइए।



19. एक परिपथ आरेख की सहायता से समझाइए कि किसी ट्रांजिस्टर का उपयोग प्रवर्धक के रूप में कैसे किया जा सकता है? 5

20. किसी ट्रांजिस्टर के अभिलक्षणों का अध्ययन करने के लिए परिपथ आरेख बनाइए। इसके निवेशी और निर्गत अभिलक्षण बनाइए और इससे प्राप्त धारालब्धि की व्याख्या कीजिए। 5

प्रश्न पत्र प्रारूप

विषय: **भौतिकी** कक्षा: **उच्चतर माध्यमिक**

पूर्णांक: **80** समयावधि: **03** घंटे

1. विकल्प वार अंक विवरण

उद्देश्य	अंक	कुल अंकों का प्रतिशत
ज्ञानात्मक	20	25
बोधात्मक	40	50
प्रयोगात्मक एवं कौशल	20	25
कुल	**80**	**100**

2. प्रश्नवार अंक विवरण

प्रश्नों का प्रकार	अंक × प्रश्नों की संख्या	निर्धारित अंक
निबन्ध	6 × 4	24
लघु उत्तरीय I (SAI)	4 × 7	28
लघु उत्तरीय II (SAII)	2 × 9	18
बहु विकल्पीय (MCQ)	1 × 10	10
कुल	**30 प्रश्न**	**80 अंक**

3. सामग्री के अनुसार अंक विवरण

क्र.सं.	मॉड्यूल	अंक
1	गति, बल एवं ऊर्जा	14
2	ठोसों एवं तरलों की यांत्रिकी	06
3	ऊष्मीय भौतिकी	06
4	दोलन एवं तरंगे	06
5	विद्युत एवं चुम्बकत्व	16
6	प्रकाशिकी एवं प्रकाशिक यन्त्र	14
7	परमाणु एवं नाभिक	08
8	अर्द्धचालक युक्तियाँ एवं संचार	10
	कुल अंक	**80**

4. कठिनाई स्तर

	सरल	औसत	कठिन	कुल
प्रतिशत विवरण	25 %	50 %	25 %	100 %
अंक आबंटित	20	40	20	
प्रश्नों की संख्या	08	15	07	

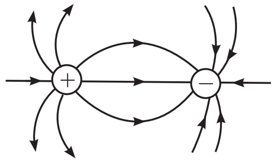
नोट : प्रयोगात्मक प्रश्नों में कुछ आंतरिक विकल्प दिये गये है।

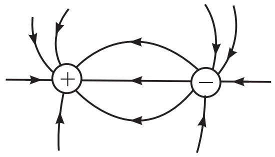
5. समय प्रबंधन

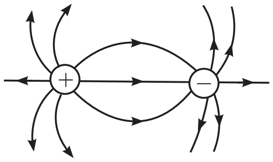
प्रश्नों का प्रकार	कुल निर्धारित समय 180 मिनट
निबन्ध	60
लघु उत्तरीय I (SAI)	50
लघु उत्तरीय II (SAII)	35
बहु विकल्पीय (MCQ)	15
पाठन एवं पुनरीक्षण	20

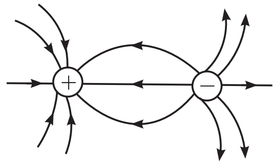
प्रतिदर्श प्रश्न पत्र

1. निम्नलिखित में से कौन-सा आरेख दो बराबर और विपरीत आवेशों के बीच वैद्युत-क्षेत्र का सर्वोत्तम निरूपण है?

A. 

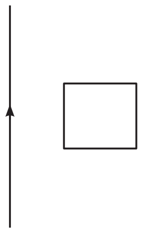
B. 

C. 

D. 

1

2. तार का एक आयाताकार धारावाही लूप एक लंबे, धारावाही ऋजुरेखीय चालक के निकट, चित्र में दिखाए अनुसार, इस प्रकार रखा गया है कि इसकी एक भुजा चालक के समांतर रहे। यह लूप:



A. चालक की ओर आकर्षित किया जाएगा, चाहे लूप में धारा की दिशा कोई भी क्यों न हो।

B. चालक के द्वारा प्रतिकर्षित किया जाएगा, चाहे लूप में धारा की दिशा कोई भी क्यों न हो।

C. चालक की ओर आकर्षित किया जाएगा, जब लूप में धारा वामावर्त दिशा में प्रवाहित होती है।

D. चालक के द्वारा प्रतिकर्षित किया जाएगा, जब लूप में धारा वामावर्त दिशा में प्रवाहित होती है।

1

3. हाइड्रोजन परमाणु में $n = 1$ से $n = 2$ कक्षा में इलेक्ट्रॉन संक्रमण के लिए आवश्यक ऊर्जा का मान है:

A. 10.2 eV B. 13.6 eV

C. 12.09 eV D. 1.51 eV 1

4. किसी प्रकाश नलिका में जब कैथॉड 50 से.मी. दूर रखे एक लघु प्रकाश-स्रोत से दीप्त होता है तो कैथॉड से 3.0×10^4 इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं। यदि स्रोत को 100 से.मी. की दूरी पर ले जाया जाए तो फोटो कैथॉड द्वारा उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की संख्या होगी:

A. 3.0×10^4 B. 7.5×10^3

C. 1.5×10^4 D. 6.0×10^4 1

5. एक अग्र बायसित p-n संधि डायोड में :

A. आवेश वाहक कोई गति नहीं करते हैं।

B. केवल p-क्षेत्र से होल n-क्षेत्र की ओर गति करते हैं।

C. केवल अल्पसंख्यक आवेश वाहक ही तापीय ऊर्जा के कारण गति करते हैं।

D. बहुसंख्यक आवेश वाहक दोनों ओर से संधि की ओर विसरित होते हैं। 1

6. n-प्रकार का बाह्य अर्द्धचालक पदार्थ:

A. ऋण आवेश युक्त होता है।

B. धन आवेश युक्त होता है।

C. वैद्युतीय दृष्टि से उदासीन होता है।

D. मिश्रित अपद्रव्य के अनुसार ऋणात्मक या धनात्मक होता है। 1

7. किसी CE विन्यसित प्रवर्धक के लिए V_i का मान 10mv तथा V_o का मान एक वोल्ट है। इस प्रवर्धक की वोल्टता लब्धि होगी:

A. 50 B. 20

C. 100 D. 10 1

8. किसी n-प्रकार के अर्द्धचालक में:

A. इलेक्ट्रॉन बहुसंख्यक आवेश वाहक हैं और अपद्रव्य त्रिसंयोजी परमाणु हैं।

B. इलेक्ट्रॉन अल्पसंख्यक आवेश वाहक हैं और अपद्रव्य पंचसंयोजी परमाणु हैं।

C. होल अल्पसंख्यक आवेश वाहक हैं और अपद्रव्य पंचसंयोजी परमाणु हैं।

D. होल बहुसंख्यक आवेश वाहक हैं और अपद्रव्य त्रिसंयोजी परमाणु है। 1

9. द्वितीयक इंद्रधनुष तब बनता है, जब प्रकाश की एक किरण की वर्षा की एक बूंद में:

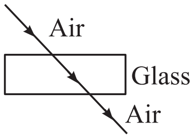
A. एक अपर्वतन और एक आंतरिक परावर्तन होता है।

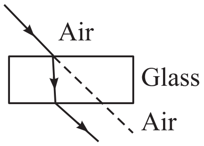
B. दो अपवर्तन और दो आंतरिक परावर्तन होता है।

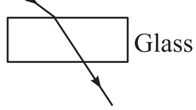
C. दो अपवर्तन और एक आंतरिक परावर्तन होता है।

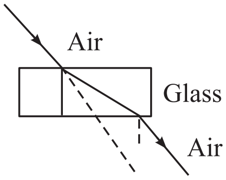
D. एक अपवर्तन और दो आंतरिक परावर्तन होते हैं। 1

10. निम्नलिखित में कौन-सा आरेख कांच के गुटके से प्रकाश को एक किरण का सही गमन-पथ दर्शाता है?

A. 

B. 

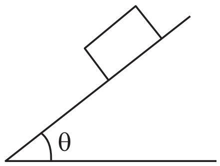
C. 

D. 

1

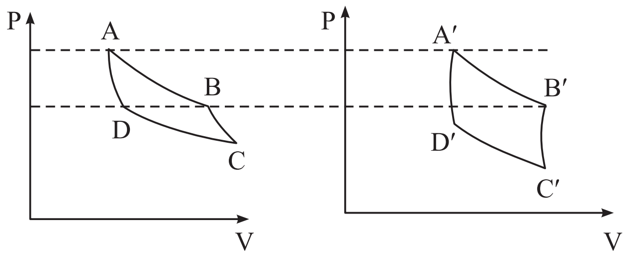
11. गति का दूसरा नियम लिखिए। दर्शाईए कि नियत द्रव्यमान के लिए किसी पिंड का त्वरण इस पर लगाए गए बल के अनुक्रमानुपाती होता है। 2

12. m द्रव्यमान का एक पिंड, θ कोण पर झुके एक नत तल पर रखा है। इस पिंड पर लगने वाले बल पर एक आरेख बनाकर दर्शाइए और यदि पिंड नत-तल पर स्थिर रखा रहता है तो इस पर लगने वाले घर्षण बल के लिए व्यंजक लिखिए। 2



13. r त्रिज्या का एक गोला, v वेग से, η श्यानता के एक तरल में गतिमान है, इस पर लगने वाले श्यान-बल के लिए स्टॉक का नियम लिखिए। श्यानता गुणांक का मात्रक kg, m एवं s के पदों में प्राप्त कीजिए। 2

14. नीचे दिया गया चित्र दो कार्नो इंजनों के p-v आरेख दर्शाता है। इन दो इंजनों में से कौन-सा इंजन अधिक दक्ष है (दिया है कि दोनों इंजन स्रोत से बराबर ऊष्मा ग्रहण करते हैं)। 2



15. किसी तारे से आने वाले प्रकाश में एक स्पेक्ट्रमी के लाल सिरे की ओर विस्थापित पाई जाती है। यदि उसमें यह रेड-शिफ्ट 0.03% हो तो तारे के अपगमन वेग का परिकलन कीजिए। 2

16. आप किसी गैल्वेनोमीटर को (i) ऐमीटर (ii) वोल्टतामापी में कैसे बदलेंगे? 2

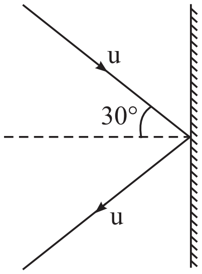
17. कांच के प्रिज्म से होकर प्रकाश का अपवर्तन दर्शाने के लिए एक किरण आरेख बनाइए। आरेख पर विचलन कोण एवं निर्गमन कोण अंकित कीजिए। 2

18. $^{236}_{92}U$ नाभिक के विखंडन में 200 MeV ऊर्जा मुक्त होती है, जबकि 4 प्रोटोनों के संलयन में 26.8 Mev ऊर्जा मुक्त होती है। इन प्रक्रमों में से किसमें प्रति इकाई परमाणु द्रव्यमान अधिक ऊर्जा विमुक्त होती है, समझाकर लिखिए। 2

19. 100 फेरों की एक वृत्ताकार कुंडली (अनुप्रस्थकाट का क्षेत्रफल $= 3.85 \times 10^{-3}\ m^2$) की अक्ष एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के समांतर है। क्षेत्र का परिमाण 25 mT से 50 mT तक 250 ms में एक समान दर से परिवर्तित किया जाता है। कुंडली के सिरों के बीच प्रेरित emf का परिमाण परिकलित कीजिए। 2

20. व्याख्या कीजिए: (i) समतापी, (ii) रुद्धोष्म (iii) समदाबी (iv) समआयातनिक प्रक्रम 4

21. 50 ग्राम द्रव्यमान की एक गेंद एक दृढ़ भित्ति से 30° कोण बनाती हुई $10\ m\ s^{-1}$ की चाल से टकराती है और चित्र में दिखाए अनुसार, बिना चाल में किसी परिवर्तन के परावर्तित हो जाती है। भित्ति द्वारा गेंद को प्रदान किए गए आवेग का परिमाण और दिशा ज्ञात कीजिए। 4



22. व्याख्या कीजिए कि द्रव की एक छोटी बूंद सदैव गोलाकार क्यों होती है? किसी गोलाकार द्रव-बूंद के अंदर और बाहर दाबांतर के लिए एक व्यंजक प्राप्त कीजिए। 4

23. किसी डोरी पर गतिमान एक अनुप्रस्थ आवर्ती तरंग का समीकरण नीचे दिया गया है:

$$y(x,t) = 3.0 \sin\ (36t + 0.018x + \pi/4)$$

यहां x और y cm में तथा t सेकंड में है। x की धन दिशा बाएं से दाहिनी ओर है।

A. तरंग गति की चाल और गमन दिशा क्या है?

B. इसका आयाम एवं आरंभिक कला क्या है?

C. इसके दो क्रमागत शीर्षों के बीच की न्यूनतम दूरी क्या है? 4

24. किसी परिपथ में प्रेरित्र (L), संधारित्र (C) एवं प्रतिरोधक (R) के साथ श्रेणी-क्रम में एक प्रत्यावर्ती वोल्टता $E = E_o \sin wt$ लगाई गई है। (i) परिपथ की प्रतिबाधा तथा (ii) वोल्टता एवं धारा के बीच कला-कोण के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए। 4

25. कोणीय विक्षेपण एवं विक्षेपण क्षमता में भेद कीजिए। कोण A = 60°, के एक प्रिज्म के लिए न्यूनतम विचलन कोण भी (A) है। इसके अपवर्तनांक का परिकलन कीजिए। 4

26. द्रव्यमान क्षति से क्या अभिप्राय है? $^{14}_{7}N$ परमाणु के नाभिक का द्रव्यमान 14.00307 u है। द्रव्यमान क्षति और बंधन ऊर्जा प्रति न्यूक्लिऑन का परिकलन कीजिए। 1 mp = 1.00727 u, mn = 1.00865 u तथा 1u = 931 meV. लीजिए। 4

अथवा

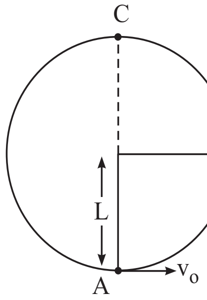
एक इलेक्ट्रॉन, एक प्रोटॉन तथा एक अल्फा कण की गतिज ऊर्जा समान है। इनमें से किस कण का डी-ब्रॉग्ली तरंग दैर्ध्य न्यूनतम है और किसका अधिकतम।

27. प्रतिरोध को परिभाषित कीजिए। उन घटकों का उल्लेख कीजिए, जिन पर किसी चालक का प्रतिरोध निर्भर करता है। प्रतिरोधों को (i) श्रेणी क्रम, (ii) समांतर क्रम में कैसे जोड़ा जाता है? इन दो संयोजन व्यवस्थाओं में जुड़े दो भिन्न प्रतिरोधों के तुल्य प्रतिरोधों के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए। 6

28. दिष्टकरण से क्या अभिप्राय है। दिष्टकारी का कार्य सिद्धांत लिखिए। एक परिपथ आरेख की सहायता से अर्द्ध तरंग दिष्टकारी की कार्य प्रणाली समझाइए। अर्द्ध तरंग दिष्टकारी के निवेश और निर्गम तरंग रूप बनाइए। 6

29. प्रकाश के व्यतिकरण से क्या तात्पर्य है? पर्दे पर व्यतिकरण पैटर्न प्राप्त करने के लिए यंग के द्विझिर्री प्रयोग का वर्णन कीजिए। दर्शाइए कि यंग के प्रयोग में परिणामी तरंग की तीव्रता आपतित तरंग के आयाम के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होती है। संपोषी एवं विनाशी व्यतिकरण के लिए शर्तों का वर्णन कीजिए। 6

30. m द्रव्यमान के एक गोलक को L लंबाई के एक धागे से बांधकर ऊर्ध्वाधर वृत्त में चित्रानुसार इस प्रकार घुमाया जाता है कि बिंदु C पर धागे में शून्य तनाव होता है। बिंदु B एवं C पर गतिज ऊर्जाओं का अनुपात ज्ञात कीजिए। 6



अथवा

20 कि.ग्रा. द्रव्यमान का एक पिंड प्रारंभ में 5 m s^{-1} की चाल से गति कर रहा है। इस पर 40 N का एक बल 3s के लिए लगाया जाता है।

(i) 3 सेकंड के बाद पिंड की अंतिम चाल ज्ञात कीजिए।

(ii) इस दौरान कितनी दूरी चली गई है?

(iii) इस काल में कितना कार्य किया गया है?

(iv) पिंड की प्रारंभिक गतिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए?

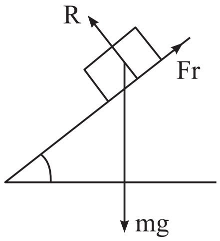
(v) पिंड की अंतिम गतिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए?

(vi) दर्शाइए कि किया गया कार्य पिंड की गतिज ऊर्जा परिवर्तन के बराबर है।

अंक योजना

1. A
2. D
3. A
4. B
5. D
6. C
7. C
8. C
9. B
10. B
11. नियम का कथन (मॉड्यूल-1, पृ. 65) 1

    नियम के अनुसार दिशा (मॉड्यूल-1, पृ. 65) 1

12. 

1

    $F_r = mg\ \sin\theta$

    or $F_r \leq \mu\ mg \cos\theta$ 1

13. स्टॉक के नियम के अनुसार 1

    $F = 6\pi\eta rv$

    $$\eta = \frac{F}{6\pi rv} = \frac{kg\ m\ s^{-2}}{m \cdot m\ s^{-1}} = kg\ m^{-1} s^{-1}$$ 1

14. इन्जन (ii) अधिक दक्ष है $\frac{1}{2}$

    $\because\ \eta = \frac{W}{Q}$ $\frac{1}{2}$

Q दोनों के लिए समान है $\frac{1}{2}$

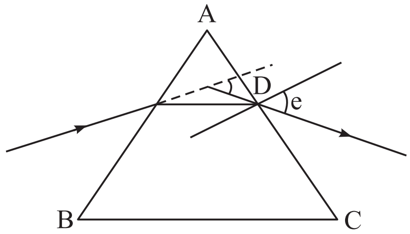
तथा w = p-v आरेख में आबद्ध क्षेत्र जो कि प्रकरण-2 में अधिक है। $\frac{1}{2}$

15. $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$ 1

$v = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3\times10^8 \times \frac{0.03}{100} = 9\times10^4 \text{ m s}^{-1}$ 1

16. (a) गैल्वेनोमीटर की कुंडली के पार्श्वक्रम में उपयुक्त परिमाण का निम्न प्रतिरोध जोड़ कर। 1

(b) गैल्वेनोमीटर की कुंडली के श्रेणी क्रम में उपयुक्त परिमाण का उच्च प्रतिरोध जोड़कर। 1

17. 

1+1

18. संलयन में प्रति इकाई amu द्रव्यमान से विमुक्त ऊर्जा अधिक होती है 1

विखंडन में यह 1 MeV/amu से कम होती है $\frac{1}{2}$

संलयन में यह 6.7 MeV/amu से अधिक होती है $\frac{1}{2}$

19. N = 100, A = 3.85×10^{-3} m^2, B = (50 − 25) = 25 mT

$|e| = NA\left(\frac{B_2 - B_1}{t}\right)$ 1

$= 100\times3.85\times10^{-3}\times\frac{20\times10^{-1}}{250\times10^{-3}}$ $\frac{1}{2}$

= 3.85×10^{-2} V

= 38.5 mV $\frac{1}{2}$

20. प्रसार

(i) समतापीय प्रक्रम (पृ. 302) 1

(ii) रूद्धोष्म प्रक्रम (पृ. 302) 1

(iii) समदाबी प्रक्रम (पृ. 303) 1

(iv) समआयतनी प्रक्रम (पृ. 303) 1

21. $p_i = 0.05 \times 10 = 0.5 \text{ kg m s}^{-1} = p_f$

$p_i^x = 0.5\cos 30°$, $p_i^y = 0.5\sin 30°$ 1

$p_f^x = 0.5\cos 30°$, $p_f^y = 0.5\sin 30°$

आवेग = $p_f - p_i = \left(p_x^x i + p_f^y j\right) - \left(p_i^x + p_i^y j\right)$ 1

$= \left(p_f^x - p_i^x\right) i$

$= -\ 0.866 \text{ kg m s}^{-1}$ 1

आवेग = $0.866 \text{ kg m s}^{-1}$ $\frac{1}{2}$

22. व्याख्या 1

व्युत्पत्ति 3

23. (a) $v = \frac{w}{k} = \frac{36}{0.018} = 2000 \text{ cm s}^{-1} = 20 \text{ m s}^{-1}$ 1

तरंग ऋण x- दिशा में गतिमान है। 1

(b) $a = 3.0$ cm ϕ_o = TA $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$

(c) दो क्रमागत शीर्षों के बीच की न्यूनतम दूरी $\frac{1}{2}$

$\lambda = \frac{2\pi}{0.018} = 3.5 \text{ m}$ $\frac{1}{2}$

24. संयोजन आरेख $\frac{1}{2}$

फेजर आरेख $\frac{1}{2}$

z के व्यञ्जक की व्युत्पत्ति 2

tan θ के व्यञ्जक की व्युत्पत्ति 1

25. किन्हीं दो तरंगदैर्ध्य (रंगों) के लिए विचलन कोणों के बीच अन्तर उन तरंगदैर्ध्यों के लिए कोणीय विक्षेपण कहलाता है। 1

कोणीय विक्षेपण और माध्य विचलन का अनुपात प्रिज्म के पदार्थ की विक्षेपण क्षमता (w) कहलाती है। $\frac{1}{2}$

$$w = \frac{s_v - \delta_r}{s_y}$$ $\frac{1}{2}$

$$= \frac{\sin\left(\frac{A+\sin}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$ 1

$$= \frac{\sin 60°}{\sin 30°}$$ $\frac{1}{2}$

$$= \sqrt{3}$$ $\frac{1}{2}$

26. किसी तत्त्व के परमाणु के नाभिक का द्रव्यमान इसके अवयवी न्यूक्लिऑनों के द्रव्यमानों के योग से सदैव कम होता है। न्यूक्लिऑनों के द्रव्यमानों के योग तथा नाभिक के द्रव्यमान का अन्तर द्रव्यमान क्षति कहलाता है 1

$$\Delta m = 7mp + 7mn - m\left({}^{14}_{7}N\right)$$ $\frac{1}{2}$

= 7 × 1.00727 + 7 × 1.00865 – 14.00307

= 7.05089 + 7.06055 – 14,00307

= 14.11144 – 14.00307

= 0.10837 u 1

BE = Δm × 931 $\frac{1}{2}$

= 100.89247 Mev $\frac{1}{2}$

$$BE/amu = \frac{\Delta m \times 931}{A}$$

$$= \frac{100.89247}{14} = 7.206 \text{ MeV}$$ $\frac{1}{2}$

अथवा

26. $\lambda = \frac{h}{P}$ $\frac{1}{2}$

$$K.E.,\ E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{m^2v^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$ $\frac{1}{2}$

$\Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$ $\frac{1}{2}$

$\Rightarrow \quad \lambda \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ $\frac{1}{2}$

दिए हुए 3 कणों में α-कण अधिकतम भारी और इलेक्ट्रॉन अधिकतम हल्की होगा। 1

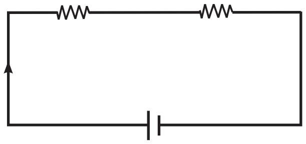
$\therefore$ λe अधिकतम एवं $\lambda\alpha$ न्यूनतम होगा। $\frac{1}{2}+\frac{1}{2}$

27. किसी चालक का प्रतिरोध उसके सिरों के बीच लगाए गए विभवांतर और इसमें प्रवाहित होने वाली धारा का अनुपात होता है।

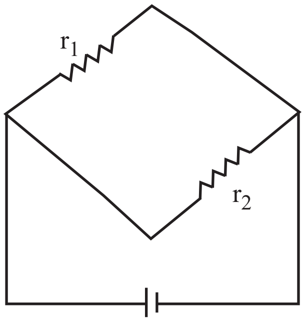
अर्थात $\quad R = \frac{V}{I}$ $\frac{1}{2}$

किसी चालक का प्रतिरोध, उस चालक के पदार्थ की प्रकृति लम्बाई, अनुप्रस्थकाट के क्षेत्रफल तथा ताप पर निर्भर करता है 1

(i) सिरे से सिरा जोड़कर इस प्रकार परिपथ में लगाए गए प्रतिरोध कि उनमें से प्रत्येक में समान धारा प्रवाहित हो $\frac{1}{2}$



(ii) परिपथ में इस प्रकार जुड़े प्रतिरोधक कि उनका एक सिरा बैटरी के धन टर्मिनल से और दूसरा सिरा ऋण टर्मिनल से जुड़ा हो ताकि सभी प्रतिरोधकों के सिरों के बीच समान विभवान्तर रहे। 1



श्रेणीक्रम में

$$V = V_1 + V_2$$
$$= Ir_1 + Ir_2$$

$$= I\ (r_1 + r_2)$$

$$\frac{V}{I} = R = r_1 + r_2 \qquad 1$$

पार्श्वक्रम संयोजन में; $I = I_1 + I_2$

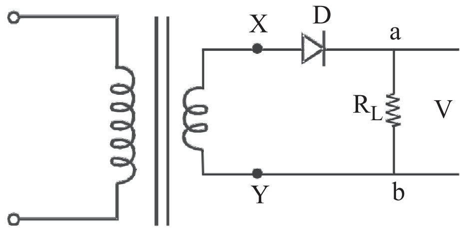
$$= \frac{V}{r_1} + \frac{V}{r_2} = V\left(\frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2}\right) \qquad 2$$

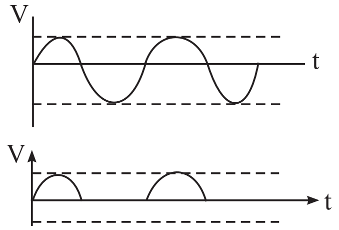
$$R = \frac{V}{I} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

28. ac को dc में रूपांतरित करने का प्रक्रम दिष्टकरण कहलाता है। 1

एक p-n संधि डायोड जब अग्रबायासित होता है तो धारा चालित करता है और जब पश्चबायासित होता है तो धारा चालित नहीं करता 1

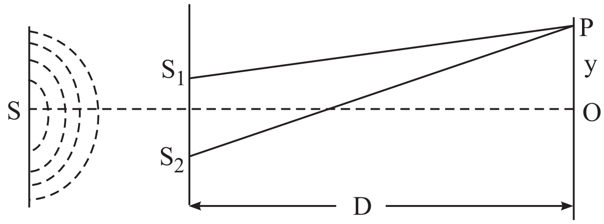
दर्शाए गए निवेशी तरंग रूप के लिए प्रथम अर्ध चक्र $(0-T/2)$ में डायोड अग्रबायसित होता है और R_C से होकर a से b की ओर धारा प्रवाहित होती है। अगले अर्धचक्र (T/2 – T) में D पश्चबायासित होता है अत: R_C से होकर धारा प्रवाहित नहीं होती। $(T-3T/2)$ के दौरान फिर से R_C से होकर a से b दिशा में धारा प्रवाहित होती है।





2 + 2

29. दो सहसंबद्ध स्रोतों से उत्सर्जित प्रकाश तरंगों के अध्यारोपण के कारण ऊर्जा के पुनवितरण का प्रक्रम 1



अंक योजना

यंग के द्विझिरी प्रयोग की व्यवस्था का वर्णन

व्युत्पत्ति: $A = 2a\cos\left(\frac{\delta}{2}\right)$ $1\frac{1}{2}$

$I \propto A^2$

$\propto 4A^2\cos^2\left(\frac{\delta}{2}\right)$ $\frac{1}{2}$

संरक्षी व्यतिकरण

$I_{max} = 4a^2$

जब $\cos^2\delta/2 = 1$

$\cos\delta/2 = 1$

$\delta = 0, 2\pi, 4\pi \ldots 2n\pi$ $\frac{1}{2}$

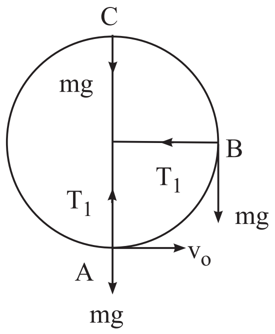
विनाशी व्यतिकरण

$I_{min} = 0$

when $\cos^2\delta/2 = 0$

$\delta = \pi, 3\pi, 5\pi \ldots (2n+1)\pi$ $\frac{1}{2}$

30. $T - mg = \frac{mv_o^2}{L}$ $\frac{1}{2}$



$0 - mg = \frac{mv_c^2}{L} \Rightarrow v_c = \sqrt{gL}$ 1

$T_1 - 0 = \frac{mv_B^2}{L}$ $\frac{1}{2}$

$\frac{1}{2}mv_o^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = mgL$ 1

$\Rightarrow \quad v_B^2 = 3gL$ $\frac{1}{2}$

$\frac{k\varepsilon \text{ at B}}{k\varepsilon \text{ at c}} = \frac{\frac{1}{2}mv_B^2}{\frac{1}{2}mv_c^2} = \frac{v_B^2}{v_c^2} = \frac{3gL}{gL} = \frac{3}{1}$ $1\frac{1}{2}$

$= 3 : 1$

अथवा

(i) $a = \frac{F}{m} = \frac{40}{20} = 2ms^{-2}$ $\frac{1}{2}$

$v = u + at$

$= 5 + 2 \times 3 = 11 \ ms^{-1}$ $\frac{1}{2}$

(ii) $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

$= 5\times3+\frac{1}{\not{2}}\times\not{2}\times(3)^2$

$= 15 + 9 = 24$ 1

(iii) $W = FS$

$= 40 \times 24$

$= 960$ J 1

(iv) प्रारंभिक गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}mu^2$

$=\frac{1}{\not{2}}\times \overset{10}{\not{20}}\times(5)^2$

$= 250$ J 1

(v) अंतिम गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}mv^2$

$=\frac{1}{\not{2}}\times \overset{10}{\not{20}}\times(11)^2$

$=1210$ J 1

(vi) गतिज ऊर्जा में परिवर्तन = 1210 – 250 = 960 J

किया गया कार्य = 960 J

अतः किया गया कार्य = पिंड की गतिज ऊर्जा में परिवर्तन 1

पाठों के विषय में प्रतिपुष्टि (Feed back on Lessons)

पाठ संख्या	पाठ का नाम	विषय वस्तु			भाषा		उदाहरण		आपने क्या सीखा	
		कठिन	रोचक	भ्रामक	सरल	जटिल	उपयोगी	उपयोगी नहीं	अत्यंत सहायक	सहायक नहीं
15.										
16.										
17.										
18.										
19.										
20.										
21.										
22.										
23.										
24.										
25.										
26.										
27.										
28.										
29.										
30.										

अन्तिम मोड़

चौथा मोड़

तीसरा मोड़

प्रतिपुष्टि प्रपत्र को आज ही भरें तथा डाक से भेजें

प्रिय शिक्षार्थियो

अपनी पाठ्य पुस्तकों को पढ़कर आपको अच्छा लगा होगा। पाठ्य सामग्री को प्रासंगिक तथा रूचिकर बनाने के लिये हमने भरसक प्रयास किया है। विषय सामग्री को बनाना एक दो तरु प्रक्रिया है। आपकी प्रतिपुष्टि विषय सामग्री को सुधारने में हमारी सहायता करेगी। अपने समय में से कुछ मिनट अवश्य निकाले तथा प्रतिपुष्टि प्रपत्र को भरे ताकि एक रूचिकर तथा उपयोगी विषय सामग्री का निर्माण किया जा सके।

धन्यवाद

समन्वयकर्ता

(भौतिकी)

प्रश्नों के विषय में प्रतिपुष्टि (Feed back on Questions)

पाठ संख्या	पाठ का नाम	पाठगत प्रश्न		पाठान्त प्रश्न		
		उपयोगी	उपयोगी नहीं	सरल	कठिन	अत्यंत कठिन
15.						
16.						
17.						
18.						
19.						
20.						
21.						
22.						
23.						
24.						
25.						
26.						
27.						
28.						
29.						
30.						

दूसरा मोड़

आपके सुझाव

____

____

____

____

क्या आपने भौतिकी के अधययन के लिये कोई अन्य पुस्तक पढ़ी है? हाँ/नहीं

यदि हाँ तो उसे पढ़ने का कारण दें।

____

____

नाम : ____________________

नामांकन संख्या : ______________

पता : ____________________

____

विषय : __________________

पुस्तक संख्या : ______________

डाक टिकट

सहायक निदेशक (शैक्षिक)
राष्ट्रीय मुक्त विद्यालयी शिक्षा संस्थान
ए - 24-25, इंस्टीट्यूशनल एरिया
सेक्टर - 62 नोएडा (यू.पी.)

किसी अनुलग्नक की अनुमति नहीं