भौतिकी

कक्षा 12 के लिए पाठ्यपुस्तक



भाग 2

भौतिकी भाग 2

कक्षा 12

एन.सी.ई.आर.टी.

भौतिकी

भाग 1

कक्षा 12 के लिए पाठ्यपुस्तक

© NCERT not to be republished

प्रथम संस्करण
अप्रैल 2007 चैत्र 1929

पुनर्मुद्रण
नवंबर 2007 कार्तिक 1929
फरवरी 2009 फाल्गुन 1930
जनवरी 2010 माघ 1931
जनवरी 2011 माघ 1932
जनवरी 2012 माघ 1933
दिसंबर 2012 अग्रहायण 1934
दिसंबर 2013 अग्रहायण 1935

PD 8T RPS

© राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्, 2007

₹ 00.00

एन.सी.ई.आर.टी. वाटरमार्क 80 जी.एस.एम. पेपर पर मुद्रित।

प्रकाशन प्रभाग में सचिव, राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्, श्री अरविंद मार्ग, नयी दिल्ली 110 016 द्वारा प्रकाशित तथा द्वारा मुद्रित।

ISBN 81-7450-725-6

सर्वाधिकार सुरक्षित

- प्रकाशक की पूर्व अनुमति के बिना इस प्रकाशन के किसी भाग को छापना तथा इलेक्ट्रॉनिकी, मशीनी,फोटोप्रतिलिपि, रिकॉर्डिंग अथवा किसी अन्य विधि से पुनः प्रयोग पद्धति द्वारा उसका संग्रहण अथवा प्रसारण वर्जित है।
- इस पुस्तक की बिक्री इस शर्त के साथ की गई है कि प्रकाशक की पूर्व अनुमति के बिना यह पुस्तक अपने मूल आवरण अथवा जिल्द के अलावा किसी अन्य प्रकार से व्यापार द्वारा उधारी पर, पुनर्विक्रय या किराए पर न दी जाएगी, न बेची जाएगी।
- इस प्रकाशन का सही मूल्य इस पृष्ठ पर मुद्रित है। रबड़ की मुहर अथवा चिपकाई गई पर्ची (स्टिकर) या किसी अन्य विधि द्वारा अंकित कोई भी संशोधित मूल्य गलत है तथा मान्य नहीं होगा।

एन सी ई आर टी के प्रकाशन प्रभाग के कार्यालय

एन.सी.ई.आर.टी. कैंपस
श्री अरविंद मार्ग
नयी दिल्ली 110 016 फोन : 011-26562708

108, 100 फीट रोड
हेली एक्सटेंशन, होस्डेकेरे
बनाशंकरी III स्टेज
बेंगलुरु 560 085 फोन : 080-26725740

नवजीवन ट्रस्ट भवन
डाकघर नवजीवन
अहमदाबाद 380 014 फोन : 079-27541446

सी.डब्ल्यू.सी. कैंपस
निकट: धनकल बस स्टॉप पनिहटी
कोलकाता 700 114 फोन : 033-25530454

सी.डब्ल्यू.सी. कॉम्प्लैक्स
मालीगांव
गुवाहाटी 781 021 फोन : 0361-2674869

प्रकाशन सहयोग

अध्यक्ष, प्रकाशन प्रभाग : *अशोक श्रीवास्तव*
मुख्य उत्पादन अधिकारी : *कल्याण बनर्जी*
मुख्य व्यापार प्रबंधक : *गौतम गांगुली*
मुख्य संपादक (संविदा सेवा) : *नरेश यादव*
उत्पादन सहायक : *राजेश पिप्पल*

आवरण एवं चित्रांकन

श्वेता राव

© NCERT not to be republished

प्रस्तावना

राष्ट्रीय पाठ्यचर्या की रूपरेखा (2005) सुझाती है कि बच्चों के स्कूली जीवन को बाहर के जीवन से जोड़ा जाना चाहिए। यह सिद्धांत किताबी ज्ञान की उस विरासत के विपरीत है जिसके प्रभाववश हमारी व्यवस्था आज तक स्कूल और घर के बीच अंतराल बनाए हुए है। नयी राष्ट्रीय पाठ्यचर्या पर आधारित पाठ्यक्रम और पाठ्यपुस्तकें इस बुनियादी विचार पर अमल करने का प्रयास हैं। इस प्रयास में हर विषय को एक मज़बूत दीवार से घेर देने और जानकारी को रटा देने की प्रवृत्ति का विरोध शामिल है। आशा है कि ये कदम हमें राष्ट्रीय शिक्षा नीति (1986) में वर्णित बाल-केंद्रित व्यवस्था की दिशा में काफ़ी दूर तक ले जाएँगे।

इस प्रयत्न की सफलता अब इस बात पर निर्भर है कि स्कूलों के प्राचार्य और अध्यापक बच्चों को कल्पनाशील गतिविधियों और सवालों की मदद से सीखने और सीखने के दौरान अपने अनुभवों पर विचार करने का कितना अवसर देते हैं। हमें यह मानना होगा कि यदि जगह, समय और आज़ादी दी जाए तो बच्चे बड़ों द्वारा सौंपी गई सूचना-सामग्री से जुड़कर और जूझकर नए ज्ञान का सृजन करते हैं। शिक्षा के विविध साधनों एवं स्रोतों की अनदेखी किए जाने का प्रमुख कारण पाठ्यपुस्तक को परीक्षा का एकमात्र आधार बनाने की प्रवृत्ति है। सर्जना और पहल को विकसित करने के लिए ज़रूरी है कि हम बच्चों को सीखने की प्रक्रिया में पूरा भागीदार मानें और बनाएँ, उन्हें ज्ञान की निर्धारित खुराक का ग्राहक मानना छोड़ दें।

ये उद्देश्य स्कूल की दैनिक ज़िंदगी और कार्यशैली में काफ़ी फेरबदल की माँग करते हैं। दैनिक समय-सारणी में लचीलापन उतना ही ज़रूरी है जितना वार्षिक कैलेंडर के अमल में चुस्ती, जिससे शिक्षण के लिए नियत दिनों की संख्या हकीकत बन सके। शिक्षण और मूल्यांकन की विधियाँ भी इस बात को तय करेंगी कि यह पाठ्यपुस्तक स्कूल में बच्चों के जीवन को मानसिक दबाव तथा बोरियत की जगह खुशी का अनुभव कराने में कितनी प्रभावी सिद्ध होती है। बोझ की समस्या से निपटने के लिए पाठ्यक्रम निर्माताओं ने विभिन्न चरणों में ज्ञान का पुनर्निर्धारण करते समय बच्चों के मनोविज्ञान एवं अध्यापन के लिए उपलब्ध समय का ध्यान रखने की पहले से अधिक सचेत कोशिश की है। इस कोशिश को और गहराने के यत्न में यह पाठ्यपुस्तक सोच-विचार और विस्मय, छोटे समूहों में बातचीत एवं बहस और हाथ से की जाने वाली गतिविधियों को प्राथमिकता देती है।

एन.सी.ई.आर.टी. इस पुस्तक की रचना के लिए बनाई गई पाठ्यपुस्तक निर्माण समिति के परिश्रम के लिए कृतज्ञता व्यक्त करती है। परिषद् विज्ञान एवं गणित पाठ्यपुस्तक सलाहकार समिति के अध्यक्ष, प्रोफ़ेसर जे.वी. नार्लीकर और इस पाठ्यपुस्तक के मुख्य सलाहकार, प्रोफ़ेसर ए.डब्ल्यू. जोशी, जिन्होंने इस समिति के कार्य को निर्देशित किया, की विशेष आभारी है। इस पाठ्यपुस्तक के विकास में कई शिक्षकों ने योगदान किया; इस योगदान को संभव बनाने के लिए हम उनके प्राचार्यों के आभारी हैं। हम उन सभी संस्थाओं और संगठनों के प्रति कृतज्ञ हैं जिन्होंने अपने संसाधनों, सामग्री तथा सहयोगियों की मदद लेने में हमें उदारतापूर्वक सहयोग दिया। प्रोफ़ेसर मृणाल मीरी और प्रोफ़ेसर जी. पी. देशपांडे की अध्यक्षता में मानव संसाधन विकास मंत्रालय के अधीन उच्च माध्यमिक शिक्षा विभाग द्वारा गठित निगरानी समिति (मॉनीटरिंग कमेटी) के सदस्यों के अमूल्य समय और सहयोग के लिए हम कृतज्ञ हैं। व्यवस्थागत सुधारों और अपने प्रकाशनों में निरंतर निखार लाने के प्रति समर्पित एन.सी.ई.आर.टी. टिप्पणियों एवं सुझावों का स्वागत करेगी, जिनसे भावी संशोधनों में मदद ली जा सके।

निदेशक

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और
प्रशिक्षण परिषद्

नयी दिल्ली

20 नवंबर 2006

© NCERT not to be republished

भारत का संविधान

उद्देशिका

हम, भारत के लोग, भारत को एक [1][**संपूर्ण प्रभुत्व-संपन्न समाजवादी पंथनिरपेक्ष लोकतंत्रात्मक गणराज्य**] बनाने के लिए, तथा उसके समस्त नागरिकों को :

सामाजिक, आर्थिक और राजनैतिक **न्याय,**

विचार, अभिव्यक्ति, विश्वास, धर्म और उपासना की **स्वतंत्रता,**

प्रतिष्ठा और अवसर की **समता**

प्राप्त कराने के लिए,

तथा उन **सब में**

व्यक्ति की गरिमा और [2][**राष्ट्र की एकता और अखंडता**] सुनिश्चित करने वाली **बंधुता**

बढ़ाने के लिए

दृढ़संकल्प होकर **अपनी इस संविधान सभा में** आज तारीख 26 नवंबर, 1949 ई. को **एतद्द्वारा इस संविधान को अंगीकृत, अधिनियमित और आत्मार्पित करते हैं।**

---

1. संविधान (बयालीसवां संशोधन) अधिनियम, 1976 की धारा 2 द्वारा (3.1.1977 से) ''प्रभुत्व-संपन्न लोकतंत्रात्मक गणराज्य'' के स्थान पर प्रतिस्थापित।
2. संविधान (बयालीसवां संशोधन) अधिनियम, 1976 की धारा 2 द्वारा (3.1.1977 से) ''राष्ट्र की एकता'' के स्थान पर प्रतिस्थापित।

© NCERT not to be republished

आमुख

प्रस्तुत पुस्तक को विद्यार्थियों, शिक्षकों तथा जनमानस (जिसकी भूमिका अनदेखी नहीं की जा सकती) को सौंपते हुए मुझे हर्ष हो रहा है। 2006 में प्रकाशित कक्षा 12 की पाठ्यपुस्तक की यह स्वाभाविक अनुक्रम है। यह पुस्तक पूर्व प्रकाशित पाठ्यपुस्तक का एक सुव्यवस्थित रूप भी है। इस पुस्तक से *धारा के ऊष्मीय तथा रासायनिक प्रभाव* का अध्याय हटा दिया गया है। इस विषय को सी.बी.एस.ई. के पाठ्यक्रम से भी हटा दिया गया है। इसी प्रकार *संचार* के अध्याय से काफी विषय-वस्तु कम की गई है। इस अध्याय को आसानी से समझने योग्य रूप में पुनः लिखा गया है।

यद्यपि अधिकांश अन्य अध्याय पिछले संस्करणों पर ही आधारित हैं, फिर भी बहुत से भाग तथा अनुभाग पुनः लिखे गए हैं। देश के विभिन्न भागों के शिक्षकों से मिले अनेक सुझावों ने पाठ्यपुस्तक निर्माण समिति का मार्गदर्शन किया है।

कक्षा 11 तथा कक्षा 12 दोनों ही कक्षाओं की इन पुस्तकों के निर्माण में महत्त्व दिए जाने वाले बिंदुओं में मूल परिवर्तन किया गया है। दोनों ही पुस्तकों को विद्यार्थियों को बिना यह मानकर प्रेषित किया जा रहा है कि वे भौतिकी का अध्ययन उच्चतर माध्यमिक स्तर से आगे भी करेंगे। यह नया दृष्टिकोण राष्ट्रीय पाठ्यचर्या की रूपरेखा (2005) में दिए गए प्रेक्षणों एवं सुझावों के आधार पर प्रेरित है। इसी प्रकार, आज के शैक्षिक घटनाक्रम, जिसमें कोई विद्यार्थी विविध विषयों का कोई भी संयोजन/चयन कर सकता है, हम यह नहीं मान सकते कि भौतिकी का अध्ययन करने वाला विद्यार्थी गणित का अध्ययन भी कर रहा है। अतः भौतिकी की विषय वस्तु को 'एकला चलो' रूप में प्रस्तुत करना ही एक विकल्प है।

कक्षा 11 की पाठ्यपुस्तक की भाँति, कई अध्यायों में कुछ रोचक बॉक्स सामग्री भी सम्मिलित की गई है। ये पढ़ाने अथवा परीक्षा के लिए नहीं है। इन बॉक्सों को पाठ्यपुस्तक में सम्मिलित करने का उद्देश्य पाठकों के ध्यान को आकर्षित करना, विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के अन्य क्षेत्रों अथवा दैनिक जीवन में कुछ अनुप्रयोगों को दर्शाना, सरल प्रयोग सुझाना, भौतिकी के विभिन्न क्षेत्रों में अभिधारणाओं में संबंध, एकरसता अथवा नीरसता को तोड़कर पुस्तक को सजीव बनाना है।

पुस्तक के प्रत्येक अध्याय के अंत में सारांश, विचारणीय विषय, अभ्यास तथा अतिरिक्त अभ्यास एवं उदाहरण जैसे विशिष्ट लक्षणों को बनाए रखा गया है। संकल्पनाओं पर आधारित कई अभ्यासों को अध्यायों के अंत में दिए गए अभ्यासों से 'उदाहरण एवं उनके हल' के रूप में पाठ्य सामग्री में स्थानांतरित किया गया है। यह आशा की जाती है कि ऐसा करने से अध्याय में दी गई संकल्पनाएँ अधिक बोधगम्य बन जाएँगी। बहुत से नए उदाहरण तथा अभ्यास जोड़े गए हैं। उन विद्यार्थियों के लिए जो आगे भी भौतिकी का अध्ययन करना चाहते हैं, उनके लिए विचारणीय विषय तथा अतिरिक्त अभ्यास काफ़ी उपयोगी और विचारशील सिद्ध होंगे। *पुस्तक से बाहर के साधन* प्रदान करने तथा *ई-शिक्षा* को प्रोत्साहित करने की दृष्टि से प्रत्येक अध्याय में कुछ प्रासंगिक वेबसाइट के पते *ई-भौतिकी* शीर्षक के अंतर्गत प्रदान किए गए हैं। ये साइटें विद्यार्थियों को कुछ विशिष्ट विषयों पर अतिरिक्त सामग्री तथा अन्योन्य क्रियात्मक निदर्शन/प्रयोग प्रदान करती हैं।

भौतिकी की जटिल संकल्पनाओं की समझ, व्यापक बोध तथा महत्त्व जानना आवश्यक है। विद्यार्थियों को इस प्रकार के प्रश्न पूछना/सीखना चाहिए कि 'हम इसे क्यों तथा कैसे जानें' आदि। व्यापक रूप से वह यह पाएँगे कि भौतिकी तथा विज्ञान के क्षेत्र में लगभग सदैव ही 'क्यों' के प्रश्न का उत्तर नहीं पाया जाता। परंतु यह स्वयं में एक सीखने का अनुभव है, क्या आप ऐसा नहीं समझते! इसके विपरीत, 'कैसे' वाले प्रश्नों के अधिकांश प्राकृतिक परिघटनाओं के प्रकरण में भौतिक विज्ञानियों ने तर्कसंगत व सुविवेचित उत्तर दिए हैं। वास्तव में, यह समझने के पश्चात कि घटनाएँ कैसे होती हैं, बहुत सी परिघटनाओं का उपयोग करके मानव के उपयोग के प्रौद्योगिकीय अनुप्रयोग विकसित करना संभव हो पाया है।

उदाहरण के लिए, पुस्तक के किसी प्रकथन पर विचार कीजिए, जैसे 'ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन धनावेशित पट्टिका द्वारा आकर्षित होता है' अथवा 'इस प्रयोग में प्रकाश (अथवा इलेक्ट्रॉन) तरंग की भाँति व्यवहार करता है।' आप यह अनुभव करेंगे कि इसके 'क्यों' का उत्तर देना संभव नहीं है। यह प्रश्न 'दर्शनशास्त्र' अथवा 'तत्वमीमांसा' के क्षेत्र के अंतर्गत आता है। परंतु हम 'कैसे' का उत्तर दे सकते हैं, हम आरोपित बल ज्ञात कर सकते हैं, हम फोटॉन (अथवा इलेक्ट्रान) की तरंगदैर्घ्य

© NCERT not to be republished

माप सकते हैं, हम यह निर्धारित कर सकते हैं कि विभिन्न परिस्थितियों में वस्तुएँ कैसे व्यवहार करती हैं तथा इन परिघटनाओं का उपयोग हम अपने लाभ के लिए उपकरण विकसित करने में कर सकते हैं।

समिति के सदस्यों के साथ उच्चतर माध्यमिक स्तर की इन पुस्तकों के लिए कार्य करने में मुझे प्रसन्नता हुई है। पुस्तक निर्माण समिति, पुनरीक्षण समिति तथा संपादन मंडल में कॉलेज तथा विश्वविद्यालयों के शिक्षक, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थानों के शिक्षक, राष्ट्रीय संस्थानों एवं प्रयोगशालाओं के वैज्ञानिकों के उच्चतर माध्यमिक, साथ-साथ विद्यालयों के शिक्षक सम्मिलित किए गए थे। विभिन्न समितियों में उच्चतर माध्यमिक विद्यालयों के शिक्षकों से प्राप्त सुझावों एवं विवेचनात्मक आलोचना अत्यंत प्रशंसनीय पाए गए। अधिकांश बॉक्स सामग्री किसी न किसी समिति के सदस्य द्वारा विकसित की गई है, परंतु उनमें से तीन मित्रों एवं हितैषियों द्वारा जो इन समितियों के सदस्य नहीं हैं, विकसित की गई हैं। हम अध्याय 3, 4 (भाग 1) तथा अध्याय 9 (भाग 2) की बॉक्स सामग्री का उपयोग करने की अनुमति देने के लिए क्रमशः पुणे के डॉ. पी.एन. सेन, दिल्ली की प्रोफ़ेसर रूपमंजरी घोष तथा मुंबई के डॉ. राजेश वी. खापर्डे का आभार प्रकट करते हैं। हम पुनरीक्षण कार्यशाला तथा संपादन कार्यशाला के प्रतिभागियों के प्रति भी आभार प्रकट करते हैं, जिन्होंने पाठ्यपुस्तक की प्रथम पांडुलिपि पर चर्चा करके परिष्कृत किया। हम प्रोफ़ेसर कृष्ण कुमार, निदेशक एन.सी.ई.आर.टी. के प्रति भी आभार प्रकट करते हैं जिन्होंने विज्ञान शिक्षा में सुधार के राष्ट्रीय प्रयास के एक भाग के रूप में इस पुस्तक को प्रस्तुत करने का कार्यभार हमें सौंपा। मैं एन.सी.ई.आर.टी. के संयुक्त निदेशक प्रोफ़ेसर जी. रवीन्द्रा का भी समय-समय पर सहायता देने के लिए धन्यवाद करता हूँ। प्रोफ़ेसर हुकुम सिंह, अध्यक्ष, विज्ञान एवं गणित शिक्षा विभाग, एन.सी.ई.आर.टी. भी हमारे इस कार्य में हर संभव सहायता के लिए इच्छुक रहे हैं।

हम अपने सम्मानित प्रयोक्ताओं, विशेषकर विद्यार्थियों एवं शिक्षकों से प्राप्त समीक्षा एवं सुझावों का आदर करते हैं। हम अपने युवा पाठकों की भौतिकी के रोमांचक कार्य क्षेत्र की ओर अग्रसर होने की कामना करते हैं।

ए.डब्ल्यू. जोशी
मुख्य सलाहकार
पाठ्यपुस्तक निर्माण समिति

© NCERT not to be republished

पाठ्यपुस्तक निर्माण समिति

अध्यक्ष, विज्ञान और गणित पाठ्यपुस्तकों की सलाहकार समिति

जे.वी. नार्लीकर, *इमेरिटस प्रोफ़ेसर*, अंतर-विश्वविद्यालय केंद्र– खगोलविज्ञान और खगोलभौतिकी (आई.यू.सी.ए.ए.), गणेशखिंड, पूना विश्वविद्यालय परिसर, पुणे

मुख्य सलाहकार

ए.डब्ल्यू. जोशी, *हॉनरेरी विजिटिंग साइंटिस्ट*, एन.सी.आर.ए., पूना विश्वविद्यालय परिसर, पुणे
(*भूतपूर्व प्रोफ़ेसर*, भौतिकी विभाग, पूना विश्वविद्यालय)

सदस्य

अंजली क्षीरसागर, *रीडर*, भौतिकी विभाग, पूना विश्वविद्यालय, पुणे
अतुल मोदी, *प्रवक्ता (एस.जी.)*, वी.ई.एस. कला, विज्ञान एवं वाणिज्य महाविद्यालय, मुंबई
अनुराधा माथुर, *पी.जी.टी.*, मॉडर्न स्कूल, बसंत विहार, नयी दिल्ली
अलिका खरे, *प्रोफ़ेसर*, भौतिकी विभाग, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, गुवाहाटी
आर. जोशी, *प्रवक्ता (एस.जी.)*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली
ए.के. घटक, *इमेरिटस प्रोफ़ेसर*, भौतिकी विभाग, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, नयी दिल्ली
एच.सी. प्रधान, *प्रोफ़ेसर*, होमी भाभा विज्ञान शिक्षा केंद्र, (टी.आई.एफ.आर.), मुंबई
एन. पंचपकेशन, *प्रोफ़ेसर (अवकाशप्राप्त)*, भौतिकी एवं खगोलभौतिकी विभाग, दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली
एस.एन. प्रभाकर, *पी.जी.टी.*, डी.एम. स्कूल, क्षेत्रीय शिक्षा संस्थान, एन.सी.ई.आर.टी., मैसूर
एस.के. उपाध्याय, *पी.जी.टी.*, जवाहर नवोदय विद्यालय, मुज़फ़्फ़रनगर
एस.के. दाश, *रीडर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली
एस. राय चौधरी, *प्रोफ़ेसर*, भौतिकी एवं खगोलभौतिकी विज्ञान, दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली
चित्रा गोयल, *पी.जी.टी.*, राजकीय प्रतिभा विकास विद्यालय, त्यागराज नगर, नयी दिल्ली
बी.के. शर्मा, *प्रोफ़ेसर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली
विश्वजीत कुलकर्णी, *टीचर (ग्रेड I)*, उच्चतर माध्यमिक अनुभाग, श्रीमती पार्वतीबाई चोगुले महाविद्यालय, मारगो, गोवा
वी.एच. रायबागकर, *रीडर*, नौरोसजी वाडिया महाविद्यालय, पुणे

सदस्य-समन्वयक (अंग्रेज़ी संस्करण)

वी.पी. श्रीवास्तव, *रीडर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली

हिंदी अनुवादक

आर.एस. दास, *अवकाशप्राप्त उपप्रधानाचार्य*, बलवंत राय मेहता विद्याभवन सीनियर सेकंडरी स्कूल, नयी दिल्ली
कन्हैया लाल, *अवकाशप्राप्त प्राचार्य*, शिक्षा निदेशालय, राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र, दिल्ली
जे.पी. अग्रवाल, *अवकाशप्राप्त प्राचार्य*, शिक्षा निदेशालय, राष्ट्रीय राजधानी क्षेत्र, दिल्ली
शशि प्रभा, *प्रवक्ता*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली

सदस्य-समन्वयक

गगन गुप्त, *रीडर*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली

© NCERT not to be republished

भारत का संविधान

भाग 4क

नागरिकों के मूल कर्तव्य

अनुच्छेद 51 क

मूल कर्तव्य – भारत के प्रत्येक नागरिक का यह कर्तव्य होगा कि वह –

(क) संविधान का पालन करे और उसके आदर्शों, संस्थाओं, राष्ट्रध्वज और राष्ट्रगान का आदर करे;

(ख) स्वतंत्रता के लिए हमारे राष्ट्रीय आंदोलन को प्रेरित करने वाले उच्च आदर्शों को हृदय में संजोए रखे और उनका पालन करे;

(ग) भारत की संप्रभुता, एकता और अखंडता की रक्षा करे और उसे अक्षुण्ण बनाए रखे;

(घ) देश की रक्षा करे और आह्वान किए जाने पर राष्ट्र की सेवा करे;

(ङ) भारत के सभी लोगों में समरसता और समान भ्रातृत्व की भावना का निर्माण करे जो धर्म, भाषा और प्रदेश या वर्ग पर आधारित सभी भेदभावों से परे हो, ऐसी प्रथाओं का त्याग करे जो महिलाओं के सम्मान के विरुद्ध हों;

(च) हमारी सामासिक संस्कृति की गौरवशाली परंपरा का महत्त्व समझे और उसका परिरक्षण करे;

(छ) प्राकृतिक पर्यावरण की, जिसके अंतर्गत वन, झील, नदी और वन्य जीव हैं, रक्षा करे और उसका संवर्धन करे तथा प्राणिमात्र के प्रति दयाभाव रखे;

(ज) वैज्ञानिक दृष्टिकोण, मानववाद और ज्ञानार्जन तथा सुधार की भावना का विकास करे;

(झ) सार्वजनिक संपत्ति को सुरक्षित रखे और हिंसा से दूर रहे;

(ञ) व्यक्तिगत और सामूहिक गतिविधियों के सभी क्षेत्रों में उत्कर्ष की ओर बढ़ने का सतत् प्रयास करे, जिससे राष्ट्र निरंतर बढ़ते हुए प्रयत्न और उपलब्धि की नई ऊँचाइयों को छू सके; और

(ट) यदि माता-पिता या संरक्षक है, छह वर्ष से चौदह वर्ष तक की आयु वाले अपने, यथास्थिति, बालक या प्रतिपाल्य को शिक्षा के अवसर प्रदान करे।

© NCERT not to be republished

आभार

इस पुस्तक को अंतिम स्वरूप प्रदान करने के लिए आयोजित कार्यशाला में भाग लेने वाले निम्नलिखित प्रतिभागियों की बहुमूल्य टिप्पणियों के लिए परिषद् निम्नलिखित का आभार व्यक्त करती है : आर.ए. गोयल, *अवकाशप्राप्त प्राचार्य*, शिक्षा निदेशालय, दिल्ली; एन.सी. जैन, *पी.जी.टी.*, एस.ए.सी.जी. सर्वोदय विद्यालय नं. 2, लुडलो कैसल, नयी दिल्ली; के.सी. शर्मा, *प्रवाचक*, क्षेत्रीय शिक्षा संस्थान (एन.सी.ई.आर.टी.), अजमेर; नीलम सहगल, *पी.जी.टी.*, केंद्रीय विद्यालय, जे.एन.यू. परिसर, नयी दिल्ली; डी.सी. पांडेय, *अवकाशप्राप्त शिक्षा अधिकारी*, शिक्षा निदेशालय, दिल्ली; पी.एन. वार्ष्णेय, *अवकाशप्राप्त प्राचार्य*, शिक्षा निदेशालय, दिल्ली।

शैक्षिक व प्रशासनिक सहयोग के लिए परिषद् हुकुम सिंह, *प्रोफ़ेसर* तथा *विभागाध्यक्ष*, डी.ई.एस.एम., एन.सी.ई.आर.टी., नयी दिल्ली की आभारी है।

परिषद् ए.पी.सी. कार्यालय तथा डी.ई.एस.एम. के प्रशासनिक स्टॉफ को उनके सहयोग के लिए आभार प्रकट करती है। इस पुस्तक में सहयोग के लिए परिषद् मुसर्रत परवीन, मनोज मोहन *कॉपी एडीटर*; रणधीर ठाकुर *प्रूफ़ रीडर*; ऋतु शर्मा, इन्द्र कुमार *डीटीपी ऑपरेटर*; दीपक कपूर *कंप्यूटर स्टेशन प्रभारी*, डी.ई.एस.एम., विजय कंप्यूटर्स (पुस्तक की टाइपिंग के लिए) और प्रकाशन विभाग का हार्दिक आभार ज्ञापित करती है।

© NCERT not to be republished

भारत का संविधान

भाग-3 (अनुच्छेद 12-35)
(अनिवार्य शर्तों, कुछ अपवादों और युक्तियुक्त निर्बंधन के अधीन)
द्वारा प्रदत्त

मूल अधिकार

समता का अधिकार

- विधि के समक्ष एवं विधियों के समान संरक्षण;
- धर्म, मूलवंश, जाति, लिंग या जन्मस्थान के आधार पर;
- लोक नियोजन के विषय में;
- अस्पृश्यता और उपाधियों का अंत।

स्वातंत्र्य-अधिकार

- अभिव्यक्ति, सम्मेलन, संघ, संचरण, निवास और वृत्ति का स्वातंत्र्य;
- अपराधों के लिए दोष सिद्धि के संबंध में संरक्षण;
- प्राण और दैहिक स्वतंत्रता का संरक्षण;
- छः से चौदह वर्ष की आयु के बच्चों को निःशुल्क एवं अनिवार्य शिक्षा;
- कुछ दशाओं में गिरफ्तारी और निरोध से संरक्षण।

शोषण के विरुद्ध अधिकार

- मानव के दुर्व्यापार और बलात श्रम का प्रतिषेध;
- परिसंकटमय कार्यों में बालकों के नियोजन का प्रतिषेध।

धर्म की स्वतंत्रता का अधिकार

- अंतःकरण की और धर्म के अबाध रूप से मानने, आचरण और प्रचार की स्वतंत्रता;
- धार्मिक कार्यों के प्रबंध की स्वतंत्रता;
- किसी विशिष्ट धर्म की अभिवृद्धि के लिए करों के संदाय के संबंध में स्वतंत्रता;
- राज्य निधि से पूर्णतः पोषित शिक्षा संस्थाओं में धार्मिक शिक्षा या धार्मिक उपासना में उपस्थित होने के संबंध में स्वतंत्रता।

संस्कृति और शिक्षा संबंधी अधिकार

- अल्पसंख्यक-वर्गों को अपनी भाषा, लिपि या संस्कृति विषयक हितों का संरक्षण;
- अल्पसंख्यक-वर्गों द्वारा अपनी शिक्षा संस्थाओं का स्थापन और प्रशासन।

सांविधानिक उपचारों का अधिकार

- उच्चतम न्यायालय एवं उच्च न्यायालय के निर्देश या आदेश या रिट द्वारा प्रदत्त अधिकारों को प्रवर्तित कराने का उपचार।

© NCERT not to be republished

विषय-सूची

प्रस्तावना *iii*

आमुख *v*

अध्याय 1

वैद्युत आवेश तथा क्षेत्र

1.1 भूमिका 1
1.2 वैद्युत आवेश 1
1.3 चालक तथा विद्युतरोधी 5
1.4 प्रेरण द्वारा आवेशन 6
1.5 वैद्युत आवेश के मूल गुण 8
1.6 कूलॉम नियम 10
1.7 बहुल आवेशों के बीच बल 15
1.8 विद्युत क्षेत्र 18
1.9 विद्युत क्षेत्र रेखाएँ 23
1.10 वैद्युत फ्लक्स 25
1.11 वैद्युत द्विध्रुव 27
1.12 एकसमान बाह्य क्षेत्र में द्विध्रुव 31
1.13 संतत आवेश वितरण 32
1.14 गाउस नियम 33
1.15 गाउस नियम के अनुप्रयोग 37

अध्याय 2

स्थिर वैद्युत विभव तथा धारिता

2.1 भूमिका 51
2.2 स्थिरवैद्युत विभव 53
2.3 बिंदु आवेश के कारण विभव 54
2.4 वैद्युत द्विध्रुव के कारण विभव 55
2.5 आवेशों के निकाय के कारण विभव 57
2.6 समविभव पृष्ठ 60
2.7 आवेशों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा 61
2.8 बाह्य क्षेत्र में स्थितिज ऊर्जा 64
2.9 चालक–स्थिरवैद्युतिकी 67
2.10 परावैद्युत तथा ध्रुवण 71
2.11 संधारित्र तथा धारिता 73
2.12 समांतर पट्टिका संधारित्र 74
2.13 धारिता पर परावैद्युत का प्रभाव 75

© NCERT not to be republished

2.14 संधारित्रों का संयोजन 78
2.15 संधारित्र में संचित ऊर्जा 80
2.16 वान डे ग्राफ जनित्र 83

अध्याय 3
विद्युत धारा

3.1 भूमिका 93
3.2 विद्युत धारा 93
3.3 चालक में विद्युत धारा 94
3.4 ओम का नियम 95
3.5 इलेक्ट्रान का अपवाह एवं प्रतिरोधकता का उद्गम 97
3.6 ओम के नियम की सीमाएँ 101
3.7 विभिन्न पदार्थों की प्रतिरोधकता 101
3.8 प्रतिरोधकता की ताप पर निर्भरता 103
3.9 विद्युत ऊर्जा, शक्ति 105
3.10 प्रतिरोधकों का संयोजन–श्रेणी संयोजन तथा पार्श्व संयोजन 107
3.11 सेल, विद्युत वाहक बल (emf), आंतरिक प्रतिरोध 110
3.12 श्रेणी तथा पार्श्वक्रम में सेल 113
3.13 किरखोफ के नियम 115
3.14 व्हीटस्टोन सेतु 118
3.15 मीटर सेतु 120
3.16 पोटेंशियोमीटर (विभवमापी) 122

अध्याय 4
गतिमान आवेश और चुंबकत्व

4.1 भूमिका 132
4.2 चुंबकीय बल 133
4.3 चुंबकीय क्षेत्र में गति 137
4.4 संयुक्त विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्रों में गति 140
4.5 विद्युत धारा अवयव के कारण चुंबकीय क्षेत्र, बायो-सावर्ट नियम 143
4.6 विद्युत धारावाही वृत्ताकार पाश के अक्ष पर चुंबकीय क्षेत्र 145
4.7 ऐम्पियर का परिपथीय नियम 147
4.8 परिनालिका तथा टोरॉइड 150
4.9 दो समांतर विद्युत धाराओं के बीच बल–ऐम्पियर 154
4.10 विद्युत धारा पाश पर बल आघूर्ण, चुंबकीय द्विध्रुव 157
4.11 चल कुंडली गैल्वेनोमीटर 163

अध्याय 5
चुंबकत्व एवं द्रव्य

5.1 भूमिका 173
5.2 छड़ चुंबक 174

© NCERT not to be republished

5.3 चुंबकत्व एवं गाउस नियम 181
5.4 भू-चुंबकत्व 185
5.5 चुंबकीकरण एवं चुंबकीय तीव्रता 189
5.6 पदार्थों के चुंबकीय गुण 191
5.7 स्थायी चुंबक एवं विद्युत चुंबक 195

अध्याय 6
वैद्युतचुंबकीय प्रेरण

6.1 भूमिका 204
6.2 फैराडे एवं हेनरी के प्रयोग 205
6.3 चुंबकीय फ्लक्स 206
6.4 फैराडे का प्रेरण का नियम 207
6.5 लेंज का नियम तथा ऊर्जा संरक्षण 210
6.6 गतिक विद्युत वाहक बल 212
6.7 ऊर्जा दृष्टि : एक परिमाणात्मक अध्ययन 215
6.8 भँवर धाराएँ 218
6.9 प्रेरकत्व 219
6.10 प्रत्यावर्ती धारा जनित्र 224

अध्याय 7
प्रत्यावर्ती धारा

7.1 भूमिका 233
7.2 प्रतिरोधक पर प्रयुक्त ac वोल्टता 234
7.3 ac धारा एवं वोल्टता का घूर्णी सदिश द्वारा निरूपण–कलासमंजक (फेजर्स) 237
7.4 प्रेरक पर प्रयुक्त ac वोल्टता 237
7.5 संधारित्र पर प्रयुक्त ac वोल्टता 241
7.6 श्रेणीबद्ध LCR परिपथ पर प्रयुक्त ac वोल्टता 244
7.7 ac परिपथों में शक्ति : शक्ति गुणांक 252
7.8 LC दोलन 255
7.9 ट्रांसफॉर्मर 259

अध्याय 8
वैद्युतचुंबकीय तरंगें

8.1 भूमिका 269
8.2 विस्थापन धारा 270
8.3 वैद्युतचुंबकीय तरंगें 274
8.4 वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम 280

उत्तर 288
पारिभाषिक शब्दावली 308

© NCERT not to be republished

मुखावरण

(http://nobelprize.org तथा 2006 में भौतिकी के नोबेल पुरस्कार से रूपांतरित)

विश्व के विकास के विभिन्न चरण

पश्चावरण

(http://www.iter.org तथा
http://www.dae.gov.in से रूपांतरित)

अंतर्राष्ट्रीय तापनाभिकीय प्रायोगिक रिएक्टर (ITER) युक्ति का व्यवच्छेदित दृश्य। आधार पर खड़ा व्यक्ति स्केल दर्शा रहा है।

ITER एक संयुक्त अंतर्राष्ट्रीय अनुसंधान एवं विकास परियोजना है जिसका उद्देश्य संलयन शक्ति की वैज्ञानिक एवं तकनीकी संभाव्यता का निदर्शन करना है।

भारत इस परियोजना के सात पूर्ण भागीदारी राष्ट्रों में से एक है। अन्य भागीदार यूरोपीय संघ (EURATOM द्वारा निरूपित), जापान, चीन गणराज्य, कोरिया गणराज्य, रूस फेडेरेशन तथा संयुक्त राज्य अमेरिका हैं। ITER का निर्माण यूरोप में फ्रांस के दक्षिण में कैडारके में किया जाएगा तथा इससे 500 MW की संलयन शक्ति उत्पन्न होगी।

सूर्य तथा तारों की ऊर्जा का स्रोत नाभिकीय संलयन है। पृथ्वी पर संलयन-अनुसंधान का उद्देश्य यह निदर्शित करना है कि इस ऊर्जा स्रोत का उपयोग पर्यावरण हितैषी तथा सुरक्षात्मक रूप से विद्युत उत्पन्न करने में किया जा सकता है तथा संसार की बढ़ती जनसंख्या की आवश्यकताओं की पूर्ति के लिए इसके प्रचुर ईंधन भंडार (संपदा) उपलब्ध हैं।

भारत की भूमिका को विस्तार से जानने के लिए परमाणु ऊर्जा विभाग (DAE) की उपरिलिखित वेबसाइट में उपलब्ध *Nuclear India*, Vol. 39, No. 11-12, May-June 2006 का संस्करण देखिए।

© NCERT not to be republished

अध्याय 1

वैद्युत आवेश तथा क्षेत्र

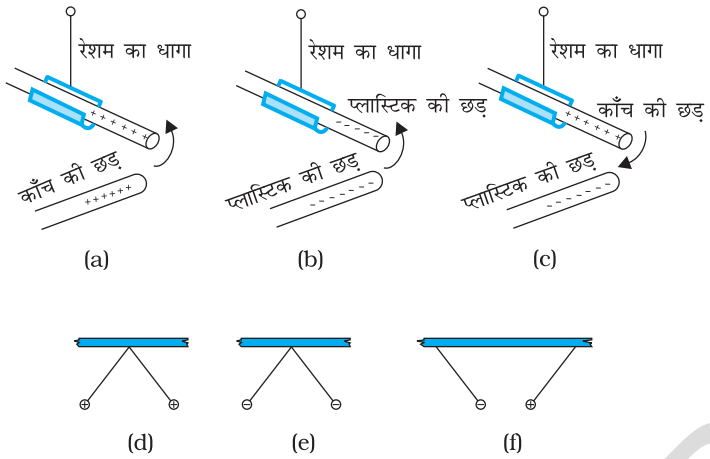
© NCERT not to be republished

1.1 भूमिका

हम सभी को, विशेषकर शुष्क मौसम में, स्वेटर अथवा संश्लिष्ट वस्त्रों को शरीर से उतारते समय चट-चट की ध्वनि सुनने अथवा चिनगारियाँ देखने का अनुभव होगा। महिलाओं के वस्त्रों जैसे पॉलिएस्टर साड़ी के साथ तो ऐसी घटना होना प्रायः अनिवार्य होता है। क्या आपने कभी इस परिघटना का स्पष्टीकरण खोजने का प्रयास किया है? विद्युत विसर्जन का एक अन्य सामान्य उदाहरण आकाश में गर्जन के समय तड़ित दिखाई देना है। विद्युत झटके के संवेदन का अनुभव हमें उस समय भी होता है जब हम किसी कार का दरवाज़ा खोलते हैं अथवा जब हम अपनी बस की सीट पर खिसकने के पश्चात उसमें लगी लोहे की छड़ को पकड़ते हैं। इन अनुभवों के होने के कारण हमारे शरीर में से होकर उन वैद्युत आवेशों का विसर्जित होना है जो विद्युतरोधी पृष्ठों पर रगड़ के कारण एकत्र हो जाते हैं। आपने यह भी सुना होगा कि यह वैद्युत आवेश (स्थिरवैद्युत) के उत्पन्न होने के कारण है। इस अध्याय तथा अगले अध्याय में भी हम इसी विषय पर चर्चा करेंगे। स्थिर से तात्पर्य है वह सब कुछ जो समय के साथ परिवर्तित अथवा गतिमय नहीं होता। *स्थिरवैद्युतिकी के अंतर्गत हम स्थिर आवेशों द्वारा उत्पन्न बलों, क्षेत्रों तथा विभवों के विषय में अध्ययन करते हैं।*

1.2 वैद्युत आवेश

इतिहास के अनुसार लगभग 600 ई. पूर्व हुई इस तथ्य की खोज का श्रेय, कि ऊन अथवा रेशमी-वस्त्र से रगड़ा गया ऐम्बर हलकी वस्तुओं को आकर्षित करता है, ग्रीस देश के मिलेटस के निवासी थेल्स को जाता है। 'इलेक्ट्रिसिटी' शब्द भी ग्रीस की भाषा के शब्द *इलेक्ट्रॉन* से व्युत्पन्न हुआ है जिसका अर्थ *ऐम्बर* है। उस समय पदार्थों के ऐसे बहुत से युगल ज्ञात थे जो परस्पर रगड़े



चित्र 1.1 छड़ें तथा सरकंडे की गोलियाँ: सजातीय आवेश एक-दूसरे को प्रतिकर्षित तथा विजातीय आवेश एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।

जाने पर भूसे के तिनकों, सरकंडे की गोलियों, कागज़ के छोटे टुकड़ों आदि हलकी वस्तुओं को आकर्षित कर लेते थे। आप इस प्रकार के प्रभाव का अनुभव अपने घर पर निम्नलिखित क्रियाकलाप द्वारा कर सकते हैं। सफ़ेद कागज़ की लंबी पतली पट्टियाँ काटकर उन पर धीरे से इस्तरी कीजिए। इन पट्टियों को टेलीविज़न के पर्दे अथवा कंप्यूटर के मॉनिटर के निकट लाइए। आप देखेंगे कि पट्टियाँ पर्दे की ओर आकर्षित हो जाती हैं। वास्तव में वे कुछ क्षण तक पर्दे से चिपकी रहती हैं।

यह भी प्रेक्षित किया गया कि यदि ऊन अथवा रेशम के कपड़े से रगड़ी हुई दो काँच की छड़ों को एक-दूसरे के निकट लाएँ तो वे एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करती हैं [चित्र 1.1(a)]। ऊन की वे लड़ियाँ अथवा रेशम के कपड़े के वे टुकड़े जिनसे इन छड़ों को रगड़ा गया था, वे भी परस्पर एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं परंतु काँच की छड़ तथा ऊन एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं। इसी प्रकार, बिल्ली की समूर से रगड़ी हुई दो प्लास्टिक की छड़ें एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करती हैं [चित्र 1.1(b)] परंतु समूर को आकर्षित करती हैं। इसके विपरीत, प्लास्टिक की छड़ें काँच की छड़ों को आकर्षित करती हैं [चित्र 1.1(c)] तथा सिल्क अथवा ऊन जिससे काँच की छड़ों को रगड़ा गया था, को प्रतिकर्षित करती हैं। काँच की छड़ समूर को प्रतिकर्षित करती है।

यदि समूर से रगड़ी हुई किसी प्लास्टिक की छड़ को रेशम अथवा नायलॉन के धागों से लटकी हुई दो छोटी सरकंडे की गोलियों (आजकल हम पॉलिएस्टरीन की गोलियाँ भी उपयोग कर सकते हैं) से स्पर्श करा दें, तो ये गोलियाँ एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करती हैं [चित्र 1.1(d)] तथा स्वयं छड़ से भी प्रतिकर्षित होती हैं। यही प्रभाव उस समय भी दिखाई देता है जब सरकंडे की गोलियों को रेशम से रगड़ी काँच की छड़ से स्पर्श कराते हैं [चित्र 1.1(e)]। यह एक नाटकीय प्रेक्षण है कि काँच की छड़ से स्पर्श की हुई सरकंडे की गोली दूसरी प्लास्टिक छड़ से स्पर्श की गई सरकंडे की गोली को आकर्षित करती है [चित्र 1.1(f)]।

वर्षों के प्रयास तथा सावधानीपूर्वक किए गए प्रयोगों एवं उनके विश्लेषणों द्वारा सरल प्रतीत होने वाले ये तथ्य स्थापित हो पाए हैं। विभिन्न वैज्ञानिकों द्वारा किए गए बहुत से सावधानीपूर्ण अध्ययनों के पश्चात यह निष्कर्ष निकाला गया है कि एक राशि होती है, जिसे वैद्युत आवेश कहते हैं और यह केवल दो प्रकार के ही हो सकते हैं। वैद्युत आवेश कहलाने वाली राशि के केवल दो प्रकार ही होते हैं। हम कहते हैं कि प्लास्टिक एवं काँच की छड़, रेशम, समूर, सरकंडे की गोलियाँ आदि पिंड विद्युन्मय हो गए हैं। रगड़ने पर ये वैद्युत आवेश अर्जित कर लेते हैं। सरकंडे की गोलियों पर किए गए ये प्रयोग यह सुझाते हैं कि आवेश दो प्रकार के होते हैं तथा हम यह पाते हैं कि (i) *सजातीय आवेश* एक-दूसरे को प्रतिकर्षित तथा (ii) *विजातीय आवेश* एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं। ये प्रयोग यह भी प्रदर्शित करते हैं कि स्पर्श करने पर, आवेश छड़ से सरकंडे की गोली में स्थानांतरित हो जाते हैं। यह कहा जाता है कि सरकंडे की गोलियाँ स्पर्श द्वारा विद्युन्मय अथवा आवेशित (आविष्ट) होती हैं। वह गुण जो दो प्रकार के आवेशों में भेद करता है, *आवेश की ध्रुवता* कहलाता है।

जब काँच की छड़ को रेशम से रगड़ते हैं तो छड़ एक प्रकार का आवेश अर्जित करती है तथा रेशम दूसरे प्रकार का आवेश अर्जित करता है। यह उन सभी वस्तुओं के युगल के लिए सत्य है जो विद्युन्मय होने के लिए परस्पर रगड़े जाते हैं। अब यदि विद्युन्मय काँच की छड़ को उस रेशम के संपर्क में लाते हैं जिससे उसे रगड़ा गया था, तो वे अब एक-दूसरे को आकर्षित नहीं करते। ये अब अन्य हलकी वस्तुओं को भी आकर्षित अथवा प्रतिकर्षित नहीं करते जैसा कि ये विद्युन्मय होने पर कर रहे थे।

सरल स्थिर वैद्युतकीय प्रयोगों से संबंधित प्रभावी सजीव चित्रण
http://www.physics.ucla.edu/travoltage/HTML/staticElectricity.htm

© NCERT not to be republished

इस प्रकार, रगड़ने के पश्चात वस्तुओं द्वारा अर्जित आवेश आवेशित वस्तुओं को एक-दूसरे के संपर्क में लाने पर लुप्त हो जाता है। इन प्रेक्षणों से आप क्या निष्कर्ष निकाल सकते हैं? यह तो केवल इतना बताता है कि वस्तुओं द्वारा अर्जित विजातीय आवेश एक-दूसरे के प्रभाव को निष्फल कर देते हैं। इसीलिए अमेरिकी वैज्ञानिक बेंजामिन फ्रेंकलिन ने आवेशों को धनात्मक तथा ऋणात्मक कहा। हम जानते हैं कि जब हम किसी धनात्मक संख्या को उसी परिमाण की ऋणात्मक संख्या से जोड़ते हैं तो योगफल शून्य होता है। आवेशों को धनात्मक तथा ऋणात्मक नाम देने के पीछे भी यही तर्क रहा होगा। परिपाटी के अनुसार काँच की छड़ अथवा बिल्ली के समूर पर आवेश धनात्मक कहलाता है तथा प्लास्टिक-छड़ अथवा रेशम पर आवेश ऋणात्मक कहलाता है। जब किसी वस्तु पर कोई आवेश होता है तो वह वस्तु *विद्युन्मय* अथवा *आवेशित* (आविष्ट) कही जाती है। जब उस पर कोई आवेश नहीं होता तब उसे *अनावेशित* कहते हैं।

विद्युत तथा चुंबकत्व का एकीकरण

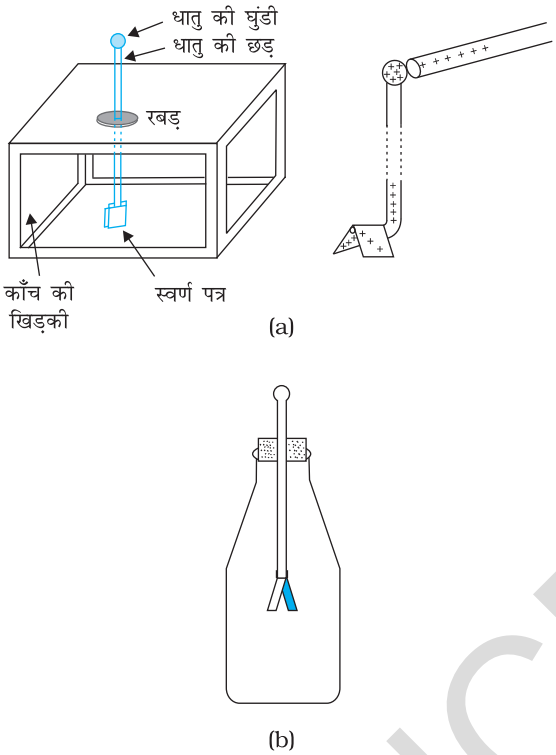
प्राचीन काल में विद्युत तथा चुंबकत्व पृथक विषय समझे जाते थे। विद्युत के अंतर्गत काँच की छड़ों, बिल्ली के समूर, बैटरी, तड़ित आदि के आवेशों पर चर्चा होती थी जबकि चुंबकत्व के अंतर्गत चुंबकों, लौह-छीलन, चुंबकीय सुई आदि में अन्योन्य क्रिया का वर्णन किया जाता था। सन 1820 ई. में डेनमार्क के वैज्ञानिक ऑर्स्टेड ने यह पाया कि चुंबकीय सुई के निकट रखे तार से विद्युत धारा प्रवाहित करने पर सुई विक्षेपित हो जाती है। ऐम्पियर तथा फैराडे ने इस प्रेक्षण का यह कहकर पोषण किया कि गतिशील आवेश चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं तथा गतिशील चुंबक विद्युत धारा उत्पन्न करते हैं। विद्युत तथा चुंबकत्व में एकीकरण तब स्थापित हुआ जब स्कॉटलैंड के भौतिकविद मैक्सवेल तथा हॉलैंड के भौतिकविद लोरेंज ने एक सिद्धांत प्रतिपादित किया जिसमें उन्होंने यह दर्शाया कि ये दोनों विषय एक-दूसरे पर निर्भर हैं। इस क्षेत्र को *वैद्युतचुंबकत्व* कहते हैं। हमारे चारों ओर की अधिकांश परिघटनाओं की व्याख्या वैद्युतचुंबकत्व के अंतर्गत की जा सकती है। वस्तुतः वे सभी बल जिनके विषय में हम विचार करते हैं, जैसे घर्षण पदार्थ को संयोजित रखने के लिए उनके परमाणुओं के बीच लगने वाला रासायनिक बल यहाँ तक कि सजीवों की कोशिकाओं में होने वाली प्रक्रियाओं की व्याख्या करने वाले बलों का उद्भव भी वैद्युतचुंबकीय बलों से हुआ है। वैद्युतचुंबकीय बल प्रकृति के मूल बलों में से एक है।

मैक्सवेल ने चार समीकरण प्रस्तुत किए जिनकी क्लासिकल वैद्युतचुंबकत्व में वही भूमिका है, जो यांत्रिकी में न्यूटन की गति की समीकरणों तथा गुरुत्वाकर्षण नियम की है। उन्होंने यह भी प्रमाणित किया कि प्रकाश की प्रकृति वैद्युतचुंबकीय है तथा इसकी चाल केवल विद्युत तथा चुंबकीय मापों द्वारा प्राप्त की जा सकती है। उन्होंने यह भी दावा किया कि प्रकाशिकी के विज्ञान तथा विद्युत एवं चुंबकत्व में प्रगाढ़ संबंध है।

विद्युत एवं चुंबकत्व का विज्ञान आधुनिक प्रौद्योगिक सभ्यता की नींव है। विद्युत शक्ति, दूरसंचार, रेडियो और टेलीविज़न तथा दैनिक जीवन में उपयोग होने वाली विस्तृत प्रकार की प्रायोगिक युक्तियाँ इसी विज्ञान के सिद्धांतों पर आधारित हैं। यद्यपि गतिशील आवेशित कण विद्युत तथा चुंबकीय दोनों बल आरोपित करते हैं, परंतु ऐसे निर्देश फ्रेम जिसमें सभी आवेश विराम में हों, आरोपित बल केवल विद्युत बल होते हैं। आप जानते हैं कि गुरुत्वाकर्षण बल दीर्घ-परासी बल है। इसका प्रभाव वहाँ भी अनुभव किया जाता है, जहाँ अन्योन्य क्रिया करने वाले कणों के बीच की दूरी अत्यधिक होती है क्योंकि यह बल अन्योन्य क्रिया करने वाले पिंडों के बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुसार घटता है। इस अध्याय के अंतर्गत हम यह सीखेंगे कि विद्युत बल भी उतना ही व्यापक है तथा वास्तव में गुरुत्वाकर्षण बल की तुलना में परिमाण की कोटि कई गुना प्रबल है (भौतिकी पाठ्यपुस्तक कक्षा 11 का अध्याय 1 देखिए)।

आवेशों की उपस्थिति के संसूचन के लिए एक सरल उपकरण *स्वर्ण पत्र विद्युतदर्शी* है [चित्र 1.2 (a)]। इसमें एक बॉक्स में धातु की एक छड़ ऊर्ध्वाधरतः लगी होती है जिसके निचले सिरे पर सोने के वर्क की दो पट्टियाँ बँधी होती हैं। जब कोई आवेशित वस्तु छड़ के ऊपरी सिरे को छूती है तो छड़ में होता हुआ आवेश सोने के वर्कों पर आ जाता है और वे एक-दूसरे से दूर हट जाते हैं। आवेश जितना अधिक होता है, वर्कों के निचले सिरों के बीच उतनी ही अधिक दूरी हो जाती है।

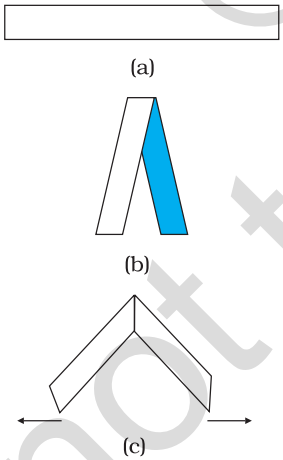
© NCERT not to be republished



चित्र 1.2 विद्युतदर्शी (a) स्वर्ण पत्र विद्युतदर्शी (b) सरल विद्युतदर्शी की रूपरेखा।

विद्यार्थी नीचे बताए अनुसार सरल विद्युतदर्शी बना सकते हैं [चित्र 1.2(b)]। परदे लटकाने वाली ऐलुमिनियम की ऐसी बारीक छड़ लीजिए जिसके दोनों सिरों पर गोले जुड़े हों। इसका लगभग 20 cm लंबा एक टुकड़ा इस प्रकार काटिए जिससे छड़ का एक सिरा चपटा तथा दूसरा सिरा गोले वाला बन जाए। एक इतनी बड़ी बोतल लीजिए जिसके मुँह पर कॉर्क लगाकर उस कॉर्क में छेद करके चित्र में दर्शाए अनुसार इस छड़ को फिट किया जा सके। छड़ का गोले वाला सिरा बोतल के बाहर तथा कटा सिरा बोतल के भीतर रखना चाहिए। लंबा पतला ऐलुमिनियम पत्र (लगभग 6 cm) लेकर इसे बीच में मोड़िए और इसे छड़ के चपटे सिरे पर सेल्युलोस-टेप के साथ जोड़ दीजिए। इस प्रकार आपके विद्युतदर्शी के पत्र बन जाते हैं। अब कॉर्क को बोतल में इस प्रकार फिट करिए कि छड़ का गोले वाला सिरा कॉर्क से लगभग 5 cm बाहर निकला रहे। बोतल के भीतर एक कागज़ का पैमाना पहले से ही पत्रों की पृथकता को मापने के लिए लगाया जा सकता है। पत्रों की पृथकता विद्युतदर्शी पर आवेश की मात्रा की एक माप होती है।

यह समझने के लिए कि विद्युतदर्शी किस प्रकार कार्य करता है सफ़ेद कागज़ की वह पट्टियाँ लीजिए जिनका उपयोग हमने आवेशित वस्तुओं द्वारा आकर्षण देखने के लिए किया था। पट्टी को आधा मोड़िए ताकि पट्टी पर मोड़ का निशान बन जाए। पट्टी को खोलिए तथा इस पर चित्र 1.3 में दर्शाए अनुसार, पर्वतीय मोड़ बनाकर हलकी इस्तरी कीजिए। इसे मोड़ पर चुटकी भरकर पकड़िए। आप यह पाएँगे कि दोनों अर्धभाग एक-दूसरे से दूर जाते हैं। यह दर्शाता है कि इस्तरी करने पर पट्टी आवेश अर्जित कर लेती है। जब आप पट्टी को आधा मोड़ते हैं तो दोनों अर्धभागों पर सजातीय आवेश होता है, अतः वे एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं। पत्र विद्युतदर्शी में भी यही प्रभाव दिखाई देता है। परदे की छड़ के गोले को विद्युन्मय वस्तु से स्पर्श कराने पर परदे की छड़ पर आवेश स्थानांतरित होकर उसके दूसरे सिरे पर जुड़े ऐलुमिनियम पत्रों पर पहुँच जाता है। पत्र के दोनों अर्धभाग सजातीय आवेश अर्जित करने के कारण एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं। पत्रों की अपसारिता द्वारा उन पर आवेश की मात्रा सुनिश्चित की जाती है। आइए, अब पहले यह समझें कि द्रव्य से बनी वस्तुएँ क्यों आवेश को अर्जित करती हैं।



चित्र 1.3 कागज़-पट्टी प्रयोग।

सभी पदार्थ परमाणुओं और/अथवा अणुओं से बने हैं। यद्यपि वस्तुएँ सामान्यतः वैद्युत उदासीन होती हैं, उनमें आवेश तो होते हैं परंतु उनके ये आवेश ठीक-ठीक संतुलित होते हैं। अणुओं को सँभालने वाला रासायनिक बल, ठोसों में परमाणुओं को एकसाथ थामे रखने वाले बल, गोंद का आसंजक बल, पृष्ठ तनाव से संबद्ध बल–इन सभी बलों की मूल प्रकृति *वैद्युतीय* है, और ये आवेशित कणों के बीच लगने वाले विद्युत बलों से उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार, वैद्युतचुंबकीय बल सर्वव्यापी है और यह हमारे जीवन से संबद्ध प्रत्येक क्षेत्र में सम्मिलित है। अतः यह आवश्यक है कि हम इस प्रकार के बल के विषय में अधिक जानकारी प्राप्त करें।

किसी उदासीन वस्तु को आवेशित करने के लिए हमें उससे एक प्रकार के आवेश को जोड़ने अथवा हटाने की आवश्यकता होती है। जब हम यह कहते हैं कि कोई वस्तु आवेशित है तो हम सदैव ही इस आवेश के आधिक्य अथवा अभाव का उल्लेख करते हैं। ठोसों में कुछ इलेक्ट्रॉन परमाणु में कम कसकर आबद्ध होने के कारण, वे आवेश होते हैं जो एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरित हो जाते हैं। इस प्रकार कोई वस्तु अपने कुछ इलेक्ट्रॉन खोकर धनावेशित हो सकती है। इसी प्रकार किसी वस्तु को इलेक्ट्रॉन देकर ऋणावेशित भी बनाया जा सकता है। जब हम काँच की छड़ को

© NCERT not to be republished

रेशम से रगड़ते हैं तो छड़ के कुछ इलेक्ट्रॉन रेशम के कपड़े में स्थानांतरित हो जाते हैं। इस प्रकार छड़ धनावेशित तथा रेशम ऋणावेशित हो जाता है। रगड़ने की प्रक्रिया में कोई नया आवेश उत्पन्न नहीं होता। साथ ही स्थानांतरित होने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या वस्तु में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या की तुलना में एक बहुत छोटा अंश होती है। और केवल वस्तु के कम कसकर आबद्ध इलेक्ट्रॉन ही रगड़कर एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरित किए जा सकते हैं। इसीलिए, जब किसी वस्तु को किसी अन्य वस्तु से रगड़ा जाता है, तो वस्तुएँ आवेशित हो जाती हैं और यही कारण है कि रगड़ द्वारा वस्तुओं पर आए आवेश को दर्शाने के लिए हमें पदार्थों के कुछ निश्चित युगलों तक ही अटके रहना पड़ता है।

1.3 चालक तथा विद्युतरोधी

हाथ में पकड़ी धातु की छड़ ऊन से रगड़े जाने पर आवेशित होने का कोई संकेत नहीं दर्शाती। परंतु, यदि धातु की छड़ पर लकड़ी अथवा प्लास्टिक का हैंडिल लगा है और उसके धातु के भाग को स्पर्श नहीं किया गया है, तो वह आवेशित होने का संकेत दे देती है। मान लीजिए हम किसी ताँबे के तार के एक सिरे को उदासीन सरकंडे की गोली से जोड़ देते हैं तथा दूसरे सिरे को ऋणावेशित प्लास्टिक-छड़ से जोड़ देते हैं तो हम यह पाते हैं कि सरकंडे की गोली ऋणावेशित हो जाती है। यदि इसी प्रयोग को नॉयलोन के धागे अथवा रबर के छल्ले के साथ दोहराएँ तो प्लास्टिक-छड़ से सरकंडे की गोली में कोई आवेश स्थानांतरित नहीं होता। छड़ से गोली में आवेश के स्थानांतरित न होने का क्या कारण है?

कुछ पदार्थ तुरंत ही अपने में से होकर विद्युत को प्रवाहित होने देते हैं जबकि कुछ अन्य ऐसा नहीं करते। जो पदार्थ आसानी से अपने में से होकर विद्युत को प्रवाहित होने देते हैं उन्हें *चालक* कहते हैं। उनमें ऐसे वैद्युत आवेश (इलेक्ट्रॉन) होते हैं जो पदार्थ के भीतर गति के लिए अपेक्षाकृत स्वतंत्र होते हैं। धातुएँ, मानव तथा जंतु शरीर और पृथ्वी चालक हैं। काँच, पॉर्सेलेन, प्लास्टिक, नॉयलोन, लकड़ी जैसी अधिकांश अधातुएँ अपने से होकर प्रवाहित होने वाली विद्युत पर उच्च प्रतिरोध लगाती हैं। इन्हें *विद्युतरोधी* कहते हैं। अधिकांश पदार्थ ऊपर वर्णित इन दो वर्गों में से किसी एक में आते हैं।*

जब कुछ आवेश किसी चालक पर स्थानांतरित होता है तो वह तुरंत ही उस चालक के समस्त पृष्ठ पर फैल जाता है। इसके विपरीत यदि कुछ आवेश किसी विद्युतरोधी को दें तो वह वहीं पर रहता है। ऐसा क्यों होता है, यह आप अगले अध्याय में सीखेंगे।

पदार्थों का यह गुण हमें बताता है कि सूखे बालों में कंघी करने अथवा रगड़ने पर नॉयलोन या प्लास्टिक की कंघी क्यों आवेशित हो जाती है, परंतु धातु की वस्तुएँ जैसे चम्मच आवेशित क्यों नहीं होती? धातुओं से आवेश का क्षरण हमारे शरीर से होकर धरती में हो जाता है, ऐसा होने का कारण यह है कि धातु तथा हमारा शरीर दोनों ही विद्युत के अच्छे चालक हैं।

जब हम किसी आवेशित वस्तु को पृथ्वी के संपर्क में लाते हैं तो उसका अतिरिक्त आवेश जोड़ने वाले चालक (जैसे हमारा शरीर) में से होते हुए क्षणिक विद्युत धारा उत्पन्न करके भूमि में चला जाता है। आवेशों के भूमि के साथ बंटन की इस प्रक्रिया को *भूसंपर्कण* (भूसंपर्कित करना) कहते हैं। भूसंपर्कण विद्युत परिपथों एवं अनुप्रयुक्तियों की सुरक्षा के लिए की गई एक व्यवस्था है। धातु की एक मोटी प्लेट को भूमि में गहराई तक गाड़ा जाता है तथा इस प्लेट से मोटे तारों को निकालकर भवनों में इन तारों का उपयोग मुख्य आपूर्ति के निकट भूसंपर्कण के लिए किया जाता

* एक तीसरी श्रेणी जिसे *अर्धचालक* कहते हैं, आवेशों की गति में अवरोध उत्पन्न करती है। इस अवरोध का परिमाण चालकों तथा विद्युतरोधियों के मध्यवर्ती होता है।

© NCERT not to be republished

है। हमारे घरों में विद्युत की आपूर्ति के लिए तीन तार उपयोग किए जाते हैं : विद्युन्मय तार, उदासीन तार तथा भूसंपर्क तार। इनमें से पहले दो तार विद्युत धारा को शक्ति स्टेशन से युक्तियों तक ले जाते हैं तथा तीसरा तार भूमि में गड़ी धातु की प्लेट से जोड़ा जाता है। विद्युत अनुप्रयुक्तियों; जैसे – विद्युत इस्तरी, रेफ्रिजरेटर, टेलीविज़न के धातु के आवरण भूसंपर्क तार से जुड़े होते हैं। परिपथ में कोई त्रुटि होने पर अथवा विद्युन्मय तार का धातु के आवरण से स्पर्श होने पर आवेश भूमि में प्रवाहित हो जाता है। इन अनुप्रयुक्तियों को कोई हानि नहीं होती तथा मनुष्यों को कोई क्षति भी नहीं होती; यदि भूसंपर्क तार न हो तो क्षति पहुँचना/दुर्घटना होना अपरिहार्य हो जाएगा, क्योंकि मानव शरीर विद्युत का अच्छा चालक है।

1.4 प्रेरण द्वारा आवेशन

जब हम किसी सरकंडे की गोली से किसी आवेशित प्लास्टिक-छड़ को स्पर्श कराते हैं तो छड़ का कुछ आवेश सरकंडे की गोली पर स्थानांतरित हो जाता है और वह आवेशित हो जाती है। इस प्रकार सरकंडे की गोली संपर्क द्वारा आवेशित होती है। तब यह प्लास्टिक-छड़ से प्रतिकर्षित होती है तथा काँच की छड़ जो विजातीय आवेशित है, की ओर आकर्षित होती है। परंतु, कोई विद्युन्मय छड़ हलकी वस्तुओं को क्यों आकर्षित करती है, इस प्रश्न का उत्तर अभी भी नहीं मिल पाया है। आइए, हम यह समझने का प्रयास करें कि निम्नलिखित प्रयोग को करने पर क्या हो सकता है।

(i) विद्युतरोधी स्टैंडों पर रखे दो धातु के गोलों A एवं B को चित्र 1.4 (a) में दर्शाए अनुसार एक दूसरे के संपर्क में लाइए।

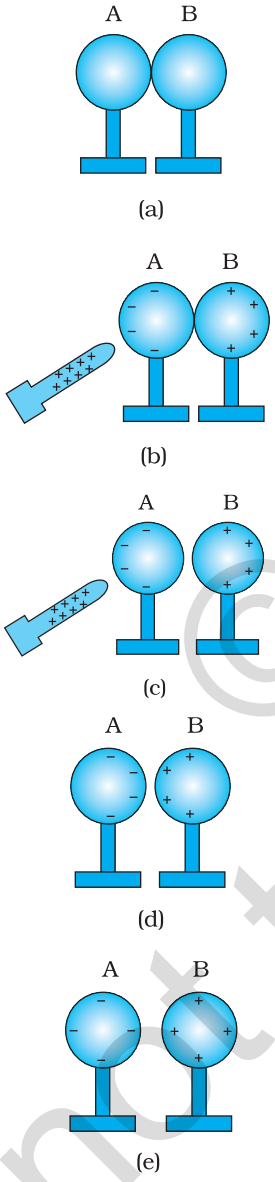
(ii) एक धनावेशित छड़ इन गोलों में किसी एक (माना A) के निकट लाइए तथा यह सावधानी बरतिए कि छड़ गोले से स्पर्श न करे। गोले के मुक्त इलेक्ट्रॉन छड़ की ओर आकर्षित होते हैं। गोले B के पिछले पृष्ठ पर धनावेश का आधिक्य हो जाता है। दोनों प्रकार के आवेश धातु के गोलों में आबद्ध रहते हैं, पलायन नहीं कर पाते। अतः वे पृष्ठों पर ही चित्र 1.4(b) में दर्शाए अनुसार रहते हैं। गोले A के बाएँ पृष्ठ पर ऋणावेश का आधिक्य तथा गोले के दाएँ पृष्ठ पर धनात्मक आवेश का आधिक्य होता है। तथापि गोले के सारे इलेक्ट्रॉन गोले A के बाएँ पृष्ठ पर संचित नहीं होते। जैसे ही गोले A के बाएँ पृष्ठ पर इलेक्ट्रॉन एकत्र होने शुरू होते हैं अन्य इलेक्ट्रॉन इनके द्वारा प्रतिकर्षित हो जाते हैं। कुछ ही क्षण में छड़ के आकर्षण के कारण क्रिया तथा संचित आवेशों के कारण प्रतिकर्षण के बीच साम्य स्थापित हो जाता है। चित्र 1.4(b) साम्यावस्था को दर्शाता है। इस प्रक्रिया को *आवेश का प्रेरण* कहते हैं तथा यह लगभग तात्कालिक है। जब तक काँच की छड़ गोले के निकट रहती है तब तक चित्र में दर्शाए अनुसार संचित आवेश पृष्ठ पर रहता है। यदि छड़ को हटा लेते हैं तो आवेशों पर कोई बाह्य बल कार्य नहीं करता तथा वे अपनी उदासीन अवस्था में वापस लौट जाते हैं।

(iii) चित्र 1.4(c) में दर्शाए अनुसार काँच की छड़ को बाएँ गोले के निकट रखते हुए दोनों गोलों को एक-दूसरे से कुछ पृथक कीजिए। ऐसा करने पर दोनों गोले विजातीय आवेशों द्वारा आवेशित होकर एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।

(iv) छड़ को हटा लीजिए। गोलों पर आवेश चित्र 1.4(d) में दर्शाए अनुसार स्वयं को पुनर्व्यवस्थित कर लेते हैं। अब दोनों गोलों के बीच पृथकन अधिक कीजिए। ऐसा करने पर चित्र 1.4(e) में दर्शाए अनुसार आवेश गोलों पर एकसमान रूप से वितरित हो जाता है।

इस प्रक्रिया में धातु के गोले आवेशित हो जाते हैं। धनावेशित काँच की छड़ के आवेश की कोई क्षति नहीं होती, जो संपर्क द्वारा आवेशित करने की प्रक्रिया के विपरीत है।

जब किसी विद्युन्मय छड़ को हलकी वस्तुओं के निकट लाते हैं तो यही प्रभाव होता है। छड़ वस्तुओं के पास वाले पृष्ठ पर विजातीय आवेश प्रेरित करती है तथा सजातीय आवेश वस्तुओं के



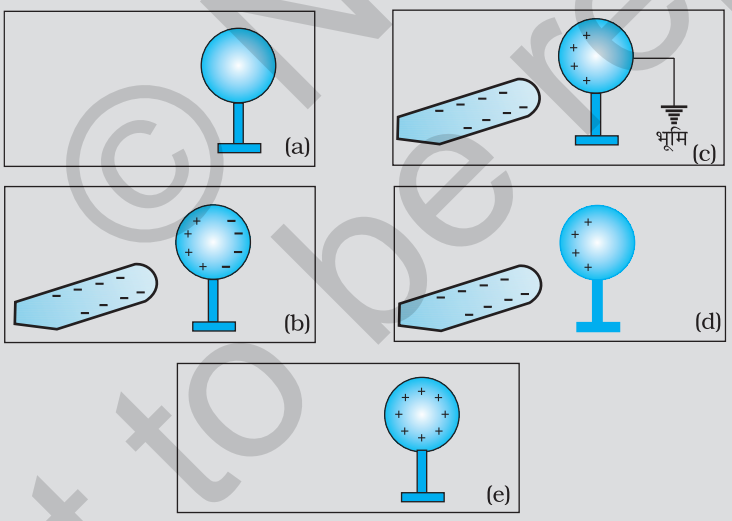
चित्र 1.4 दो गोलों के साथ प्रेरण द्वारा आवेशन।

© NCERT not to be republished

दूर वाले भाग पर पहुँच जाता है [ऐसा तब भी होता है जब हलकी वस्तु चालक नहीं होती। यह प्रक्रिया किस प्रकार होती है इसका स्पष्टीकरण बाद में अनुच्छेद 1.10 तथा 2.10 में किया गया है]। दोनों प्रकार के आवेशों के केंद्रों में कुछ पृथकन होता है। हम जानते हैं कि सजातीय आवेशों में प्रतिकर्षण तथा विजातीय आवेशों में आकर्षण होता है। तथापि, बल का परिमाण आवेशों के बीच दूरी पर निर्भर करने के कारण आकर्षण बल प्रतिकर्षण बल की तुलना में अधिक होता है। फलस्वरूप कागज़ के टुकड़े, सरकंडे की गोली आदि हलके होने के कारण छड़ की ओर खिंच आते हैं।

उदाहरण 1.1 आप किसी धातु के गोले को स्पर्श किए बिना कैसे धनावेशित कर सकते हैं?

हल चित्र 1.5(a) में किसी विद्युतरोधी धातु के स्टैंड पर कोई अनावेशित धातु का गोला रखा दर्शाया गया है। चित्र 1.5(b) में दर्शाए अनुसार इस गोले के निकट कोई ऋणावेशित छड़ लाइए। गोले के मुक्त इलेक्ट्रॉन प्रतिकर्षण के कारण दूर जाकर दूरस्थ सिरे पर एकत्र हो जाते हैं। पास का सिरा इलेक्ट्रॉनों की कमी के कारण धनावेशित हो जाता है। जब गोले की धातु के मुक्त इलेक्ट्रॉनों पर लगने वाला नेट बल शून्य हो जाता है तो आवेशों के वितरण की यह प्रक्रिया बंद हो जाती है। किसी चालक तार द्वारा गोले को भूसंपर्कित कीजिए। इलेक्ट्रॉन भूमि में प्रवाहित हो जाएँगे जबकि पास के सिरे का धनावेश, छड़ के ऋणावेश के आकर्षण बल के कारण चित्र 1.5(c) में दर्शाए अनुसार बद्ध रहेगा। गोले का भूसंपर्क तोड़ दीजिए। पास के सिरे पर धनावेश की बद्धता बनी रहती है [चित्र 1.5(d)]। विद्युन्मय छड़ को हटा लीजिए। चित्र 1.5(e) में दर्शाए अनुसार धनावेश गोले के पृष्ठ पर एकसमान रूप से फैल जाता है।



चित्र 1.5

इस प्रयोग में धातु का गोला प्रेरण की प्रक्रिया द्वारा आवेशित हो जाता है तथा छड़ अपना कोई आवेश नहीं खोती।

प्रेरण द्वारा धातु के गोले को ऋणावेशित करने की प्रक्रिया के भी ये ही चरण होते हैं, इसमें धनावेशित छड़ गोले के समीप लाई जाती है। इस प्रकरण में इलेक्ट्रॉन भूमि से गोले में उस समय स्थानांतरित (प्रवाहित) होते हैं जब तार द्वारा गोले को भूसंपर्कित किया जाता है। क्या आप इसका कारण स्पष्ट कर सकते हैं?

उदाहरण 1.1

भौतिकी

प्रेरण द्वारा दो गोलों के निकाय के आवेशन संबंधी प्रभावी सजीव चित्रण
http://www.physicsclassroom.com/mmedia/estatics/estatic/ifsr.cfm

© NCERT not to be republished

1.5 वैद्युत आवेश के मूल गुण

हमने यह देखा है कि दो प्रकार के आवेश होते हैं– धनावेश तथा ऋणावेश तथा इनमें एक-दूसरे के प्रभाव को निरस्त करने की प्रवृत्ति होती है। अब, हम यहाँ वैद्युत आवेश के अन्य गुणों का वर्णन करेंगे।

यदि आवेशित वस्तुओं का साइज़ उनके बीच की दूरी की तुलना में बहुत कम होता है तो हम उन्हें बिंदु आवेश मानते हैं। यह मान लिया जाता है कि वस्तु का संपूर्ण आवेश आकाश में एक बिंदु पर संकेंद्रित है।

1.5.1 आवेशों की योज्यता

अब तक हमने आवेश की परिमाणात्मक परिभाषा नहीं दी है; इसे हम अगले अनुभाग में समझेंगे। अंतरिम रूप में हम यह मानेंगे कि ऐसा किया जा सकता है और फिर आगे बढ़ेंगे। यदि किसी निकाय में दो बिंदु आवेश q_1 तथा q_2 हैं तो निकाय का कुल आवेश q_1 तथा q_2 को बीजगणितीय रीति से जोड़ने पर प्राप्त होता है, अर्थात आवेशों को वास्तविक संख्याओं की भाँति जोड़ा जा सकता है अथवा आवेश द्रव्यमान की भाँति अदिश राशि है। यदि किसी निकाय में n आवेश $q_1, q_2, q_3 \ldots q_n$, हैं तो निकाय का कुल आवेश $q_1 + q_2 + q_3 + \ldots + q_n$ है। आवेश का द्रव्यमान की भाँति ही परिमाण होता है दिशा नहीं होती। तथापि आवेश तथा द्रव्यमान में एक अंतर है। किसी वस्तु का द्रव्यमान सदैव धनात्मक होता है जबकि कोई आवेश या तो धनात्मक हो सकता है अथवा ऋणात्मक। किसी निकाय के आवेश का योग करते समय उसके उपयुक्त चिह्न का उपयोग करना होता है। उदाहरणार्थ, किसी निकाय में किसी यादृच्छिक मात्रक में मापे गए पाँच आवेश +1, +2, –3, +4 तथा –5 हैं, तब उसी मात्रक में निकाय का कुल आवेश = (+1) + (+2) + (–3) + (+4) + (–5) = –1 है।

1.5.2 वैद्युत आवेश संरक्षित है

हम इस तथ्य की ओर पहले ही संकेत दे चुके हैं कि जब वस्तुएँ रगड़ने पर आवेशित होती हैं तो एक वस्तु से दूसरी वस्तु में इलेक्ट्रॉनों का स्थानांतरण होता है, कोई नया आवेश उत्पन्न नहीं होता है, और न ही आवेश नष्ट होता है। वैद्युत आवेशयुक्त कणों को दृष्टि में लाएँ तो हमें आवेश के संरक्षण की धारणा समझ में आएगी। जब हम दो वस्तुओं को परस्पर रगड़ते हैं तो एक वस्तु जितना आवेश प्राप्त करती है, दूसरी वस्तु उतना आवेश खोती है। बहुत सी आवेशित वस्तुओं के किसी वियुक्त निकाय के भीतर, वस्तुओं में अन्योन्य क्रिया के कारण, आवेश पुनः वितरित हो सकते हैं, परंतु यह पाया गया है कि *वियुक्त निकाय का कुल आवेश सदैव संरक्षित रहता है।* आवेश-संरक्षण को प्रायोगिक रूप से स्थापित किया जा चुका है।

यद्यपि किसी प्रक्रिया में आवेशवाही कण उत्पन्न अथवा नष्ट किए जा सकते हैं, परंतु किसी वियुक्त निकाय के नेट आवेश को उत्पन्न करना अथवा नष्ट करना संभव नहीं है। कभी-कभी प्रकृति आवेशित कण उत्पन्न करती है : कोई न्यूट्रॉन एक प्रोटॉन तथा एक इलेक्ट्रॉन में रूपांतरित हो जाता है। इस प्रकार उत्पन्न प्रोटॉन तथा इलेक्ट्रॉन पर, परिमाण में समान एवं विजातीय (विपरीत) आवेश उत्पन्न होते हैं तथा इस रचना से पूर्व और रचना के पश्चात का कुल आवेश शून्य रहता है।

1.5.3 वैद्युत आवेश का क्वांटमीकरण

प्रायोगिक रूप से यह स्थापित किया गया है कि सभी मुक्त आवेश परिमाण में आवेश की मूल इकाई, जिसे e द्वारा दर्शाया जाता है, के पूर्णांकी गुणज हैं। इस प्रकार, किसी वस्तु के आवेश q को सदैव इस प्रकार दर्शाया जाता है –

© NCERT not to be republished

$q = ne$

यहाँ n कोई धनात्मक अथवा ऋणात्मक पूर्णांक है। आवेश की यह मूल इकाई इलेक्ट्रॉन अथवा प्रोटॉन के आवेश का परिमाण है। परिपाटी के अनुसार, इलेक्ट्रॉन के आवेश को ऋणात्मक मानते हैं; इसीलिए किसी इलेक्ट्रॉन पर आवेश $-e$ तथा प्रोटॉन पर आवेश $+e$ द्वारा व्यक्त करते हैं।

वैद्युत आवेश सदैव e का पूर्णांक गुणज होता है। इस तथ्य को *आवेश का क्वांटमीकरण* कहते हैं। भौतिकी में ऐसी बहुत सी अवस्थितियाँ हैं जहाँ कुछ भौतिक राशियाँ क्वांटीकृत हैं। आवेश के क्वांटमीकरण का सुझाव सर्वप्रथम अंग्रेज़ प्रयोगकर्ता फैराडे द्वारा खोजे गए विद्युत अपघटन के प्रायोगिक नियमों से प्राप्त हुआ था। सन् 1912 में मिलिकन ने इसे वास्तव में प्रायोगिक रूप से निदर्शित किया था।

मात्रकों की अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली (SI) में आवेश का मात्रक *कूलॉम* है, जिसका प्रतीक C है। एक कूलॉम को विद्युत धारा के मात्रक के पदों में परिभाषित किया जाता है जिसके विषय में आप अगले अध्याय में सीखेंगे। इस परिभाषा के अनुसार, एक कूलॉम वह आवेश है जो किसी तार में 1 A (ऐम्पियर) धारा 1 सेकंड तक प्रवाहित करता है [भौतिकी की पाठ्यपुस्तक कक्षा 11, भाग 1 का अध्याय 2 देखिए]। इस प्रणाली में, आवेश की मूल इकाई

$e = 1.602192 \times 10^{-19}$ C

इस प्रकार, –1C आवेश में लगभग 6×10^{18} इलेक्ट्रॉन होते हैं। स्थिरवैद्युतिकी में इतने विशाल परिमाण के आवेशों से यदा-कदा ही सामना होता है और इसीलिए हम इसके छोटे मात्रकों 1 μC (माइक्रोकूलॉम) = 10^{-6} C अथवा 1 mC (मिलीकूलॉम) = 10^{-3} C का उपयोग करते हैं।

यदि केवल इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन ही विश्व में आवेश के मूल मात्रक हैं तो सभी प्रेक्षित आवेशों को e का पूर्णांक गुणज होना चाहिए। इस प्रकार यदि किसी वस्तु में n_1 इलेक्ट्रॉन तथा n_2 प्रोटॉन हैं तो उस वस्तु पर कुल आवेश $n_2 \times e + n_1 \times (-e) = (n_2 - n_1)\, e$ है। चूँकि n_1 तथा n_2 पूर्णांक हैं, इनका अंतर भी एक पूर्णांक है। अत: किसी वस्तु पर आवेश सदैव e का पूर्णांक गुणज होता है जिसे e के चरणों में ही घटाया अथवा बढ़ाया जा सकता है।

किंतु, मूल मात्रक e का साइज़ बहुत छोटा होता है और स्थूल स्तर पर हम कुछ μC के आवेशों को व्यवहार में लाते हैं, इस पैमाने पर यह तथ्य दृष्टिगोचर नहीं होता कि किसी वस्तु का आवेश e के मात्रकों में घट अथवा बढ़ सकता है। आवेश की कणिकीय प्रकृति लुप्त हो जाती है और यह सतत प्रतीत होता है।

इस स्थिति की तुलना बिंदु तथा रेखा की ज्यामितीय परिकल्पनाओं से की जा सकती है। दूर से देखने पर कोई बिंदुकित रेखा हमें सतत प्रतीत होती है परंतु वह वास्तव में सतत नहीं होती। जिस प्रकार एक-दूसरे के अत्यधिक निकट के बहुत से बिंदु हमें सतत रेखा का आभास देते हैं, उसी प्रकार एक साथ लेने पर बहुत से छोटे आवेशों का संकलन भी सतत आवेश वितरण जैसा दिखाई देता है।

स्थूल स्तर पर हम ऐसे आवेशों से व्यवहार करते हैं जो इलेक्ट्रॉन e के आवेश की तुलना में परिमाण में अत्यधिक विशाल होते हैं। चूँकि $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, परिमाण में 1 μC आवेश में एक इलेक्ट्रॉन के आवेश का लगभग 10^{13} गुना आवेश होता है। इस पैमाने पर, यह तथ्य कि किसी वस्तु में आवेश की कमी अथवा वृद्धि केवल e के मात्रकों में ही हो सकती है, इस कथन से सर्वथा भिन्न नहीं है कि आवेश सतत मान ग्रहण कर सकता है। इस प्रकार, स्थूल स्तर पर आवेश के क्वांटीकरण का कोई व्यावहारिक महत्त्व नहीं है तथा इसकी उपेक्षा की जा सकती है। सूक्ष्म स्तर पर जहाँ आवेश के परिमाण e के कुछ दशक अथवा कुछ शतक कोटि के होते हैं अर्थात जिनकी गणना की जा

© NCERT not to be republished

सकती है, वहाँ पर आवेश विविक्त प्रतीत होते हैं तथा आवेश के क्वांटमीकरण की उपेक्षा नहीं की जा सकती। अत: यह जानना बहुत महत्वपूर्ण है कि किस परिमाण के आवेश की बात हो रही है।

उदाहरण 1.2

उदाहरण 1.2 यदि किसी पिंड से एक सेकंड में 10^9 इलेक्ट्रॉन किसी अन्य पिंड में स्थानांतरित होते हैं तो 1C आवेश के स्थानांतरण में कितना समय लगेगा?

हल 1 सेकंड में पिंड से 10^9 इलेक्ट्रॉन निकलते हैं, अत: पिंड द्वारा 1s में दिया जाने वाला आवेश $1.6 \times 10^{-19} \times 10^9$ C $= 1.6 \times 10^{-10}$ C

तब 1 C आवेश के संचित होने के समय का आकलन 1 C $\div$ (1.6×10^{-10} C/s) $= 6.25 \times 10^9$ s $= 6.25 \times 10^9 \div (365 \times 24 \times 3600)$ वर्ष = 198 वर्ष। इस प्रकार जिस पिंड से 10^9 इलेक्ट्रॉन प्रति सेकंड की दर से उत्सर्जन हो रहा है, उससे 1 C आवेश संचित करने में लगभग 200 वर्ष लगेंगे। अत: बहुत से व्यावहारिक कार्यों की दृष्टि से एक कूलॉम आवेश का एक अति विशाल मात्रक है।

तथापि यह जानना भी अति महत्वपूर्ण है कि किसी पदार्थ के 1 घन सेंटीमीटर टुकड़े में लगभग कितने इलेक्ट्रॉन होते हैं। 1 cm भुजा के ताँबे के घन में लगभग 2.5×10^{24} इलेक्ट्रॉन होते हैं।

उदाहरण 1.3

उदाहरण 1.3 एक कप जल में कितने धन तथा ऋण आवेश होते हैं?

हल मान लीजिए कि एक कप जल का द्रव्यमान 250 g है। जल का अणु द्रव्यमान 18 g है। इस प्रकार एक मोल ($= 6.02 \times 10^{23}$ अणु) जल का द्रव्यमान 18 g है। अत: एक कप जल में अणुओं की संख्या = $(250/18) \times 6.02 \times 10^{23}$ ।

जल के प्रत्येक अणु में दो हाइड्रोजन परमाणु तथा एक ऑक्सीजन परमाणु होता है, अर्थात, 10 इलेक्ट्रॉन तथा 10 प्रोटॉन होते हैं। अत: कुल धन तथा कुल ऋण आवेश परिमाण में समान होते हैं। आवेश का यह परिमाण = $(250/18) \times 6.02 \times 10^{23} \times 10 \times 1.6 \times 10^{-19}$ C = 1.34×10^7 C

1.6 कूलॉम नियम

कूलॉम नियम दो बिंदु आवेशों के बीच लगे बल के विषय में एक मात्रात्मक प्रकथन है। जब आवेशित वस्तुओं के साइज़ उनको पृथक करने वाली दूरी की तुलना में बहुत कम होते हैं तो ऐसी आवेशित वस्तुओं के साइज़ों की उपेक्षा की जा सकती है और उन्हें *बिंदु आवेश* माना जा सकता है। कूलॉम ने दो बिंदु आवेशों के बीच लगे बल की माप की और यह पाया कि यह बल दोनों आवेशों के परिमाणों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती है तथा यह दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा के अनुदिश कार्य करता है। इस प्रकार यदि दो बिंदु आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच निर्वात में पृथकन r है, तो इनके बीच लगे बल (**F**) का परिमाण है

$$F = k \frac{|q_1 \; q_2|}{r^2} \qquad (1.1)$$

अपने प्रयोगों से किस प्रकार कूलॉम इस नियम तक पहुँचे? कूलॉम ने धातु के दो आवेशित गोलों के बीच लगे बल की माप के लिए ऐंठन तुला* का उपयोग किया। जब दो गोलों के बीच पृथकन प्रत्येक गोले की त्रिज्या की तुलना में बहुत अधिक होता है तो प्रत्येक आवेशित गोले को बिंदु आवेश मान सकते हैं। तथापि आरंभ करते समय गोलों पर आवेश अज्ञात थे। तब वह किस प्रकार

* ऐंठन तुला बल मापने की एक सुग्राही युक्ति है। इस तुला का उपयोग बाद में कैवेंडिश ने दो पिंडों के बीच लगे गुरुत्वाकर्षण बल की माप के लिए भी करके न्यूटन के गुरुत्वाकर्षण नियम को सत्यापित किया।

© NCERT not to be republished

समीकरण (1.1) जैसे संबंध को खोज पाए? कूलॉम ने निम्नलिखित सरल उपाय सोचा–मान लीजिए धातु के गोले पर आवेश q है। यदि इस गोले को इसके सर्वसम किसी अन्य अनावेशित गोले के संपर्क में रख दें तो आवेश q दोनों गोलों पर फैल जाएगा। सममिति के अनुसार, प्रत्येक गोले पर $q/2$* आवेश होगा। इस प्रक्रिया को दोहराकर हम $q/2$, $q/4$ आदि आवेश प्राप्त कर सकते हैं। कूलॉम ने आवेशों के नियत युगल के लिए दूरियों में परिवर्तन करके विभिन्न दूरियों के लिए बल की माप की। तत्पश्चात उन्होंने प्रत्येक युगल के लिए दूरी नियत रखकर युगलों में आवेशों में परिवर्तन किया। विभिन्न दूरियों पर आवेशों के विभिन्न युगलों के लिए बलों की तुलना करके कूलॉम समीकरण (1.1) के संबंध पर पहुँच गए।

कूलॉम नियम जो कि एक सरल गणितीय कथन है, उस तक आरंभ में, ऊपर वर्णित प्रयोगों के आधार पर पहुँचा गया। यद्यपि इन मूल प्रयोगों ने इसे स्थूल स्तर पर स्थापित किया, अवपरमाणुक स्तर ($r \sim 10^{-10}$ m) तक भी इसे स्थापित किया जा चुका है।

कूलॉम ने अपने नियम की खोज बिना आवेशों के परिमाणों के सही संज्ञान के, की थी। वास्तव में, इसे विपरीत अनुप्रयोग के लिए उपयोग में लाया जा सकता है–कूलॉम के नियम का उपयोग अब हम आवेश के मात्रक को परिभाषित करने के लिए कर सकते हैं। समीकरण (1.1) के संबंध में अब तक k का मान यादृच्छिक है। हम k के लिए किसी भी धनात्मक मान का चयन कर सकते हैं। k का चयन आवेश के मात्रक का साइज़ निर्धारित करता है। SI मात्रकों में k का मान लगभग 9×10^9 है। इस चयन के फलस्वरूप आवेश का जो मात्रक प्राप्त होता है उसे कूलॉम कहते हैं जिसकी परिभाषा हमने पहले अनुच्छेद 1.4 में दे दी है। समीकरण (1.1) में k का यह मान रखने पर हम यह पाते हैं कि $q_1 = q_2 = 1$ C तथा $r = 1$ m के लिए

$$F = 9 \times 10^9 \text{ N}$$

अर्थात 1 C वह आवेश है जो निर्वात में 1 m दूरी पर रखे इसी परिमाण के किसी अन्य सजातीय आवेश को 9×10^9 न्यूटन बल से प्रतिकर्षित करे। स्पष्ट रूप से, 1 C व्यावहारिक कार्यों के लिए आवेश का बहुत बड़ा मात्रक है। स्थिरवैद्युतिकी में, व्यवहार में इसके छोटे मात्रकों जैसे 1mC तथा 1 μC का उपयोग किया जाता है।

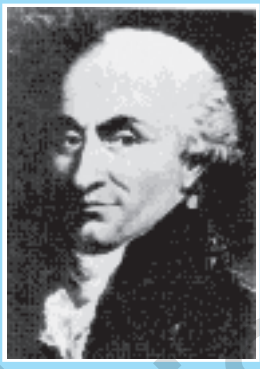
बाद की सुविधा के लिए समीकरण (1.1) के नियतांक k को प्रायः $k = 1/4\pi\varepsilon_0$ लिखते हैं, जिससे कूलॉम नियम को इस प्रकार व्यक्त किया जाता है

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \qquad (1.2)$$

ε_0 को *मुक्त आकाश या निर्वात की विद्युतशीलता* अथवा *परावैद्युतांक* कहते हैं। SI मात्रकों में ε_0 का मान

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1}\text{m}^{-2}$$

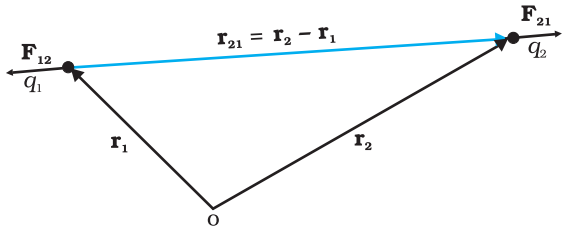
बल एक सदिश है, अतः कूलॉम नियम को सदिश संकेतन में लिखना उत्तम होता है। मान लीजिए q_1 तथा q_2 आवेशों के स्थिति सदिश क्रमशः $\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ हैं [चित्र 1.6(a) देखिए]। हम q_2



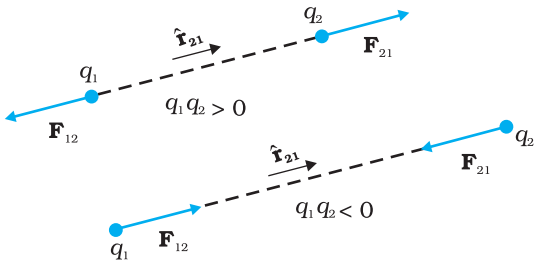
चार्ल्स ऑगस्टिन डे कूलॉम (1736–1806) फ्रांसीसी भौतिकविद कूलॉम ने वेस्टइंडीज में एक फौजी इंजीनियर के रूप में अपना कैरियर आरंभ किया। सन् 1776 में वे पेरिस लौट आए तथा एक छोटी सी संपत्ति बनाकर एकांत में अपना शोध कार्य करने लगे। बल के परिमाण को मापने के लिए इन्होंने एक ऐंठन तुला का आविष्कार किया और इसका उपयोग इन्होंने छोटे आवेशित गोलों के बीच लगने वाले आकर्षण अथवा प्रतिकर्षण बलों को ज्ञात करने में किया। इस प्रकार, सन् 1785 में ये व्युत्क्रम वर्ग नियम को खोज पाए जिसे आज कूलॉम का नियम कहते हैं। इस नियम का पूर्व अनुमान प्रिस्टले तथा कैवेंडिश ने लगा लिया था परंतु कैवेंडिश ने अपने परिणाम कभी प्रकाशित नहीं किए। कूलॉम ने सजातीय तथा विजातीय चुंबकीय ध्रुवों के बीच लगने वाले व्युत्क्रम वर्ग नियम का भी पता लगाया।

* इसमें आवेशों की योज्यशीलता तथा आवेशों के संरक्षण की अवधारणाएँ अंतर्निहित हैं। दो आवेशों (प्रत्येक $q/2$) के संयोजन से कुल आवेश q बनता है।

© NCERT not to be republished



(a)



(b)

चित्र 1.6 (a) ज्यामिति तथा (b) आवेशों के बीच आरोपित बल।

के द्वारा q_1 पर आरोपित बल को $\mathbf{F}_{12}$ तथा q_1 के द्वारा q_2 पर आरोपित बल को $\mathbf{F}_{21}$ द्वारा व्यक्त करते हैं। दो बिंदु आवेशों q_1 तथा q_2 को सुविधा के लिए 1 तथा 2 अंक द्वारा व्यक्त किया गया है। साथ ही 1 से 2 की ओर जाते सदिश को $\mathbf{r}_{21}$ द्वारा व्यक्त किया गया है–

$$\mathbf{r}_{21} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

इसी प्रकार 2 से 1 की ओर जाते सदिश को $\mathbf{r}_{12}$ द्वारा व्यक्त किया जाता है–

$$\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2 = -\mathbf{r}_{21}$$

सदिशों $\mathbf{r}_{21}$ तथा $\mathbf{r}_{12}$ के परिमाणों का संकेतन क्रमशः r_{21} एवं r_{12} द्वारा होता है ($r_{n21} = r_{n12}$)। किसी सदिश की दिशा का विशेष उल्लेख उस सदिश के अनुदिश एकांक सदिश द्वारा किया जाता है। बिंदु 1 से 2 की ओर (अथवा 2 से 1 की ओर) इंगित करने वाले एकांक सदिश की परिभाषा हम इस प्रकार करते हैं :

$$\hat{\mathbf{r}}_{21} = \frac{\mathbf{r}_{21}}{r_{21}}, \quad \hat{\mathbf{r}}_{12} = \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}, \quad \hat{\mathbf{r}}_{21} = \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

$\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ पर अवस्थित बिंदु आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच लगे कूलॉम बल नियम को तब इस प्रकार व्यक्त किया जाता है

$$\mathbf{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{\mathbf{r}}_{21} \qquad (1.3)$$

समीकरण (1.3) के संबंध में कुछ टिप्पणियाँ प्रासंगिक हैं :

- समीकरण (1.3) q_1 तथा q_2 के किसी भी चिह्न, धनात्मक अथवा ऋणात्मक के लिए मान्य है। यदि q_1 तथा q_2 समान चिह्न के हैं (या तो दोनों ही धनात्मक अथवा दोनों ही ऋणात्मक हैं) तब $\mathbf{F}_{21}$, $\hat{\mathbf{r}}_{21}$ के अनुदिश है, जो प्रतिकर्षण को प्रदर्शित करता है जैसा सजातीय आवेशों के लिए होना ही चाहिए। यदि q_1 तथा q_2 के विपरीत चिह्न हैं तब $\mathbf{F}_{21}$, $-\hat{\mathbf{r}}_{21}$ के अनुदिश है, जो आकर्षण को प्रदर्शित करता है तथा विजातीय आवेशों के लिए हम इसी की आशा करते हैं। इस प्रकार हमें सजातीय तथा विजातीय आवेशों के प्रकरणों के लिए पृथक-पृथक समीकरण लिखने की आवश्यकता नहीं है। समीकरण (1.3) दोनों ही प्रकरणों को सही-सही प्रकट कर देती है [चित्र 1.6(b) देखिए]।
- q_2 के कारण q_1 पर आरोपित बल $\mathbf{F}_{12}$ को समीकरण (1.3) में 1 तथा 2 में सरल अंतर्परिवर्तन करके प्राप्त किया जा सकता है, अर्थात

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

इस प्रकार, कूलॉम नियम न्यूटन के गति के तृतीय नियम के अनुरूप ही है।

- कूलॉम नियम (समीकरण 1.3) से निर्वात में स्थित दो आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच आरोपित बल प्राप्त होता है। यदि आवेश किसी द्रव्य में स्थित हैं अथवा दोनों आवेशों के बीच के रिक्त स्थान में कोई द्रव्य भरा है, तब इस द्रव्य के आवेशित अवयवों के कारण स्थिति जटिल बन जाती है। अगले अध्याय में हम द्रव्य में स्थिरवैद्युतिकी पर विचार करेंगे।

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.4 दो वैद्युत आवेशों के बीच स्थिर वैद्युत बल के लिए कूलॉम नियम तथा दो स्थिर बिंदु द्रव्यमानों के बीच गुरुत्वाकर्षण बल के लिए न्यूटन का नियम दोनों में ही बल आवेशों/द्रव्यमानों के बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है। (a) इन दोनों बलों के परिमाण ज्ञात करके इनकी प्रबलताओं की तुलना की जाए (i) एक इलेक्ट्रॉन तथा एक प्रोटॉन के लिए, (ii) दो प्रोटॉनों के लिए। (b) इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन में पारस्परिक आकर्षण के वैद्युत बल के कारण इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन के त्वरण आकलित कीजिए जबकि इनके बीच की दूरी 1 Å (= 10^{-10} m) है। ($m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ K, $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg)

हल

(a) (i) एक इलेक्ट्रॉन तथा एक प्रोटॉन के बीच वैद्युत बल जबकि इनके बीच की दूरी r है :

$$F_e = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$$

यहाँ पर ऋणात्मक चिह्न आकर्षण बल को इंगित करता है। इसके तदनुरूपी गुरुत्वाकर्षण बल (जो सदैव धनात्मक है) :

$$F_G = -G\frac{m_p\ m_e}{r^2}$$

यहाँ m_p तथा m_e क्रमशः प्रोटॉन तथा इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान हैं।

$$\left|\frac{F_e}{F_G}\right| = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 G m_p m_e} = 2.4 \times 10^{39}$$

(ii) इसी प्रकार r दूरी पर स्थित दो प्रोटॉनों के बीच वैद्युत बल तथा गुरुत्वाकर्षण बल के परिमाणों का अनुपात–

$$\left|\frac{F_e}{F_G}\right| = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 G m_p m_p} = 1.3 \times 10^{36}$$

तथापि यहाँ यह उल्लेख करना महत्वपूर्ण है कि यहाँ पर दो बलों के चिह्नों में अंतर है। दो प्रोटॉनों के लिए गुरुत्वाकर्षण बल आकर्षी है तथा कूलॉम बल प्रतिकर्षी है। नाभिक के भीतर इन बलों के वास्तविक मान (नाभिक के भीतर दो प्रोटॉनों के बीच की दूरी ~ 10^{-15} m है): $F_e \sim 230$ N है जबकि $F_G \sim 1.9 \times 10^{-34}$ N हैं।
इन दोनों बलों का (विमाहीन) अनुपात यह दर्शाता है कि गुरुत्वाकर्षण बल की तुलना में वैद्युत बल अत्यंत प्रबल होते हैं।

(b) एक प्रोटॉन द्वारा एक इलेक्ट्रॉन पर आरोपित वैद्युत बल **F** परिमाण में एक इलेक्ट्रॉन द्वारा एक प्रोटॉन पर आरोपित बल समान है; तथापि इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन के द्रव्यमान भिन्न होते हैं। इस प्रकार बल का परिमाण है

$$|\mathbf{F}| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = 8.987 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2 \times (1.6 \times 10^{-19}\text{C})^2\ /\ (10^{-10}\text{m})^2$$
$$= 2.3 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

न्यूटन के गति के दूसरे नियम $F = ma$ के अनुसार इलेक्ट्रॉन में उत्पन्न त्वरण

$a = 2.3 \times 10^{-8}$ N / 9.11×10^{-31} kg = 2.5×10^{22} m/s^2

इसकी गुरुत्वीय त्वरण से तुलना करने पर हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि इलेक्ट्रॉन की गति पर गुरुत्वीय क्षेत्र का प्रभाव नगण्य है तथा किसी प्रोटॉन द्वारा इलेक्ट्रॉन पर आरोपित कूलॉम बल की क्रिया के अधीन इलेक्ट्रॉन में उत्पन्न त्वरण अत्यधिक है।

प्रोटॉन के लिए त्वरण का मान

2.3×10^{-8} N / 1.67×10^{-27} kg = 1.4×10^{19} m/s^2 है।

उदाहरण 1.4

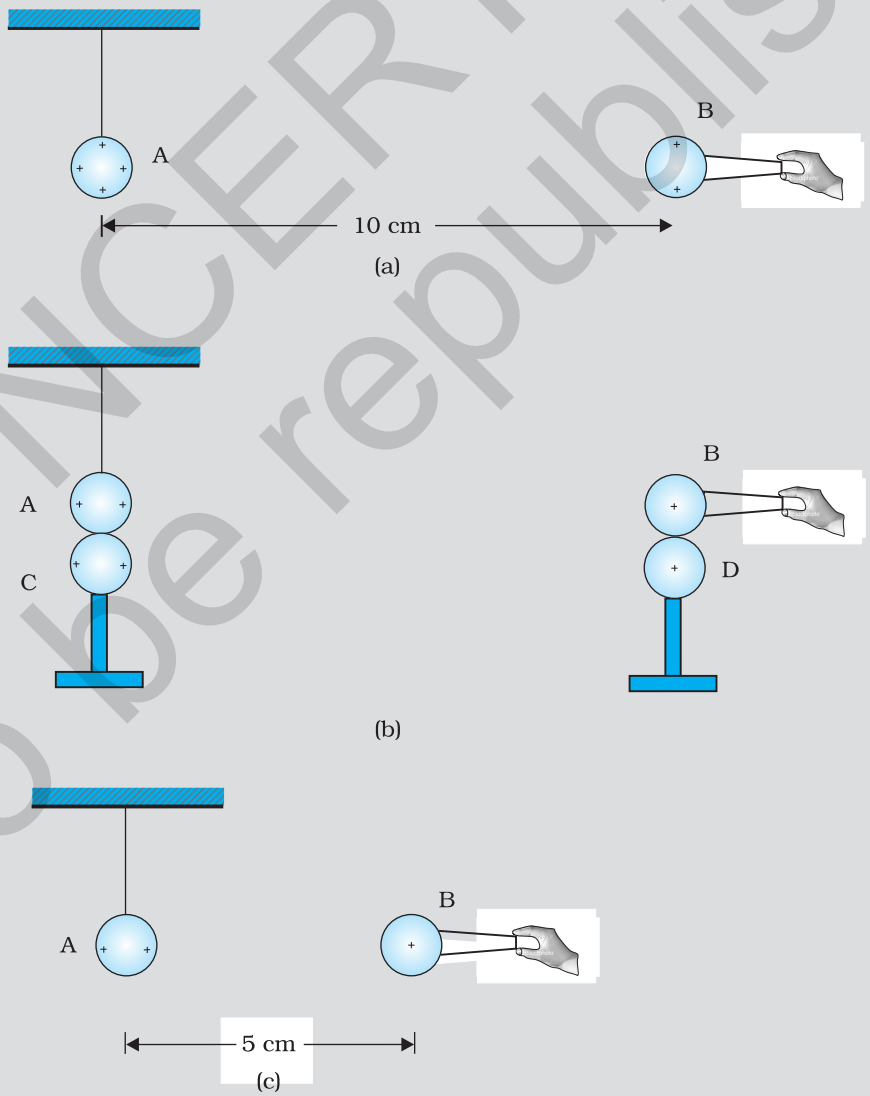
भौतिकी

कूलॉम के नियम का प्रभावी सजीव चित्रण

http://webphysics.davidson.edu/physlet_resources/bu_semester2/menu_semester2.html

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.5 धातु का आवेशित गोला A नाइलॉन के धागे से निलंबित है। विद्युतरोधी हत्थी द्वारा किसी अन्य धातु के आवेशित गोले B को A के इतने निकट लाया जाता है कि चित्र 1.7(a) में दर्शाए अनुसार इनके केंद्रों के बीच की दूरी 10 cm है। गोले A के परिणामी प्रतिकर्षण को नोट किया जाता है (उदाहरणार्थ– गोले पर चमकीला प्रकाश पुंज डालकर तथा अंशांकित पर्दे पर बनी इसकी छाया का विक्षेपण मापकर)। A तथा B गोलों को चित्र 1.7(b) में दर्शाए अनुसार, क्रमशः अनावेशित गोलों C तथा D से स्पर्श कराया जाता है। तत्पश्चात चित्र 1.7(c) में दर्शाए अनुसार C तथा D को हटाकर B को A के इतना निकट लाया जाता है कि इनके केंद्रों के बीच की दूरी 5.0 cm हो जाती है। कूलॉम नियम के अनुसार A का कितना अपेक्षित प्रतिकर्षण है? गोले A तथा C एवं गोले B तथा D के साइज़ सर्वसम हैं। A तथा B के केंद्रों के पृथकन की तुलना में इनके साइज़ों की उपेक्षा कीजिए।



चित्र 1.7

हल मान लीजिए गोले A पर मूल आवेश q तथा गोले B पर मूल आवेश q' है। दोनों गोलों के केंद्रों

उदाहरण 1.5

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.5

के बीच दूरी r पर, प्रत्येक पर लगे स्थिर वैद्युत बल का परिमाण

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq'}{r^2}$$

यहाँ r की तुलना में गोलों A तथा B के साइज़ नगण्य हैं। जब कोई सर्वसम परंतु अनावेशित गोला C गोले A को स्पर्श करता है तो A तथा C पर आवेश का पुनर्वितरण होता है और सममिति द्वारा प्रत्येक गोले पर आवेश $(q/2)$ होता है। इसी प्रकार, B तथा D के स्पर्श के पश्चात इनमें प्रत्येक पर पुनर्वितरित आवेश $(q'/2)$ होता है। अब यदि A तथा B का पृथकन आधा रह जाए तो प्रत्येक पर स्थिरवैद्युत बल

$$F' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(q/2)(q'/2)}{(r/2)^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(qq')}{r^2} = F$$

इस प्रकार B के कारण A पर स्थिरवैद्युत बल अपरिवर्तित रहता है।

1.7 बहुल आवेशों के बीच बल

दो आवेशों के बीच पारस्परिक वैद्युत बल कूलॉम नियम द्वारा प्राप्त होता है। उस स्थिति में किसी आवेश पर आरोपित बल का परिकलन कैसे करें, जहाँ उसके निकट एक आवेश न होकर उसे बहुत से आवेश चारों ओर से घेरे हों? निर्वात में स्थित n स्थिर आवेशों $q_1, q_2, q_3, \ldots, q_n$ के निकाय पर विचार कीजिए। q_1 पर $q_2, q_3, \ldots, q_n$ के कारण कितना बल लगता है? इसका उत्तर देने के लिए कूलॉम नियम पर्याप्त नहीं है। याद कीजिए, यांत्रिक मूल के बलों का संयोजन सदिशों के संयोजन के समांतर चतुर्भुज नियम द्वारा किया जाता है। क्या यही स्थिरवैद्युत मूल के बलों पर भी लागू होता है?

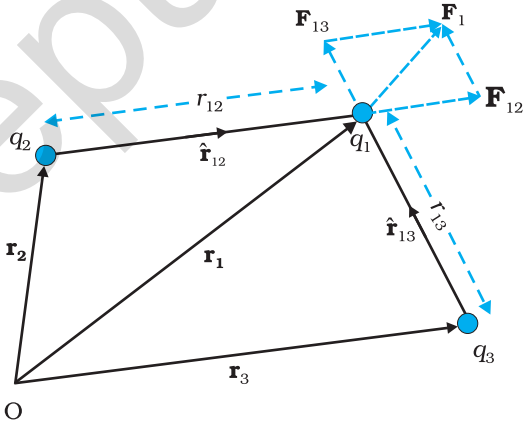
प्रयोगों द्वारा यह सत्यापित हो चुका है कि *किसी आवेश पर कई अन्य आवेशों के कारण बल उस आवेश पर लगे उन सभी बलों के सदिश योग के बराबर होता है जो इन आवेशों द्वारा इस आवेश पर एक-एक कर लगाया जाता है। किसी एक आवेश द्वारा लगाया गया विशिष्ट बल अन्य आवेशों की उपस्थिति के कारण प्रभावित नहीं होता। इसे अध्यारोपण का सिद्धांत कहते हैं।*

इस अवधारणा को भलीभाँति समझने के लिए तीन आवेशों q_1, q_2 तथा q_3 के निकाय, जिसे चित्र 1.8(a) में दर्शाया गया है, पर विचार कीजिए। किसी एक आवेश, जैसे q_1 पर अन्य दो आवेशों q_2 तथा q_3 के कारण बल को इनमें से प्रत्येक आवेश के कारण लगे बलों का सदिश संयोजन करके प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार यदि q_2 के कारण q_1 पर बल को $\mathbf{F}_{12}$ द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है, तो $\mathbf{F}_{12}$ को समीकरण (1.3) द्वारा अन्य आवेशों की उपस्थिति होते हुए भी इस प्रकार व्यक्त किया जाता है :

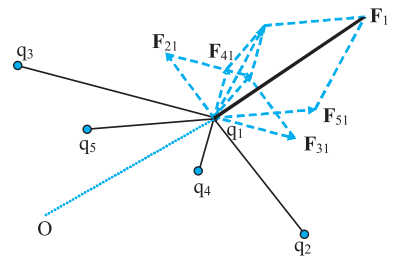
$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12}$$

इसी प्रकार q_3 के कारण q_1 पर लगा कूलॉम बल जिसे $\mathbf{F}_{13}$ द्वारा निर्दिष्ट करते हैं तथा जिसे लिख सकते हैं

$$\mathbf{F}_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13}$$



(a)



(b)

चित्र 1.8 (a) तीन आवेशों (b) बहुल आवेशों के निकाय।

© NCERT not to be republished

यह भी q_3 के कारण q_1 पर लगा कूलॉम बल ही है, जबकि अन्य आवेश q_2 उपस्थित हैं।

इस प्रकार q_1 पर दो आवेशों q_2 तथा q_3 के कारण कुल बल $\mathbf{F}_1$ है

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13} \tag{1.4}$$

चित्र 1.8(b) में दर्शाए अनुसार तीन से अधिक आवेशों के निकाय के लिए उपरोक्त परिकलन का व्यापकीकरण किया जा सकता है।

अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार आवेशों q_1, q_2, ..., q_n के किसी निकाय में आवेश q_1 पर q_2 द्वारा लगा बल कूलॉम नियम द्वारा लगे बल के समान होता है, अर्थात यह अन्य आवेशों q_3, q_4, ..., q_n की उपस्थिति से प्रभावित नहीं होता। आवेश q_1 पर सभी आवेशों द्वारा लगा कुल बल $\mathbf{F}_1$ तब $\mathbf{F}_{12}$, $\mathbf{F}_{13}$, ..., $\mathbf{F}_{1n}$ का सदिश योग होगा। अतः

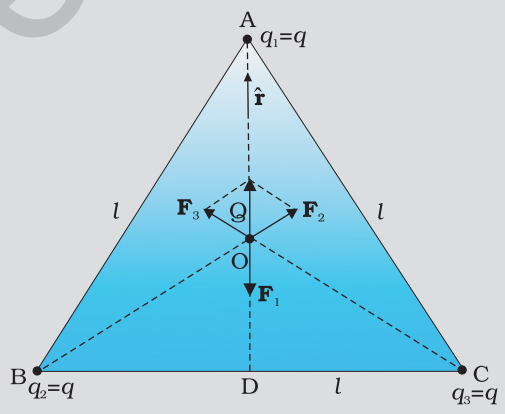
$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \ldots + \mathbf{F}_{1n} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13} + \ldots + \frac{q_1 q_n}{r_{1n}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1n}$$

$$= \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=2}^{n}\frac{q_i}{r_{1i}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1i} \tag{1.5}$$

सदिशों के संयोजन की सामान्य विधि, समांतर चतुर्भुज के नियम द्वारा सदिश योग प्राप्त किया जाता है। वास्तव में मूल रूप से समस्त स्थिरवैद्युतिकी कूलॉम नियम तथा अध्यारोपण के सिद्धांत का एक परिणाम है।

उदाहरण 1.6

उदाहरण 1.6 तीन आवेशों q_1, q_2, q_3 पर विचार कीजिए जिनमें प्रत्येक q के बराबर है तथा l भुजा वाले समबाहु त्रिभुज के शीर्षों पर स्थित है। त्रिभुज के केंद्रक पर चित्र 1.9 में दर्शाए अनुसार स्थित आवेश Q (जो q का सजातीय) पर कितना परिणामी बल लग रहा है?



चित्र 1.9

हल दिए गए l भुजा के समबाहु त्रिभुज ABC में यदि हम भुजा BC पर AD लंब खींचें तो AD = AC cos 30° = $(\sqrt{3}/2)\,l$ तथा A से केंद्रक की दूरी AD = (2/3) AD = $(1/\sqrt{3})l$ सममिति से AO = BO = CO

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.6

इस प्रकार

A पर स्थित आवेश q के कारण Q पर बल, $\mathbf{F}_1 = \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}$ AO के अनुदिश

B पर स्थित आवेश q के कारण Q पर बल, $\mathbf{F}_2 = \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}$ BO के अनुदिश

C पर स्थित आवेश q के कारण Q पर बल, $\mathbf{F}_3 = \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}$ CO के अनुदिश

बलों $\mathbf{F}_2$ तथा $\mathbf{F}_3$ का परिणामी समांतर चतुर्भुज नियम द्वारा $\frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}$ OA के अनुदिश है।

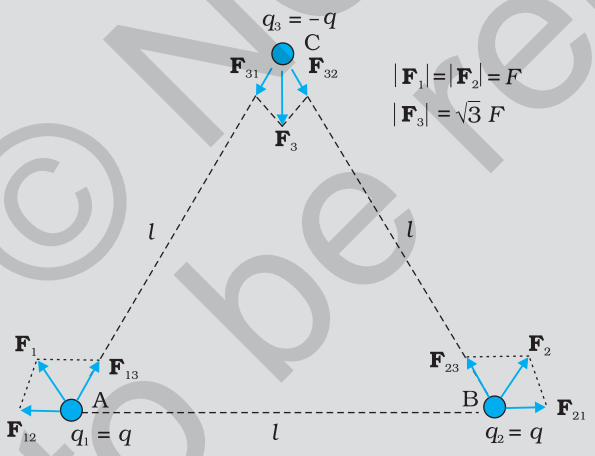
इसीलिए, Q पर कुल बल $= \frac{3}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{l^2}(\hat{\mathbf{r}} - \hat{\mathbf{r}}) = 0$ यहाँ $\hat{\mathbf{r}}$, OA के अनुदिश एकांक सदिश है।

सममिति द्वारा भी यह स्पष्ट है कि उन तीनों बलों का योग शून्य होगा।

मान लीजिए परिणामी बल शून्येतर था परंतु किसी दिशा में था। विचार कीजिए कि क्या हुआ होता यदि इस निकाय को O के गिर्द (परितः) 60° पर घूर्णन कराया जाता।

उदाहरण 1.7

उदाहरण 1.7 चित्र 1.10 में दर्शाए अनुसार किसी समबाहु त्रिभुज के शीर्षों पर स्थित आवेशों q, q, तथा $-q$ पर विचार कीजिए। प्रत्येक आवेश पर कितना बल लग रहा है?



चित्र 1.10

हल चित्र 1.10 में दर्शाए अनुसार, A पर स्थित आवेश q पर अन्य आवेशों जैसे B पर स्थित q के कारण बल $\mathbf{F}_{12}$ BA के अनुदिश तथा C पर स्थित $-q$ के कारण बल $\mathbf{F}_{13}$ AC के अनुदिश है। समांतर चतुर्भुज नियम द्वारा A पर स्थित q पर कुल बल $\mathbf{F}_1$ है

$\mathbf{F}_1 = F\,\hat{\mathbf{r}}_1$ यहाँ $\hat{\mathbf{r}}_1$ BC के अनुदिश एकांक सदिश है।

आवेशों के प्रत्येक युगल के लिए आकर्षण अथवा प्रतिकर्षण बलों के परिमाण F समान हैं तथा

$$F = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2}$$

इस प्रकार B पर स्थित आवेश q पर कुल बल $\mathbf{F}_2 = F\,\hat{\mathbf{r}}_2$ यहाँ $\hat{\mathbf{r}}_2$ AC के अनुदिश एकांक सदिश है।

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.7

इसी प्रकार, C पर स्थित आवेश $-q$ पर कुल बल $\mathbf{F}_3 = \sqrt{3}\ F\hat{\mathbf{n}}$ है। यहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ एकांक सदिश है जिसकी दिशा $\angle BCA$ को समद्विभाजित करने वाली रेखा के अनुदिश है।

यहाँ रोचक बात यह है कि तीनों आवेशों पर लगे बलों का योग शून्य है, अर्थात

$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 = 0$

यह परिणाम चौंकाने वाला नहीं है। यह इस तथ्य का अनुसरण करता है कि कूलॉम नियम तथा न्यूटन के तृतीय नियम के बीच सामंजस्य है। इस कथन की निष्पत्ति आपके अभ्यास के लिए छोड़ी जा रही है।

1.8 विद्युत क्षेत्र

माना निर्वात में एक बिंदु आवेश Q मूल बिंदु O पर रखा है। यदि एक अन्य बिंदु आवेश q, बिंदु P पर रखा जाए, जहाँ $\mathbf{OP} = \mathbf{r}$, तो आवेश Q, q पर कूलॉम के नियमानुसार बल लगाएगा। हम यह प्रश्न पूछ सकते हैं : यदि आवेश q को हटा लें तो Q के परिवेश में क्या बचेगा? क्या कुछ भी नहीं बचेगा? यदि ऐसा है तो P पर आवेश q रखने पर इस पर बल कैसे लगता है? इस प्रकार के प्रश्नों का उत्तर देने के लिए प्रारंभिक वैज्ञानिकों ने क्षेत्र की अवधारणा प्रस्तुत की। इसके अनुसार हम कहते हैं कि आवेश Q अपने चारों ओर विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है जब इसमें कोई अन्य आवेश q बिंदु P पर लाया जाता है तो क्षेत्र इस पर बल आरोपित करता है।

किसी बिंदु $\mathbf{r}$ पर आवेश Q द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्र

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (1.6)$$

यहाँ $\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{r}/r$, मूल बिंदु से बिंदु $\mathbf{r}$ तक मात्रक सदिश है। इस प्रकार, समीकरण (1.6) स्थिति सदिश $\mathbf{r}$ के प्रत्येक मान के लिए विद्युत क्षेत्र का संगत मान बताती है। शब्द 'क्षेत्र' यह बताता है कि किस प्रकार कोई वितरित राशि (जो सदिश अथवा अदिश हो सकती है) स्थिति के साथ परिवर्तित होती है। आवेश के प्रभाव को विद्युत क्षेत्र के अस्तित्व में समाविष्ट किया गया है। आवेश Q द्वारा आवेश q पर आरोपित बल $\mathbf{F}$ को हम इस प्रकार प्राप्त करते हैं :

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (1.7)$$

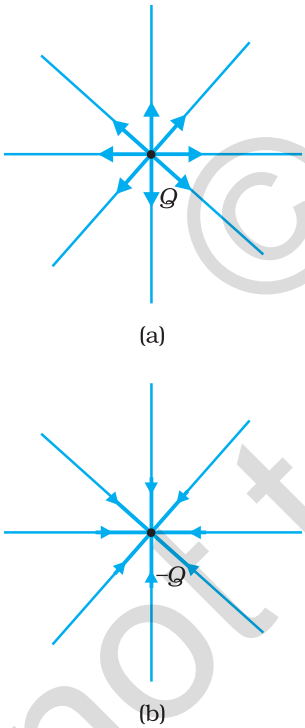
ध्यान दीजिए आवेश q भी आवेश Q पर परिमाण में समान परंतु दिशा में विपरीत बल आरोपित करता है। Q तथा q आवेशों के बीच स्थिरवैद्युत बल को हम आवेश q तथा Q के विद्युत क्षेत्र के बीच अन्योन्य क्रिया अथवा विलोमत: के रूप में समझ सकते हैं। यदि हम आवेश q की स्थिति को सदिश $\mathbf{r}$ द्वारा निर्दिष्ट करें, तो यह q की अवस्थिति पर एक बल $\mathbf{F}$ का अनुभव करता है जो आवेश q तथा विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ के गुणनफल के बराबर है। इस प्रकार

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = q\,\mathbf{E}(\mathbf{r}) \qquad (1.8)$$

समीकरण (1.8) विद्युत क्षेत्र के SI मात्रक को N/C* के रूप में परिभाषित करती है।

यहाँ कुछ महत्वपूर्ण टिप्पणियाँ की जा सकती हैं:

(i) समीकरण (1.8) से यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि यदि q एकांक है तो आवेश Q के कारण विद्युत क्षेत्र का आंकिक मान इसके द्वारा आरोपित बल के बराबर होता है। इस प्रकार *दिक्स्थान में किसी बिंदु पर आवेश Q के कारण विद्युत क्षेत्र को उस बल के रूप में परिभाषित किया जा सकता है जिसे कोई एकांक धनावेश उस बिंदु पर रखे जाने पर अनुभव करता है।*



चित्र 1.11 (a) आवेश Q के कारण विद्युत क्षेत्र, (b) आवेश $-Q$ के कारण विद्युत क्षेत्र।

* अगले अध्याय में विद्युत क्षेत्र के लिए एक अन्य वैकल्पिक मात्रक V/m पर विचार किया जाएगा।

© NCERT not to be republished

वह आवेश Q जो विद्युत क्षेत्र उत्पन्न कर रहा है *स्रोत आवेश* कहलाता है तथा आवेश q जो स्रोत आवेश के प्रभाव का परीक्षण करता है, को *परीक्षण आवेश* कहते हैं। ध्यान दीजिए स्रोत आवेश को अपनी मूल अवस्थिति पर ही रहना चाहिए। तथापि, यदि किसी आवेश q को Q के चारों ओर कहीं लाया जाता है, तो Q स्वयं भी आवेश q के कारण वैद्युत बल का अनुभव करने के लिए बाध्य है और उसमें गति करने की प्रवृत्ति होगी। इससे मुक्ति का केवल एक ही उपाय है कि हम q को उपेक्षणीय छोटा बनाएँ, तब बल $\mathbf{F}$ उपेक्षणीय छोटा होता है परंतु अनुपात $\mathbf{F}/q$ एक परिमित राशि होती है तथा विद्युत क्षेत्र को पारिभाषित करती है :

$$\mathbf{E} = \lim_{q \to 0} \frac{\mathbf{F}}{q} \tag{1.9}$$

इस समस्या (आवेश Q को आवेश q की उपस्थिति के कारण विक्षुब्ध न होने देना) से मुक्ति का एक व्यावहारिक उपाय यह है कि आवेश Q की किन्हीं अनिर्दिष्ट बलों द्वारा अपनी अवस्थिति पर बाँधे रखा जाए। यह विलक्षण प्रतीत हो सकता है, परंतु व्यवहार में ऐसा ही होता है। जब हम आवेशित की समतल चादर के कारण परीक्षण आवेश q पर लगे वैद्युत बल पर विचार करते हैं (अनुच्छेद 1.15), तब चादर पर आवेश, चादर के भीतर अनिर्दिष्ट आवेशित अवयवों द्वारा लगे बलों के कारण अपनी अवस्थितियों पर ही बँधे रहते हैं।

(ii) ध्यान दीजिए, आवेश Q के कारण विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ की परिभाषा यद्यपि प्रभावी रूप से परीक्षण आवेश q के पदों में की जाती है, तथापि यह q पर निर्भर नहीं करती है। इसका कारण यह है कि बल $\mathbf{F}$ आवेश q के अनुक्रमानुपाती है, इसलिए अनुपात $\mathbf{F}/q$ आवेश q पर निर्भर नहीं करता है। Q के कारण q पर बल आवेश q की किसी विशेष अवस्थिति से आवेश Q के चारों ओर के दिक्स्थान में कहीं भी हो सकती है। इस प्रकार Q के कारण विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ दिक्स्थान निर्देशांक $\mathbf{r}$ पर भी निर्भर करता है। सारे दिक्स्थान में आवेश की विभिन्न स्थितियों के लिए हमें विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ के भिन्न मान प्राप्त होते हैं। विद्युत क्षेत्र का अस्तित्व त्रिविमीय दिक्स्थान के प्रत्येक बिंदु पर होता है।

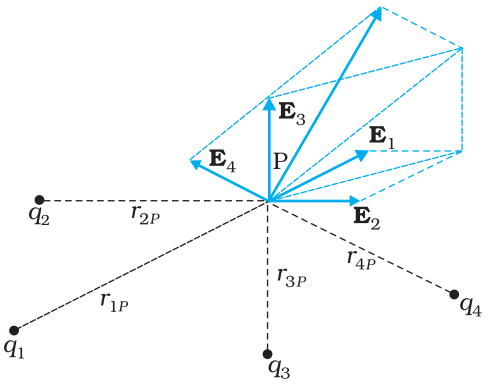
(iii) धनावेश के कारण विद्युत क्षेत्र आवेश से बाहर की ओर उन्मुख त्रिज्यीय होता है। इसके विपरीत, यदि स्रोत आवेश ऋणात्मक है तो विद्युत क्षेत्र सदिश, हर बिंदु पर त्रिज्यीय, किंतु अंदर की ओर उन्मुख होता है।

(iv) चूँकि आवेश Q के कारण आवेश q पर लगे बल $\mathbf{F}$ का परिमाण केवल आवेश Q से आवेश q के बीच की दूरी r पर निर्भर करता है, विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ का परिमाण भी केवल दूरी r पर निर्भर करता है। इस प्रकार, आवेश Q से समान दूरियों पर इसके कारण उत्पन्न विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ का परिमाण समान होता है। इस प्रकार किसी गोले के केंद्र पर स्थित बिंदु आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ का परिमाण उसके पृष्ठ के हर बिंदु पर समान होता है; दूसरे शब्दों में, वह क्षेत्र गोलीय रूप से सममित होता है।

1.8.1 आवेशों के निकाय के कारण विद्युत क्षेत्र

आइए, $q_1, q_2, \ldots, q_n$ आवेशों के एक निकाय पर विचार करते हैं जिनके किसी मूल बिंदु O के सापेक्ष स्थिति सदिश क्रमशः $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \ldots, \mathbf{r}_n$ हैं। किसी एकल आवेश के कारण दिक्स्थान के किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की ही भाँति आवेशों के निकाय के कारण दिक्स्थान के किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र को उस बिंदु पर रखे किसी एकांक धनावेश द्वारा अनुभव किए जाने वाले बल द्वारा परिभाषित किया जाता है। यहाँ यह माना जाता है कि एकांक आवेश के कारण $q_1, q_2, \ldots, q_n$ आवेशों की मूल स्थितियाँ विक्षुब्ध नहीं होतीं। बिंदु P, जिसे स्थिति सदिश $\mathbf{r}$ द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है, पर विद्युत क्षेत्र को निर्धारित करने के लिए हम कूलॉम नियम तथा अध्यारोपण के सिद्धांत का उपयोग करते हैं।

© NCERT not to be republished



चित्र 1.12 आवेशों के निकाय के कारण किसी बिंदु पर वैद्युत क्षेत्र पृथक-पृथक आवेशों के कारण उस बिंदु पर वैद्युत क्षेत्रों के सदिश योग के बराबर होता है।

$\mathbf{r}_1$ पर स्थित आवेश q_1 के कारण अवस्थिति $\mathbf{r}$ पर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}_1$ इस प्रकार व्यक्त किया जाता है।

$$\mathbf{E}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r_{1P}}\hat{\mathbf{r}}_{1P}$$

यहाँ $\hat{\mathbf{r}}_{1P}$ आवेश q_1 से P की दिशा में एकांक सदिश है तथा r_{1P} आवेश q_1 तथा P के बीच की दूरी है। इसी प्रकार $\mathbf{r}_2$ पर स्थित आवेश q_2 के कारण अवस्थिति $\mathbf{r}$ पर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}_2$ को इस प्रकार व्यक्त करते हैं

$$\mathbf{E}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2}{r_{2P}}\hat{\mathbf{r}}_{2P}$$

यहाँ $\hat{\mathbf{r}}_{2P}$ आवेश q_2 से P की दिशा में एकांक सदिश है तथा r_{2P} आवेश q_2 तथा P के बीच की दूरी है। इसी प्रकार के व्यंजक q_3, q_4, ..., q_n आवेशों के विद्युत क्षेत्रों $\mathbf{E}_3$, $\mathbf{E}_4$, ..., $\mathbf{E}_n$ लिखे जा सकते हैं। अध्यारोपण सिद्धांत द्वारा आवेशों के निकाय के कारण $\mathbf{r}$ पर विद्युत क्षेत्र (चित्र 1.12 में दर्शाए अनुसार) इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है–

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}_1(\mathbf{r}) + \mathbf{E}_2(\mathbf{r}) + \ldots + \mathbf{E}_n(\mathbf{r})$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r_{1P}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1P} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2}{r_{2P}^2}\hat{\mathbf{r}}_{2P} + \ldots + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_n}{r_{nP}^2}\hat{\mathbf{r}}_{nP}$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{r_{iP}^2}\hat{\mathbf{r}}_{iP} \qquad (1.10)$$

$\mathbf{E}$ एक सदिश राशि है जिसका मान दिक्स्थान में एक बिंदु से दूसरे बिंदु पर जाने पर परिवर्तित हो जाता है तथा यह स्रोत आवेशों की स्थितियों से निर्धारित होता है।

1.8.2 विद्युत क्षेत्र का भौतिक अभिप्राय

आपको आश्चर्य हो सकता है कि हमें यहाँ विद्युत क्षेत्र की धारणा से परिचित क्यों कराया जा रहा है। वैसे भी, आवेशों के किसी भी निकाय के लिए मापने योग्य राशि किसी आवेश पर लगा बल है जिसे सीधे ही कूलॉम नियम तथा अध्यारोपण सिद्धांत द्वारा (समीकरण 1.5) निर्धारित किया जा सकता है। फिर विद्युत क्षेत्र नामक इस मध्यवर्ती राशि को प्रस्तावित क्यों किया जा रहा है?

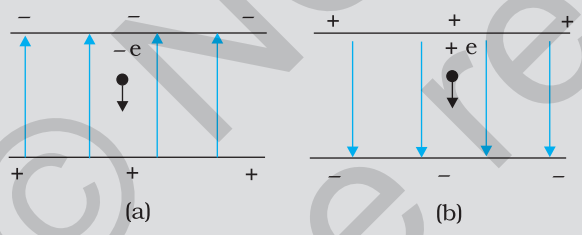
स्थिरवैद्युतिकी के लिए विद्युत क्षेत्र की अभिधारणा सुगम तो है पर वास्तव में आवश्यक नहीं है। विद्युत क्षेत्र आवेशों के किसी निकाय के वैद्युत पर्यावरण को अभिलक्षित करने का सुरुचि संपन्न उपाय है। आवेशों के निकाय के चारों ओर के दिक्स्थान में किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र आपको यह बताता है कि निकाय को विक्षुब्ध किए बिना यदि इस बिंदु पर कोई एकांक धनात्मक परीक्षण आवेश रखे तो वह कितना बल अनुभव करेगा। विद्युत क्षेत्र आवेशों के निकाय का एक अभिलक्षण है तथा विद्युत क्षेत्र के निर्धारण के लिए आपके द्वारा उस बिंदु पर रखे जाने वाले परीक्षण आवेश पर निर्भर नहीं करता। भौतिकी में *क्षेत्र* शब्द का उपयोग व्यापक रूप से उस राशि को निर्दिष्ट करने के लिए किया जाता है, जो दिक्स्थान के प्रत्येक बिंदु पर पारिभाषित की जा सके तथा एक बिंदु से दूसरे बिंदु पर परिवर्तित होती हो। चूँकि बल सदिश राशि है, अतः विद्युत क्षेत्र एक सदिश राशि है।

तथापि विद्युत क्षेत्र की अभिधारणा की वास्तविक भौतिक सार्थकता तभी प्रकट होती है जब हम स्थिरवैद्युतिकी से बाहर निकलकर कालाश्रित वैद्युतचुंबकीय परिघटनाओं से व्यवहार करते हैं। मान लीजिए हम त्वरित गति से गतिमान दो दूरस्थ आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच लगे बल पर विचार करते हैं। अब, वह अधिकतम चाल जिससे कोई संकेत अथवा सूचना एक स्थान से दूसरे स्थान तक

© NCERT not to be republished

जा सकती है, वह प्रकाश की चाल c है। इस प्रकार, q_2 पर q_1 की किसी गति का प्रभाव तात्क्षणिक उत्पन्न नहीं हो सकता। कारण (q_1 की गति) तथा प्रभाव (q_2 पर बल) के बीच कुछ न कुछ काल विलंब अवश्य होता है। यहीं पर सार्थक रूप में विद्युत क्षेत्र (सही अर्थों में वैद्युतचुंबकीय क्षेत्र) की अवधारणा स्वाभाविक एवं अति उपयोगी है। क्षेत्र का चित्रण इस प्रकार है: *आवेश q_1 की त्वरित गति वैद्युतचुंबकीय तरंगें उत्पन्न करती है जो फिर प्रकाश की चाल से फैलकर q_2 तक पहुँचती है तथा q_2 पर बल लगाती है।* क्षेत्र की अवधारणा काल विलंब का सुचारु रूप से स्पष्टीकरण करती है। इस प्रकार, यद्यपि वैद्युत तथा चुंबकीय बलों की संसूचना केवल आवेशों पर इनके प्रभावों (बलों) द्वारा ही की जा सकती है, उन्हें भौतिक सत्व माना जाता है, ये मात्र गणितीय रचनाएँ ही नहीं हैं। इनकी अपनी *स्वतंत्र गतिकी* है, अर्थात ये अपने नियमों के अनुसार विकसित होते हैं। ये ऊर्जा का परिवहन भी कर सकते हैं। इस प्रकार, कालाश्रित वैद्युतचुंबकीय क्षेत्रों का कोई स्रोत जिसे संक्षेप में खोला तथा बंद किया जा सकता है, ऊर्जा परिवहन करने वाले वैद्युतचुंबकीय क्षेत्रों को पीछे छोड़ देता है। क्षेत्र की अवधारणा सर्वप्रथम फैराडे ने प्रस्तावित की थी जो भौतिकी की प्रमुख अवधारणाओं में स्थान रखती है।

उदाहरण 1.8 कोई इलेक्ट्रॉन 2.0×10^4 N C^{-1} परिमाण के एकसमान विद्युत क्षेत्र में 1.5 cm दूरी तक गिरता है [चित्र 1.13(a)]। क्षेत्र का परिमाण समान रखते हुए इसकी दिशा उत्क्रमित कर दी जाती है तथा अब कोई प्रोटॉन इस क्षेत्र में उतनी ही दूरी तक गिरता है [चित्र 1.13(b)]। दोनों प्रकरणों में गिरने में लगे समय की गणना कीजिए। इस परिस्थिति की 'गुरुत्व के अधीन मुक्त पतन' से तुलना कीजिए।



चित्र 1.13

हल चित्र 1.13(a) में क्षेत्र उपरिमुखी है, अत: ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन eE परिमाण का अधोमुखी बल अनुभव करता है, यहाँ E विद्युत क्षेत्र का परिमाण है। अत: इलेक्ट्रॉन का त्वरण

$$a_e = eE/m_e$$

यहाँ m_e इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान है।

विरामावस्था से आरंभ करके, इलेक्ट्रॉन के मुक्त रूप से h दूरी तक गिरने में लगा समय $t_e = \sqrt{\frac{2h}{a_e}} = \sqrt{\frac{2hm_e}{eE}}$

$e = 1.6 \times 10^{-19}$C, $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg,

$E = 2.0 \times 10^4$ N C^{-1}, $h = 1.5 \times 10^{-2}$ m,

$t_e = 2.9 \times 10^{-9}$s

चित्र 1.13 (b) में क्षेत्र अधोमुखी है, अत: धनावेशित प्रोटॉन eE परिमाण का अधोमुखी बल अनुभव करता है। अत: प्रोटॉन का त्वरण

$$a_p = eE/m_p$$

यहाँ m_p प्रोटॉन का द्रव्यमान है; $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg । अत: प्रोटॉन द्वारा गिरने में लिया

उदाहरण 1.8

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.8

गया समय $t_p = \sqrt{\frac{2h}{a_p}} = \sqrt{\frac{2hm_p}{eE}} = 1.3\times10^{-7}\,\text{s}$

इस प्रकार, समान दूरी गिरने में भारी कण (प्रोटॉन) अधिक समय लेता है। 'गुरुत्व के अधीन मुक्त पतन' और इस पतन में यही मूल विषमता है क्योंकि गुरुत्व के अधीन पतन में समय वस्तु के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता। ध्यान दीजिए यहाँ हमने पतन का समय परिकलित करते समय गुरुत्वीय त्वरण की उपेक्षा की है। यह देखने के लिए कि क्या यह न्यायसंगत है, आइए दिए गए विद्युत क्षेत्र में प्रोटॉन का त्वरण परिकलित करते हैं :

$$a_p = \frac{eE}{m_p}$$

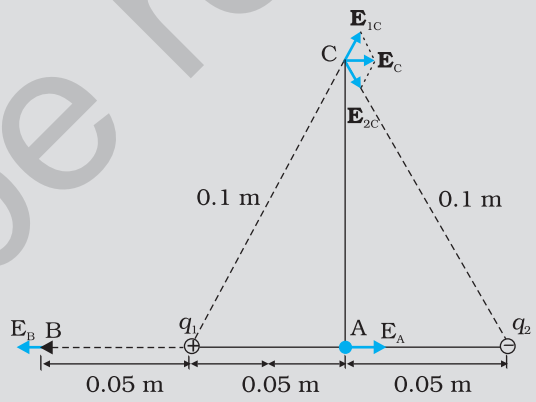
$$= \frac{(1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}) \times (2.0 \times 10^{4}\ \text{N C}^{-1})}{1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg}}$$

$$= 1.9 \times 10^{12}\ \text{m s}^{-2}$$

यह त्वरण गुरुत्वीय त्वरण ($9.8\ \text{m s}^{-2}$) की तुलना में अत्यंत विशाल है। इलेक्ट्रॉन का त्वरण तो इस त्वरण से भी अधिक है। इस प्रकार, इस उदाहरण में गुरुत्वीय त्वरण के प्रभाव की उपेक्षा की जा सकती है।

उदाहरण 1.9

उदाहरण 1.9 दो बिंदु आवेश q_1 तथा q_2 जिनके परिमाण क्रमशः $+10^{-8}$ C तथा -10^{-8} C हैं एक दूसरे से 0.1 m दूरी पर रखे हैं। चित्र 1.14 में दर्शाए बिंदुओं A, B तथा C पर विद्युत क्षेत्र परिकलित कीजिए।



चित्र 1.14

हल धनावेश q_1 के कारण A पर विद्युत क्षेत्र सदिश $\mathbf{E}_{1A}$ दाईं ओर निर्दिष्ट है तथा इसका परिमाण

$$E_{1A} = \frac{(9\times10^{9}\,\text{Nm}^2\text{C}^{-2})\times(10^{-8}\,\text{C})}{(0.05\,\text{m})^2} = 3.6 \times 10^{4}\ \text{N C}^{-1}$$

ऋणावेश q_2 के कारण A पर विद्युत क्षेत्र सदिश $\mathbf{E}_{2A}$ भी दाईं ओर निर्दिष्ट है तथा इसका परिमाण E_A के समान है। अतः A पर कुल विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}_A$ का परिमाण

$E_A = E_{1A} + E_{2A} = 7.2 \times 10^{4}\ \text{N C}^{-1}$ (यह दाईं ओर निर्दिष्ट है)

धनावेश q_1 के कारण B पर विद्युत क्षेत्र सदिश $\mathbf{E}_{1B}$ बाईं ओर निर्दिष्ट है तथा इसका परिमाण

© NCERT not to be republished

$$E_{1B} = \frac{(9\times10^{9}\,\mathrm{Nm^2C^{-2}})\times(10^{-8}\,\mathrm{C})}{(0.05\,\mathrm{m})^2} = 3.6 \times 10^{4}\ \mathrm{N\ C^{-1}}$$

ऋणावेश q_2 के कारण B पर विद्युत क्षेत्र सदिश $\mathbf{E}_{2B}$ दाईं ओर निर्दिष्ट है तथा इसका परिमाण

$$E_{2B} = \frac{(9\times10^{9}\,\mathrm{Nm^2C^{-2}})\times(10^{-8}\,\mathrm{C})}{(0.15\,\mathrm{m})^2} = 4 \times 10^{3}\ \mathrm{N\ C^{-1}}$$

B पर कुल विद्युत क्षेत्र का परिमाण

$E_B = E_{1B} - E_{2B} = 3.2 \times 10^{4}\ \mathrm{N\ C^{-1}}$ (यह बाईं ओर निर्दिष्ट है)

q_1 तथा q_2 में प्रत्येक के कारण बिंदु C पर विद्युत क्षेत्र सदिश का परिमाण समान है, अत:

$$E_{1C} = E_{2C} = \frac{(9\times10^{9}\,\mathrm{Nm^2C^{-2}})\times(10^{-8}\,\mathrm{C})}{(0.10\,\mathrm{m})^2} = 9 \times 10^{3}\ \mathrm{N\ C^{-1}}$$

इन दोनों सदिशों की दिशाएँ चित्र 1.14 में दर्शायी गई हैं। इन दो सदिशों के परिणामी सदिश का परिमाण

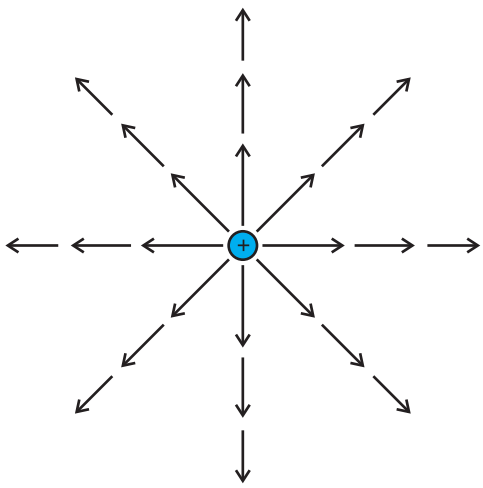
$$E_C = E_1 \cos\frac{\pi}{3} + E_2 \cos\frac{\pi}{3} = 9 \times 10^{3}\ \mathrm{N\ C^{-1}}$$

E_c दाईं ओर निर्दिष्ट है।

उदाहरण 1.9

1.9 विद्युत क्षेत्र रेखाएँ

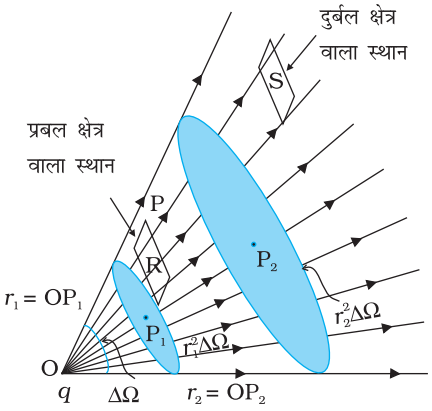
पिछले अनुभाग में हमने विद्युत क्षेत्र का अध्ययन किया। यह एक सदिश राशि है तथा इसे हम सदिशों की भाँति ही निरूपित कर सकते हैं। आइए किसी बिंदु आवेश के कारण **E** को चित्रात्मक निरूपित करने का प्रयास करते हैं। मान लीजिए बिंदु आवेश मूल बिंदु पर स्थित है। प्रत्येक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दिशा के अनुदिश संकेत करते हुए क्षेत्र की तीव्रता की आनुपातिक लंबाई के सदिश खींचिए। चूँकि किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण आवेश से उस बिंदु की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुसार घटता है, मूल बिंदु से दूर जाने पर सदिश की लंबाई निरंतर घटती जाती है तथा इसकी दिशा सदैव बहिर्मुखी अरीय संकेत करती है। चित्र 1.15 इसी चित्रण को दर्शाता है। इस चित्रण में प्रत्येक तीर विद्युत क्षेत्र अर्थात उस तीर के पुच्छ पर स्थित इकाई धन आवेश पर लगने वाला बल दर्शाता है। एक दिशा में संकेत करने वाले तीरों को मिलाने पर प्राप्त परिणामी चित्र क्षेत्र रेखा को निरूपित करता है। इस प्रकार हमें बहुत सी क्षेत्र रेखाएँ प्राप्त होती हैं जिनमें सभी बिंदु आवेश से बाहर की ओर संकेत करती हैं। क्या अब हमने विद्युत क्षेत्र की तीव्रता अथवा परिमाण के विषय में जानकारी नष्ट कर दी है, क्योंकि वह तो तीर की लंबाई में समाई हुई थी? नहीं। अब, क्षेत्र के परिमाण को क्षेत्र रेखाओं के घनत्व द्वारा निरूपित किया जाता है। आवेश के निकट **E** प्रबल होता है। अत: आवेश के निकट क्षेत्र रेखाओं का घनत्व अधिक होता है तथा क्षेत्र रेखाएँ सघन होती हैं। आवेश से दूर जाने पर क्षेत्र दुर्बल होता जाता है तथा क्षेत्र रेखाओं का घनत्व कम होता है परिणामस्वरूप रेखाएँ भी दूर-दूर होती हैं।



चित्र 1.15 बिंदु आवेश का क्षेत्र।

कोई व्यक्ति अधिक रेखाएँ खींच सकता है। परंतु रेखाओं की संख्या महत्वपूर्ण नहीं है। वास्तव में किसी क्षेत्र में असंख्य रेखाएँ खींची जा सकती हैं। अत: महत्वपूर्ण यह है कि विभिन्न क्षेत्रों में रेखाओं का आपेक्षिक घनत्व क्या है?

© NCERT not to be republished



चित्र 1.16 विद्युत क्षेत्र प्रबलता की दूरी पर निर्भरता तथा इसका क्षेत्र रेखाओं की संख्या से संबंध।

हम कागज़ के पृष्ठ पर चित्र खींचते हैं अर्थात हम द्विविमीय चित्र खींचते हैं, परंतु हम तीन विमाओं में रहते हैं। अत: यदि हमें क्षेत्र रेखाओं के घनत्व का आकलन करना है तो हमें इन रेखाओं के लंबवत अनुप्रस्थ काट के प्रति एकांक क्षेत्रफल में क्षेत्र रेखाओं की संख्या पर विचार करना होता है। चूँकि किसी बिंदु आवेश से दूरी के वर्ग के अनुसार विद्युत क्षेत्र कम होता जाता है तथा आवेश को परिबद्ध करने वाला क्षेत्र दूरी के वर्ग के अनुसार बढ़ता जाता है, परिबद्ध क्षेत्र से गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या सदैव नियत रहती है, चाहे आवेश से उस क्षेत्र की दूरी कुछ भी हो।

हमने आरंभ में यह कहा था कि क्षेत्र रेखाएँ दिक्स्थान के विभिन्न बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र की दिशा के विषय में सूचनाएँ पहुँचाती हैं। कुछ क्षेत्र रेखाओं का समुच्चय खींचने पर विभिन्न बिंदुओं पर क्षेत्र रेखाओं का आपेक्षिक संख्या घनत्व (अर्थात अत्यधिक निकटता) उन बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र की आपेक्षिक प्रबलता इंगित करता है। जहाँ क्षेत्र रेखाएँ सघन होती हैं वहाँ क्षेत्र प्रबल होता है तथा जहाँ दूर-दूर होती हैं वहाँ दुर्बल होता है। चित्र 1.16 में क्षेत्र रेखाओं का समुच्चय दर्शाया गया है। हम बिंदुओं R तथा S पर वहाँ की क्षेत्र रेखाओं के अभिलंबवत दो समान तथा छोटे क्षेत्र अवयवों की कल्पना कर सकते हैं। हमारे चित्रण में इन क्षेत्र अवयवों को काटने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या इन बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्रों के परिमाणों के अनुक्रमानुपाती है। चित्रण यह दर्शाता है कि बिंदु R पर क्षेत्र, बिंदु S पर क्षेत्र की तुलना में अधिक प्रबल है।

क्षेत्रफल पर अथवा क्षेत्र अवयव द्वारा अंतरित घन कोण* पर, क्षेत्र रेखाओं की निर्भरता को समझने के लिए आइए हम क्षेत्रफल और घन कोण (जो कोण का तीन विमाओं में व्यापकीकरण है) के बीच संबंध स्थापित करने का प्रयास करते हैं। याद कीजिए दो विमाओं में किसी (समतल) कोण की परिभाषा किस प्रकार की जाती है। मान लीजिए कोई छोटा अनुप्रस्थ रेखा अवयव Δl बिंदु O से r दूरी पर रखा जाता है। तब O पर Δl द्वारा अंतरित कोण का सन्निकटन $\Delta\theta = \Delta l/r$ के रूप में किया जा सकता है। इसी प्रकार, तीन विमाओं में किसी छोटे लंबवत क्षेत्र ΔS द्वारा दूरी r पर अंतरित घन कोण* को $\Delta\Omega = \Delta S/r^2$ व्यक्त किया जा सकता है। हम जानते हैं कि किसी दिए गए घन कोण में अरीय क्षेत्र रेखाओं की संख्या समान होती है। चित्र 1.16 में आवेश से r_1 तथा r_2 दूरियों पर स्थित दो बिंदुओं P_1 तथा P_2 के लिए घन कोण $\Delta\Omega$ द्वारा P_1 पर अंतरित क्षेत्र अवयव $r_1^2\,\Delta\Omega$ तथा P_2 पर अंतरित क्षेत्र अवयव $r_2^2\,\Delta\Omega$ है। इन क्षेत्र अवयवों को काटने वाली रेखाओं की संख्या (मान लीजिए n) समान है। अत: एकांक क्षेत्र अवयव को काटने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या P_1 पर $n/(r_1^2\,\Delta\Omega)$ तथा P_2 पर $n/(r_2^2\,\Delta\Omega)$ है। इस प्रकार स्पष्ट है कि क्षेत्र रेखाओं की संख्या और इसीलिए क्षेत्र-प्रबलता स्पष्ट रूप से $1/r^2$ पर निर्भर है।

क्षेत्र रेखाओं के चित्रण की खोज फैराडे ने आवेशित विन्यासों के चारों ओर विद्युत क्षेत्र का मानस प्रत्यक्षीकरण करने के एक अंतर्दर्शी अगणितीय उपाय को विकसित करने के लिए की थी। फैराडे ने इन्हें *बल रेखाएँ* कहा था। *यह पद विशेषकर चुंबकीय क्षेत्रों के प्रकरण के लिए कुछ भ्रामक है। इनके लिए अधिक उचित पद क्षेत्र रेखाएँ (वैद्युत अथवा चुंबकीय) है जिसे हमने इस पुस्तक में अपनाया है।*

इस प्रकार विद्युत क्षेत्र रेखाएँ आवेशों के अभिविन्यास के चारों ओर विद्युत क्षेत्र के चित्रात्मक निरूपण का एक उपाय है। व्यापक रूप में, विद्युत क्षेत्र रेखा एक ऐसा वक्र होती है जिसके किसी भी बिंदु पर खींचा गया स्पर्शी उस बिंदु पर लगे नेट बल की दिशा को निरूपित करता है। इस वक्र के किसी बिंदु पर, स्पष्ट रूप से, स्पर्शी द्वारा विद्युत क्षेत्र की दो संभावित दिशाओं में से कोई एक

* घन कोण शंकु की एक माप है। R त्रिज्या के गोले वाले दिए गए शंकु के परिच्छेद पर विचार कीजिए। शंकु के घन कोण $\Delta\Omega$ की परिभाषा इसे $\Delta S/R^2$ के बराबर मानकर करते हैं, यहाँ ΔS शंकु द्वारा गोले पर काटा गया क्षेत्रफल है।

© NCERT not to be republished

दिशा दर्शाने के लिए वक्र पर तीर का चिह्न अंकित करना आवश्यक है। क्षेत्र रेखा एक दिक्स्थान वक्र अर्थात तीन दिशाओं में वक्र होती है।

चित्र 1.17 में कुछ सरल आवेश विन्यासों के चारों ओर क्षेत्र रेखाएँ दर्शायी गई हैं। जैसा कि पहले वर्णन किया जा चुका है, ये क्षेत्र रेखाएँ तीन विमीय दिक्स्थान में हैं यद्यपि चित्र में इन्हें केवल एक तल में दर्शाया गया है। एकल धनावेश के कारण क्षेत्र रेखाएँ त्रिज्यत: (अरीय) बहिर्मुखी होती हैं जबकि एकल ऋणावेश के कारण क्षेत्र रेखाएँ त्रिज्यत: अंतर्मुखी होती हैं। दो धनावेशों (q, q) के निकाय के चारों ओर की क्षेत्र रेखाएँ पारस्परिक प्रतिकर्षण का एक सजीव चित्रण प्रस्तुत करती हैं जबकि परिमाण में समान दो विजातीय आवेशों $(q, -q)$ के निकाय, अर्थात किसी द्विध्रुव के चारों ओर क्षेत्र रेखाएँ आवेशों के बीच स्पष्ट पारस्परिक आकर्षण दर्शाती हैं। क्षेत्र रेखाएँ कुछ महत्वपूर्ण सामान्य गुणों का पालन करती हैं–

(i) क्षेत्र रेखाएँ धनावेश से आरंभ होकर ऋणावेश पर समाप्त होती हैं। यदि आवेश एकल है तो ये अनंत से आरंभ अथवा अनंत पर समाप्त हो सकती हैं।

(ii) किसी आवेश मुक्त क्षेत्र में, क्षेत्र रेखाओं को ऐसे संतत वक्र माना जा सकता है जो कहीं नहीं टूटते।

(iii) दो क्षेत्र रेखाएँ एक-दूसरे को कदापि नहीं काटतीं। (यदि वे ऐसा करें तो प्रतिच्छेदन बिंदु पर क्षेत्र की केवल एक दिशा नहीं होगी, जो निरर्थक है।

(iv) स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ बंद लूप नहीं बनातीं। यह विद्युत क्षेत्र की संरक्षणात्मक प्रकृति से अनुशासित है (अध्याय 2 देखिए)।

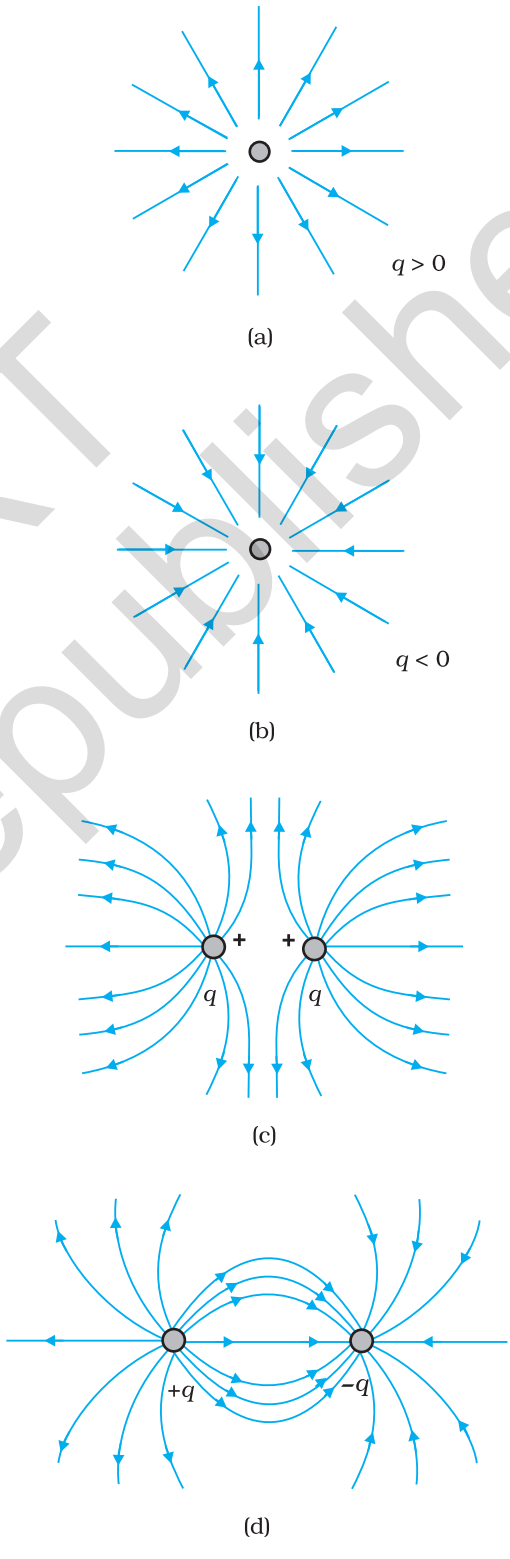
1.10 वैद्युत फ्लक्स

किसी dS क्षेत्रफल के छोटे पृष्ठ से उसके अभिलंबवत $\mathbf{v}$ वेग से प्रवाहित होने वाले किसी द्रव के प्रवाह पर विचार कीजिए। द्रव के प्रवाह की दर इस क्षेत्र से प्रति एकांक समय में गुजरने वाले आयतन $v\, dS$ द्वारा प्राप्त होती है तथा यह उस तल से गुजरने वाले द्रव के फ्लक्स को निरूपित करती है। यदि इस तल (पृष्ठ) पर अभिलंब द्रव के प्रवाह की दिशा अर्थात $\mathbf{v}$ के समांतर नहीं है, और इनके बीच θ कोण बनता है तो $\mathbf{v}$ के लंबवत तल में प्रक्षेपित क्षेत्रफल $v\, dS \cos\theta$ होगा। अत: पृष्ठ dS से बाहर जाने वाला फ्लक्स $\mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}}\, dS$ होता है।

विद्युत क्षेत्र के प्रकरण के लिए, हम एक समतुल्य राशि को परिभाषित करते हैं और इसे *वैद्युत फ्लक्स* कहते हैं।

तथापि हमें यह ध्यान में रखना चाहिए कि द्रव-प्रवाह के प्रकरण के विपरीत यहाँ प्राकृतिक नियमों के अनुसार प्रेक्षण योग्य राशि का कोई *प्रवाह* नहीं है।

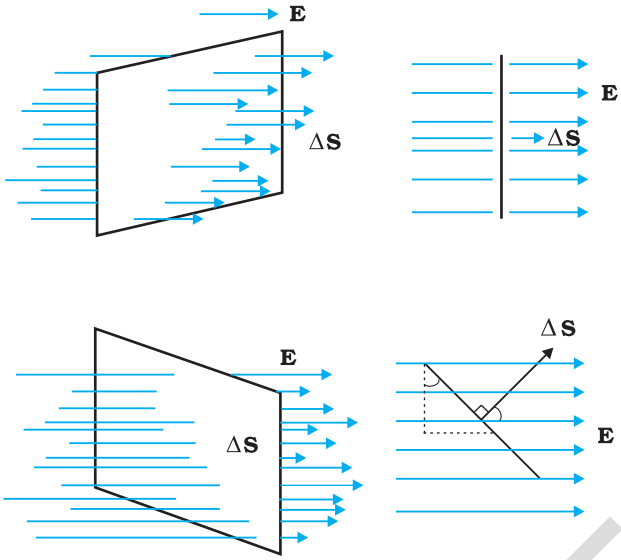
उपरोक्त वर्णित विद्युत क्षेत्र रेखाओं के चित्रण में हमने देखा कि किसी बिंदु पर क्षेत्र के अभिलंबवत रखे एकांक क्षेत्रफल से गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या उस बिंदु पर विद्युत क्षेत्र प्रबलता की माप होती है। इसका तात्पर्य यह है कि यदि हम किसी बिंदु पर $\mathbf{E}$ के अभिलंबवत कोई ΔS क्षेत्रफल का छोटा समतलीय अवयव रखें तो इससे गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या $E\,\Delta S$ के अनुक्रमानुपाती* है। अब मान लीजिए हम क्षेत्रफल अवयव को किसी



चित्र 1.17 विभिन्न आवेश वितरणों के कारण क्षेत्र रेखाएँ।

* यह कहना उचित नहीं है कि क्षेत्र रेखाओं की संख्या $E\Delta S$ के बराबर है। वास्तव में क्षेत्र रेखाओं की संख्या ऐसा विषय है जो हम कितनी क्षेत्र रेखाएँ खींचने का चयन करते हैं, पर निर्भर है। अत: विभिन्न बिंदुओं पर दिए गए क्षेत्रफल से गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की आपेक्षिक संख्या के ज्ञात होने में ही इनकी भौतिक सार्थकता है।

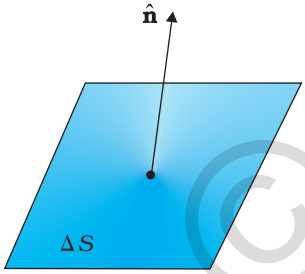
© NCERT not to be republished



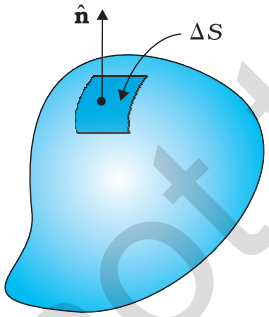
चित्र 1.18 **E** तथा $\hat{n}$ के बीच झुकाव θ पर फ्लक्स की निर्भरता।

कोण θ पर झुका देते हैं। स्पष्ट है अब इस क्षेत्रफल अवयव से गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या घट जाएगी। चूँकि E के अभिलंबवत क्षेत्रफल अवयव ΔS का प्रक्षेप $\Delta S \cos\theta$ है, अत: ΔS से गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या $E\,\Delta S \cos\theta$ के अनुक्रमानुपाती है। जब $\theta = 90°$ होता है तो क्षेत्र रेखाएँ ΔS के समांतर हो जाती हैं और इससे कोई भी क्षेत्र रेखा नहीं गुजरती (चित्र 1.18 देखिए)।

बहुत से संदर्भों में क्षेत्रफल अवयव के परिमाण के साथ-साथ उसका दिक्विन्यास भी महत्वपूर्ण होता है। उदाहरण के लिए, किसी जल-प्रवाह में किसी रिंग से गुजरने वाले जल का परिमाण स्वाभाविक रूप से इस बात पर निर्भर करता है कि आप जल धारा में इसे किस प्रकार पकड़े हुए हैं। यदि आप इसे जल-प्रवाह के अभिलंबवत रखते हैं तो अन्य सभी दिक्विन्यासों की तुलना में इस विन्यास में रिंग से अधिकतम जल गुजरेगा। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि क्षेत्रफल-अवयव को सदिश के समान मानना चाहिए। इसमें परिमाण के साथ दिशा भी होती है। समतलीय क्षेत्र की दिशा कैसे निर्दिष्ट की जाए? स्पष्ट रूप से तल पर अभिलंब तल का दिक्विन्यास निर्दिष्ट करता है। इस प्रकार समतलीय क्षेत्र सदिश की दिशा इसके अभिलंब के अनुदिश होती है।



$\Delta \mathbf{S} = \Delta S\,\hat{\mathbf{n}}$



चित्र 1.19 अभिलंब $\hat{n}$ तथा ΔS को परिभाषित करने की परिपाटी।

किसी वक्रित पृष्ठ के क्षेत्रफल को किसी सदिश से कैसे संबद्ध किया जाता है? हम यह कल्पना करते हैं कि वक्रित पृष्ठ बहुत से छोटे-छोटे क्षेत्रफल अवयवों में विभाजित है। इनमें से प्रत्येक छोटा क्षेत्रफल अवयव समतलीय माना जा सकता है और पहले स्पष्टीकरण के अनुसार इससे सदिश संबद्ध किया जा सकता है।

यहाँ एक संदिग्धता पर ध्यान दीजिए। किसी क्षेत्रफल अवयव की दिशा उसके अभिलंब के अनुदिश होती है। परंतु अभिलंब दो दिशाएँ संकेत कर सकता है। किसी क्षेत्रफल अवयव से संबद्ध सदिश की दिशा का चयन किस प्रकार किया जाता है? इस समस्या का समाधान इस संदर्भ में उचित कुछ परिपाटियों के निर्धारण द्वारा किया गया है। बंद पृष्ठों के प्रकरणों के लिए यह परिपाटी अति सरल है। किसी बंद पृष्ठ के प्रत्येक क्षेत्रफल अवयव से संबद्ध सदिश की दिशा *बहिर्मुखी* अभिलंब की दिशा मानी जाती है। इसी परिपाटी का उपयोग चित्र 1.19 में किया गया है। इस प्रकार, किसी बंद पृष्ठ के किसी बिंदु पर क्षेत्रफल अवयव सदिश $\Delta\mathbf{S}$ का मान $\Delta\mathbf{S}$ $\hat{\mathbf{n}}$ होता है, यहाँ $\Delta\mathbf{S}$ क्षेत्रफल सदिश का परिमाण तथा $\hat{\mathbf{n}}$ इस बिंदु पर बहिर्मुखी अभिलंब की दिशा में एकांक सदिश है।

अब हम वैद्युत फ्लक्स की परिभाषा पर आते हैं। किसी क्षेत्रफल अवयव $\Delta\mathbf{S}$ से गुजरने वाले वैद्युत फ्लक्स $\Delta\phi$ की परिभाषा इस प्रकार करते हैं :

$$\Delta\phi = \mathbf{E}\cdot\Delta\mathbf{S} = E\,\Delta S\,\cos\theta \qquad (1.11)$$

जो पहले की भाँति इस क्षेत्रफल अवयव को काटने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या के अनुक्रमानुपाती है। यहाँ θ क्षेत्र अवयव $\Delta\mathbf{S}$ तथा $\mathbf{E}$ के बीच का कोण है। पूर्वोक्त परिपाटी के अनुसार बंद पृष्ठ के लिए θ क्षेत्र-अवयव पर बहिर्मुखी अभिलंब तथा $\mathbf{E}$ के बीच का कोण है। ध्यान दीजिए, हम व्यंजक $E\,\Delta S\cos\theta$ पर दो ढंग से विचार कर सकते हैं: E $(\Delta S\cos\theta)$ अर्थात E पर क्षेत्र-अभिलंब के प्रक्षेप का $\mathbf{E}$ गुना, अथवा $E_\perp\,\Delta S$ अर्थात क्षेत्र-अवयव पर अभिलंब के अनुदिश $\mathbf{E}$ का अवयव गुना क्षेत्र-अवयव का परिमाण। वैद्युत फ्लक्स का मात्रक $\mathrm{N\,C^{-1}\,m^2}$ है।

© NCERT not to be republished

समीकरण (1.11) से प्राप्त वैद्युत फ्लक्स की मूल परिभाषा को सैद्धांतिक रूप में, किसी दिए गए पृष्ठ से गुजरने वाले कुल फ्लक्स को परिकलित करने में उपयोग कर सकते हैं। इसके लिए हमें यह करना होता है कि हम पहले पृष्ठ को छोटे-छोटे क्षेत्रफल अवयवों में विभाजित करते हैं और फिर प्रत्येक अवयव के लिए फ्लक्स परिकलित करके उन्हें जोड़कर कुल फ्लक्स प्राप्त कर लेते हैं। अत: पृष्ठ S से गुजरने वाला कुल फ्लक्स ϕ है

$$\phi \simeq \Sigma\, \mathbf{E}\cdot\Delta\mathbf{S} \qquad (1.12)$$

यहाँ सन्निकटन चिह्न लगाने का कारण यह है कि हमने छोटे क्षेत्रफल अवयव पर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ को नियत माना है। गणितीय रूप से यह केवल तभी यथार्थ है जब आप सीमा $\Delta S \to 0$ लें तथा समीकरण (1.12) में योग को समाकलन के रूप में व्यक्त करें।

1.11 वैद्युत द्विध्रुव

परिमाण में समान एवं विजातीय बिंदु आवेशों q तथा $-q$ का कोई युगल जिनके बीच पृथकन $2a$ है, *वैद्युत द्विध्रुव* कहलाता है। दोनों आवेशों को संयोजित करने वाली रेखा दिक्स्थान में किसी दिशा को परिभाषित करती है। परिपाटी के अनुसार $-q$ से q की दिशा द्विध्रुव की दिशा कहलाती है। $-q$ तथा q की अवस्थितियों का मध्य बिंदु द्विध्रुव का केंद्र कहलाता है।

प्रत्यक्ष रूप से वैद्युत द्विध्रुव का कुल आवेश शून्य होता है। परंतु इसका यह अर्थ नहीं है कि द्विध्रुव का विद्युत क्षेत्र शून्य है। चूँकि आवेश q तथा $-q$ में कुछ पृथकन है, इनके कारण विद्युत क्षेत्र जब जोड़े जाते हैं तब ये एक-दूसरे को यथार्थ रूप से निरस्त नहीं करते। परंतु यदि द्विध्रुव बनाने वाले आवेशों के पृथकन की तुलना में दूरी अधिक ($r >> 2a$) है, तो q एवं $-q$ के कारण क्षेत्र लगभग निरस्त हो जाते हैं। अत: अधिक दूरियों पर किसी वैद्युत द्विध्रुव के कारण विद्युत क्षेत्र $1/r^2$ (एकल आवेश q के कारण विद्युत क्षेत्र की r पर निर्भरता) से भी अधिक गति से मंद होता जाता है। यह गुणात्मक धारणा नीचे दिए गए सुस्पष्ट परिकलन से उत्पन्न हुई है:

1.11.1 वैद्युत द्विध्रुव के कारण क्षेत्र

आवेशों के युगल ($-q$ तथा q) के कारण दिक्स्थान में किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र कूलॉम नियम तथा अध्यारोपण सिद्धांत से ज्ञात किया जा सकता है। निम्नलिखित दो प्रकरणों के परिणाम सरल हैं: (i) जब बिंदु द्विध्रुव के अक्ष पर है, (ii) जब बिंदु द्विध्रुव के *विषुवतीय तल*, अर्थात द्विध्रुव अक्ष के केंद्र से गुजरने वाले द्विध्रुव अक्ष के लंबवत तल में है। किसी व्यापक बिंदु P पर विद्युत क्षेत्र, आवेश $-q$ के कारण P पर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}_{-q}$ तथा आवेश $+q$ के कारण P पर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}_{+q}$ को सदिशों के समांतर चतुर्भुज नियम द्वारा संयोजित करके प्राप्त किया जाता है।

(i) अक्ष पर स्थित बिंदुओं के लिए

मान लीजिए बिंदु P द्विध्रुव के केंद्र से q की ओर चित्र (1.20a) में दर्शाए अनुसार r दूरी पर है, तब

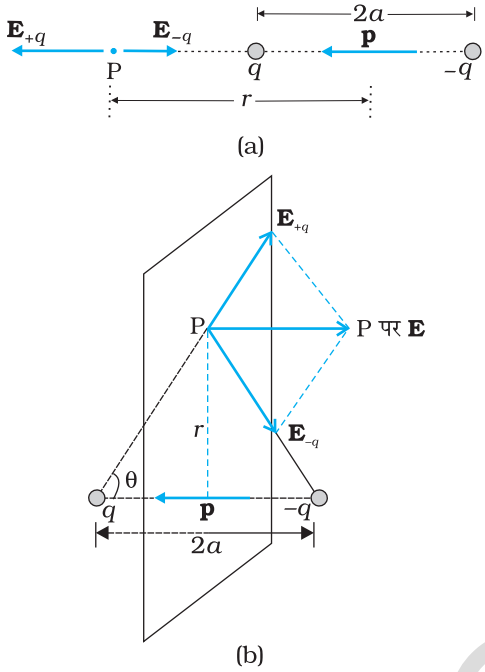
$$\mathbf{E}_{-q} = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 (r+a)^2}\hat{\mathbf{p}} \qquad [1.13(a)]$$

यहाँ $\hat{\mathbf{p}}$ द्विध्रुव अक्ष ($-q$ से q की ओर) के अनुदिश एकांक सदिश है। साथ ही

$$\mathbf{E}_{+q} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 (r-a)^2}\hat{\mathbf{p}} \qquad [1.13(b)]$$

P पर कुल विद्युत क्षेत्र है

© NCERT not to be republished



चित्र 1.20 (a) अक्ष पर स्थित किसी बिंदु, (b) द्विध्रुव के विषुवतीय तल पर स्थित किसी बिंदु पर द्विध्रुव का विद्युत क्षेत्र। द्विध्रुव आघूर्ण **p** सदिश है जिसका परिमाण $p = q \times 2a$ है तथा दिशा $-q$ से q की ओर है।

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{+q} + \mathbf{E}_{-q} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{(r-a)^2} - \frac{1}{(r+a)^2}\right]\hat{\mathbf{p}}$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{4ar}{(r^2-a^2)^2}\hat{\mathbf{p}} \qquad (1.14)$$

$r >> a$ के लिए

$$\mathbf{E} = \frac{4qa}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\hat{\mathbf{p}} \qquad (r >> a) \qquad (1.15)$$

(ii) विषुवतीय तल पर स्थित बिंदुओं के लिए

दो आवेशों $+q$ तथा $-q$ के कारण विद्युत क्षेत्रों के परिमाण

$$E_{+q} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^2+a^2} \qquad [1.16(a)]$$

$$E_{-q} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^2+a^2} \qquad [1.16(b)]$$

समान हैं।

$\mathbf{E}_{+q}$ तथा $\mathbf{E}_{-q}$ की दिशाएँ चित्र 1.20(b) में दर्शायी गई हैं। स्पष्ट है कि द्विध्रुव अक्ष के अभिलंबवत अवयव एक-दूसरे को निरस्त कर देते हैं। द्विध्रुव अक्ष के अनुदिश अवयव संयोजित हो जाते हैं। कुल विद्युत क्षेत्र $\hat{\mathbf{p}}$ के विपरीत होता है। अतः

$$\mathbf{E} = -(E_{+q} + E_{-q})\cos\theta\ \hat{\mathbf{p}}$$

$$= -\frac{2qa}{4\pi\varepsilon_o(r^2+a^2)^{3/2}}\hat{\mathbf{p}} \qquad (1.17)$$

अधिक दूरियों ($r >> a$) पर

$$\mathbf{E} = -\frac{2qa}{4\pi\varepsilon_o r^3}\hat{\mathbf{p}} \qquad (r >> a) \qquad (1.18)$$

समीकरणों (1.15) तथा (1.18) से स्पष्ट है कि अधिक दूरियों पर द्विध्रुव क्षेत्र में q तथा a पृथक रूप से सम्मिलित नहीं होते; यह इनके संयुक्त गुणनफल qa पर निर्भर करता है। इससे द्विध्रुव आघूर्ण की परिभाषा का संकेत मिलता है। किसी वैद्युत द्विध्रुव के *द्विध्रुव आघूर्ण सदिश* **p** की परिभाषा इस प्रकार की जा सकती है:

$$\mathbf{p} = q \times 2a\ \hat{\mathbf{p}} \qquad (1.19)$$

अर्थात यह एक सदिश है जिसका परिमाण आवेश q तथा पृथकन $2a$ (आवेशों $q, -q$ के युगल के बीच की दूरी) तथा दिशा $-q$ से q की ओर होती है। **p** के पदों में, किसी द्विध्रुव का विद्युत क्षेत्र अधिक दूरियों पर एक सरल रूप ले लेता है।

द्विध्रुव अक्ष के किसी बिंदु पर

$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_o r^3} \qquad (r >> a) \qquad (1.20)$$

विषुवतीय तल के किसी बिंदु पर

$$\mathbf{E} = -\frac{\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_o r^3} \qquad (r >> a) \qquad (1.21)$$

© NCERT not to be republished

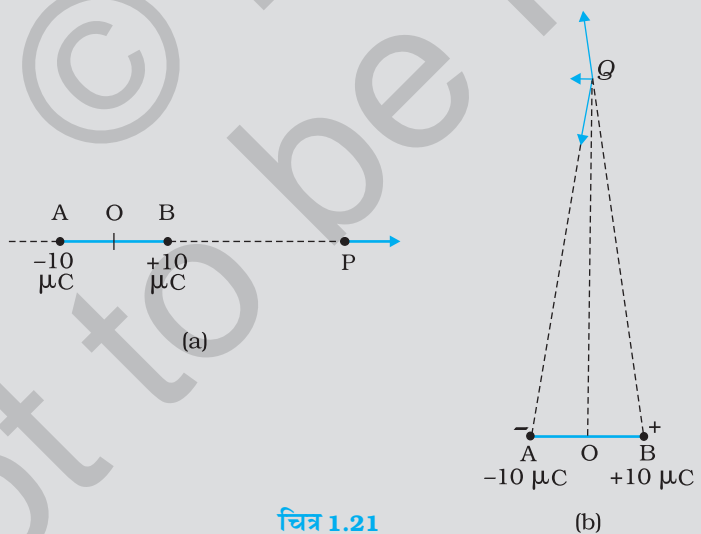
इस महत्वपूर्ण तथ्य पर ध्यान दीजिए कि द्विध्रुव क्षेत्र अधिक दूरियों पर $1/r^2$ के रूप में नहीं वरन् $1/r^3$ के रूप में मंद होता है। इसके अतिरिक्त द्विध्रुव क्षेत्र का परिमाण तथा दिशा केवल दूरी **r** पर ही निर्भर नही है वरन् ये सदिश **r** तथा द्विध्रुव आघूर्ण **p** के बीच के *कोण* पर भी निर्भर करते है।

हम उसके बारे में सोच सकते हैं- जब द्विध्रुव आमाप $2a$ शून्य की ओर अग्रसर होता जाता है, तब आवेश q अनंत की ओर अग्रसर इस प्रकार होता जाता है कि गुणनफल $p = q \times 2a$ एक नियत परिमित संख्या होती है। इस प्रकार के द्विध्रुव को *बिंदु द्विध्रुव* कहते हैं। किसी बिंदु द्विध्रुव के लिए समीकरण (1.20) तथा (1.21) r के सभी मानों के लिए सत्य तथा यथार्थ हैं।

1.11.2 द्विध्रुवों की भौतिक सार्थकता

अधिकांश अणुओं में धनावेशों तथा ऋणावेशों* के केंद्र एक ही स्थान पर होते हैं। इसीलिए इनके द्विध्रुव आघूर्ण शून्य होते हैं। CO_2 तथा CH_4 अणु इसी प्रकार के हैं। विद्युत क्षेत्र आरोपित किए जाने पर ये द्विध्रुव आघूर्ण विकसित कर लेते हैं परंतु कुछ अणुओं में धनावेशों तथा ऋणावेशों के केंद्र संपाती नहीं होते। अत: विद्युत क्षेत्र की अनुपस्थिति में भी इनका अपना स्थायी द्विध्रुव आघूर्ण होता है। इस प्रकार के अणुओं को *ध्रुवित अणु* कहते हैं। जल का अणु, H_2O, इस प्रकार के अणुओं का एक उदाहरण है। विविध पदार्थ विद्युत क्षेत्र की उपस्थिति अथवा अनुपस्थिति में रोचक गुण तथा महत्वपूर्ण अनुप्रयोग प्रस्तुत करते हैं।

उदाहरण 1.10 $\pm 10\ \mu C$ के दो आवेश एक-दूसरे से 5.0 mm दूरी पर स्थित हैं। (a) इस द्विध्रुव के अक्ष पर द्विध्रुव के केंद्र O से चित्र 1.21(a) में दर्शाए अनुसार, धनावेश की ओर 15 cm दूरी पर स्थित किसी बिंदु P पर तथा (b) द्विध्रुव के अक्ष के अभिलंबवत O से, चित्र 1.21(b) में दर्शाए अनुसार गुजरने वाली रेखा से 15 cm दूरी पर स्थित किसी बिंदु Q पर विद्युत क्षेत्र ज्ञात कीजिए।



चित्र 1.21

हल : (a) बिंदु P पर आवेश $+10\ \mu C$ के कारण क्षेत्र

उदाहरण 1.10

* धनात्मक बिंदु आवेशों के संग्रह को केंद्र की परिभाषा संहति केंद्र की ही भाँति की जाती है जिसके अनुसार

$$\mathbf{r}_{cm} = \frac{\sum_i q_i \mathbf{r}_i}{\sum_i q_i}.$$

© NCERT not to be republished

$$= \frac{10^{-5}\ \text{C}}{4\pi(8.854\times10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2})} \times \frac{1}{(15-0.25)^2\times10^{-4}\ \text{m}^2}$$

$= 4.13 \times 10^6$ N C^{-1} BP के अनुदिश

बिंदु P पर आवेश –10 μC के कारण क्षेत्र

$$= \frac{10^{-5}\text{C}}{4\pi(8.854\times10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2})} \times \frac{1}{(15+0.25)^2\times10^{-4}\ \text{m}^2}$$

$= 3.86 \times 10^6$ N C^{-1} PA के अनुदिश

A तथा B पर स्थित दो आवेशों के कारण P पर परिणामी विद्युत क्षेत्र = 2.7×10^5 N C^{-1} BP के अनुदिश है।

इस उदाहरण में अनुपात OP/OB काफी अधिक (=60) है। अत:, किसी द्विध्रुव के अक्ष पर अत्यधिक दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र ज्ञात करने के लिए सीधे ही सूत्र के उपयोग द्वारा हम इसी के सन्निकट परिणाम की आशा कर सकते हैं। $2a$ पृथकन के $\pm q$ आवेशों से बने द्विध्रुव के लिए द्विध्रुव के अक्ष के केंद्र से r दूरी पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण

$$E = \frac{2p}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (r/a >> 1)$$

यहाँ $p = 2a\,q$ द्विध्रुव आघूर्ण का परिमाण है।

द्विध्रुव अक्ष पर विद्युत क्षेत्र की दिशा सदैव द्विध्रुव आघूर्ण सदिश के अनुदिश (अर्थात $-q$ से q की ओर) होती है। यहाँ, $p = 10^{-5}\ \text{C} \times 5 \times 10^{-3}\ \text{m} = 5 \times 10^{-8}$ C m

अत:

$$E = \frac{2\times5\times10^{-8}\ \text{C m}}{4\pi(8.854\times10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\text{m}^{-2})} \times \frac{1}{(15)^3\times10^{-6}\ \text{m}^3} = 2.6 \times 10^5 \text{ N C}^{-1}$$

द्विध्रुव आघूर्ण की दिशा AB के अनुदिश है, तथा यह परिणाम पूर्व परिणाम के काफी निकट है।

(b) बिंदु B पर स्थित + 10 μC आवेश के कारण बिंदु Q पर विद्युत क्षेत्र

$$= \frac{10^{-5}\ \text{C}}{4\ \pi\ (8.854\times10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2})} \times \frac{1}{[15^2 + (0.25)^2]\times10^{-4}\ \text{m}^2}$$

$= 3.99 \times 10^6$ N C^{-1} BQ के अनुदिश

बिंदु A पर स्थित –10 μC आवेश के कारण Q पर विद्युत क्षेत्र

$$= \frac{10^{-5}\ \text{C}}{4\pi(8.854\times10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2})} \times \frac{1}{[15^2+(0.25)^2]\times10^{-4}\text{m}^2}$$

$= 3.99 \times 10^6$ N C^{-1} QA के अनुदिश

स्पष्ट है कि इन दो समान परिमाण के बलों के OQ दिशा के अनुदिश घटक एक-दूसरे को निरस्त करते हैं परंतु BA के समांतर दिशा के अनुदिश घटक संयोजित हो जाते हैं। अत: A तथा B पर स्थित दो आवेशों के कारण Q पर परिणामी विद्युत क्षेत्र

$$= 2 \times \frac{0.25}{\sqrt{15^2 + (0.25)^2}} \times 3.99 \times 10^6\ \text{N C}^{-1}$$ BA के अनुदिश

$= 1.33 \times 10^5$ N C^{-1} BA के अनुदिश

(a) की ही भाँति द्विध्रुव के अक्ष के अभिलंबवत किसी बिंदु पर द्विध्रुव विद्युत क्षेत्र के लिए सीधे ही सूत्र के उपयोग द्वारा हम इसी परिणाम की अपेक्षा कर सकते हैं–

उदाहरण 1.10

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.10

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (r/a >> 1)$$

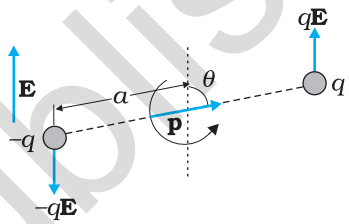
$$= \frac{5\times10^{-8}\ \text{C m}}{4\pi(8.854\times10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2})} \times \frac{1}{(15)^3\times10^{-6}\ \text{m}^3}$$

$$= 1.33 \times 10^5 \ \text{N C}^{-1}.$$

इस प्रकरण में विद्युत क्षेत्र की दिशा आघूर्ण सदिश की दिशा के विपरीत है। तथापि प्राप्त परिणाम पहले प्राप्त हुए परिणाम के अनुरूप हैं।

1.12 एकसमान बाह्य क्षेत्र में द्विध्रुव

चित्र 1.22 में दर्शाए अनुसार एकसमान विद्युत क्षेत्र **E** में रखे द्विध्रुव आघूर्ण **p** के स्थायी द्विध्रुव (स्थायी द्विध्रुव से हमारा तात्पर्य यह है कि **p** का **E** से स्वतंत्र अस्तित्व है; यह **E** द्वारा प्रेरित नहीं हुआ है।) पर विचार कीजिए।



चित्र 1.22 एकसमान विद्युत क्षेत्र में द्विध्रुव।

यहाँ आवेश q पर $q\mathbf{E}$ तथा $-q$ पर $-q\mathbf{E}$ बल लग रहे हैं। चूँकि **E** एकसमान है अत: द्विध्रुव पर नेट बल शून्य है। परंतु आवेशों में पृथकन है, अत: बल भिन्न बिंदु पर लगे हैं, जिसके परिणामस्वरूप द्विध्रुव पर बल आघूर्ण कार्य करता है। जब नेट बल शून्य है तो बल आघूर्ण (बल युग्म) मूल बिंदु पर निर्भर नहीं होता। इसका परिमाण प्रत्येक बल के परिमाण तथा बलयुग्म की भुजा (दो प्रतिसमांतर बलों के बीच लंबवत दूरी) के गुणनफल के बराबर होता है।

बल आघूर्ण का परिमाण $= q\,E \times 2\,a \sin\theta$

$= 2\,q\,a\,E \sin\theta$

इसकी दिशा कागज़ के तल के अभिलंबवत इससे बाहर की ओर है।

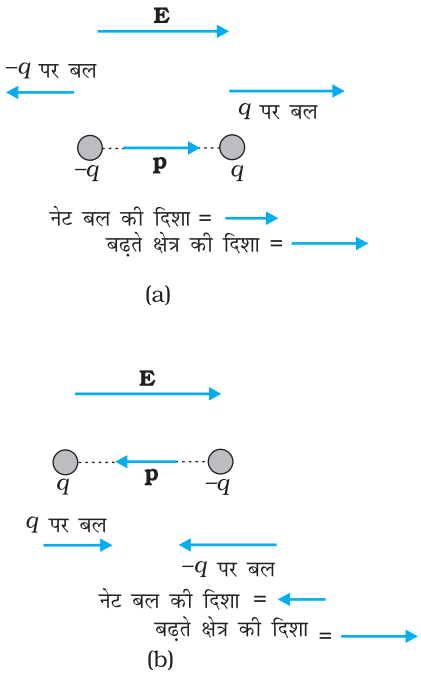
$\mathbf{p}\times\mathbf{E}$ का परिमाण भी $p\,E \sin\theta$ है तथा इसकी दिशा कागज़ के पृष्ठ के अभिलंबवत बाहर की ओर है। अत:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p}\times\mathbf{E} \qquad (1.22)$$

यह बल आघूर्ण द्विध्रुव को क्षेत्र **E** के साथ संरेखित करने की प्रवृत्ति रखेगा। जब **p** क्षेत्र **E** के साथ संरेखित हो जाता है तो बल आघूर्ण शून्य होता है।

जब क्षेत्र एकसमान नहीं होता तब क्या होता है? स्पष्ट है, उस प्रकरण में नेट बल शून्येतर हो सकता है। इसके अतिरिक्त, व्यापक रूप से निकाय पर पहले की ही भाँति एक बल आघूर्ण कार्य करेगा। यहाँ व्यापक प्रकरण अंतर्ग्रस्त है, अत: आइए ऐसी सरल स्थिति पर विचार करते हैं जिसमें **p** क्षेत्र **E** के समांतर अथवा प्रतिसमांतर है। दोनों ही प्रकरणों में नेट बल आघूर्ण तो शून्य होता है परंतु यदि **E** एकसमान नहीं है तो द्विध्रुव पर एक नेट बल लगता है।

चित्र 1.23 स्वत: स्पष्टीकरण करता है। इसे आसानी से देखा जा सकता है कि जब **p** क्षेत्र **E** के समांतर है तो द्विध्रुव पर बढ़ते क्षेत्र की दिशा में एक नेट बल कार्य करता है। जब **p** क्षेत्र के **E** प्रतिसमांतर होता है तो द्विध्रुव पर घटते क्षेत्र की दिशा में एक नेट बल कार्य करता है। व्यापक रूप में, बल **E** के सापेक्ष **p** के दिक्विन्यास पर निर्भर करता है।



चित्र 1.23 द्विध्रुव पर वैद्युत बल (a) **p** क्षेत्र **E** के समांतर (b) **p** क्षेत्र **E** के प्रतिसमांतर।

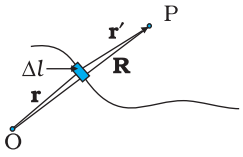
इससे हमारा ध्यान घर्षण विद्युत के सामान्य प्रेक्षणों पर जाता है। शुष्क बालों में फेरी गई कंघी कागज़ के छोटे टुकड़ों को आकर्षित करती है। जैसाकि हम जानते हैं कि कंघी घर्षण द्वारा आवेश अर्जित करती है। परंतु कागज़ आवेशित नहीं है तो फिर इस आकर्षक बल का स्पष्टीकरण कैसे करें? पिछली चर्चा से संकेत

© NCERT not to be republished

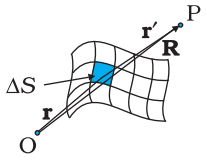
पाकर हम कह सकते हैं कि आवेशित कंघी कागज़ के टुकड़ों को ध्रुवित कर देती है, अर्थात कागज़ के टुकड़ों में क्षेत्र की दिशा में नेट द्विध्रुव आघूर्ण प्रेरित कर देती है। इसके अतिरिक्त कंघी के कारण विद्युत क्षेत्र एकसमान नहीं है। इस स्थिति में यह आसानी से देखा जा सकता है कि कागज़ के टुकड़े कंघी की दिशा में गति करते हैं।

1.13 संतत आवेश वितरण

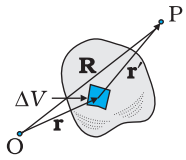
अब तक हमने विविक्त आवेशों $q_1, q_2, \ldots, q_n$ के आवेश विन्यास के विषय में चर्चा की है। इसका कारण यह है कि ऐसे विन्यासों के लिए गणितीय परिकलन सरल होते हैं जिनमें कलन (कैलकुलस) की आवश्यकता नहीं होती। साथ ही, बहुत से कार्यों के लिए विविक्त आवेशों के पदों में कार्य करना व्यावहारिक नहीं होता और हमें संतत आवेश वितरण की आवश्यकता होती है। उदाहरणार्थ, किसी आवेशित चालक के पृष्ठ पर सूक्ष्म आवेशित अवयवों की अवस्थितियों के पदों में आवेश वितरण का विशेष रूप से उल्लेख करना व्यावहारिक नहीं है। चालक के पृष्ठ पर किसी क्षेत्रफल अवयव ΔS (जो स्थूल स्तर पर बहुत छोटा परंतु इलेक्ट्रॉनों की विशाल संख्या को सम्मिलित करने के लिए पर्याप्त है, देखिए चित्र 1.24) के विषय में विचार करके उस अवयव पर आवेश ΔQ का पृथक-पृथक उल्लेख करना अधिक उपयुक्त है। इसके बाद हम क्षेत्रफल अवयव पर *पृष्ठीय आवेश घनत्व* σ की परिभाषा इस प्रकार करते हैं–



रैखिक आवेश $\Delta Q = \lambda \Delta l$



पृष्ठीय आवेश $\Delta Q = \sigma \Delta S$



आयतनी आवेश $\Delta Q = \rho \Delta V$

चित्र 1.24 रैखिक, पृष्ठीय, आयतनी घनत्वों की परिभाषा। प्रत्येक प्रकरण में चुने गए अवयव (Δl, ΔS, ΔV) स्थूलदर्शीय स्तर पर छोटे हैं परंतु इनमें सूक्ष्मदर्शीय स्तर के अवयवों की एक विशाल संख्या समाहित होती है।

$$\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta S} \tag{1.23}$$

ऐसा हम चालक के पृष्ठ के विभिन्न बिंदुओं पर कर सकते हैं और इस प्रकार एक संतत फलन σ (जिसे पृष्ठीय आवेश घनत्व कहते हैं) पर पहुँचते हैं। इस रूप में वर्णित पृष्ठीय आवेश घनत्व σ आवेश की क्वांटमता तथा सूक्ष्मदर्शीय स्तर* पर आवेश की असंतता वितरण की उपेक्षा करता है। σ स्थूलदर्शीय रूप में पृष्ठीय आवेश घनत्व है जो एक प्रकार से, सूक्ष्मदर्शीय रूप में बड़े परंतु स्थूलदर्शीय रूप में छोटे क्षेत्र अवयव ΔS पर सूक्ष्मदर्शीय आवेश घनत्व है। σ का मात्रक C/m^2 है।

इसी प्रकार के दृष्टिकोण रैखिक आवेश वितरणों तथा आयतनी आवेश वितरणों पर भी लागू होते हैं। किसी तार का *रैखिक आवेश घनत्व* λ की परिभाषा

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta l} \tag{1.24}$$

द्वारा की जाती है। यहाँ Δl सूक्ष्म स्तर पर तार का रैखिक अवयव है। तथापि सूक्ष्म आवेशित अवयवों की एक विशाल संख्या इसमें सम्मिलित है तथा ΔQ इस रैखिक अवयव में समाए आवेश हैं। λ का मात्रक C/m है। इसी प्रकार से आयतनी आवेश घनत्व (सरल शब्दों में जिसे आवेश घनत्व भी कहा जाता है) की परिभाषा भी

$$\rho = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \tag{1.25}$$

द्वारा की जाती है। यहाँ ΔQ स्थूल रूप में छोटे आयतन अवयव ΔV में समाए वे आवेश हैं जो सूक्ष्म आवेशित अवयवों की विशाल संख्या को सम्मिलित करते हैं। ρ का मात्रक C/m^3 है।

यहाँ संतत आवेश वितरण की हमारी धारणा यांत्रिकी में हमारे द्वारा अपनाई गई संतत संहति वितरण की धारणा के ही समान है। जब हम किसी द्रव के घनत्व का उल्लेख करते हैं तो उस

* सूक्ष्मदर्शीय स्तर पर, आवेश वितरण असंतत होता है। पृथक आवेश एक आवेशरहित मध्यवर्ती स्थान से पृथकृत होते हैं।

© NCERT not to be republished

समय वास्तव में हम उसके स्थूल घनत्व का ही उल्लेख कर रहे होते हैं। हम द्रव को एक संतत तरल मान लेते हैं तथा उसकी विविक्त आणविक रचना की उपेक्षा कर देते हैं।

विविक्त आवेशों के निकाय के कारण विद्युत क्षेत्र प्राप्त करने [समीकरण (1.10)] की ही भाँति लगभग इसी ढंग से संतत आवेश वितरण के कारण विद्युत क्षेत्र प्राप्त किया जा सकता है। मान लीजिए किसी दिक्स्थान में संतत आवेश वितरण का आवेश घनत्व ρ है। कोई सुविधाजनक मूल बिंदु O चुनिए तथा मान लीजिए आवेश वितरण में किसी बिंदु का स्थिति सदिश $\mathbf{r}$ है। आवेश घनत्व ρ एक बिंदु से दूसरे बिंदु पर भिन्न हो सकता है, अर्थात यह $\mathbf{r}$ का फलन है। आवेश वितरण को ΔV आमाप के छोटे आयतन अवयवों में विभाजित कीजिए। आयतन अवयव ΔV में आवेश का परिमाण $\rho \Delta V$ है।

अब स्थिति सदिश $\mathbf{R}$ के साथ किसी भी व्यापक बिंदु P (आवेश वितरण के भीतर अथवा बाहर) पर विचार कीजिए (चित्र 1.24)। कूलॉम नियम द्वारा आवेश $\rho \Delta V$ के कारण विद्युत क्षेत्र

$$\Delta \mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\rho \, \Delta V}{r'^2} \hat{\mathbf{r}}' \tag{1.26}$$

यहाँ r' आवेश अवयव तथा P के बीच की दूरी है, तथा $\hat{\mathbf{r}}'$ आवेश अवयव से P की दिशा में एकांक सदिश है। अध्यारोपण सिद्धांत द्वारा आवेश वितरण के कारण कुल विद्युत क्षेत्र विभिन्न आयतन-अवयवों के कारण विद्युत क्षेत्रों का योग करने पर प्राप्त होता है।

$$\mathbf{E} \cong \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{\text{सभी } \Delta V} \frac{\rho \, \Delta V}{r'^2} \hat{\mathbf{r}}' \tag{1.27}$$

ध्यान दीजिए ρ, r', $\hat{\mathbf{r}}'$ सभी के मान एक बिंदु से दूसरे पर परिवर्तित हो सकते हैं। यथार्थ गणितीय विधि में हमें $\Delta V \to 0$ लेना चाहिए और फिर यह योग एक समाकल बन जाता है। परंतु सरलता की दृष्टि से इस चर्चा को हम यही छोड़ रहे हैं। संक्षेप में कूलॉम नियम तथा अध्यारोपण सिद्धांत के उपयोग द्वारा किसी भी आवेश वितरण के लिए चाहे वह विविक्त हो अथवा संतत, अथवा अंशत: विविक्त और अंशत: संतत हो, विद्युत क्षेत्र ज्ञात किया जा सकता है।

1.14 गाउस नियम

वैद्युत फ्लक्स की अवधारणा के सरल अनुप्रयोग के रूप में आइए किसी r त्रिज्या के ऐसे गोले जिसके केंद्र पर कोई बिंदु आवेश q परिबद्ध है, से गुजरने वाले कुल फ्लक्स पर विचार करें। चित्र 1.25 में दर्शाए अनुसार इस गोले को छोटे क्षेत्रफल अवयवों में विभाजित करते हैं।

क्षेत्रफल अवयव $\Delta \mathbf{S}$ से गुजरने वाला फ्लक्स

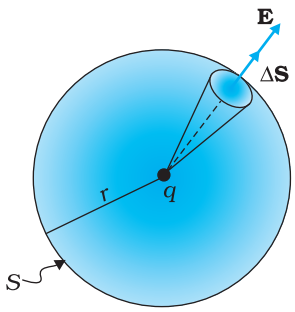
$$\Delta\phi = \mathbf{E} \cdot \Delta \mathbf{S} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \hat{\mathbf{r}} \cdot \Delta \mathbf{S} \tag{1.28}$$

यहाँ हमने एकल आवेश q के कारण विद्युत क्षेत्र के लिए कूलॉम नियम का उपयोग किया है। एकांक सदिश $\hat{\mathbf{r}}$ केंद्र से क्षेत्र अवयव की ओर ध्रुवांतर रेखा के अनुदिश है। अब, चूँकि गोले के पृष्ठ के किसी भी बिंदु पर अभिलंब उस बिंदु पर ध्रुवांतर रेखा के अनुदिश होता है, क्षेत्र अवयव $\Delta \mathbf{S}$ तथा $\hat{\mathbf{r}}$ दोनों एक ही दिशा में होते हैं। इसीलिए,

$$\Delta\phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \Delta S \tag{1.29}$$

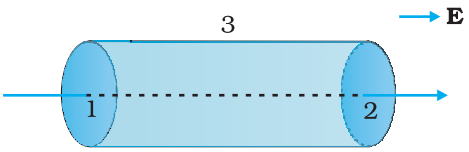
चूँकि एकांक सदिश $\mathbf{r}$ का परिमाण 1 है।

गोले से गुजरने वाला कुल फ्लस्क सभी क्षेत्र-अवयवों से गुजरने वाले फ्लक्सों का योग करने पर प्राप्त होता है



चित्र 1.25 उस गोले से गुजरने वाला फ्लक्स जिसके केंद्र पर बिंदु आवेश q परिबद्ध है।

© NCERT not to be republished



चित्र 1.26 सिलिंडर के पृष्ठ से गुजरने वाले एकसमान विद्युत क्षेत्र के फ्लक्स का परिकलन।

$$\phi = \sum_{\text{सभी } \Delta S} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \Delta S$$

चूँकि गोले का प्रत्येक क्षेत्र अवयव आवेश से समान दूरी r पर है, अत:

$$\phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \sum_{\text{सभी } \Delta S} \Delta S = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} S$$

अब, चूँकि गोले का कुल पृष्ठीय क्षेत्र $S = 4\pi r^2$ है, अत:

$$\phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \times 4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad (1.30)$$

समीकरण (1.30) स्थिरवैद्युतिकी के व्यापक परिणाम, जिसे *गाउस नियम* कहते हैं, का एक सरल दृष्टांत है। हम बिना उपपत्ति के *गाउस नियम* का इस प्रकार उल्लेख करते हैं–

किसी बंद पृष्ठ S से गुजरने वाला वैद्युत फ्लक्स

$$= q/\varepsilon_0 \qquad (1.31)$$

यहाँ q पृष्ठ S द्वारा परिबद्ध कुल आवेश है।

इस नियम से यह उपलक्षित होता है कि यदि किसी बंद पृष्ठ द्वारा कोई आवेश परिबद्ध नहीं किया गया है तो उस पृष्ठ से गुजरने वाला कुल फ्लक्स शून्य होता है। इसे हम चित्र 1.26 की सरल अवस्थिति में सुस्पष्ट देख सकते हैं।

यहाँ विद्युत क्षेत्र एकसमान है तथा हम एक ऐसे बंद बेलनाकार पृष्ठ के विषय में विचार कर रहे हैं जिसमें बेलन का अक्ष एकसमान क्षेत्र **E** के समांतर है। इसके पृष्ठ से गुजरने वाला कुल फ्लक्स ϕ है। $\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3$ यहाँ ϕ_1 तथा ϕ_2 सिलिंडर के पृष्ठ 1 तथा 2 (वृत्ताकार अनुप्रस्थ परिच्छेद के) से गुजरने वाले फ्लक्स को निरूपित करते हैं तथा ϕ_3 बंद पृष्ठ के वक्रित सिलिंडरी भाग से गुजरने वाले फ्लक्स को निरूपित करता है। चूँकि पृष्ठ 3 के प्रत्येक बिंदु पर अभिलंब **E** के लंबवत है, अत: फ्लक्स की परिभाषा के अनुसार $\phi_3 = 0$ । इसके अतिरिक्त पृष्ठ 2 पर बहिर्मुखी अभिलंब **E** के अनुदिश है तथा पृष्ठ 1 पर बहिर्मुखी अभिलंब **E** की दिशा के विपरीत है। अत:

$$\phi_1 = -E S_1, \quad \phi_2 = +E S_2$$

$$S_1 = S_2 = S$$

यहाँ S वृत्ताकार अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल है। इस प्रकार कुल फ्लक्स शून्य है, जैसा कि गाउस नियम से संभावित था। इस प्रकार जब आप पाएँ कि एक बंद पृष्ठ के अंदर नेट वैद्युत फ्लक्स शून्य है तो हम इस परिणाम पर पहुँचते हैं कि बंद पृष्ठ के अंतर्विष्ट कुल आवेश शून्य है।

गाउस नियम समीकरण (1.31) का अत्यधिक महत्व इस कारण से भी है कि यह व्यापक रूप से सत्य है, तथा केवल उन्हीं सरल प्रकरणों जिन पर हमने ऊपर विचार किया था, लागू नहीं होता है, वरन् सभी प्रकरणों में इसका प्रयोग किया जा सकता है। इस नियम के बारे में, आइए कुछ महत्वपूर्ण तथ्यों पर ध्यान दें–

(i) गाउस नियम प्रत्येक बंद पृष्ठ, चाहे उसकी आकृति तथा आमाप कुछ भी हो, के लिए सत्य है।

(ii) गाउस नियम समीकरण (1.31) के दक्षिण पक्ष के पद q में पृष्ठ द्वारा परिबद्ध सभी आवेशों का योग सम्मिलित है। ये आवेश पृष्ठ के भीतर कहीं भी अवस्थित हो सकते हैं।

(iii) उन परिस्थितियों जिनमें ऐसे पृष्ठ का चयन किया जाता है कि कुछ आवेश पृष्ठ के भीतर तथा कुछ पृष्ठ के बाहर होते हैं, विद्युत क्षेत्र [जिसका फ्लक्स समीकरण (1.31) के वाम पक्ष में दृष्टिगोचर होता है] S के भीतर तथा बाहर स्थित सभी आवेशों के कारण है। तथापि, गाउस

© NCERT not to be republished

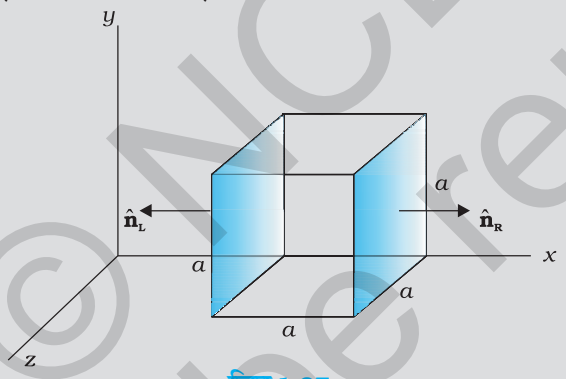
नियम के समीकरण के दक्षिण पक्ष में पद q केवल S के भीतर के कुल आवेशों को निरूपित करता है।

(iv) गाउस नियम के अनुप्रयोग के लिए चयन किए जाने वाले पृष्ठ को गाउसीय पृष्ठ कहते हैं। आप किसी भी गाउसीय पृष्ठ का चयन करके गाउस नियम लागू कर सकते हैं। तथापि, सावधान रहिए गाउसीय पृष्ठ को किसी भी विविक्त आवेश से नहीं गुजरना चाहिए। इसका कारण यह है कि विविक्त आवेशों के निकाय के कारण विद्युत क्षेत्र को किसी भी आवेश की अवस्थिति पर भलीभाँति परिभाषित नहीं किया गया है। (जैसे ही आप किसी आवेश के निकट जाते हैं, विद्युत क्षेत्र सभी मर्यादाओं से बाहर विकसित होता जाता है) परंतु गाउसीय पृष्ठ संतत आवेश वितरण से गुजर सकता है।

(v) *जब निकाय में कुछ सममिति होती है* तो विद्युत क्षेत्र के परिकलन को अधिक आसान बनाने के लिए गाउस नियम प्रायः उपयोगी होता है। उचित गाउसीय पृष्ठ का चयन इसे सुविधाजनक बना देता है।

(vi) अंत में, गाउस नियम कूलॉम नियम में अंतर्निहित दूरी पर व्युत्क्रम वर्ग निर्भरता पर आधारित है। गाउस नियम का कोई उल्लंघन व्युत्क्रम वर्ग नियम से विचलन को संकेत करेगा।

उदाहरण 1.11 चित्र 1.27 में विद्युत क्षेत्र अवयव $E_x = \alpha x^{1/2}$, $E_y = E_z = 0$ है, जिसमें $\alpha = 800$ N/C m$^{1/2}$ है। (a) घन से गुजरने वाला फ्लक्स, तथा (b) घन के भीतर आवेश परिकलित कीजिए। $a = 0.1$ m मानिए।



चित्र 1.27

हल

(a) चूँकि विद्युत क्षेत्र का केवल x अवयव ही है, x दिशा के लंबवत फलकों के लिए, $\mathbf{E}$ तथा $\Delta\mathbf{S}$ के बीच के कोण $\pm\pi/2$ हैं। अतः फ्लक्स $\phi = \mathbf{E}.\Delta\mathbf{S}$ घन के केवल दो छायांकित फलकों को छोड़कर शेष सभी फलकों के लिए पृथक-पृथक रूप से शून्य है। अब, बाएँ फलक पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण

$E_L = \alpha x^{1/2} = \alpha a^{1/2}$

(चूँकि बाएँ फलक पर $x = a$)

दाएँ फलक पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण

$E_R = \alpha\, x^{1/2} = \alpha\, (2a)^{1/2}$

(चूँकि दाएँ फलक पर $x = 2a$)

इनके तद्नुरूपी फ्लक्स हैं

$\phi_L = \mathbf{E}_L \cdot \Delta\mathbf{S} = \Delta S\, \mathbf{E}_L \cdot \hat{\mathbf{n}}_L = E_L\, \Delta S \cos\theta = -E_L\, \Delta S$, चूँकि $\theta = 180°$

$= -E_L a^2$

$\phi_R = \mathbf{E}_R \cdot \Delta\mathbf{S} = E_R\, \Delta S \cos\theta = E_R\, \Delta S$, चूँकि $\theta = 0°$

$= E_R a^2$

घन से गुजरने वाला नेट फ्लक्स

उदाहरण 1.11

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.11

$= \phi_R + \phi_L = E_R a^2 - E_L a^2 = a^2 (E_R - E_L) = \alpha a^2 [(2a)^{1/2} - a^{1/2}]$

$= \alpha a^{5/2} \left(\sqrt{2} - 1\right)$

$= 800\ (0.1)^{5/2} \left(\sqrt{2} - 1\right)$

$= 1.05\ \text{N m}^2\ \text{C}^{-1}$

(b) हम घन के भीतर कुल आवेश q को ज्ञात करने के लिए गाउस नियम का उपयोग कर सकते हैं। हम जानते हैं कि $\phi = q/\varepsilon_0$ अथवा $q = \phi\varepsilon_0$ इसलिए

$q = 1.05 \times 8.854 \times 10^{-12}\ \text{C} = 9.27 \times 10^{-12}\ \text{C}$

उदाहरण 1.12

उदाहरण 1.12 कोई विद्युत क्षेत्र धनात्मक x के लिए, धनात्मक x दिशा में एकसमान है तथा उसी परिमाण के साथ परंतु ऋणात्मक x के लिए, ऋणात्मक x दिशा में एकसमान है। यह दिया गया है कि $\mathbf{E} = 200\ \hat{\mathbf{i}}$ N/C जबकि $x > 0$ तथा $\mathbf{E} = -200\ \hat{\mathbf{i}}$ N/C, जबकि $x < 0$ है। 20 cm लंबे 5 cm त्रिज्या के किसी लंबवृत्तीय सिलिंडर का केंद्र मूल बिंदु पर तथा इस अक्ष x के इस प्रकार अनुदिश है कि इसका एक फलक चित्र 1.28 में दर्शाए अनुसार $x = +10$ cm तथा दूसरा फलक $x = -10$ cm पर है। (a) प्रत्येक चपटे फलक से गुजरने वाला नेट बहिर्मुखी फ्लक्स कितना है? (b) सिलिंडर के पार्श्व से गुजरने वाला फ्लक्स कितना है? (c) सिलिंडर से गुजरने वाला नेट बहिर्मुखी फ्लक्स कितना है? (d) सिलिंडर के भीतर नेट आवेश कितना है?

हल

(a) चित्र में हम यह देखते हैं कि बाएँ फलक पर $\mathbf{E}$ तथा $\Delta\mathbf{S}$ समांतर हैं। इसलिए बहिर्मुखी फ्लक्स है

$\phi_L = \mathbf{E}\cdot\Delta\mathbf{S} = -200\ \hat{\mathbf{i}}\cdot\Delta\mathbf{S}$

$= +200\ \Delta S$, चूँकि $\hat{\mathbf{i}}\cdot\Delta\mathbf{S} = -\Delta S$

$= +200 \times \pi\ (0.05)^2 = +1.57\ \text{N m}^2\ \text{C}^{-1}$

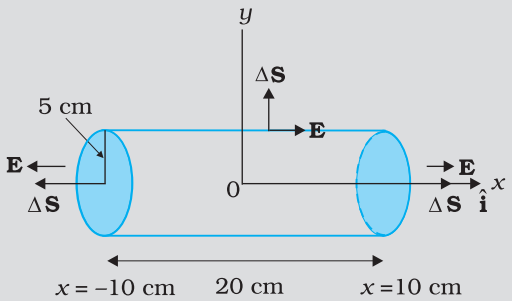
दाएँ फलक पर $\mathbf{E}$ तथा $\Delta\mathbf{S}$ समांतर हैं, इसलिए

$\phi_R = \mathbf{E}\cdot\Delta\mathbf{S} = +1.57\ \text{N m}^2\ \text{C}^{-1}$

(b) सिलिंडर के पार्श्व के किसी भी बिंदु पर $\mathbf{E}$ क्षेत्र अवयव $\Delta\mathbf{S}$ के लंबवत है, इसलिए $\mathbf{E}\cdot\Delta\mathbf{S} = 0$ इसलिए सिलिंडर के पार्श्व के बाहर फ्लक्स शून्य है।

(c) सिलिंडर से होकर नेट बहिर्मुखी फ्लक्स

$\phi = (1.57 + 1.57 + 0) = 3.14\ \text{N m}^2\ \text{C}^{-1}$



चित्र 1.28

(d) सिलिंडर के भीतर नेट आवेश का मान गाउस नियम द्वारा ज्ञात किया जा सकता है जिससे हमें प्राप्त होता है

$q = \varepsilon_0\phi$

$= 3.14 \times 8.854 \times 10^{-12}\ \text{C}$

$= 2.78 \times 10^{-11}\ \text{C}$

© NCERT not to be republished

1.15 गाउस नियम के अनुप्रयोग

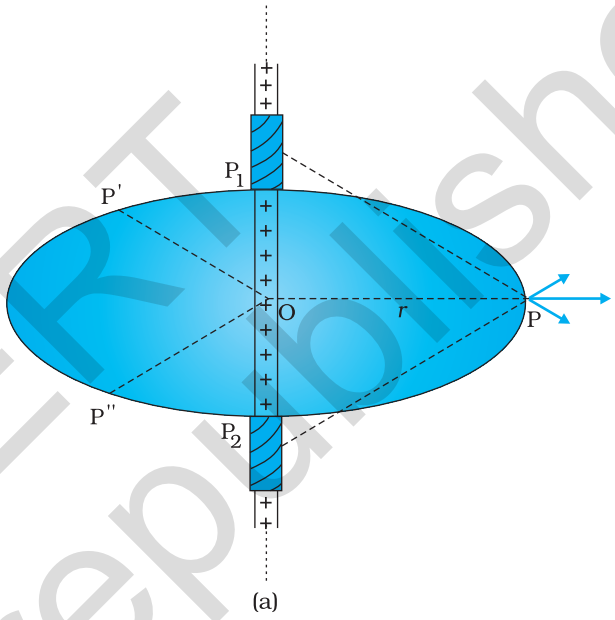
जैसी कि हम ऊपर चर्चा कर चुके हैं कि किसी व्यापक आवेश वितरण के कारण विद्युत क्षेत्र समीकरण (1.27) द्वारा व्यक्त किया जाता है। कुछ विशिष्ट प्रकरणों को छोड़कर, व्यवहार में, इस समीकरण में सम्मिलित संकलन (अथवा समाकलन) की प्रक्रिया दिक्स्थान के सभी बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र प्राप्त करने के लिए कार्यान्वित नहीं की जा सकती। तथापि, कुछ सममित आवेश विन्यासों के लिए गाउस नियम का उपयोग करके विद्युत क्षेत्र को सरल ढंग से प्राप्त करना संभव है। कुछ उदाहरणों से इसे आसानी से समझा जा सकता है।

1.15.1 अनंत लंबाई के एकसमान आवेशित सीधे तार के कारण विद्युत क्षेत्र

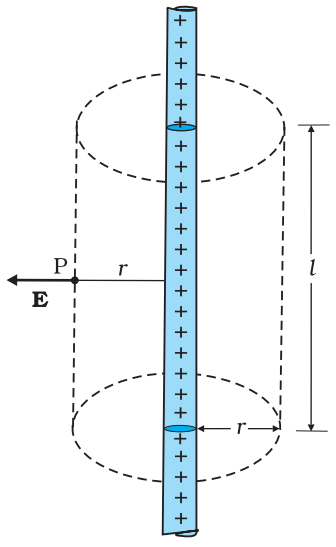
किसी अनंत लंबाई के एकसमान रैखिक आवेश घनत्व λ के सीधे पतले तार पर विचार कीजिए। स्पष्ट रूप से यह तार एक सममित अक्ष है। मान लीजिए हम O से P की दिशा में ध्रुवांतर (त्रिज्य सदिश) लेकर इसे तार के चारों ओर घूर्णन कराते हैं। इस प्रकार प्राप्त बिंदु P, P′, P″ आवेशित तार के संदर्भ में संपूर्ण रूप से तुल्य हैं। इससे यह उपलक्षित होता है कि इन बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण समान होना चाहिए। प्रत्येक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दिशा अरीय (त्रिज्यीय) होनी चाहिए (यदि $\lambda > 0$, तो बहिर्मुखी तथा यदि $\lambda < 0$, तो अंतर्मुखी)। यह चित्र 1.29 से स्पष्ट है।

दर्शाए अनुसार तार के रैखिक अवयवों P_1 तथा P_2 के युगल पर विचार करें। इस युगल के दो अवयवों द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्रों को संकलित करने पर प्राप्त परिणामी विद्युत क्षेत्र अरीय होता है [ध्रुवांतर के अभिलंबवत अवयव एक-दूसरे को निरस्त कर देते हैं]। यह इस प्रकार के सभी युगलों के लिए सत्य है। अत: किसी भी बिंदु P पर कुल विद्युत क्षेत्र अरीय है। अंत में, चूँकि तार अनंत है, तार की लंबाई के अनुदिश विद्युत क्षेत्र बिंदु P की स्थिति पर निर्भर नहीं करता। संक्षेप में, तार को अभिलंबवत काटने वाले तल में विद्युत क्षेत्र हर स्थान पर अरीय है तथा इसका परिमाण केवल त्रिज्य दूरी r पर निर्भर करता है।

विद्युत क्षेत्र परिकलित करने के लिए चित्र 1.29(b) में दर्शाए अनुसार किसी बेलनाकार गाउसीय पृष्ठ की कल्पना कीजिए। चूँकि विद्युत क्षेत्र हर स्थान पर अरीय है, बेलनाकार गाउसीय पृष्ठ के दो सिरों से गुजरने वाला फ्लक्स शून्य है। पृष्ठ के बेलनाकार भाग पर विद्युत क्षेत्र **E** पृष्ठ के हर बिंदु पर अभिलंबवत है तथा केवल r पर निर्भर होने के कारण इसका परिमाण नियत है। वक्रित भाग का पृष्ठीय क्षेत्रफल $2\pi rl$ है, यहाँ l सिलिंडर की लंबाई है।



(a)



(b)

चित्र 1.29 (a) अनंत लंबाई के एकसमान आवेशित पतले सीधे तार के कारण विद्युत क्षेत्र अरीय (त्रिज्यीय) होता है। (b) एकसमान रैखिक आवेश घनत्व के लंबे पतले तार के लिए गाउसीय पृष्ठ।

© NCERT not to be republished

गाउसीय पृष्ठ से गुज़रने वाला फ्लक्स

= पृष्ठ के वक्रित बेलनाकार भाग से गुज़रने वाला फ्लक्स

= $E \times 2\pi rl$

पृष्ठ में λl के बराबर आवेश सम्मिलित है। तब गाउस नियम से प्राप्त होता है

$E \times 2\pi rl = \lambda l/\varepsilon_0$

अर्थात $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

सदिश रूप में किसी भी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र **E** इस प्रकार व्यक्त किया जाता है

$$\mathbf{E} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}\ \hat{\mathbf{n}} \qquad (1.32)$$

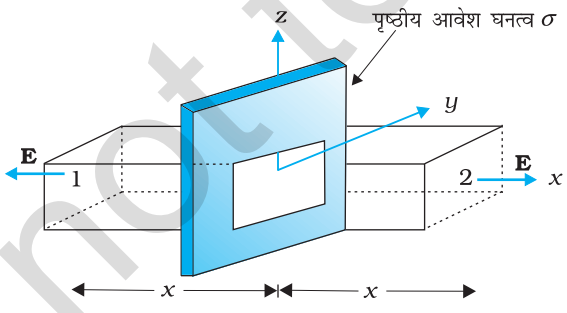
यहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ तार के किसी बिंदु के अभिलंबवत गुजरने वाले तल में त्रिज्य एकांक सदिश है। जब λ धनात्मक होता है तो **E** बहिर्मुखी होता है और जब λ ऋणात्मक होता है, यह अंतर्मुखी होता है।

ध्यान दीजिए, जब हम सदिश **A** को एकांक सदिश से गुणित अदिश के रूप में, अर्थात $\mathbf{A} = A\,\hat{\mathbf{a}}$ के रूप में लिखते हैं तो अदिश A एक बीजगणितीय संख्या होती है। यह धनात्मक भी हो सकती है और ऋणात्मक भी। यदि $A > 0$ है तो **A** की दिशा एकांक सदिश $\hat{\mathbf{a}}$ के समान होगी तथा यदि $A < 0$ है तो **A** की दिशा $\hat{\mathbf{a}}$ की दिशा के विपरीत होगी। जब हम ऋणेतर मानों तक सीमित रखना चाहते हैं तो हम प्रतीक $|\mathbf{A}|$ का उपयोग करते हैं तथा इसे **A** का माड्यूल्स (मापांक) कहते हैं। इस प्रकार $|\mathbf{A}| \geq 0$ होता है।

यह भी ध्यान दीजिए कि उपरोक्त चर्चा में यद्यपि पृष्ठ (λl) द्वारा परिबद्ध आवेश को ही केवल सम्मिलित किया गया था, परंतु विद्युत क्षेत्र **E** समस्त तार पर आवेश के कारण है। साथ ही यह कल्पना कर लेना कि तार की लंबाई अनंत है इस कल्पना के बिना हम विद्युत क्षेत्र **E** को बेलनाकार गाउसीय पृष्ठ के अभिलंबवत नहीं ले सकते। तथापि, लंबे तार के बेलनाकार भागों के चारों ओर जहाँ अंत्य प्रभाव (end effects) की उपेक्षा की जा सकती है, विद्युत क्षेत्र के लिए समीकरण (1.32) सन्निकटतः सही है।

1.15.2 एकसमान आवेशित अनंत समतल चादर के कारण विद्युत क्षेत्र

मान लीजिए किसी अनंत समतल चादर (चित्र 1.30) का एकसमान पृष्ठीय आवेश घनत्व σ है। हम x-अक्ष को दिए गए तल के अभिलंबवत मानते हैं। सममिति के अनुसार विद्युत क्षेत्र y तथा z निर्देशांकों पर निर्भर नहीं करेगा तथा इसकी प्रत्येक बिंदु पर दिशा x-दिशा के समांतर होनी चाहिए।



चित्र 1.30 एकसमान आवेशित अनंत आवेश चादर के लिए गाउसीय पृष्ठ।

हम गाउसीय पृष्ठ को चित्र में दर्शाए अनुसार A अनुप्रस्थकाट क्षेत्रफल के आयताकार समांतर षट्फलक जैसा ले सकते हैं (वैसे तो बेलनाकार पृष्ठ से भी यह कार्य हो सकता है)। जैसा चित्र से दृष्टिगोचर होता है, केवल दो फलक 1 तथा 2 ही फ्लक्स में योगदान देंगे; विद्युत क्षेत्र रेखाएँ अन्य फलकों के समांतर हैं और वे इसीलिए कुल फ्लक्स में योगदान नहीं देतीं।

पृष्ठ 1 के अभिलंबवत एकांक सदिश $-x$ दिशा में है जबकि पृष्ठ 2 के अभिलंबवत एकांक सदिश $+x$ दिशा में है। अतः, दोनों पृष्ठों से गुजरने वाले फ्लक्स $\mathbf{E}.\Delta\mathbf{S}$ बराबर हैं और संयोजित हो जाते हैं। इसीलिए गाउसीय पृष्ठ से गुजरने वाला नेट फ्लक्स $2EA$ है। पृष्ठ द्वारा परिबद्ध आवेश σA है। इसीलिए गाउस नियम द्वारा हमें यह संबंध प्राप्त होता है

© NCERT not to be republished

$2\,EA = \sigma A/\varepsilon_0$

अथवा $E = \sigma/2\varepsilon_0$

सदिश रूप में

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{\mathbf{n}} \qquad (1.33)$$

यहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ तल के अभिलंबवत इससे दूर जाता हुआ एकांक सदिश है।

यदि σ धनात्मक है तो $\mathbf{E}$ तल से बहिर्मुखी तथा यदि σ ऋणात्मक है तो $\mathbf{E}$ तल से अंतर्मुखी होता है। ध्यान दीजिए गाउस नियम के अनुप्रयोग से हमें एक अतिरिक्त तथ्य यह प्राप्त होता है कि E, x पर भी निर्भर नहीं है।

किसी परिमित बड़ी समतलीय चादर के लिए समीकरण (1.33), सिरों से दूर समतलीय चादर के मध्यवर्ती क्षेत्रों में सन्निकटतः सत्य है।

1.15.3 एकसमान आवेशित पतले गोलीय खोल के कारण विद्युत क्षेत्र

मान लीजिए R त्रिज्या के पतले गोलीय खोल का एकसमान पृष्ठीय आवेश घनत्व σ है (चित्र 1.31)। स्पष्ट रूप से इस स्थिति में गोलीय सममिति है। किसी बिंदु P पर चाहे वह भीतर है अथवा बाहर, विद्युत क्षेत्र केवल r पर निर्भर कर सकता है (यहाँ r खोल के केंद्र से उस बिंदु तक की त्रिज्य दूरी है।)तथा इस क्षेत्र को अरीय (अर्थात ध्रुवांतर के अनुदिश) होना चाहिए।

(i) ***खोल के बाहर विद्युत क्षेत्र***–खोल के बाहर ध्रुवांतर r के किसी बिंदु P पर विचार कीजिए। बिंदु P पर $\mathbf{E}$ का परिकलन करने के लिए हम केंद्र O तथा त्रिज्या r के बिंदु P से गुजरने वाले गोले को गाउसीय पृष्ठ मानते हैं। दिए गए आवेश विन्यास के सापेक्ष इस गोले पर स्थित प्रत्येक बिंदु समतुल्य है। (गोलीय सममिति से हमारा यही अभिप्राय है।) इसीलिए गाउसीय पृष्ठ के प्रत्येक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र का समान परिमाण $\mathbf{E}$ है तथा प्रत्येक बिंदु पर $\mathbf{E}$ तथा $\Delta\mathbf{S}$ समांतर हैं तथा प्रत्येक अवयव से गुज़रने वाला फ्लक्स $E\,\Delta S$ है। सभी ΔS का संकलन करने पर गाउसीय पृष्ठ से गुज़रने वाला फ्लक्स $E \times 4\pi r^2$ है। परिबद्ध आवेश $\sigma \times 4\pi R^2$ है। गाउस नियम से

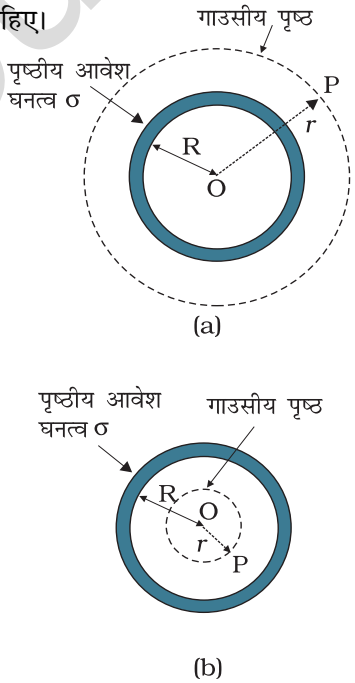
$$E \times 4\pi r^2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} 4\pi R^2$$

अथवा $E = \dfrac{\sigma R^2}{\varepsilon_0 r^2} = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

यहाँ $q = 4\pi R^2 \sigma$ गोलीय खोल पर कुल आवेश है।

सदिश रूप में, $$\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (1.34)$$

यदि $q > 0$ है तो विद्युत क्षेत्र बहिर्मुखी होता है तथा यदि $q < 0$ है तो विद्युत क्षेत्र अंतर्मुखी होता है। तथापि, यह खोल के केंद्र O पर स्थित आवेश q द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्र है। अतः खोल के बाहर स्थित बिंदुओं पर एकसमान आवेशित गोलीय खोल के कारण विद्युत क्षेत्र इस प्रकार का होता है, जैसे कि खोल का समस्त आवेश उसके केंद्र पर स्थित है।



चित्र 1.31 किसी बिंदु के लिए जो (a) $r > R$, (b) $r < R$ पर है, गाउसीय पृष्ठ।

(ii) ***खोल के भीतर विद्युत क्षेत्र***–चित्र 1.31(b) में बिंदु P खोल के भीतर है। इस प्रकरण में भी गाउसीय पृष्ठ P से गुज़रने वाला वह गोला है जिसका केंद्र O है। पहले किए गए

© NCERT not to be republished

परिकलनों की ही भाँति गाउसीय पृष्ठ से गुजरने वाला फ्लक्स $E \times 4\pi r^2$ है। तथापि इस प्रकरण में, गाउसीय पृष्ठ में कोई आवेश परिबद्ध नहीं है। तब गाउस नियम के अनुसार

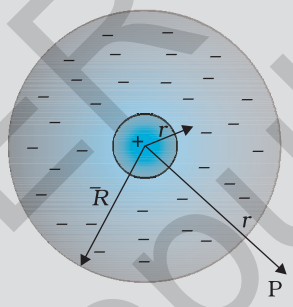
$E \times 4\pi r^2 = 0$

अर्थात $E = 0 \qquad (r < R)$ (1.35)

अर्थात एकसमान आवेशित पतले गोलीय खोल* के कारण उसके भीतर स्थित सभी बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र शून्य है। यह महत्वपूर्ण परिणाम गाउस नियम का प्रत्यक्ष निष्कर्ष है जो कूलॉम नियम से प्राप्त हुआ है। इस नियम का प्रायोगिक सत्यापन कूलॉम नियम में $1/r^2$ की निर्भरता की पुष्टि करता है।

उदाहरण 1.13

उदाहरण 1.13 परमाणु के प्रारंभिक प्रतिरूप में यह माना गया था कि आवेश Ze का बिंदु आमाप का धनात्मक नाभिक होता है जो त्रिज्या R तक एकसमान घनत्व के ऋणावेश से घिरा हुआ है। परमाणु पूर्ण रूप में विद्युत उदासीन है। इस प्रतिरूप के लिए नाभिक से r दूरी पर विद्युत क्षेत्र कितना है?



चित्र 1.32 परमाणु का प्रारंभिक प्रतिरूप।

हल: चित्र 1.32 में इस प्रतिरूप का आवेश वितरण दर्शाया गया है। चूँकि परमाणु उदासीन (नाभिक में आवेश Ze + ऋणावेश) है, अत: R त्रिज्या के एकसमान गोलीय आवेश वितरण में कुल ऋणात्मक आवेश $-Ze$ होना चाहिए। इससे हमें तुरंत ही ऋणात्मक आवेश घनत्व ρ प्राप्त हो जाता है। चूँकि हमारे पास कुल शून्य आवेश होना चाहिए, अत:

$$\frac{4\pi R^3}{3}\rho = 0 - Ze$$

अथवा $\rho = -\dfrac{3Ze}{4\pi R^3}$

नाभिक से r दूरी पर स्थित बिंदु P पर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ ज्ञात करने के लिए हम गाउस नियम का उपयोग करते हैं। आवेश वितरण की गोलीय सममिति के कारण विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ का परिणाम केवल त्रिज्य दूरी पर निर्भर करता है, यहाँ $\mathbf{r}$ की दिशा का कोई अर्थ नहीं होता। इसकी दिशा मूल बिंदु से P की ओर ध्रुवांतर $\mathbf{r}$ के अनुदिश (अथवा विपरीत) है। स्पष्ट रूप से इस प्रकरण में गाउसीय पृष्ठ एक गोलीय पृष्ठ है जिसका केंद्र नाभिक है। यहाँ हम दो स्थितियों $r < R$ तथा $r > R$ पर विचार करते हैं।

(i) $r < R$: गोलीय पृष्ठ द्वारा परिबद्ध वैद्युत फ्लक्स

$\phi = E(r) \times 4\pi r^2$

यहाँ $E(r)$, r पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण है। इसका कारण यह है गोलीय गाउसीय पृष्ठ के किसी भी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दिशा पृष्ठ के उस बिंदु पर अभिलंबवत होती है तथा इसका परिमाण पृष्ठ के सभी बिंदुओं पर समान होता है।

* इसकी तुलना भौतिकी पाठ्यपुस्तक कक्षा 11 के अनुभाग 8.5 में वर्णित एकसमान द्रव्यमान खोल से कीजिए।

© NCERT not to be republished

उदाहरण 1.13

यहाँ गाउसीय पृष्ठ द्वारा परिबद्ध आवेश q धनात्मक नाभिकीय आवेश तथा r त्रिज्या के गोले में विद्यमान ऋणात्मक आवेश है

अर्थात $q = Ze + \frac{4\pi r^3}{3}\rho$

पहले प्राप्त आवेश घनत्व ρ का मान प्रतिस्थापित करने पर हमें प्राप्त होता है।

$$q = Ze - Ze\frac{r^3}{R^3}$$

तब गाउस नियम से हमें प्राप्त होता है।

$$E(r) = \frac{Ze}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r^2} - \frac{r}{R^3}\right); \quad r < R$$

यहाँ विद्युत क्षेत्र त्रिज्यत: बहिर्मुखी निदर्शित है।

(ii) $r > R$: इस प्रकरण में, चूँकि परमाणु उदासीन है, गोलीय गाउसीय पृष्ठ द्वारा परिबद्ध आवेश शून्य है। इस प्रकार, गाउस नियम से

$E(r) \times 4\pi r^2 = 0$ अथवा $(r) = 0; \quad r > R$

$r = R$, पर दोनों प्रकरणों से समान परिणाम, $E = 0$ प्राप्त होता है।

सममिति संक्रियाओं के विषय में

भौतिकी में हमारा प्राय: विभिन्न सममिति के निकायों से सामना होता है। इन सममितियों पर विचार करना सीधे-सीधे परिकलनों की तुलना में कहीं अधिक शीघ्रता से परिणाम तक पहुँचने में सहायक होता है। उदाहरण के लिए, y-z तल के अनुदिश अनंत लंबाई की आवेश की एकसमान चादर (पृष्ठीय आवेश घनत्व σ) पर विचार कीजिए। यह निकाय अपरिवर्तित रहता है यदि (a) y-z तल के समांतर किसी भी दिशा में स्थानांतरित किया जाता है, (b) x-अक्ष के परित: किसी भी कोण पर घूर्णन कराया जाता है। जिस प्रकार यह निकाय इस प्रकार की सममिति संक्रियाओं के अधीन अपरिवर्तित रहता है, इसी प्रकार इसके गुणधर्म भी अपरिवर्तित रहने चाहिए। विशेष रूप से, इस उदाहरण में, विद्युत क्षेत्र **E** अपरिवर्तिततत होना चाहिए।

y-अक्ष के अनुदिश स्थानांतरीय सममिति यह दर्शाती है कि किसी बिंदु $(0, y_1, 0)$ पर विद्युत क्षेत्र $(0, y_2, 0)$ पर विद्युत क्षेत्र के समान होना चाहिए। इसी प्रकार z-अक्ष के अनुदिश स्थानांतरीय सममिति यह दर्शाती है कि दो बिंदुओं $(0, 0, z_1)$ तथा $(0, 0, z_2)$ पर विद्युत क्षेत्र समान होना चाहिए। x- अक्ष के चारों ओर घूर्णन सममिति का उपयोग करके हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि **E** y-z तल के लंबवत होना चाहिए, अर्थात यह x- दिशा के समांतर होना चाहिए।

अब किसी ऐसी सममिति को सोचने का प्रयास कीजिए जो आपको यह बताए कि विद्युत क्षेत्र का परिमाण एक नियतांक है, जो x- निर्देशांक पर निर्भर नहीं करता। इस प्रकार यह कहा जा सकता है कि किसी अनंत लंबाई की एकसमान चालक चादर के कारण उत्पन्न विद्युत क्षेत्र का परिमाण दिक्स्थान में हर बिंदु पर समान होता है। तथापि चादर के दोनों ओर विद्युत क्षेत्र की दिशा एक-दूसरे के विपरीत होती है।

इसकी तुलना उन परिणामों से कीजिए जो कूलॉम नियम के उपयोग द्वारा सीधे परिकलन कर परिणाम पर पहुँचने के लिए आवश्यक हों।

© NCERT not to be republished

सारांश

1. विद्युत तथा चुंबकीय बल परमाणुओं, अणुओं तथा स्थूल द्रव्य के गुणधर्मों का निर्धारण करते हैं।
2. घर्षण विद्युत के सरल प्रयोगों के आधार पर यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि प्रकृति में दो प्रकार के आवेश होते हैं। सजातीय आवेशों में प्रतिकर्षण तथा विजातीय आवेशों में आकर्षण होता है। परिपाटी के अनुसार, रेशम से रगड़ने पर काँच की छड़ पर धनावेश होता है; तथा फर से रगड़ने पर प्लास्टिक की छड़ पर ऋणावेश होता है।
3. चालक अपने में से होकर सरलता से वैद्युत आवेश की गति होने देते हैं जबकि विद्युतरोधी ऐसा नहीं करते। धातुओं में गतिशील आवेश इलेक्ट्रॉन होते हैं; वैद्युत अपघट्यों में धनायन तथा ऋणायन दोनों ही गति करते हैं।
4. वैद्युत आवेशों के तीन गुणधर्म होते हैं : क्वांटमीकरण, योज्यता तथा संरक्षण।
   वैद्युत आवेश के क्वांटमीकरण से तात्पर्य है कि किसी वस्तु का कुल आवेश (q) सदैव ही आवेश के एक मूल क्वांटम (e) के पूर्णांकी गुणज अर्थात $q = n\,e$ होता है, जहाँ $n = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \ldots$ है। प्रोटॉन तथा इलेक्ट्रॉन पर क्रमशः $+e$ तथा $-e$ आवेश होते हैं। स्थूल आवेशों जिनके लिए n एक अत्यधिक बड़ी संख्या होती है, में आवेश के क्वांटमीकरण की उपेक्षा की जा सकती है।
   वैद्युत आवेशों की योज्यता से हमारा तात्पर्य यह है कि किसी निकाय का कुल आवेश उस निकाय के सभी एकाकी आवेशों का बीजगणितीय योग (अर्थात योग करते समय उनके चिह्नों को ध्यान में रखकर) होता है।
   वैद्युत आवेशों के संरक्षण से हमारा तात्पर्य यह है कि किसी वियुक्त निकाय (isolated system) का कुल आवेश समय के साथ अपरिवर्तित रहता है। इसका अर्थ यह है कि जब घर्षण द्वारा वस्तुएँ आवेशित की जाती हैं तो आवेशों का एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरण होता है, परंतु इस प्रक्रिया में न तो कोई आवेश उत्पन्न होता है और न ही नष्ट होता है।
5. *कूलॉम नियम* : दो बिंदु आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच पारस्परिक स्थिर वैद्युत बल, आवेशों के गुणनफल q_1q_2 के अनुक्रमानुपाती तथा उनके बीच की दूरी r_{21} के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है। गणितीय रूप में

$$\mathbf{F}_{21} = q_2 \text{ पर } q_1 \text{ के कारण लगने वाला बल } = \frac{k(q_1q_2)}{r_{21}^2}\hat{\mathbf{r}}_{21}$$

   यहाँ $\hat{\mathbf{r}}_{21}$ आवेश q_1 से q_2 की दिशा में एकांक सदिश है तथा $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ आनुपातिकता स्थिरांक है। SI मात्रकों में, आवेश का मात्रक कूलॉम है। नियतांक ε_0 का प्रायोगिक मान है

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2}$$

   k का सन्निकट मान $k = 9 \times 10^9\ \text{N m}^2\ \text{C}^{-2}$ होता है।
6. किसी प्रोटॉन तथा किसी इलेक्ट्रॉन के बीच वैद्युत बल तथा गुरुत्वाकर्षण बल का अनुपात है,

$$\frac{ke^2}{Gm_em_p} \cong 2.4 \times 10^{39}$$

7. *अध्यारोपण सिद्धांत* : यह सिद्धांत इस गुणधर्म पर आधारित है कि दो आवेशों के बीच लगने वाले आकर्षी अथवा प्रतिकर्षी बल किसी तीसरे (अथवा अधिक) अतिरिक्त आवेश की उपस्थिति से प्रभावित नहीं होते। आवेशों $q_1, q_2, q_3 \ldots$ के किसी समूह के लिए किसी आवेश (जैसे q_1) पर बल, q_1 पर q_2 के कारण बल, q_1 पर q_3 के कारण बल आदि-आदि के

© NCERT not to be republished

सदिश योग के बराबर होता है। प्रत्येक युगल के लिए यह बल पहले वर्णित दो आवेशों के लिए कूलॉम के नियम द्वारा ही व्यक्त किया जाता है।

8. किसी आवेश विन्यास के कारण किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र **E** किसी छोटे धनात्मक परीक्षण आवेश (test charge) q को उस बिंदु पर रखने पर उसके द्वारा अनुभव किए जाने वाले बल को उस आवेश के परिमाण द्वारा विभाजित करने पर प्राप्त होता है। किसी बिंदु आवेश q के कारण विद्युत क्षेत्र का कोई परिमाण $|q|/4\pi\varepsilon_0 r^2$ होता है; यदि q धनात्मक है तो यह क्षेत्र अरीय (त्रिज्यीय) बहिर्मुखी होता है तथा यदि q ऋणात्मक है तो अरीय (त्रिज्यीय) अंतर्मुखी होता है। कूलॉम बल की भाँति विद्युत क्षेत्र भी अध्यारोपण सिद्धांत को संतुष्ट करता है।
9. विद्युत क्षेत्र रेखा ऐसा वक्र है जिसके किसी भी बिंदु पर खींचा गया स्पर्शी, वक्र के उस बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दिशा बताता है। क्षेत्र रेखाओं की सापेक्षिक संकुलता विभिन्न बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र की सापेक्षिक तीव्रता को इंगित करती है। प्रबल विद्युत क्षेत्र में रेखाएँ पास-पास तथा दुर्बल क्षेत्र में ये एक-दूसरे से काफी दूर होती हैं। एकसमान (अथवा नियत) विद्युत क्षेत्र में क्षेत्र रेखाएँ एक-दूसरे से एकसमान दूरी पर समांतर सरल रेखाएँ होती हैं।
10. क्षेत्र रेखाओं की कुछ महत्वपूर्ण विशेषताएँ इस प्रकार हैं– (a) आवेशमुक्त दिक्स्थान में क्षेत्र रेखाएँ संतत वक्र होती हैं जो कहीं नहीं टूटतीं। (b) दो क्षेत्र रेखाएँ एक-दूसरे को कदापि नहीं काट सकतीं। (c) स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ धनावेश से आरंभ होकर ऋणावेश पर समाप्त हो जाती हैं– ये संवृत पाश (बंद लूप) नहीं बना सकतीं।
11. वैद्युत द्विध्रुव परिमाण में समान विजातीय दो आवेशों q तथा $-q$, जिनके बीच पृथकन $2a$ हो, का युग्म होता है। इसके द्विध्रुव आघूर्ण सदिश **p** का परिमाण $2qa$ होता है तथा यह द्विध्रुव अक्ष $-q$ से q की दिशा में होता है।
12. किसी वैद्युत द्विध्रुव का इसके निरक्षीय/विषुवतीय समतल (अर्थात इसके अक्ष के लंबवत तथा इसके केंद्र से गुजरने वाले समतल) पर इसके केंद्र से r दूरी पर विद्युत क्षेत्र–

$$\mathbf{E} = \frac{-\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{(a^2+r^2)^{3/2}}$$

$$\cong \frac{-\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_o r^3}, \quad (r >> a \text{ के लिए})$$

द्विध्रुव अक्ष पर केंद्र से r दूरी पर द्विध्रुव विद्युत क्षेत्र

$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{p}r}{4\pi\varepsilon_0(r^2-a^2)^2}$$

$$\cong \frac{2\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \quad (r >> a \text{ के लिए})$$

इस तथ्य पर ध्यान देना चाहिए कि किसी द्विध्रुव का विद्युत क्षेत्र $1/r^3$ पर निर्भर होता है, जबकि किसी बिंदु आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र $1/r^2$ पर निर्भर होता है।

13. किसी एकसमान विद्युत क्षेत्र **E** में कोई वैद्युत द्विध्रुव एक बल आघूर्ण $\boldsymbol{\tau}$ का अनुभव करता है।

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$$

परंतु किसी नेट बल का अनुभव नहीं करता।

14. विद्युत क्षेत्र **E** का किसी लघु क्षेत्रफल-अवयव $\Delta\mathbf{S}$ से गुजरने वाला फ्लक्स $\Delta\phi = \mathbf{E}.\Delta\mathbf{S}$

सदिश क्षेत्रफल-अवयव $\Delta\mathbf{S} = \Delta S\,\hat{\mathbf{n}}$

यहाँ ΔS क्षेत्रफल-अवयव का परिमाण तथा $\hat{\mathbf{n}}$ क्षेत्रफल-अवयव के लंबवत त्रिज्य एकांक सदिश है जिसे काफी छोटे क्षेत्र के लिए समतलीय माना जा सकता है। किसी बंद पृष्ठ के

© NCERT not to be republished

क्षेत्रफल-अवयव के लिए, $\hat{\mathbf{n}}$ को परिपाटी के अनुसार बहिर्मुखी अभिलंब की दिशा माना जा सकता है।

15. *गाउस नियम* : किसी बंद पृष्ठ S से होकर गुज़रने वाले किसी विद्युत क्षेत्र का फ्लक्स उस पृष्ठ S द्वारा परिबद्ध कुल आवेश का $1/\varepsilon_0$ गुना होता है। यह नियम विद्युत क्षेत्र के निर्धारण में विशेष रूप से तब उपयोगी होता है जबकि आवेश वितरण में सरल सममिति हो।

(i) *एकसमान रैखिक आवेश घनत्व λ का पतला अनंत लंबाई का सीधा तार*

$$\mathbf{E} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}\hat{\mathbf{n}}$$

यहाँ r बिंदु की तार से लंबवत दूरी है तथा $\hat{\mathbf{n}}$ उस बिंदु से गुज़रने वाले तार के अभिलंबवत तल में त्रिज्य एकांक सदिश है।

(ii) *एकसमान पृष्ठीय आवेश घनत्व σ की पतली अनंत समतल चादर*

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{\mathbf{n}}$$

यहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ समतल के अभिलंबवत पार्श्व के दोनों ओर बहिर्मुखी एकांक सदिश है।

(iii) *एकसमान पृष्ठीय आवेश घनत्व σ के पतले गोलीय खोल* (या कोश)

$$\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (r \geq R)$$

$$\mathbf{E} = 0 \qquad (r < R)$$

यहाँ r गोलीय खोल के केंद्र से बिंदु की दूरी तथा R खोल की त्रिज्या है। खोल का कुल आवेश q है। जहाँ $q = 4\pi R^2\sigma$ है।

खोल के बाहर किसी बिंदु पर आवेशित खोल के कारण विद्युत क्षेत्र इस प्रकार होता है जैसे कि समस्त आवेश खोल के केंद्र पर ही केंद्रित है। यही परिणाम किसी एकसमान आयतन आवेश घनत्व के ठोस गोले के लिए भी सत्य होता है। खोल के अंदर सभी बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र शून्य होता है।

भौतिक राशि	प्रतीक	विमाएँ	मात्रक	टिप्पणी
सदिश क्षेत्रफल-अवयव	$\Delta\mathbf{S}$	$[L^2]$	m^2	$\Delta\mathbf{S} = \Delta S\,\hat{\mathbf{n}}$
विद्युत क्षेत्र	$\mathbf{E}$	$[MLT^{-3}A^{-1}]$	$V\,m^{-1}$	
वैद्युत फ्लक्स	ϕ	$[ML^3T^{-3}A^{-1}]$	$V\,m$	$\Delta\phi = \mathbf{E}.\Delta\mathbf{S}$
द्विध्रुव आघूर्ण	$\mathbf{p}$	$[LTA]$	$C\,m$	ऋणावेश से धनावेश की ओर निर्दिष्ट सदिश
आवेश घनत्व				
रैखिक	λ	$[L^{-1}TA]$	$C\,m^{-1}$	आवेश/लंबाई
पृष्ठीय	σ	$[L^{-2}TA]$	$C\,m^{-2}$	आवेश/क्षेत्रफल
आयतन	ρ	$[L^{-3}TA]$	$C\,m^{-3}$	आवेश/आयतन

© NCERT not to be republished

विचारणीय विषय

1. आपको यह आश्चर्य हो सकता है कि नाभिक में प्रोटॉन जिन पर धनावेश है, सभी एक साथ कसे रहकर कैसे समाए हुए हैं। वे एक-दूसरे से दूर क्यों नहीं उड़ जाते? आप यह सीखेंगे कि एक तीसरे प्रकार का मूल बल भी है जिसे प्रबल बल कहते हैं और यही बल प्रोटॉनों को एक साथ बाँधे रखता है। परंतु दूरी का वह परिसर जिसमें यह बल प्रभावी होता है, बहुत छोटा ~ 10^{-14} m है। यथार्य रूप में यही नाभिक का साइज़ है। साथ ही क्वांटम यांत्रिकी के नियमों के अनुसार इलेक्ट्रॉनों को प्रोटॉनों के शीर्ष पर अर्थात नाभिक के भीतर बैठने की अनुमति भी नहीं है। इसी से परमाणुओं को उनकी रचना प्राप्त है और उनका प्रकृति में अस्तित्व है।
2. कूलॉम बल तथा गुरुत्वाकर्षण बल समान व्युत्क्रम वर्ग नियम का पालन करते हैं। परंतु गुरुत्वाकर्षण बल का केवल एक ही चिह्न (सदैव आकर्षी) होता है, जबकि कूलॉम बल के दोनों चिह्न (आकर्षी तथा प्रतिकर्षी) हो सकते हैं, जिससे विद्युत बलों का निरसन हो सकता है। यही कारण है कि अत्यंत दुर्बल बल होने पर भी गुरुत्व बल प्रकृति में एक प्रबल तथा अधिक व्यापक बल हो सकता है।
3. यदि आवेश के मात्रक को कूलॉम के नियम द्वारा परिभाषित करना है तो कूलॉम के नियम में आनुपातिकता स्थिरांक k एक चयन का विषय है। परंतु SI मात्रकों में विद्युत धारा के मात्रक ऐम्पियर (A) को उसी के चुंबकीय प्रभाव (ऐम्पियर नियम) द्वारा परिभाषित किया जाता है तथा आवेश के मात्रक (कूलॉम) को केवल (1C = 1A s) द्वारा परिभाषित किया जाता है। इस प्रकरण में k का मान स्वैच्छिक नहीं है; यह लगभग 9×10^9 N m^2 C^{-2} है।
4. स्थिरांक k का अत्यधिक बड़ा मान, अर्थात विद्युत प्रभाव की दृष्टि से आवेश के मात्रक (1C) का बड़ा आकार (मान) इस कारण से है क्योंकि (जैसा कि बिंदु 3 में उल्लेख किया जा चुका है) आवेश के मात्रक को चुंबकीय बलों (विद्युतवाही तारों पर लगे बलों) के पदों में परिभाषित किया गया है जो कि व्यापक रूप से वैद्युत बलों की तुलना में बहुत दुर्बल होते हैं। यही कारण है कि, 1 ऐम्पियर चुंबकीय प्रभावों के लिए युक्तिसंगत मात्रक है, 1 C = 1 A s वैद्युत प्रभावों के लिए एक अत्यधिक बड़ा मात्रक है।
5. आवेश का योज्यता गुणधर्म कोई सुस्पष्ट गुणधर्म नहीं है। यह इस तथ्य से संबंधित है कि वैद्युत आवेश से कोई दिशा संबद्ध नहीं होती, आवेश एक अदिश राशि है।
6. आवेश केवल घूर्णन के अंतर्गत ही अदिश (अथवा अचर/अपरिवर्तनीय) नहीं है; यह आपेक्षिक गति में भी निर्देश फ्रेमों के लिए अचर है। यह कथन प्रत्येक अदिश के लिए सदैव सत्य नहीं है। उदाहरणार्थ, गतिज ऊर्जा घूर्णन के अंतर्गत अदिश है, परंतु यह आपेक्षिक गतियों में निर्देश फ्रेमों के लिए अचर नहीं है, अथवा इस दृष्टि से तो द्रव्यमान भी अचर नहीं है।
7. किसी वियुक्त निकाय के कुल आवेश का संरक्षण एक ऐसा गुणधर्म है जो बिंदु 6 के अंतर्गत आवेश की अदिश प्रकृति पर निर्भर नहीं करता। संरक्षण किसी दिए गए निर्देश फ्रेम में समय की अपरिवर्तनीयता की ओर संकेत करता है। कोई राशि अदिश होते हुए भी संरक्षित नहीं हो सकती (किसी अप्रत्यास्थ संघट्ट में गतिज ऊर्जा की भाँति)। इसके विपरीत, सदिश राशि का संरक्षण भी हो सकता है (उदाहरण के लिए किसी वियुक्त निकाय का कोणीय संवेग संरक्षण)।
8. वैद्युत आवेश का क्वांटमीकरण प्रकृति का मूल नियम है जिसकी अभी तक व्याख्या नहीं की जा सकी है। रोचक तथ्य यह है कि संहति के क्वांटमीकरण का कोई सदृश (अनुरूप) नियम नहीं है।
9. अध्यारोपण सिद्धांत को सुस्पष्ट नहीं मानना चाहिए अथवा इसे सदिशों के योग के नियम के समान नहीं मानना चाहिए। यह सिद्धांत दो बातें बताता है: किसी आवेश पर दूसरे आवेश के कारण बल किन्हीं अन्य आवेशों की उपस्थिति के कारण प्रभावित नहीं होता तथा यहाँ

© NCERT not to be republished

कोई अतिरिक्त त्रि-पिंड, चतु:-पिंड आदि बल नहीं होते जो केवल तभी उत्पन्न होते हैं जब दो से अधिक आवेश हों।

10. किसी विविक्त आवेश विन्यास के कारण विविक्त आवेशों की अवस्थिति पर विद्युत क्षेत्र परिभाषित नहीं है। संतत आयतन आवेश वितरण के लिए यह वितरण में किसी भी बिंदु पर परिभाषित होता है। किसी पृष्ठीय आवेश वितरण के लिए विद्युत क्षेत्र पृष्ठ के आर-पार विच्छिन्न होता है।
11. किसी आवेश विन्यास जिसमें कुल आवेश शून्य है, के कारण सभी बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र शून्य नहीं होता; उन दूरियों के लिए जो आवेश विन्यास के आकार की तुलना में बड़ी हैं, इसके क्षेत्र में कमी $1/r^2$ से भी अधिक तीव्र गति से होती है, जो कि किसी एकल आवेश के विद्युत क्षेत्र की विशेषता है। एक वैद्युत द्विध्रुव इस तथ्य का एक सरलतम उदाहरण है।

अभ्यास

1.1 वायु में एक-दूसरे से 30 cm दूरी पर रखे दो छोटे आवेशित गोलों पर क्रमश: 2×10^{-7}C तथा 3×10^{-7} C आवेश हैं। उनके बीच कितना बल है?

1.2 0.4 μC आवेश के किसी छोटे गोले पर किसी अन्य छोटे आवेशित गोले के कारण वायु में 0.2 N बल लगता है। यदि दूसरे गोले पर 0.8 μC आवेश हो तो (a) दोनों गोलों के बीच कितनी दूरी है? (b) दूसरे गोले पर पहले गोले के कारण कितना बल लगता है?

1.3 जाँच द्वारा सुनिश्चित कीजिए कि ke^2/Gm_em_p विमाहीन है। भौतिक नियतांकों की सारणी देखकर इस अनुपात का मान ज्ञात कीजिए। यह अनुपात क्या बताता है?

1.4 (a) "किसी वस्तु का वैद्युत आवेश क्वांटीकृत है," इस प्रकथन से क्या तात्पर्य है? (b) स्थूल अथवा बड़े पैमाने पर वैद्युत आवेशों से व्यवहार करते समय हम वैद्युत आवेश के क्वांटमीकरण की उपेक्षा कैसे कर सकते हैं?

1.5 जब काँच की छड़ को रेशम के टुकड़े से रगड़ते हैं तो दोनों पर आवेश आ जाता है। इसी प्रकार की परिघटना का वस्तुओं के अन्य युग्मों में भी प्रेक्षण किया जाता है। स्पष्ट कीजिए कि यह प्रेक्षण आवेश संरक्षण नियम से किस प्रकार सामंजस्य रखता है।

1.6 चार बिंदु आवेश $q_A = 2$ μC, $q_B = -5$ μC, $q_C = 2$ μC तथा $q_D = -5$ μC, 10 cm भुजा के किसी वर्ग ABCD के शीर्षों पर अवस्थित हैं। वर्ग के केंद्र पर रखे 1 μC आवेश पर लगने वाला बल कितना है?

1.7 (a) स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखा एक संतत वक्र होती है अर्थात कोई क्षेत्र रेखा एकाएक नहीं टूट सकती। क्यों?
(b) स्पष्ट कीजिए कि दो क्षेत्र रेखाएँ कभी भी एक-दूसरे का प्रतिच्छेदन क्यों नहीं करतीं?

1.8 दो बिंदु आवेश $q_A = 3$ μC तथा $q_B = -3$ μC निर्वात में एक-दूसरे से 20 cm दूरी पर स्थित हैं।
(a) दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा AB के मध्य बिंदु O पर विद्युत क्षेत्र कितना है?
(b) यदि 1.5×10^{-9} C परिमाण का कोई ऋणात्मक परीक्षण आवेश इस बिंदु पर रखा जाए तो यह परीक्षण आवेश कितने बल का अनुभव करेगा?

1.9 किसी निकाय में दो आवेश $q_A = 2.5\times10^{-7}$ C तथा $q_B = -2.5\times10^{-7}$ C क्रमश: दो बिंदुओं A : (0, 0, −15 cm) तथा B : (0, 0, +15 cm) पर अवस्थित हैं। निकाय का कुल आवेश तथा वैद्युत द्विध्रुव आघूर्ण क्या है?

1.10 4×10^{-9} C m द्विध्रुव आघूर्ण का कोई वैद्युत द्विध्रुव 5×10^4 N C^{-1} परिमाण के किसी एकसमान विद्युत क्षेत्र की दिशा से 30° पर सरेखित है। द्विध्रुव पर कार्यरत बल आघूर्ण का परिमाण परिकलित कीजिए।

1.11 ऊन से रगड़े जाने पर कोई पॉलीथीन का टुकड़ा 3×10^{-7}C के ऋणावेश से आवेशित पाया गया।
(a) स्थानांतरित (किस पदार्थ से किस पदार्थ में) इलेक्ट्रॉनों की संख्या आकलित कीजिए।
(b) क्या ऊन से पॉलीथीन में संहति का स्थानांतरण भी होता है?

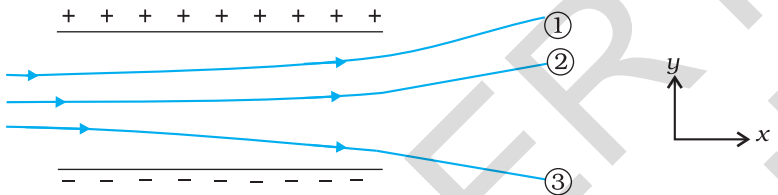
© NCERT not to be republished

1.12 (a) दो विद्युतरोधी आवेशित ताँबे के गोलों A तथा B के केंद्रों के बीच की दूरी 50 cm है। यदि दोनों गोलों पर पृथक-पृथक आवेश 6.5×10^{-7} C हैं, तो इनमें पारस्परिक स्थिरवैद्युत प्रतिकर्षण बल कितना है? गोलों के बीच की दूरी की तुलना में गोलों A तथा B की त्रिज्याएँ नगण्य हैं।

(b) यदि प्रत्येक गोले पर आवेश की मात्रा दो गुनी तथा गोलों के बीच की दूरी आधी कर दी जाए तो प्रत्येक गोले पर कितना बल लगेगा?

1.13 मान लीजिए अभ्यास 1.12 में गोले A तथा B साइज़ में सर्वसम हैं तथा इसी साइज़ का कोई तीसरा अनावेशित गोला पहले तो पहले गोले के संपर्क, तत्पश्चात दूसरे गोले के संपर्क में लाकर, अंत में दोनों से ही हटा लिया जाता है। अब A तथा B के बीच नया प्रतिकर्षण बल कितना है?

1.14 चित्र 1.33 में किसी एकसमान स्थिरवैद्युत क्षेत्र में तीन आवेशित कणों के पथचिह्न (tracks) दर्शाए गए हैं। तीनों आवेशों के चिह्न लिखिए। इनमें से किस कण का आवेश-संहति अनुपात (q/m) अधिकतम है?



चित्र 1.33

1.15 एकसमान विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E} = 3 \times 10^3\ \hat{\mathbf{i}}$ N/C पर विचार कीजिए।

(a) इस क्षेत्र का 10 cm भुजा के वर्ग के उस पार्श्व से जिसका तल yz तल के समांतर है, गुजरने वाला फ्लक्स क्या है?

(b) इसी वर्ग से गुजरने वाला फ्लक्स कितना है यदि इसके तल का अभिलंब x-अक्ष से 60° का कोण बनाता है?

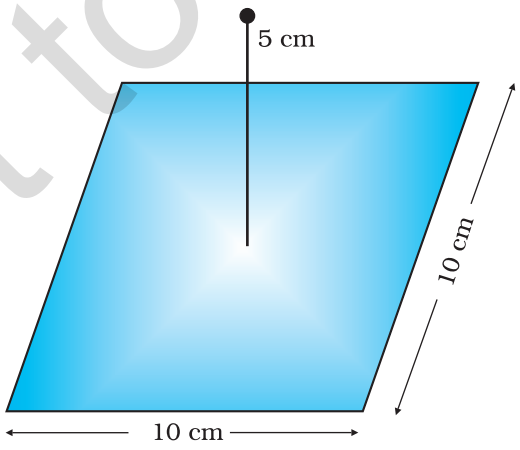
1.16 अभ्यास 1.15 के एकसमान विद्युत क्षेत्र का 20 cm भुजा के किसी घन से (जो इस प्रकार अभिविन्यासित है कि उसके फलक निर्देशांक तलों के समांतर हैं) कितना नेट फ्लक्स गुजरेगा?

1.17 किसी काले बॉक्स के पृष्ठ पर विद्युत क्षेत्र की सावधानीपूर्वक ली गई माप यह संकेत देती है कि बॉक्स के पृष्ठ से गुजरने वाला नेट फ्लक्स $8.0 \times 10^3\ \text{N m}^2/\text{C}$ है।

(a) बॉक्स के भीतर नेट आवेश कितना है?

(b) यदि बॉक्स के पृष्ठ से नेट बहिर्मुखी फ्लक्स शून्य है तो क्या आप यह निष्कर्ष निकालेंगे कि बॉक्स के भीतर कोई आवेश नहीं है? क्यों, अथवा क्यों नहीं?

1.18 चित्र 1.34 में दर्शाए अनुसार 10 cm भुजा के किसी वर्ग के केंद्र से ठीक 5 cm ऊँचाई पर कोई +10 μC आवेश रखा है। इस वर्ग से गुजरने वाले वैद्युत फ्लक्स का परिमाण क्या है? (*संकेत* : वर्ग को 10 cm किनारे के किसी घन का एक फलक मानिए।)



चित्र 1.34

© NCERT not to be republished

1.19 2.0 μC का कोई बिंदु आवेश किसी किनारे पर 9.0 cm किनारे वाले किसी घनीय गाउसीय पृष्ठ के केंद्र पर स्थित है। पृष्ठ से गुजरने वाला नेट फ्लक्स क्या है?

1.20 किसी बिंदु आवेश के कारण उस बिंदु को केंद्र मानकर खींचे गए 10 cm त्रिज्या के गोलीय गाउसीय पृष्ठ पर वैद्युत फ्लक्स $-1.0 \times 10^3 \, \text{N m}^2/\text{C}$। (a) यदि गाउसीय पृष्ठ की त्रिज्या दो गुनी कर दी जाए तो पृष्ठ से कितना फ्लक्स गुजरेगा? (b) बिंदु आवेश का मान क्या है?

1.21 10 cm त्रिज्या के चालक गोले पर अज्ञात परिणाम का आवेश है। यदि गोले के केंद्र से 20 cm दूरी पर विद्युत क्षेत्र $1.5 \times 10^3 \, \text{N/C}$ त्रिज्यत: अंतर्मुखी (radially inward) है तो गोले पर नेट आवेश कितना है?

1.22 2.4 m व्यास के किसी एकसमान आवेशित चालक गोले का पृष्ठीय आवेश घनत्व $80.0 \, \mu\text{C/m}^2$ है।
(a) गोले पर आवेश ज्ञात कीजिए।
(b) गोले के पृष्ठ से निर्गत कुल वैद्युत फ्लक्स क्या है?

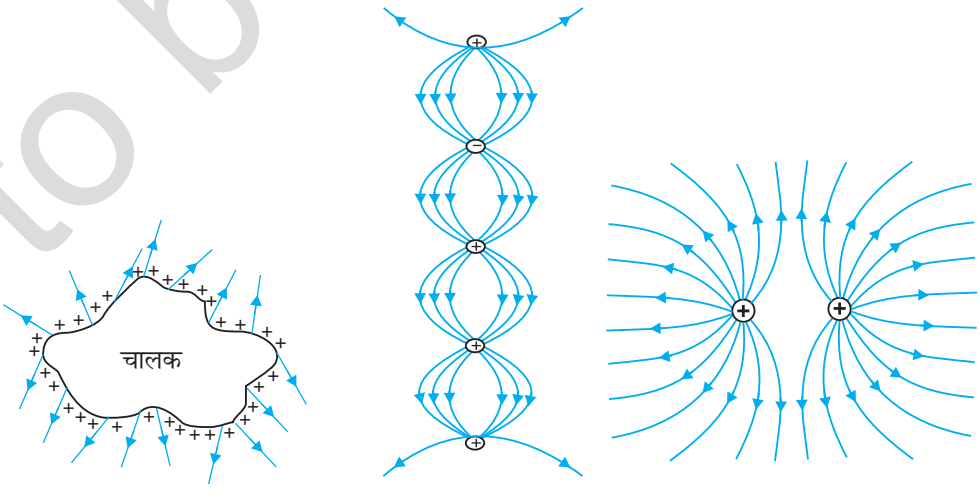
1.23 कोई अनंत रैखिक आवेश 2 cm दूरी पर $9 \times 10^4 \, \text{N C}^{-1}$ विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है। रैखिक आवेश घनत्व ज्ञात कीजिए।

1.24 दो बड़ी, पतली धातु की प्लेटें एक-दूसरे के समानांतर एवं निकट हैं। इनके भीतरी फलकों पर, प्लेटों के पृष्ठीय आवेश घनत्वों के चिह्न विपरीत हैं तथा इनका परिमाण $17.0 \times 10^{-22} \, \text{C/m}^2$ है। (a) पहली प्लेट के बाह्य क्षेत्र में, (b) दूसरी प्लेट के बाह्य क्षेत्र में, तथा (c) प्लेटों के बीच में विद्युत क्षेत्र **E** का परिमाण परिकलित कीजिए।

अतिरिक्त प्रश्न

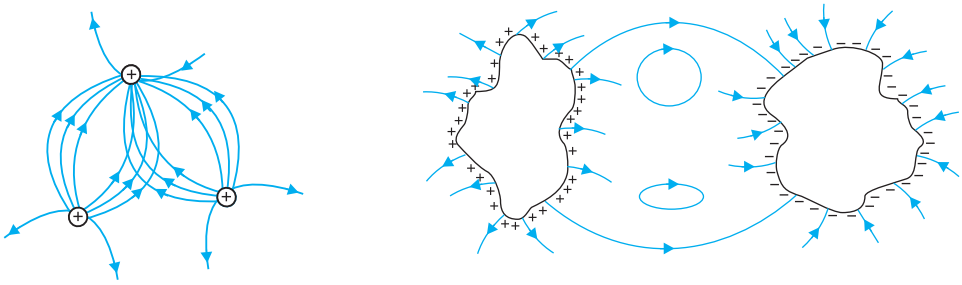
1.25 मिलिकन तेल बूँद प्रयोग में $2.55 \times 10^4 \, \text{N C}^{-1}$ के नियत विद्युत क्षेत्र के प्रभाव में 12 इलेक्ट्रॉन आधिक्य की कोई तेल बूँद स्थिर रखी जाती है। तेल का घनत्व $1.26 \, \text{g cm}^{-3}$ है। बूँद की त्रिज्या का आकलन कीजिए ($g = 9.81 \, \text{m s}^{-2}$; $e = 1.60 \times 10^{-19} \, \text{C}$)।

1.26 चित्र 1.35 में दर्शाए गए वक्रों में से कौन संभावित स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ निरूपित नहीं करते?



(a) (b) (c)

© NCERT not to be republished



(d) (e)

चित्र 1.35

1.27 दिक्स्थान के किसी क्षेत्र में, विद्युत क्षेत्र सभी जगह z-दिशा के अनुदिश है। परंतु विद्युत क्षेत्र का परिमाण नियत नहीं है, इसमें एकसमान रूप से z-दिशा के अनुदिश 10^5 N C^{-1} प्रति मीटर की दर से वृद्धि होती है। वह निकाय जिसका ऋणात्मक z-दिशा में कुल द्विध्रुव आघूर्ण 10^{-7} C m के बराबर है, कितना बल तथा बल आघूर्ण अनुभव करता है?

1.28 (a) किसी चालक A जिसमें चित्र 1.36 (a) में दर्शाए अनुसार कोई कोटर/गुहा (Cavity) है, को Q आवेश दिया गया है। यह दर्शाइए कि समस्त आवेश चालक के बाह्य पृष्ठ पर प्रतीत होना चाहिए।

(b) कोई अन्य चालक B जिस पर आवेश q है, को कोटर/गुहा (Cavity) में इस प्रकार धँसा दिया जाता है कि चालक B चालक A से विद्युतरोधी रहे। यह दर्शाइए कि चालक A के बाह्य पृष्ठ पर कुल आवेश $Q + q$ है [चित्र 1.36 (b)]।

(c) किसी सुग्राही उपकरण को उसके पर्यावरण के प्रबल स्थिरवैद्युत क्षेत्रों से परिरक्षित किया जाना है। संभावित उपाय लिखिए।



(a) (b)

चित्र 1.36

1.29 किसी खोखले आवेशित चालक में उसके पृष्ठ पर कोई छिद्र बनाया गया है। यह दर्शाइए कि छिद्र में विद्युत क्षेत्र $(\sigma/2\varepsilon_0)\,\hat{\mathbf{n}}$ है, जहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ अभिलंबवत दिशा में बहिर्मुखी एकांक सदिश है तथा σ छिद्र के निकट पृष्ठीय आवेश घनत्व है।

1.30 गाउस नियम का उपयोग किए बिना किसी एकसमान रैखिक आवेश घनत्व λ के लंबे पतले तार के कारण विद्युत क्षेत्र के लिए सूत्र प्राप्त कीजिए [*संकेत* : सीधे ही कूलॉम नियम का उपयोग करके आवश्यक समाकलन का मान निकालिए]।

1.31 अब ऐसा विश्वास किया जाता है कि स्वयं प्रोटॉन एवं न्यूट्रॉन (जो सामान्य द्रव्य के नाभिकों का निर्माण करते हैं) और अधिक मूल इकाइयों जिन्हें क्वार्क कहते हैं, के बने हैं। प्रत्येक प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन तीन क्वार्कों से मिलकर बनता है। दो प्रकार के क्वार्क होते हैं : 'अप' क्वार्क (u द्वारा निर्दिष्ट) जिन पर $+(2/3)\,e$ आवेश तथा 'डाउन' क्वार्क (d द्वारा निर्दिष्ट) जिन पर $-(1/3)\,e$ आवेश होता है, इलेक्ट्रॉन से मिलकर सामान्य द्रव्य बनाते हैं। (कुछ अन्य प्रकार के क्वार्क भी पाए गए हैं जो भिन्न असामान्य प्रकार का द्रव्य बनाते हैं।) प्रोटॉन तथा न्यूट्रॉन के संभावित क्वार्क संघटन सुझाइए।

© NCERT not to be republished

1.32 (a) किसी यादृच्छिक स्थिरवैद्युत क्षेत्र विन्यास पर विचार कीजिए। इस विन्यास की किसी शून्य-विक्षेप स्थिति (null-point, अर्थात् जहाँ $\mathbf{E} = 0$) पर कोई छोटा परीक्षण आवेश रखा गया है। यह दर्शाइए कि परीक्षण आवेश का संतुलन आवश्यक रूप से अस्थायी है।
(b) इस परिणाम का समान परिमाण तथा चिह्नों के दो आवेशों (जो एक-दूसरे से किसी दूरी पर रखे हैं) के सरल विन्यास के लिए सत्यापन कीजिए।

1.33 प्रारंभ में x-अक्ष के अनुदिश v_x चाल से गति करती हुई दो आवेशित प्लेटों के मध्य क्षेत्र में m द्रव्यमान तथा $-q$ आवेश का एक कण प्रवेश करता है (चित्र 1.33 में कण 1 के समान)। प्लेटों की लंबाई L है। इन दोनों प्लेटों के बीच एकसमान विद्युत क्षेत्र E बनाए रखा जाता है। दर्शाइए कि प्लेट के अंतिम किनारे पर कण का ऊर्ध्वाधर विक्षेप $qEL^2/(2\text{m } v_x^2)$ है।
(कक्षा 11 की पाठ्यपुस्तक के अनुभाग 4.10 में वर्णित गुरुत्वीय क्षेत्र में प्रक्षेप्य की गति के साथ इस कण की गति की तुलना कीजिए)।

1.34 अभ्यास 1.33 में वर्णित कण की इलेक्ट्रॉन के रूप में कल्पना कीजिए जिसको $v_x = 2.0 \times 10^6$ m s^{-1} के साथ प्रक्षेपित किया गया है। यदि 0.5 cm की दूरी पर रखी प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र E का मान 9.1×10^2 N/C हो तो ऊपरी प्लेट पर इलेक्ट्रॉन कहाँ टकराएगा? ($|e| = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg.)

© NCERT not to be republished

अध्याय 2

स्थिरवैद्युत विभव तथा धारिता

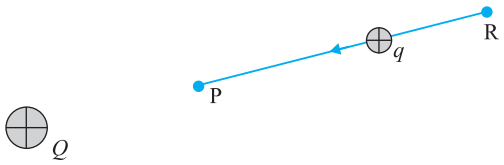
© NCERT not to be republished

2.1 भूमिका

अध्याय 6 तथा 8 (कक्षा 11) में स्थितिज ऊर्जा की धारणा से आपको परिचित कराया गया था। जब कोई बाह्य बल किसी वस्तु को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक, किसी अन्य बल; जैसे–स्प्रिंग बल, गुरुत्वीय बल आदि के विरुद्ध, ले जाता है, तो उस बाह्य बल द्वारा किया गया कार्य उस वस्तु में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। जब बाह्य बल हटा लिया जाता है तो वस्तु गति करने लगती है और कुछ गतिज ऊर्जा अर्जित कर लेती है, तथा उस वस्तु की उतनी ही स्थितिज ऊर्जा कम हो जाती है। इस प्रकार वस्तु की स्थितिज ऊर्जा तथा गतिज ऊर्जा का योग संरक्षित रहता है। इस प्रकार के बलों को *संरक्षी बल* कहते हैं। स्प्रिंग बल तथा गुरुत्वाकर्षण बल संरक्षी बल के उदाहरण हैं।

गुरुत्वाकर्षण बल की भाँति दो स्थिर आवेशों के बीच लगने वाला कूलॉम बल भी संरक्षी बल होता है। यह कोई आश्चर्य की बात नहीं है, क्योंकि गणितीय रूप में यह बल गुरुत्वाकर्षण बल के समान है; दोनों में दूरी की व्युत्क्रम वर्ग निर्भरता है और प्रमुख रूप से आनुपातिकता स्थिरांक में भिन्नता है। गुरुत्वाकर्षण नियम की संहतियाँ कूलॉम नियम में आवेशों द्वारा प्रतिस्थापित हो जाती हैं। इस प्रकार, गुरुत्वीय क्षेत्र में संहतियों की स्थितिज ऊर्जा की ही भाँति हम किसी स्थिरवैद्युत क्षेत्र में आवेश की स्थिरवैद्युत स्थितिज ऊर्जा को परिभाषित कर सकते हैं।

आवेश विन्यास के कारण किसी स्थिरवैद्युत क्षेत्र **E** पर विचार कीजिए। सरलता की दृष्टि से पहले मूल बिंदु पर स्थित किसी आवेश Q के कारण क्षेत्र **E** पर विचार करते हैं। कल्पना कीजिए कि हम कोई परीक्षण आवेश q को आवेश Q के कारण आवेश q पर लगे प्रतिकर्षी बल के विरुद्ध, बिंदु R से बिंदु P तक लाते हैं। चित्र 2.1 के संदर्भ में ऐसा तभी होगा जब Q तथा q दोनों धनात्मक हों अथवा दोनों ऋणात्मक हों। सुनिश्चित करने के लिए, हम Q, $q > 0$ मानते हैं।



चित्र 2.1 एक परीक्षण आवेश q (>0) मूल बिंदु पर स्थित आवेश Q (>0) के कारण उस पर लगे प्रतिकर्षी बल के विरुद्ध बिंदु R से बिंदु P तक ले जाया जाता है।

यहाँ दो टिप्पणियाँ की जा सकती हैं। पहली, हम यह मानते हैं कि परीक्षण आवेश q इतना छोटा है कि यह मूल विन्यास को विक्षुब्ध नहीं करता, यानी मूल बिंदु पर स्थित आवेश Q को विक्षुब्ध नहीं करता (अन्यथा हम किसी अनिर्दिष्ट बल द्वारा आवेश Q को मूल बिंदु पर दृढ़ करें)। दूसरी, आवेश q को R से P तक लाने के लिए हम एक बाह्य बल $\mathbf{F}_{ext}$ आरोपित करते हैं जो प्रतिकर्षी वैद्युत बल $\mathbf{F}_E$ (अर्थात $\mathbf{F}_{ext} = -\mathbf{F}_E$) को यथातथ्य प्रभावहीन कर देता है। इसका अर्थ यह हुआ कि जब आवेश q को R से P तक लाते हैं तो उस पर कोई नेट बल अथवा त्वरण कार्य नहीं करता–इसे अत्यंत धीमी नियत चाल से लाया जाता है। इस स्थिति में, बाह्य बल द्वारा आवेश पर किया गया कार्य वैद्युत बल द्वारा किए गए कार्य का ऋणात्मक होता है, तथा पूर्णतः आवेश q की स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। यदि P पर पहुँच कर बाह्य बल को हटा दिया जाए तो वैद्युत बल आवेश q को Q से दूर भेज देगा – P पर संचित ऊर्जा (स्थितिज ऊर्जा) आवेश q को गतिज ऊर्जा प्रदान करने में खर्च हो जाती है तथा यह इस ढंग से होता है कि गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा का योग संरक्षित रहता है।

इस प्रकार बाह्य बल द्वारा किसी आवेश q को बिंदु R से P तक ले जाने में किया गया कार्य

$$W_{RP} = \int_R^P \mathbf{F}_{ext} \cdot d\mathbf{r}$$

$$= -\int_R^P \mathbf{F}_E \cdot d\mathbf{r} \qquad (2.1)$$

यह कार्य स्थिरवैद्युत प्रतिकर्षी बल के विरुद्ध किया गया है, तथा यह स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है।

विद्युत क्षेत्र के प्रत्येक बिंदु पर q आवेश के, किसी कण में एक निश्चित स्थिरवैद्युत स्थितिज ऊर्जा होती है तथा कण पर किया गया यह कार्य इसकी स्थितिज ऊर्जा में इतनी वृद्धि कर देता है जो R तथा P बिंदुओं के बीच स्थितिज ऊर्जा के अंतर के बराबर है।

इस प्रकार, स्थितिज ऊर्जा अंतर

$$\Delta U = U_P - U_R = W_{RP} \qquad (2.2)$$

(ध्यान दीजिए, यहाँ पर यह विस्थापन विद्युत बल के विपरीत है, इसलिए विद्युत क्षेत्र द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक है, अर्थात $-W_{RP}$)

अतः, दो बिंदुओं के बीच स्थिरवैद्युत स्थितिज ऊर्जा अंतर को हम इस प्रकार परिभाषित करते हैं – किसी यादृच्छिक आवेश विन्यास के विद्युत बल क्षेत्र में यह अंतर आवेश q को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक (बिना त्वरित किए) ले जाने के लिए आवश्यक बाह्य बल द्वारा किए जाने वाले न्यूनतम कार्य के बराबर होता है।

इस घटनाक्रम में दो महत्वपूर्ण टिप्पणियाँ की जा सकती हैं–

(i) समीकरण (2.2) का दायाँ पक्ष केवल आवेश की आरंभिक तथा अंतिम स्थितियों पर निर्भर करता है। इसका अर्थ यह है कि किसी स्थिरवैद्युत क्षेत्र द्वारा किसी आवेश को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक ले जाने में किया गया कार्य केवल आरंभिक तथा अंतिम स्थितियों (बिंदुओं) पर निर्भर करता है, उस पथ पर निर्भर नहीं करता जिससे होकर वह आवेश एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक जाता है (चित्र 2.2)। यह किसी संरक्षी बल का मूल अभिलक्षण है। स्थितिज ऊर्जा की धारणा अर्थपूर्ण नहीं रहेगी, यदि किया गया कार्य पथ पर निर्भर हो जाएगा। किसी स्थिरवैद्युत क्षेत्र द्वारा किए गए कार्य का पथ पर निर्भर न होना कूलॉम के नियम द्वारा सिद्ध किया जा सकता है। इसकी उपपत्ति हम यहाँ छोड़ रहे हैं।

© NCERT not to be republished

(ii) समीकरण (2.2) *स्थितिज ऊर्जा अंतर* की परिभाषा भौतिकी के नियमों के अनुसार अर्थपूर्ण राशि *कार्य* के पदों में करती है। स्पष्टत:, इस प्रकार परिभाषित स्थितिज ऊर्जा किसी योज्यता स्थिरांक के अंतर्गत अनिश्चित होती है। इसका यह अर्थ है कि स्थितिज ऊर्जा का वास्तविक मान भौतिक रूप से महत्वपूर्ण नहीं होता; केवल स्थितिज ऊर्जा के अंतर का ही महत्त्व होता है। हम सदैव ही कोई यादृच्छिक स्थिरांक α हर बिंदु पर स्थितिज ऊर्जा के साथ जोड़ सकते हैं, क्योंकि इससे स्थितिज ऊर्जा अंतर के मान में कोई परिवर्तन नहीं होगा :

$$(U_P + \alpha) - (U_R + \alpha) = U_P - U_R$$

इसे इस प्रकार से भी व्यक्त कर सकते हैं : स्थितिज ऊर्जा को किस बिंदु पर शून्य मानें, इस बिंदु के चयन की स्वतंत्रता होती है। एक सुविधाजनक चयन यह है कि हम अनंत पर स्थिरवैद्युत स्थितिज ऊर्जा को शून्य मानें। इस चयन के अनुसार यदि हम बिंदु R को अनंत पर लें, तब समीकरण (2.2) से हमें प्राप्त होता है :

$$W_{\infty P} = U_P - U_\infty = U_P \qquad (2.3)$$

चूँकि यहाँ पर बिंदु P यादृच्छिक है, समीकरण (2.3) से हमें किसी बिंदु पर आवेश q की स्थितिज ऊर्जा की परिभाषा प्राप्त होती है – *किसी बिंदु पर आवेश q की स्थितिज ऊर्जा (किसी आवेश विन्यास के कारण क्षेत्र की उपस्थिति में) बाह्य बल (वैद्युत बल के समान तथा विपरीत) द्वारा आवेश q को अनंत से उस बिंदु तक ले जाने में किए गए कार्य के बराबर होती है।*

2.2 स्थिरवैद्युत विभव

किसी व्यापक स्थिर आवेश विन्यास पर विचार कीजिए। हमने किसी परीक्षण आवेश q पर स्थितिज ऊर्जा को किए गए कार्य के पदों में परिभाषित किया था। यह कार्य स्पष्ट रूप से q के अनुक्रमानुपाती है, चूँकि आवेश q पर किसी भी बिंदु पर $q\mathbf{E}$ बल कार्य करता है, यहाँ $\mathbf{E}$ आवेश विन्यास के कारण उस बिंदु पर विद्युत क्षेत्र है। अत: किए गए कार्य को आवेश q से विभाजित करना सुविधाजनक होता है, क्योंकि परिणामस्वरूप जो राशि प्राप्त होती है वह q पर निर्भर नहीं करती। दूसरे शब्दों में, प्रति एकांक आवेश पर किया गया कार्य आवेश विन्यास से संबद्ध विद्युत क्षेत्र का अभिलाक्षणिक गुण होता है। इससे हमें दिए गए आवेश विन्यास के कारण स्थिरवैद्युत विभव V की धारणा प्राप्त होती है। समीकरण (2.1) से हमें प्राप्त होता है–

बाह्य बल द्वारा किसी एकांक धनावेश को बिंदु R से P तक लाने में किया गया कार्य

$$= V_P - V_R = \frac{U_P - U_R}{q} \qquad (2.4)$$

यहाँ V_P तथा V_R क्रमश: बिंदु P तथा R के स्थिरवैद्युत विभव हैं। ध्यान दीजिए, यहाँ भी पहले की भाँति विभव का वास्तविक मान उतना महत्वपूर्ण नहीं होता जितना कि भौतिक नियमों के अनुसार विभवांतर महत्वपूर्ण होता है। यदि पहले की भाँति, हम अनंत पर विभव को शून्य चुनें (मानें), तब समीकरण (2.4) से यह उपलक्षित होता है कि–

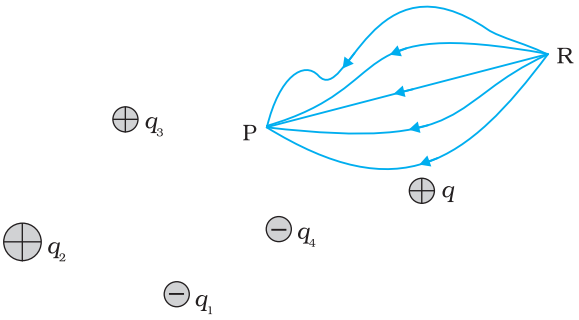
बाह्य बल द्वारा किसी एकांक धनावेश को अनंत से किसी बिंदु तक लाने में किया गया कार्य = उस बिंदु पर स्थिरवैद्युत विभव (V)



कॉन्ते एलेस्सैंद्रो वोल्टा

(1745 – 1827) इटालियन भौतिकीविद, पविया में प्रोफ़ेसर थे। वोल्टा ने यह स्थापित किया कि लुइगी गैल्वनी 1737–1798, द्वारा, दो असमान धातुओं के संपर्क में लटके मेंढक के मांसपेशीय ऊतकों में देखी गई 'जैव विद्युत' जैव ऊतकों का कोई विशिष्ट गुण नहीं है, बल्कि, तब भी उत्पन्न हो जाती है जब कोई गीली वस्तु दो असमान धातुओं के बीच रखी जाती है। इससे उन्होंने प्रथम, *वोल्टीय पुंज* या बैटरी का विकास किया जिसमें धातु की चकतियों (विद्युदाग्रों) के बीच गत्ते की नम चकतियाँ (विद्युत अपघट्य) रखकर एक बड़ा पुंज बनाया था।

© NCERT not to be republished



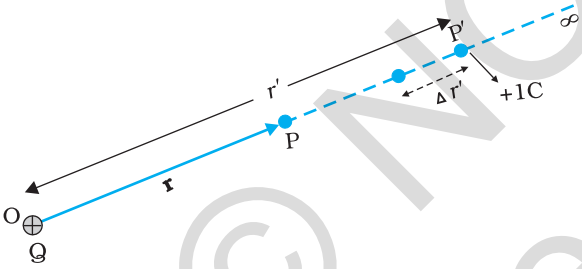
चित्र 2.2 किसी आवेश विन्यास के कारण स्थिरवैद्युत क्षेत्र द्वारा परीक्षण आवेश q पर किया गया कार्य पथ पर निर्भर नहीं करता, यह केवल अंतिम तथा आरंभिक स्थितियों पर निर्भर करता है।

दूसरे शब्दों में, स्थिरवैद्युत क्षेत्र के प्रदेश के किसी बिंदु पर स्थिरवैद्युत विभव (V) वह न्यूनतम कार्य है जो किसी एकांक धनावेश को अनंत से उस बिंदु तक लाने में किया जाता है।

स्थितिज ऊर्जा के विषय में पहले की गई विशेष टिप्पणी विभव की परिभाषा पर भी लागू होती है। प्रति एकांक परीक्षण आवेश पर किया गया कार्य ज्ञात करने के लिए हमें अत्यल्प परीक्षण आवेश δq लेना होता है, इसे अनंत से उस बिंदु तक लाने में किया गया कार्य δW ज्ञात करके $\delta W/\delta q$ अनुपात का मान निर्धारित करना होता है। साथ ही पथ के प्रत्येक बिंदु पर बाह्य बल उस बिंदु पर परीक्षण आवेश पर लगने वाले स्थिरवैद्युत बल के बराबर तथा विपरीत होना चाहिए।

2.3 बिंदु आवेश के कारण विभव

मूल बिंदु पर स्थित किसी बिंदु आवेश Q पर विचार कीजिए (चित्र 2.3)। सुस्पष्टता की दृष्टि से Q को धनात्मक लीजिए। हम बिंदु P पर मूल बिंदु से स्थिति सदिश $\mathbf{r}$ के साथ विभव निर्धारित करना चाहते हैं। इसके लिए हमें एकांक धनावेश को अनंत से उस बिंदु तक लाने में किया गया कार्य परिकलित करना चाहिए। $Q > 0$ के लिए, परीक्षण आवेश पर प्रतिकर्षण बल के विरुद्ध किया गया कार्य धनात्मक होता है। चूँकि किया गया कार्य पथ पर निर्भर नहीं करता, हम अनंत से बिंदु P तक अरीय दिशा के अनुदिश कोई सुगम पथ का चयन करते हैं।



चित्र 2.3 आवेश Q के कारण बिंदु P पर विभव, किसी एकांक धनात्मक परीक्षण आवेश को, आवेश Q $(Q > 0)$ के कारण प्रतिकर्षण बल के विरुद्ध, अनंत से बिंदु P तक लाने में किए गए कार्य के बराबर होता है।

पथ के किसी मध्यवर्ती बिंदु P′ पर, किसी एकांक धनावेश पर स्थिरवैद्युत बल

$$\frac{Q \times 1}{4\pi\varepsilon_o r'^2}\hat{\mathbf{r}}' \qquad (2.5)$$

यहाँ $\hat{\mathbf{r}}'$, OP′ के अनुदिश कोई एकांक सदिश है। इस बल के विरुद्ध r' से $r' + \Delta r'$ तक एकांक धनावेश को ले जाने में किया गया कार्य–

$$\Delta W = -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_o r'^2}\Delta r' \qquad (2.6)$$

यहाँ ऋणात्मक चिह्न यह दर्शाता है कि $\Delta r' < 0$, तथा ΔW धनात्मक है। समीकरण (2.6) को $r' = \infty$ से $r' = r$ तक समाकलित करने पर बाह्य बल द्वारा किया गया कुल कार्य (W) प्राप्त होगा।

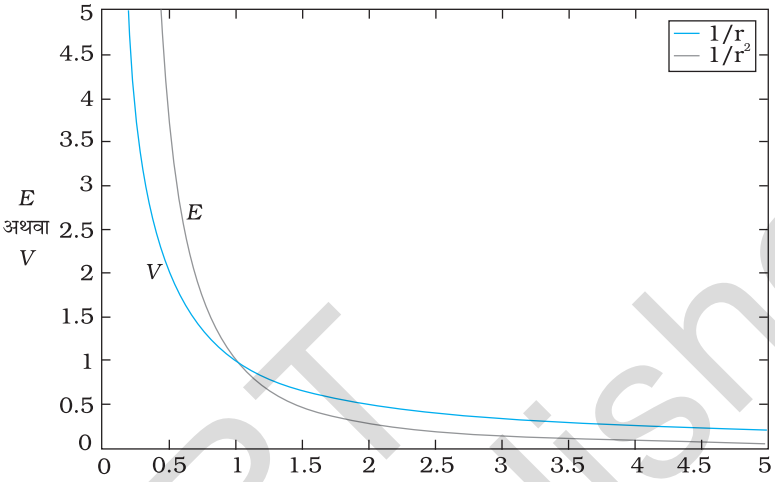
$$W = -\int_{\infty}^{r}\frac{Q}{4\pi\varepsilon_o r'^2}dr' = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_o r'}\Big|_{\infty}^{r} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_o r} \qquad (2.7)$$

परिभाषा के अनुसार यह आवेश Q के कारण P पर विभव है अत:

$$V(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_o r} \qquad (2.8)$$

© NCERT not to be republished

समीकरण (2.8) आवेश Q के किसी भी चिह्न के लिए सत्य है यद्यपि हमने इस संबंध की व्युत्पत्ति के समय $Q > 0$ माना था। $Q < 0$, $V < 0$ के लिए, अर्थात् अनंत से उस बिंदु तक एकांक परीक्षण धनावेश को लाने के लिए किया गया कार्य (बाह्य बल द्वारा) ऋणात्मक है। यह इस कथन के तुल्य है कि एकांक धनावेश को अनंत से बिंदु P तक लाने में स्थिरवैद्युत बल द्वारा किया गया कार्य धनात्मक है [यह ऐसा ही है जैसा कि होना चाहिए, चूँकि $Q < 0$ के लिए, एकांक धनावेश पर बल आकर्षी है, अतः स्थिरवैद्युत बल तथा विस्थापन (अनंत से P तक) दोनों एक ही दिशा में हैं]। अंत में यदि हम समीकरण (2.8) पर ध्यान दें, तो पाते हैं कि यह समीकरण हमारे उस चयन से मेल खाता है जिसमें हमने अनंत पर विभव को शून्य माना था।



चित्र 2.4 किसी बिंदु आवेश Q के लिए दूरी r में परिवर्तन के साथ विभव में परिवर्तन $(Q/4\pi\varepsilon_0)$ m^{-1} के मात्रकों में (नीला वक्र) तथा दूरी r में परिवर्तन के साथ विद्युत क्षेत्र में परिवर्तन $(Q/4\pi\varepsilon_0)$ m^{-2} काला वक्र।

चित्र (2.4) में यह दर्शाया गया है कि किस प्रकार स्थिरवैद्युत विभव ($\propto 1/r$) तथा स्थिरवैद्युत क्षेत्र ($1/r^2$) दूरी r के साथ परिवर्तित होते हैं।

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r} = 9\times10^9\ \text{Nm}^2\ \text{C}^{-2} \times \frac{4\times10^{-7}\text{C}}{0.09\,\text{m}}$$

उदाहरण 2.1

(a) आवेश 4×10^{-7}C के कारण इससे 9 cm दूरी पर स्थित किसी बिंदु P पर विभव परिकलित कीजिए।

(b) अब, आवेश 2×10^{-9} C को अनंत से बिंदु P तक लाने में किया गया कार्य ज्ञात कीजिए। क्या उत्तर जिस पथ के अनुदिश आवेश को लाया गया है उस पर निर्भर करता है?

हल

(a)

$$= 4 \times 10^4\ \text{V}$$

(b) $W = qV = 2\times10^{-9}\text{C}\times4\times10^4\text{V}$

$$= 8 \times 10^{-5}\ \text{J}$$

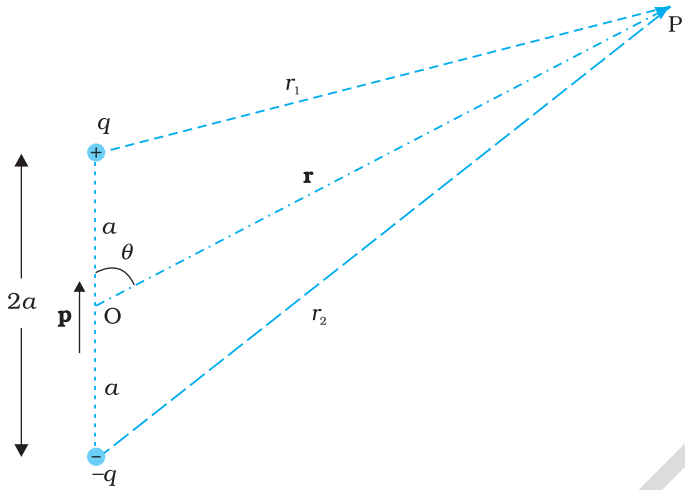
नहीं, कार्य पथ पर निर्भर नहीं होगा। कोई भी यादृच्छिक अत्यल्प पथ दो लंबवत विस्थापनों में वियोजित किया जा सकता है : एक **r** के अनुदिश तथा दूसरा **r** के लंबवत। बाद के प्रकरण के तदनुरूपी किया गया कार्य शून्य होगा।

उदाहरण 2.1

2.4 वैद्युत द्विध्रुव के कारण विभव

जैसा कि हम पिछले अध्याय में जान ही चुके हैं कि वैद्युत द्विध्रुव दो बिंदु आवेशों q तथा $-q$ से मिलकर बनता है तथा इन आवेशों के बीच (लघु) पृथकन $2a$ होता है। इसका कुल आवेश शून्य होता है तथा यह द्विध्रुव सदिश **p** जिसका परिमाण $q\times2a$ तथा दिशा $-q$ से q के अनुदिश होती है, के अभिलाक्षणिक गुण द्वारा प्रकट किया जाता है (चित्र 2.5)। हमने यह भी देखा कि किसी बिंदु पर वैद्युत द्विध्रुव का स्थिति सदिश **r** सहित विद्युत क्षेत्र मात्र r के परिमाण पर ही निर्भर नहीं

© NCERT not to be republished



चित्र 2.5 द्विध्रुव के कारण विभव के परिकलन में सम्मिलित राशियाँ।

करता वरन् **r** तथा **p** के बीच के कोण पर भी निर्भर करता है। साथ ही, वैद्युत क्षेत्र की तीव्रता, अधिक दूरियों पर, $1/r^2$ के अनुसार नहीं घटती (जो एकल आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र के लिए प्ररूपी है) वरन् $1/r^3$ के अनुसार घटती है। यहाँ हम किसी द्विध्रुव के कारण वैद्युत विभव का निर्धारण करेंगे तथा इसकी तुलना एक आवेश के कारण विभव से करेंगे।

पहले की ही भांति, हम द्विध्रुव के केंद्र को मूल बिंदु पर रखते हैं। अब हम यह जानते हैं कि विद्युत क्षेत्र अध्यारोपण सिद्धांत का पालन करते हैं। चूँकि विभव विद्युत क्षेत्र द्वारा किए गए कार्य से संबंधित है, स्थिरवैद्युत विभव भी अध्यारोपण सिद्धांत का पालन करता है। इस प्रकार किसी वैद्युत द्विध्रुव के कारण विभव आवेशों q तथा $-q$ के कारण विभवों का योग होता है।

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2}\right) \tag{2.9}$$

यहाँ r_1 तथा r_2 बिंदु P की क्रमशः q तथा $-q$ से दूरियाँ हैं। अब, ज्यामिति द्वारा

$$r_1^2 = r^2 + a^2 - 2ar\cos\theta$$

$$r_2^2 = r^2 + a^2 + 2ar\cos\theta \tag{2.10}$$

हम r को a की तुलना में अत्यधिक बड़ा ($r >> a$) मानते हैं तथा केवल a/r के प्रथम कोटि के पदों को ही सम्मिलित करते हैं :

$$r_1^2 = r^2\left(1 - \frac{2a\cos\theta}{r} + \frac{a^2}{r^2}\right)$$

$$\cong r^2\left(1 - \frac{2a\cos\theta}{r}\right) \tag{2.11}$$

इसी प्रकार,

$$r_2^2 \cong r^2\left(1 + \frac{2a\cos\theta}{r}\right) \tag{2.12}$$

द्विपद समीकरण का उपयोग करके a/r के प्रथम कोटि के पदों को सम्मिलित करने पर

$$\frac{1}{r_1} \cong \frac{1}{r}\left(1 - \frac{2a\cos\theta}{r}\right)^{-1/2} \cong \frac{1}{r}\left(1 + \frac{a}{r}\cos\theta\right) \tag{2.13(a)}$$

$$\frac{1}{r_2} \cong \frac{1}{r}\left(1 + \frac{2a\cos\theta}{r}\right)^{-1/2} \cong \frac{1}{r}\left(1 - \frac{a}{r}\cos\theta\right) \tag{2.13(b)}$$

समीकरणों (2.9) तथा (2.13) तथा $p = 2qa$ का उपयोग करने पर,

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{2a\cos\theta}{r^2} = \frac{p\cos\theta}{4\pi\varepsilon_o r^2} \tag{2.14}$$

अब, $p\cos\theta =$

© NCERT not to be republished

यहाँ $\hat{\mathbf{r}}$ स्थिति सदिश **OP** के अनुदिश एकांक सदिश है।

तब किसी द्विध्रुव का वैद्युत विभव

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{\mathbf{p}\cdot\hat{\mathbf{r}}}{r^2}; \qquad (r >> a) \qquad (2.15)$$

जैसा कि संकेत दिया गया है, समीकरण (2.15) केवल उन दूरियों के लिए जो द्विध्रुव के आकार की तुलना में अत्यधिक बड़ी हैं, जिसके कारण a/r के उच्च कोटि के पदों की नगण्य मानकर उपेक्षा कर दी गई है, ही सन्निकटतः सत्य है। परंतु, किसी बिंदु द्विध्रुव **p** के लिए मूल बिंदु पर समीकरण (2.15) यथार्थ है।

समीकरण (2.15) से, द्विध्रुव अक्ष ($\theta = 0, \pi$) पर विभव

$$V = \pm\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{p}{r^2} \qquad (2.16)$$

(धनात्मक चिह्न $\theta = 0$ के लिए तथा ऋणात्मक चिह्न $\theta = \pi$ के लिए है)। निरक्षीय (विषुवत) समतल ($\theta = \pi/2$) में विभव शून्य है।

किसी द्विध्रुव के वैद्युत विभव तथा एकल आवेश के वैद्युत विभव के तुलनात्मक महत्वपूर्ण लक्षण समीकरणों (2.8) तथा (2.15) से स्पष्ट हैं :

(i) किसी वैद्युत द्विध्रुव के कारण विभव केवल दूरी r पर ही निर्भर नहीं करता, वरन् स्थिति सदिश **r** तथा द्विध्रुव आघूर्ण **p** के बीच के कोण पर भी निर्भर करता है। (तथापि यह **p** के परितः अक्षतः सममित होता है। अतः यदि आप **p** के परितः स्थिति सदिश **r** को, कोण θ को नियत रखते हुए, घूर्णन कराएँ, तो बिंदु P के सदृश घूर्णन के फलस्वरूप बने शंकु पर बिंदुओं पर वही विभव होगा जो बिंदु P पर है।)

(ii) अधिक दूरियों पर वैद्युत द्विध्रुव के कारण विभव $1/r^2$ के अनुपात में घटता है, न कि $1/r$ के अनुपात में, जो कि एकल आवेश के कारण विभव का एक अभिलाक्षणिक गुण है। (इसके लिए आप चित्र 2.4 में दर्शाए r व $1/r^2$ तथा $1/r$ व r के बीच वक्रों का उल्लेख कर सकते हैं जिन्हें किसी अन्य संदर्भ में खींचा गया है)।

2.5 आवेशों के निकाय के कारण विभव

किसी आवेशों $q_1, q_2, \ldots, q_n$ के ऐसे निकाय पर विचार कीजिए जिनके किसी मूल बिंदु के सापेक्ष स्थिति सदिश क्रमशः $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \ldots, \mathbf{r}_n$ हैं (चित्र 2.6)। बिंदु P पर आवेश q_1 के कारण विभव

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1}{r_{1P}}$$

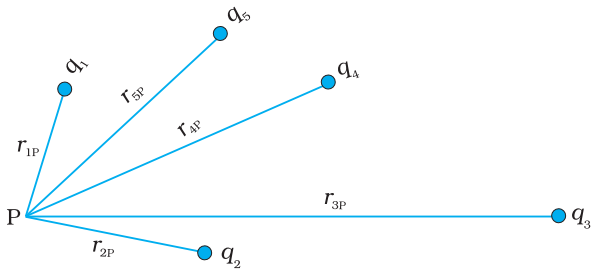
यहाँ r_{1P} बिंदु P तथा आवेश q_1 के बीच की दूरी है।

इसी प्रकार बिंदु P पर आवेश q_2 के कारण विभव V_2 तथा आवेश q_3 के कारण विभव V_3 को भी व्यक्त कर सकते हैं

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_2}{r_{2P}}, \quad V_3 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_3}{r_{3P}}$$

यहाँ r_{2P} तथा r_{3P} बिंदु P की क्रमशः q_2 तथा q_3 से दूरियाँ हैं। इसी प्रकार हम अन्य आवेशों के कारण बिंदु P पर विभव व्यक्त कर सकते हैं। अध्यारोपण सिद्धांत के अनुसार, समस्त आवेश विन्यास के कारण बिंदु P पर विभव V, विन्यास के व्यष्टिगत आवेशों के विभवों के बीजगणितीय योग के बराबर होता है :

$$V = V_1 + V_2 + \ldots + V_n \qquad (2.17)$$



चित्र 2.6 किसी बिंदु पर आवेशों के निकाय के कारण विभव उस बिंदु पर व्यष्टिगत आवेशों के कारण विभवों के योग के बराबर होता है।

© NCERT not to be republished

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{q_1}{r_{1P}} + \frac{q_2}{r_{2P}} + \ldots\ldots + \frac{q_n}{r_{nP}}\right) \qquad (2.18)$$

यदि हमारे पास आवेश घनत्व ρ के अभिलाक्षणिक गुण का कोई संतत आवेश वितरण है तो पहले की भाँति उसे हम Δv साइज़ के $\rho\Delta v$ आवेशयुक्त लघु आयतन अवयवों में विभाजित कर सकते हैं। तब हम प्रत्येक आयतन अवयव के कारण विभव निर्धारित करके और समस्त योगदानों का योग करके (सही शब्दों में, समाकलित करके) समस्त आवेश वितरण के कारण विभव ज्ञात कर सकते हैं।

अध्याय 1 में हम अध्ययन कर चुके हैं कि किसी एकसमान आवेशित गोलीय खोल के कारण किसी बाहर स्थित बिंदु के लिए विद्युत क्षेत्र इस प्रकार होता है, मानो खोल का समस्त आवेश उसके केंद्र पर संकेंद्रित हो। अतः खोल के बाहर स्थित किसी बिंदु पर आवेशित कोश के कारण विभव

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r} \quad (r \geq R) \qquad [2.19(a)]$$

यहाँ q गोलीय खोल पर समस्त आवेश तथा R गोलीय कोश की त्रिज्या है। कोश के भीतर विद्युत क्षेत्र शून्य होता है। इससे यह ध्वनित होता है (देखिए अनुभाग 2.6) कि खोल के भीतर विभव नियत रहता है (क्योंकि खोल के भीतर आवेश को गति कराने से कोई कार्य नहीं होता), और, इसीलिए यह खोल के पृष्ठ के विभव के समान होता है।

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{R} \qquad [2.19(b)]$$

उदाहरण 2.2

उदाहरण 2.2 3×10^{-8}C तथा -2×10^{-8}C के दो आवेश एक-दूसरे से 15 cm दूरी पर रखे हैं। इन दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा के किस बिंदु पर वैद्युत विभव शून्य है? अनंत पर वैद्युत विभव शून्य लीजिए।

हल मान लीजिए धनावेश मूल बिंदु O पर रखा है। दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा x-अक्ष है; तथा ऋणावेश मूल बिंदु के दाईं ओर रखा है (चित्र 2.7 देखिए)।



चित्र 2.7

मान लीजिए x-अक्ष पर वह वांछित बिंदु P है जहाँ वैद्युत विभव शून्य है। यदि बिंदु P का x-निर्देशांक x है, तो स्पष्ट रूप से x धनात्मक होना चाहिए। ($x < 0$ के लिए यह संभव नहीं हो सकता कि दो आवेशों के कारण वैद्युत विभव जुड़कर शून्य हो जाए।) यदि x मूल बिंदु O तथा A के बीच कहीं स्थित है, तो

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{3\times10^{-8}}{x\times10^{-2}} - \frac{2\times10^{-8}}{(15-x)\times10^{-2}}\right) = 0$$

यहाँ x को cm में लिया गया है। अर्थात

$$\frac{3}{x} - \frac{2}{15-x} = 0$$

अथवा x = 9 cm

यदि बिंदु x विस्तारित रेखा OA पर है, तो वांछित शर्त के अनुसार

$$\frac{3}{x} - \frac{2}{x-15} = 0$$

© NCERT not to be republished

उदाहरण 2.2

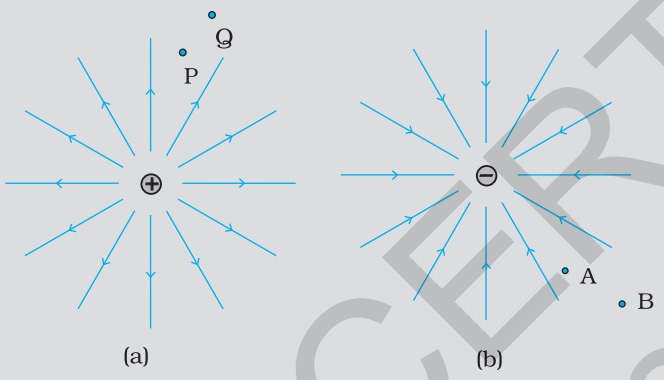
अथवा

$x = 45$ cm

इस प्रकार, धनावेश से 9 cm तथा 45 cm दूर ऋणावेश की ओर वैद्युत विभव शून्य है। ध्यान दीजिए, यहाँ परिकलनों के लिए वांछित सूत्र को अनंत पर वैद्युत विभव शून्य मानकर ही व्युत्पन्न किया गया था।

उदाहरण 2.3

उदाहरण 2.3 (a) तथा (b) में क्रमशः एकल धन तथा ऋण आवेशों की क्षेत्र रेखाएँ दर्शायी गई हैं



चित्र 2.8

(a) विभवांतर $V_P - V_Q$; $V_B - V_A$ के चिह्न बताइए।

(b) बिंदु Q और P; A और B के बीच एक छोटे से ऋण आवेश की स्थितिज ऊर्जा के अंतर का चिह्न बताइए।

(c) Q से P तक एक छोटे धनावेश को ले जाने में क्षेत्र द्वारा किए गए कार्य का चिह्न बताइए।

(d) B से A तक एक छोटे से ऋण आवेश को ले जाने के लिए बाह्य साधन द्वारा किए गए कार्य का चिह्न बताइए।

(e) B से A तक जाने में क्या एक छोटे से ऋणावेश की गतिज ऊर्जा बढ़ेगी या घटेगी?

हल

(a) चूँकि $V \propto \frac{1}{r}$, $V_P > V_Q$; इस प्रकार, $(V_P - V_Q)$ धनात्मक है। तथा V_A से V_B कम ऋणात्मक है। इसलिए, $V_B > V_A$ अथवा $(V_B - V_A)$ धनात्मक है।

(b) कोई लघु ऋणावेश धनावेश की ओर आकर्षित होगा। ऋणावेश स्थितिज उच्च ऊर्जा से निम्न स्थितिज ऊर्जा की ओर गति करते हैं। अतः Q और P के बीच किसी लघु ऋणावेश की स्थितिज ऊर्जा के अंतर का चिह्न धनात्मक है।

इसी प्रकार, $(\text{स्थितिज ऊर्जा})_A > (\text{स्थितिज ऊर्जा})_B$ है। अतः स्थितिज ऊर्जा अंतर का चिह्न धनात्मक है।

(c) किसी लघु धनावेश को Q से P तक ले जाने में बाह्य एजेंसी को विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध कार्य करना होता है। अतः, विद्युत क्षेत्र द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक है।

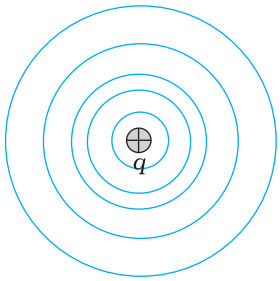
(d) किसी लघु ऋणावेश को B से A तक ले जाने में बाह्य एजेंसी को कार्य करना होता है जो धनात्मक है।

(e) ऋणावेश पर प्रतिकर्षी बल लगने के कारण वेग घटता है अतः B से A तक जाने में गतिज ऊर्जा घट जाती है।

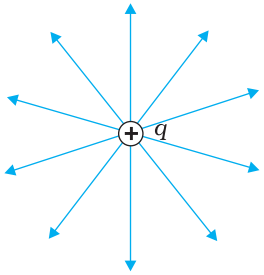
उदाहरण 2.3

भौतिकी
वैद्युत विभव, समविभव पृष्ठ
http://video.mit.edu/watch/4-electrostatic-potential-electric-energy-ev-conservative-field-equipotential-surfaces-12584/

© NCERT not to be republished



(a)



(b)

चित्र 2.9 किसी एकल आवेश q के लिए (a) समविभव पृष्ठ संकेंद्री गोलीय पृष्ठ होते हैं जिनके केंद्र पर आवेश स्थित होता है, तथा (b) यदि $q > 0$ है, तो क्षेत्र रेखाएँ आवेश से आरंभ होने वाली अरीय रेखाएँ होती हैं।

2.6 समविभव पृष्ठ

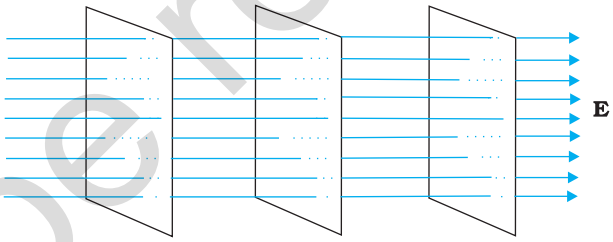
कोई समविभव पृष्ठ ऐसा पृष्ठ होता है जिसके पृष्ठ के हर बिंदु पर विभव नियत रहता है। किसी एकल आवेश q के लिए, समीकरण (2.8) द्वारा वैद्युत विभव–

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

इससे यह प्रकट होता है कि यदि r नियत है तो V नियत रहता है। इस प्रकार किसी एकल आवेश के लिए समविभव पृष्ठ संकेंद्री गोले होते हैं जिनके केंद्र पर वह आवेश स्थित होता है।

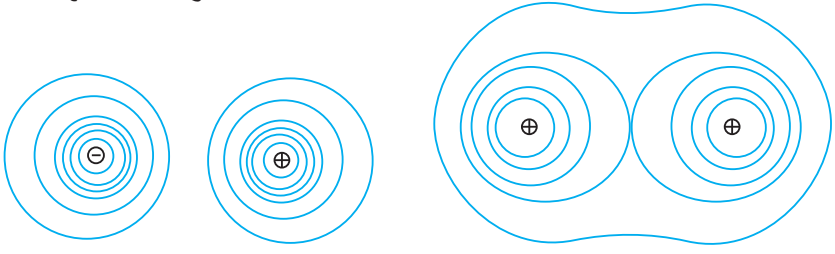
अब किसी एकल आवेश q के लिए विद्युत क्षेत्र रेखाएँ आवेश से आरंभ होने वाली अथवा उस आवेश पर समाप्त होने वाली (यह निर्भर करता है कि आवेश q धनात्मक है अथवा ऋणात्मक) अरीय रेखाएँ होती हैं। स्पष्ट है, किसी समविभव पृष्ठ के किसी भी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र सदैव ही उस बिंदु पर अभिलंबवत होता है। यह व्यापक रूप से सत्य है : *किसी भी आवेश विन्यास के लिए किसी भी बिंदु से गुजरने वाला समविभव पृष्ठ उस बिंदु पर विद्युत क्षेत्र के अभिलंबवत होता है।* इस प्रकथन की व्युत्पत्ति सरल है।

यदि विद्युत क्षेत्र समविभव पृष्ठ के अभिलंबवत नहीं है; तो इस क्षेत्र का पृष्ठ के अनुदिश कोई शून्येतर घटक होगा। किसी एकांक परीक्षण आवेश का क्षेत्र के इस घटक की विरुद्ध दिशा में गति कराने के लिए कुछ कार्य करना आवश्यक होगा। परंतु यह किसी समविभव पृष्ठ की परिभाषा के विरुद्ध है : समविभव पृष्ठ के किन्हीं भी दो बिंदुओं के बीच कोई विभवांतर नहीं होता, तथा इस पृष्ठ पर किसी परीक्षण आवेश को गति कराने के लिए कोई कार्य करना आवश्यक नहीं होता। अतः किसी समविभव पृष्ठ के सभी बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र पृष्ठ के अभिलंबवत होता है। समविभव पृष्ठ किसी आवेश विन्यास के चारों ओर की विद्युत क्षेत्र रेखाओं के दृश्यों के वैकल्पिक दृश्य प्रस्तुत करते हैं।



चित्र 2.10 किसी एकसमान विद्युत क्षेत्र के लिए समविभव पृष्ठ।

किसी अक्ष के अनुदिश, मान लीजिए x-अक्ष के अनुदिश किसी एकसमान विद्युत क्षेत्र **E** के लिए, समविभव पृष्ठ x-अक्ष के अभिलंबवत, अर्थात y-z तल के समांतर तल होते हैं (चित्र 2.10)। चित्र 2.11 में (a) किसी वैद्युत द्विध्रुव तथा (b) में दो सर्वसम धनावेशों के कारण समविभव पृष्ठ तथा वैद्युत रेखाएँ दर्शाई गई हैं।



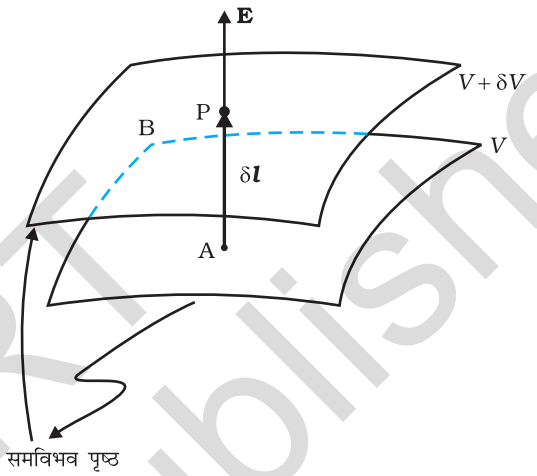
(a) (b)

चित्र 2.11(a) किसी वैद्युत द्विध्रुव तथा **(b)** दो सर्वसम धनावेशों के क्षेत्र के लिए कुछ समविभव पृष्ठ।

© NCERT not to be republished

2.6.1 विद्युत क्षेत्र तथा वैद्युत विभव में संबंध

एक-दूसरे के पास रखे दो समविभव पृष्ठों A तथा B (चित्र 2.12) जिनके विभवों के मान क्रमशः V तथा $V+\delta V$ हैं, यहाँ δV विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ की दिशा में V में परिवर्तन है। मान लीजिए पृष्ठ B पर कोई बिंदु P है। मान लीजिए पृष्ठ A की बिंदु P से लंबवत दूरी δl है। यह भी मानिए कि विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध कोई एकांक धनावेश इस लंब के अनुदिश पृष्ठ B से पृष्ठ A पर ले जाया जाता है। इस प्रक्रिया में किया गया कार्य $|\mathbf{E}|\,\delta l$ है।



चित्र 2.12 विभव से क्षेत्र पर।

यह कार्य विभवांतर $V_A - V_B$ के बराबर है।

इस प्रकार

$$|\mathbf{E}|\,\delta l = V-(V+\delta V)= -\delta V$$

अर्थात $|\mathbf{E}| =$ $\frac{\delta V}{\delta l}$ (2.20)

स्पष्ट है कि δV ऋणात्मक है, $\delta V = -|\delta V|$। हम समीकरण (2.20) को दुबारा इस प्रकार लिख सकते हैं :

$$|\mathbf{E}| = -\frac{\delta V}{\delta l} = +\frac{|\delta V|}{\delta l} \qquad (2.21)$$

इस प्रकार हम विद्युत क्षेत्र तथा वैद्युत विभव से संबंधित दो महत्वपूर्ण निष्कर्षों पर पहुँचते हैं –

(i) *विद्युत क्षेत्र उस दिशा में होता है जहाँ विभव में सर्वाधिक ह्रास होता है।*

(ii) *किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण, उस बिंदु पर समविभव पृष्ठ के अभिलंबवत विभव के परिमाण में प्रति एकांक विस्थापन परिवर्तन द्वारा व्यक्त किया जाता है।*

2.7 आवेशों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा

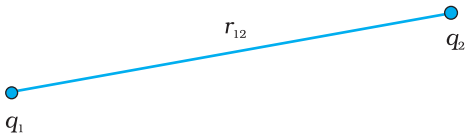
पहले हम एक सरल प्रकरण पर विचार करते हैं जिसमें किसी मूल बिंदु के सापेक्ष $\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ स्थिति सदिशों वाले दो आवेश q_1 तथा q_2 हैं। आइए इस विन्यास के निर्माण में किए गए कार्य (बाह्य) का परिकलन करें। इसका अर्थ यह है कि पहले आरंभ में हम दोनों आवेशों q_1 तथा q_2 को अनंत पर मानें तथा बाद में बाह्य एजेंसी द्वारा उन्हें इनकी वर्तमान स्थितियों तक लाने में किए गए कार्य का परिकलन करें। मान लीजिए, हम पहले आवेश q_1 को अनंत से बिंदु $\mathbf{r}_1$ तक लाते हैं। चूँकि इस स्थिति में कोई बाह्य क्षेत्र नहीं है, जिसके विरुद्ध कार्य करने की आवश्यकता पड़े, अतः q_1 को अनंत से $\mathbf{r}_1$ तक लाने में किया गया कार्य शून्य है। यह आवेश दिक्स्थान में एक विभव V_1 उत्पन्न करता है

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1}{r_{1P}}$$

यहाँ r_{1P} दिक्स्थान के किसी बिंदु P की q_1 की स्थिति से दूरी है। विभव की परिभाषा से, आवेश q_2 को अनंत से बिंदु $\mathbf{r}_2$ तक लाने में किया गया कार्य $\mathbf{r}_2$ पर q_1 द्वारा विभव का q_2 गुना होता है–

q_2 पर किया गया कार्य $= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r_{12}}$

© NCERT not to be republished



चित्र 2.13 आवेशों q_1 तथा q_2 के निकाय की स्थितिज ऊर्जा आवेशों के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती तथा उनके बीच की दूरी के व्युत्क्रमानुपाती होती है।

यहाँ r_{12} बिंदु 1 तथा 2 के बीच की दूरी है।

चूँकि स्थिरवैद्युत बल संरक्षी है, यह कार्य निकाय की स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। अत: दो आवेशों q_1 तथा q_2 के निकाय की स्थितिज ऊर्जा

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r_{12}} \qquad (2.22)$$

स्पष्ट है, कि यदि पहले q_2 को उसकी वर्तमान स्थिति पर लाया जाता और तत्पश्चात q_1 को लाया जाता, तो भी स्थितिज ऊर्जा U इतनी ही होती। अधिक व्यापक रूप में, समीकरण (2.22) में दर्शाया गया स्थितिज ऊर्जा के लिए व्यंजक, सदैव ही अपरिवर्तित रहता है, चाहे निर्दिष्ट स्थानों पर आवेशों को किसी भी प्रकार से लाया जाए। यह स्थिरवैद्युत बलों के लिए कार्य की पथ-स्वतंत्रता के कारण होता है।

समीकरण (2.22) q_1 तथा q_2 के किसी भी चिह्न के लिए सत्य है। यदि $q_1 q_2 > 0$ है, तो स्थितिज ऊर्जा धनात्मक होती है। यह अपेक्षित भी है, क्योंकि सजातीय आवेशों ($q_1 q_2 > 0$) के लिए, स्थिरवैद्युत बल प्रतिकर्षी होता है तथा आवेशों को अनंत से किसी परिमित दूरी तक इस प्रतिकर्षी बल के विरुद्ध लाने में धनात्मक कार्य करना पड़ता है। इसके विपरीत, विजातीय आवेशों ($q_1 q_2 < 0$) के लिए स्थिरवैद्युत बल आकर्षी होता है। इस प्रकरण में, आवेशों को उनकी दी गई स्थितियों से अनंत तक इस आकर्षी बल के विरुद्ध ले जाने में धनात्मक कार्य करना पड़ता है। दूसरे शब्दों में, उत्क्रमित पथ (अनंत से वर्तमान स्थितियों तक) के लिए कार्य के ऋणात्मक परिमाण की आवश्यकता होती है जिसके कारण स्थितिज ऊर्जा ऋणात्मक होती है।

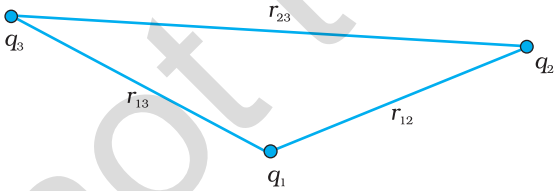
समीकरण (2.22) को आसानी से आवेशों के कितनी भी संख्या के निकाय के लिए व्यापक बनाया जा सकता है। आइए, अब हम तीन आवेशों q_1, q_2 तथा q_3 जो क्रमश: $\mathbf{r}_1$, $\mathbf{r}_2$ तथा $\mathbf{r}_3$ पर स्थित हैं, के निकाय की स्थितिज ऊर्जा परिकलित करें। पहले q_1 को अनंत से $\mathbf{r}_1$ तक लाने में कोई कार्य नहीं होता। तत्पश्चात हम q_2 को अनंत से $\mathbf{r}_2$ तक लाते हैं। पहले की ही भाँति इस चरण में किया गया कार्य

$$q_2 V_1(\mathbf{r}_2) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r_{12}} \qquad (2.23)$$

आवेश q_1 तथा q_2 अपने चारों ओर विभव उत्पन्न करते हैं, किसी बिंदु P पर यह विभव

$$V_{1,2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{q_1}{r_{1P}} + \frac{q_2}{r_{2P}}\right) \qquad (2.24)$$

आवेश q_3 को अनंत से बिंदु $\mathbf{r}_3$ तक लाने में किया गया कार्य $\mathbf{r}_3$ पर $V_{1,2}$ का q_3 गुना होता है।



चित्र 2.14 चित्र में दिए गए संकेतों सहित समीकरण (2.26) में तीन आवेशों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा दी गई है।

अत: $$q_3 V_{1,2}(\mathbf{r}_3) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}}\right) \qquad (2.25)$$

आवेशों को उनकी दी गई स्थितियों पर एकत्र करने में किया गया कुल कार्य विभिन्न चरणों [समीकरण (2.23) तथा समीकरण (2.25)] में किए गए कार्यों का योग करने पर प्राप्त होता है।

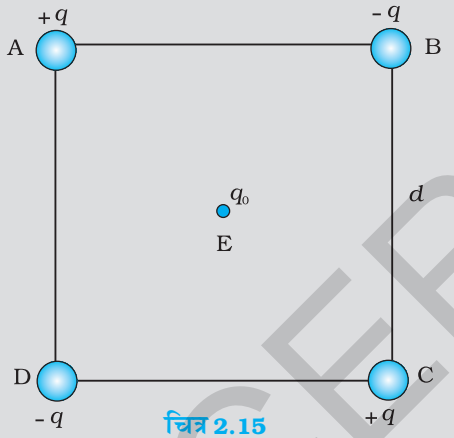
$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}}\right) \qquad (2.26)$$

यहाँ फिर, स्थिरवैद्युत बल की संरक्षी प्रकृति के कारण (अथवा तुल्य रूप में, कार्य की पथ-स्वतंत्रता) स्थितिज ऊर्जा U को अंतिम व्यंजक, समीकरण (2.26), विन्यास को किस प्रकार संयोजित किया गया है, उसके क्रम पर निर्भर नहीं करता। *स्थितिज ऊर्जा विन्यास की*

© NCERT not to be republished

वर्तमान अवस्था का अभिलाक्षणिक गुण होता है, यह इस बात पर निर्भर नहीं करता कि इस विन्यास को किस प्रकार प्राप्त किया गया है।

उदाहरण 2.4 चित्र 2.15 में दर्शाए अनुसार चार आवेश भुजा d वाले किसी वर्ग ABCD के शीर्षों पर व्यवस्थित किए गए हैं। (a) इस व्यवस्था को एक साथ बनाने में किया गया कार्य ज्ञात कीजिए। (b) कोई आवेश q_0 वर्ग के केंद्र E पर लाया जाता है तथा चारों आवेश अपने शीर्षों पर दृढ़ रहते हैं। ऐसा करने के लिए कितना अतिरिक्त कार्य करना पड़ता है?



चित्र 2.15

हल

(a) चूँकि किया गया कार्य आवेशों की अंतिम व्यवस्था पर निर्भर करता है, उन्हें किस प्रकार एक साथ लाया गया है, पर निर्भर नहीं करता, हम आवेशों को A, B, C, तथा D पर रखने के एक ढंग के लिए आवश्यक कार्य का परिकलन करेंगे। मान लीजिए पहले आवेश $+q$ को A पर लाया जाता है, तत्पश्चात आवेशों $-q$, $+q$ तथा $-q$ को क्रमशः B, C तथा D पर लाया जाता है। किए गए कुल कार्यों का परिकलन निम्नलिखित चरणों में किया जा सकता है :

(i) आवेश $+q$ को A पर लाने में किया गया कार्य जब कहीं भी कोई आवेश नहीं है: यह शून्य है।

(ii) आवेश $-q$ को B पर लाने में किया गया कार्य जब $+q$ शीर्ष A पर है। यह (B पर आवेश) ×(A पर आवेश $+q$ के कारण बिंदु B पर स्थिरवैद्युत विभव)

$$= -q \times \frac{q}{4\pi\varepsilon_o d} = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_o d}$$

(iii) आवेश $+q$ को C पर लाने में किया गया कार्य जब $+q$ शीर्ष A पर तथा $-q$ शीर्ष B पर है। यह (C पर आवेश) ×(A तथा B पर आवेशों के कारण C पर विभव)

$$= +q \left(\frac{+q}{4\pi\varepsilon_o d\sqrt{2}} + \frac{-q}{4\pi\varepsilon_o d} \right)$$

$$= \frac{-q^2}{4\pi\varepsilon_o d} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

(iv) आवेश $-q$ को D पर लाने में किया गया कार्य जब $+q$ शीर्ष A पर, $-q$ शीर्ष B पर तथा $+q$ शीर्ष C पर हैं। यह (D पर आवेश) ×(A, B तथा C पर आवेशों के कारण D पर विभव)

$$= -q \left(\frac{+q}{4\pi\varepsilon_o d} + \frac{-q}{4\pi\varepsilon_o d\sqrt{2}} + \frac{q}{4\pi\varepsilon_o d} \right)$$

$$= \frac{-q^2}{4\pi\varepsilon_o d} \left(2 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

© NCERT not to be republished

उदाहरण 2.4

चारों चरणों (i), (ii), (iii) एवं (iv) के कार्यों को जोड़ने पर, आवश्यक कुल कार्य

$$= \frac{-q^2}{4\pi\varepsilon_o d}\ (0) + (1) + \ 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \ + \ 2 - \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{-q^2}{4\pi\varepsilon_o d}\left(4 - \sqrt{2}\right)$$

यह कार्य केवल आवेशों की व्यवस्था पर निर्भर करता है, इस बात पर निर्भर नहीं करता कि इन्हें कैसे व्यवस्थित किया गया है। परिभाषा के अनुसार यह आवेशों की कुल स्थिरवैद्युत ऊर्जा है।

(विद्यार्थी अपनी इच्छानुसार आवेशों को किसी भी अन्य क्रम में लेकर इसी कार्य/ऊर्जा को परिकलित करने का प्रयास कर सकते हैं और यह देखकर अपने को संतुष्ट कर सकते हैं कि हर प्रकरण में ऊर्जा समान रहती है।)

(b) जबकि चारों आवेश A, B, C तथा D पर हैं, आवेश q_0 को बिंदु E पर लाने में किया गया अतिरिक्त कार्य $q_0 \times$ (A, B, C तथा D पर हैं आवेशों के कारण E पर स्थिरवैद्युत विभव) के बराबर है। स्पष्ट रूप से बिंदु E पर स्थिरवैद्युत विभव शून्य है, क्योंकि A तथा C पर आवेशों के कारण विभव B तथा D द्वारा निरस्त हो जाते हैं। अतः बिंदु E तक किसी भी आवेश को लाने में कोई कार्य करना नहीं पड़ता है।

2.8 बाह्य क्षेत्र में स्थितिज ऊर्जा

2.8.1 एकल आवेश की स्थितिज ऊर्जा

अनुभाग 2.7 में विद्युत क्षेत्र के स्रोत का विशेष उल्लेख किया गया–आवेश तथा उनकी स्थितियाँ–तथा उन आवेशों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा निर्धारित की गई। इस अनुभाग में हम इससे संबंधित परंतु भिन्न प्रश्न पूछते हैं। किसी दिए गए क्षेत्र में किसी आवेश q की स्थितिज ऊर्जा क्या होती है? वास्तव में, यह प्रश्न आरंभ बिंदु था जो हमें स्थिरवैद्युत विभव की धारणा की ओर ले गया था (देखिए अनुभाग 2.1 तथा 2.2)। परंतु यही प्रश्न हम फिर दुबारा यह स्पष्ट करने के लिए पूछ रहे हैं कि किस रूप में यह अनुभाग 2.7 में की गई चर्चा से भिन्न है।

यहाँ प्रमुख अंतर यह है कि अब हम यहाँ पर किसी *बाह्य क्षेत्र* में आवेश (अथवा आवेशों) की स्थितिज ऊर्जा के विषय में चर्चा कर रहे हैं। इसमें बाह्य क्षेत्र **E** उन दिए गए आवेशों द्वारा उत्पन्न नहीं किया जाता जिनकी स्थितिज ऊर्जा का हम परिकलन करना चाहते हैं। विद्युत क्षेत्र **E** उस स्रोत द्वारा उत्पन्न किया जाता है जो दिए गए आवेश (आवेशों) की दृष्टि से बाह्य होता है। बाह्य स्रोत ज्ञात हो सकता है परंतु प्रायः ये स्रोत अज्ञात अथवा अनिर्दिष्ट होते हैं, जो कुछ भी यहाँ निर्दिष्ट होता है वह है विद्युत क्षेत्र **E** अथवा बाह्य स्रोतों के कारण स्थिरवैद्युत विभव V। हम यह मानते हैं कि आवेश q बाह्य क्षेत्र उत्पन्न करने वाले स्रोतों को सार्थक रूप से प्रभावित नहीं करता। यदि q अत्यधिक छोटा है, तो यह सत्य है अथवा कुछ अनिर्दिष्ट बलों के प्रभाव में बाह्य स्रोतों को दृढ़ रखा जा सकता है। यदि q परिमित है तो भी इसके बाह्य स्रोतों पर प्रभाव की उन परिस्थितियों में उपेक्षा की जा सकती है, जिनमें बहुत दूर अनंत पर स्थित अत्यधिक प्रबल स्रोत हमारी रुचि के क्षेत्र में कोई परिमित क्षेत्र **E** उत्पन्न करता है। फिर ध्यान दीजिए, हमारी रुचि किसी बाह्य क्षेत्र में, दिए गए आवेश q (तत्पश्चात आवेशों के किसी निकाय) की स्थितिज ऊर्जा निर्धारित करने में है; हमें बाह्य विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करने वाले स्रोत की स्थितिज ऊर्जा में कोई रुचि नहीं है।

बाह्य विद्युत क्षेत्र **E** तथा तदनुरूपी बाह्य विभव V का मान एक बिंदु से दूसरे बिंदु पर जाने में परिवर्तित हो सकता है। परिभाषा के अनुसार, किसी बिंदु P पर विभव V एकांक धनावेश को अनंत से उस बिंदु P तक लाने में किए गए कार्य के बराबर होता है (हम निरंतर ही अनंत पर विभव

© NCERT not to be republished

को शून्य मानते रहेंगे)। अत: किसी आवेश q को अनंत से बाह्य क्षेत्र के किसी बिंदु P तक लाने में किया गया कार्य qV होता है। यह कार्य आवेश q में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। यदि बिंदु P का किसी मूल बिंदु के सापेक्ष कोई स्थिति सदिश **r** है, तो हम यह लिख सकते हैं कि:

किसी बाह्य क्षेत्र में आवेश q की **r** पर स्थितिज ऊर्जा

$$= qV(\mathbf{r}) \qquad (2.27)$$

यहाँ $V(\mathbf{r})$ बिंदु **r** पर बाह्य विभव है।

इस प्रकार, यदि आवेश $q = e = 1.6\times10^{-19}$ C का कोई इलेक्ट्रॉन किसी विभवान्तर $\Delta V = 1$ वोल्ट द्वारा त्वरित किया जाता है, तो वह ऊर्जा $q\Delta V = 1.6 \times10^{-19}$ J अर्जित करेगा। ऊर्जा के इस मात्रक को 1 *इलेक्ट्रॉन वोल्ट*, अर्थात 1 eV=1.6×10^{-19} J के रूप में परिभाषित करते हैं। eV पर आधारित मात्रकों का सर्वाधिक उपयोग आण्विक, नाभिकीय तथा कण भौतिकी में किया जाता है, (1 keV = 10^3eV = 1.6×10^{-16}J, 1 MeV = 10^6eV = 1.6×10^{-13}J, 1 GeV = 10^9eV = 1.6×10^{-10}J तथा 1 TeV = 10^{12}eV = 1.6×10^{-7}J) [इसे भौतिकी भाग I कक्षा 11 पृष्ठ 119 सारणी 6.1 में पहले ही परिभाषित किया जा चुका है।]

2.8.2 किसी बाह्य क्षेत्र में दो आवेशों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा

अब हम यह पूछते हैं : किसी बाह्य क्षेत्र में क्रमश: $\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ पर स्थित दो आवेशों q_1 तथा q_2 की स्थितिज ऊर्जा क्या होती है? इस विन्यास का निर्माण करने में किए गए कार्य का परिकलन करने के लिए आइए यह कल्पना करें कि पहले हम आवेश q_1 को अनंत से $\mathbf{r}_1$ तक लाते हैं। समीकरण (2.27) के अनुसार, इस चरण में किया गया कार्य $q_1 V(\mathbf{r}_1)$ है। अब हम आवेश q_2 को $\mathbf{r}_2$ तक लाने में किए जाने वाले कार्य पर विचार करते हैं। इस चरण में केवल बाह्य क्षेत्र **E** के विरुद्ध ही कार्य नहीं होता, वरन् q_1 के कारण क्षेत्र के विरुद्ध भी कार्य करना होता है। अत:

q_2 पर बाह्य क्षेत्र के विरुद्ध किया गया कार्य

$= q_2 V(\mathbf{r}_2)$

q_2 पर q_1 के कारण क्षेत्र के विरुद्ध किया गया कार्य

$$= \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_o r_{12}}$$

यहाँ r_{12} आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच की दूरी है। ऊपर हमने समीकरण (2.27) तथा (2.22) का उपयोग किया है। क्षेत्रों के लिए अध्यारोपण सिद्धांत द्वारा हम q_2 पर दो क्षेत्रों (**E** तथा q_1 के कारण क्षेत्र) के विरुद्ध किए गए कार्यों को जोड़ते हैं। अत:

q_2 को $\mathbf{r}_2$ तक लाने में किया गया कार्य

$$= q_2 V(\mathbf{r}_2) + \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_o r_{12}} \qquad (2.28)$$

इस प्रकार,

निकाय की स्थितिज ऊर्जा

= विन्यास के निर्माण में किया गया कार्य

$$= q_1 V(\mathbf{r}_1) + q_2 V(\mathbf{r}_2) + \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_{12}} \qquad (2.29)$$

उदाहरण 2.5

(a) दो आवेशों 7 μC तथा –2 μC जो क्रमश: (–9 cm, 0, 0) तथा (9 cm, 0, 0) पर स्थित हैं, के ऐसे निकाय, जिस पर कोई बाह्य क्षेत्र आरोपित नहीं है, की स्थिरवैद्युत स्थितिज की ऊर्जा ज्ञात कीजिए।

(b) दोनों आवेशों को एक-दूसरे से अनंत दूरी तक पृथक करने के लिए कितने कार्य की आवश्यकता होगी?

उदाहरण 2.5

© NCERT not to be republished

उदाहरण 2.5

(c) माना कि अब इस आवेश निकाय को किसी बाह्य विद्युत क्षेत्र $E = A\,(1/r^2)$; $A = 9\times10^5$ C m^{-2} में रखा गया है। इस विन्यास की स्थिरवैद्युत ऊर्जा का परिकलन करें।

हल

(a) $U = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}\dfrac{q_1q_2}{r} = 9\times10^9\times\dfrac{7\times(-2)\times10^{-12}}{0.18} = -0.7\ \text{J}$

(b) $W = U_2 - U_1 = 0 - U = 0 - (-0.7) = 0.7\ \text{J}$

(c) दो आवेशों की पारस्परिक अन्योन्य ऊर्जा अपरिवर्तित रहती है। साथ ही यहाँ पर दो आवेशों की बाह्य विद्युत क्षेत्र के साथ अन्योन्य क्रिया की ऊर्जा भी है। अतः हम यह पाते हैं कि

$$q_1V(\mathbf{r}_1) + q_2V(\mathbf{r}_2) = A\frac{7\mu\text{C}}{0.09\text{m}} + A\frac{-2\mu\text{C}}{0.09\text{m}}$$

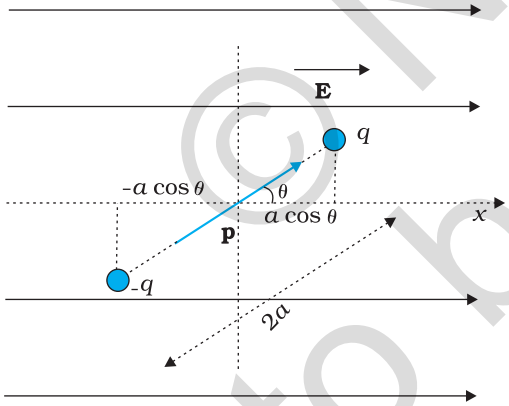
तथा नेट स्थिरवैद्युत ऊर्जा का मान है

$$q_1V(\mathbf{r}_1) + q_2V(\mathbf{r}_2) + \frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon_0r_{12}} = A\frac{7\,\mu\text{C}}{0.09\,\text{m}} + A\frac{-2\,\mu\text{C}}{0.09\,\text{m}} - 0.7\,\text{J}$$

$$= 70 - 20 - 0.7 = 49.3\,\text{J}$$

2.8.3 बाह्य क्षेत्र में द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा

चित्र 2.16 में दर्शाए अनुसार किसी एकसमान विद्युत क्षेत्र **E** में रखे आवेशों $q_1 = +q$ तथा $q_2 = -q$ के द्विध्रुव पर विचार कीजिए।



चित्र 2.16 किसी विद्युत द्विध्रुव की एकसमान बाह्य क्षेत्र में स्थितिज ऊर्जा।

जैसाकि हमने पिछले अध्याय में देखा, एकसमान विद्युत क्षेत्र में द्विध्रुव किसी नेट बल का अनुभव नहीं करता; परंतु एक बल आघूर्ण का अनुभव करता है जो इस प्रकार है :

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p}\times\mathbf{E} \qquad (2.30)$$

यह इसमें घूर्णन की प्रवृत्ति उत्पन्न करेगा (जब तक **p** तथा **E** एक-दूसरे के समांतर अथवा प्रतिसमांतर नहीं हैं)। मान लीजिए कोई बाह्य बल आघूर्ण $\boldsymbol{\tau}_{\text{बाह्य}}$ इस प्रकार लगाया जाता है कि वह इस बल आघूर्ण को ठीक-ठीक उदासीन कर देता है और इसे कागज़ के तल *बिना किसी कोणीय त्वरण* के अत्यंत सूक्ष्म कोणीय चाल से कोण θ_0 से कोण θ_1 पर घूर्णित कर देता है। इस बाह्य बल आघूर्ण द्वारा किया गया कार्य

$$W = \int_{\theta_0}^{\theta_1}\tau_{\text{बाह्य}}(\theta)d\theta = \int_{\theta_0}^{\theta_1}pE\sin\theta\,d\theta$$

$$= pE(\cos\theta_0 - \cos\theta_1) \qquad (2.31)$$

यह कार्य निकाय में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। तब हम स्थितिज ऊर्जा $U(\theta)$ को द्विध्रुव के किसी झुकाव θ से संबद्ध कर सकते हैं। अन्य स्थितिज ऊर्जाओं की भाँति यहाँ हमें उस कोण के चयन की स्वतंत्रता है जिस पर विभव स्थितिज ऊर्जा U शून्य माना जाए। प्राकृतिक चयन के अनुसार $\theta_0 = \pi/2$ लिया जाना चाहिए। (इसका स्पष्टीकरण चर्चा के अंत में दिया गया है।) तब हम यह लिख सकते हैं,

$$U(\theta) = pE\left(\cos\frac{\pi}{2} - \cos\theta\right) = -pE\cos\theta = -\mathbf{p}\cdot\mathbf{E} \qquad (2.32)$$

© NCERT not to be republished

वैकल्पिक रूप से इस व्यंजक को समीकरण (2.29) से भी समझा जा सकता है। हम समीकरण (2.29) का प्रयोग दो आवेशों $+q$ तथा $-q$ के वर्तमान निकाय के लिए करते हैं। तब स्थितिज ऊर्जा के व्यंजक को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$U'(\theta) = q[V(\mathbf{r}_1) - V(\mathbf{r}_2)] - \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 \times 2a} \qquad (2.33)$$

यहाँ $\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ दो आवेशों $+q$ तथा $-q$ के स्थिति सदिशों को दर्शाते हैं। अब $\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ के बीच विभवांतर एकांक धनावेश को क्षेत्र के विरुद्ध $\mathbf{r}_2$ से $\mathbf{r}_1$ तक लाने में किए गए कार्य के बराबर है। बल के समांतर विस्थापन $2a\cos\theta$ है। इस प्रकार $[V(\mathbf{r}_1)-V(\mathbf{r}_2)] = -E\times 2a\cos\theta$, इस प्रकार, हमें प्राप्त होता है। चूँकि एक नियतांक स्थितिज ऊर्जा के लिए नगण्य है, हम समीकरण (2.34) में दूसरे पद को छोड़ सकते हैं। तब यह समीकरण (2.32) बन जाता है।

$$U'(\theta) = -pE\cos\theta - \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 \times 2a} = -\mathbf{p}\cdot\mathbf{E} - \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 \times 2a} \qquad (2.34)$$

ध्यान दीजिए कि $U'(\theta)$ तथा $U(\theta)$ में एक राशि का अंतर है जो किसी दिए गए द्विध्रुव के लिए मात्र एक नियतांक है। स्थितिज ऊर्जा के लिए नियतांक महत्वपूर्ण नहीं है, अत: समीकरण (2.34) से हम द्वितीय पद को छोड़ सकते हैं। इस प्रकार से यह समीकरण (2.32) के रूप में आ जाता है।

अब हम यह समझ सकते हैं कि हमने $\theta_0=\pi/2$ क्यों लिया था। इस प्रकरण में $+q$ तथा $-q$ को बाह्य क्षेत्र $\mathbf{E}$ के विरुद्ध लाने में किए जाने वाले कार्य समान तथा विपरीत हैं और निरासित हो जाते हैं, अर्थात $q[V(\mathbf{r}_1) - V(\mathbf{r}_2)] = 0$

उदाहरण 2.6 एक पदार्थ के अणु में 10^{-29} cm का स्थायी वैद्युत द्विध्रुव आघूर्ण है। 10^6 V m^{-1} परिमाण के एक शक्तिशाली स्थिरवैद्युत क्षेत्र को लगाकर इस पदार्थ के एक मोल (निम्न ताप पर) को ध्रुवित किया गया है। अचानक क्षेत्र की दिशा 60º कोण से बदल दी जाती है। क्षेत्र की नयी दिशा में द्विध्रुवों को पंक्तिबद्ध करने में उन्मुक्त ऊष्मा ऊर्जा का आकलन कीजिए। सुविधा के लिए नमूने का ध्रुवण 100% माना जा सकता है।

हल यहाँ प्रत्येक अणु का द्विध्रुव आघूर्ण = 10^{-29} C m
चूँकि किसी पदार्थ के एक मोल में 6×10^{23} अणु होते हैं, अत: सारे अणुओं का कुल द्विध्रुव आघूर्ण, $p = 6\times10^{23}\times10^{-29}$ C m $= 6\times10^{-6}$ C m
आरंभिक स्थितिज ऊर्जा $U_i = -pE\cos\theta = -6\times10^{-6}\times10^{6}\cos 0° = -6$ J
अंतिम स्थितिज ऊर्जा (जब $\theta = 60°$), $U_f = -6\times10^{-6}\times10^{6}\cos 60° = -3$ J
स्थितिज ऊर्जा में अंतर = -3 J $-(-6$J$) = 3$ J
अत:, यहाँ ऊर्जा की हानि होती है। पदार्थ द्वारा द्विध्रुवों को पंक्तिबद्ध करने में ऊष्मा के रूप में यह ऊर्जा मुक्त होनी चाहिए।

उदाहरण 2.6

2.9 चालक-स्थिरवैद्युतिकी

अध्याय 1 में चालकों तथा विद्युतरोधी पदार्थों का संक्षेप में वर्णन किया गया था। चालकों में गतिशील आवेश वाहक होते हैं। धात्विक चालकों में ये वाहक इलेक्ट्रॉन होते हैं। धातुओं में, बाह्य (संयोजी) इलेक्ट्रॉन अपने परमाणु से अलग होकर गति करने के लिए मुक्त होते हैं। ये इलेक्ट्रॉन धातु के अंदर गति करने के लिए मुक्त होते हैं परंतु धातु से मुक्त नहीं हो सकते। ये मुक्त इलेक्ट्रॉन एक प्रकार की 'गैस' की भाँति आपस में परस्पर तथा आयनों से टकराते हैं तथा विभिन्न दिशाओं में यादृच्छिक गति करते हैं। किसी बाह्य विद्युत क्षेत्र में, ये क्षेत्र की दिशा के विपरीत बहते हैं। नाभिकों के इस प्रकार धन आयन तथा परिबद्ध इलेक्ट्रॉन अपनी नियत स्थितियों पर ही दृढ़ रहते हैं। अपघटनी चालकों में धनायन तथा ऋणायन दोनों ही आवेश वाहक होते हैं; परंतु इस प्रकरण में स्थिति अधिक जटिल

© NCERT not to be republished

होती है–आवेश वाहकों की गति बाह्य विद्युत क्षेत्र के साथ-साथ रासायनिक बलों (अध्याय 3 देखिए) द्वारा भी प्रभावित होती है। यहाँ हम अपनी चर्चा ठोस धात्विक चालकों तक ही सीमित रखेंगे। आइए चालक-स्थिरवैद्युतिकी से संबंधित कुछ महत्वपूर्ण परिणामों पर ध्यान दें।

1. चालक के भीतर स्थिरवैद्युत क्षेत्र शून्य होता है

किसी उदासीन अथवा आवेशित चालक पर विचार कीजिए। यहाँ कोई बाह्य स्थिरवैद्युत क्षेत्र भी हो सकता है। स्थैतिक स्थिति में, जब चालक के भीतर अथवा उसके पृष्ठ पर कोई विद्युत धारा नहीं होती, तब चालक के भीतर हर स्थान पर स्थिरवैद्युत क्षेत्र शून्य होता है। इस तथ्य को किसी चालक को परिभाषित करने के गुण के रूप में माना जा सकता है। चालक में मुक्त इलेक्ट्रॉन होते हैं। जब तक विद्युत क्षेत्र शून्य नहीं है, मुक्त आवेश वाहक एक बल का अनुभव करेंगे और उनमें बहाव होगा। स्थैतिक स्थिति में मुक्त इलेक्ट्रॉन स्वयं को इस प्रकार वितरित कर लेते हैं कि चालक के भीतर हर स्थान पर विद्युत क्षेत्र शून्य होता है। *किसी चालक के भीतर स्थिरवैद्युत क्षेत्र शून्य होता है।*

2. आवेशित चालक के पृष्ठ पर, पृष्ठ के प्रत्येक बिंदु पर स्थिरवैद्युत क्षेत्र अभिलंबवत होना चाहिए

यदि $\mathbf{E}$ पृष्ठ के अभिलंबवत नहीं है तो उसका पृष्ठ के अनुदिश कोई शून्येतर घटक होगा। तब पृष्ठ के मुक्त इलेक्ट्रॉन पृष्ठ पर किसी बल का अनुभव करेंगे और गति करेंगे। अतः, स्थैतिक स्थिति में $\mathbf{E}$ का कोई स्पर्श रेखीय घटक नहीं होना चाहिए। इस प्रकार, *किसी आवेशित चालक के पृष्ठ पर स्थिरवैद्युत क्षेत्र पृष्ठ के हर बिंदु पर पृष्ठ के अभिलंबवत होना चाहिए।* (किसी चालक के लिए जिस पर कोई पृष्ठीय आवेश घनत्व नहीं है, उसके पृष्ठ तक पर भी क्षेत्र शून्य होता है।) परिणाम 5 देखिए।

3. स्थैतिक स्थिति में किसी चालक के अभ्यंतर में कोई अतिरिक्त आवेश नहीं हो सकता

किसी उदासीन चालक के प्रत्येक लघु आयतन अथवा पृष्ठीय अवयव में धनात्मक तथा ऋणात्मक आवेश समान मात्रा में होते हैं। जब किसी चालक को आवेशित किया जाता है, तो स्थैतिक स्थिति में अतिरिक्त आवेश केवल उसके पृष्ठ पर विद्यमान रहता है। यह गाउस नियम से स्पष्ट है। किसी चालक के भीतर किसी यादृच्छिक आयतन अवयव v पर विचार कीजिए। आयतन अवयव v को परिबद्ध करने वाले किसी बंद पृष्ठ S पर स्थिरवैद्युत क्षेत्र शून्य होता है। इस प्रकार, S से गुजरने वाला कुल फ्लक्स शून्य है। अतः गाउस नियम के अनुसार S पर परिबद्ध कोई नेट आवेश नहीं है। परंतु पृष्ठ S को आप जितना छोटा चाहें, उतना छोटा बना सकते हैं, अर्थात आयतन v को अत्यल्प (लोपी बिंदु तक छोटा) बनाया जा सकता है। इसका अभिप्राय यह हुआ कि *चालक के भीतर कोई नेट आवेश नहीं है तथा यदि कोई अतिरिक्त आवेश है तो उसे पृष्ठ पर विद्यमान होना चाहिए।*

4. चालक के समस्त आयतन में स्थिरवैद्युत विभव नियत रहता है तथा इसका मान इसके पृष्ठ पर भी समान (भीतर के बराबर) होता है

यह उपरोक्त परिणाम 1 तथा 2 का अनुवर्ती है। चूँकि किसी चालक के भीतर $\mathbf{E} = 0$ तथा इसका पृष्ठ पर कोई स्पर्श रेखीय घटक नहीं होता अतः इसके भीतर अथवा पृष्ठ पर किसी छोटे परीक्षण आवेश को गति कराने में कोई कार्य नहीं होता। अर्थात, चालक के भीतर अथवा उसके पृष्ठ पर दो बिंदुओं के बीच कोई विभवांतर नहीं होता। यही वांछित परिणाम है। यदि चालक आवेशित है तो चालक के पृष्ठ के अभिलंबवत विद्युत क्षेत्र होता है; इसका यह अभिप्राय है कि चालक के पृष्ठ के किसी बिंदु का विभव चालक से तुरंत बाहर के बिंदु के विभव से भिन्न होगा।

© NCERT not to be republished

किसी यादृच्छिक आकार, आकृति तथा आवेश विन्यास के चालकों के निकाय में प्रत्येक चालक का अपना एक नियत मान का अभिलाक्षणिक विभव होगा, परंतु यह नियत मान एक चालक से दूसरे चालक का भिन्न हो सकता है।

5. आवेशित चालक के पृष्ठ पर विद्युत क्षेत्र

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{\mathbf{n}} \qquad (2.35)$$

यहाँ σ पृष्ठीय आवेश घनत्व तथा $\hat{\mathbf{n}}$ पृष्ठ के अभिलंबवत बहिर्मुखी दिशा में एकांक सदिश है।

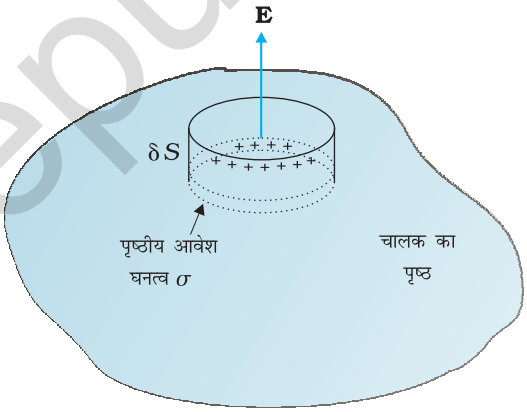
इस परिणाम को व्युत्पन्न करने के लिए, कोई डिबिया (एक छोटा बेलनाकार खोखला बर्तन) चित्र 2.17 में दर्शाए अनुसार, पृष्ठ के किसी बिंदु P के परितः गाउसीय पृष्ठ के रूप में चुनिए। इस डिबिया का कुछ भाग चालक के पृष्ठ के बाहर तथा कुछ भाग चालक के पृष्ठ के भीतर है। इसकी अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल δS बहुत छोटा तथा इसकी ऊँचाई नगण्य है।

पृष्ठ के तुरंत भीतर स्थिरवैद्युत क्षेत्र शून्य है; पृष्ठ के तुरंत बाहर विद्युत क्षेत्र पृष्ठ के अभिलंबवत है। अतः डिबिया से गुज़रने वाला कुल फ्लक्स केवल डिबिया की बाहरी (वृत्तीय) अनुप्रस्थ काट से आता है। यह $\pm E\,\delta S$ ($\sigma > 0$ के लिए धनात्मक, $\sigma < 0$ के लिए ऋणात्मक) के बराबर है, चूँकि चालक के छोटे क्षेत्र δS पर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ को नियत माना जा सकता है तथा $\mathbf{E}$ और δS समांतर अथवा प्रतिसमांतर हैं। डिबिया द्वारा परिबद्ध, आवेश $\sigma\,\delta S$ है। गाउस नियम के अनुसार

$$E\delta S = \frac{|\sigma|\,\delta S}{\varepsilon_o}$$

$$E = \frac{|\sigma|}{\varepsilon_o} \qquad (2.36)$$

इस तथ्य को सम्मिलित करते हुए कि विद्युत क्षेत्र पृष्ठ के अभिलंबवत है, हम समीकरण (2.35) के रूप में सदिश संबंध पाते हैं। ध्यान दीजिए, समीकरण (2.35) आवेश घनत्व σ के दोनों चिह्नों के लिए सत्य है। $\sigma > 0$ के लिए, विद्युत क्षेत्र पृष्ठ के बहिर्मुखी अभिलंबवत है; तथा $\sigma < 0$ के लिए, विद्युत क्षेत्र पृष्ठ के अंतर्मुखी अभिलंबवत है।

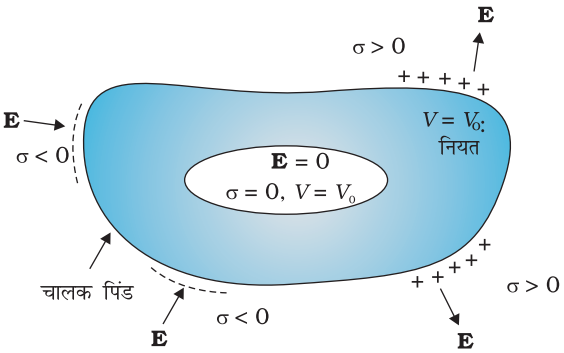


चित्र 2.17 किसी आवेशित चालक के पृष्ठ पर विद्युत क्षेत्र के लिए समीकरण (2.35) व्युत्पन्न करने के लिए, चुना गया गाउसीय पृष्ठ (कोई डिबिया)।

2.9.1 स्थिरवैद्युत परिरक्षण

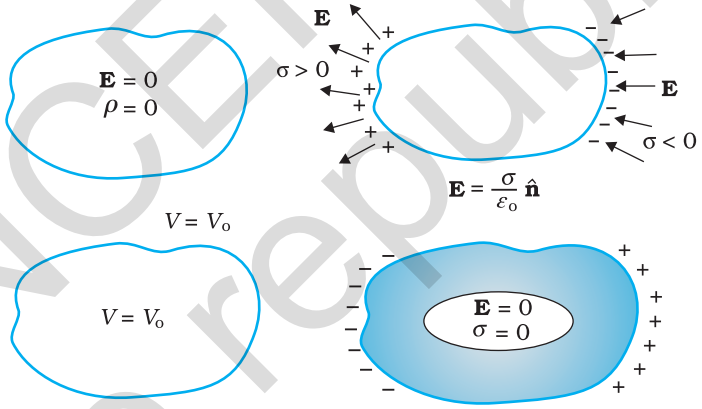
किसी ऐसे चालक के विषय में विचार कीजिए जिसमें कोई कोटर (गुहा) हो तथा उस कोटर के भीतर कोई आवेश न हो। एक विशिष्ट परिणाम यह देखने को मिलेगा कि चाहे कोटर की कोई भी आकृति एवं आकार क्यों न हो, तथा चाहे उस चालक पर कितने भी परिमाण का आवेश हो और कितनी भी तीव्रता के बाह्य क्षेत्र में उसे क्यों न रखा गया हो, कोटर के भीतर विद्युत क्षेत्र शून्य होता है। इसी परिणाम के एक सरल प्रकरण को हम पहले भी सिद्ध कर चुके हैं : किसी गोलीय कोश के भीतर विद्युत क्षेत्र शून्य होता है। कोश के लिए परिणाम की व्युत्पत्ति में हमने कोश की गोलीय सममिति का उपयोग किया था (अध्याय 1 देखिए)। परंतु किसी चालक का (आवेश मुक्त) कोटर में विद्युत क्षेत्र का विलोपन, जैसा कि पहले वर्णन किया जा चुका है, एक अत्यधिक व्यापक परिणाम है। इससे संबंधित एक परिणाम यह भी है कि यदि चालक आवेशित भी है, अथवा किसी बाह्य विद्युत क्षेत्र द्वारा उदासीन चालक पर आवेश प्रेरित क्यों न किए गए हों, समस्त आवेश केवल चालक पर कोटर सहित उसके बाह्य पृष्ठ पर विद्यमान रहता है।

© NCERT not to be republished



चित्र 2.18 किसी भी चालक की कोटर (गुहा) के भीतर विद्युत क्षेत्र शून्य होता है। चालक का समस्त आवेश कोटर सहित उस चालक के केवल बाह्य पृष्ठ पर ही विद्यमान रहता है (कोटर के भीतर कोई आवेश नहीं रखे गए हैं)।

चित्र 2.18 में दिए गए परिणामों की व्युत्पत्ति को यहाँ हम छोड़ रहे हैं, परंतु हमें इनकी महत्वपूर्ण उलझनों का ध्यान है। बाहर चाहे कितना भी आवेश तथा कैसा भी विद्युत क्षेत्र विन्यास क्यों न हो, उस चालक में कोई भी कोटर बाह्य विद्युत क्षेत्रों के प्रभाव से सदैव परिरक्षित रहती है; *कोटर के भीतर विद्युत क्षेत्र सदैव ही शून्य होता है।* इसे *स्थिरवैद्युत परिरक्षण* कहते हैं। इस प्रभाव का उपयोग संवेदनशील उपकरणों को बाह्य विद्युत प्रभावों से बचाने में किया जाता है। चित्र 2.19 में किसी चालक के महत्वपूर्ण स्थिरवैद्युत गुणधर्मों का सारांश दिया गया है।



चित्र 2.19 किसी चालक के कुछ महत्वपूर्ण स्थिरवैद्युत गुणधर्म।

उदाहरण 2.7

उदाहरण 2.7

(a) सूखे बालों में कंघा घुमाने के बाद वह कागज़ के टुकड़ों को आकर्षित कर लेता है, क्यों? यदि बाल भीगे हों या वर्षा का दिन हो तो क्या होता है? [ध्यान रहे कि कागज़ विद्युत चालक नहीं है।]

(b) साधारण रबर विद्युतरोधी है। परंतु वायुयान के विशेष रबर के पहिए हलके चालक बनाए जाते हैं। यह क्यों आवश्यक है?

(c) जो वाहन ज्वलनशील पदार्थ ले जाते हैं उनकी धातु की रस्सियाँ (ज़ंजीरें) वाहन के गतिमय होने पर धरती को छूती रहती हैं, क्यों?

(d) एक चिड़िया एक उच्च शक्ति के खुले (अरक्षित) बिजली के तार पर बैठी है, और उसको कुछ नहीं होता। धरती पर खड़ा एक व्यक्ति उसी तार को छूता है और उसे सांघातिक (घातक) धक्का लगता है, क्यों?

हल

(a) इसका कारण यह है कि कंघा घर्षण द्वारा आवेशित होता है। आवेशित कंघे द्वारा कागज़ के अणु ध्रुवित हो जाते हैं, परिणामस्वरूप एक नेट आकर्षी बल प्राप्त होता है। यदि बालों में नमी है अथवा वर्षा का दिन है तो कंघे और बालों के बीच घर्षण कम हो जाता है तथा कंघा आवेशित नहीं होता। अत: वह कागज़ के छोटे टुकड़ों को आकर्षित नहीं करता।

© NCERT not to be republished

उदाहरण 2.7

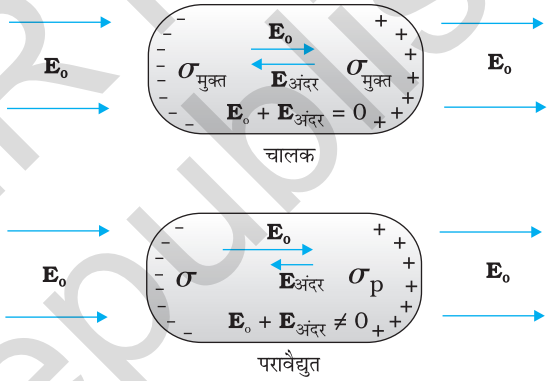
(b) जिससे घर्षण द्वारा उत्पन्न आवेश का भूमि में चालन हो सके। चूँकि स्थिरवैद्युत आवेश अत्यधिक मात्रा में टायरों के पृष्ठ पर संचित होकर चिनगारी (स्पार्क) पैदा करता है जिससे आग लग सकती है।

(c) कारण (b) के समान ही।

(d) विद्युत धारा केवल तब ही प्रवाहित होती है जब विभवांतर होता है।

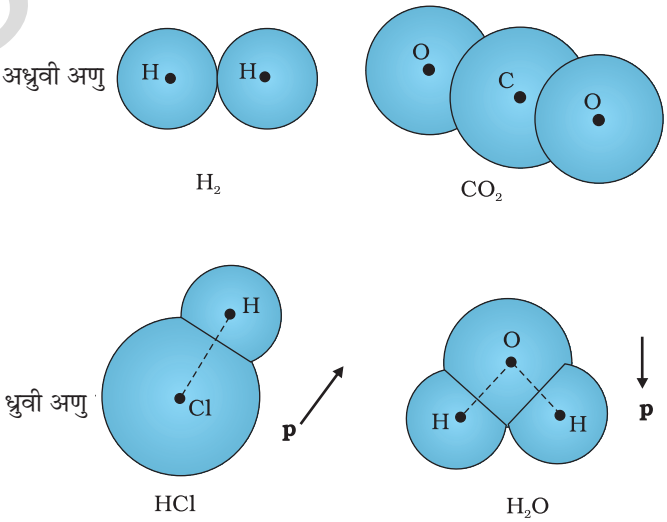
2.10 परावैद्युत तथा ध्रुवण

परावैद्युत अचालक पदार्थ होते हैं। चालकों की तुलना में इनमें कोई आवेश वाहक नहीं (अथवा नगण्य) होता। अनुभाग (2.9) को याद कीजिए, क्या होता है जब किसी चालक को किसी बाह्य विद्युत क्षेत्र में रखा जाता है? चालक में मुक्त आवेश वाहक गति करके अपने को इस प्रकार समायोजित कर लेते हैं कि प्रेरित आवेशों के कारण विद्युत क्षेत्र बाह्य क्षेत्र का विरोध करता है। यह उस समय तक होता रहता है जब तक कि स्थिर स्थिति में दोनों क्षेत्र एक-दूसरे का निरसन कर देते हैं तथा चालक के भीतर नेट स्थिरवैद्युत क्षेत्र शून्य होता है। किसी परावैद्युत में आवेश की यह मुक्त गति संभव नहीं होती। फिर भी यह पाया जाता है कि बाह्य क्षेत्र परावैद्युत के पृष्ठ पर कुछ आवेश प्रेरित कर देता है जो एक ऐसा क्षेत्र उत्पन्न करता है जो बाह्य क्षेत्र का विरोध करता है। परंतु चालक से भिन्न, इस प्रकार का प्रेरित विद्युत क्षेत्र बाह्य क्षेत्र को यथार्थ रूप में निरक्षित नहीं करता। यह केवल क्षेत्र को घटा देता है। इस प्रभाव की सीमा परावैद्युत की प्रकृति पर निर्भर करती है। इस प्रभाव को समझने के लिए हमें किसी परावैद्युत पदार्थ में आण्विक स्तर पर आवेश वितरण के अध्ययन की आवश्यकता होगी।



चित्र 2.20 किसी बाह्य विद्युत क्षेत्र में किसी चालक तथा परावैद्युत के व्यवहार में अंतर।

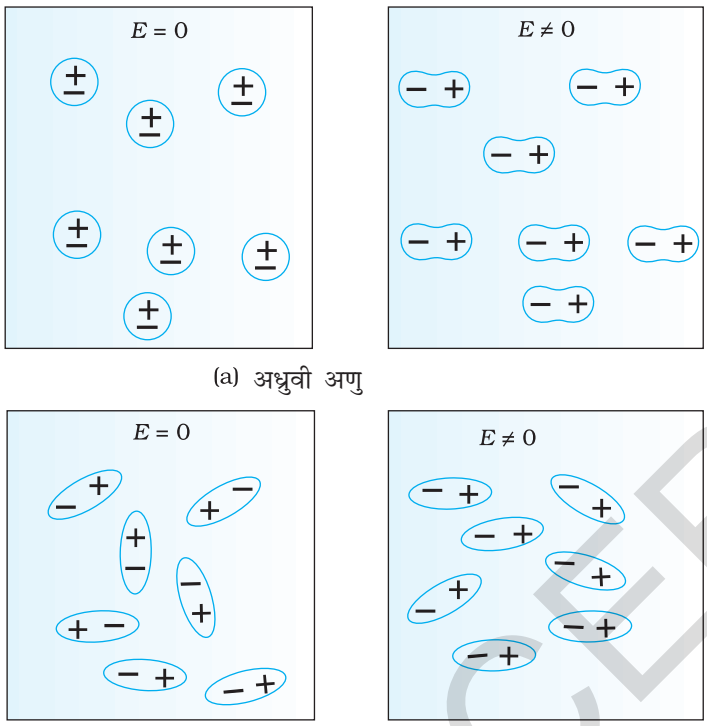
किसी पदार्थ के अणु ध्रुवी अथवा अध्रुवी हो सकते हैं। किसी अध्रुवी अणु में धनावेश तथा ऋणावेश के केंद्र संपाती होते हैं। तब अणु का कोई स्थायी (अथवा आंतरिक) द्विध्रुव आघूर्ण नहीं होता। ऑक्सीजन (O_2) तथा हाइड्रोजन (H_2) अणु अध्रुवी अणुओं के उदाहरण हैं जिनमें सममिति के कारण कोई द्विध्रुव आघूर्ण नहीं होता। इसके विपरीत कोई ध्रुवी अणु वह होता है जिसमें धनावेशों तथा ऋणावेशों के केंद्र पृथक-पृथक (उस स्थिति में भी जब कोई बाह्य क्षेत्र नहीं है) होते हैं। ऐसे अणुओं में स्थायी द्विध्रुव आघूर्ण होता है। HCl जैसा आयनी अणु अथवा जल (H_2O) का कोई अणु ध्रुवी अणुओं के उदाहरण हैं।



चित्र 2.21 ध्रुवी तथा अध्रुवी अणुओं के कुछ उदाहरण।

किसी बाह्य विद्युत क्षेत्र में अध्रुवी अणु के धनावेश तथा ऋणावेश विपरीत दिशाओं में विस्थापित हो जाते हैं। यह विस्थापन तब रुकता है जब अणु के अवयवी आवेशों पर बाह्य बल प्रत्यानयन बल (अणु में आंतरिक क्षेत्रों के कारण) द्वारा संतुलित हो जाता है। अतः अध्रुवी अणु एक प्रेरित द्विध्रुव आघूर्ण विकसित कर लेता है। उस स्थिति में परावैद्युत को बाह्य क्षेत्र द्वारा ध्रुवित कहा जाता है। हम

© NCERT not to be republished



चित्र 2.22 किसी बाह्य विद्युत क्षेत्र में कोई परावैद्युत किस प्रकार एक नेट द्विध्रुव आघूर्ण विकसित करता है। (a) अध्रुवी अणु, (b) ध्रुवी अणु।

केवल उस सरल स्थिति पर ही विचार करेंगे जिसमें प्रेरित द्विध्रुव आघूर्ण क्षेत्र की दिशा में होता है तथा क्षेत्र की तीव्रता के अनुक्रमानुपाती होता है। (पदार्थ जिनके लिए यह अभिधारणा सत्य है उन्हें *रैखिक समदैशिक परावैद्युत* कहते हैं) विभिन्न अणुओं के प्रेरित द्विध्रुव आघूर्ण एक-दूसरे से जुड़कर बाह्य क्षेत्र की उपस्थिति में परावैद्युत का नेट द्विध्रुव आघूर्ण प्रदान करते हैं।

ध्रुवी अणुओं का कोई परावैद्युत किसी बाह्य क्षेत्र में एक नेट द्विध्रुव आघूर्ण भी विकसित कर लेता है, परंतु इसका कारण भिन्न होता है। किसी बाह्य क्षेत्र की अनुपस्थिति में, विभिन्न स्थायी द्विध्रुव तापीय विक्षोभ के कारण यादृच्छिक अभिविन्यासित होते हैं; अतः कुल द्विध्रुव आघूर्ण शून्य होता है। जब कोई बाह्य क्षेत्र अनुप्रयुक्त किया जाता है तो व्यष्टिगत द्विध्रुव आघूर्ण क्षेत्र के साथ संरेखित होने लगते हैं। जब सब अणुओं पर इसका योग किया जाता है, तो बाह्य क्षेत्र की दिशा में एक नेट द्विध्रुव आघूर्ण पाया जाता है, अर्थात, परावैद्युत ध्रुवित हो जाता है। ध्रुवण की सीमा दो परस्पर विरोधी कारकों की आपेक्षिक तीव्रता पर निर्भर करती है, जो इस प्रकार हैं : विद्युत क्षेत्र में द्विध्रुव स्थितिज ऊर्जा जो द्विध्रुव को क्षेत्र के साथ संरेखित करने का प्रयास करती है, तथा तापीय ऊर्जा जो संरेखण को बिगाड़ने का प्रयास करती है। इसके अतिरिक्त अध्रुवी अणुओं की भाँति यहाँ भी प्रेरित द्विध्रुव आघूर्ण प्रभाव हो सकता है, परंतु व्यापक रूप में संरेखण प्रभाव ध्रुवी अणुओं के लिए अधिक महत्वपूर्ण होता है।

इस प्रकार दोनों ही प्रकरणों में, चाहे ध्रुवी हो अथवा अध्रुवी, परावैद्युत किसी बाह्य क्षेत्र की उपस्थिति में एक नेट द्विध्रुव आघूर्ण विकसित कर लेते हैं। किसी पदार्थ का प्रति एकांक आयतन द्विध्रुव आघूर्ण उसका *ध्रुवण* कहलाता है तथा इसे **P** द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है। रैखिक समदैशिक परावैद्युतों के लिए

$$\mathbf{P} = \chi_e \mathbf{E} \qquad (2.37)$$

यहाँ χ_e परावैद्युत का स्थिर अभिलक्षण है जिसे परावैद्युत माध्यम की *वैद्युत प्रवृत्ति* (electric susceptibility) कहते हैं।

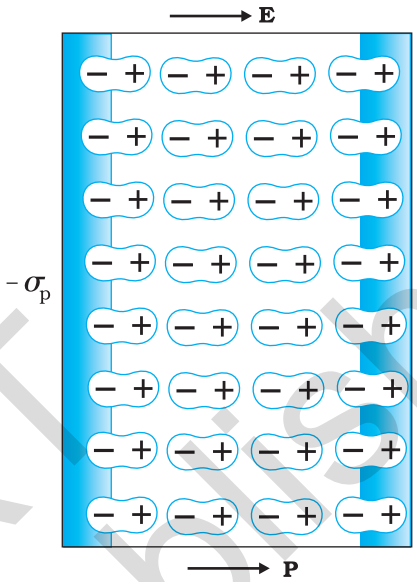
इसको (χ_e को) पदार्थ के आण्विक गुण से संबंधित करना संभव है, परंतु हम यहाँ इस पर चर्चा नहीं करेंगे।

अब प्रश्न यह है कि कोई ध्रुवित परावैद्युत अपने भीतर किसी मूल बाह्य क्षेत्र को रूपांतरित कैसे करता है? सरलता की दृष्टि से हम किसी ऐसे आयताकार परावैद्युत गुटके पर विचार करते हैं जो किसी ऐसे एकसमान बाह्य क्षेत्र $\mathbf{E}_0$ में रखा है, जो गुटके के दो फलकों के समांतर है। क्षेत्र के कारण परावैद्युत में एकसमान ध्रुवण **P** होता है। इस प्रकार गुटके के प्रत्येक आयतन अल्पांश Δv का क्षेत्र की दिशा में एक द्विध्रुव आघूर्ण $\mathbf{P}\,\Delta v$ होता है। स्थूल रूप से आयतन अल्पांश Δv छोटा होता है, परंतु इसमें अत्यधिक संख्या में

© NCERT not to be republished

आण्विक द्विध्रुव होते हैं। परावैद्युत के भीतर किसी भी स्थान पर आयतन अल्पांश Δv पर कोई नेट आवेश नहीं होता (यद्यपि इसका नेट द्विध्रुव आघूर्ण होता है)। इसका कारण यह है कि एक द्विध्रुव के धनावेश अपने से संलग्न द्विध्रुव के ऋणावेश के निकट होते हैं। परंतु, परावैद्युत के पृष्ठ पर विद्युत क्षेत्र के अभिलंबवत स्पष्ट रूप से एक नेट आवेश घनत्व होता है। जैसा कि चित्र 2.23 में दर्शाया गया है, दाएँ पृष्ठ पर द्विध्रुवों के धनात्मक सिरे तथा बाएँ पृष्ठ पर द्विध्रुवों के ऋणात्मक सिरे अनुदासित रह जाते हैं। असंतुलित आवेश बाह्य क्षेत्र के कारण प्रेरित आवेश होते हैं।

अतः ध्रुवित परावैद्युत दो आवेशित पृष्ठों के तुल्य होता है, जिनके प्रेरित पृष्ठीय आवेश घनत्व, σ_p तथा $-\sigma_p$ हैं। स्पष्ट है कि इन पृष्ठीय आवेशों द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्र बाह्य क्षेत्र का विरोध करते हैं। इस प्रकार परावैद्युत में कुल क्षेत्र, उस प्रकरण की तुलना में जिसमें कोई परावैद्युत नहीं है, कम हो जाता है। यहाँ ध्यान देने योग्य बात यह है कि, पृष्ठीय आवेश घनत्व $\pm \sigma_p$ परावैद्युत में मुक्त आवेशों के कारण नहीं वरन् परिबद्ध आवेशों से उत्पन्न होता है।



चित्र 2.23 कोई एकसमान ध्रुवित परावैद्युत पृष्ठीय आवेश घनत्व के समान होता है, परंतु किसी आयतनी आवेश घनत्व के नहीं।

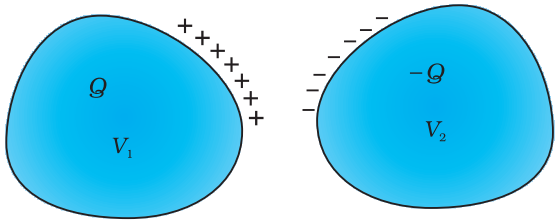
2.11 संधारित्र तथा धारिता

कोई संधारित्र विद्युतरोधी द्वारा पृथक दो चालकों का एक निकाय होता है (चित्र 2.24)। चालकों पर आवेश Q_1 तथा Q_2 तथा उनके विभव क्रमशः V_1 तथा V_2 हैं। प्रायः, व्यवहार में, दो चालकों पर आवेश Q तथा $-Q$ होते हैं तथा उनमें विभवांतर $V = V_1 - V_2$ होता है। हम केवल इसी प्रकार के विन्यास के संधारित्र पर विचार करेंगे। (एक सरल चालक को भी संधारित्र की भाँति प्रयोग किया जा सकता है, यदि दूसरे को अनंत पर माने) दोनों चालकों को किसी बैटरी के दो टर्मिनलों से संयोजित करके आवेशित कराया जा सकता है। Q को संधारित्र का आवेश कहते हैं, यद्यपि, वास्तव में यह संधारित्र के एक चालक पर आवेश होता है–संधारित्र का कुल आवेश शून्य होता है।

चालकों के बीच के क्षेत्र में विद्युत क्षेत्र आवेश Q के अनुक्रमानुपाती होता है। अर्थात, यदि संधारित्र पर आवेश दोगुना कर दिया जाए तो हर बिंदु पर विद्युत क्षेत्र दोगुना हो जाएगा। (यह कूलॉम के नियम तथा अध्यारोपण सिद्धांत द्वारा अंतर्निहित विद्युत क्षेत्र तथा आवेश के बीच अनुक्रमानुपात का अनुगामी है।) अब, विभवांतर V किसी लघु परीक्षण आवेश को क्षेत्र के विरुद्ध चालक 2 से 1 तक ले जाने में प्रति एकांक धनावेश द्वारा किए गए कार्य के बराबर होता है। इसके फलस्वरूप, V भी Q के अनुक्रमानुपाती है, तथा अनुपात Q/V एक नियतांक है –

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (2.38)$$

यहाँ C एक नियतांक है जिसे संधारित्र की *धारिता* कहते हैं। जैसा कि पहले वर्णन किया जा चुका है धारिता C आवेश Q अथवा विभवांतर V पर निर्भर नहीं करती। धारिता C केवल दो चालकों के निकाय के ज्यामितीय विन्यास (आकार, आकृति, पृथकन) पर निर्भर करती है। [जैसा कि हम आगे देखेंगे, यह दोनों चालकों को पृथक करने वाले माध्यम अर्थात विद्युतरोधी (परावैद्युत) की प्रकृति पर निर्भर करती है]। धारिता का SI एकांक 1 फैरड = 1 कूलॉम प्रति वोल्ट अथवा $1F = 1\ C\ V^{-1}$ है। नियत धारिता के संधारित्र का प्रतीक ⊣ ⊢, जबकि परिवर्ती धारिता के संधारित्र का प्रतीक ⫞⫟ है।



चित्र 2.24 विद्युतरोधी से पृथक दो चालकों का कोई निकाय संधारित्र का निर्माण करता है।

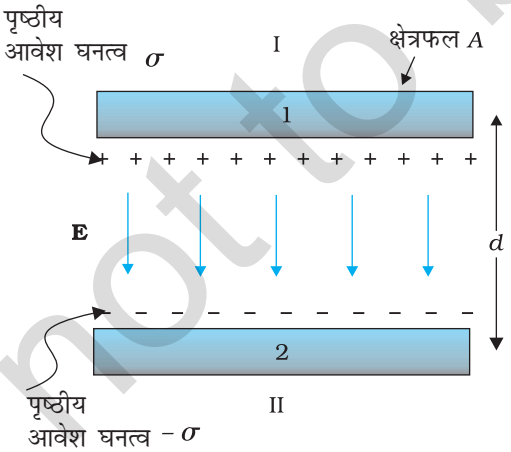
© NCERT not to be republished

समीकरण (2.38) यह दर्शाती है कि बड़े C के लिए यदि Q नियत है तो V लघु होता है। इसका अर्थ यह है कि बड़ा संधारित्र लघु विभव V पर अपेक्षाकृत आवेश Q के बड़े परिमाण को परिबद्ध कर सकता है। इसकी व्यावहारिक उपयोगिता है। उच्च विभवांतर में चालक के चारों ओर प्रबल विद्युत क्षेत्र की उपस्थिति अंतर्निहित है। कोई प्रबल विद्युत क्षेत्र चारों ओर की वायु को आयनीकृत करके उत्पन्न आवेशों को त्वरित कर सकता है जो विजातीय आवेशित पट्टिकाओं पर पहुँचकर उन्हें आंशिक उदासीन कर सकते हैं। दूसरे शब्दों में, संधारित्र का आवेश दोनों पट्टिकाओं के बीच के माध्यम की विद्युतरोधी क्षमता में ह्रास के कारण क्षरित हो सकता है।

वह अधिकतम विद्युत क्षेत्र जिसे कोई परावैद्युत माध्यम बिना भंजन (उसके विद्युतरोधी गुणधर्म) के सहन कर सकता है, उस माध्यम की *परावैद्युत सामर्थ्य* कहलाती है। वायु के लिए यह लगभग $3\times10^6\ \text{V m}^{-1}$ है। दो चालकों के बीच 1 cm कोटि के पृथकन के लिए यह क्षेत्र चालकों के बीच 3×10^4 V विभवांतर के तदनुरूपी होता है। अत: किसी संधारित्र के लिए बिना किसी क्षरण के अत्यधिक मात्रा में आवेश को संचित करने के लिए उसकी धारिता को इतना अधिक उच्च अवश्य होना चाहिए कि उनके बीच विभवांतर अथवा विद्युत क्षेत्र उसकी भंजन सीमा से अधिक न हो। इसे भिन्न शब्दों में इस प्रकार भी कह सकते हैं कि किसी दिए गए संधारित्र की बिना किसी सार्थक क्षरण के आवेश को संचित करने की एक सीमा होती है। व्यवहार में, 1 फैरड, धारिता का बहुत बड़ा मात्रक है, धारिता के अधिक सामान्य मात्रक, इस मात्रक (अर्थात फैरड) के अपवर्तक हैं: $1\ \mu\text{F} = 10^{-6}\ \text{F}$, $1\ \text{nF} = 10^{-9}\ \text{F}$, $1\ \text{pF} = 10^{-12}\ \text{F}$ आदि। आवेशों को संचित करने के अतिरिक्त संधारित्र अधिकांश प्रत्यावर्ती धारा परिपथों (ac परिपथों) में प्रमुख अवयवों के रूप में उपयोग होते हैं। अध्याय 7 में ac परिपथों में संधारित्रों के महत्वपूर्ण प्रकार्यों का वर्णन किया गया है।

2.12 समांतर पट्टिका संधारित्र

किसी समांतर पट्टिका संधारित्र में दो बड़ी समतल एक-दूसरे के समांतर चालक पट्टिकाएँ होती हैं, जिनके बीच पृथकन कम होता है (चित्र 2.25)। हम सर्वप्रथम दो पट्टिकाओं के बीच माध्यम के रूप में निर्वात को लेते हैं। अगले अनुभाग में पट्टिकाओं के बीच परावैद्युत माध्यम के प्रभाव का वर्णन किया गया है। मान लीजिए प्रत्येक पट्टिका का क्षेत्रफल A तथा उनके बीच पृथकन d है। दोनों पट्टिकाओं पर आवेश Q तथा $-Q$ है। चूँकि पट्टिकाओं की रैखिक विमाओं की तुलना में d बहुत छोटा है ($d^2 << A$), हम एकसमान आवेशित पृष्ठीय घनत्व σ की अनंत समतल चादर के विद्युत क्षेत्र के परिणाम का उपयोग कर सकते हैं (देखिए अनुभाग 1.15)। पट्टिका 1 का पृष्ठीय आवेश घनत्व $\sigma = \dfrac{Q}{A}$ तथा पट्टिका 2 का पृष्ठीय आवेश घनत्व $-\sigma$ है। विभिन्न क्षेत्रों में समीकरण (1.33) का उपयोग करने पर विद्युत क्षेत्र–



चित्र 2.25 समांतर पट्टिका संधारित्र।

बाह्य क्षेत्र I (पट्टिका 1 के ऊपर का क्षेत्र)

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = 0 \qquad (2.39)$$

बाह्य क्षेत्र II (पट्टिका 2 के नीचे का क्षेत्र)

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = 0 \qquad (2.40)$$

पट्टिकाओं 1 तथा 2 के भीतरी क्षेत्र में, दो आवेशित पट्टिकाओं के कारण विद्युत क्षेत्र जुड़ जाते हैं और हमें प्राप्त होता है–

© NCERT not to be republished

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0 A} \quad (2.41)$$

विद्युत क्षेत्र की दिशा धनावेशित पट्टिका से ऋणावेशित पट्टिका की ओर है।

इस प्रकार, दो पट्टिकाओं के बीच विद्युत क्षेत्र स्थानीकृत हो जाता है तथा यह एक सिरे से दूसरे सिरे तक एकसमान होता है। परिमित क्षेत्रफल की पट्टिकाओं के लिए पट्टिकाओं की बाहरी सीमा के निकट यह लागू नहीं होता। पट्टिकाओं के किनारों पर क्षेत्र रेखाएँ बाहर की ओर मुड़ जाती हैं–इस प्रभाव को 'क्षेत्र का उपांत प्रभाव' कहते हैं। इससे यह संकेत मिलता है कि समस्त पट्टिका पर पृष्ठीय आवेश घनत्व σ यथार्थ रूप से एकसमान नहीं होता [E तथा σ समीकरण (2.35) द्वारा संबंधित हैं]। तथापि, $d^2 << A$ के लिए ये प्रभाव किनारों से काफी दूर के क्षेत्रों के लिए उपेक्षणीय हैं; तथा वहाँ क्षेत्र समीकरण (2.41) के अनुसार होता है। अब एकसमान विद्युत क्षेत्रों के लिए विभवांतर, विद्युत क्षेत्र तथा पट्टिकाओं के बीच की दूरी के गुणनफल के बराबर होता है। अर्थात

$$V = Ed = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{Qd}{A} \quad (2.42)$$

तब समांतर पट्टिका संधारित्र C की धारिता

$$C = \frac{Q}{V} = = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \quad (2.43)$$

जो कि, अपेक्षानुसार, निकाय की ज्यामिति पर निर्भर करता है। प्रारूपी मानों, जैसे $A = 1\ \text{m}^2$, $d = 1\ \text{mm}$ के लिए

$$C = \frac{8.85\times10^{-12}\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}\times1\text{m}^2}{10^{-3}\text{m}} = 8.85\times10^{-9}\text{F} \quad (2.44)$$

[आप यह जाँच कर सकते हैं कि $1\ \text{F} = 1\ \text{C V}^{-1} = 1\ \text{C}\ \ (\text{N C}^{-1}\text{m})^{-1} = 1\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-1}$]। इससे प्रकट होता है कि जैसा पहले वर्णन किया जा चुका है कि 1 F व्यवहार में धारिता का एक बहुत बड़ा एकांक है। 1 F की 'विशालता' को देखने का एक ढंग और भी है कि हम यह ज्ञात करें कि 1F धारिता के समांतर पट्टिका संधारित्र की पट्टिकाओं का क्षेत्रफल, यदि उनके बीच दूरी 1 cm है, कितना होना चाहिए। अब चूँकि

$$A = \frac{Cd}{\varepsilon_0} = \frac{1\text{F}\times10^{-2}\text{m}}{8.85\times10^{-12}\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}} = 10^9\text{m}^2 \quad (2.45)$$

अर्थात पट्टिका की लंबाई व चौड़ाई लगभग 30 km होनी चाहिए!

2.13 धारिता पर परावैद्युत का प्रभाव

किसी बाह्य क्षेत्र में परावैद्युतों के व्यवहार के बारे में जानकारी के पश्चात आइए अब हम यह देखें कि किसी समांतर पट्टिका संधारित्र की धारिता किसी परावैद्युत की उपस्थिति द्वारा किस प्रकार रूपांतरित होती है। पहले की ही भाँति यहाँ भी हमारे पास दो बड़ी पट्टिकाएँ, जिनमें प्रत्येक का क्षेत्रफल A है, एक-दूसरे से d दूरी द्वारा पृथक हैं। पट्टिकाओं पर आवेश $\pm Q$ है, जो कि आवेश घनत्व $\pm\sigma$ (जहाँ $\sigma = Q/A$) के तदनुरूपी है। जब दोनों पट्टिकाओं के बीच निर्वात है, तब

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

तथा विभवांतर V_0 है,

© NCERT not to be republished

भौतिकी
धारिता, कार्यरत संधारित्र को प्रभावित करने वाले कारक
प्रभावी जावा शिक्षकीय सामग्री
http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/capacitance/

$V_0 = E_0 d$

इस प्रकरण में धारिता C_o है,

$$C_0 = \frac{Q}{V_0} = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \tag{2.46}$$

इसके पश्चात हम उस प्रकरण पर विचार करते हैं जिसमें दोनों पट्टिकाओं के बीच के समस्त क्षेत्र को किसी परावैद्युत द्वारा भर दिया गया है। क्षेत्र द्वारा समस्त परावैद्युत ध्रुवित हो जाता है, तथा जैसा कि ऊपर स्पष्ट किया जा चुका है, यह प्रभाव दो आवेशित चादरों (परावैद्युत के पृष्ठों पर क्षेत्र के अभिलंबवत) के समतुल्य है जिनके पृष्ठीय आवेश घनत्व σ_p तथा $-\sigma_p$ हैं। इस स्थिति में परावैद्युत में विद्युत क्षेत्र उस प्रकरण के तदनुरूपी होता है जिसमें पट्टिकाओं पर नेट आवेश घनत्व $\pm (\sigma - \sigma_p)$ होता है। अर्थात

$$E = \frac{\sigma - \sigma_P}{\varepsilon_0} \tag{2.47}$$

अत: पट्टिकाओं के सिरों पर विभवांतर

$$V = Ed = \frac{\sigma - \sigma_P}{\varepsilon_0} d \tag{2.48}$$

रैखिक परावैद्युतों के लिए, हम अपेक्षा करते हैं कि σ_p, E_0 अर्थात σ के अनुक्रमानुपाती हो। इस प्रकार $(\sigma - \sigma_p)$, σ के अनुक्रमानुपाती है तथा हम लिख सकते हैं कि–

$$\sigma - \sigma_P = \frac{\sigma}{K} \tag{2.49}$$

यहाँ K परावैद्युत का एक स्थिर अभिलक्षण है। स्पष्ट है कि $K > 1$, तब

$$V = \frac{\sigma d}{\varepsilon_0 K} = \frac{Qd}{A\varepsilon_0 K} \tag{2.50}$$

पट्टिकाओं के बीच परावैद्युत होने पर, धारिता C

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_0 KA}{d} \tag{2.51}$$

गुणनफल $\varepsilon_0 K$ को माध्यम का *परावैद्युतांक* कहते हैं तथा इसे ε के द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है।

$$\varepsilon = \varepsilon_0 K \tag{2.52}$$

निर्वात के लिए $K = 1$, तथा $\varepsilon = \varepsilon_0$; ε_0 को निर्वात का *परावैद्युतांक* कहते हैं। विमाहीन अनुपात

$$K = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \tag{2.53}$$

को पदार्थ का *परावैद्युतांक* कहते हैं। जैसी कि पहले टिप्पणी की जा चुकी है, समीकरण (2.49) से, यह स्पष्ट है कि $K > 1$ अर्थात K का मान 1 से अधिक है। समीकरणों (2.46) तथा (2.51) से

$$K = \frac{C}{C_0} \tag{2.54}$$

इस प्रकार किसी पदार्थ का परावैद्युतांक एक कारक (> 1) है जिसके द्वारा जब किसी संधारित्र की पट्टिकाओं के बीच कोई परावैद्युत पदार्थ पूर्णत: भर दिया जाता है, तो उसके धारिता के मान में निर्वात के मान से वृद्धि हो जाती है। यद्यपि हम समांतर पट्टिका संधारित्र के प्रकरण के लिए समीकरण (2.54) पर पहुँचे हैं, तथापि यह हर प्रकार के संधारित्रों पर लागू

© NCERT not to be republished

होता है तथा वास्तव में इसे व्यापक रूप में किसी पदार्थ के परावैद्युतांक की परिभाषा के रूप में देखा जा सकता है।

वैद्युत विस्थापन

हमने परावैद्युतांक की धारणा से आपको परिचित कराया तथा प्रेरित आवेश घनत्व σ_p तथा ध्रुवण **P** में बिना कोई सुस्पष्ट संबंध बताए ही समीकरण (2.54) पर पहुँच गए।

हम बिना व्युत्पत्ति के परिणाम को लेते हैं जो इस प्रकार है

$$\sigma_p = \mathbf{P}.\hat{\mathbf{n}}$$

यहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ पृष्ठ के बहिर्मुखी अभिलंबवत का एकांक सदिश है। ऊपर दिया गया समीकरण व्यापक है, यह सभी आकृतियों के परावैद्युतों पर लागू होती है। चित्र 2.23 में गुटके के लिए **P** दाहिने पृष्ठ पर $\hat{\mathbf{n}}$ के अनुदिश है तथा बाएँ पृष्ठ पर $\hat{\mathbf{n}}$ के विपरीत है। इस प्रकार दाहिने पृष्ठ पर प्रेरित आवेश घनत्व धनात्मक तथा बाएँ पृष्ठ पर यह ऋणात्मक है, जैसा कि हम पहले की गुणात्मक चर्चा में अनुमान लगा चुके हैं। विद्युत क्षेत्र के लिए सदिश रूप में समीकरण लिखने पर

$$\mathbf{E}.\hat{\mathbf{n}} = \frac{\sigma - \mathbf{P}.\hat{\mathbf{n}}}{\varepsilon_0}$$

अथवा $(\varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}).\hat{\mathbf{n}} = \sigma$

राशि $\varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$ को *वैद्युत विस्थापन* कहते हैं तथा इसे **D** द्वारा निर्दिष्ट करते हैं। **D** एक सदिश राशि है। इस प्रकार

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}, \mathbf{D}.\hat{\mathbf{n}} = \sigma,$$

D की सार्थकता यह है कि निर्वात में **E** मुक्त आवेश घनत्व σ से संबंधित है। जब कोई परावैद्युत माध्यम विद्यमान होता है, तो तदनुरूपी भूमिका **D** द्वारा ग्रहण कर ली जाती है। किसी परावैद्युत माध्यम के लिए मुक्त आवेश घनत्व σ से **D** का प्रत्यक्ष संबंध है, **E** से नहीं। चूँकि **P** तथा **E** की दिशाएँ समान हैं, सभी तीनों सदिश **P, E** तथा **D** एक-दूसरे के समांतर हैं।

D तथा **E** के परिमाणों का अनुपात

$$\frac{D}{E} = \frac{\sigma\varepsilon_0}{\sigma - \sigma_P} = \varepsilon_0 K$$

इस प्रकार,

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 K \mathbf{E}$$

तथा, $\mathbf{P} = \mathbf{D} - \varepsilon_0 \mathbf{E} = \varepsilon_0 (K-1)\mathbf{E}$

यह समीकरण (2.37) में परिभाषित वैद्युत प्रवृत्ति χ_e के लिए देती है

$$\chi_e = \varepsilon_0 (K-1)$$

उदाहरण 2.8 K परावैद्युतांक के पदार्थ के किसी गुटके का क्षेत्रफल समांतर पट्टिका संधारित्र की पट्टिकाओं के क्षेत्रफल के समान है परंतु गुटके की मोटाई $(3/4)d$ है, यहाँ d पट्टिकाओं के बीच पृथकन है। पट्टिकाओं के बीच गुटके को रखने पर संधारित्र की धारिता में क्या परिवर्तन हो जाएगा?

हल मान लीजिए जब पट्टिकाओं के बीच कोई परावैद्युत नहीं है तो पट्टिकाओं के बीच विद्युत क्षेत्र $E_0 = V_0/d$ है तथा विभवांतर V_0 है। यदि अब कोई परावैद्युत पदार्थ रख दिया जाता है तो परावैद्युत में विद्युत क्षेत्र $E = E_0 / K$ होगा। तब विभवांतर होगा

उदाहरण 2.8

© NCERT not to be republished

उदाहरण 2.8

$$V = E_0(\frac{1}{4}d) + \frac{E_0}{K}(\frac{3}{4}d)$$

$$= E_0 d(\frac{1}{4} + \frac{3}{4K}) = V_0 \frac{K+3}{4K}$$

विभवांतर $(K+3)/4K$ के गुणज द्वारा कम हो जाता है जबकि पट्टिकाओं पर आवेश Q_0 अपरिवर्तित रहता है। इस प्रकार संधारित्र की धारिता में वृद्धि हो जाती है

$$C = \frac{Q_0}{V} = \frac{4K}{K+3}\frac{Q_0}{V_0} = \frac{4K}{K+3}C_0$$

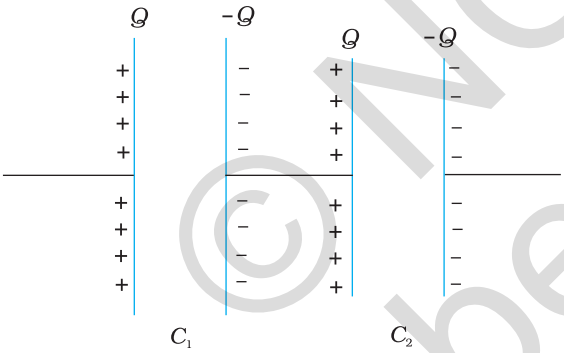
2.14 संधारित्रों का संयोजन

हम कई संधारित्रों जिनकी धारिताएँ $C_1, C_2, \ldots, C_n$ हैं, के संयोजन द्वारा एक प्रभावी धारिता C का निकाय प्राप्त कर सकते हैं। यह प्रभावी धारिता व्यष्टिगत संधारित्रों को संयोजित करने के ढंग पर निर्भर करती है। दो संभावित सरल संयोजन इस प्रकार हैं :

2.14.1 संधारित्रों का श्रेणीक्रम संयोजन

चित्र 2.26 में दो संधारित्र C_1 तथा C_2 श्रेणीक्रम में संयोजित दर्शाए गए हैं।

C_1 की बाईं तथा C_2 की दाईं पट्टिका बैटरी के दो टर्मिनलों से संयोजित हैं तथा उन पर क्रमशः Q तथा $-Q$ आवेश है। इसका अर्थ यह है कि C_1 की दाईं पट्टिका पर $-Q$ तथा C_2 की बाईं पट्टिका पर आवेश $+Q$ है। यदि ऐसा नहीं है, तो संधारित्र की दोनों पट्टिकाओं पर नेट आवेश शून्य नहीं होगा। इसके परिणामस्वरूप C_1 तथा C_2 को संयोजित करने वाले चालक में कोई विद्युत क्षेत्र होगा तथा C_1 एवं C_2 में आवेश उस समय तक प्रवाहित होता रहेगा, जब तक कि प्रत्येक संधारित्र C_1 तथा C_2 पर नेट आवेश शून्य नहीं हो जाता तथा C_1 एवं C_2 को संयोजित करने वाले चालक में विद्युत क्षेत्र शून्य नहीं होता। अतः श्रेणीक्रम संयोजन में प्रत्येक संधारित्र की दोनों पट्टिकाओं पर आवेश $(\pm Q)$ समान होता है। संयोजन के सिरों पर विभवपात V संधारित्रों C_1 तथा C_2 के सिरों पर क्रमशः विभवपातों V_1 तथा V_2 का योग होता है–



चित्र 2.26 दो संधारित्रों का श्रेणीक्रम संयोजन।

$$V = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \qquad (2.55)$$

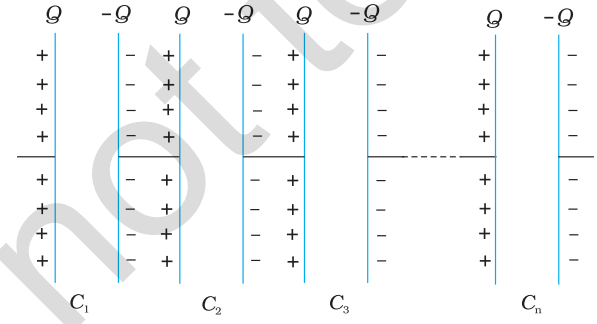
अर्थात, $$\frac{V}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}, \qquad (2.56)$$

हम इस संयोजन को एक ऐसा प्रभावी संधारित्र मान सकते हैं जिस पर आवेश Q तथा जिसके सिरों के बीच विभवांतर V हो। तब संयोजन की *प्रभावी धारिता*–

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (2.57)$$

समीकरण (2.57) की समीकरण (2.56) से तुलना करने पर हमें निम्नलिखित संबंध प्राप्त होता है–

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \qquad (2.58)$$



चित्र 2.27 n संधारित्रों का श्रेणीक्रम संयोजन।

स्पष्ट है कि इस व्युत्पत्ति को हम कितने भी संधारित्र लेकर, उन्हें इसी प्रकार संयोजित करके n संधारित्रों के लिए समीकरण (2.55) का व्यापकीकरण कर सकते हैं–

© NCERT not to be republished

$$V = V_1 + V_2 + \ldots + V_n = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \ldots + \frac{Q}{C_n} \quad (2.59)$$

जिन चरणों का हमने दो संधारित्रों के प्रकरण में उपयोग किया था, उन्हीं चरणों का उपयोग n संधारित्रों के संयोजन के लिए करके, हम n संधारित्रों के श्रेणीक्रम संयोजन के लिए प्रभावी धारिता का व्यापक सूत्र प्राप्त कर सकते हैं :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n} \quad (2.60)$$

2.14.2 संधारित्रों का पार्श्वक्रम संयोजन

चित्र 2.28(a) में दो संधारित्र पार्श्वक्रम में संयोजित दर्शाए गए हैं। इस प्रकरण में दोनों संधारित्रों पर समान विभवांतर अनुप्रयुक्त किया गया है। परंतु संधारित्र 1 की पट्टिकाओं पर आवेश ($\pm Q_1$) का परिमाण संधारित्र 2 की पट्टिकाओं पर आवेश ($\pm Q_2$) के समान होना आवश्यक नहीं है :

$$Q_1 = C_1 V,\ Q_2 = C_2 V \quad (2.61)$$

यदि इस संयोजन के तुल्य किसी संधारित्र पर आवेश

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (2.62)$$

तथा विभवांतर V है :

$$Q = CV = C_1 V + C_2 V \quad (2.63)$$

तो समीकरण (2.63) से प्रभावी धारिता C

$$C = C_1 + C_2 \quad (2.64)$$

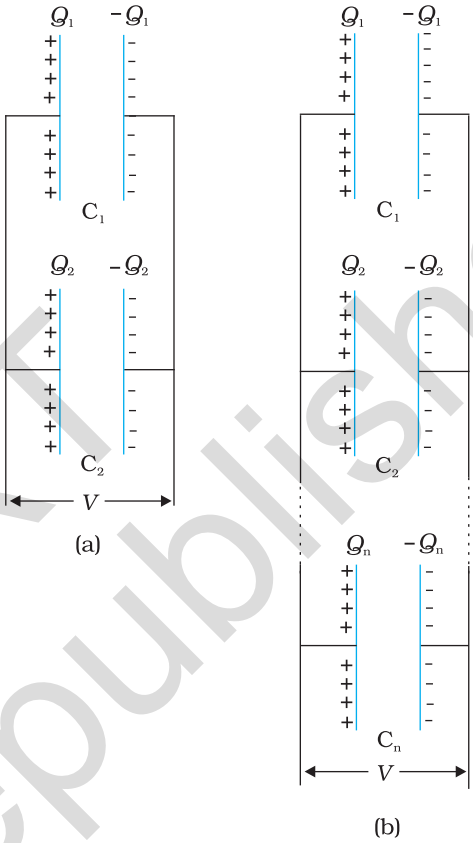
n संधारित्रों के पार्श्वक्रम संयोजन के लिए प्रभावी धारिता C के लिए व्यापक सूत्र, इसी प्रकार प्राप्त किया जा सकता है [चित्र 2.28(b)] :

$$Q = Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n \quad (2.65)$$

अर्थात, $$CV = C_1 V + C_2 V + \ldots C_n V \quad (2.66)$$

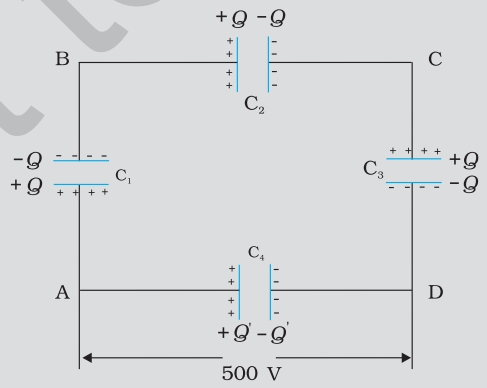
इससे प्राप्त होता है

$$C = C_1 + C_2 + \ldots C_n \quad (2.67)$$



चित्र 2.28 (a) दो संधारित्रों, (b) n संधारित्रों का पार्श्वक्रम संयोजन।

उदाहरण 2.9 चित्र 2.29 में दर्शाए अनुसार 10 μF के चार संधारित्रों के किसी नेटवर्क को 500 V के स्रोत से संयोजित किया गया है। (a) नेटवर्क की तुल्य धारिता, तथा (b) प्रत्येक संधारित्र पर आवेश ज्ञात कीजिए। (नोट: किसी *संधारित्र पर आवेश* उसकी उच्च विभव की पट्टिका पर आवेश के बराबर होता है तथा वह आवेश निम्न विभव की पट्टिका पर आवेश के परिमाण में समान, परंतु विजातीय होता है)।



चित्र 2.29

उदाहरण 2.9

© NCERT not to be republished

उदाहरण 2.9

हल

(a) दिए गए नेटवर्क में तीन संधारित्र C_1, C_2 तथा C_3 श्रेणीक्रम में संयोजित हैं। इन तीनों संधारित्रों की प्रभावी धारिता C' इस प्रकार व्यक्त की जाती है :

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$C_1 = C_2 = C_3 = 10\ \mu F$, $C' = (10/3)\ \mu F$

नेटवर्क में C_4 को C' के पार्श्वक्रम में संयोजित किया गया है। अत:, समस्त नेटवर्क की तुल्य धारिता

$$C = C' + C_4 = \frac{10}{3} + 10\ \mu F = 13.3 \mu F$$

(b) चित्र से स्पष्ट है कि C_1, C_2 तथा C_3 प्रत्येक पर आवेश समान है, मान लीजिए यह आवेश Q है। मान लीजिए C_4 पर आवेश Q' है। अब चूँकि AB के सिरों के बीच विभवांतर Q/C_1, BC के सिरों पर Q/C_2 तथा CD के सिरों पर Q/C_3 है, अत:

$$\frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = 500\,V$$

तथा $Q'/C_4 = 500$ V

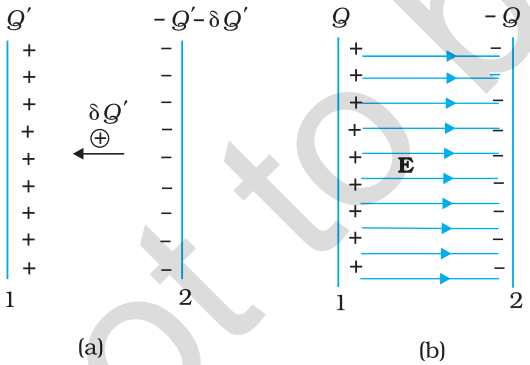
इससे हमें संधारित्रों की विभिन्न धारिताओं के दिए गए मानों के लिए

$$Q = 500\,V \times \frac{10}{3}\mu F = 1.7 \times 10^{-3}\,C \text{ तथा}$$

$$Q' = 500\,V \times 10\,\mu F = 5.0 \times 10^{-3}\,C$$

2.15 संधारित्र में संचित ऊर्जा

जैसा कि हमने ऊपर चर्चा में अध्ययन किया, संधारित्र दो चालकों का एक ऐसा निकाय होता है जिस पर आवेश Q तथा $-Q$ होते हैं तथा जिनमें कुछ पृथकन होता है। इस विन्यास में संचित ऊर्जा ज्ञात करने के लिए आरंभ में दो अनावेशित चालकों 1 तथा 2 पर विचार कीजिए। अब चालक 2 से चालक 1 पर आवेश को छोटे-छोटे टुकड़ों में स्थानांतरित करने की किसी प्रक्रिया की कल्पना कीजिए, ताकि अंत में चालक 1 पर Q आवेश आ जाए। आवेश संरक्षण नियम के अनुसार अंत में चालक 2 पर $-Q$ आवेश होता है (चित्र 2.30)।



चित्र 2.30 (a) चालक 1 पर Q' से $Q' + \delta Q'$ तक लघु चरणों में आवेश निर्मित करने में किया गया कार्य। (b) संधारित्र को आवेशित करने में किया गया कुल कार्य का अवलोकन दोनों पट्टिकाओं के बीच विद्युत क्षेत्र में संचित ऊर्जा के रूप में किया जा सकता है।

आवेश को 2 से 1 पर स्थानांतरित करने में बाह्य कार्य करना होता है, चूँकि हर चरण में चालक 2 की तुलना में चालक 1 अधिक विभव पर होता है। किए गए कुल कार्य का परिकलन करने के लिए पहले हम छोटे-छोटे चरणों में आवेश की अत्यल्प (अर्थात लोप बिंदु तक छोटी) मात्रा को स्थानांतरित करने में किया गया कार्य परिकलित करते हैं। उस माध्य स्थिति पर विचार कीजिए जिसमें चालकों 1 तथा 2 पर क्रमश: आवेश Q' तथा $-Q'$ हैं। इस स्थिति में, चालकों 1 तथा 2 के बीच विभवांतर $V' = Q'/C$ होता है, यहाँ C निकाय की धारिता है। अब यह कल्पना कीजिए कि लघु आवेश $\delta Q'$ चालक 2 से 1 में स्थानांतरित किया जाता है। इस चरण में किया गया कार्य ($\delta W'$), जिसके परिणामस्वरूप चालक 1 पर आवेश Q' से बढ़कर $Q' + \delta Q'$ हो जाता है, इस प्रकार व्यक्त किया जाता है :

$$\delta W = V' \delta Q' = \frac{Q'}{C} \delta Q' \qquad (2.68)$$

© NCERT not to be republished

चूँकि $\delta Q'$ को हम जितना चाहें छोटा बना सकते हैं, समीकरण (2.68) को हम इस प्रकार भी लिख सकते हैं

$$\delta W = \frac{1}{2C}[(Q' + \delta Q')^2 - Q'^2] \tag{2.69}$$

समीकरण (2.69) में $\delta Q'$ की द्वितीय कोटि के पद अर्थात $\delta Q'^2/2C$ की $\delta Q'$ के यादृच्छिक छोटे होने के कारण नगण्य मानकर उपेक्षा की जा सकती है। अतः समीकरण (2.68) तथा (2.69) सर्वसम हैं। कुल किया गया कार्य (W), आवेश Q' को शून्य से Q तक बढ़ाने में अत्यधिक चरणों में किए गए लघु कार्यों (δW) का योग होता है–

$$W = \sum_{\text{सभी चरणों का योग}} \delta W$$

$$= \sum_{\text{सभी चरणों का योग}} \frac{1}{2C}[(Q' + \delta Q')^2 - Q'^2] \tag{2.70}$$

$$= \frac{1}{2C}[\{\delta Q'^2 - 0\} + \{(2\delta Q')^2 - \delta Q'^2\} + \{(3\delta Q')^2 - (2\delta Q')^2\} + \ldots$$
$$+ \{Q^2 - (Q - \delta Q)^2\}] \tag{2.71}$$

$$= \frac{1}{2C}[Q^2 - 0] = \frac{Q^2}{2C} \tag{2.72}$$

यही परिणाम सीधे ही, समीकरण (2.68) से समाकलन द्वारा प्राप्त किया जा सकता है:

$$W = \int_0^Q \frac{Q'}{C}\delta Q' = \frac{1}{C}\frac{Q'^2}{2}\Big|_0^Q = \frac{Q^2}{2C}$$

इसमें आश्चर्य की कोई बात नहीं है क्योंकि समाकलन बहुत से छोटे पदों का योग ही होता है। अंतिम परिणाम, समीकरण (2.72), को हम भिन्न-भिन्न प्रकार से व्यक्त कर सकते हैं :

$$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV \tag{2.73}$$

चूँकि स्थिरवैद्युत बल संरक्षी बल है, यह कार्य निकाय में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। यही कारण है कि स्थितिज ऊर्जा का अंतिम परिणाम, समीकरण (2.73), जिस ढंग से संधारित्र का आवेश विन्यास निर्मित किया गया है, उस ढंग पर निर्भर नहीं करता। जब कोई संधारित्र निरावेशित होता है तो उसमें संचित ऊर्जा मुक्त हो जाती है। संधारित्र की पट्टिकाओं के बीच विद्युत क्षेत्र में 'संचित' हुई स्थितिज ऊर्जा के रूप में समझना संभव है। इसे देखने के लिए, सरलता की दृष्टि से, किसी समांतर पट्टिका (प्रत्येक का क्षेत्रफल A) संधारित्र जिसकी पट्टिकाओं के बीच पृथकन d है, पर विचार कीजिए।

संधारित्र में संचित ऊर्जा

$$= \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{(A\sigma)^2}{2} \times \frac{d}{\varepsilon_0 A} \tag{2.74}$$

पृष्ठीय आवेश घनत्व σ पट्टिकाओं के बीच विद्युत क्षेत्र E से संबंधित है–

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \tag{2.75}$$

समीकरणों (2.74) तथा (2.75) से प्राप्त होता है–

संधारित्र में संचित ऊर्जा

$$U = (1/2)\varepsilon_0 E^2 \times A d \tag{2.76}$$

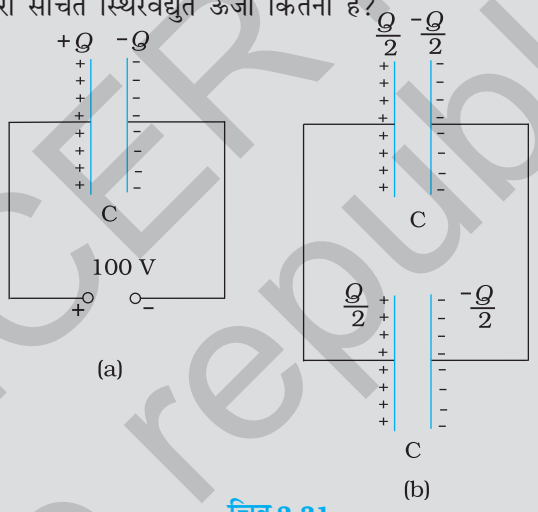
© NCERT not to be republished

ध्यान दीजिए, Ad दोनों पट्टिकाओं के बीच के क्षेत्र का आयतन है (इसी क्षेत्र में केवल विद्युत क्षेत्र होता है)। यदि हम *ऊर्जा घनत्व* को दिक्स्थान के प्रति एकांक आयतन में संचित ऊर्जा के रूप में परिभाषित करें तो, समीकरण (2.76) के अनुसार

विद्युत क्षेत्र का ऊर्जा घनत्व $u = (1/2)\varepsilon_0 E^2$ (2.77)

यद्यपि हमने समीकरण (2.77) समांतर पट्टिका संधारित्र के प्रकरण में व्युत्पन्न की है, किसी विद्युत क्षेत्र का ऊर्जा घनत्व से संबंधित परिणाम वास्तव में, अत्यंत व्यापक है तथा यह किसी भी आवेश विन्यास के कारण विद्युत क्षेत्र पर लागू होता है।

उदाहरण 2.10 (a) 900 pF के किसी संधारित्र को 100 V बैटरी से आवेशित किया गया [चित्र 2.31(a)]। संधारित्र में संचित कुल स्थिरवैद्युत ऊर्जा कितनी है? (b) इस संधारित्र को बैटरी से वियोजित करके किसी अन्य 900 pF के संधारित्र से संयोजित किया गया। निकाय द्वारा संचित स्थिरवैद्युत ऊर्जा कितनी है?



चित्र 2.31

हल

(a) संधारित्र पर आवेश

$Q = CV = 900 \times 10^{-12}\ \text{F} \times 100\ \text{V} = 9 \times 10^{-8}\ \text{C}$

संधारित्र द्वारा संचित ऊर्जा

$= (1/2)\, CV^2 = (1/2)\, QV$

$= (1/2) \times 9 \times 10^{-8}\text{C} \times 100\ \text{V} = 4.5 \times 10^{-6}\ \text{J}$

(b) स्थायी स्थिति में, दोनों संधारित्रों की धनात्मक पट्टिकाएँ समान विभव पर हैं, तथा उनकी ऋणात्मक पट्टिकाएँ उसी समान विभव पर हैं। मान लीजिए उभयनिष्ठ विभवांतर V' है। तब, प्रत्येक संधारित्र पर आवेश $Q' = CV'$। आवेश संरक्षण द्वारा, $Q' = Q/2$, इसमें यह अंतर्निहित है कि, $V' = \text{V}/2$। तब निकाय की कुल ऊर्जा

$$= 2 \times \frac{1}{2} Q'V' = \frac{1}{4} QV = 2.25 \times 10^{-6}\,\text{J}$$

अत: (a) से (b) में जाने पर यद्यपि आवेश की कोई हानि नहीं होती, तथापि अंतिम ऊर्जा आरंभिक ऊर्जा की केवल आधी होती है। *तब शेष ऊर्जा कहाँ चली जाती है?* निकाय को स्थिति (b) तक व्यवस्थित होने में कुछ समय लगता है। इस अवधि में पहले संधारित्र से दूसरे संधारित्र में एक अस्थायी विद्युत धारा प्रवाहित होती है। इस अवधि में ऊष्मा तथा विद्युत चुंबकीय विकिरणों के रूप में कुछ ऊर्जा-क्षय हो जाती है।

उदाहरण 2.10

© NCERT not to be republished

2.16 वान डे ग्राफ जनित्र

यह एक ऐसी मशीन है जो कुछ मिलियन वोल्ट की कोटि की वोल्टता निर्मित कर सकती है। इन वोल्टताओं के फलस्वरूप प्राप्त विशाल विद्युत क्षेत्रों का उपयोग आवेशित कणों (इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, आयन) को त्वरित करके उनकी ऊर्जाओं में वृद्धि करने में किया जाता है। अत्यधिक उच्च ऊर्जा युक्त आवेशित कणों की आवश्यकता लघुस्तरीय द्रव्य की संरचना के परीक्षण के लिए किए जाने वाले प्रयोगों में होती है। इस मशीन के कार्य करने के सिद्धांत निम्न प्रकार हैं–

मान लीजिए हमारे पास त्रिज्या R का एक बड़ा गोलीय चालक खोल (कोश) है जिसे हमने आवेश Q दिया है। यह आवेश स्वयं गोले के समस्त पृष्ठ पर एकसमान रूप से फैल जाता है। जैसा कि हम अनुभाग 1.14 में देख चुके हैं, गोले के बाहर विद्युत क्षेत्र ठीक ऐसा ही है जैसा कि गोले के केंद्र पर बिंदु आवेश Q के कारण होता है, जबकि गोले के भीतर विद्युत क्षेत्र लुप्त हो जाता है। अत: गोले के बाहर बिंदु आवेश का विभव होता है; तथा गोले के भीतर विभव स्थिर होता है, अर्थात विभव का मान त्रिज्या R पर विभव के बराबर होता है। अत:

आवेश Q वहन करने वाले R त्रिज्या के गोलीय चालक खोल के भीतर विभव समान है, इसका मान है

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R} \qquad (2.78)$$

अब, जैसा कि चित्र 2.32 में दर्शाया गया है, हम यह मानते हैं कि किसी प्रकार से q आवेश युक्त r त्रिज्या का छोटा गोला बड़े गोले के भीतर उसके केंद्र पर रख देते हैं। तब स्पष्ट रूप से इस नए आवेश q के कारण चित्र में दर्शायी गई त्रिज्याओं पर विभवों के निम्नलिखित मान होंगे–

q आवेश युक्त r त्रिज्या के छोटे गोले के कारण विभव

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r} \quad \text{छोटे गोले के पृष्ठ पर}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R} \quad \text{त्रिज्या } R \text{ के बड़े खोल पर} \qquad (2.79)$$

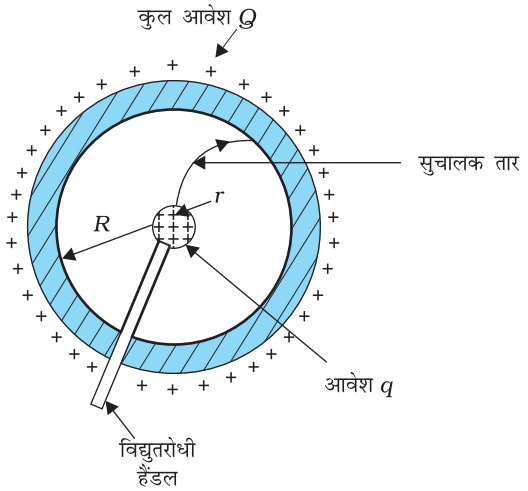
q पर Q दोनों आवेशों को ध्यान में रखते हुए हमें कुल विभव V तथा विभवांतर के मान इस प्रकार प्राप्त होते हैं–

$$V(R) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q}{R} + \frac{q}{R}\right),$$

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q}{R} + \frac{q}{r}\right),$$

$$V(r) - V(R) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right) \qquad (2.80)$$

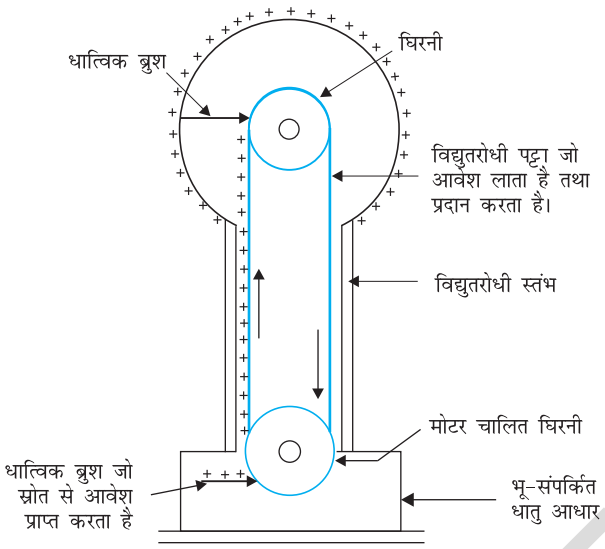
अब यह मानिए कि q धनात्मक है। हम यह जानते हैं कि चाहे बड़े खोल पर कितना भी आवेश संचित क्यों न हो जाए और यदि वह धनात्मक भी है, तो भी भीतरी गोला सदैव उच्च विभव पर होता है : $V(r) - V(R)$ अंतर सदैव धनात्मक रहता है। Q के कारण विभव त्रिज्या R तक स्थिर रहता है, अत: वह अंतर करते समय निरस्त हो जाता है!



चित्र 2.32 स्थिरवैद्युत जनित्र के सिद्धांत का स्पष्टीकरण।

भौतिकी
वान डे ग्राफ जनित्र, सिद्धांत व प्रदर्शन
http://www.physics.gla.ac.uk/~kskeldon/PubSci/exhibits/E10/

© NCERT not to be republished



चित्र 2.33 वान डे ग्राफ जनित्र की संरचना का सिद्धांत।

इसका तात्पर्य यह है कि अब यदि हम छोटे तथा बड़े गोले को तार से संयोजित करें, तो तुरंत ही आवेश छोटे गोले से बड़े गोले में प्रवाहित होगा, यद्यपि आवेश Q का परिमाण काफी अधिक है। धनावेश अपनी प्रवृत्ति के अनुसार उच्च विभव से निम्न विभव की ओर प्रवाहित होता है। इस प्रकार, बशर्ते हम किसी भी प्रकार से छोटे आवेशित गोले को बड़े गोले के भीतर रखने में सफल हो जाएँ, हम इसी ढंग से बड़े गोले पर आवेश का अंबार लगाते रह सकते हैं। समीकरण (2.78) के अनुसार बाहरी गोले का विभव भी बढ़ता जाएगा और इसमें कम-से-कम उस समय तक तो वृद्धि होती ही रहेगी, जब तक वायु के क्षेत्र को ध्वस्त करने की सीमा तक नहीं पहुँच जाते।

यही वान डे ग्राफ जनित्र का सिद्धांत है। यह एक ऐसी मशीन है जिसके द्वारा कई मिलियन वोल्ट का विभवांतर तथा वायु के क्षेत्र को ध्वस्त कर सकने योग्य, जो कि लगभग 3×10^6 V/m है, विद्युत क्षेत्र उत्पन्न किया जा सकता है। चित्र 2.33 में वान डे ग्राफ का व्यवस्था आरेख दर्शाया गया है। कई मीटर ऊँचा एक विद्युतरोधी स्तंभ एक विशाल चालक खोल (जिसकी त्रिज्या कई मीटर होती है) को सँभाले रखता है। इसमें दो घिरनियाँ लगी होती हैं-जिनमें एक घिरनी खोल के केंद्र पर तथा दूसरी फर्श के पास होती है। इन दोनों घिरनियों से होकर एक लंबा, पतला, बिना सिरे वाला, विद्युतरोधी पदार्थ (जैसे रबड़ अथवा रेशम) का पट्टा गुज़रता है। इस पट्टे को निचली घिरनी से जुड़े किसी मोटर द्वारा निरंतर घुमाया जाता है। यह पट्टा निरंतर ही उस आवेश को, जो नीचे लगे ब्रुश द्वारा पट्टे पर छिड़का जाता है, नीचे से ऊपर शीर्ष तक ले जाता रहता है। यहाँ यह अपने धनावेश को बड़े खोल से संयोजित दूसरे चालक ब्रुश को स्थानांतरित कर देता है। इस प्रकार धनावेश खोल पर स्थानांतरित होकर उसके समस्त बाहरी पृष्ठ पर एकसमान रूप से फैल जाता है। इस प्रकार, इस ढंग से 6 अथवा 8 मिलियन वोल्ट तक की उच्च वोल्टता का अंतर (भूमि के सापेक्ष) बनाए रखा जा सकता है।

सारांश

1. स्थिरवैद्युत बल एक संरक्षी बल है। किसी बाह्य बल (स्थिरवैद्युत बल के समान एवं विपरीत) द्वारा आवेश q को बिंदु R से बिंदु P तक लाने में किया गया कार्य $V_P - V_R$ होता है, जो कि अंतिम बिंदु तथा प्रारंभिक बिंदु के बीच आवेश की स्थितिज ऊर्जाओं का अंतर होता है।
2. किसी बिंदु पर विभव (किसी बाह्य एजेंसी) प्रति एकांक धनावेश पर किया गया वह कार्य होता है जो उस आवेश को अनंत से उस बिंदु तक लाने में किया जाता है। किसी बिंदु पर विभव किसी योज्यता स्थिरांक के अंतर्गत यादृच्छिक होता है, चूँकि जो राशि भौतिक रूप से महत्वपूर्ण है वह दो बिंदुओं के बीच विभवांतर है। यदि अनंत पर किसी आवेश के कारण विभव को शून्य चुनें (अथवा मानें) तो मूल बिंदु पर रखे किसी आवेश Q के कारण स्थिति सदिश $\mathbf{r}$ वाले बिंदु पर वैद्युत विभव

$$V(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r}$$

3. मूल बिंदु पर स्थित $\mathbf{p}$ द्विध्रुव आघूर्ण के बिंदु द्विध्रुव के कारण स्थिति सदिश $\mathbf{r}$ के किसी बिंदु पर स्थिरवैद्युत विभव

$$V(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{\mathbf{p}\cdot\hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

© NCERT not to be republished

यह परिणाम किसी द्विध्रुव (जिस पर आवेश $-q$ तथा q एक-दूसरे से $2a$ दूरी पर हों) के लिए $r >> a$ शर्त के साथ लागू होता है।

4. स्थिति सदिश $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, ..., \mathbf{r}_n$ के आवेशों $q_1, q_2, ..., q_n$ के आवेश विन्यास का अध्यारोपण सिद्धांत द्वारा किसी बिंदु P पर विभव

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{q_1}{r_{1P}} + \frac{q_2}{r_{2P}} + ... + \frac{q_n}{r_{nP}}\right)$$

यहाँ पर r_{1P} आवेश q_1 तथा P के बीच, r_{2P} आवेश q_2 तथा P के बीच की दूरी है, तथा अन्य दूरियाँ इसी प्रकार हैं।

5. समविभव पृष्ठ एक ऐसा पृष्ठ होता है जिसके सभी बिंदुओं पर विभव का समान मान होता है। किसी बिंदु आवेश के लिए, उस आवेश को केंद्र मानकर खींचे गए संकेंद्री गोले समविभव पृष्ठ होते हैं। समविभव पृष्ठ के किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र **E** उस बिंदु से गुज़रने वाले अभिलंब के अनुदिश होता है। **E** की दिशा वही होती है जिस दिशा में वैद्युत विभव तीव्रता से घटता है।

6. किसी आवेशों के निकाय में संचित स्थितिज ऊर्जा (किसी बाह्य बल द्वारा) आवेशों को उनकी स्थितियों पर लाकर एकत्र करने में किए जाने वाले कार्य के बराबर होती है। दो आवेशों q_1 तथा q_2 की $\mathbf{r}_1$ तथा $\mathbf{r}_2$ पर स्थितिज ऊर्जा

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r_{12}}$$

यहाँ r_{12} दो आवेशों q_1 तथा q_2 के बीच की दूरी है।

7. किसी बाह्य विभव $V(\mathbf{r})$ में आवेश q की स्थितिज ऊर्जा $qV(\mathbf{r})$ होती है। एकसमान विद्युत क्षेत्र **E** में किसी द्विध्रुव **p** की स्थितिज ऊर्जा $-\mathbf{p}.\mathbf{E}$ होती है।

8. किसी चालक के अभ्यंतर में स्थिरवैद्युत क्षेत्र **E** शून्य होता है। किसी आवेशित चालक के पृष्ठ के तुरंत बाहर **E** पृष्ठ के अभिलंबवत् होता है।

$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{\mathbf{n}}$, यहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ बहिर्मुखी अभिलंब के अनुदिश एकांक सदिश तथा σ पृष्ठीय आवेश घनत्व है। किसी चालक के आवेश केवल उसके पृष्ठ पर ही विद्यमान रह सकते हैं। किसी चालक के अंतर्गत (भीतर) तथा उसके पृष्ठ पर विभव हर बिंदु पर नियत रहता है। चालक के भीतर किसी आवेशविहीन कोटर (गुहा) में विद्युत क्षेत्र शून्य होता है।

9. संधारित्र दो ऐसे चालकों का निकाय होता है जो किसी विद्युतरोधी द्वारा एक-दूसरे से पृथक रहते हैं। इसकी धारिता C को $C = Q/V$ द्वारा परिभाषित किया जाता है, यहाँ Q तथा $-Q$ इसके दो चालकों के आवेश हैं तथा V इन दोनों के बीच विभवांतर है। C का निर्धारण पूर्णतया संधारित्र की ज्यामितीय आकृति, आकार, दो चालकों की आपेक्षिक स्थितियों द्वारा किया जाता है। धारिता का एकांक फैरड है: $1\ F = 1\ C\ V^{-1}$

किसी समांतर पट्टिका संधारित्र (पट्टिकाओं के बीच निर्वात) के लिए

$$C = \varepsilon_o A/d$$

यहाँ A प्रत्येक पट्टिका का क्षेत्रफल तथा d इनके बीच का पृथकन है।

10. यदि किसी संधारित्र की दो पट्टिकाओं के बीच कोई विद्युतरोधी पदार्थ (परावैद्युत) भरा है, तो आवेशित पट्टिकाओं के विद्युत क्षेत्र के कारण परावैद्युत में नेट द्विध्रुव आघूर्ण प्रेरित हो जाता है। इस प्रभाव, जिसे ध्रुवण कहते हैं, के कारण विपरीत दिशा में एक विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है। इससे परावैद्युत के भीतर नेट विद्युत क्षेत्र, तथा इसीलिए पट्टिकाओं के बीच विभवांतर घट जाता है। परिणामस्वरूप संधारित्र की धारिता C, C_0 (जबकि पट्टिकाओं के बीच कोई माध्यम नहीं अर्थात निर्वात है) से बढ़ जाती है। $C = K\,C_0$

जहाँ K विद्युतरोधी पदार्थ का परावैद्युतांक है।

11. संधारित्रों के श्रेणीक्रम संयोजन के लिए, कुल धारिता C निम्नलिखित संबंध द्वारा दर्शाई जाती है

© NCERT not to be republished

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ...$$

पार्श्वक्रम संयोजन के लिए कुल धारिता C होती है–

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + ...$$

जहाँ C_1, C_2, C_3 ..... व्यष्टिगत धारिताएँ हैं।

12. आवेश Q, वोल्टता V तथा धारिता C के किसी संधारित्र में संचित ऊर्जा E निम्नलिखित संबंधों द्वारा व्यक्त की जाती है–

$$U = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

किसी विद्युत क्षेत्र के स्थान पर वैद्युत आवेश घनत्व (प्रति एकांक आयतन ऊर्जा) $(1/2)\varepsilon_0 E^2$ होता है।

13. वान डे ग्राफ जनित्र में एक विशाल गोलीय चालक कोश (कुछ मीटर व्यास) होता है। एक गतिशील विद्युतरोधी पट्टी तथा उचित ब्रुशों के द्वारा कोश को निरंतर आवेश द्वारा स्थानांतरित किया जाता है। इसके परिणामस्वरूप कई मिलियन वोल्ट की कोटि का विभवांतर निर्मित हो जाता है जिसका उपयोग आवेशित कणों को त्वरित करने में किया जा सकता है।

भौतिक राशि	प्रतीक	विमाएँ	मात्रक	टिप्पणी
विभव	ϕ अथवा V	$[M^1 L^2 T^{-3} A^{-1}]$	V	विभवांतर भौतिक दृष्टि से महत्वपूर्ण होता है।
धारिता	C	$[M^{-1} L^{-2} T^{-4} A^2]$	F	
ध्रुवण	**P**	$[L^{-2} AT]$	$C\ m^{-2}$	द्विध्रुव आघूर्ण प्रति एकांक आयतन
परावैद्युतांक	K	[विमाहीन]		

विचारणीय विषय

1. स्थिरवैद्युतिकी में स्थिर आवेशों के बीच लगने वाले बलों का अध्ययन किया जाता है। परंतु जब किसी आवेश पर बल आरोपित है तो वह विराम में कैसे हो सकता है? अत: जब दो आवेशों के बीच लगने वाले स्थिरवैद्युत बल के विषय में चर्चा करते हैं, तो यह समझा जाना चाहिए कि प्रत्येक आवेश कुछ अनिर्दिष्ट बलों, जो उस आवेश पर लगे नेट कूलॉम बल का विरोध करते हैं, के प्रभाव से विराम में है।
2. कोई संधारित्र इस प्रकार विन्यासित होता है कि वह विद्युत क्षेत्र रेखाओं को एक छोटे क्षेत्र तक ही सीमित किए रखता है। इस प्रकार, यद्यपि विद्युत क्षेत्र काफी प्रबल हो सकता है परंतु संधारित्र की दो पट्टिकाओं के बीच विभवांतर कम होता है।
3. किसी गोलीय आवेशित कोश के पृष्ठ के आर-पार विद्युत क्षेत्र संतत नहीं होता। गोले के भीतर यह शून्य तथा बाहर यह होता है। परंतु वैद्युत विभव पृष्ठ के आर-पार संतत होता है, इसका मान पृष्ठ पर $q/4\pi\varepsilon_0 R$ होता है।
4. किसी द्विध्रुव पर लगा बल आघूर्ण $\mathbf{p} \times \mathbf{E}$ इसमें **E** के परित: दोलन उत्पन्न करता है। केवल तभी जब प्रक्रिया क्षयकारी है तो दोलन अवमंदित होते हैं तथा द्विध्रुव अंतत: **E** के संरेखित हो जाता है।

© NCERT not to be republished

5. किसी आवेश q के कारण अपनी स्थिति पर विभव अपरिभाषित है–यह अनंत होता है।
6. किसी आवेश q की स्थितिज ऊर्जा के व्यंजक $qV(\mathbf{r})$ में, $V(\mathbf{r})$ बाह्य आवेशों के कारण विभव है तथा q के कारण विभव नहीं है। जैसा कि बिंदु 5 में देखा, यह व्यंजक उस स्थिति में, जबकि स्वयं आवेश q के कारण विभव को $V(\mathbf{r})$ में सम्मिलित कर लें, सही रूप में परिभाषित नहीं होगा।
7. किसी चालक के भीतर कोटर (गुहा) बाह्य वैद्युत प्रभावों से परिरक्षित रहता है। यहाँ यह बात ध्यान देने योग्य है कि स्थिरवैद्युत परिरक्षण उस परिस्थिति में प्रभावी नहीं रहता जिसमें आप कोटर में भीतर आवेश रख देते हैं, तब तो चालक का बहिर्भाग भीतर के आवेशों के विद्युत क्षेत्रों से परिरक्षित नहीं रहता।

अभ्यास

2.1 5×10^{-8} C तथा -3×10^{-8} C के दो आवेश 16 cm दूरी पर स्थित हैं। दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा के किस बिंदु पर वैद्युत विभव शून्य होगा? अनंत पर विभव शून्य लीजिए।

2.2 10 cm भुजा वाले एक सम-षट्भुज के प्रत्येक शीर्ष पर 5 μC का आवेश है। षट्भुज के केंद्र पर विभव परिकलित कीजिए।

2.3 6 cm की दूरी पर अवस्थित दो बिंदुओं A एवं B पर दो आवेश 2 μC तथा –2 μC रखे हैं।
(a) निकाय के सम विभव पृष्ठ की पहचान कीजिए।
(b) इस पृष्ठ के प्रत्येक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दिशा क्या है?

2.4 12 cm त्रिज्या वाले एक गोलीय चालक के पृष्ठ पर 1.6×10^{-7}C का आवेश एकसमान रूप से वितरित है।
(a) गोले के अंदर
(b) गोले के ठीक बाहर
(c) गोले के केंद्र से 18 cm पर अवस्थित, किसी बिंदु पर विद्युत क्षेत्र क्या होगा?

2.5 एक समांतर पट्टिका संधारित्र, जिसकी पट्टिकाओं के बीच वायु है, की धारिता 8pF ($1\text{pF} = 10^{-12}$ F) है। यदि पट्टिकाओं के बीच की दूरी को आधा कर दिया जाए और इनके बीच के स्थान में 6 परावैद्युतांक का एक पदार्थ भर दिया जाए तो इसकी धारिता क्या होगी?

2.6 9 pF धारिता वाले तीन संधारित्रों को श्रेणीक्रम में जोड़ा गया है।
(a) संयोजन की कुल धारिता क्या है?
(b) यदि संयोजन को 120 V के संभरण (सप्लाई) से जोड़ दिया जाए, तो प्रत्येक संधारित्र पर क्या विभवांतर होगा?

2.7 2 pF, 3 pF और 4 pF धारिता वाले तीन संधारित्र पार्श्वक्रम में जोड़े गए हैं।
(a) संयोजन की कुल धारिता क्या है?
(b) यदि संयोजन को 100 V के संभरण से जोड़ दें तो प्रत्येक संधारित्र पर आवेश ज्ञात कीजिए।

2.8 पट्टिकाओं के बीच वायु वाले एक समांतर पट्टिका संधारित्र की प्रत्येक पट्टिका का क्षेत्रफल 6×10^{-3} m^2 तथा उनके बीच की दूरी 3 mm है। संधारित्र की धारिता को परिकलित कीजिए। यदि इस संधारित्र को 100 V के संभरण से जोड़ दिया जाए तो संधारित्र की प्रत्येक पट्टिका पर कितना आवेश होगा?

2.9 अभ्यास 2.8 में दिए गए संधारित्र की पट्टिकाओं के बीच यदि 3 mm मोटी अभ्रक की एक शीट (पत्तर) (परावैद्युतांक = 6) रख दी जाती है तो स्पष्ट कीजिए कि क्या होगा जब
(a) विभव (वोल्टेज) संभरण जुड़ा ही रहेगा।
(b) संभरण को हटा लिया जाएगा?

© NCERT not to be republished

2.10 12 pF का एक संधारित्र 50 V की बैटरी से जुड़ा है। संधारित्र में कितनी स्थिरवैद्युत ऊर्जा संचित होगी?

2.11 200 V संभरण (सप्लाई) से एक 600 pF के संधारित्र को आवेशित किया जाता है। फिर इसको संभरण से वियोजित कर देते हैं तथा एक अन्य 600 pF वाले अनावेशित संधारित्र से जोड़ देते हैं। इस प्रक्रिया में कितनी ऊर्जा का ह्रास होता है?

अतिरिक्त अभ्यास

2.12 मूल बिंदु पर एक 8 mC का आवेश अवस्थित है। -2×10^{-9} C के एक छोटे से आवेश को बिंदु P (0, 0, 3 cm) से, बिंदु R (0, 6 cm, 9 cm) से होकर, बिंदु Q (0, 4 cm, 0) तक ले जाने में किया गया कार्य परिकलित कीजिए।

2.13 b भुजा वाले एक घन के प्रत्येक शीर्ष पर q आवेश है। इस आवेश विन्यास के कारण घन के केंद्र पर विद्युत विभव तथा विद्युत क्षेत्र ज्ञात कीजिए।

2.14 1.5 μC और 2.5 μC आवेश वाले दो सूक्ष्म गोले 30 cm दूर स्थित हैं।

(a) दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा के मध्य बिंदु पर, और

(b) मध्य बिंदु से होकर जाने वाली रेखा के अभिलंब तल में मध्य बिंदु से 10 cm दूर स्थित किसी बिंदु पर विभव और विद्युत क्षेत्र ज्ञात कीजिए।

2.15 आंतरिक त्रिज्या r_1 तथा बाह्य त्रिज्या r_2 वाले एक गोलीय चालक खोल (कोश) पर Q आवेश है।

(a) खोल के केंद्र पर एक आवेश q रखा जाता है। खोल के भीतरी और बाहरी पृष्ठों पर पृष्ठ आवेश घनत्व क्या है?

(b) क्या किसी कोटर (जो आवेश विहीन है) में विद्युत क्षेत्र शून्य होता है, चाहे खोल गोलीय न होकर किसी भी अनियमित आकार का हो? स्पष्ट कीजिए।

2.16 (a) दर्शाइए कि आवेशित पृष्ठ के एक पार्श्व से दूसरे पार्श्व पर स्थिरवैद्युत क्षेत्र के अभिलंब घटक में असांतत्य होता है, जिसे

$$(\mathbf{E}_2 - \mathbf{E}_1).\hat{\mathbf{n}} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

द्वारा व्यक्त किया जाता है। जहाँ $\hat{\mathbf{n}}$ एक बिंदु पर पृष्ठ के अभिलंब एकांक सदिश है तथा σ उस बिंदु पर पृष्ठ आवेश घनत्व है ($\hat{\mathbf{n}}$ की दिशा पार्श्व 1 से पार्श्व 2 की ओर है।)। अत: दर्शाइए कि चालक के ठीक बाहर विद्युत क्षेत्र $\sigma\,\hat{\mathbf{n}}/\varepsilon_0$ है।

(b) दर्शाइए कि आवेशित पृष्ठ के एक पार्श्व से दूसरे पार्श्व पर स्थिरवैद्युत क्षेत्र का स्पर्शीय घटक संतत है।

[*संकेत:* (a) के लिए गाउस-नियम का उपयोग कीजिए। (b) के लिए इस सत्य का उपयोग करें कि संवृत पाश पर एक स्थिरवैद्युत क्षेत्र द्वारा किया गया कार्य शून्य होता है)।

2.17 रैखिक आवेश घनत्व λ वाला एक लंबा आवेशित बेलन एक खोखले समाक्षीय चालक बेलन द्वारा घिरा है। दोनों बेलनों के बीच के स्थान में विद्युत क्षेत्र कितना है?

2.18 एक हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन लगभग 0.53 Å दूरी पर परिबद्ध हैं :

(a) निकाय की स्थितिज ऊर्जा का eV में परिकलन कीजिए, जबकि प्रोटॉन से इलेक्ट्रान के मध्य की अनंत दूरी पर स्थितिज ऊर्जा को शून्य माना गया है।

(b) इलेक्ट्रॉन को स्वतंत्र करने में कितना न्यूनतम कार्य करना पड़ेगा, यदि यह दिया गया है कि इसकी कक्षा में गतिज ऊर्जा (a) में प्राप्त स्थितिज ऊर्जा के परिमाण की आधी है?

(c) यदि स्थितिज ऊर्जा को 1.06 Å पृथक्करण पर शून्य ले लिया जाए तो, उपर्युक्त (a) और (b) के उत्तर क्या होंगे?

2.19 यदि H_2 अणु के दो में से एक इलेक्ट्रॉन को हटा दिया जाए तो हमें हाइड्रोजन आणविक आयन (H_2^+) प्राप्त होगा। (H_2^+) की निम्नतम अवस्था (ground state) में दो प्रोटॉन के बीच दूरी

© NCERT not to be republished

लगभग1.5Å है और इलेक्ट्रॉन प्रत्येक प्रोटॉन से लगभग 1 Å की दूरी पर है। निकाय की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात कीजिए। स्थितिज ऊर्जा की शून्य स्थिति के चयन का उल्लेख कीजिए।

2.20 a और b त्रिज्याओं वाले दो आवेशित चालक गोले एक तार द्वारा एक-दूसरे से जोड़े गए हैं। दोनों गोलों के पृष्ठों पर विद्युत क्षेत्रों में क्या अनुपात है? प्राप्त परिणाम को, यह समझाने में प्रयुक्त कीजिए कि किसी एक चालक के तीक्ष्ण और नुकीले सिरों पर आवेश घनत्व, चपटे भागों की अपेक्षा अधिक क्यों होता है।

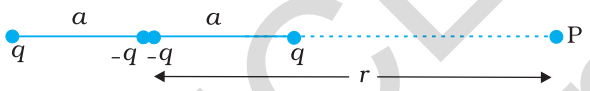
2.21 बिंदु $(0, 0, -a)$ तथा $(0, 0, a)$ पर दो आवेश क्रमशः $-q$ और $+q$ स्थित हैं।

(a) बिंदुओं $(0, 0, z)$ और $(x, y, 0)$ पर स्थिरवैद्युत विभव क्या है?

(b) मूल बिंदु से किसी बिंदु की दूरी r पर विभव की निर्भरता ज्ञात कीजिए, जबकि $r/a >> 1$ है।

(c) x-अक्ष पर बिंदु $(5, 0, 0)$ से बिंदु $(-7, 0, 0)$ तक एक परीक्षण आवेश को ले जाने में कितना कार्य करना होगा? यदि परीक्षण आवेश के उन्हीं बिंदुओं के बीच x-अक्ष से होकर न ले जाएँ तो क्या उत्तर बदल जाएगा?

2.22 नीचे दिए गए चित्र 2.34 में एक आवेश विन्यास जिसे *विद्युत चतुर्ध्रुवी* कहा जाता है, दर्शाया गया है। चतुर्ध्रुवी के अक्ष पर स्थित किसी बिंदु के लिए r पर विभव की निर्भरता प्राप्त कीजिए जहाँ $r/a >> 1$। अपने परिणाम की तुलना एक विद्युत द्विध्रुव व विद्युत एकल ध्रुव (अर्थात् किसी एकल आवेश) के लिए प्राप्त परिणामों से कीजिए।

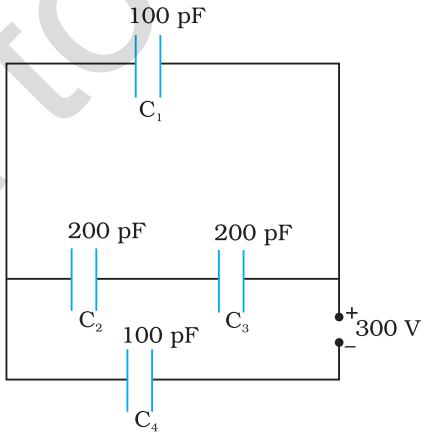


चित्र 2.34

2.23 एक वैद्युत टैक्नीशियन को 1 kV विभवांतर के परिपथ में 2 μF संधारित्र की आवश्यकता है। 1 μF के संधारित्र उसे प्रचुर संख्या में उपलब्ध हैं जो 400 V से अधिक का विभवांतर वहन नहीं कर सकते। कोई संभव विन्यास सुझाइए जिसमें न्यूनतम संधारित्रों की आवश्यकता हो।

2.24 2 F वाले एक समांतर पट्टिका संधारित्र की पट्टिका का क्षेत्रफल क्या है, जबकि पट्टिकाओं का पृथकन 0.5 cm है? [अपने उत्तर से आप यह समझ जाएँगे कि सामान्य संधारित्र μF या कम परिसर के क्यों होते हैं? तथापि विद्युत-अपघटन संधारित्रों (Electrolytic capacitors) की धारिता कहीं अधिक (0.1 F) होती है क्योंकि चालकों के बीच अति सूक्ष्म पृथकन होता है]।

2.25 चित्र 2.35 के नेटवर्क (जाल) की तुल्य धारिता प्राप्त कीजिए। 300 V संभरण (सप्लाई) के साथ प्रत्येक संधारित्र का आवेश व उसकी वोल्टता ज्ञात कीजिए।



चित्र 2.35

© NCERT not to be republished

2.26 किसी समांतर पट्टिका संधारित्र की प्रत्येक पट्टिका का क्षेत्रफल 90 cm^2 है और उनके बीच पृथकन 2.5 mm है। 400 V संभरण से संधारित्र को आवेशित किया गया है।

(a) संधारित्र कितना स्थिरवैद्युत ऊर्जा संचित करता है?

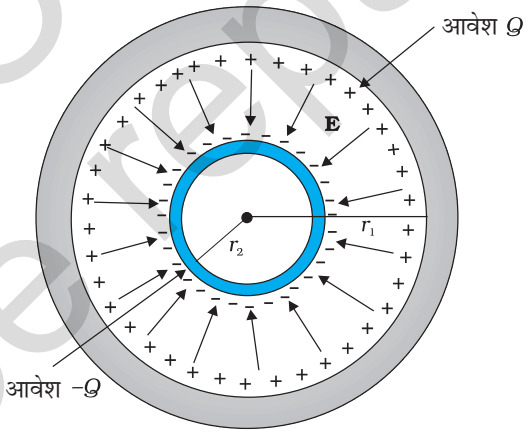
(b) इस ऊर्जा को पट्टिकाओं के बीच स्थिरवैद्युत क्षेत्र में संचित समझकर प्रति एकांक आयतन ऊर्जा u ज्ञात कीजिए। इस प्रकार, पट्टिकाओं के बीच विद्युत क्षेत्र E के परिमाण और u में संबंध स्थापित कीजिए।

2.27 एक 4 μF के संधारित्र को 200 V संभरण (सप्लाई) से आवेशित किया गया है। फिर संभरण से हटाकर इसे एक अन्य अनावेशित 2 μF के संधारित्र से जोड़ा जाता है। पहले संधारित्र की कितनी स्थिरवैद्युत ऊर्जा का ऊष्मा और वैद्युत-चुंबकीय विकिरण के रूप में ह्रास होता है?

2.28 दर्शाइए कि एक समांतर पट्टिका संधारित्र की प्रत्येक पट्टिका पर बल का परिमाण $\frac{1}{2}QE$ है, जहाँ Q संधारित्र पर आवेश है और E पट्टिकाओं के बीच विद्युत क्षेत्र का परिमाण है। घटक ½ के मूल को समझाइए।

2.29 दो संकेंद्री गोलीय चालकों जिनको उपयुक्त विद्युतरोधी आलंबों से उनकी स्थिति में रोका गया है, से मिलकर एक गोलीय संधारित्र बना है (चित्र 2.36)। दर्शाइए कि गोलीय संधारित्र की धारिता C इस प्रकार व्यक्त की जाती है :

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0 r_1 r_2}{r_1 - r_2}$$



चित्र 2.36

यहाँ r_1 और r_2 क्रमशः बाहरी तथा भीतरी गोलों की त्रिज्याएँ हैं।

2.30 एक गोलीय संधारित्र के भीतरी गोले की त्रिज्या 12 cm तथा बाहरी गोले की त्रिज्या 13 cm है। बाहरी गोला भू-संपर्कित है तथा भीतरी गोले पर 2.5 μC का आवेश दिया गया है। संकेंद्री गोलों के बीच के स्थान में 32 परावैद्युतांक का द्रव भरा है।

(a) संधारित्र की धारिता ज्ञात कीजिए।

(b) भीतरी गोले का विभव क्या है?

(c) इस संधारित्र की धारिता की तुलना एक 12 cm त्रिज्या वाले किसी वियुक्त गोले की धारिता से कीजिए। व्याख्या कीजिए कि गोले की धारिता इतनी कम क्यों है।

2.31 सावधानीपूर्वक उत्तर दीजिए:

(a) दो बड़े चालक गोले जिन पर आवेश Q_1 और Q_2 हैं, एक-दूसरे के समीप लाए जाते हैं। क्या इनके बीच स्थिरवैद्युत बल का परिमाण तथ्यतः

$Q_1Q_2/4\pi\varepsilon_0 r^2$

द्वारा दर्शाया जाता है, जहाँ r इनके केंद्रों के बीच की दूरी है?

© NCERT not to be republished

(b) यदि कूलॉम के नियम में $1/r^3$ निर्भरता का समावेश ($1/r^2$ के स्थान पर) हो तो क्या गाउस का नियम अभी भी सत्य होगा?

(c) स्थिरवैद्युत क्षेत्र विन्यास में एक छोटा परीक्षण आवेश किसी बिंदु पर विराम में छोड़ा जाता है। क्या यह उस बिंदु से होकर जाने वाली क्षेत्र रेखा के अनुदिश चलेगा?

(d) इलेक्ट्रॉन द्वारा एक वृत्तीय कक्षा पूरी करने में नाभिक के क्षेत्र द्वारा कितना कार्य किया जाता है? यदि कक्षा दीर्घवृत्ताकार हो तो क्या होगा?

(e) हमें ज्ञात है कि एक आवेशित चालक के पृष्ठ के आर-पार विद्युत क्षेत्र असंतत होता है। क्या वहाँ वैद्युत विभव भी असंतत होगा?

(f) किसी एकल चालक की धारिता से आपका क्या अभिप्राय है?

(g) एक संभावित उत्तर की कल्पना कीजिए कि पानी का परावैद्युतांक (= 80), अभ्रक के परावैद्युतांक (=6) से अधिक क्यों होता है?

2.32 एक बेलनाकार संधारित्र में 15 cm लंबाई एवं त्रिज्याएँ 1.5 cm तथा 1.4 cm के दो समाक्ष बेलन हैं। बाहरी बेलन भू-संपर्कित है और भीतरी बेलन को 3.5 μC का आवेश दिया गया है। निकाय की धारिता और भीतरी बेलन का विभव ज्ञात कीजिए। अंत्य प्रभाव (अर्थात् सिरों पर क्षेत्र रेखाओं का मुड़ना) की उपेक्षा कर सकते हैं।

2.33 3 परावैद्युतांक तथा 10^7 V m^{-1} की परावैद्युत सामर्थ्य वाले एक पदार्थ से 1 kV वोल्टता अनुमतांक के समांतर पट्टिका संधारित्र की अभिकल्पना करनी है। [परावैद्युत सामर्थ्य वह अधिकतम विद्युत क्षेत्र है जिसे कोई पदार्थ बिना भंग हुए अर्थात् आंशिक आयनन द्वारा बिना वैद्युत संचरण आरंभ किए सहन कर सकता है] सुरक्षा की दृष्टि से क्षेत्र को कभी भी परावैद्युत सामर्थ्य के 10% से अधिक नहीं होना चाहिए। 50 pF धारिता के लिए पट्टिकाओं का कितना न्यूनतम क्षेत्रफल होना चाहिए?

2.34 व्यवस्थात्मकत: निम्नलिखित में संगत समविभव पृष्ठ का वर्णन कीजिए:

(a) z-दिशा में अचर विद्युत क्षेत्र

(b) एक क्षेत्र जो एकसमान रूप से बढ़ता है, परंतु एक ही दिशा (मान लीजिए z-दिशा) में रहता है।

(c) मूल बिंदु पर कोई एकल धनावेश, और

(d) एक समतल में समान दूरी पर समांतर लंबे आवेशित तारों से बने एकसमान जाल।

2.35 किसी वान डे ग्राफ के प्रकार के जनित्र में एक गोलीय धातु कोश 15×10^6 V का एक इलेक्ट्रोड बनाना है। इलेक्ट्रोड के परिवेश की गैस की परावैद्युत सामर्थ्य 5×10^7 V m^{-1} है। गोलीय कोश की आवश्यक न्यूनतम त्रिज्या क्या है? (इस अभ्यास से आपको यह ज्ञान होगा कि एक छोटे गोलीय कोश से आप स्थिरवैद्युत जनित्र, जिसमें उच्च विभव प्राप्त करने के लिए कम आवेश की आवश्यकता होती है, नहीं बना सकते।)

2.36 r_1 त्रिज्या तथा q_1 आवेश वाला एक छोटा गोला, r_2 त्रिज्या और q_2 आवेश के गोलीय खोल (कोश) से घिरा है। दर्शाइए यदि q_1 धनात्मक है तो (जब दोनों को एक तार द्वारा जोड़ दिया जाता है) आवश्यक रूप से आवेश, गोले से खोल की तरफ ही प्रवाहित होगा, चाहे खोल पर आवेश q_2 कुछ भी हो।

2.37 निम्न का उत्तर दीजिए :

(a) पृथ्वी के पृष्ठ के सापेक्ष वायुमंडल की ऊपरी परत लगभग 400 kV पर है, जिसके संगत विद्युत क्षेत्र ऊँचाई बढ़ने के साथ कम होता है। पृथ्वी के पृष्ठ के समीप विद्युत क्षेत्र लगभग 100 V m^{-1} है। तब फिर जब हम घर से बाहर खुले में जाते हैं, तो हमें विद्युत आघात क्यों नहीं लगता? (घर को लोहे का पिंजरा मान लीजिए, अत: उसके अंदर कोई विद्युत क्षेत्र नहीं है !)

(b) एक व्यक्ति शाम के समय अपने घर के बाहर 2 m ऊँचा अवरोधी पट्ट रखता है जिसके शिखर पर एक 1 m^2 क्षेत्रफल की बड़ी ऐलुमिनियम की चादर है। अगली सुबह वह यदि

© NCERT not to be republished

धातु की चादर को छूता है तो क्या उसे विद्युत आघात लगेगा?

(c) वायु की थोड़ी-सी चालकता के कारण सारे संसार में औसतन वायुमंडल में विसर्जन धारा 1800 A मानी जाती है। तब यथासमय वातावरण स्वयं पूर्णत: निरावेशित होकर विद्युत उदासीन क्यों नहीं हो जाता? दूसरे शब्दों में, वातावरण को कौन आवेशित रखता है?

(d) तड़ित के दौरान वातावरण की विद्युत ऊर्जा, ऊर्जा के किन रूपों में क्षयित होती है?

[संकेत: पृष्ठ आवेश घनत्व $=10^{-9}\ C\ m^{-2}$ के अनुरूप पृथ्वी के (पृष्ठ) पर नीचे की दिशा में लगभग $100\ V\ m^{-1}$ का विद्युत क्षेत्र होता है। लगभग 50 km ऊँचाई तक (जिसके बाहर यह अच्छा चालक है) वातावरण की थोड़ी सी चालकता के कारण लगभग +1800 C का आवेश प्रति सेकंड समग्र रूप से पृथ्वी में पंप होता रहता है। तथापि, पृथ्वी निरावेशित नहीं होती, क्योंकि संसार में हर समय लगातार तड़ित तथा तड़ित-झंझा होती रहती है, जो समान मात्रा में ऋणावेश पृथ्वी में पंप कर देती है।]

© NCERT not to be republished

Chapter 2(Hindi).PMD 92 19-12-2013, 12:10

अध्याय 3

विद्युत धारा

बहुविकल्पी प्रश्न I (MCQ I)

3.1 वृत की आकृति के किसी धारावाही तार (धारा I) पर विचार कीजिए। ध्यान दीजिए जैसे-जैसे तार के अनुदिश धारा विकसित होती है, **j** (धारा घनत्व) की दिशा यथार्थ ढंग से परिवर्तित होती है, जबकि धारा I अप्रभावित रहती है। इसके लिए अनिवार्य रूप से उत्तरदायी ऐजेन्ट है-

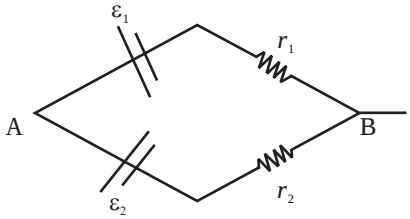
(a) स्रोत का विद्युतवाहक बल (emf)

(b) तार के पृष्ठ पर संचित आवेशों द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्र

(c) तार के दिए गए खण्ड के ठीक पीछे के आवेश जो प्रतिकर्षण द्वारा आवेशों को मात्र सही ढंग से धकेलते हैं।

(d) आगे के आवेश

3.2 दो बैटरियाँ जिनके emf ε_1 तथा ε_2 [$\varepsilon_2 > \varepsilon_1$] तथा आन्तरिक प्रतिरोध क्रमशः r_1 तथा r_2 हैं, चित्र 3.1 में दर्शाए अनुसार पार्श्व क्रम में संयोजित हैं।



चित्र 3.1

(a) दोनों सेलों का तुल्य emf $\varepsilon_{\text{तुल्य}}$, ε_1 तथा ε_2 के बीच अर्थात्, $\varepsilon_1 < \varepsilon_{\text{तुल्य}} < \varepsilon_2$ है।

(b) तुल्य emf $\varepsilon_{\text{तुल्य}}, \varepsilon_1$ से कम है।
(c) सदैव $\varepsilon_{\text{तुल्य}} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ होता है।
(d) $\varepsilon_{\text{तुल्य}}$ आन्तरिक प्रतिरोधों r_1 तथा r_2 पर निर्भर नहीं है।

3.3 मीटर सेतु के उपयोग द्वारा प्रतिरोध R मापा जाना है। एक छात्र मानक प्रतिरोध S का चयन 100Ω करता है। वह शून्य विक्षेप बिन्दु $l_1 = 2.9$ cm पर पाता है। उसे परिशुद्धता में सुधार के लिए प्रयत्न करने को कहा जाता है। इसके लिए निम्नलिखित में कौन उपयोगी ढंग है?

(a) उसे l_1 को और अधिक परिशुद्धता से मापना चाहिए।
(b) उसे S को 1000Ω लेकर प्रयोग दोहराना चाहिए।
(c) उसे S को 3Ω लेकर प्रयोग दोहराना चाहिए।
(d) उसे मीटर सेतु के उपयोग द्वारा अधिक परिशुद्ध माप की आशा छोड़ देनी चाहिए।

3.4 5V तथा 10V सन्निकट emf के दो सेलों की तुलना परिशुद्ध रूप से 400 cm लम्बाई के विभवमापी द्वारा की जानी है।

(a) विभवमापी में उपयोग होने वाली बैटरी की वोल्टता 8V होनी चाहिए।
(b) विभवमापी की वोल्टता 15V हो सकती है तथा R को इस प्रकार समायोजित कर सकते हैं कि तार के सिरों पर विभवपात 10V से थोड़ा अधिक हो।
(c) स्वयं तार के पहले 50 cm भाग पर विभवपात 10V होना चाहिए।
(d) विभवमापी का उपयोग प्रायः प्रतिरोधों की तुलना के लिए किया जाता है, विभवों के लिए नहीं।

3.5 आयताकार अनुप्रस्थकाट $1\text{cm} \times \frac{1}{2}$ cm तथा 10 cm लम्बाई की कोई धातु की छड़ विपरीत फलकों पर किसी बैटरी से संयोजित है। इसका प्रतिरोध

(a) तब अधिकतम होगा जब बैटरी $1\text{ cm} \times \frac{1}{2}$ cm फलकों के बीच संयोजित है।
(b) तब अधिकतम होगा जब बैटरी 10 cm × 1 cm फलकों के बीच संयोजित है।
(c) तब अधिकतम होगा जब बैटरी $10\text{ cm} \times \frac{1}{2}$ cm फलकों के बीच संयोजित है।
(d) समान रहेगा चाहे तीनों फलकों में से किसी के बीच भी बैटरी को संयोजित करें।

3.6 इलेक्ट्रॉनों का कौन सा अभिलक्षण चालक में धारा के प्रवाह को निर्धारित करता है?

(a) केवल अपवाह वेग
(b) केवल तापीय वेग
(c) अपवाह वेग तथा तापीय वेग दोनों
(d) न तो अपवाह और न तापीय वेग

बहुविकल्पी प्रश्न II (MCQ II)

3.7 किरखोफ संधि नियम अनुचिन्तन है

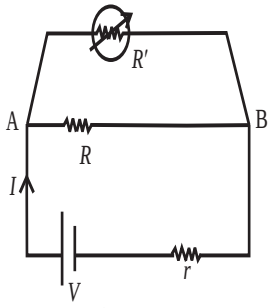
(a) धारा घनत्व सदिश के संरक्षण का।

(b) आवेश के संरक्षण का।

(c) इस तुल्य का कि आवेशित कण जिस संवेग से किसी संधि के समीप पहुँचता है, उस संधि को छोड़ते समय यह संवेग अपरिवर्तित (सदिश की भाँति) रहता है।

(d) किसी संधि पर आवेश का संचय नहीं होने का।

3.8 चित्र 3.2. में दर्शाए सरल परिपथ पर विचार कीजिए। अवयव परिवर्ती प्रतिरोध R' को दर्शाता है। R' को R_0 से अनन्त तक परिवर्तित किया जा सकता है। r बैटरी का आन्तरिक प्रतिरोध है ($r<<R<<R_0$)।



चित्र 3.2

(a) जैसे R' में परिवर्तन होता है AB के सिरों पर विभवपात लगभग नियत रहता है।

(b) जैसे R′ में परिवर्तन होता है, R' से प्रवाहित धारा लगभग नियत रहती है।

(c) धारा I सुग्राही रूप से R' पर निर्भर करती है।

(d) सदैव ही $I \geq \dfrac{V}{r+R}$

3.9 अर्धचालकों, विद्युतरोधियों तथा धातुओं की प्रतिरोधकता $\rho(T)$ की ताप-निर्भरता नीचे दिए गए कारकों पर सार्थक रूप से निर्भर करती है:

(a) आवेश वाहकों की संख्या ताप T के साथ परिवर्तित हो सकती है।

(b) दो क्रमागत संघट्टों के बीच काल-अन्तराल T पर निर्भर कर सकता है।

(c) पदार्थ की लम्बाई, T का फलन हो सकती है।

(d) आवेश वाहकों का द्रव्यमान, T का फलन है।

3.10 व्हीटस्टोन सेतु के द्वारा किसी अज्ञात प्रतिरोध R की माप की जानी है (एन.सी.ई.आर.टी. की पुस्तक का चित्र 3.25 देखें)। दो छात्र प्रयोग को दो विभिन्न ढंगों से करते हैं। पहला छात्र 'R_2' = 10Ω तथा 'R_1' = 5Ω लेता है। दूसरा छात्र R_2 = 1000Ω तथा R_1 = 500Ω लेता है। मानक भुजा में दोनों R_3 = 5Ω लेते हैं। दोनों छात्र त्रुटियों की सीमाओं में, $R = \dfrac{R_2}{R_1} R_3 = 10\Omega$ पाते हैं।

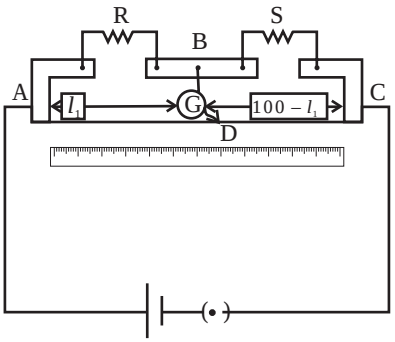
(a) दोनों छात्रों की माप में त्रुटियाँ समान हैं।

(b) माप में त्रुटियाँ उस परिशुद्धता पर भी निर्भर करती हैं जिससे R_2 तथा R_1 को मापा जा सकता है।

(c) यदि छात्र अधिक मानों के R_2 तथा R_1 का उपयोग करता है तो भुजाओं से प्रवाहित धारा क्षीण होगी जिसके कारण यथार्थ शून्य विक्षेप स्थिति निर्धारित करना अधिक कठिन हो जाएगा।

(d) व्हीटस्टोन सेतु अत्यंत यथार्थ उपकरण है तथा इसकी माप में त्रुटियाँ नहीं होतीं।

3.11 किसी मीटर सेतु में बिन्दु D शून्य विक्षेप बिन्दु है (चित्र 3.3)।



चित्र 3.3

(a) मीटर सेतु में प्रतिरोधों के इस समुच्चय के लिए कोई अन्य शून्य विक्षेप बिन्दु नहीं हो सकता।

(b) जब जॉकी बिन्दु D के बायीं ओर मीटर सेतु के तार के किसी बिन्दु से सम्पर्क करती है तो तार से B में धारा प्रवाहित होती है।

(c) जब जॉकी बिन्दु D के दायीं ओर मीटर सेतु के तार के किसी बिन्दु से सम्पर्क करती है तो तार में गैल्वेनोमीटर से होते हुए B से धारा प्रवाहित होती है।

(d) जब R बढ़ता है तो, शून्य विक्षेप बिन्दु, बायीं ओर विस्थापित हो जाता है।

अति लघुउत्तरीय (VSA)

3.12 क्या किसी विद्युत नेटवर्क में किसी संधि के पार गति में, आवेश का संवेग संरक्षित रहता है?

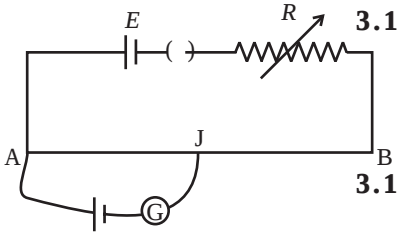
3.13 विश्रांति काल τ अनुप्रयुक्त क्षेत्र E पर लगभग निर्भर नहीं करता जबकि ताप के साथ इसमें सार्थक रूप से परिवर्तन हो जाता है। पहला तथ्य (अंश में) ओम-नियम के लिए उत्तरदायी है जबकि दूसरा तथ्य ताप के साथ ρ में परिवर्तन की ओर ले जाता है। ऐसा क्यों है? सविस्तार प्रतिपादित कीजिए।

3.14 व्हीटस्टोन सेतु में शून्य विक्षेप विधि के क्या लाभ हैं? अन्य किसी विधि द्वारा $R_{\text{अज्ञात}}$ परिकलित करने के लिए किस अतिरिक्त माप की आवश्यकता होगी?

3.15 विभवमापी में तारों को संयोजित करने के लिए धातु की मोटी पट्टियों को उपयोग करने का क्या लाभ है?

3.16 घरों में विद्युत के लिए तांबे (Cu) अथवा ऐलुमिनियम (Al) के तारों का उपयोग किया जाता है। ऐसा करने के पीछे किन-किन विचारों को ध्यान में रखा जाता है?

3.17 मानक प्रतिरोध कुण्डलियों को बनाने में मिश्रातुओं का उपयोग क्यों किया जाता है?



चित्र 3.4

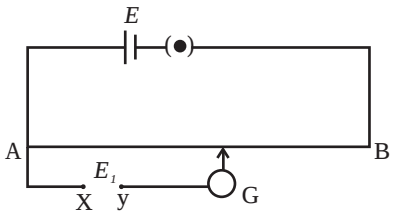
3.18 R_C प्रतिरोध की संचार केबिलों से होकर किसी युक्ति को शक्ति P प्रदान की जानी है। यदि R के सिरों पर वोल्टता V तथा इससे प्रवाहित धारा I है तो शक्ति-क्षय ज्ञात कीजिए। इसे किस प्रकार कम किया जा सकता है?

3.19 AB कोई विभवमापी-तार है (चित्र 3.4)। यदि R के मान में वृद्धि कर दें, तो विक्षेप बिन्दु (J) किस दिशा में स्थानान्तरित हो जाएगा?

3.20 विभवमापी से कोई प्रयोग करते समय यह पाया गया कि, विक्षेप एक ही दिशा में होता है (चित्र 3.5) तथा (i) तार के सिरे A से सिरे B की ओर जाने पर विक्षेप कम हो जाता है, (ii) जबकि जॉकी को सिरे B की ओर ले जाने पर विक्षेप बढ़ जाता है।

(a) सेल E_1 का कौन सा टर्मिनल, धनात्मक या ऋणात्मक, प्रकरण (i) में X से संयोजित है?

(b) प्रकरण (ii) में सेल E_1 का कौन सा टर्मिनल X से संयोजित है?



चित्र 3.5

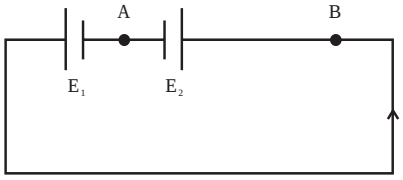
3.21 कोई सेल जिसका emf E तथा आन्तरिक प्रतिरोध r है किसी बाह्य प्रतिरोध R के सिरों से संयोजित है। R के सिरों के बीच विभवान्तर में परिवर्तन तथा R के बीच ग्राफ खींचिए।

लघुउत्तरीय (SA)

3.22 पहले R प्रतिरोध के n समान प्रतिरोधकों के समुच्चय को श्रेणीक्रम में emf E तथा आन्तरिक प्रतिरोध R की बैटरी से संयोजित किया गया। परिपथ में धारा I प्रवाहित होती है। तत्पश्चात् n प्रतिरोधकों को इसी बैटरी से पार्श्वक्रम में संयोजित किया गया। यह पाया गया कि धारा 10 गुना बढ़ गई। 'n' का क्या मान है?

3.23 मान लीजिए n प्रतिरोधक R_1 .....R_n जिनमें $R_{\text{अधिकतम}}$ = अधिकतम $\{R_1 \ldots\ldots R_n\}$ तथा $R_{\text{न्यूनतम}}$ = न्यूनतम $\{R_1 \ldots\ldots R_n\}$। यह दर्शाइए कि जब इन्हें पार्श्वक्रम में संयोजित करते हैं तो परिणामी प्रतिरोध $R_P < R_{\text{न्यूनतम}}$ तथा जब इन्हें श्रेणीक्रम में संयोजित करते हैं तो परिणामी प्रतिरोध $R_S > R_{\text{अधिकतम}}$ होता है। इसकी भौतिक व्याख्या कीजिए।

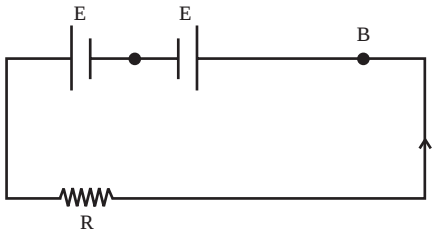
3.24 चित्र 3.6 में दर्शाए परिपथ में दो सेल एक दूसरे के साथ प्रतिकूलता से संयोजित हैं। सेल E_1 का emf 6V तथा आन्तरिक प्रतिरोध 2Ω, और सेल E_2 का emf 4V तथा आन्तरिक प्रतिरोध 8Ω है। बिन्दु A तथा B के बीच विभवान्तर ज्ञात कीजिए।



चित्र 3.6

3.25 समान विद्युत वाहक बल E, परन्तु आन्तरिक प्रतिरोध r_1 तथा r_2 के दो सेल श्रेणीक्रम में किसी बाह्य प्रतिरोध R से संयोजित हैं (चित्र 3.7)। R का क्या मान होना चाहिए ताकि पहले सेल के टर्मिनलों के बीच विभवान्तर शून्य हो जाए।

3.26 दो चालक समान पदार्थ के बने हैं तथा इनकी लम्बाई भी समान हैं।

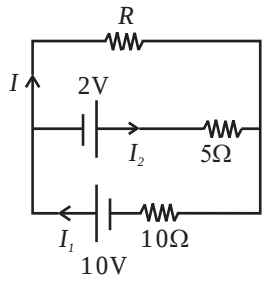


चित्र 3.7

चालक 1mm व्यास का ठोस तार है। चालक B 2mm बाह्य व्यास तथा 1mm आंतरिक व्यास की खोखली नलिका है। प्रतिरोधों R_A तथा R_B का अनुपात ज्ञात कीजिए।

3.27 मान लीजिए कोई ऐसा परिपथ है जिसमें केवल प्रतिरोध एवं बैटरियाँ हैं। मान लीजिए हमें सभी वोल्टताओं तथा सभी प्रतिरोधों को दो गुना (अथवा n गुना) करना है यह दर्शाइए कि धाराएँ अपरिवर्तित रहती हैं। इसे कक्षा 12 की एन.सी.ई.आर.टी. की पाठ्यपुस्तक के अभ्यास 3.7 के लिए परिकलित कीजिए।

दीर्घउत्तरीय (LA)

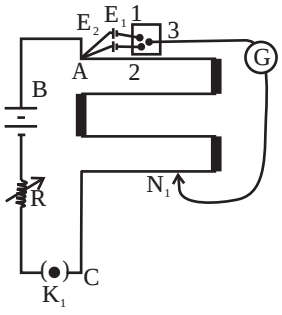


चित्र 3.8

3.28 दो सेल जिनकी वोल्टता 10V तथा 2V एवं आन्तरिक प्रतिरोध क्रमशः 10Ω तथा 5Ω हैं, पार्श्वक्रम में इस प्रकार संयोजित हैं कि 10V बैटरी का धनात्मक टर्मिनल 2V बैटरी के ऋणात्मक टर्मिनल से संयोजित है (चित्र 3.8)। संयोजन की प्रभावी वोल्टता तथा प्रभावी प्रतिरोध ज्ञात कीजिए।

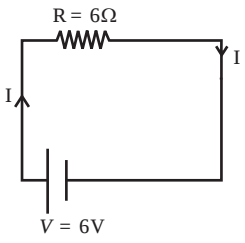
3.29 किसी कमरे में 220V की वोल्टता पर कोई एयर कन्डीशनर प्रतिदिन 5 घन्टे चलता है। कमरे में बिछे विद्युत तार ताँबे के बने हैं जिनकी त्रिज्या 1 mm तथा लम्बाई 10m है। प्रतिदिन ऊर्जा की खपत 10 व्यापारिक मात्रक है। इसका कितना भाग तारों में जूल-तापन में नष्ट हो जाता है। यदि तार इसी लम्बाई और व्यास के हों परन्तु ऐलुमिनियम के बने हों तो क्या होगा?

$[\rho_{cu} = 1.7 \times 10^{-8}_{\Omega m}, \rho_{Al} = 2.7 \times 10^{-8}\,\Omega m]$



चित्र 3.9

3.30 विभवमापी के किसी प्रयोग में, $V_B = 10V$ है। R को 50Ω पर समायोजित किया गया है (चित्र 3.9)। कोई छात्र जो किसी बैटरी की वोल्टता E_1 (लगभग 8V) मापना चाहता है यह पाता है कि कोई शून्य विक्षेप बिन्दु संभव नहीं है। फिर वह R को घटाकर 10Ω कर देता है और विभवमापी के अंतिम (चौथे) खण्ड में शून्य विक्षेप बिन्दु प्राप्त कर लेता है। दूसरे प्रकरण में विभवमापी के तार का प्रतिरोध तथा तार के सिरों पर विभवपात प्रति एकांक लम्बाई ज्ञात कीजिए।



चित्र 3.10

3.31 (i) चित्र 3.10 के परिपथ पर विचार कीजिए। शून्य धारा की आरम्भिक अवस्था से अपवाह वेग की स्थिति तक (तापीय गति की उपेक्षा करते हुए) इलेक्ट्रॉनों द्वारा कितनी ऊर्जा अवशोषित की जाती है?

(ii) इलेक्ट्रॉन, तापीय ऊर्जा को प्रति सेकण्ड RI^2 की दर से ऊर्जा प्रदान करते हैं। प्रश्न (i) में ऊर्जा के साथ आप क्या समय स्केल संबद्ध करेंगे? n = प्रति आयतन इलेक्ट्रॉनों की संख्या = $10^{29}/m^3$, परिपथ की लम्बाई = 10 cm, अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल = A = $(1mm)^2$

अध्याय 4

गतिमान आवेश और चुंबकत्व

© NCERT not to be republished

4.1 भूमिका

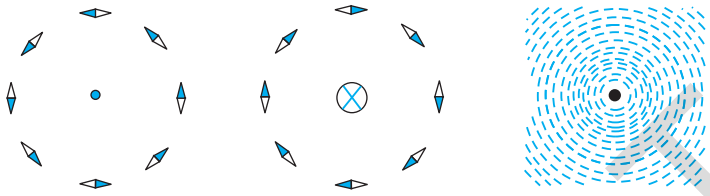
2000 वर्ष से भी पहले विद्युत तथा चुंबकत्व दोनों ही के बारे में लोगों को ज्ञान था। फिर भी लगभग 200 वर्ष पूर्व, 1820 में* यह स्पष्ट अनुभव किया गया कि इन दोनों में अटूट संबंध है। 1820 की ग्रीष्म ऋतु में, डच भौतिकविज्ञानी हैंस क्रिश्चियन ऑर्स्टेड ने, अपने एक भाषण के दौरान प्रयोग प्रदर्शित करते हुए देखा कि एक सीधे तार में विद्युत धारा प्रवाहित करने पर पास रखी हुई चुंबकीय सुई में सुस्पष्ट विक्षेप प्राप्त होता है। उन्होंने इस परिघटना पर शोध आरंभ किया। उन्होंने पाया कि चुंबकीय सुई तार के अभिलंबवत तल में तार की स्थिति के केंद्रत: वृत्त की स्पर्श रेखा के समांतर संरेखित होती है। इस स्थिति को चित्र 4.1(a) में दर्शाया गया है। पर यह देखने के लिए तार में पर्याप्त धारा प्रवाहित होनी चाहिए और चुंबकीय सुई तार के काफी निकट रखी होनी चाहिए ताकि पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की उपेक्षा की जा सके। यदि तार में धारा की दिशा विपरीत कर दी जाए तो चुंबकीय सुई भी घूम कर विपरीत दिशा में संरेखित हो जाती है [चित्र 4.1(b) देखिए]। तार में धारा का परिमाण बढ़ाने या सुई को तार के निकट लाने से चुंबकीय सुई का विक्षेप बढ़ जाता है। तार के चारों ओर यदि लौह चूर्ण छिड़कें तो इसके कण तार के चारों ओर संकेंद्री वृत्तों में व्यवस्थित हो जाते हैं [चित्र 4.1(c) देखिए]। इस परिघटना से ऑर्स्टेड ने निष्कर्ष निकाला कि *गतिमान आवेश (धारा) अपने चारों ओर एक चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं।*

इसके पश्चात प्रयोगों की गति तीव्र हो गई। सन 1864 में विद्युत तथा चुंबकत्व के सर्वमान्य नियमों को जेम्स मैक्सवेल ने एकीकृत करके नए नियम बनाए और यह स्पष्ट अनुभव किया कि

---

* अध्याय–1 में पृष्ठ 3 पर बॉक्स देखिए।

प्रकाश वास्तव में विद्युत चुंबकीय तरंगें हैं। हर्ट्ज़ ने रेडियो तरंगों की खोज की तथा 19वीं शताब्दी के अंत तक सर जे.सी. बोस तथा मार्कोनी ने इन तरंगों को उत्पन्न किया। 20वीं शताब्दी में विज्ञान तथा प्रौद्योगिकी में आश्चर्यजनक प्रगति हुई है। यह प्रगति विद्युत चुंबकत्व के हमारे बढ़ते ज्ञान तथा विद्युत चुंबकीय तरंगों को उत्पन्न, प्रबर्धित, प्रेषित तथा संसूचित करने वाली युक्तियों की खोज के कारण हुई है।



चित्र 4.1 एक सीधे लंबे धारावाही तार के कारण उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र। तार, कागज़ के तल पर अभिलंबवत है। तार के चारों ओर चुंबकीय सुइयों की एक मुद्रिका बनाई गई है। चुंबकीय सुइयों का अभिविन्यास– (a) जब धारा कागज़ के तल से बाहर की ओर प्रवाहित होती है। (b) जब धारा कागज़ के तल से अंदर की ओर प्रवाहित होती है। (c) लौह चूर्ण कणों का तार के चारों ओर अभिविन्यास। सुइयों के काले सिरे उत्तरी ध्रुव प्रदर्शित करते हैं। यहाँ भू-चुंबकत्व के प्रभाव की उपेक्षा की गई है।

इस अध्याय में हम यह देखेंगे कि चुंबकीय क्षेत्र किस प्रकार आवेशित कणों; जैसे–इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन तथा विद्युत धारावाही तारों पर बल आरोपित करते हैं। हम यह भी सीखेंगे कि विद्युत धाराएँ किस प्रकार चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती हैं। हम यह देखेंगे कि साइक्लोट्रॉन में किस प्रकार कणों को अति उच्च ऊर्जाओं तक त्वरित किया जा सकता है। हम गैल्वेनोमीटर द्वारा विद्युतधाराओं एवं वोल्टताओं के संसूचन के विषय में भी अध्ययन करेंगे।

इस अध्याय तथा आगे आने वाले चुंबकत्व के अध्यायों में हम निम्नलिखित परिपाटी को अपनाएँगे। कागज़ के तल से बाहर की ओर निर्गत विद्युत धारा अथवा क्षेत्र (विद्युत अथवा चुंबकीय) को एक बिंदु (⊙) द्वारा व्यक्त किया जाता है। कागज़ के तल में भीतर की ओर जाती विद्युत धारा अथवा विद्युत क्षेत्र को एक क्रॉस (⊗)* द्वारा व्यक्त किया जाता है। चित्र 4.1(a) तथा 4.1(b) क्रमशः इन दो स्थितियों के तदनुरूपी हैं।

4.2 चुंबकीय बल

4.2.1 स्रोत और क्षेत्र

किसी चुंबकीय क्षेत्र **B** की अभिधारणा को प्रस्तावित करने से पहले हम संक्षेप में यह दोहराएँगे कि हमने अध्याय 1 के अंतर्गत विद्युत क्षेत्र **E** के विषय में क्या सीखा है। हमने यह देखा है कि दो आवेशों के बीच अन्योन्य क्रिया पर दो चरणों में विचार किया जा सकता है। आवेश Q जोकि विद्युत क्षेत्र का स्रोत है, एक विद्युत क्षेत्र **E** उत्पन्न करता है–



हैंस क्रिश्चियन ऑर्स्टेड (1777–1851) डेनमार्क के भौतिकविज्ञानी एवं रसायनज्ञ, कॉपेनहेगन में प्रोफ़ेसर थे। उन्होंने यह देखा कि किसी चुंबकीय सुई को जब एक ऐसे तार के पास रखा जाता है जिसमें विद्युत धारा प्रवाहित हो रही हो तो उसमें विक्षेप होता है। इस खोज ने वैद्युत एवं चुंबकीय प्रक्रमों के बीच संबंध का पहला आनुभविक प्रमाण प्रस्तुत किया।

हैंस क्रिश्चियन ऑर्स्टेड (1777–1851)

* कोई डाट (बिंदु) आपकी ओर संकेत करते तीर की नोंक जैसा प्रतीत होता है तथा क्रॉस किसी तीर की पंखयुक्त पूँछ जैसा प्रतीत होता है।

© NCERT not to be republished



हेंड्रिक ऐंटून लोरेंज़ (1853 – 1928)

हेंड्रिक ऐंटून लोरेंज़ (1853 – 1928) लोरेंज़ डेनमार्क के सैद्धांतिक भौतिकविज्ञानी, लिडेन में प्रोफ़ेसर थे। उन्होंने विद्युत, चुंबकत्व तथा यांत्रिकी में संबंध की खोज की। प्रकाश उत्सर्जकों पर चुंबकीय क्षेत्र के प्रेक्षित प्रभावों (जीमान प्रभाव) की व्याख्या करने के लिए इन्होंने परमाणु में वैद्युत आवेशों के अस्तित्व होने को अभिगृहीत किया। इसके लिए इन्हें 1902 में नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया। इन्होंने कुछ जटिल उलझन भरे गणितीय तर्कों के आधार पर कुछ रूपांतरण समीकरणों का एक समुच्चय व्युत्पन्न किया जिसे उनके सम्मान में लोरेंज़ रूपांतरण समीकरण कहते हैं। समीकरणों को व्युत्पन्न करते समय इन्हें इस तथ्य के बारे में यह ज्ञात नहीं था कि ये समीकरण काल तथा दिक्स्थान की नयी अभिधारणा पर अवलंबित हैं।

$$\mathbf{E} = Q \quad / (4\pi\varepsilon_0) r^2 \qquad (4.1)$$

यहाँ $\hat{\mathbf{r}}$, $\mathbf{r}$ के अनुदिश एकांक सदिश है तथा क्षेत्र $\mathbf{E}$ एक सदिश क्षेत्र है। कोई आवेश q इस क्षेत्र से अन्योन्य क्रिया करके एक बल $\mathbf{F}$ का अनुभव करता है

$$\mathbf{F} = q\ \mathbf{E} \quad = q\, Q\, \hat{\mathbf{r}} \quad / (4\pi\varepsilon_0)\, r^2 \qquad (4.2)$$

जैसा कि अध्याय 1 में निर्दिष्ट किया जा चुका है कि विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ मात्र शिल्प तथ्य ही नहीं है, परंतु इसकी भौतिक भूमिका भी है। यह ऊर्जा तथा संवेग संप्रेषित कर सकता है तथा यह तत्क्षण ही स्थापित नहीं हो जाता वरन इसके फैलने में परिमित समय लगता है। क्षेत्र की अभिधारणा को फैराडे द्वारा विशेष महत्त्व दिया गया तथा मैक्सवेल ने विद्युत तथा चुंबकत्व को एकीकृत करने में इस अभिधारणा को समावेशित किया। दिक्स्थान में प्रत्येक बिंदु पर निर्भर होने के साथ-साथ यह समय के साथ भी परिवर्तित हो सकता है, अर्थात यह समय का फलन है। इस अध्याय में हम अपनी चर्चा में, यह मानेंगे कि समय के साथ क्षेत्र में परिवर्तन नहीं होता।

किसी विशेष बिंदु पर विद्युत क्षेत्र एक अथवा अधिक आवेशों के कारण हो सकता है। यदि एक से अधिक आवेश हैं तो उनके कारण उत्पन्न क्षेत्र सदिश रूप से संयोजित हो जाते हैं। आप पहले अध्याय में यह सीख ही चुके हैं कि इसे अध्यारोपण का सिद्धांत कहते हैं। एक बार यदि क्षेत्र ज्ञात है तो परीक्षण आवेश पर बल को समीकरण (4.2) द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।

जिस प्रकार स्थिर आवेश विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करते हैं, विद्युत धाराएँ अथवा गतिमान आवेश (विद्युत क्षेत्र के साथ-साथ) चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं जिसे $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है तथा यह भी एक सदिश क्षेत्र है। इसके विद्युत क्षेत्र के समरूप बहुत से मूल गुण हैं। इसे दिक्स्थान के हर बिंदु पर परिभाषित किया जाता है (और साथ ही समय पर निर्भर कर सकता है)। प्रयोगों द्वारा यह पाया गया है कि यह अध्यारोपण के सिद्धांत का पालन करता है। अध्यारोपण का सिद्धांत इस प्रकार है– *बहुत से स्रोतों का चुंबकीय क्षेत्र प्रत्येक व्यष्टिगत स्रोत के चुंबकीय क्षेत्रों का सदिश योग होता है।*

4.2.2 चुंबकीय क्षेत्र, लोरेंज बल

मान लीजिए विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ तथा चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ दोनों की उपस्थिति में कोई बिंदु आवेश q (वेग $\mathbf{v}$ से गतिमान तथा किसी दिए गए समय t पर $\mathbf{r}$ पर स्थित) विद्यमान है। किसी आवेश q पर इन दोनों क्षेत्रों द्वारा आरोपित बल को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है–

$$\mathbf{F} = q\,[\,\mathbf{E}(\mathbf{r}) + \mathbf{v} \times \mathbf{B}(\mathbf{r})] = \mathbf{F}_{\text{विद्युत}} + \mathbf{F}_{\text{चुंबकीय}} \qquad (4.3)$$

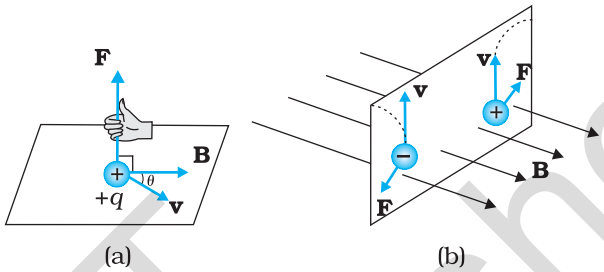
इस बल को सर्वप्रथम एच.ए. लोरेंज ने ऐम्पियर तथा अन्य वैज्ञानिकों द्वारा विस्तृत पैमाने पर किए गए प्रयोगों के आधार पर व्यक्त किया था। इस बल को अब *लोरेंज बल* कहते हैं। विद्युत क्षेत्र के कारण लगने वाले बल के बारे में तो आप विस्तार से अध्ययन कर ही चुके हैं। यदि हम चुंबकीय क्षेत्र के साथ अन्योन्य क्रिया पर ध्यान दें तो हमें निम्नलिखित विशेषताएँ मिलती हैं–

(i) यह q, $\mathbf{v}$ तथा $\mathbf{B}$ (कण के आवेश, वेग तथा चुंबकीय क्षेत्र) पर निर्भर करता है। *ऋणावेश पर लगने वाला बल धनावेश पर लगने वाले बल के विपरीत होता है।*

© NCERT not to be republished

(ii) चुंबकीय बल q [$\mathbf{v} \times \mathbf{B}$] वेग तथा चुंबकीय क्षेत्र का एक सदिश गुणनफल होता है। सदिश गुणनफल चुंबकीय क्षेत्र के कारण बल को समाप्त (शून्य) कर देता है। यह तब होता है जब बल, वेग तथा चुंबकीय क्षेत्र दोनों के लंबवत होता है (किसी दिशा में)। जब वेग तथा चुंबकीय क्षेत्र की दिशा एक दूसरे के समांतर या प्रतिसमांतर होती है। इसकी दिशा सदिश गुणनफल (क्रास गुणनफल) के लिए चित्र 4.2 में दर्शाए अनुसार पेंच नियम अथवा दक्षिण हस्त नियम द्वारा प्राप्त होती है।

(iii) यदि आवेश गतिमान नहीं है (तब $|\mathbf{v}| = 0$) तो चुंबकीय बल शून्य होता है। केवल गतिमान आवेश ही बल का अनुभव करता है।



चित्र 4.2 आवेशित कण पर लगे बल की दिशा (a) चुंबकीय क्षेत्र **B** से θ कोण बनाते हुए **v** वेग से गतिमान कोई धनावेशित कण बल का अनुभव करता है जिसकी दिशा दक्षिण हस्त नियम द्वारा प्राप्त होती है। (b) चुंबकीय क्षेत्र की उपस्थिति में गतिशील आवेशित कण के विक्षेप q की दिशा $-q$ के विक्षेप की दिशा के विपरीत होती है।

चुंबकीय क्षेत्र के लिए व्यंजक चुंबकीय क्षेत्र के मात्रक की परिभाषा देने में हमारी सहायता करता है। यदि बल के समीकरण में हल q, **F** तथा **v** सभी का मान एकांक मानें तो $\mathbf{F} = q[\mathbf{v} \times \mathbf{B}] = q v B \sin\theta \hat{\mathbf{n}}$, यहाँ θ वेग **v** तथा चुंबकीय क्षेत्र **B** के बीच का कोण है [चित्र 4.2 (a) देखिए]। चुंबकीय क्षेत्र B का परिमाण 1 SI मात्रक होता है, जबकि किसी एकांक आवेश (1 C), जो कि **B** के लंबवत 1m/s वेग **v** से गतिमान है, पर लगा बल 1 न्यूटन हो।

विमीय रीति से हम जानते हैं कि $[B] = [F/qv]$ तथा **B** का मात्रक न्यूटन सेकंड/कूलॉम मीटर है। इस मात्रक को *टेस्ला* (T) कहते हैं जिसे निकोला टेस्ला (1856-1943) के नाम पर रखा गया है। टेस्ला एक बड़ा मात्रक है। अत: एक अपेक्षाकृत छोटे मात्रक *गाउस* ($=10^{-4}$ टेस्ला) का प्राय: उपयोग किया जाता है। विश्व के चुंबकीय क्षेत्र के विस्तृत परिसर को सारणी 4.1 में दर्शाया गया है

सारणी 4.1 विविध भौतिक परिस्थितियों में चुंबकीय क्षेत्रों के परिमाणों की कोटि

भौतिक परिस्थिति	B का परिमाण (टेस्ला, T में)
न्यूट्रॉन तारे का पृष्ठ	10^{8}
प्रयोगशाला में प्रातिनिधिक उच्च क्षेत्र	1
छोटे छड़ चुंबक के समीप	10^{-2}
पृथ्वी के पृष्ठ पर	10^{-5}
मानव तंत्रिका तंतु	10^{-10}
अंतरातारकीय दिक्स्थान	10^{-12}

4.2.3 विद्युत धारावाही चालक पर चुंबकीय बल

हम किसी एकल गतिमान आवेश पर चुंबकीय क्षेत्र द्वारा आरोपित बल के विश्लेषण का विस्तार विद्युत धारावाही सीधी छड़ के लिए कर सकते हैं। लंबाई l तथा एकसमान अनुप्रस्थ काट A की किसी छड़ पर विचार करते हैं। हम किसी चालक (जिसमें इलेक्ट्रॉन गतिशील वाहक हैं) की भाँति एक ही प्रकार के गतिशील वाहक मानेंगे। मान लीजिए इन गतिशील आवेश वाहकों का संख्या घनत्व n है तब चालक में कुल गतिशील आवेश वाहकों की संख्या nAl हुई। इस चालक छड़ में अपरिवर्ती विद्युत धारा I के लिए हम यह मान सकते हैं कि प्रत्येक गतिशील वाहक का अपवाह वेग $\mathbf{v}_d$ है

© NCERT not to be republished

(अध्याय 3 देखिए)। किसी बाह्य चुंबकीय क्षेत्र **B** की उपस्थिति में इन वाहकों पर बल

$$\mathbf{F} = (nAl)q\ \mathbf{v}_d \times \mathbf{B}$$

यहाँ q किसी वाहक के आवेश का मान है। अब यहाँ $nq\mathbf{v}_d$ विद्युत धारा घनत्व **j** तथा $|(nq\mathbf{v}_d)|A$ विद्युत धारा I है (विद्युत धारा तथा विद्युत धारा घनत्व पर चर्चा के लिए अध्याय 3 देखिए।) इस प्रकार

$$\mathbf{F} = [(nq\mathbf{v}_d)Al] \times \mathbf{B} = [\ \mathbf{j}Al\ ] \times \mathbf{B}$$
$$= I\mathbf{l} \times \mathbf{B} \qquad (4.4)$$

यहाँ **l** एक सदिश है जिसका परिमाण l है जो कि छड़ की लंबाई है, तथा इसकी दिशा विद्युत धारा I के सर्वसम है। ध्यान दीजिए विद्युत धारा सदिश नहीं है। समीकरण (4.4) के अंतिम चरण में हमने सदिश चिह्न को **j** से **l** पर स्थानांतरित कर दिया है।

समीकरण (4.4) सीधी छड़ पर लागू होती है। इस समीकरण में **B** बाह्य चुंबकीय क्षेत्र है। यह विद्युत धारावाही छड़ द्वारा उत्पन्न क्षेत्र नहीं है। यदि तार की यादृच्छिक आकृति है, तो हम इस पर लॉरेंज बल का परिकलन, इसे रेखिक पट्टियों $d\mathbf{l}_j$ का समूह मानकर तथा संकलन द्वारा कर सकते हैं

$$\mathbf{F} = \sum_j I d\mathbf{l}_j \times \mathbf{B}$$

अधिकांश प्रकरणों में संकलन को समाकलन में परिवर्तित कर लेते हैं।

विद्युतशीलता (परावैद्युतांक) तथा चुंबकशीलता (पारगम्यता)

गुरुत्वाकर्षण के सार्वत्रिक नियम में हम यह कहते हैं कि दो बिंदु द्रव्यमान एक दूसरे पर बल आरोपित करते हैं जो उन द्रव्यमानों, m_1, m_2 के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती तथा उनके बीच के दूरी r के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है। इसे हम इस प्रकार $F = Gm_1m_2/r^2$ व्यक्त करते हैं, यहाँ G गुरुत्वाकर्षण का सार्वत्रिक नियतांक है। इसी प्रकार स्थिरवैद्युतिकी में कूलॉम के नियम में, हम दो विद्युत आवेशों q_1, q_2 जिनके बीच r पृथकन है, लगने वाले बल को $F = kq_1q_2/r^2$ द्वारा व्यक्त करते हैं, यहाँ k एक अनुक्रमानुपाती स्थिरांक है। SI मात्रकों में, k $1/4\pi\varepsilon$ है, यहाँ ε माध्यम की विद्युतशीलता है। इसी प्रकार चुंबकत्व में भी हमें एक अन्य नियतांक प्राप्त होता है। SI मात्रकों में यह नियतांक $\mu/4\pi$ है, यहाँ μ माध्यम की चुंबकशीलता है।

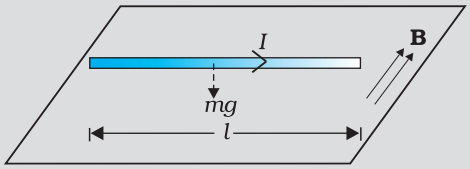
यद्यपि G, ε तथा μ अनुक्रमानुपाती नियतांक के रूप में प्रकट होते हैं, परंतु गुरुत्वाकर्षण बल तथा विद्युत चुंबकीय बल में एक अंतर है। जबकि गुरुत्वाकर्षण बल दो वस्तुओं के बीच के माध्यम की प्रकृति पर निर्भर नहीं करता, विद्युत चुंबकीय बल, दो आवेशों अथवा चुंबकों के बीच के माध्यम पर निर्भर करता है। अतः G एक सार्वत्रिक स्थिरांक है, ε तथा μ माध्यम पर निर्भर करते हैं। इनके विभिन्न माध्यमों के लिए भिन्न-भिन्न मान हैं। गुणनफल $\varepsilon\mu$ का विद्युत चुंबकीय विकिरणों की चाल v से एक संबंध $\varepsilon\mu = 1/v^2$ है।

विद्युत परावैद्युतांक ε एक भौतिक राशि है जो यह स्पष्ट करती है कि कोई विद्युत क्षेत्र माध्यम को तथा माध्यम द्वारा किस प्रकार प्रभावित होता है। इसका निर्धारण अनुप्रयुक्त क्षेत्र के प्रत्युत्तर में माध्य के ध्रुवित होने के गुण, जिसके द्वारा यह किसी पदार्थ के भीतर के क्षेत्र को आंशिक रूप से निरसित करता है, से किया जाता है। इसी प्रकार चुंबकीय पारगम्यता μ किसी पदार्थ की चुंबकीय क्षेत्रों में चुंबकन अर्जित करने की सामर्थ्य होती है। इसकी माप चुंबकीय क्षेत्रों द्वारा पदार्थ को वेधन करने की सीमा से की जाती है।

उदाहरण 4.1

उदाहरण 4.1 200 g द्रव्यमान तथा 1.5 m लंबाई के किसी सीधे तार से 2 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। यह किसी एकसमान क्षैतिज **B** चुंबकीय क्षेत्र द्वारा वायु के बीच में निलंबित है (चित्र 4.3)। चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण ज्ञात कीजिए।

© NCERT not to be republished



चित्र 4.3

हल समीकरण (4.4) के अनुसार, तार बीच-वायु में निलंबित है इसके निलंबित रहने के लिए इस पर एक उपरिमुखी बल **F** जिसका परिमाण IlB लगना चाहिए जो इसके भार mg को संतुलित कर सके। अत:

$$mg = IlB$$

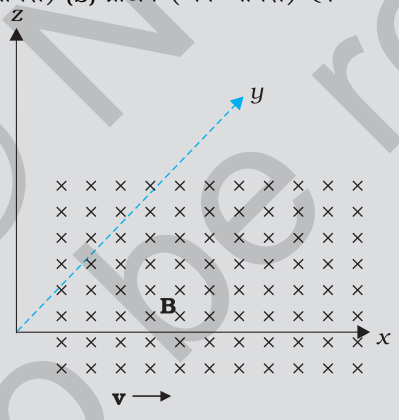
$$B = \frac{mg}{Il}$$

$$= \frac{0.2 \times 9.81}{2 \times 1.5} = 0.65 \text{ T}$$

ध्यान दीजिए, यहाँ पर m/l अर्थात तार का प्रति एकांक लंबाई द्रव्यमान बताना पर्याप्त है। पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का मान लगभग 4×10^{-5} T है जिसकी हमने यहाँ उपेक्षा की है।

उदाहरण 4.1

उदाहरण 4.2 यदि चुंबकीय क्षेत्र धनात्मक y-अक्ष के समान्तर है तथा आवेशित कण धनात्मक x-अक्ष के अनुदिश गतिमान है (चित्र 4.4 देखिए), तो लोरेंज बल किस ओर लगेगा जबकि गतिमान कण (a) इलेक्ट्रॉन (ऋण आवेश) (b) प्रोटॉन (धन आवेश) है।



चित्र 4.4

हल कण के वेग **v** की दिशा x-अक्ष के अनुदिश है जबकि चुंबकीय क्षेत्र **B** की दिशा y-अक्ष के अनुदिश है, अत: लोरेंज बल $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ की दिशा z-अक्ष के अनुदिश (पेंच नियम अथवा दक्षिण हस्त अंगुष्ठ नियम) है। अत: (a) इलेक्ट्रॉन के लिए यह बल $-z$ अक्ष के अनुदिश तथा (b) धनावेश (प्रोटॉन) के लिए यह $+z$ अक्ष के अनुदिश है।

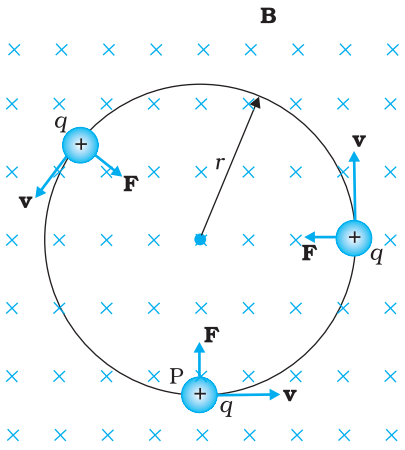
उदाहरण 4.2

4.3 चुंबकीय क्षेत्र में गति

अब हम और अधिक विस्तार से चुंबकीय क्षेत्र में गतिशील आवेश के विषय में अध्ययन करेंगे। हमने यांत्रिकी (कक्षा 11 की पाठ्यपुस्तक का अध्याय 6 देखिए) में यह सीखा है कि यदि किसी बल का कण की गति की दिशा में (अथवा उसके विपरीत) कोई अवयव है तो वह बल उस कण

भौतिकी
चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेशित कण – अन्योन्य क्रिया प्रदर्शन
http://www.phys.hawaii.edu/~teb/optics/java/partmagn/index.html

© NCERT not to be republished

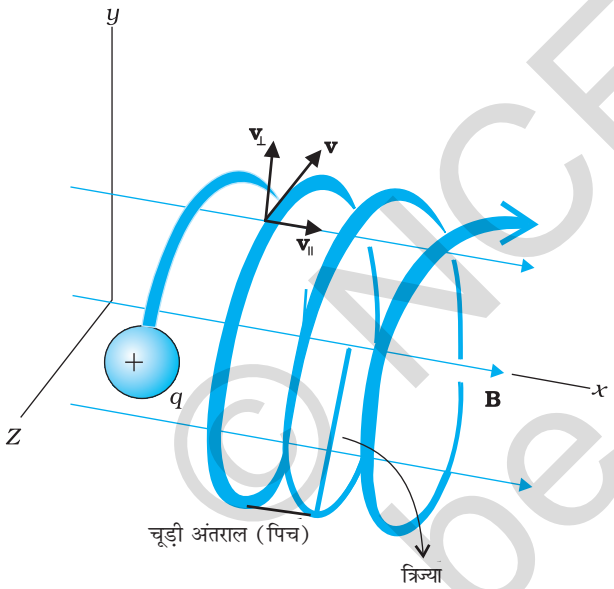


चित्र 4.5 वर्तुल गति

पर कार्य करता है। चुंबकीय क्षेत्र में आवेश की गति के प्रकरण में, चुंबकीय बल कण के वेग की दिशा के लंबवत होता है। अतः कोई कार्य नहीं होता तथा वेग के परिमाण में भी कोई परिवर्तन नहीं होता (यद्यपि संवेग की दिशा में परिवर्तन हो सकता है। [ध्यान दीजिए, यह विद्युत क्षेत्र के कारण बल, $q\mathbf{E}$, से भिन्न है, जिसका गति के समांतर (अथवा प्रतिसमांतर) अवयव हो सकता है और इस प्रकार संवेग के साथ-साथ ऊर्जा को भी स्थानांतरित कर सकता है।]

हम किसी *एकसमान* चुंबकीय क्षेत्र में आवेशित कण की गति पर विचार करेंगे। पहले उस स्थिति पर विचार कीजिए जिसमें वेग $\mathbf{v}$ चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ के लंबवत है। लंबवत बल $q\,\mathbf{v}\times\mathbf{B}$ अभिकेंद्र बल की भाँति कार्य करता है तथा चुंबकीय क्षेत्र के लंबवत वर्तुल गति उत्पन्न करता है। *यदि* $\mathbf{v}$ *तथा* $\mathbf{B}$ *एक दूसरे के लंबवत हैं, तो कण (अर्थात किसी वृत्त के अनुदिश) वर्तुल गति करेगा* (चित्र 4.5)।

यदि वेग $\mathbf{v}$ का कोई अवयव है, $\mathbf{B}$ के अनुदिश तो यह अवयव अपरिवर्तित रहता है, क्योंकि चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश गति को चुंबकीय क्षेत्र प्रभावित नहीं करेगा। $\mathbf{B}$ के लंबवत किसी तल में गति, पहले की भाँति, वर्तुल गति ही है जिससे यह अवयव *कुंडलिनी गति* उत्पन्न करता है (चित्र 4.6)।



चित्र 4.6 कुंडलिनी गति

आपने पिछली कक्षाओं में यह सीख लिया है (देखिए अध्याय 4 कक्षा 11) कि यदि किसी कण के वृत्ताकार पथ की त्रिज्या r है तो उस कण पर एक बल $m v^2 / r$ वृत्त के केंद्र की ओर तथा पथ के लंबवत कार्य करता है जिसे अभिकेंद्र बल कहते हैं। यदि वेग $\mathbf{v}$ चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ के लंबवत है, तो चुंबकीय बल वेग $\mathbf{v}$ तथा चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ के लंबवत होता है तथा अभिकेंद्र बल की भाँति इसका परिमाण $q\,v\,B$ होता है। दोनों अभिकेंद्र बल के व्यंजकों को समीकरण के रूप में लिखने पर

$$m v^2/r = q\,v\,B,$$

$$r = m v / qB \qquad (4.5)$$

जितना अधिक संवेग होगा उतनी ही अधिक निर्मित वृत्त की त्रिज्या होगी तथा निर्मित वृत्त भी बड़ा होगा। यदि कोणीय आवृत्ति ω है तो $v = \omega r$ अतः

$$\omega = 2\pi\nu = qB/m \qquad [4.6(a)]$$

कोणीय आवृत्ति ω वेग अथवा ऊर्जा पर निर्भर नहीं करती। यहाँ ν घूर्णन की आवृत्ति है। ν के ऊर्जा पर निर्भर न करने का साइक्लोट्रॉन के डिज़ाइन में एक महत्वपूर्ण अनुप्रयोग है (अनुभाग 4.4.2 देखिए)।

एक परिक्रमा पूरी करने में लगा समय $T = 2\pi/\omega \equiv 1/\nu$, यदि चुंबकीय क्षेत्र के समांतर वेग का कोई अवयव ($v_\parallel$ द्वारा निर्दिष्ट) है, कण का पथ कुंडलिनी (सर्पिलाकार) जैसा होगा। एक घूर्णन में कण द्वारा चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश चली गई दूरी को पिच या चूड़ी अंतराल कहते हैं। समीकरण [4.6 (a)] का उपयोग करने पर हमें प्राप्त होता है।

$$p = v_\parallel T = 2\pi m v_\parallel / qB \qquad [4.6(b)]$$

गति के वृत्तीय अवयव की त्रिज्या को *कुंडलिनी की त्रिज्या* कहते हैं।

© NCERT not to be republished

उदाहरण 4.3 6×10^{-4} T के चुंबकीय क्षेत्र के लंबवत 3×10^{7} m/s की चाल से गतिमान किसी इलेक्ट्रॉन (द्रव्यमान 9×10^{-31} kg तथा आवेश 1.6×10^{-19} C) के पथ की त्रिज्या क्या है? इसकी क्या आवृत्ति होगी? इसकी ऊर्जा KeV में परिकलित कीजिए। (1 eV = 1.6×10^{-19} J)

हल समीकरण (4.5) का उपयोग करने पर हम पाते हैं

$r = mv/(qB) = 9\times10^{-31}\ \text{kg}\times3\times10^{7}\ \text{m s}^{-1} / (1.6\times10^{-19}\ \text{C}\times6\times10^{-4}\ \text{T})$
$= 26\times10^{-2}\ \text{m} = 26\ \text{cm}$

$\nu = v/(2\pi r) = 2\times10^{6}\ \text{s}^{-1} = 2\times10^{6}\ \text{Hz} = 2\ \text{MHz}.$

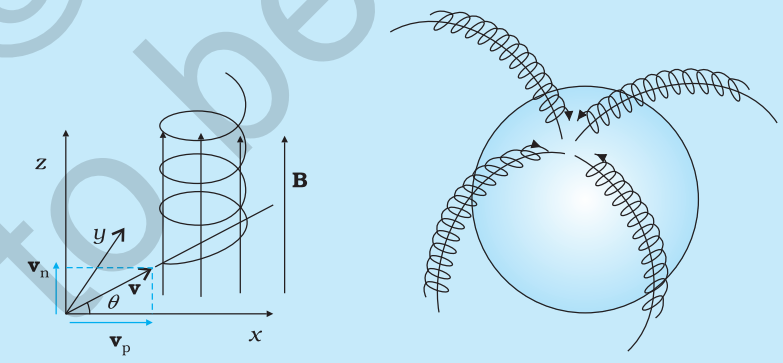
$E = (\tfrac{1}{2})mv^{2} = (\tfrac{1}{2})\ 9\times10^{-31}\ \text{kg}\times 9\times10^{14}\ \text{m}^2/\text{s}^2 = 40.5\times10^{-17}\ \text{J}$
$\approx 4\times10^{-16}\ \text{J} = 2.5\ \text{KeV}$

उदाहरण 4.3

आवेशित कणों की कुंडलिनी गति तथा उत्तर ध्रुवीय ज्योति

ध्रुवीय क्षेत्रों जैसे अलास्का तथा उत्तरी कनाडा में आकाश में वर्णों का अत्यंत वैभवशाली दृश्य दिखाई देता है। नृत्य करते हरे गुलाबी प्रकरणों का दृष्टिगोचर होना जितना मनोहारी व चित्ताकर्षक है उतना ही उलझन पूर्ण भी है। भौतिकी में अब इस प्राकृतिक परिघटना का स्पष्टीकरण प्राप्त हो गया है जिसका इस अध्याय के अंतर्गत हम अध्ययन कर रहे हैं उससे संबंध रखता है।

मान लीजिए द्रव्यमान m तथा आवेश q का कोई कण आरंभिक वेग $\mathbf{v}$ से किसी चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ में प्रवेश करता है। मान लीजिए इस वेग का चुंबकीय क्षेत्र के समांतर अवयव $\mathbf{v}_p$ तथा इस क्षेत्र के अभिलंबवत अवयव $\mathbf{v}_n$ है। आवेशित कण पर चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश कोई बल नहीं है। वेग $\mathbf{v}_p$ से निरंतर चुंबकीय क्षेत्र के समांतर गतिमान रहता है। कण पर कार्यरत वेग के अभिलंबवत अवयव के कारण इस पर लोरेंज बल ($\mathbf{v}_n \times \mathbf{B}$) कार्य करता है जिसकी दिशा $\mathbf{v}_n$ तथा $\mathbf{B}$ दोनों के लंबवत होती है। जैसा कि अनुभाग 4.3.1 में देख चुके हैं, इस प्रकार कण में वर्तुल गति करने की प्रवृत्ति उत्पन्न हो जाती है तथा वह वर्तुल गति चुंबकीय क्षेत्र के लंबवत तल में होती है। जब यह गति चुंबकीय क्षेत्र के समांतर कण की गति से युग्मित हो जाती है तो परिणामी प्रक्षेप पथ रेखाओं के चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश कुंडलिनी होता है जैसा कि यहाँ चित्र (*a*) में दर्शाया गया है। यदि क्षेत्र रेखाएँ मुड़ भी जाती हैं तो भी कुंडलिनी पथ पर गतिशील कण पाश में फँसकर चुंबकीय क्षेत्र के चारों ओर गति करने के लिए निर्देशित होता है। चूँकि लोरेंज बल प्रत्येक बिंदु पर वेग के लंबवत है, क्षेत्र कण पर कोई कार्य नहीं करता तथा वेग का परिमाण समान रहता है।



(a) (b)

सौर प्रज्वाल के समय सूर्य से विशाल संख्या में इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन बाहर उत्सर्जित होते हैं। उनमें से कुछ पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के पाश में फँस जाते हैं तथा क्षेत्र रेखाओं के अनुदिश कुंडलिनी पथ पर गति करते हैं। पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की क्षेत्र रेखाएँ चुंबकीय ध्रुवों पर बहुत पास-पास आ जाती हैं [देखिए चित्र (b)] अतः ध्रुवों के निकट आवेशों का घनत्व बढ़ जाता है। ये आवेशित कण वायुमंडल के अणुओं से तथा परमाणुओं से टकराते हैं। उत्तेजित ऑक्सीजन परमाणु हरा प्रकाश उत्सर्जित करते हैं तथा उत्तेजित नाइट्रोजन परमाणु गुलाबी प्रकाश उत्सर्जित करते हैं। भौतिकी में इस परिघटना को *उत्तर ध्रुवीय ज्योति* कहते हैं।

© NCERT not to be republished

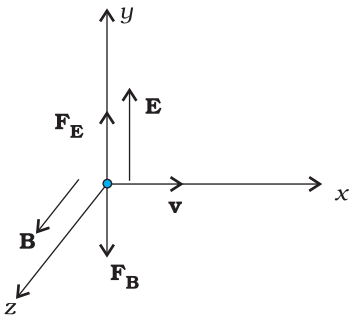
4.4 संयुक्त विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्रों में गति

4.4.1 वेग वरणकर्ता

आप जानते हैं कि विद्युत तथा चुंबकीय दोनों क्षेत्रों की उपस्थिति में **v** वेग से गतिमान q आवेश के कण पर समीकरण (4.3) के अनुसार एक बल कार्य करता है जिसे इस प्रकार व्यक्त करते हैं:

$$\mathbf{F} = q\,(\mathbf{E} + \boldsymbol{v} \times \mathbf{B}) = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_B$$

हम यहाँ चित्र 4.7 में दर्शाए अनुसार एक सरल स्थिति पर विचार करेंगे जिसमें विद्युत क्षेत्र तथा चुंबकीय क्षेत्र एक दूसरे के लंबवत हैं तथा कण का वेग इन दोनों क्षेत्रों के लंबवत है। तब



चित्र 4.7

$$\mathbf{F}_E = q\mathbf{E} = qE\,\hat{\mathbf{j}},\ \mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B},\ = q\left(v\,\hat{\mathbf{i}} \times B\hat{\mathbf{k}}\right) = -qB\,\hat{\mathbf{j}}$$

अत: $$\mathbf{F} = q(E - vB)\,\hat{\mathbf{j}}$$

इस प्रकार चित्र में दर्शाए अनुसार विद्युत बल तथा चुंबकीय बल एक दूसरे के विपरीत दिशा में हैं। मान लीजिए हम **E** तथा **B** के मानों को इस प्रकार समायोजित करते हैं कि इन बलों के परिमाण समान हो जाएँ तो आवेश पर कुल बल शून्य हो जाएगा तथा आवेश इन क्षेत्रों में बिना विक्षेपित हुए गमन करेगा। यह तब होगा जब

$$qE = qvB \quad \text{अथवा} \quad v = \frac{E}{B} \tag{4.7}$$

इस शर्त का उपयोग विभिन्न गति से गतिमान आवेशों (चाहे उनके आवेश तथा द्रव्यमान कुछ भी हों) के पुंज से किसी विशेष वेग के आवेशित कणों को चुनने में किया जाता है। अत: क्रॉसित चुंबकीय व विद्युत क्षेत्र *वेग वरणकर्ता* के समान कार्य करते हैं। केवल E/B की चाल वाले कण ही इस क्रॉसित क्षेत्रों वाले स्थान से बिना विक्षेपित हुए गुज़रते हैं। इस विधि का उपयोग सन 1897 में जे. जे. थामसन ने इलेक्ट्रॉन का आवेश-द्रव्यमान अनुपात (e/m) मापने में किया था। इस सिद्धांत का उपयोग द्रव्यमान स्पेक्ट्रोमीटर में भी किया जाता है। यह ऐसी युक्ति है जो आवेशित कणों को, प्राय: आयनों, उनके आवेश-द्रव्यमान अनुपात के अनुसार पृथक करती है।

4.4.2 साइक्लोट्रॉन

साइक्लोट्रॉन आवेशित कणों अथवा आयनों का उच्च ऊर्जाओं तक त्वरित करने वाला यंत्र है। इसका आविष्कार नाभिकीय संरचना के अन्वेषण के लिए सन् 1934 में ई.ओ. लोरेंज़ तथा एम. एस. लिविंग्स्टॉन ने किया था। आवेशित कणों की ऊर्जा में वृद्धि करने के लिए साइक्लोट्रॉन में संयुक्त रूप में विद्युत क्षेत्र तथा चुंबकीय क्षेत्र दोनों का उपयोग किया जाता है। चूँकि ये दोनों क्षेत्र एक दूसरे के लंबवत लगाए जाते हैं, इन्हें *क्रॉसित क्षेत्र* कहते हैं। साइक्लोट्रॉन में इस तथ्य का उपयोग किया जाता है कि "चुंबकीय क्षेत्र में परिक्रमण करने वाले आवेशित कणों की परिक्रमण की आवृत्ति कण की ऊर्जा पर निर्भर नहीं करती।" कण अधिकांश समय तक दो अर्धवृत्ताकार चक्रिका जैसे धातु के पात्रों, D_1 तथा D_2 के बीच गति करते हैं। इन धातु के पात्रों को 'डीज' (*Dees*) कहते हैं क्योंकि ये अंग्रेज़ी के वर्णमाला के अक्षर 'D' जैसे दिखाई देते हैं। चित्र 4.8 में साइक्लोट्रॉन का व्यवस्था आरेख दर्शाया गया है। धातु के बॉक्सों के भीतर कण परिरक्षित रहते हैं तथा इन पर विद्युत क्षेत्र कार्य नहीं करता। तथापि कण पर चुंबकीय क्षेत्र कार्य करता है जिसके कारण वह एक 'डी' के अंदर वर्तुल गति करता है। प्रत्येक बार जब कण एक 'डी' से दूसरी 'डी' में जाता है तो हर बार उस पर विद्युत क्षेत्र कार्य करता है। प्रत्यावर्ती रूप से विद्युत क्षेत्र का चिह्न परिवर्तित होता रहता है तथा इसका कण की वर्तुल गति के साथ सामंजस्य होता है। इससे यह सुनिश्चित होता है कि कण सदैव विद्युत क्षेत्र द्वारा त्वारित होता है। हर बार त्वरण से कण की ऊर्जा में वृद्धि होती है। जैसे-जैसे ऊर्जा

साइक्लोट्रॉन अन्योन्यक्रिया प्रदर्शन
http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=33.0
भौतिकी

© NCERT not to be republished

में वृद्धि होती जाती है उसके वृत्ताकार पथ की त्रिज्या में भी वृद्धि होती है। अत: कण का पथ सर्पिलाकार होता है।

इस सारे संयोजन को निर्वातित किया जाता है ताकि आयनों तथा वायु के अणुओं के बीच संघट्ट न्यूनतम हो जाए। डीज़ पर एक उच्च प्रत्यावर्ती वोल्टता अनुप्रयुक्त की जाती है। चित्र 4.8 में दर्शाए गए आरेख में धनायन अथवा धनावेशित कण (कण प्रोटॉन) केंद्र P पर मुक्त किए जाते हैं। ये किसी एक 'डी' में अर्धवृत्ताकर पथ पर गमन करते हुए $T/2$ समय अंतराल में डीज़ के बीच के रिक्त स्थान में आते हैं। यहाँ T परिक्रमण काल है जिसका मान समीकरण (4.6) के अनुसार

$$T = \frac{1}{\nu_c} = \frac{2\pi m}{qB}$$

अथवा $$\nu_c = \frac{qB}{2\pi m} \qquad (4.8)$$

प्रत्यक्ष तर्कों के आधार पर इस आवृत्ति को *साइक्लोट्रॉन आवृत्ति* कहते हैं तथा इसे ν_c द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है।

साइक्लोट्रॉन में अनुप्रयुक्त वोल्टता की आवृत्ति ν_a को इस प्रकार समायोजित किया जाता है कि जितने समय में आयन अपना आधा परिक्रमण पूरा करता है उतने ही समय में डीज़ की ध्रुवता परिवर्तित हो जाती है। इसके लिए आवश्यक शर्त $\nu_a = \nu_c$ को *अनुनाद की शर्त* कहते हैं। स्रोत का कला का समायोजन इस प्रकार किया जाता है कि जब धनायन D_1 के छोर पर पहुँचता है तो उस समय D_2 निम्न विभव पर होता है तथा आयन इस रिक्त स्थान में त्वरित होते हैं। डीज़ के भीतर कण ऐसे क्षेत्र में गमन करते हैं जहाँ विद्युत क्षेत्र नहीं होता। हर बार कण एक डी से दूसरी डी पर जाने में कण की ऊर्जा में qV की वृद्धि होती है (यहाँ V डीज़ के बीच उस समय की वोल्टता है।) समीकरण (4.5) से यह स्पष्ट है कि कणों के पथों की त्रिज्या में हर बार, गतिज ऊर्जाओं में वृद्धि होने के कारण वृद्धि होती जाती है। आयन डीज़ के बीच बारंबार उस समय तक त्वरित होते रहते हैं जब तक कि वे लगभग डीज़ के बराबर त्रिज्या पाने के लिए आवश्यक ऊर्जा प्राप्त नहीं कर लेते। उस समय फिर से चुंबकीय क्षेत्र द्वारा विक्षेपित होकर निर्गम झिरी द्वारा निकाय से बाहर निकल जाते हैं। समीकरण (4.5) से, हमें प्राप्त होता है–

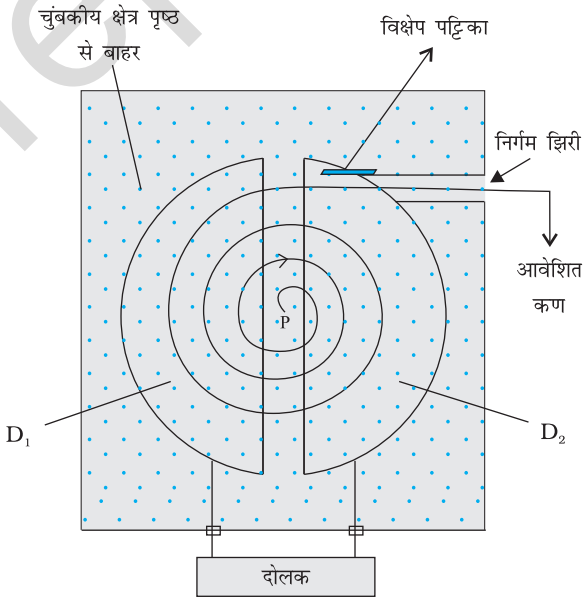
$$v = \frac{qBR}{m} \qquad (4.9)$$

यहाँ R निर्गम पर प्रक्षेप की त्रिज्या है तथा यह डीज़ की त्रिज्या के बराबर है।

अत: आयनों की गतिज ऊर्जा

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2B^2R^2}{2m} \qquad (4.10)$$

साइक्लोट्रॉन का प्रचालन इस तथ्य पर आधारित है कि किसी आयन के एक परिक्रमण का समय आयन की चाल अथवा कक्षा की त्रिज्या पर निर्भर नहीं है। साइक्लोट्रॉन का उपयोग इसमें त्वरित ऊर्जायुक्त कणों द्वारा नाभिक पर बमबारी करके परिणामी नाभिकीय अभिक्रियाओं का अध्ययन करने के लिए किया जाता है। इसका उपयोग ठोसों में आयनों को रोपित करके उनके गुणों में सुधार करने और यहाँ तक कि नए पदार्थों को संश्लेषित करने में भी किया जाता



चित्र 4.8 साइक्लोट्रॉन का व्यवस्था आरेख। बिंदु P पर आवेशित कणों अथवा आयनों का स्रोत है। ये आवेशित कण या आयन एकसमान लंबवत चुंबकीय क्षेत्र B के कारण D_1 तथा D_2 डीज़ के भीतर-वृत्ताकार पथ पर गमन करते हैं। एक प्रत्यावर्ती वोल्टता स्रोत इन आवेशित कणों को उच्च चालों तक त्वरित करता है। अंतत: आवेशित कण बाहरी द्वार से निकाल दिए जाते हैं।

© NCERT not to be republished

है। इसका उपयोग रेडियोएक्टिव पदार्थों को उत्पन्न करने में किया जाता है। इन रेडियोएक्टिव पदार्थों को अस्पतालों में रोगी के निदान तथा उपचार में किया जाता है।

उदाहरण 4.4

उदाहरण 4.4 साइक्लोट्रॉन की दोलित्र आवृत्ति 10 MHz है। प्रोटॉनों को त्वरित करने के लिए प्रचालन चुंबकीय क्षेत्र का मान कितना होना चाहिए। यदि डीज़ की त्रिज्या 60 cm है तो त्वरक द्वारा उत्पन्न प्रोटॉन पुंज की गतिज ऊर्जा MeV में परिकलित कीजिए।

(e =1.60 × 10^{-19} C, m_p = 1.67 × 10^{-27} kg, 1 MeV = 1.6 × 10^{-13} J).

हल दोलित्र आवृत्ति प्रोटॉन के साइक्लोट्रॉन के बराबर होनी चाहिए।

समीकरणों (4.5) तथा [4.6 (a)] का उपयोग करने पर हमें प्राप्त होता है

$B = 2\pi m \nu/q$ =6.3 ×1.67 × 10^{-27} × 10^7 / (1.6 × 10^{-19}) = 0.66 T

प्रोटॉन का अंतिम वेग

$v = r \times 2\pi \nu$ = 0.6 m × 6.3 ×10^7 = 3.78 × 10^7 m/s.

$E = \frac{1}{2} mv^2$ = 1.67 ×10^{-27} × 14.3 × 10^{14} / (2 × 1.6 × 10^{-13}) = 7 MeV

भारत में त्वरक

भारत त्वरक-आधारित अनुसंधान के क्षेत्र में प्रवेश करने वाला अग्रणी देश है। डॉ. मेघनाद साहा की दूरदर्शिता के कारण सन् 1953 में कोलकाता के साहा नाभिकीय भौतिकी संस्थान ने 37" साइक्लोट्रॉन स्थापित कर लिया था। इसके पश्चात तो शीघ्र ही भारत के विभिन्न संस्थानों; जैसे–टाटा भौमिक अनुसंधान संस्थान (TIFR), मुंबई; अलीगढ़ मुस्लिम विश्वविद्यालय, अलीगढ़; बोस इंस्टीट्यूट, कोलकाता तथा आंध्रा विश्वविद्यालय, वाल्टेयर में कोकरोफ्ट–वाल्टन प्रकार के कई त्वरक स्थापित हो गए।

साठ के दशक में तो कई वान डे ग्राफ त्वरक स्थापित हुए– 5.5 MV टर्मिनल मशीन भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र (BARC), मुंबई (1963); 2 MV टर्मिनल मशीन भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, कानपुर; 400 kV टर्मिनल मशीन बनारस हिंदू विश्वविद्यालय, वाराणसी तथा पंजाबी विश्वविद्यालय, पटियाला। अमेरिका के रोशेस्टर विश्वविद्यालय द्वारा प्रदान किए गए 66 cm साइक्लोट्रॉन को पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़ में स्थापित किया गया। एक लघु इलेक्ट्रॉन त्वरक पूना विश्वविद्यालय, पुणे में भी स्थापित किया गया।

सत्तर तथा अस्सी के दशकों में एक प्रमुख सूत्रपात परिवर्ती ऊर्जा साइक्लोट्रॉन केंद्र (VECC), कोलकाता द्वारा पूर्णत: भारतीय संसाधनों का उपयोग करके परिवर्ती ऊर्जा साइक्लोट्रॉन निर्मित करके किया गया; भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र (BARC) मुंबई ने 2 MV टैंडेम वान डे ग्राफ त्वरक विकसित एवं निर्मित किया तथा टाटा भौमिक अनुसंधान संस्थान में14 MV टैंडेम पेल्लेट्रॉन त्वरक स्थापित किया गया।

इसके पश्चात शीघ्र ही विश्वविद्यालय अनुदान आयोग (UGC), नयी दिल्ली ने अंतर विश्वविद्यालय सुविधा के रूप में अंतरविश्वविद्यालय त्वरक केंद्र (IUAC), नयी दिल्ली में एक 15 MV टैंडेम पेल्लेट्रॉन; भौतिकी संस्थान, भुवनेश्वर में एक 3 MV टैंडेम पेल्लेट्रॉन; अन्वेषण, भन्वेषण व अनुसंधान का परमाणु खनिज निदेशालय, हैदराबाद तथा इंदिरा गांधी परमाणु अनुसंधान केंद्र, कलपक्कम में दो 1.7 MV टैण्डेट्रॉन स्थापित कराए। TIFR तथा IUAC दोनों ही अपनी सुविधाएँ, अतिचालक LINAC मॉड्यूल जिनका उपयोग आयनों को उच्च ऊर्जाओं तक त्वरित करने में किया जाता है, के साथ आगे बढ़ा रहे हैं।

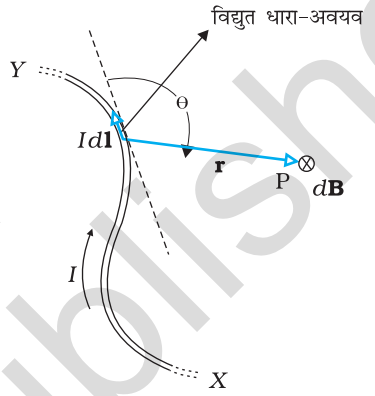
इन त्वरकों के अतिरिक्त परमाणु ऊर्जा विभाग ने भी बहुत से इलेक्ट्रॉन त्वरक विकसित किए हैं। राजा रामन्ना अग्रवर्ती प्रौद्योगिकी केंद्र, इंदौर में एक 2 GeV सिंक्रोट्रॉन विकिरण स्रोत निर्मित किया जा रहा है।

परमाणु ऊर्जा विभाग भविष्य में विकल्प के रूप में शक्ति उत्पादन तथा विखंडनीय पदार्थ के प्रजनन के लिए त्वरक प्रचालित संयंत्रों पर विचार कर रहा है।

© NCERT not to be republished

4.5 विद्युत धारा अवयव के कारण चुंबकीय क्षेत्र, बायो-सावर्ट नियम

जितने चुंबकीय क्षेत्र हमें ज्ञात हैं वे सभी विद्युत धाराओं (अथवा गतिशील आवेशों) तथा कणों के नैज चुंबकीय आघूर्णों के कारण उत्पन्न हुए हैं। यहाँ अब हम विद्युत धारा तथा उसके द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र के बीच संबंध के बारे में अध्ययन करेंगे। यह संबंध बायो सावर्ट नियम द्वारा प्राप्त होता है। चित्र 4.9 में एक परिमित विद्युत धारा चालक XY दर्शाया गया है, जिसमें विद्युत धारा I प्रवाहित हो रही है। चालक के अतिअल्प अवयव $d\mathbf{l}$ पर विचार कीजिए। मान लीजिए हमें इस अवयव द्वारा इससे **r** दूरी पर स्थित किसी बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र $d\mathbf{B}$ का मान निर्धारित करना है। मान लीजिए विस्थापन सदिश **r** तथा $d\mathbf{l}$ के बीच θ कोण बनता है। तब बायो-सावर्ट नियम के अनुसार चुंबकीय क्षेत्र $d\mathbf{B}$ का परिमाण विद्युत धारा I, लंबाई अवयव $|d\mathbf{l}|$ के अनुक्रमानुपाती तथा दूरी r के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती है। इस क्षेत्र की दिशा* $d\mathbf{l}$ तथा **r** के तलों के लंबवत होगी। अत: सदिश संकेत पद्धति में



चित्र 4.9 बायो-सावर्ट नियम का निदर्श चित्र। विद्युतधारा-अवयव $I\,d\mathbf{l}$, r दूरी पर स्थित बिंदु पर क्षेत्र $d\mathbf{B}$ उत्पन्न करता है। ⊗ चिह्न यह इंगित करता है कि क्षेत्र कागज़ के तल के अभिलंबवत नीचे की ओर प्रभावी है।

$$d\mathbf{B} \propto \frac{I\,d\mathbf{l}\times\mathbf{r}}{r^3}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\mathbf{l}\times\mathbf{r}}{r^3} \qquad [4.11(a)]$$

यहाँ $\mu_0/4\pi$ अनुक्रमानुपातिक नियतांक है। उपरोक्त समीकरण तब लागू होता है जबकि माध्यम निर्वात होता है।

इस क्षेत्र का परिमाण

$$|d\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,dl\sin\theta}{r^2} \qquad [4.11(b)]$$

यहाँ हमने सदिश-गुणनफल के गुणधर्म $|d\mathbf{l}\times\mathbf{r}| = dl\,r\sin\theta$ का उपयोग किया है। चुंबकीय क्षेत्र के लिए समीकरण [4.11(a)] मूल समीकरण है। अनुक्रमानुपाती नियतांक $\frac{\mu_0}{4\pi}$ का यथार्थ मान है–

$$\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}\,\mathrm{Tm/A} \qquad [4.11(c)]$$

राशि μ_0 को मुक्त आकाश (या निर्वात) की *चुंबकशीलता नियतांक* कहते हैं।

चुंबकीय क्षेत्र के बायो-सावर्ट नियम और स्थिरवैद्युतिकी के कूलॉम नियम में कुछ समानताएँ हैं तथा कुछ असमानताएँ। इसमें से कुछ निम्न प्रकार हैं-

(i) दोनों दीर्घ-परासी हैं, क्योंकि दोनों ही स्रोत से परीक्षण बिंदु तक की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होते हैं। दोनों ही क्षेत्रों पर अध्यारोपण सिद्धांत लागू होता है [इस संबंध में यह ध्यान दीजिए कि *स्रोत* $I\,d\mathbf{l}$ में चुंबकीय क्षेत्र *रैखिक* है जैसे कि अपने स्रोत, विद्युत आवेश में स्थिर वैद्युत क्षेत्र रैखिक है।]

---

* $d\mathbf{l}\times\mathbf{r}$ की दिशा दक्षिण हस्त पेंच नियम द्वारा भी प्राप्त होती है। $d\mathbf{l}$ तथा **r** के तलों को देखिए। कल्पना कीजिए कि आप पहले सदिश से दूसरे सदिश की ओर गमन कर रहे हैं। यदि गति वामावर्त है तो परिणामी आपकी ओर संकेत करेगा। यदि यह दक्षिणावर्त है तो परिणामी आपसे दूर की ओर होगा।

© NCERT not to be republished

(ii) स्थिरवैद्युत क्षेत्र आदिश स्रोत, जैसे वैद्युत आवेश, द्वारा उत्पन्न होता है जबकि चुंबकीय क्षेत्र एक सदिश स्रोत जैसे, $I\,d\mathbf{l}$ द्वारा उत्पन्न होता है।

(iii) स्थिरवैद्युत क्षेत्र स्रोत को क्षेत्र के बिंदु से मिलाने वाले विस्थापन सदिश के अनुदिश होता है जबकि चुंबकीय क्षेत्र विस्थापन सदिश $\mathbf{r}$ तथा विद्युत धारा अवयव $I\,d\mathbf{l}$ दोनों के तलों के लंबवत होता है।

(iv) बायो-सावर्ट नियम में कोण पर निर्भरता है जो स्थिर वैद्युत क्षेत्र में नहीं होती। चित्र 4.9 में, दिशा $d\mathbf{l}$ (डैश युक्त रेखा में किसी भी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र शून्य है। इस दिशा के अनुदिश $\theta = 0$, $\sin\theta = 0$ तथा समीकरण [4.11(a)], $|d\mathbf{B}| = 0$

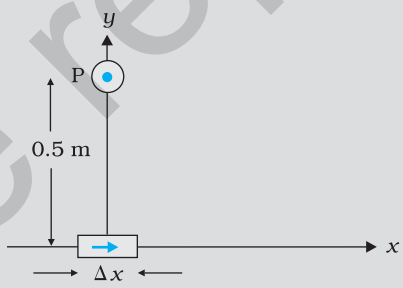
मुक्त दिक्स्थान की विद्युतशीलता, मुक्त दिक्स्थान की चुंबकशीलता तथा निर्वात में प्रकाश के वेग में एक रोचक संबंध है।

$$\varepsilon_0\mu_0 = (4\pi\varepsilon_0)\,\frac{\mu_0}{4\pi} = \frac{1}{9\times10^9}\,(10^{-7}) = \frac{1}{(3\times10^8)^2} = \frac{1}{c^2}$$

इस संबंध के विषय में हम विद्युत चुंबकीय तरंगों के अध्याय 8 में चर्चा करेंगे। चूँकि निर्वात में प्रकाश का वेग नियत है, गुणनफल $\mu_0\varepsilon_0$ परिमाण में निश्चित है। ε_0 तथा μ_0 में से किसी भी एक मान का चयन करने पर अन्य का मान स्वत: निश्चित हो जाता है। SI मात्रकों में μ_0 का एक निश्चित परिमाण $4\pi\times10^{-7}$ है।

उदाहरण 4.5

उदाहरण 4.5 कोई विद्युत धारा अवयव $\Delta\mathbf{l} = \Delta x\,\hat{\mathbf{i}}$ जिससे एक उच्च धारा $I = 10$A प्रवाहित हो रही है, मूल बिंदु पर स्थित है (चित्र 4.10), y-अक्ष पर 0.5 m दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर इसके कारण चुंबकीय क्षेत्र का क्या मान है। $\Delta x = 1$ cm



चित्र 4.10

हल

$$|d\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,dl\sin\theta}{r^2}$$ [समीकरण (4.11द्वारा)]

$dl = \Delta x = 10^{-2}$ m, $I = 10$ A, $r = 0.5$ m $= y$, $\mu_0/4\pi = 10^{-7}\,\dfrac{\text{T m}}{\text{A}}$

$\theta = 90°$; $\sin\theta = 1$

$$|d\mathbf{B}| = \frac{10^{-7}\times10\times10^{-2}}{25\times10^{-2}} = 4\times10^{-8}\ \text{T}$$

इस चुंबकीय क्षेत्र की दिशा $+z$ दिशा में है। इसका कारण यह है कि

$$d\mathbf{l}\times\mathbf{r} = \Delta x\,\hat{\mathbf{i}}\times y\,\hat{\mathbf{j}} = y\,\Delta x\,(\hat{\mathbf{i}}\times\hat{\mathbf{j}}) = y\,\Delta x\,\hat{\mathbf{k}}$$

यहाँ हम आपको सदिश गुणनफलों के निम्नलिखित चक्रीय गुणों को याद कराते हैं

$\hat{\mathbf{i}}\times\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}}$; $\hat{\mathbf{j}}\times\hat{\mathbf{k}} = \hat{\mathbf{i}}$; $\hat{\mathbf{k}}\times\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}}$

ध्यान दीजिए इस क्षेत्र का परिमाण लघु है।

© NCERT not to be republished

अगले अनुभाग में हम वृत्ताकार पाश के कारण चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करने के लिए बायो–सावर्ट नियम का उपयोग करेंगे।

4.6 विद्युत धारावाही वृत्ताकार पाश के अक्ष पर चुंबकीय क्षेत्र

इस अनुभाग में हम विद्युत धारावाही वृत्ताकार पाश के कारण उसके अक्ष के अनुदिश चुंबकीय क्षेत्र का मूल्यांकन करेंगे। इस मूल्यांकन में पिछले अनुभाग में वर्णित अत्यल्प विद्युत धारा अवयवों ($I\,\mathbf{dl}$) के प्रभाव को संयोजित किया जाएगा। हम यह मानते हैं कि प्रवाहित विद्युत धारा अपरिवर्ती है तथा मूल्यांकन मुक्त दिक्स्थान (निर्वात) में किया गया है।

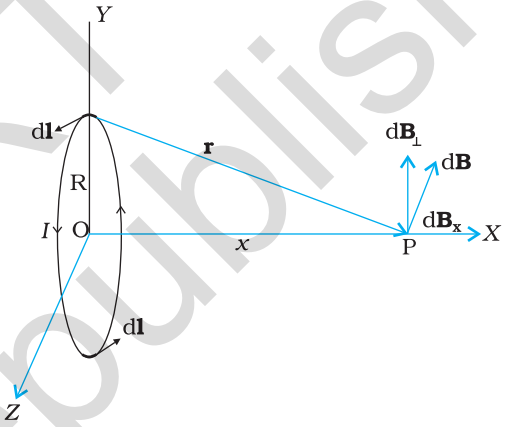
चित्र 4.11 में वृत्ताकार पाश में स्थायी विद्युत धारा I प्रवाहित होते हुए दर्शाई गई है। पाश को मूल बिंदु पर $x\,y$ तल में स्थित दर्शाया गया है तथा पाश का त्रिज्या R है। x-अक्ष ही लूप का अक्ष है। हमें इसी अक्ष के बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करना है, मान लीजिए बिंदु P पाश के केंद्र से x दूरी पर स्थित है।

पाश के चालक अवयव $\mathrm{d}I$ पर विचार कीजिए, इसे चित्र 4.11 में दर्शायी गई है। $\mathrm{d}l$ के कारण चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण बायो–सावर्ट नियम [समीकरण 4.11(a)] के अनुसार

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I|d\mathbf{l}\times\mathbf{r}|}{r^3} \qquad (4.12)$$

अब $r^2 = x^2 + R^2$। साथ ही, पाश का कोई भी अवयव, इस अवयव से अक्षीय बिंदु के विस्थापन सदिश के लंबवत होगा। उदाहरण के लिए, चित्र 4.11 में अवयव $\mathbf{dl}$ y-z दिशा में है जबकि विस्थापन सदिश $\mathbf{r}$ अवयव $\mathbf{dl}$ से अक्षीय बिंदु P तक x-y तल में है। अतः $|d\mathbf{l}\times\mathbf{r}| = r\,dl$, इस प्रकार

$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}l}{\left(x^2+R^2\right)} \qquad (4.13)$$



चित्र 4.11 त्रिज्या R विद्युत धारावाही वृत्ताकार पाश के अक्ष पर चुंबकीय क्षेत्र। इस चित्र में रेखा अवयव $d\mathbf{l}$ के कारण चुंबकीय क्षेत्र $d\mathbf{B}$ तथा अक्ष के लंबवत कार्यरत इसके अवयवों को दर्शाया गया है।

$\mathrm{d}\mathbf{B}$ की दिशा चित्र 4.11 में दर्शायी गई है। यह $\mathbf{dl}$ तथा $\mathbf{r}$ द्वारा बने तल के लंबवत है। इसका एक x- अवयव $\mathrm{d}\mathbf{B}_x$ तथा x- अक्ष के लंबवत अवयव $\mathrm{d}\mathbf{B}_\perp$ है। जब x- अक्ष के लंबवत अवयवों को संयोजित करते हैं तो वे निरस्त हो जाते हैं तथा हमें शून्य परिणाम प्राप्त होता है। उदाहरण के लिए, चित्र 4.11 में दर्शाए अनुसार $\mathbf{dl}$ के कारण अवयव $\mathrm{d}\mathbf{B}_\perp$ इसके त्रिज्यतः विपरीत $\mathbf{dl}$ अवयव के कारण योगदान द्वारा निरसित हो जाता है। इस प्रकार केवल x-अवयव ही बच पाता है। x-दिशा के अनुदिश नेट योगदान पाश के ऊपर $\mathrm{d}B_x = \mathrm{d}B\cos\theta$ को समाकलित करके प्राप्त किया जा सकता है।

चित्र 4.11 के लिए

$$\cos\theta = \frac{R}{(x^2+R^2)^{1/2}} \qquad (4.14)$$

समीकरणों (4.13) और (4.14),

$$\mathrm{d}B_x = \frac{\mu_0 I\mathrm{d}l}{4\pi}\frac{R}{\left(x^2+R^2\right)^{3/2}}$$

© NCERT not to be republished

समस्त पाश पर dl अवयवों का संकलन, $2\pi R$, प्राप्त होता है जो पाश की परिधि है। इस प्रकार

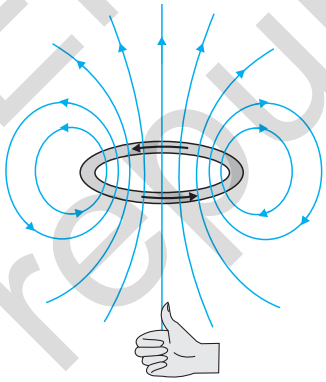
$$\mathbf{B} = B_x \hat{\mathbf{i}} = \frac{\mu_0 I R^2}{2\left(x^2 + R^2\right)^{3/2}} \hat{\mathbf{i}} \qquad (4.15)$$

उपरोक्त परिणाम की एक विशेष स्थिति के रूप में हम पाश के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र प्राप्त कर सकते हैं। इस प्रकार यहाँ $x = 0$, तथा हमें प्राप्त होता है,

$$\mathbf{B}_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} \hat{\mathbf{i}} \qquad (4.16)$$

वृत्ताकार तार के कारण चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ बंद वृत्ताकार पाश बनाती हैं जिन्हें चित्र 4.12 में दर्शाया गया है। चुंबकीय क्षेत्र की दिशा (एक अन्य) *दक्षिण हस्त अंगुष्ठ नियम* द्वारा होती है। यह नियम नीचे दिया गया है,

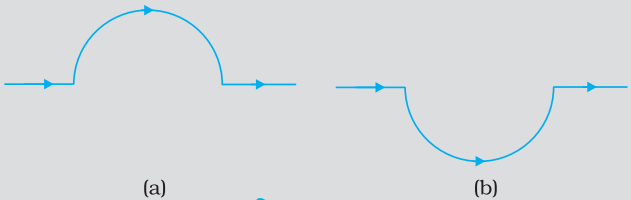
वृत्ताकार तार के चारों ओर अपने दाएँ हाथ की हथेली को इस प्रकार मोड़िए कि उँगलियाँ विद्युत धारा की दिशा की ओर संकेत करें, तब इस हाथ का फैला हुआ अँगूठा चुंबकीय क्षेत्र की दिशा बताता है।



चित्र 4.12 किसी विद्युतवाही पाश का चुंबकीय क्षेत्र। पाठ की विषय वस्तु में वर्णित दक्षिण हस्त अंगुष्ठ नियम द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र की दिशा निर्धारित होती है। पाश के ऊपरी पार्श्व को उत्तर ध्रुव तथा निचले पार्श्व को दक्षिण ध्रुव माना जा सकता है।

उदाहरण 4.6

उदाहरण 4.6 चित्र 4.13 में दर्शाए अनुसार किसी सीधे तार जिसमें 12 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है, को 2.0 cm त्रिज्या के अर्धवृत्ताकार चाप में मोड़ा गया है। इस चाप के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र **B** को मानें।



(a) (b)

चित्र 4.13

(a) सीधे खंडों के कारण चुंबकीय क्षेत्र कितना है?

(b) किस रूप में अर्धवृत्त द्वारा **B** को दिया गया योगदान वृत्ताकार पाश के योगदान से भिन्न है और किस रूप में ये एक दूसरे के समान हैं।

(c) क्या आपके उत्तर में कोई परिवर्तन होगा यदि तार को उसी त्रिज्या के अर्धवृत्त में पहले की तुलना में चित्र 4.13 (b) में दर्शाए अनुसार उलटी दिशा में मोड़ दें।

© NCERT not to be republished

उदाहरण 4.6

हल

(a) सीधे खंडों के प्रत्येक अवयव के लिए $d\mathbf{l}$ तथा r समांतर हैं। अत: $d\mathbf{l}\times\mathbf{r} = 0$। इस प्रकार सीधे खंड ।B। को कोई योगदान नहीं देते।

(b) अर्धवृत्ताकार चाप के सभी खंडों के लिए, $d\mathbf{l}\times\mathbf{r}$ सभी एक दूसरे के समांतर हैं (कागज़ के तल में भीतर को जाते हुए)। इस प्रकार के सभी योगदान परिमाण में संयोजित हो जाते हैं। अत: अर्धवृत्ताकार चाप के लिए **B** की दिशा दक्षिण हस्त नियम द्वारा प्राप्त होती है। इसका परिमाण वृत्ताकार पाश के लिए **B** का आधा होता है। इस प्रकार **B** का मान 1.9×10^{-4} T है तथा दिशा कागज़ के तल के अभिलंबवत उसके भीतर जाते हुए है।

(c) **B** का परिमाण तो वही है जो (b) में है पर दिशा विपरीत है।

उदाहरण 4.7

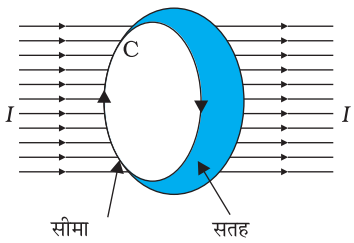
उदाहरण 4.7 10 cm त्रिज्या की 100 कसकर लपेटे गए फेरों की किसी ऐसी कुंडली पर विचार कीजिए जिससे 1 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण क्या है?

हल चूँकि कुंडली कसकर लपेटी गई है अत: हम प्रत्येक वृत्ताकार अवयव की त्रिज्या $R = 10$ cm $= 0.1$ m मान सकते हैं। फेरों की संख्या $N = 100$ है, अत: चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times10^{2}\times1}{2\times10^{-1}} = 2\pi\times10^{-4}\ \text{T} = 6.28\times10^{-4}\ \text{T}.$$

4.7 ऐम्पियर का परिपथीय नियम

बायो-सावर्ट नियम को अभिव्यक्त करने का एक अन्य वैकल्पिक तथा रुचिकर उपाय भी है। ऐम्पियर के परिपथीय नियम में किसी खुले पृष्ठ जिसकी कोई सीमा हो, पर विचार किया जाता है। इस पृष्ठ से विद्युत धारा प्रवाहित होती है। हम यह विचार करते हैं कि सीमा रेखा बहुत से अल्प रेखा अवयवों से मिलकर बनी है। ऐसे ही एक रेखा अवयव $d\mathbf{l}$ पर विचार कीजिए। हम इस अवयव पर चुंबकीय क्षेत्र के स्पर्शरेखीय घटक $\mathbf{B}_t$ का मान लेंगे तथा इसे अवयव $d\mathbf{l}$ की लंबाई से गुणा करेंगे। [ध्यान दीजिए $B_t dl = \mathbf{B}\cdot d\mathbf{l}$]। इस प्रकार के सभी गुणनफल एक दूसरे के साथ संयोजित किए जाते हैं। हम सीमा पर विचार करते हैं क्योंकि जैसे-जैसे अवयवों की लंबाई घटती है इनकी संख्या बढ़ती है। तब इनका योग एक समाकलन बन जाता है। ऐम्पियर का नियम यह कहता है कि यह समाकलन पृष्ठ से प्रवाहित होने वाली कुल विद्युत धारा का μ_0 गुना होता है, अर्थात



चित्र 4.14

$$\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I \qquad [4.17(a)]$$

यहाँ I पृष्ठ से गुज़रने वाली कुल विद्युत धारा है। इस समाकलन को पृष्ठ की सीमारेखा C के संपाती बंद के ऊपर लिया गया है। उपरोक्त संबंध में दिशा सम्मिलित है जो दक्षिण हस्त नियम से प्राप्त होती है। अपने दाएँ हाथ की उँगलियों को उस दिशा में मोड़िए जिस दिशा में पाश समाकल $\oint \mathbf{B}\cdot d\mathbf{l}$ में सीमा रेखा मुड़ी है। तब अँगूठे की दिशा उस दिशा को बताती है जिसमें विद्युत धारा को धनात्मक माना गया है।

बहुत से अनुप्रयोगों के लिए समीकरण [4.17 (a)] का कहीं अधिक सरलीकृत रूप पर्याप्त सिद्ध होता है। हम यह मानेंगे कि, इस प्रकार के प्रकरणों में ऐसे पाश (जिसे ऐम्पियरीय पाश कहते हैं।) का चयन संभव है जो इस प्रकार का है कि पाश के प्रत्येक बिंदु पर या तो

© NCERT not to be republished



आंद्रे ऐम्पियर (1775 – 1836)

आंद्रे ऐम्पियर (1775 –1836) आंद्रे मैरी ऐम्पियर एक फ्रांसीसी भौतिक विज्ञानी, गणितज्ञ एवं रसायनज्ञ थे जिन्होंने विद्युतगतिकी विज्ञान की आधारशिला रखी। ऐम्पियर एक बाल प्रतिभा थे जिसने 12 वर्ष की आयु में उच्च गणित में महारत हासिल कर ली थी। ऐम्पियर ने ऑर्स्टेड की खोज का महत्त्व समझा और धारा विद्युत एवं चुंबकत्व में संबंध खोजने के लिए प्रयोगों की एक लंबी शृंखला पार की। इन खोजों की परिणति 1827 में, *Mathematical theory of Electrodynamic Phenomena Deduced Solely from Experiments* नामक पुस्तक के प्रकाशन के रूप में हुई। उन्होंने परिकल्पना की कि सभी चुंबकीय प्रक्रम, वृत्तवाही विद्युत धाराओं के कारण होते हैं। ऐम्पियर स्वभाव से बहुत विनम्र और भुलक्कड़ थे। एक बार वह सम्राट नेपोलियन का रात्रिभोज का निमंत्रण भी भूल गए थे। 61 वर्ष की उम्र में न्यूमोनिया से उनकी मृत्यु हो गई। उनकी कब्र के पत्थर पर यह समाधि लेख उत्कीर्णित है – *Tandem felix* (अंत में प्रसन्न)।

(i) **B** पाश के स्पर्शरेखीय है तथा शून्येतर नियतांक B है, अथवा

(ii) **B** पाश के अभिलंबवत है, अथवा

(iii) **B** नष्ट हो जाता है।

अब मान लीजिए L पाश की वह लंबाई (भाग) है जिसके लिए **B** स्पर्शरेखीय है। मान लीजिए पाश में परिबद्ध विद्युत धारा I_e है। तब समीकरण (4.17) को इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं

$$BL = \mu_0 I_e \qquad [4.17(b)]$$

जब किसी निकाय में इस प्रकार की सममिति हो जैसे कि चित्र 4.15 में सीधे विद्युत धारावाही अनंत तार के लिए है, तब ऐम्पियर का नियम हमें चुंबकीय क्षेत्र का एक सरल मूल्यांकन करने योग्य बनाता है जो ठीक उसी प्रकार है जैसे कि गाउस नियम विद्युत क्षेत्र को निर्धारित करने में हमारी सहायता करता है। इसे नीचे दिए गए उदाहरण 4.9 में दर्शाया गया है। पाश की सीमा रेखा का चयन एक वृत्त है तथा चुंबकीय क्षेत्र वृत्त की परिधि के स्पर्शरेखीय है। समीकरण [4.17 (b)] के वाम पक्ष के लिए इस नियम से प्राप्त मान B. $2\pi r$ है। हम यह पाते हैं कि तार के बाहर r दूरी पर चुंबकीय क्षेत्र स्पर्शरेखीय है तथा इसे इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है।

$$B \times 2\pi r = \mu_0 I,$$

$$B = \mu_0 I/(2\pi r) \qquad (4.18)$$

उपरोक्त परिणाम अनंत लंबाई के तार के लिए है जो कई दृष्टिकोणों से रोचक है–

(i) इसमें यह अंतर्निहित है कि r त्रिज्या के वृत्त के प्रत्येक बिंदु पर (तार को अक्ष के अनुदिश रखते हुए) क्षेत्र का परिमाण समान है। दूसरे शब्दों में चुंबकीय क्षेत्र में *बेलनाकार सममिति* है जो क्षेत्र सामान्यत: तीन निर्देशांकों पर निर्भर कर सकता है केवल एक ही निर्देशांक r पर निर्भर है। जहाँ कहीं भी सममिति होती है समस्याओं के हल सरल हो जाते हैं।

(ii) इस वृत्त के किसी भी बिंदु पर क्षेत्र की दिशा इसके स्पर्शरेखीय है। इस प्रकार चुंबकीय क्षेत्र की नियत परिमाण की रेखाएँ संकेंद्री वृत्त बनाती हैं। अब चित्र 4.1(c) पर ध्यान दीजिए, लौह चूर्ण वृत्त संकेंद्री में व्यवस्थित हुआ है। ये रेखाएँ जिन्हें हम चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ कहते है, बंद पाश बनाती हैं। यह स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाओं से भिन्न हैं। स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ धन आवेशों से आरंभ तथा ऋण आवेशों पर समाप्त होती हैं। सीधे विद्युत धारावाही चालक के चुंबकीय क्षेत्र के लिए व्यंजक ओर्स्टेड प्रयोग का सैद्धांतिक स्पष्टीकरण करता है।

(iii) एक अन्य ध्यान देने योग्य रोचक बात यह है कि यद्यपि तार अनंत लंबाई का है, तथापि शून्येतर दूरी पर इसके कारण चुंबकीय क्षेत्र अनंत नहीं है। यह केवल तार के अत्यधिक पास आने पर विस्फुटित होता है। यह क्षेत्र विद्युत धारा के अनुक्रमानुपाती है तथा विद्युत धारा स्रोत (अनंत लंबाई के) से दूरी के व्युत्क्रमानुपाती है।

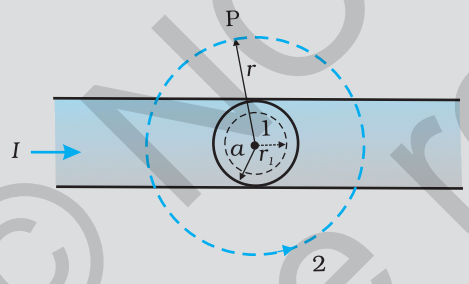
© NCERT not to be republished

(iv) लंबे तार के कारण उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र की दिशा को निर्धारित करने का एक सरल नियम है। इस नियम को दक्षिण हस्त नियम* कहते हैं। यह इस प्रकार है

तार को अपने दाएँ हाथ में इस प्रकार पकड़िए कि आपका तना हुआ अँगूठा विद्युत धारा की दिशा की ओर संकेत करे। तब आपकी अँगुलियों के मुड़ने की दिशा चुंबकीय क्षेत्र की दिशा में होगी।

ऐम्पियर का परिपथीय नियम बायो-सावर्ट नियम से भिन्न नहीं है। दोनों ही नियम विद्युत धारा तथा चुंबकीय क्षेत्र में संबंध व्यक्त करते हैं तथा दोनों ही स्थायी विद्युत धारा के समान भौतिक परिणामों को व्यक्त करते हैं। जो संबंध ऐम्पियर के नियम तथा बायो-सावर्ट नियम के बीच है ठीक वही संबंध गाउस नियम तथा कूलॉम नियम के बीच में है। ऐम्पियर का नियम तथा गाउस का नियम दोनों ही परिरेखा अथवा परिपृष्ठ पर किसी भौतिक राशि (चुंबकीय अथवा विद्युत क्षेत्र) का संबंध किसी अन्य भौतिक राशि जैसे अन्तः क्षेत्र में उपस्थित स्रोत (विद्युत धारा अथवा आवेश) के बीच संबंध व्यक्त करते हैं। यहाँ ध्यान देने योग्य बात यह भी है कि ऐम्पियर का परिपथीय नियम केवल उन स्थायी विद्युत धाराओं पर लागू होता है जो समय के साथ परिवर्तित नहीं होतीं। निम्नलिखित उदाहरण हमें परिबद्ध विद्युत धारा का अर्थ समझने में सहायता करेगा।

उदाहरण 4.8 चित्र 4.15 में एक लंबा सीधा वृत्ताकार अनुप्रस्थ काट का (जिसकी त्रिज्या a है) विद्युत धारावाही तार जिससे स्थायी विद्युत धारा I प्रवाहित हो रही हो, दर्शाया गया है। स्थायी विद्युत धारा इस अनुप्रस्थ काट पर एकसमान रूप से वितरित है। क्षेत्रों $r < a$ तथा $r > a$ में चुंबकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए



चित्र 4.15

हल (a) प्रकरण $r > a$ पर विचार कीजिए। जिस पाश पर 2 अंकित है वह अनुप्रस्थ काट के साथ संकेंद्री वृत्त के रूप में ऐम्पियर पाश है। इस पाश के लिए

$L = 2\pi r$

I_e = पाश द्वारा परिबद्ध विद्युत धारा = I

यह परिणाम किसी सीधे लंबे तार के लिए सुपरिचित व्यंजक है।

$B(2\pi r) = \mu_0 I$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad [4.19(a)]$$

$$B \propto \frac{1}{r} \quad (r > a)$$

(b) प्रकरण $r < a$ पर विचार कीजिए। इसके लिए ऐम्पियर पाश वह वृत्त है जिस पर 1 अंकित है।

उदाहरण 4.8

* कृपया ध्यान दीजिए–दो सुस्पष्ट (पृथक) नियम हैं जिन्हें *दक्षिण हस्त नियम* कहते हैं। इनमें से एक नियम विद्युत धारा पाश के अक्ष पर चुंबकीय क्षेत्र **B** की दिशा देता है तथा दूसरा सीधे विद्युत धारावाही चालक तार के लिए **B** की दिशा है। इन नियमों में अँगूठे तथा अँगुलियों की भिन्न भूमिका है।

© NCERT not to be republished

उदाहरण 4.8

इस पाश के लिए वृत्त की त्रिज्या r लेने पर,

$$L = 2\pi r$$

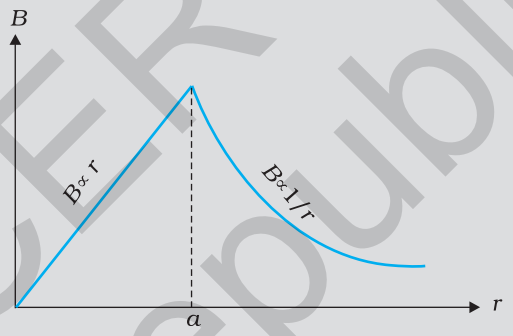
अब यहाँ परिबद्ध विद्युत धारा I_e का मान I नहीं है परंतु यह इस मान से कम है। चूँकि विद्युत धारा का विवरण एकसमान है, परिबद्ध विद्युत धारा के अंश का मान

$$I_e = I \frac{\pi r^2}{\pi a^2} = \frac{Ir^2}{a^2}$$

ऐम्पियर के नियम का उपयोग करने पर $B(2\pi r) = \mu_0 \frac{Ir^2}{a^2}$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a^2} r \qquad [4.19(b)]$$

$B \propto r \quad (r < a)$



चित्र 4.16

चित्र (4.16) में **B** के परिमाण तथा तार के केंद्र से दूरी r के बीच ग्राफ दर्शाया गया है। चुंबकीय क्षेत्र की दिशा अपने-अपने वृत्ताकार पाशों (1 अथवा 2) के स्पर्शरेखीय है तथा यह इसी अनुभाग में पहले वर्णन किए जा चुके दक्षिण हस्त नियम से निर्धारित की गई है। इस उदाहरण में आवश्यक सममिति विद्यमान है इसलिए इसी पर ऐम्पियर का नियम आसानी से लागू किया जा सकता है।

यहाँ ध्यान देने योग्य बात यह है कि जबकि ऐम्पियर के परिपथीय नियम को किसी भी पाश पर लागू किया जा सकता है परंतु यह हर प्रकरण में चुंबकीय क्षेत्र का मूल्यांकन सदैव ही आसान नहीं बनाता। उदाहरण के लिए, अनुभाग 4.6 में वर्णन किए गए वृत्ताकार पाश के प्रकरण में, इसे सरल व्यंजक $B = \mu_0 I/2R$ [समीकरण (4.16)] को, जोकि पाश के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र के लिए है, प्राप्त करने के लिए लागू नहीं किया जा सकता। तथापि ऐसी बहुत सी परिस्थितियाँ हैं जिनमें उच्च सममिति होती है तथा इस नियम को सुविधापूर्वक लागू किया जा सकता है। अगले अनुभाग में हम इसका उपयोग दो सामान्यत: उपयोग होने वाले अत्यंत उपयोगी चुंबकीय निकायों– *परिनालिका* एवं *टोरॉइड* द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्रों को परिकलित करने में करेंगे।

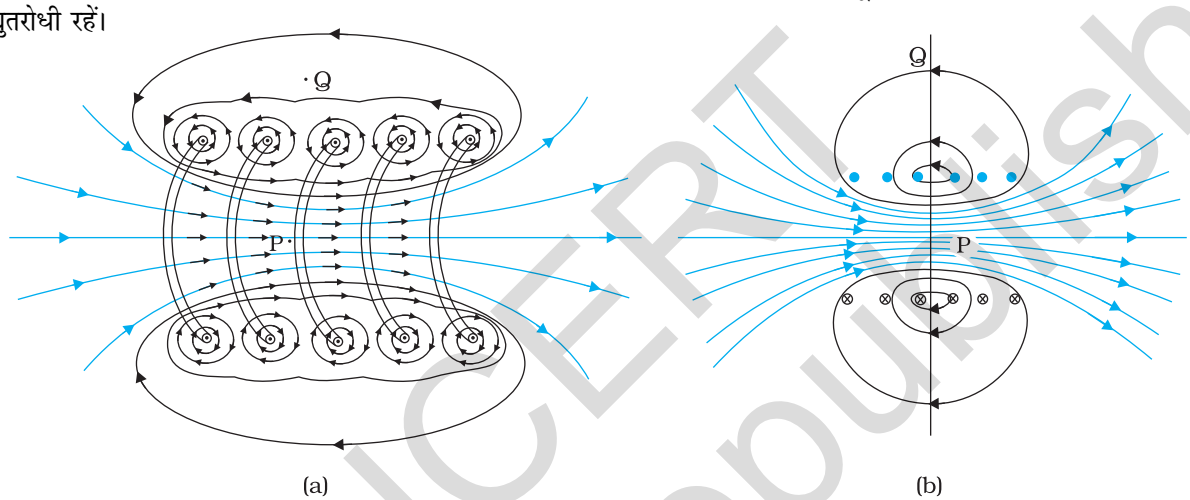
4.8 परिनालिका तथा टोरॉइड

परिनालिका तथा टोरॉइड ऐसे दो उपकरण हैं जो चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं। टेलीविज़न में आवश्यक चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने के लिए परिनालिका का उपयोग होता है। सिंक्रोट्रॉन में आवश्यक चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने के लिए इन दोनों का संयुक्त रूप से उपयोग किया जाता है। परिनालिका तथा टोरॉइड दोनों में ही हमें उच्च सममिति की ऐसी स्थिति देखने को मिलती है जिनमें ऐम्पियर-नियम आसानी से लागू किया जा सकता है।

© NCERT not to be republished

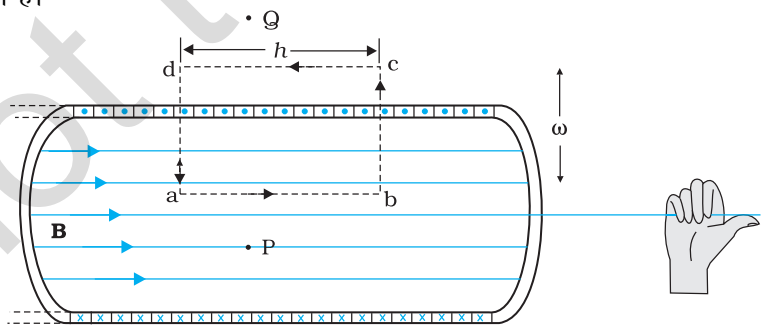
4.8.1 परिनालिका

हम यहाँ एक लंबी परिनालिका के विषय में चर्चा करेंगे। लंबी परिनालिका से हमारा तात्पर्य यह है कि परिनालिका की लंबाई उसकी त्रिज्या की तुलना में अधिक है। परिनालिका में एक लंबा तार सर्पिल के आकार में लिपटा होता है जिसमें प्रत्येक फेरा अपने निकट के फेरे के साथ काफ़ी सटा होता है। इस प्रकार फेरे को एक वृत्ताकार पाश माना जा सकता है। किसी परिनालिका के सभी फेरों के कारण उत्पन्न कुल चुंबकीय क्षेत्र प्रत्येक फेरे के चुंबकीय क्षेत्रों का सदिश योग होता है। परिनालिका पर लपेटने के लिए इनैमलित तारों का उपयोग किया जाता है ताकि फेरे एक दूसरे से विद्युतरोधी रहें।



चित्र 4.17 (a) परिनालिका के किसी भाग जिसे स्पष्टता की दृष्टि से बाहर खींचा दर्शाया गया है, के कारण चुंबकीय क्षेत्र। केवल बाह्य अर्धवृत्ताकार भाग दर्शाया गया है। ध्यान से देखिए, किस प्रकार पास-पास स्थित फेरों के बीच चुंबकीय क्षेत्र एक दूसरे को निरसित कर देते हैं। (b) किसी परिमित परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र।

चित्र 4.17 में किसी परिमित परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र दर्शाया गया है। चित्र 4.17 (a) में हमने इस परिनालिका के एक खंड को विस्तारित करके दिखाया है। चित्र 4.17 (b) में वृत्ताकार पाश से यह स्पष्ट है कि दो पास-पास के फेरों के बीच चुंबकीय क्षेत्र नष्ट हो जाता है। चित्र 4.17 (b) में हम यह देखते हैं कि अन्त:भाग के मध्य बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र एकसमान, प्रबल तथा परिनालिका के अक्ष के अनुदिश है। बाह्य भाग के मध्य बिंदु Q पर चुंबकीय क्षेत्र दुर्बल है और साथ ही यह परिनालिका के अक्ष के अनुदिश है तथा इसका लंबवत अथवा अभिलंबवत कोई घटक भी नहीं है। जैसे-जैसे परिनालिका की लंबाई में वृद्धि होती है वह लंबी बेलनाकार धातु के पटल जैसी दिखाई देने लगती है। चित्र 4.18 में यह आदर्शीकृत चित्रण निरूपित किया गया है। परिनालिका के बाहर चुंबकीय क्षेत्र शून्य होने लगता है। परिनालिका के भीतर हर बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र अक्ष के समांतर होता है।



चित्र 4.18 अत्यधिक लंबी परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र। चुंबकीय क्षेत्र को निर्धारित करने के लिए हम एक आयताकार ऐम्पियर-पाश *a*, *b*, *c*, *d* पर विचार करते हैं।

© NCERT not to be republished

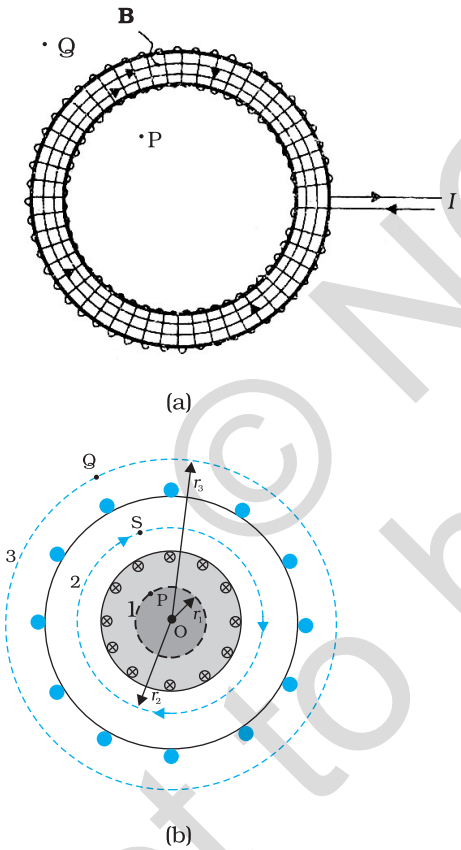
किसी आयताकार ऐम्पियर-पाश abcd पर विचार करिए। जैसा कि ऊपर तर्क दिया जा चुका है cd के अनुदिश क्षेत्र शून्य है। अनुप्रस्थ खंडों bc तथा ad के अनुदिश चुंबकीय क्षेत्र का घटक शून्य है। इस प्रकार ये दोनों खंड चुंबकीय क्षेत्र में कोई योगदान नहीं देते। मान लीजिए ab के अनुदिश चुंबकीय क्षेत्र B है, इस प्रकार, ऐम्पियर-पाश की प्रासंगिक लंबाई $L = h$।

मान लीजिए प्रति एकांक लंबाई फेरों की संख्या n है, तब फेरों की कुल संख्या nh है। इस प्रकार परिबद्ध विद्युत धारा है $I_e = I\,(n\,h)$, यहाँ I परिनालिका में प्रवाहित विद्युत धारा है। ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुसार [समीकरण 4.17 (b) से]

$$BL = \mu_0 I_e, \quad B\,h = \mu_0 I\,(n\,h)$$

$$B = \mu_0\, n\, I \qquad (4.20)$$

क्षेत्र की दिशा दक्षिण हस्त नियम से प्राप्त होती है। परिनालिका का सामान्यत: उपयोग एकसमान चुंबकीय क्षेत्र प्राप्त करने के लिए किया जाता है। अगले अध्याय में हम यह देखेंगे कि परिनालिका में भीतर नर्म लौह क्रोड रखकर विशाल चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करना संभव है।



चित्र 4.19 (a) टोरॉइड से विद्युत धारा I प्रवाहित होते हुए (b) टोरॉइड की अनुप्रस्थ काट का दृश्य। ऐम्पियर-परिपथीय नियम द्वारा टोरॉइड के केंद्र O से किसी यादृच्छिक दूरी r पर चुंबकीय क्षेत्र प्राप्त किया जा सकता है। 1, 2, 3 द्वारा अंकित खंडित रेखाएँ इनके वृत्ताकार ऐम्पियर-पाश हैं।

4.8.2 टोरॉइड

यह एक वृत्ताकार खोखला छल्ला होता है जिस पर किसी तार के अत्यधिक फेरे पास-पास सटाकर लपेटे जाते हैं। इसे एक ऐसी परिनालिका के रूप में भी देखा जा सकता है जिसे बंद करने के लिए वृत्ताकार मोड़ दिया गया है। इसे चित्र 4.19 (a) में दर्शाया गया है। इससे I विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। हम यह देखेंगे कि टोरॉइड के भीतर खुले दिक्स्थान में (बिंदु P) तथा टोरॉइड के बाहर (बिंदु Q) पर चुंबकीय क्षेत्र शून्य है। किसी आदर्श टोरॉइड जिसके फेरे सटाकर लिपटे होते हैं, के लिए टोरॉइड के भीतर चुंबकीय क्षेत्र **B** नियत रहता है।

चित्र 4.19 (b) में टोरॉइड की अनुप्रस्थ काट दर्शायी गई है। वृत्ताकार-पाशों के लिए दक्षिण हस्त नियम के अनुसार टोरॉइड के भीतर चुंबकीय क्षेत्र की दिशा दक्षिणावर्त है। खंडित रेखाएँ जिन पर 1, 2, 3 अंकित हैं, इसके तीन ऐम्पियर-पाश हैं। सममिति के अनुसार चुंबकीय क्षेत्र इन पाशों में प्रत्येक के स्पर्शरेखीय होना चाहिए तथा प्रत्येक पाश के लिए इसका परिमाण नियत होना चाहिए। पाश 2 तथा 3 इन दोनों द्वारा घेरे गए वृत्ताकार क्षेत्र टोरॉइड को काटते हैं; इस प्रकार विद्युत धारावाही तार को प्रत्येक फेरा पाश 2 को एक तथा पाश 3 को दो बार काटता है।

मान लीजिए पाश 1 के अनुदिश चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण B_1 है। तब ऐम्पियर के परिपथीय नियम में [समीकरण 4.17 (a)] $L = 2\pi r_1$ तथापि, यह पाश कोई विद्युत धारा परिबद्ध नहीं करता, अत: $I_e = 0$। इस प्रकार

$$B_1\,(2\,\pi\,r_1) = \mu_0(0), \quad B_1 = 0$$

इस प्रकार टोरॉइड के भीतर खुले क्षेत्र में किसी भी बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र शून्य होता है।

अब हम यह दर्शाएँगे कि इसी प्रकार Q पर भी चुंबकीय क्षेत्र शून्य है। मान लीजिए पाश 3 के अनुदिश चुंबकीय क्षेत्र B_3 है। एक बार फिर ऐम्पियर के नियम के अनुसार $L = 2\,\pi\,r_3$, तथापि अनुप्रस्थ काट से हम यह देखते हैं कि कागज़ के तल से बाहर निकलती विद्युत धारा कागज़ के तल के भीतर जाती विद्युत धारा से ठीक-ठीक निरसित हो जाती है। अत: $I_e = 0$, तथा $B_3 = 0$। मान लीजिए टोरॉइड के भीतर चुंबकीय क्षेत्र B है। अब हम S पर चुंबकीय क्षेत्र के बारे में विचार करेंगे। एक बार फिर हम ऐम्पियर के नियम का उपयोग [समीकरण [4.17 (a)] के रूप में करते हैं। हम पाते हैं कि $L = 2\pi\,r$

परिबद्ध विद्युत धारा I_e का मान (टोरॉइडी कुंडली के N फेरों के लिए) $N\,I$ है।

© NCERT not to be republished

$$B\,(2\pi r) = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \qquad (4.21)$$

हम अब टोरॉइड तथा परिनालिका के लिए प्राप्त इन दो परिणामों की तुलना करेंगे। हम समीकरण (4.21) के व्यंजक की परिनालिका के लिए समीकरण (4.20) में दिए गए व्यंजक से तुलना करने के लिए समीकरण (4.21) को दुबारा नए रूप में व्यक्त करेंगे। मान लीजिए टोरॉइड की औसत त्रिज्या r है तथा इसमें प्रति एकांक लंबाई फेरों की संख्या n है, तब

$N = 2\pi r\, n$ = *टोरॉइड की (औसत) परिधि*

× *प्रति एकांक लंबाई फेरों की संख्या*

तथा, इस प्रकार

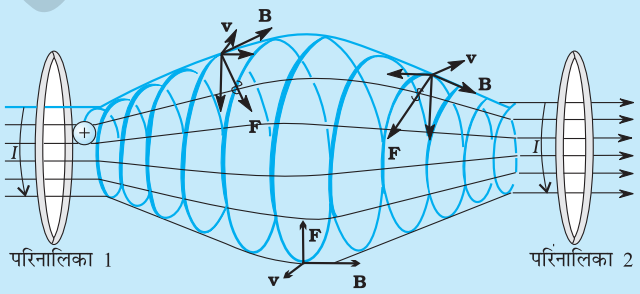
$$B = \mu_0\, n\, I, \qquad (4.22)$$

अर्थात, यही परिणाम हमें परिनालिका के लिए प्राप्त हुआ था।

आदर्श टोरॉइड में कुंडलियाँ पूर्णत: वृत्ताकार होती हैं। वास्तव में टोरॉइड के फेरे सर्पिलाकार कुंडली बनाते हैं तथा इसके बाहर सदैव ही एक क्षीण चुंबकीय क्षेत्र पाया जाता है।

चुंबकीय परिरोधन

हमने अनुभाग 4.3 में यह देखा है (इस अध्याय के आरंभ में बॉक्स आवेशित कणों की सर्पिलाकार गति देखें) कि आवेशित कणों की कक्षाएँ सर्पिलाकार होती हैं। यदि चुंबकीय क्षेत्र असमान है, परंतु एक वर्तुल कक्षा में जिसका अधिक परिवर्तन नहीं होता है तब सर्पिल की त्रिज्या प्रबल चुंबकीय क्षेत्र में प्रवेश करने पर घटेगी तथा दुर्बल क्षेत्र में प्रवेश करने पर बढ़ेगी। हम दो परिनालिकाओं पर विचार करते हैं जो एक दूसरे से कुछ दूरी पर हैं तथा निर्वातित पात्र में परिबद्ध हैं। (नीचे दिए गए चित्र को देखें जिसमें हमने पात्र को नहीं दर्शाया है)। परिनालिकाओं के मध्य क्षेत्र में गति करने वाले आवेशित कण अपनी अपनी गति छोटी त्रिज्या से आरंभ करेंगे। जैसे क्षेत्र कम होगा, त्रिज्या में वृद्धि होगी तथा त्रिज्या में फिर कमी होगी जब परिनालिका 2 के कारण चुंबकीय क्षेत्र में वृद्धि होगी। परिनालिकाएँ दर्पण अथवा परावर्तक की भाँति कार्य करती हैं [जैसे ही कण परिनालिका 2 की तरफ़ पहुँचता है चित्र में बल **F** की दिशा देखें। इसका क्षैतिज घटक अग्रदिश गति के विरुद्ध है।] जिसके कारण कण दूसरी परिनालिका 2 के पास पहुँचते ही वापस भेज दिया जाता है। इस प्रकार की व्यवस्था एक चुंबकीय बोतल अथवा चुंबकीय पात्र की भाँति कार्य करेगी। कण पात्र के दोनों तरफ़ की सीमाओं को कभी स्पर्श नहीं करेगा। ऐसी चुंबकीय बोतल संलयन प्रयोगों में उच्च ऊर्जा 'प्लाज्मा' को परिरोधित करने में बहुत उपयोगी है। अपने उच्च ताप के कारण 'प्लाज्मा' किसी भी पदार्थ की अन्य अवस्था को नष्ट कर देगा। एक अन्य उपयोगी संयोजन टोरॉइड है। टोकामैक में टोरॉइड की प्रमुख भूमिका निभाने की आशा की जाती है। टोकामैक संलयन शक्ति रिएक्टरों में प्लाज़्मा परिरोधन के लिए उपयोगी उपकरण है। यहाँ एक अंतर्राष्ट्रीय सहयोग अंतर्राष्ट्रीय ताप-नाभिकीय प्रयोगात्मक रिएक्टर (ITER) नियंत्रित संलयन प्राप्त करने के लिए फ्रांस में स्थापित हो रहा है जिसका भारत एक सहयोगी राष्ट्र है। ITER से सहयोग एवं परियोजना संबंधी विस्तृत जानकारी के लिए देखें http://www.iter.org.



© NCERT not to be republished

उदाहरण 4.9

उदाहरण 4.9 कोई परिनालिका जिसकी लंबाई 0.5 m तथा त्रिज्या 1 cm है, में 500 फेरे हैं। इसमें 5 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। परिनालिका के भीतर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण क्या है?

हल प्रति एकांक लंबाई फेरों की संख्या

$$n = \frac{500}{0.5} = 1000 \quad \text{फेरे प्रति मीटर}$$

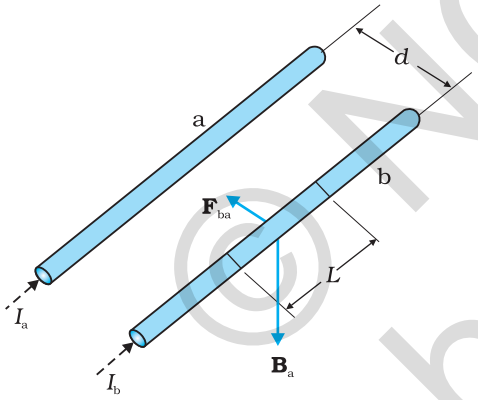
लंबाई $l = 0.5$ m तथा त्रिज्या $r = 0.01$ m। इस प्रकार, $l/a = 50$ अर्थात $l >> a$

अत: हम *लंबी* परिनालिका का सूत्र [समीकरण (4.20)] का उपयोग कर सकते हैं

$$B = \mu_0 n I$$
$$= 4\pi \times 10^{-7} \times 10^3 \times 5$$
$$= 6.28 \times 10^{-3} \text{ T}$$

4.9 दो समांतर विद्युत धाराओं के बीच बल–ऐम्पियर

हम यह सीख चुके हैं कि किसी विद्युत धारावाही चालक के कारण चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है तो बायो-सावर्ट नियम का पालन करता है। साथ ही हमने यह भी सीखा है कि विद्युत धारावाही चालक पर बाह्य चुंबकीय क्षेत्र बल आरोपित करता है। यह लोरेंज बल सूत्र का अनुगमन करता है। अत: यह आशा करना तर्कसंगत है कि एक-दूसरे के पास स्थित दो विद्युत धारावाही चालक एक दूसरे पर (चुंबकीय) बल आरोपित करेंगे। सन् 1820-25 की अवधि में ऐम्पियर ने इस चुंबकीय बल की प्रकृति, इसकी विद्युत धारा के परिमाण, चालक की आकृति तथा आमाप पर निर्भरता के साथ इन चालकों के बीच की दूरी पर निर्भरता का अध्ययन किया। इस अनुभाग में हम दो समांतर विद्युत धारावाही चालकों के सरल उदाहरण पर ही चर्चा करेंगे जो कदाचित ऐम्पियर के श्रम साध्य कार्यों के प्रति आभार प्रकट करने में हमारी सहायता करेंगे।



चित्र 4.20 दो लंबे सीधे, समांतर चालक जिनमें अपरिवर्ती धारा i_a एवं i_b प्रवाहित हो रही है और जो एक-दूसरे से d दूरी पर रखे हैं। चालक *'a'* के कारण चालक *'b'* पर उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}_a$ है।

चित्र 4.20 में दो लंबे समांतर चालक a तथा b दर्शाए गए हैं जिनके बीच पृथकन d है तथा जिनसे (समांतर) क्रमश: I_a तथा I_b विद्युत धाराएँ प्रवाहित हो रही हैं। चालक 'a' चालक 'b' के अनुदिश प्रत्येक बिंदु पर समान चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}_a$ लगा रहा है। तब दक्षिण हस्त नियम के अनुसार इस चुंबकीय क्षेत्र की दिशा अधोमुखी (जब चालक क्षैतिजत: रखे होते हैं) है। ऐम्पियर के परिपथीय नियम अथवा [समीकरण [4.19 (a)] के अनुसार इस चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण

$$B_a = \frac{\mu_0 I_a}{2\pi d}$$

चालक 'b' जिससे विद्युत धारा I_b प्रवाहित हो रही है $\mathbf{B}_a$ के कारण पार्श्वत: एक बल का अनुमान करता है। इस बल की दिशा चालक 'a' की ओर होती है। (आप इसकी पुष्टि स्वयं कर सकते हैं) हम इस बल को $\mathbf{F}_{ba}$ द्वारा नामांकित करते हैं, जोकि 'a' के कारण 'b' के खंड **L** पर लगा बल है। समीकरण (4.4) से इस बल का परिमाण

$$F_{ba} = I_b L B_a$$

© NCERT not to be republished

$$= \frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi d} L \qquad (4.23)$$

वास्तव में 'b' के कारण 'a' पर बल को परिकलित करना संभव है। जिस प्रकार हमने ऊपर विचार किया था उसी प्रकार के विचारों के द्वारा हम 'b' में प्रवाहित विद्युत धारा के कारण 'a' के खंड L पर बल $\mathbf{F}_{ab}$ के बराबर तथा 'b' की ओर निर्दिष्ट ज्ञात कर सकते हैं। यह परिमाण में $\mathbf{F}_{ba}$ के बराबर तथा 'b' की ओर निर्दिष्ट होता है। इस प्रकार

$$\mathbf{F}_{ba} = -\mathbf{F}_{ab} \qquad (4.24)$$

ध्यान दीजिए, यह न्यूटन के तीसरे गति के नियम के अनुरूप है। इस प्रकार हमने समांतर चालकों तथा अपरिवर्ती विद्युत धाराओं के लिए यह तो दर्शा ही दिया है कि बायो–सावर्ट नियम तथा लोरेंज बल द्वारा प्राप्त परिणाम न्यूटन के गति के तीसरे नियम के अनुरूप है।*

हमने ऊपर प्राप्त परिणामों से यह पाया कि समान दिशा में प्रवाहित होने वाली विद्युत धाराएँ एक दूसरे को आकर्षित करती हैं। हम यह भी दर्शा सकते हैं कि विपरीत दिशाओं में प्रवाहित होने वाली विद्युत धाराएँ एक दूसरे को प्रतिकर्षित करती हैं। इस प्रकार

समांतर धाराएँ आकर्षित तथा प्रतिसमांतर धाराएँ प्रतिकर्षित करती हैं।

यह नियम उस नियम के विपरीत है जिसका हमने स्थिरवैद्युतिकी में अध्ययन किया था– "सजातीय आवेशों में प्रतिकर्षण तथा विजातीय आवेशों में आकर्षण होता है।" परंतु सजातीय (समांतर) धाराएँ एक दूसरे को आकर्षित करती हैं।

मान लीजिए f_{ba} बल $\mathbf{F}_{ba}$ के प्रति एकांक लंबाई पर आरोपित बल के परिमाण को निरूपित करता है। तब समीकरण (4.23) से,

$$f_{ba} = \frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi d} \qquad (4.25)$$

उपरोक्त व्यंजक का उपयोग विद्युत धारा के मात्रक ऐम्पियर (A) की परिभाषा को प्राप्त करने में किया जा सकता है। यह सात SI मूल मात्रकों में से एक है।

एक ऐम्पियर वह अपरिवर्ती विद्युत धारा है जो दो लंबे, सीधे उपेक्षणीय अनुप्रस्थ काट के निर्वात में एक दूसरे से 1m दूरी पर स्थित समांतर चालकों में प्रवाहित हो, तो इनमें से प्रत्येक चालक की प्रति मीटर लंबाई पर 2×10^{-7}N का बल उत्पन्न होता है।

'ऐम्पियर' की यह परिभाषा सन् 1946 में अपनायी गई थी। यह एक सैद्धांतिक परिभाषा है। व्यवहार में हमें पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव को विलुप्त करना चाहिए तथा बहुत लंबे तारों के स्थान पर उचित ज्यामिति की बहुफेरों की कुंडलियाँ लेनी चाहिए। एक उपकरण, जिसे 'धारा तुला' कहते हैं, का उपयोग इस यांत्रिक बल की माप के लिए किया जाता है।

आवेश के SI मात्रक, अर्थात कूलॉम को अब हम ऐम्पियर के पदों में परिभाषित कर सकते हैं।

जब किसी चालक में 1A की अपरिवर्ती विद्युत धारा प्रवाहित होती है तो उसकी अनुप्रस्थ काट से एक सेकंड में प्रवाहित आवेश की मात्रा एक कूलॉम (1C) होती है।

---

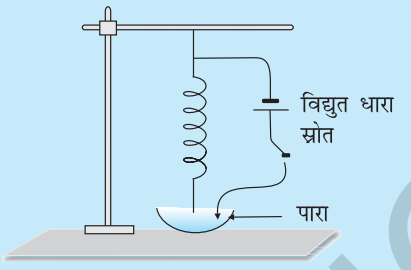
* इससे यह अर्थ निकलता है कि जब हमारे पास समय निर्भर विद्युत धाराएँ/अथवा गतिशील आवेश होती हैं तब आवेशों/चालकों के बीच बलों के लिए न्यूटन का तीसरा नियम लागू नहीं होता। न्यूटन के तीसरे नियम का आवश्यक परिणाम यांत्रिकी में किसी वियुक्त निकाय के संवेग का संरक्षण है। तथापि यह विद्युत चुंबकीय क्षेत्रों के साथ समय निर्भर स्थितियों के प्रकरण पर लागू होती है, परंतु इस शर्त के साथ कि क्षेत्रों द्वारा वहन संवेग को भी सम्मिलित किया जाए।

© NCERT not to be republished

समांतर विद्युत धाराओं के बीच आकर्षण के लिए रागेट का सर्पिल

चुंबकीय प्रभाव सामान्यत: विद्युत प्रभावों से कम प्रभावी होते हैं। इसके परिणामस्वरूप विद्युत धाराओं के बीच बल, कारक μ के अल्पमान के कारण, अल्प परिमाण के होते हैं। इसीलिए विद्युत धाराओं के बीच आकर्षण अथवा प्रतिकर्षण के बलों को निदर्शित करना कठिन है। इस प्रकार प्रत्येक तार से 5 A विद्युत धारा तथा 1 cm पृथकन के लिए प्रति मीटर बल 5×10^{-4} N होता है जो कि लगभग 50 mg भार होता है। यह इस प्रकार होगा जैसे कि किसी घिरनी से डोरी द्वारा लटका 50 mg भार उस डोरी से बँधे तार को खींच रहा हो। इस भार के कारण तार में हुआ विस्थापन लगभग अदृश्य होगा।

कोमल कमानी का उपयोग करके हम समांतर विद्युत धाराओं की प्रभावी लंबाई में वृद्धि कर सकते हैं तथा पारे (मरकरी) का उपयोग करके हम कुछ मिलीमीटर के विस्थापनों को भी प्रभावशाली ढंग से प्रेक्षणीय बना सकते हैं। आपको ऐसी विद्युत धारा आपूर्ति की आवश्यकता भी होगी जो लगभग 5 A की अचर विद्युत धारा प्रदान करे।



एक ऐसी कोमल कमानी लीजिए जिसका प्राकृतिक दोलन काल लगभग 0.5 – 1 s हो। इसे ऊर्ध्वाधर लटकाकर इसके निचले सिरे पर चित्र में दर्शाए अनुसार एक नोंक जोड़िए। प्याली में थोड़ी मरकरी लीजिए तथा कमानी को इस प्रकार समायोजित कीजिए कि इसकी नोक मरकरी के पृष्ठ के ठीक ऊपर हो। दिष्ट विद्युत धारा (DC स्रोत) स्रोत लेकर इसके एक टर्मिनल को कमानी के ऊपरी सिरे से संयोजित कीजिए तथा दूसरे टर्मिनल को मरकरी में डुबोइए। यदि कमानी की नोंक मरकरी को स्पर्श करती है तो मरकरी से होते हुए विद्युत परिपथ पूरा हो जाता है।

मान लीजिए प्रारंभ में DC स्रोत 'ऑफ' है। मान लीजिए कमानी की नोंक इस प्रकार समायोजित है कि वह मरकरी के पृष्ठ को स्पर्श कर रही है। अब अचर विद्युत धारा स्रोत को 'ऑन' कीजिए तथा मंत्र-मुग्ध करने वाला परिणाम देखिए। कमानी एक झटके के साथ सिकुड़ती है, नोंक मरकरी से बाहर आ जाती है (लगभग 1mm), परिपथ टूट जाता है, विद्युत धारा प्रवाहित होना रुक जाता है, कमानी शिथिल हो जाती है तथा अपनी मूल स्थिति में आने का प्रयास करती है, कमानी की नोंक पुन: मरकरी के पृष्ठ को छूती है तथा परिपथ में विद्युत धारा प्रवाहित होने लगती है और यह चक्र टिक, टिक, टिक के साथ चलता रहता है। आरंभ में आपको अच्छा प्रभाव पाने के लिए कुछ समायोजन की आवश्यकता होती है।

क्योंकि मरकरी की वाष्प ज़हरीली होती है, अत: प्रयोग करते समय अपना चेहरा मरकरी से दूर रखिए। काफ़ी समय तक मरकरी की वाष्प के पास साँस मत खींचिए।

उदाहरण 4.10 किसी निर्धारित स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक 3.0×10^{-5} T है, तथा इस क्षेत्र की दिशा भौगोलिक दक्षिण से भौगोलिक उत्तर की ओर है। किसी अत्यधिक लंबे सीधे चालक से 1A की अपरिवर्ती धारा प्रवाहित हो रही है। जब यह तार किसी क्षैतिज मेज़ पर रखा है तथा विद्युत धारा के प्रवाह की दिशाएँ (a) पूर्व से पश्चिम की ओर; (b) दक्षिण से उत्तर की ओर हैं तो तार की प्रत्येक एकांक लंबाई पर बल कितना है?

हल $\mathbf{F} = I\mathbf{l} \times \mathbf{B}$

$F = IlB \sin\theta$

प्रति एकांक लंबाई पर बल

$f = F/l = I B \sin\theta$

(a) जब विद्युत धारा पूर्व से पश्चिम की ओर प्रवाहित होती है, तब

$\theta = 90°$

अत:

$f = I B$

$= 1 \times 3 \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-5}$ N m^{-1}

उदाहरण 4.10

© NCERT not to be republished

उदाहरण 4.10

यह ऐम्पियर की परिभाषा में वर्णित बल के मान 2×10^{-7} Nm^{-1} से बड़ा है। अत: ऐम्पियर का मानकीकरण करने के लिए पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र तथा अन्य भूले-भटके क्षेत्रों के प्रभावों को समाप्त करना महत्वपूर्ण है। बल की दिशा अधोमुखी है।

इस दिशा को 'सदिशों के सदिश गुणनफल' के दैशिक गुण के द्वारा प्राप्त किया जा सकता है।

(b) जब विद्युत धारा के प्रवाह की दिशा दक्षिण से उत्तर की ओर है, तो

$\theta = 0^\circ$

$f = 0$

अत: चालक पर कोई बल कार्य नहीं करता।

4.10 विद्युत धारा पाश पर बल आघूर्ण, चुंबकीय द्विध्रुव

4.10.1 एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में आयताकार विद्युत धारा पाश पर बल आघूर्ण

अब हम आपको यह दिखाएँगे कि एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में स्थित कोई आयताकार पाश जिससे अपरिवर्ती विद्युत धारा I प्रवाहित हो रही है, एक बल आघूर्ण का अनुभव करता है। इस पर कोई नेट बल आरोपित नहीं होता। यह व्यवहार उस द्विध्रुव के व्यवहार के समरूपी है जो यह एकसमान विद्युत क्षेत्र में दर्शाता है (अनुभाग 1.10 देखिए)।

पहले हम उस सरल प्रकरण पर विचार करते हैं जिसमें आयताकार पाश इस प्रकार स्थित है कि एकसमान चुंबकीय क्षेत्र **B** पाश के तल में है। इसे चित्र 4.21 (a) में दर्शाया गया है।

चुंबकीय क्षेत्र पाश की दो भुजाओं AD तथा BC पर कोई बल आरोपित नहीं करता। यह पाश की भुजा AB के लंबवत है तथा इस पर बल $\mathbf{F}_1$ आरोपित करता है जिसकी दिशा पाश के तल में भीतर की ओर है। इस बल का परिमाण है :

$$F_1 = I\,b\,B$$

इसी प्रकार, चुंबकीय क्षेत्र भुजा CD पर एक बल $\mathbf{F}_2$ आरोपित करता है जो पाश के तल के बाहर की ओर है। इस बल का परिमाण है :

$$F_2 = I\,b\,B = F_1$$

इसी प्रकार पाश पर आरोपित *नेट बल शून्य* है। बलों $\mathbf{F}_1$ तथा $\mathbf{F}_2$ के युगल के कारण पाश पर एक बल आघूर्ण कार्य करता है। चित्र 4.21 (b) में AD सिरे से पाश का एक दृश्य दिखाया गया है। यह स्पष्ट करता है कि यह बल आघूर्ण पाश में वामावर्त घूर्णन की प्रवृत्ति उत्पन्न करता है। इस बल आघूर्ण का परिमाण है :

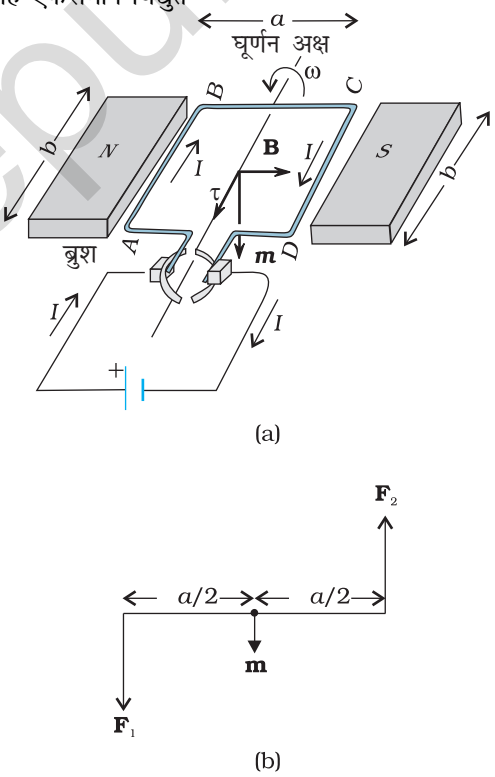
$$\tau = F_1\frac{a}{2} + F_2\frac{a}{2}$$

$$= IbB\frac{a}{2} + IbB\frac{a}{2} = I(ab)B$$

$$= I\,A\,B \qquad (4.26)$$

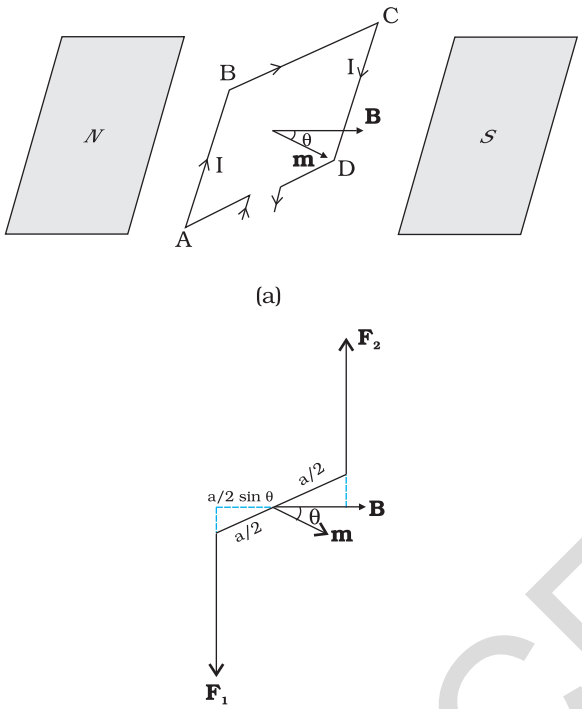
यहाँ $A = ab$ आयत का क्षेत्रफल है।

अब हम आगे उस प्रकरण पर विचार करेंगे जिसमें पाश का तल चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश नहीं है, परंतु इनके बीच कोई कोण बनता है। हम



चित्र 4.21 (a) एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में स्थित कोई विद्युत धारावाही आयताकार कुंडली। चुंबकीय आघूर्ण ***m*** अधोमुखी संकेत करता है। बल आघूर्ण $\boldsymbol{\tau}$ अक्ष के अनुदिश है तथा इसकी प्रवृत्ति कुंडली को वामावर्त घूर्णन कराने की है। (b) कुंडली पर बल युग्म कार्य करते हुए।

© NCERT not to be republished



चित्र 4.22 (a) पाश ABCD का क्षेत्र सदिश चुंबकीय क्षेत्र से कोई यादृच्छिक कोण θ बनाता है। (b) पाश का ऊपरी दृश्य। भुजाओं AB तथा CD पर कार्यरत बल $\mathbf{F}_1$ तथा $\mathbf{F}_2$ दर्शाए गए हैं।

चुंबकीय क्षेत्र B तथा कुंडली पर अभिलंब के बीच का कोण θ लेते हैं (पहला प्रकरण $\theta = \pi/2$ के तदनुरूपी है)। चित्र 4.22 में यह व्यापक प्रकरण दर्शाया गया है।

भुजाओं BC तथा DA पर कार्यरत बल परिमाण में समान दिशा में विपरीत तथा कुंडली के अक्ष के अनुदिश कार्य करते हैं। ये बल BC तथा DA के संहति केंद्रों को संयोजित करते हैं। अक्ष के अनुदिश संरेखित होने के कारण ये एक दूसरे को निरस्त करते हैं, परिणामस्वरूप कोई नेट बल अथवा बल आघूर्ण नहीं है। भुजाओं AB तथा CD पर कार्यरत बल $\mathbf{F}_1$ तथा $\mathbf{F}_2$ हैं। ये भी परिमाण सहित समान एवं विपरीत हैं।

$$F_1 = F_2 = I\, b\, B$$

परंतु ये संरेख नहीं हैं। इसके परिणामस्वरूप पहले की तरह एक बल युग्म उत्पन्न होता है। तथापि, पिछले प्रकरण जिसमें पाश का तल चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश था, की तुलना में बल आघूर्ण का परिमाण अब कम है। इसका कारण यह है कि बलयुग्म बनाने वाले बलों के बीच की लंबवत दूरी कम हो गई है। चित्र 4.22(b) में सिरे AD से इस व्यवस्था का दृश्य दिखाया गया है। इसमें यह दर्शाया गया है कि ये दो बल एक बलयुग्म बनाते हैं। पाश पर बल आघूर्ण का परिमाण है :

$$\tau = F_1 \frac{a}{2} \sin\theta + F_2 \frac{a}{2} \sin\theta$$
$$= I\, ab\, B \sin\theta$$
$$= I\, A\, B \sin\theta \qquad (4.27)$$

जैसे-जैसे $\theta \to 0$, बलयुग्म के बलों के बीच लंबवत दूरी भी शून्य की ओर बढ़ती है। इससे बल संरेख बन जाते हैं तथा नेट बल तथा बल आघूर्ण शून्य हो जाते हैं। समीकरणों (4.26) तथा (4.27) के बल आघूर्णों को कुंडली के चुंबकीय आघूर्ण तथा चुंबकीय क्षेत्र के सदिश गुणनफल के रूप में व्यक्त कर सकते हैं। विद्युत धारा पाश के *चुंबकीय आघूर्ण* को हम इस प्रकार परिभाषित करते हैं

$$\mathbf{m} = I\,\mathbf{A} \qquad (4.28)$$

यहाँ क्षेत्र सदिश **A** की दिशा दक्षिण हस्त अंगुष्ठ नियम के अनुसार कागज़ के तल के भीतर की ओर निर्दिष्ट है (चित्र 4.21 देखिए) चूँकि **m** तथा **B** के बीच का कोण θ है, समीकरणों (4.26) तथा (4.27) को केवल एक व्यंजक द्वारा व्यक्त किया जा सकता है

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B} \qquad (4.29)$$

यह स्थिरवैद्युतिकी के प्रकरण के सदृश है। [विद्युत क्षेत्र **E** में द्विध्रुव आघूर्ण $\mathbf{p}_e$ का वैद्युत द्विध्रुव]

जैसा कि समीकरण (4.28) से स्पष्ट है, चुंबकीय क्षेत्र की विमाएँ $[AL^2]$ हैं तथा इसका मात्रक Am^2 है।

समीकरण (4.29) से स्पष्ट है कि जब **m** चुंबकीय क्षेत्र **B** के समांतर अथवा प्रतिसमांतर होता है तो बल आघूर्ण $\boldsymbol{\tau}$ विलुप्त हो जाता है। जब कुंडली पर बल आघूर्ण नहीं होता तो यह साम्यावस्था की ओर इंगित करता है (यह चुंबकीय आघूर्ण **m** की किसी वस्तु पर भी लागू होता है)। जब **m**

© NCERT not to be republished

तथा **B** समांतर होते हैं तो साम्यावस्था स्थायी होती है। कुंडली में कोई भी घूर्णन होने पर बल आघूर्ण उत्पन्न होता है जो कुंडली को वापस उसकी मूल स्थिति में ला देता है। जब ये प्रतिसमांतर होते हैं तो साम्यावस्था अस्थायी होती है क्योंकि कुंडली में कोई घूर्णन होने पर एक बल आघूर्ण उत्पन्न होता है जो इस घूर्णन में वृद्धि कर देता है। इस बल आघूर्ण की उपस्थिति के कारण ही लघु चुंबक अथवा कोई चुंबकीय द्विध्रुव बाह्य चुंबकीय क्षेत्र के साथ स्वयं को संरेखित कर लेता है।

यदि पाश में पास-पास सटे हुए N फेरे हैं तो बल आघूर्ण के लिए व्यंजक, समीकरण (4.29) अब भी लागू होता है। तब यह व्यंजक इस प्रकार व्यक्त किया जाता है

$$\mathbf{m} = N I \mathbf{A} \qquad (4.30)$$

उदाहरण 4.11 10 cm त्रिज्या की किसी कुंडली जिसमें पास-पास सटे 100 फेरे हैं, में 3.2 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। (a) कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र कितना है? (b) इस कुंडली का चुंबकीय आघूर्ण क्या है?

यह कुंडली ऊर्ध्वाधर तल में रखी है तथा किसी क्षैतिज अक्ष जो उसके व्यास से संरेखित है, के परित: घूर्णन करने के लिए स्वतंत्र है। एक 2T का एकसमान चुंबकीय क्षेत्र क्षैतिज दिशा में है जो इस प्रकार है कि आरंभ में कुंडली का अक्ष चुंबकीय क्षेत्र की दिशा में है। चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव में कुंडली 90º के कोण पर घूर्णन कर जाती है। (c) आरंभिक तथा अंतिम स्थिति में कुंडली पर बल आघूर्ण के परिमाण क्या हैं? (d) 90º पर घूर्णन करने के पश्चात कुंडली द्वारा अर्जित कोणीय चाल कितनी है? कुंडली का जड़त्व आघूर्ण 0.1 kg m^2 है।

हल

(a) समीकरण (4.16) से

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$$

यहाँ, N = 100; I = 3.2 A, तथा R = 0.1 m इसलिए

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10^2 \times 3.2}{2 \times 10^{-1}} = \frac{4 \times 10^{-5} \times 10}{2 \times 10^{-1}} \quad (\pi \times 3.2 = 10 \text{ का उपयोग करने पर})$$

$$= 2 \times 10^{-3} \text{ T}$$

B की दिशा दक्षिण हस्त अंगुष्ठ नियम द्वारा प्राप्त होती है।

(b) समीकरण (4.30) से चुंबकीय आघूर्ण

$$m = N I A = N I \pi r^2 = 100 \times 3.2 \times 3.14 \times 10^{-2} = 10 \text{ A m}^2$$

इस बार फिर दिशा दक्षिण हस्त अंगुष्ठ नियम द्वारा प्राप्त होती है।

(c) $\tau = |\mathbf{m} \times \mathbf{B}|$ [समीकरण (4.29) से]

$$= m B \sin\theta$$

आरंभ में $\theta = 0$, इस प्रकार आरंभिक बल आघूर्ण $\tau_i = 0$, अंत में $\theta = \pi/2$ (अथवा 90º)

इस प्रकार अंतिम बल आघूर्ण $\tau_f = m B = 10 \times 2 = 20$ N m

(d) न्यूटन के द्वितीय नियम से

$$\mathcal{I}$$

यहाँ $\mathcal{I}$ कुंडली का जड़त्व आघूर्ण है। श्रृंखला नियम के अनुसार

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\theta}\frac{d\theta}{dt} = \frac{d\omega}{d\theta}\omega$$

इसका उपयोग करने पर,

$$\mathcal{I}\ \omega d\omega = m B \sin\theta d\theta$$

उदाहरण 4.11

© NCERT not to be republished

उदाहरण 4.11

$\theta = 0$ से $\theta = \pi/2$ तक समाकलन करने पर,

$$\mathcal{I}\frac{\omega_f^2}{2} = -mB\cos\theta\,\Big|_0^{\pi/2} = mB$$

$$\omega_f = \left(\frac{2mB}{\mathcal{I}}\right)^{1/2} = \left(\frac{2\times 20}{10^{-1}}\right)^{1/2} = 20\ \text{s}^{-1}$$

उदाहरण 4.12

उदाहरण 4.12

(a) किसी चिकने क्षैतिज तल पर कोई विद्युत धारावाही वृत्ताकार पाश रखा है। क्या इस पाश के चारों ओर ऐसा चुंबकीय क्षेत्र स्थापित किया जा सकता है कि यह पाश अपने अक्ष के चारों ओर स्वयं चक्कर लगाए (अर्थात ऊर्ध्वाधर अक्ष के चारों ओर)।

(b) कोई विद्युत वाही वृत्ताकार पाश किसी एकसमान बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में स्थित है। यदि यह पाश घूमने के लिए स्वतंत्र है, तो इसके स्थायी संतुलन का दिक्विन्यास क्या होगा। यह दर्शाइए कि इसमें कुल क्षेत्र (बाह्य क्षेत्र + पाश द्वारा उत्पन्न क्षेत्र) का फ्लक्स अधिकतम होगा।

(c) अनियमित आकृति का कोई विद्युत धारावाही पाश किसी बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में स्थित है। यदि तार लचीला है तो यह वृत्ताकार आकृति क्यों ग्रहण कर लेता है?

हल

(a) नहीं, क्योंकि इसके लिए ऊर्ध्वाधर दिशा में बल आघूर्ण $\boldsymbol{\tau}$ की आवश्यकता होगी। परंतु $\boldsymbol{\tau} = I\,\mathbf{A}\times\mathbf{B}$, और चूँकि क्षैतिज पाश का क्षेत्रफल सदिश $\mathbf{A}$ ऊर्ध्वाधर दिशा में है, τ को $\mathbf{B}$ के किसी मान के लिए पाश के तल में होना चाहिए।

(b) स्थायी संतुलन वाला दिक्विन्यास वह है जिसमें पाश का क्षेत्रफल सदिश $\mathbf{A}$ बाह्य चुंबकीय क्षेत्र की दिशा में होता है। इस दिक्विन्यास में पाश द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र बाह्य क्षेत्र की दिशा में ही है। इस प्रकार, दोनों क्षेत्र पाश के तल के लंबवत होने के कारण कुल क्षेत्र का अधिकतम फ्लक्स प्रदान करते हैं।

(c) यह क्षेत्र के लंबवत तल में वृत्ताकार पाश का रूप इसलिए ग्रहण कर लेता है ताकि इससे होकर अधिकतम फ्लक्स प्रवाहित हो सके। क्योंकि किसी दी गई परिमिति के लिए वृत्त का क्षेत्रफल किसी भी अन्य आकृति की तुलना में अधिकतम होता है।

4.10.2 वृत्ताकार विद्युत धारा पाश चुंबकीय द्विध्रुव

इस अनुभाग में हम मौलिक चुंबकीय तत्व के रूप में किसी विद्युत धारा पाश के विषय में विचार करेंगे। हम यह दर्शाएँगे कि वृत्ताकार विद्युत धारा पाश के कारण चुंबकीय क्षेत्र (अधिक दूरियों पर) व्यवहार में वैद्युत द्विध्रुव के विद्युत क्षेत्र से बहुत कुछ समान होता है। अनुभाग 4.6 में हमने R त्रिज्या के वृत्ताकार पाश जिससे अपरिवर्ती विद्युत धारा I प्रवाहित हो रही है, के कारण पाश के अक्ष चुंबकीय क्षेत्र का मूल्यांकन किया था। इस चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण [समीकरण (4.15)],

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2\left(x^2 + R^2\right)^{3/2}}$$

तथा इसकी दिशा अक्ष के अनुदिश थी जिसे दक्षिण हस्त अंगुष्ठ नियम द्वारा प्राप्त किया गया था (चित्र 4.12)। यहाँ पर x पाश के केंद्र से उसके अक्ष के अनुदिश दूरी है। यदि $x >> R$ है, तो हम उपरोक्त व्यंजक के हर से R^2 की उपेक्षा कर सकते हैं। इस प्रकार

© NCERT not to be republished

$$B = \frac{\mu_0 R^2}{2x^3}$$

ध्यान दीजिए, पाश का क्षेत्रफल $A = \pi R^2$, इस प्रकार

$$B = \frac{\mu_0 IA}{2\pi x^3}$$

जैसा कि पहले हमने चुंबकीय आघूर्ण **m** के परिमाण की परिभाषा $\mathbf{m} = I\mathbf{A}$ के रूप में की थी

$$\mathbf{B} \square \frac{\mu_0 \mathbf{m}}{2\pi x^3}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{m}}{x^3} \qquad [4.31(a)]$$

समीकरण [4.31(a)] का यह व्यंजक किसी स्थिरवैद्युत द्विध्रुव के विद्युत क्षेत्र के लिए पहले प्राप्त किए जा चुके व्यंजक से काफ़ी मेल खाता है। इस समानता को देखने के लिए हम प्रतिस्थापित करते हैं

$\mu_0 \to 1/\varepsilon_0$

$\mathbf{m} \to \mathbf{p}_e$ (स्थिरवैद्युत द्विध्रुव)

$\mathbf{B} \to \mathbf{E}$ (स्थिरवैद्युतीय क्षेत्र)

तब हमें प्राप्त होता है,

$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{p}_e}{4\pi\varepsilon_0 x^3}$$

जो कि यथार्थ रूप से किसी वैद्युत द्विध्रुव का उसके अक्ष पर विद्युत क्षेत्र है। इसके विषय में हमने अध्याय 1 अनुभाग 1.10 [समीकरण (1.20)] में अध्ययन किया था।

यह दर्शाया जा सकता है कि उपरोक्त सदृशता को आगे भी ले जाया जा सकता है। हमने यह पाया था कि द्विध्रुव के लंबवत द्विविभाजक पर विद्युत क्षेत्र [समीकरण (1.21) देखिए]

$$\mathbf{E} \approx \frac{\mathbf{p}_e}{4\pi\varepsilon_0 x^3}$$

यहाँ x द्विध्रुव से दूरी है। यदि हम उपरोक्त संबंध में $\mathbf{p} \to \mathbf{m}$ तथा $\mu_0 \to 1/\varepsilon_0$ से प्रतिस्थापित करें, तो हमें *पाश के तल में किसी बिंदु* जिसकी केंद्र से दूरी x है, के लिए **B** के परिणाम प्राप्त हो सकते हैं। $x >> R$ के लिए

$$\mathbf{B} \approx \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathbf{m}}{x^3}; \qquad x >> R \qquad [4.31(b)]$$

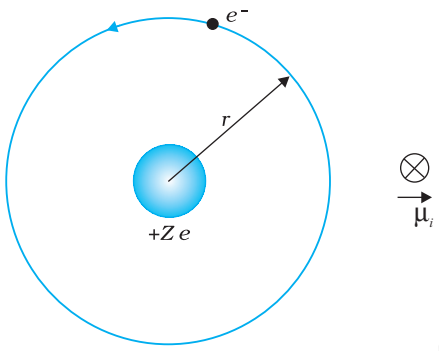
किसी *बिंदु* चुंबकीय द्विध्रुव के लिए समीकरणों [4.31(a)] तथा [4.31(b)] द्वारा दिए गए परिणाम यथार्थ बन जाते हैं।

उपरोक्त परिणाम किसी भी समतल पाश पर लागू होते दर्शाए जा सकते हैं। समतल विद्युत धारा पाश किसी अक्ष चुंबकीय द्विध्रुव के तुल्य होता है जिसका चुंबकीय आघूर्ण $\mathbf{m} = I\mathbf{A}$ है जो कि वैद्युत द्विध्रुव आघूर्ण **p** के सदृश है। ध्यान दीजिए, इतना होते हुए भी एक मूल अंतर यह है कि कोई वैद्युत द्विध्रुव दो मूल इकाइयों – आवेशों (अथवा विद्युत एकध्रुवों) से मिलकर बनता है। जबकि चुंबकत्व में कोई चुंबकीय द्विध्रुव (अथवा विद्युत धारा पाश) एक अत्यंत मूल तत्व है। चुंबकत्व में विद्युत आवेशों के समतुल्य अर्थात चुंबकीय एकध्रुवों, का अस्तित्व अब तक अज्ञात है।

© NCERT not to be republished

हमने यह दर्शाया कि कोई विद्युत धारा पाश (i) चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है (चित्र 4.12 देखिए) तथा अधिक दूरियों पर एक चुंबकीय द्विध्रुव की तरह व्यवहार करता है तथा (ii) पर एक बल आघूर्ण कार्य करता है जैसे चुंबकीय सुई। इसके आधार पर ऐम्पियर ने यह सुझाव दिया था कि समस्त चुंबकत्व प्रवाहित विद्युत धाराओं के कारण है। यह आंशिक रूप से सत्य प्रतीत होता है तथा अब तक कोई भी चुंबकीय एकध्रुव नहीं देखा जा सका है। तथापि मूल कण जैसे इलेक्ट्रॉन अथवा प्रोटॉन के भी नैज चुंबकीय आघूर्ण हैं जो प्रवाहित विद्युत धाराओं के कारण नहीं हैं।

4.10.3 परिक्रमी इलेक्ट्रॉन का चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण



चित्र 4.23 हाइड्रोजन जैसे परमाणुओं के बोर मॉडल में, ऋणावेश युक्त इलेक्ट्रॉन केंद्रस्थ धनावेश युक्त ($+Z\,e$) नाभिक के चारों ओर एकसमान चाल से घूम रहा है। इलेक्ट्रॉन की एकसमान वर्तुल गति एक धारा लूप बनाती है। चुंबकीय आघूर्णों की दिशा कागज़ के तल के लंबवत भीतर की ओर है तथा इसे पृथक रूप चिह्न ⊗ द्वारा निर्दिष्ट किया गया है।

अध्याय 12 में हम हाइड्रोजन परमाणु के बोर मॉडल के विषय में अध्ययन करेंगे। कदाचित आपने इस मॉडल के बारे में सुना होगा। जिसे डेनमार्क के भौतिक विज्ञानी नील बोर ने सन् 1911 में प्रस्तावित किया था और जो नए प्रकार की यांत्रिकी जिसे क्वांटम यांत्रिकी कहते हैं, के लिए मील का एक पत्थर था। बोर मॉडल में, इलेक्ट्रॉन (एक ऋणावेशित कण) किसी धनावेशित नाभिक के चारों ओर ठीक उसी प्रकार परिक्रमा करता है जिस प्रकार कोई ग्रह सूर्य की परिक्रमा करता है। इलेक्ट्रॉन के प्रकरण में बल स्थिरवैद्युत (कूलॉम बल) होता है जबकि सूर्य ग्रह प्रकरण में यह गुरुत्वाकर्षण बल होता है। चित्र 4.23 में बोर मॉडल दर्शाया गया है।

किसी स्थिर भारी नाभिक जिसका आवेश $+Ze$ है, के चारों ओर $(-e)$ आवेश का इलेक्ट्रॉन ($e = +1.6 \times 10^{-19}$ C) एकसमान वर्तुल गति करता रहता है। इससे विद्युत धारा I बनती है। यहाँ

$$I = \frac{e}{T} \tag{4.32}$$

यहाँ T परिक्रमण का आवर्तकाल है। यदि इलेक्ट्रॉन की कक्षा की त्रिज्या r तथा कक्षीय चाल v है, तो

$$T = \frac{2\pi r}{v} \tag{4.33}$$

समीकरण में T का मान प्रतिस्थापित करने पर $I = ev/2\pi r$

इस परिसंचारी विद्युत धारा के साथ एक चुंबकीय आघूर्ण संबद्ध होगा जिसे प्राय: μ_l द्वारा निर्दिष्ट करते हैं। समीकरण (4.28) से इसका परिमाण है $\mu_l = I\pi r^2 = evr/2$

चित्र 4.23 में इस चुंबकीय आघूर्ण की दिशा कागज़ के तल में भीतर की ओर है। [इस परिणाम पर हमें पहले वर्णन किए जा चुके दक्षिण हस्त नियम तथा इस तथ्य के आधार पर पहुंचे हैं कि ऋणावेशित इलेक्ट्रॉन वामावर्त गति कर रहा है जिसके फलस्वरूप विद्युत धारा दक्षिणावर्त है।] उपरोक्त व्यंजक के दक्षिण पक्ष को इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान m_e से गुणा एवं भाग करने पर हमें प्राप्त होता है

$$\mu_l = \frac{e}{2m_e}(m_e v r)$$

$$= \frac{e}{2m_e} l \tag{4.34(a)}$$

यहाँ, l केंद्रीय नाभिक के परित: इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग का परिमाण है। सदिश रूप में

$$\boldsymbol{\mu}_l = -\frac{e}{2m_e}\mathbf{l} \tag{4.34(b)}$$

© NCERT not to be republished

यहाँ ऋणात्मक चिह्न यहाँ यह संकेत देता है कि इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग की दिशा चुंबकीय आघूर्ण की दिशा के विपरीत है। यदि हमने इलेक्ट्रॉन (जिस पर आवेश $-e$ है) के स्थान पर $(+q)$ आवेश का कोई कण लिया होता तो कोणीय संवेग तथा चुंबकीय आघूर्ण दोनों की एक ही दिशा होती। अनुपात

$$\frac{\mu_l}{l} = \frac{e}{2m_e} \tag{4.35}$$

इसे *घूर्ण चुंबकीय अनुपात* कहते हैं तथा यह एक नियतांक है। इलेक्ट्रॉन के लिए इस अनुपात का मान 8.8×10^{10} C /kg है जिसे प्रयोगों द्वारा सत्यापित किया जा चुका है।

यह तथ्य कि परमाण्विक स्तर तक भी चुंबकीय आघूर्ण विद्यमान है परमाण्विक आघूर्ण संबंधी ऐम्पियर की साहसपूर्ण परिकल्पना की पुष्टि करता है। ऐम्पियर के अनुसार, यह पदार्थों के चुंबकीय गुणों को भली-भाँति स्पष्ट करने में सहायक है। क्या हम उस परमाणवीय द्विध्रुव आघूर्ण को कोई निश्चित मान दे सकते हैं? इसका उत्तर है – हाँ। बोर मॉडल की परिधि में ऐसा किया जाना संभव है। बोर ने यह परिकल्पना की थी कि कोणीय संवेग एक विविक्त मानों का समुच्चय ही हो सकता है। अर्थात

$$l = \frac{nh}{2\pi} \tag{4.36}$$

यहाँ n एक प्राकृत संख्या, $n = 1, 2, 3, \ldots$ है तथा h एक नियतांक है जिसे वैज्ञानिक मैक्स प्लांक के नाम पर (प्लांक नियतांक) कहते हैं तथा इसका मान $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J s है। कोणीय वेग की विविक्तता संबंधी इस शर्त को *बोर क्वांटीकरण-शर्त* कहते हैं। इसके विषय में हम अध्याय 12 में विस्तार से चर्चा करेंगे। यहाँ हमारा उद्देश्य मात्र प्राथमिक द्विध्रुव आघूर्ण को परिकलित करने में इसका उपयोग करना है। $n = 1$ लेने पर समीकरण (4.34) से हमें प्राप्त होता है,

$$\begin{aligned}(\mu_l)_{\min} &= \frac{e}{4\pi m_e} h \\ &= \frac{1.60 \times 10^{-19} \times 6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 9.11 \times 10^{-31}} \\ &= 9.27 \times 10^{-24} \text{ Am}^2\end{aligned} \tag{4.37}$$

यहाँ अधोलिखित min का उपयोग न्यूनतम के लिए किया गया है। इस न्यूनतम मान को *बोर मैग्नेटॉन* कहते हैं।

एकसमान वर्तुल गति करने वाले प्रत्येक आवेश के पास कोई चुंबकीय आघूर्ण अवश्य ही संबद्ध होता है जिसे समीकरण (4.34) के समान किसी व्यंजक से व्यक्त किया जाता है। इस द्विध्रुव आघूर्ण को *कक्षीय चुंबकीय आघूर्ण* कहते हैं। इसीलिए μ_l में अधोलिखित *'l'* लगा है। कक्षीय चुंबकीय आघूर्ण के अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन का एक नैज चुंबकीय आघूर्ण भी होता है जिसका आंकिक मान वही है जैसा समीकरण (4.37) में दर्शाया गया है। इस आघूर्ण को *चक्रण चुंबकीय आघूर्ण* कहते हैं। परंतु हम तुरंत ही यह स्पष्ट कर देना चाहते हैं कि इसका यह अर्थ नहीं है कि इलेक्ट्रॉन घूर्णन गति करता है। इलेक्ट्रॉन एक मूल कण है तथा प्रचक्रमान लट्टू अथवा पृथ्वी की भाँति इसका अपना कोई घूर्णन अक्ष नहीं है जिस पर यह घूर्णन कर सके। इतना होने पर भी इसका एक नैज चुंबकीय आघूर्ण होता है। लोहे तथा अन्य चुंबकीय पदार्थों में चुंबकन की सूक्ष्म जड़ें इसी नैज चक्रण चुंबकीय आघूर्ण से निकलती प्रतीत होती हैं।

4.11 चल कुंडली गैल्वेनोमीटर

अध्याय 3 के अंतर्गत विद्युत परिपथों में प्रवाहित धाराओं तथा वोल्टताओं के विषय में विस्तार से चर्चा की जा चुकी है। परंतु हम इन्हें किस प्रकार मापते हैं। हम यह कैसे कहते हैं कि किसी परिपथ में 1.5 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है अथवा किसी प्रतिरोधक के सिरों के बीच 1.2 V विभवांतर

भौतिकी
गैल्वेनोमीटर का ऐमीटर अथवा वोल्टमीटर में रूपांतरण
http://www.citycollegiate.com/galvanometer_XIIa.htm

© NCERT not to be republished

है। चित्र 4.24 में इसी उद्देश्य के उपयोग से किया जाने वाला उपयोगी उपकरण दर्शाया गया है जिसे *चल कुंडली गैल्वेनोमीटर* (moving coil galvanometer — MCG) कहते हैं। यह एक ऐसी युक्ति है जिसके सिद्धांत को हमारे द्वारा अनुभाग में 4.10 में की गई चर्चा के आधार पर समझा जा सकता है।

चल कुंडली गैल्वेनोमीटर में किसी एकसमान त्रिज्य (अरीय) चुंबकीय क्षेत्र में किसी अक्ष पर घूर्णन करने के लिए अनेक फेरों वाली एक कुंडली होती है (चित्र 4.24)। इस कुंडली के भीतर एक बेलनाकार नर्म लोह क्रोड जो केवल चुंबकीय क्षेत्र को त्रिज्य ही नहीं बनाता वरन चुंबकीय क्षेत्र की प्रबलता में भी वृद्धि कर देता है। जब इस कुंडली से कोई विद्युत धारा प्रवाहित की जाती है तो इस पर एक बल आघूर्ण कार्य करता है। समीकरण (4.26) के अनुसार इस बल आघूर्ण τ का मान होता है

$$\tau = NI\,AB$$

यहाँ, भौतिक राशियों के प्रतीकों के अपने सामान्य अर्थ हैं। चूँकि डिज़ाइन के अनुसार चुंबकीय क्षेत्र त्रिज्य है, हमने बल आघूर्ण के लिए दिए गए उपरोक्त व्यंजक में $\sin\theta = 1$ लिया है। यह चुंबकीय बल आघूर्ण $NIAB$ कुंडली में घूर्णन की प्रवृत्ति उत्पन्न करता है जिसके फलस्वरूप कुंडली अपने अक्ष पर घूर्णन करती है। कुंडली से जुड़ी कमानी S_p में कुंडली के घूर्णन के विरोध में बल आघूर्ण $k\phi$ उत्पन्न हो जाता है जो कुंडली के बल आघूर्ण $NIAB$ को संतुलित करता है; फलस्वरूप कुंडली में ϕ कोण का स्थायी कोणीय विक्षेप आ जाता है। साम्यावस्था में

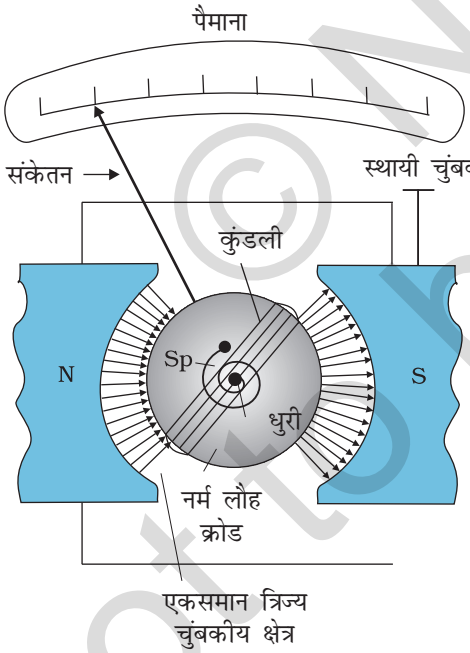
$$k\phi = NI\,AB$$

यहाँ k कमानी का ऐंठन नियतांक है, अर्थात प्रति एकांक ऐंठन प्रत्यानयन बल आघूर्ण है। विक्षेप ϕ का पाठ्यांक कमानी के साथ जुड़े संकेतक द्वारा पैमाने पर लिया जा सकता है। उपरोक्त व्यंजक के अनुसार ϕ का मान है

$$\phi = \frac{NAB}{k} I \qquad (4.38)$$

कोष्ठक की राशि का मान किसी दिए गए गैल्वेनोमीटर के लिए एक नियतांक है। गैल्वेनोमीटर का उपयोग कई प्रकार से किया जा सकता है। इसका उपयोग एक संसूचक के रूप में यह ज्ञात करने के लिए किया जा सकता है कि परिपथ में कोई विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है अथवा नहीं। इस प्रकार का उपयोग हमने व्हीटस्टोन सेतु व्यवस्था में किया था। जब गैल्वेनोमीटर का उपयोग संसूचक के रूप में करते हैं तो इसका संकेतक साम्यावस्था (शून्य विक्षेप स्थिति अर्थात जब कुंडली में कोई विद्युत धारा प्रवाहित नहीं होती) पैमाने के मध्य में होता है न कि बाईं ओर जैसा कि चित्र 4.24 में दर्शाया गया है। प्रवाहित विद्युत धारा के अनुसार गैल्वेनोमीटर का संकेतक विद्युत धारा की दिशा के अनुरूप बाएँ अथवा दाएँ विक्षेपित हो जाता है।

गैल्वेनोमीटर का उपयोग इसी रूप में किसी परिपथ में प्रवाहित विद्युत धारा को मापने के लिए ऐमीटर की भाँति नहीं किया जा सकता। इसके दो कारण हैं (i) गैल्वेनोमीटर एक अत्यंत सुग्राही युक्ति है, यह μA कोटि की विद्युत धारा के लिए पूर्ण पैमाना विक्षेप देती है। (ii) विद्युत धारा को मापने के लिए गैल्वेनोमीटर को परिपथ में श्रेणीक्रम में जोड़ना होता है। क्योंकि इसका प्रतिरोध अधिक होता है जो परिपथ में प्रवाहित होने वाली विद्युत धारा के मान को परिवर्तित कर देता है। इस परेशानी को दूर करने के लिए एक अल्प-मान वाला प्रतिरोध r_s जिसे *शंट* कहते हैं, गैल्वेनोमीटर की कुंडली के पार्श्वक्रम में संयोजित किया जाता है जिससे अधिकांश विद्युत धारा इस शंट से प्रवाहित हो जाती है। इस प्रकार इस व्यवस्था का प्रतिरोध हो जाता है–



चित्र 4.24 चल कुंडली गैल्वेनोमीटर। इसके अवयवों का वर्णन पाठ में किया गया है। आवश्यकतानुसार इस उपकरण का उपयोग हम धारा का पता लगाने या धारा (ऐमीटर), या फिर वोल्टता (वोल्टमीटर) का मान ज्ञात करने के लिए करते हैं।

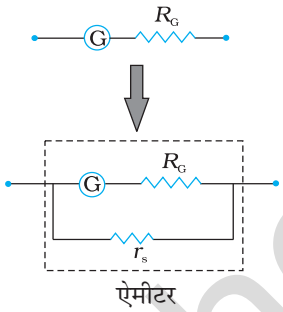
© NCERT not to be republished

$R_G r_s / (R_G + r_s) \sim r_s$ यदि $R_G >> r_s$

यदि परिपथ के प्रतिरोध R_e की तुलना में r_s का मान कम है तो मापक यंत्र को परिपथ में जोड़ने का प्रभाव भी कम होगा जिसकी उपेक्षा की जा सकती है। इस व्यवस्था का एक योजना आरेख चित्र 4.25 में दिखाया गया है। इस प्रकार बने ऐमीटर के पैमाने का अंशांकन कर दिया जाता है ताकि आसानी से धारा का मान पढ़ा जा सके। ऐमीटर की सुग्राहिता की परिभाषा हम विक्षेप प्रति इकाई धारा के रूप में करते हैं। समीकरण (4.38) के अनुसार धारा सुग्राहिता है,

$$\frac{\phi}{I} = \frac{NAB}{k} \qquad (4.39)$$

किसी भी उत्पादक के लिए गैल्वेनोमीटर की सुग्राहिता में वृद्धि करने का सरल उपाय यह है कि वह कुंडली में फेरों की संख्या N में वृद्धि कर दे। हम अपने प्रयोग की आवश्यकता के अनुसार गैल्वेनोमीटर का चयन करते हैं।



ऐमीटर

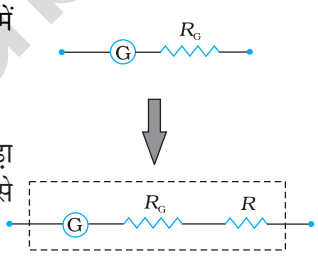
चित्र 4.25 एक अत्यल्प मान का शंट प्रतिरोध r_s पार्श्वक्रम में लगाकर किसी गैल्वेनोमीटर (G) को ऐमीटर (A) में रूपांतरित करना।

धारामापी का उपयोग परिपथ के किसी अंश के सिरों के बीच विभवांतर ज्ञात करने के लिए वोल्टमापी के रूप में भी हो सकता है। इस उद्देश्य के लिए इसको परिपथ के उस अंश के पार्श्वक्रम में लगाना होगा। और फिर, इसमें से अत्यल्प धारा प्रवाहित होनी चाहिए, अन्यथा, वोल्टता की माप मूल व्यवस्था को अत्यधिक विक्षुब्ध कर देगी। प्रायः हम मापक यंत्रों द्वारा उत्पन्न विक्षोभ को एक प्रतिशत से कम रखते हैं। माप की परिशुद्धता बनाए रखने के लिए, गैल्वेनोमीटर के श्रेणीक्रम में एक बड़ा प्रतिरोध R जोड़ा जाता है। इस व्यवस्था का योजना आरेख चित्र 4.26 में दर्शाया गया है। ध्यान दीजिए कि अब वोल्टमीटर का कुल प्रतिरोध,

$R_G + R \approx R$: अर्थात प्रतिरोध बहुत अधिक है।

वोल्टमीटर के पैमाने को अंशांकित कर दिया जाता है ताकि आसानी से वोल्टता का मान पढ़ा जा सके। किसी वोल्टमापी की वोल्टता सुग्राहिता की परिभाषा हम विक्षेप प्रति एकांक वोल्टता से करते हैं। समीकरण (4.38) से

$$\frac{\phi}{V} = \frac{NAB}{k}\frac{I}{V} = \frac{NAB}{k}\frac{1}{R} \qquad (4.40)$$



वोल्टमीटर

चित्र 4.26 श्रेणीक्रम में एक बड़ा प्रतिरोध R लगाकर गैल्वेनोमीटर (G) को वोल्टमीटर (V) में परिवर्तित करना।

यहाँ एक रोचक तथ्य ध्यान देने योग्य यह है कि धारा सुग्राहिता में वृद्धि करने पर यह आवश्यक नहीं है कि वोल्टता सुग्राहिता में भी वृद्धि हो जाएगी। आइए समीकरण (4.39) पर विचार करें जो धारा सुग्राहिता का माप बताती है। यदि $N \to 2N$ अर्थात यदि फेरों की संख्या दोगुनी कर दी जाए, तो

$$\frac{\phi}{I} \to 2\frac{\phi}{I}$$

अर्थात धारा सुग्राहिता भी दोगुनी हो जाती है। किंतु, गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध भी दो गुना हो जाने की संभावना है क्योंकि यह तार की लंबाई के अनुक्रमानुपाती है। समीकरण (4.40) में $N \to 2N$ एवं $R \to 2R$, अतः वोल्टता सुग्राहिता,

$$\frac{\phi}{V} \to \frac{\phi}{V}$$

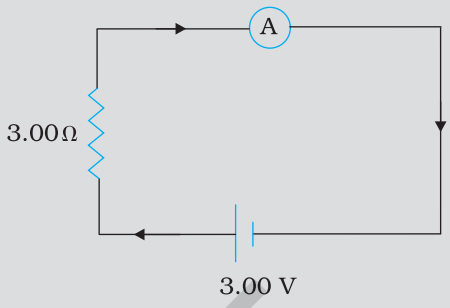
अपरिवर्तित रहती है। अतः व्यापक रूप से गैल्वेनोमीटर से ऐमीटर में रूपांतरित करने के लिए जो संशोधन किए जाते हैं गैल्वेनोमीटर को वोल्टमीटर में परिवर्तित करने के लिए इनसे भिन्न संशोधन किए जाने चाहिए।

उदाहरण 4.13 नीचे दिखाए गए परिपथ में धारा का मान क्या है यदि दिखाया गया ऐमीटर, (a) $R_G = 60.00\ \Omega$ प्रतिरोध का गैल्वेनोमीटर है। (b) भाग (a) में बताया गया गैल्वेनोमीटर ही है परंतु इसको $r_s = 0.02\ \Omega$ का शंट प्रतिरोध लगाकर ऐमीटर में परिवर्तित किया गया है। (c) शून्य प्रतिरोध का एक आदर्श ऐमीटर है।

उदाहरण 4.13

© NCERT not to be republished

उदाहरण 4.13



चित्र 4.27

हल

(a) परिपथ में कुल प्रतिरोध है

$R_G + 3 = 63\,\Omega$ इसलिए $I = 3/63 = 0.048$ A

(b) ऐमीटर में रूपांतरित गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध

$$\frac{R_G\, r_s}{R_G + r_s} = \frac{60\ \Omega \times 0.02\Omega}{(60 + 0.02)\Omega} \simeq 0.02\,\Omega$$

परिपथ में कुल प्रतिरोध

$0.02\,\Omega + 3\,\Omega = 3.02\,\Omega$ अत: $I = 3/3.02 = 0.99$ A

(c) शून्य प्रतिरोध के आदर्श ऐमीटर के लिए

$I = 3/3 = 1.00$ A

सारांश

1. चुंबकीय क्षेत्र **B** पर विद्युत क्षेत्र **E** की उपस्थिति में **v** वेग से गतिमान किसी आवेश q पर लगने वाले कुल बल को लोरेंज बल कहते हैं। इसे नीचे दिए गए व्यंजक द्वारा व्यक्त किया जाता है।

   $\mathbf{F} = q\,(\mathbf{v} \times \mathbf{B} + \mathbf{E})$

   चुंबकीय क्षेत्र $q\,(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, **v** के अभिलंबवत है तथा किया गया कार्य शून्य है।

2. l लंबाई के किसी सीधे चालक जिससे स्थायी विद्युत धारा I प्रवाहित हो रही है, किसी एकसमान बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में बल **F** का अनुभव करता है,

   $\mathbf{F} = I\,\mathbf{l} \times \mathbf{B}$

   यहाँ $|\mathbf{l}| = l$ तथा **l** की दिशा विद्युत धारा की दिशा द्वारा प्रदान की जाती है।

3. किसी एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में, कोई आवेश q, **B** के अभिलंबवत तल में वृत्ताकार कक्षा में गतिमान है। इसकी एकसमान वर्तुल गति की आवृत्ति को *साइक्लोट्रॉन आवृत्ति* कहते हैं जिसे इस प्रकार व्यक्त किया जाता है–

   $$\nu_c = \frac{qB}{2\pi m}$$

   यह आवृत्ति कण की चाल तथा त्रिज्या पर निर्भर नहीं करती। इस तथ्य का उपयोग साइक्लोट्रॉन नामक मशीन में किया जाता है जो आवेशित कणों को त्वरित करने में उपयोगी होता है।

4. बायो–सावर्ट नियम के अनुसार $d\mathbf{l}$ लंबाई के किसी अवयव जिससे अपरिवर्ती विद्युत धारा I प्रवाहित हो रही है, के कारण **r** सदिश दूरी पर स्थित किसी बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र $d\mathbf{B}$ इस प्रकार व्यक्त किया जाता है–

   $$d\mathbf{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} I \frac{d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

© NCERT not to be republished

P पर कुल क्षेत्र प्राप्त करने के लिए हमें इस सदिश व्यंजक को चालक की समस्त लंबाई के लिए समाकलित करना चाहिए।

5. त्रिज्या R की वृत्ताकार कुंडली जिससे I धारा प्रवाहित हो रही है, के कारण केंद्र से अक्षीय दूरी x पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण

$$B = \frac{\mu_0 IR^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$$

कुंडली के केंद्र पर इस क्षेत्र का परिमाण

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

6. *ऐम्पियर का परिपथीय नियम :* मान लीजिए कोई खुला पृष्ठ S किसी पाश C द्वारा परिबद्ध है। तब ऐम्पियर के नियम के अनुसार $\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I$ यहाँ I पृष्ठ S से प्रवाहित विद्युत धारा है। I का चिह्न दक्षिण हस्त नियम द्वारा निर्धारित किया जाता है। हमने यहाँ इस नियम के सरलीकृत रूप पर चर्चा की है। यदि **B** बंद वक्र की परिधि L के हर बिंदु पर स्पर्शी के अनुदिश निर्दिष्ट है तथा परिधि के अनुदिश इसका परिमाण नियत है तो

$BL = \mu_0 I_e$

यहाँ I_e बंद परिपथ द्वारा परिबद्ध नेट विद्युत धारा है।

7. किसी लंबे सीधे तार जिससे I विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है, से R दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

क्षेत्र रेखाएँ तार के साथ संकेंद्री वृत्त होती हैं।

8. किसी लंबी परिनालिका जिससे I विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है, के भीतर चुंबकीय क्षेत्र B का परिमाण

$B = \mu_0 nI$

यहाँ n परिनालिका की प्रति एकांक लंबाई में फेरों की संख्या है। किसी टोरॉइड के लिए चुंबकीय क्षेत्र B का परिमाण

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

यहाँ n फेरों की कुल संख्या तथा r औसत त्रिज्या है।

9. समांतर विद्युत धाराएँ आकर्षित तथा प्रतिसमांतर विद्युत धाराएँ प्रतिकर्षित करती हैं।

10. बहुत पास लिपटे N फेरों तथा A क्षेत्रफल के समतलीय पाश जिससे विद्युत धारा I में प्रवाहित हो रही है, का एक चुंबकीय आघूर्ण **m** होता है

$\mathbf{m} = N I \mathbf{A}$

तथा **m** की दिशा दक्षिण हस्त अंगुष्ठ नियम से निर्धारित होती है। इस नियम के अनुसार, "अपने दाएँ हाथ की हथेली को इस प्रकार पाश के अनुदिश मोड़िए कि उँगलियाँ विद्युत धारा की दिशा में संकेत करें तो, बाहर की ओर खिंचा अँगूठा **m** (और **A**) की दिशा बताता है। जब यह पाश किसी एकसमान चुंबकीय क्षेत्र **B** में रखा जाता है तो इस पर आरोपित बल

$F = 0$

तथा इस पर बल आघूर्ण

$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$

किसी चल कुंडली गैल्वेनोमीटर में इस बल आघूर्ण को कमानी द्वारा लगाया प्रति बल आघूर्ण

© NCERT not to be republished

संतुलित कर लेता है और तब हमें प्राप्त होता है

$k\phi = NI\,AB$

यहाँ ϕ संतुलन विक्षेप है तथा k कमानी का ऐंठन नियतांक है।

11. केंद्रीय नाभिक के चारों ओर गतिमान किसी इलेक्ट्रॉन का एक चुंबकीय आघूर्ण μ_l होता है जिसे इस प्रकार व्यक्त करते हैं :

$$\mu_l = \frac{e}{2m} l$$

यहाँ l केंद्रीय नाभिक के परितः परिसंचारी इलेक्ट्रॉन का कोणीय संवेग का परिमाण है। μ_l के लघुतम मान को बोहर मेग्नेटॉन μ_B कहते हैं ($\mu_B = 9.27\times10^{-24}$ J/T)।

12. किसी चल कुंडली गैल्वेनोमीटर को उसकी कुंडली के पार्श्वक्रम में कोई अल्प परिमाण का शंट प्रतिरोध r_s संबद्ध करके ऐमीटर में रूपांतरित किया जा सकता है। गैल्वेनोमीटर की कुंडली के साथ श्रेणीक्रम में अधिक परिमाण का प्रतिरोध संबद्ध करके उसे वोल्टमीटर में रूपांतरित किया जा सकता है।

भौतिक राशि	प्रतीक	प्रकृति	विमाएँ	मात्रक	टिप्पणी
मुक्त आकाश की चुंबकशीलता	μ_0	अदिश	$[MLT^{-2}A^{-2}]$	T m A^{-1}	$4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}
चुंबकीय क्षेत्र	**B**	सदिश	$[M\,T^{-2}A^{-1}]$	T (टेस्ला)	
चुंबकीय आघूर्ण	**m**	सदिश	$[L^2A]$	A m^2 अथवा J/T	
ऐंठन नियतांक	k	अदिश	$[M\,L^2T^{-2}]$	N m rad^{-1}	गैल्वेनोमीटर में दृष्टिगोचर

विचारणीय विषय

1. स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ धनावेश से आरंभ होकर ऋणावेश पर समाप्त हो जाती हैं अथवा अनंत पर लुप्त या विलीन हो जाती हैं। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ सदैव बंद पाश बनाती हैं।
2. इस अध्याय में वर्णित विचार केवल अपरिवर्ती विद्युत धाराओं (जो समय के साथ परिवर्तित नहीं होती)के लिए ही लागू है।
   समय के साथ परिवर्तित होने वाली विद्युत धाराओं के लिए न्यूटन का तीसरा नियम वैद्युतचुंबकीय क्षेत्र के संवेग का संज्ञान करने पर ही वैध होता है।
3. लोरेंज बल के समीकरण का स्मरण कीजिए,

   $\mathbf{F} = q\,(\mathbf{v}\times\mathbf{B} + \mathbf{E})$

   वेग निर्भर इस बल ने कुछ महानतम वैज्ञानिक विचारकों का ध्यान आकर्षित किया। यदि कोई प्रेक्षक एक ऐसे फ्रेम में पहुँच जाए जहाँ उसका क्षणिक वेग **v** हो तो बल का चुंबकीय भाग शून्य हो जाता है। तब आवेशित कण की गति यह मानकर समझाई जा सकती है कि इस नए फ्रेम में एक उचित विद्युत क्षेत्र विद्यमान है। इस यांत्रिकी के विस्तार में हम नहीं जाएँगे। इसके विषय में आप आगे की कक्षाओं में पढ़ेंगे। लेकिन इस बात पर हम ज़ोर देना चाहेंगे कि इस विरोधाभास का समाधान इस तथ्य में निहित है कि विद्युत और चुंबकत्व एक-दूसरे से जुड़े हुए प्रक्रम हैं *(विद्युतचुंबकत्व)* और लोरेंज बल का व्यंजक, प्रकृति में किसी सार्वभौम वरीय संदर्भ फ्रेम में अंतर्निहित नहीं है।
4. ऐम्पियर का परिपथीय नियम, बायो-सावर्ट नियम से अलग नहीं है। यह बायो-सावर्ट नियम से व्युत्पन्न किया जा सकता है। इसका बायो-सावर्ट नियम से वैसा ही संबंध है जैसा कि गाउस नियम का कूँलाम नियम से।

© NCERT not to be republished

अभ्यास

4.1 तार की एक वृत्ताकार कुंडली में 100 फेरे हैं, प्रत्येक की त्रिज्या 8.0 cm है और इनमें 0.40 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण क्या है?

4.2 एक लंबे, सीधे तार में 35 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। तार से 20 cm दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण क्या है?

4.3 क्षैतिज तल में रखे एक लंबे सीधे तार में 50 A विद्युत धारा उत्तर से दक्षिण की ओर प्रवाहित हो रही है। तार के पूर्व में 2.5 m दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र **B** का परिमाण और उसकी दिशा ज्ञात कीजिए।

4.4 व्योमस्थ खिंचे क्षैतिज बिजली के तार में 90 A विद्युत धारा पूर्व से पश्चिम की ओर प्रवाहित हो रही है। तार के 1.5 m नीचे विद्युत धारा के कारण उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण और दिशा क्या है?

4.5 एक तार जिसमें 8 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है, 0.15 T के एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में, क्षेत्र से 30° का कोण बनाते हुए रखा है। इसकी एकांक लंबाई पर लगने वाले बल का परिमाण और इसकी दिशा क्या है?

4.6 एक 3.0 cm लंबा तार जिसमें 10 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है, एक परिनालिका के भीतर उसके अक्ष के लंबवत रखा है। परिनालिका के भीतर चुंबकीय क्षेत्र का मान 0.27 T है। तार पर लगने वाला चुंबकीय बल क्या है।

4.7 एक-दूसरे से 4.0 cm की दूरी पर रखे दो लंबे, सीधे, समांतर तारों A एवं B से क्रमशः 8.0 A एवं 5.0 A की विद्युत धाराएँ एक ही दिशा में प्रवाहित हो रही हैं। तार A के 10 cm खंड पर बल का आकलन कीजिए।

4.8 पास-पास फेरों वाली एक परिनालिका 80 cm लंबी है और इसमें 5 परतें हैं जिनमें से प्रत्येक में 400 फेरे हैं। परिनालिका का व्यास 1.8 cm है। यदि इसमें 8.0 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है तो परिनालिका के भीतर केंद्र के पास चुंबकीय क्षेत्र **B** के परिमाण परिकलित कीजिए।

4.9 एक वर्गाकार कुंडली जिसकी प्रत्येक भुजा 10 cm है, में 20 फेरे हैं और उसमें 12 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। कुंडली ऊर्ध्वाधरतः लटकी हुई है और इसके तल पर खींचा गया अभिलंब 0.80 T के एकसमान चुंबकीय क्षेत्र की दिशा से 30° का एक कोण बनाता है। कुंडली पर लगने वाले बलयुग्म आघूर्ण का परिमाण क्या है?

4.10 दो चल कुंडली गैल्वेनोमीटर मीटरों M_1 एवं M_2 के विवरण नीचे दिए गए हैं :

$R_1 = 10\ \Omega,\ N_1 = 30,$
$A_1 = 3.6 \times 10^{-3}\ m^2,\ B_1 = 0.25\ T$
$R_2 = 14\ \Omega,\ N_2 = 42,$
$A_2 = 1.8 \times 10^{-3}\ m^2,\ B_2 = 0.50\ T$ (दोनों मीटरों के लिए स्प्रिंग नियतांक समान हैं)।

(a) M_2 एवं M_1 की धारा-सुग्राहिताओं, (b) M_2 एवं M_1 की वोल्टता-सुग्राहिताओं का अनुपात ज्ञात कीजिए।

4.11 एक प्रकोष्ठ में 6.5 G (1 G = 10^{-4} T) का एकसमान चुंबकीय क्षेत्र बनाए रखा गया है। इस चुंबकीय क्षेत्र में एक इलेक्ट्रॉन $4.8 \times 10^6\ m\ s^{-1}$ के वेग से क्षेत्र के लंबवत भेजा गया है। व्याख्या कीजिए कि इस इलेक्ट्रॉन का पथ वृत्ताकार क्यों होगा? वृत्ताकार कक्षा की त्रिज्या ज्ञात कीजिए।

($e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)

© NCERT not to be republished

4.12 प्रश्न 4.11 में, वृत्ताकार कक्षा में इलेक्ट्रॉन की परिक्रमण आवृत्ति प्राप्त कीजिए। क्या यह उत्तर इलेक्ट्रॉन के वेग पर निर्भर करता है? व्याख्या कीजिए।

4.13 (a) 30 फेरों वाली एक वृत्ताकार कुंडली जिसकी त्रिज्या 8.0 cm है और जिसमें 6.0 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है, 1.0 T के एकसमान क्षैतिज चुंबकीय क्षेत्र में ऊर्ध्वाधरत: लटकी है। क्षेत्र रेखाएँ कुंडली के अभिलंब से 60° का कोण बनाती हैं। कुंडली को घूमने से रोकने के लिए जो प्रतिआघूर्ण लगाया जाना चाहिए उसके परिमाण परिकलित कीजिए।

(b) यदि (a) में बतायी गई वृत्ताकार कुंडली को उसी क्षेत्रफल की अनियमित आकृति की समतलीय कुंडली से प्रतिस्थापित कर दिया जाए (शेष सभी विवरण अपरिवर्तित रहें) तो क्या आपका उत्तर परिवर्तित हो जाएगा?

अतिरिक्त अभ्यास

4.14 दो समकेंद्रिक वृत्ताकार कुंडलियाँ X और Y जिनकी त्रिज्याएँ क्रमश: 16 cm एवं 10 cm हैं, उत्तर-दक्षिण दिशा में समान ऊर्ध्वाधर तल में अवस्थित हैं। कुंडली X में 20 फेरे हैं और इसमें 16 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है, कुंडली Y में 25 फेरे हैं और इसमें 18 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। पश्चिम की ओर मुख करके खड़ा एक प्रेक्षक देखता है कि X में धारा प्रवाह वामावर्त है जबकि Y में दक्षिणावर्त है। कुंडलियों के केंद्र पर, उनमें प्रवाहित विद्युत धाराओं के कारण उत्पन्न कुल चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण एवं दिशा ज्ञात कीजिए।

4.15 10 cm लंबाई और 10^{-3} m^2 अनुप्रस्थ काट के एक क्षेत्र में 100 G (1 G = 10^{-4} T) का एकसमान चुंबकीय क्षेत्र चाहिए। जिस तार से परिनालिका का निर्माण करना है उसमें अधिकतम 15 A विद्युत धारा प्रवाहित हो सकती है और क्रोड पर अधिकतम 1000 फेरे प्रति मीटर लपेटे जा सकते हैं। इस उद्देश्य के लिए परिनालिका के निर्माण का विवरण सुझाइए। यह मान लीजिए कि क्रोड लोह-चुंबकीय नहीं है।

4.16 I धारावाही, N फेरों और R त्रिज्या वाली वृत्ताकार कुंडली के लिए, इसके अक्ष पर, केंद्र से x दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र के लिए निम्न व्यंजक है :

$$B = \frac{\mu_0 I R^2 N}{2\left(x^2 + R^2\right)^{3/2}}$$

(a) स्पष्ट कीजिए, इससे कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र के लिए सुपरिचित परिणाम कैसे प्राप्त किया जा सकता है।

(b) बराबर त्रिज्या R, एवं फेरों की संख्या N, वाली दो वृत्ताकार कुंडलियाँ एक-दूसरे से R दूरी पर एक-दूसरे के समांतर, अक्ष मिला कर रखी गई हैं। दोनों में समान विद्युत धारा एक ही दिशा में प्रवाहित हो रही है। दर्शाइए कि कुंडलियों के अक्ष के लगभग मध्यबिंदु पर क्षेत्र, एक बहुत छोटी दूरी के लिए जो कि R से कम है, एकसमान है और इस क्षेत्र का लगभग मान निम्न है :

$$B = 0.72\frac{\mu_0 N I}{R}$$

[बहुत छोटे से क्षेत्र पर एकसमान चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने के लिए बनायी गई ऊपर वर्णित व्यवस्था *हेल्महोल्ट्ज कुंडलियों* के नाम से जानी जाती है।]

4.17 एक टोरॉइड के (अलौह चुंबकीय) क्रोड की आंतरिक त्रिज्या 25 cm और बाह्य त्रिज्या 26 cm है। इसके ऊपर किसी तार के 3500 फेरे लपेटे गए हैं। यदि तार में प्रवाहित विद्युत धारा 11 A

© NCERT not to be republished

हो तो चुंबकीय क्षेत्र का मान क्या होगा। (i) टोरॉइड के बाहर (ii) टोरॉइड के क्रोड में (iii) टोरॉइड द्वारा घिरी हुई खाली जगह में।

4.18 निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए :

(a) किसी प्रकोष्ठ में एक ऐसा चुंबकीय क्षेत्र स्थापित किया गया है जिसका परिमाण तो एक बिंदु पर बदलता है, पर दिशा निश्चित है (पूर्व से पश्चिम)। इस प्रकोष्ठ में एक आवेशित कण प्रवेश करता है और अविचलित एक सरल रेखा में अचर वेग से चलता रहता है। आप कण के प्रारंभिक वेग के बारे में क्या कह सकते हैं।

(b) एक आवेशित कण, एक ऐसे शक्तिशाली असमान चुंबकीय क्षेत्र में प्रवेश करता है जिसका परिमाण एवं दिशा दोनों एक बिंदु से दूसरे बिंदु पर बदलते जाते हैं, एक जटिल पथ पर चलते हुए इसके बाहर आ जाता है। यदि यह मान लें कि चुंबकीय क्षेत्र में इसका किसी भी दूसरे कण से कोई संघट्ट नहीं होता तो क्या इसकी अंतिम चाल, प्रारंभिक चाल के बराबर होगी?

(c) पश्चिम से पूर्व की ओर चलता हुआ एक इलेक्ट्रॉन एक ऐसे प्रकोष्ठ में प्रवेश करता है जिसमें उत्तर से दक्षिण दिशा की ओर एकसमान एक वैद्युत क्षेत्र है। वह दिशा बताइए जिसमें एकसमान चुंबकीय क्षेत्र स्थापित किया जाए ताकि इलेक्ट्रॉन को अपने सरल रेखीय पथ से विचलित होने से रोका जा सके।

4.19 ऊष्मित कैथोड से उत्सर्जित और 2.0 kV के विभवांतर पर त्वरित एक इलेक्ट्रॉन, 0.15 T के एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में प्रवेश करता है। इलेक्ट्रॉन का गमन पथ ज्ञात कीजिए यदि चुंबकीय क्षेत्र (a) प्रारंभिक वेग के लंबवत है (b) प्रारंभिक वेग की दिशा से 30° का कोण बनाता है।

4.20 प्रश्न 4.16 में वर्णित हेल्महोल्टज कुंडलियों का उपयोग करके किसी लघुक्षेत्र में 0.75 T का एकसमान चुंबकीय क्षेत्र स्थापित किया है। इसी क्षेत्र में कोई एकसमान स्थिरवैद्युत क्षेत्र कुंडलियों के उभयनिष्ठ अक्ष के लंबवत लगाया जाता है। (एक ही प्रकार के) आवेशित कणों का 15 kV विभवांतर पर त्वरित एक संकीर्ण किरण पुंज इस क्षेत्र में दोनों कुंडलियों के अक्ष तथा स्थिरवैद्युत क्षेत्र की लंबवत दिशा के अनुदिश प्रवेश करता है। यदि यह किरण पुंज 9.0×10^{-5} V m^{-1}, स्थिरवैद्युत क्षेत्र में अविक्षेपित रहता है तो यह अनुमान लगाइए कि किरण पुंज में कौन से कण हैं। यह स्पष्ट कीजिए कि यह उत्तर एकमात्र उत्तर क्यों नहीं है।

4.21 एक सीधी, क्षैतिज चालक छड़ जिसकी लंबाई 0.45 m एवं द्रव्यमान 60 g है इसके सिरों पर जुड़े दो ऊर्ध्वाधर तारों पर लटकी हुई है। तारों से होकर छड़ में 5.0 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है।

(a) चालक के लंबवत कितना चुंबकीय क्षेत्र लगाया जाए कि तारों में तनाव शून्य हो जाए।

(b) चुंबकीय क्षेत्र की दिशा यथावत रखते हुए यदि विद्युत धारा की दिशा उत्क्रमित कर दी जाए तो तारों में कुल तनाव कितना होगा? (तारों के द्रव्यमान की उपेक्षा कीजिए) $g = 9.8$ m s^{-2}।

4.22 एक स्वचालित वाहन की बैटरी से इसकी चालन मोटर को जोड़ने वाले तारों में 300 A विद्युत धारा (अल्प काल के लिए) प्रवाहित होती है। तारों के बीच प्रति एकांक लंबाई पर कितना बल लगता है यदि इनकी लंबाई 70 cm एवं बीच की दूरी 1.5 cm हो। यह बल आकर्षण बल है या प्रतिकर्षण बल?

4.23 1.5 T का एक एकसमान चुंबकीय क्षेत्र, 10.0 cm त्रिज्या के बेलनाकार क्षेत्र में विद्यमान है। इसकी दिशा अक्ष के समांतर पूर्व से पश्चिम की ओर है। एक तार जिसमें 7.0 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है इस क्षेत्र में होकर उत्तर से दक्षिण की ओर गुज़रती है। तार पर लगने वाले बल का परिमाण और दिशा क्या है, यदि

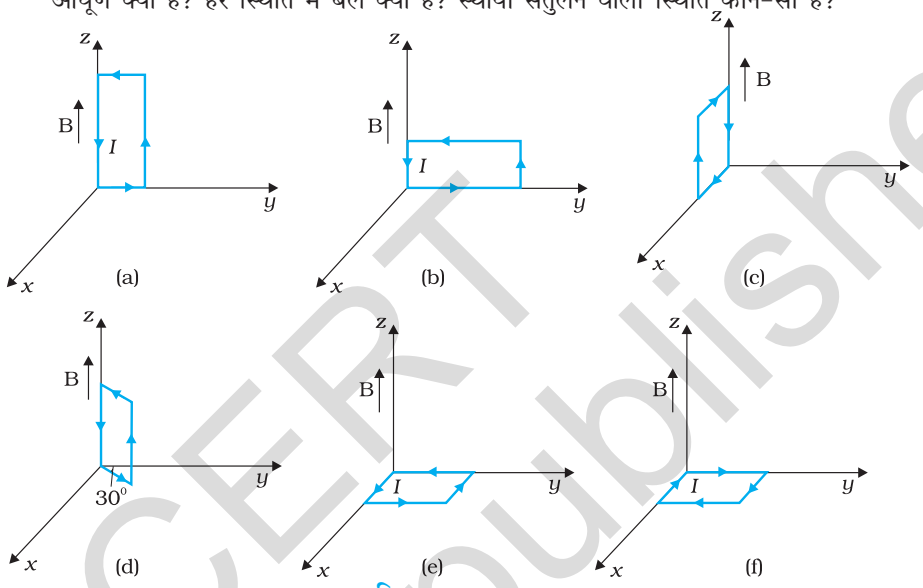
(a) तार अक्ष को काटता हो,

(b) तार N-S दिशा से घुमाकर उत्तर पूर्व-उत्तर पश्चिम दिशा में कर दिया जाए,

(c) N-S दिशा में रखते हुए ही तार को अक्ष से 6.0 cm नीचे उतार दिया जाए।

© NCERT not to be republished

4.24 धनात्मक z-दिशा में 3000 G का एक एकसमान चुंबकीय क्षेत्र लगाया गया है। एक आयताकार लूप जिसकी भुजाएँ 10 cm एवं 5 cm और जिसमें 12 A धारा प्रवाहित हो रही है इस क्षेत्र में रखा है। चित्र 4.28 में दिखायी गई लूप की विभिन्न स्थितियों में इस पर लगने वाला बलयुग्म आघूर्ण क्या है? हर स्थिति में बल क्या है? स्थायी संतुलन वाली स्थिति कौन-सी है?



चित्र 4.28

4.25 एक वृत्ताकार कुंडली जिसमें 20 फेरे हैं और जिसकी त्रिज्या 10 cm है, एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में रखी है जिसका परिमाण 0.10 T है और जो कुंडली के तल के लंबवत है। यदि कुंडली में 5.0 A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही हो तो,

(a) कुंडली पर लगने वाला कुल बलयुग्म आघूर्ण क्या है?

(b) कुंडली पर लगने वाला कुल परिणामी बल क्या है?

(c) चुंबकीय क्षेत्र के कारण कुंडली के प्रत्येक इलेक्ट्रॉन पर लगने वाला कुल औसत बल क्या है?

(कुंडली $10^{-5}\,m^2$ अनुप्रस्थ क्षेत्र वाले ताँबे के तार से बनी है, और ताँबे में मुक्त इलेक्ट्रॉन घनत्व $10^{29}\,m^{-3}$ दिया गया है)

4.26 एक परिनालिका जो 60 cm लंबी है, जिसकी त्रिज्या 4.0 cm है और जिसमें 300 फेरों वाली 3 परतें लपेटी गई हैं। इसके भीतर एक 2.0 cm लंबा, 2.5 g द्रव्यमान का तार इसके (केंद्र के निकट) अक्ष के लंबवत रखा है। तार एवं परिनालिका का अक्ष दोनों क्षैतिज तल में हैं। तार को परिनालिका के समांतर दो वाही संयोजकों द्वारा एक बाह्य बैटरी से जोड़ा गया है जो इसमें 6.0 A विद्युत धारा प्रदान करती है। किस मान की विद्युत धारा (परिवहन की उचित दिशा के साथ) इस परिनालिका के फेरों में प्रवाहित होने पर तार का भार सँभाल सकेगी? $g = 9.8\ m\ s^{-2}$

4.27 किसी गैल्वेनोमीटर की कुंडली का प्रतिरोध 12 Ω है। 4 mA की विद्युत धारा प्रवाहित होने पर यह पूर्णस्केल विक्षेप दर्शाता है। आप इस गैल्वेनोमीटर को 0 से 18 V परास वाले वोल्टमीटर में कैसे रूपांतरित करेंगे?

4.28 किसी गैल्वेनोमीटर की कुंडली का प्रतिरोध 15 Ω है। 4 mA की विद्युत धारा प्रवाहित होने पर यह पूर्णस्केल विक्षेप दर्शाता है। आप इस गैल्वेनोमीटर को 0 से 6 A परास वाले ऐमीटर में कैसे रूपांतरित करेंगे?

© NCERT not to be republished

अध्याय 5

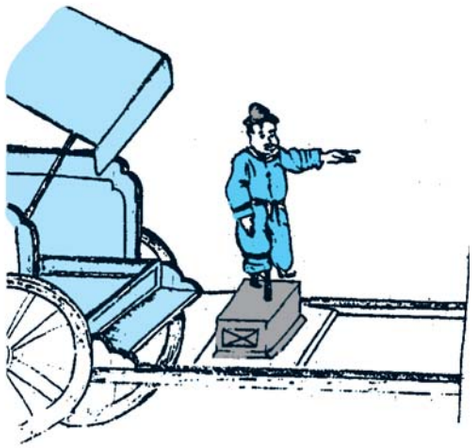
चुंबकत्व एवं द्रव्य

5.1 भूमिका

चुंबकीय परिघटना प्रकृति में सार्वभौमिक है। विशाल दूरस्थ गैलेक्सियाँ, अतिसूक्ष्म अदृश्य परमाणु, आदमी और जानवर, सबमें भाँति-भाँति के स्रोतों से उत्पन्न भाँति-भाँति के चुंबकीय क्षेत्र व्याप्त हैं। भू-चुंबकत्व, मानवीय विकास से भी पूर्व से अस्तित्व में है। 'चुंबक' शब्द यूनान के एक द्वीप *मैग्नेशिया* के नाम से व्युत्पन्न है, जहाँ बहुत पहले 600 ईसा पूर्व चुंबकीय अयस्कों के भंडार मिले थे। इस द्वीप के गड़रियों ने शिकायत की कि उनके लकड़ी के जूते (जिनमें कीलें लगी हुई थीं), कई बार जमीन से चिपक जाते थे। लोहे की टोपी चढ़ी उनकी लाठी भी इसी प्रकार प्रभावित होती थी। चुंबकों के इस आकर्षित करने वाले गुण ने उनका घूमना-फिरना दूभर बना दिया था।

चुंबकों का दैशिक गुण भी प्राचीन काल से ज्ञात था। चुंबक का एक पतला लंबा टुकड़ा, स्वतंत्रतापूर्वक लटकाए जाने पर, हमेशा उत्तर-दक्षिण दिशा के अनुदिश ठहरता था। ऐसा ही व्यवहार तब भी देखने में आता था जब इसको एक कॉर्क के ऊपर रख कर, उसको ठहरे हुए पानी में तैराया जाता था। प्राकृतिक रूप से पाए जाने वाले लोहे के एक अयस्क *मैग्नेटाइट* का एक नाम *लोडस्टोन* है, जिसका अर्थ है *लीडिंग स्टोन* अर्थात मार्गदर्शक पत्थर। इस गुण के तकनीकी उपयोग का श्रेय आमतौर पर चीनियों को दिया जाता है। 400 ईसा पूर्व की चीनी पाठ्यपुस्तकों में नौकायन में दिशा ज्ञान के लिए चुंबकीय सुइयों के उपयोग का ज़िक्र है। *गोबी* रेगिस्तान को पार करने वाले काफ़िले भी चुंबकीय सुइयों का उपयोग करते थे।

एक चीनी आख्यान में, लगभग 4000 वर्ष पुरानी, सम्राट ह्वेंग-ती की विजय गाथा है, जिसमें उसको अपने शिल्पकारों (जिन्हें आज की भाषा में आप इंजीनियर कहते हैं) के कारण विजय प्राप्त



चित्र 5.1 रथ पर स्थापित प्रतिमा का हाथ हमेशा दक्षिण की ओर संकेत करता है। यह एक कलाकार द्वारा बनाया गया आरेख है, जिसमें एक प्राचीनतम ज्ञात कंपास दिखाया गया है, जो हजारों साल पुराना है।

हुई थी। इन 'इंजीनियरों' ने एक रथ बनाया जिस पर उन्होंने चुंबक की बनी हुई एक प्रतिमा लगाई, जिसका एक हाथ बाहर फैला हुआ था। चित्र 5.1 में इस रथ का एक चित्रकार द्वारा दिया गया विवरण है। रथ पर लगी हुई प्रतिमा इस तरह घूम जाती थी कि उसकी अँगुली हमेशा दक्षिण की ओर संकेत करे। इस रथ के सहारे, घने कोहरे में ह्वेंग-ती की फ़ौजें दुश्मन के पीछे पहुँच गईं और आक्रमण कर उन्हें हरा दिया।

पिछले अध्याय में हमने सीखा कि गतिशील आवेश या विद्युत धारा चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। यह खोज जो उन्नीसवीं शताब्दी के पूर्वार्द्ध में की गई थी, इसका श्रेय ऑर्स्टेड, ऐम्पियर, बायो एवं सावर्ट तथा अन्य कुछ लोगों को दिया जाता है।

प्रस्तुत अध्याय में हम चुंबकत्व पर एक स्वतंत्र विषय के रूप में दृष्टि डालेंगे।

चुंबकत्व संबंधी कुछ आम विचार इस प्रकार हैं–

(i) पृथ्वी एक चुंबक की भाँति व्यवहार करती है जिसका चुंबकीय क्षेत्र लगभग भौगोलिक दक्षिण से उत्तर की ओर संकेत करता है।

(ii) जब एक छड़ चुंबक को स्वतंत्रतापूर्वक लटकाया या शांत पानी पर तैराया जाता है तो यह उत्तर-दक्षिण दिशा में ठहरता है। इसका वह सिरा जो भौगोलिक उत्तर की ओर संकेत करता है, *उत्तरी ध्रुव* और जो भौगोलिक दक्षिण की ओर संकेत करता है, चुंबक का *दक्षिणी ध्रुव* कहलाता है।

(iii) दो पृथक-पृथक चुंबकों के दो उत्तरी ध्रुव (या दो दक्षिणी ध्रुव) जब पास-पास लाए जाते हैं तो वे एक-दूसरे को विकर्षित करते हैं। इसके विपरीत, एक चुंबक के उत्तर और दूसरे के दक्षिण ध्रुव एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।

(iv) किसी चुंबक के उत्तर और दक्षिण ध्रुवों को अलग-अलग नहीं किया जा सकता। यदि किसी छड़ चुंबक को दो भागों में विभाजित किया जाए तो हमें दो छोटे अलग-अलग छड़ चुंबक मिल जाएँगे, जिनका चुंबकत्व क्षीण होगा। वैद्युत आवेशों की तरह, विलगित चुंबकीय उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुवों जिन्हें *चुंबकीय एकध्रुव* कहते हैं, का अस्तित्व नहीं है।

(v) लौह और इसकी मिश्र-धातुओं से चुंबक बनाने संभव हैं।

इस अध्याय में हम एक छड़ चुंबक और एक बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में इसके व्यवहार के वर्णन से प्रारंभ करेंगे। हम चुंबकत्व संबंधी गाउस का नियम बताएँगे। इसके बाद पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का विवरण देंगे। उसके बाद यह बताएँगे कि चुंबकीय गुणों के आधार पर पदार्थों का वर्गीकरण कैसे किया जाता है और फिर अनुचुंबकत्व, प्रतिचुंबकत्व तथा लौह-चुंबकत्व का वर्णन करेंगे और अंत में वैद्युत-चुंबक एवं स्थायी चुंबकों पर एक अनुभाग के साथ इसका समापन करेंगे।

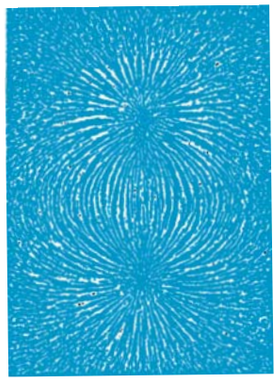
5.2 छड़ चुंबक

प्रसिद्ध भौतिक विज्ञानी अल्बर्ट आइंसटीन के अति प्रारंभिक बचपन की स्मृतियों में से एक उस चुंबक से जुड़ी थी, जो उन्हें उनके एक संबंधी ने भेंट किया था। आइंसटीन उससे चमत्कृत हो गए थे और उससे खेलते हुए कभी थकते नहीं थे। उनको आश्चर्य होता था कि कैसे एक चुंबक उन कीलों और पिनों को अपनी ओर खींच लेती थी, जो उससे दूर रखे थे और किसी स्प्रिंग या धागे द्वारा उससे जुड़े भी नहीं थे।

Chapter 5(Hindi).PMD 174 27-12-2012, 15:54

हम अपने अध्ययन की शुरुआत लौह रेतन से करते हैं जो एक छोटे छड़ चुंबक के ऊपर रखी गई काँच की शीट पर छिड़का गया है। लौह रेतन की यह व्यवस्था चित्र 5.2 में दर्शायी गई है।

लौह रेतन के पैटर्न यह इंगित करते हैं कि चुंबक के दो ध्रुव होते हैं, वैसे ही जैसे वैद्युत द्विध्रुव के धनात्मक एवं ऋणात्मक आवेश। जैसा कि पहले भूमिका में बताया जा चुका है, एक ध्रुव को *उत्तर* और दूसरे को *दक्षिण ध्रुव* कहते हैं। जब छड़ चुंबक को स्वतंत्रतापूर्वक लटकाया जाता है तो ये ध्रुव क्रमशः लगभग भौगोलिक उत्तरी एवं दक्षिणी ध्रुवों की ओर संकेत करते हैं। लौह रेतन का इसी से मिलता-जुलता पैटर्न एक धारावाही परिनालिका के इर्द-गिर्द भी बनता है।



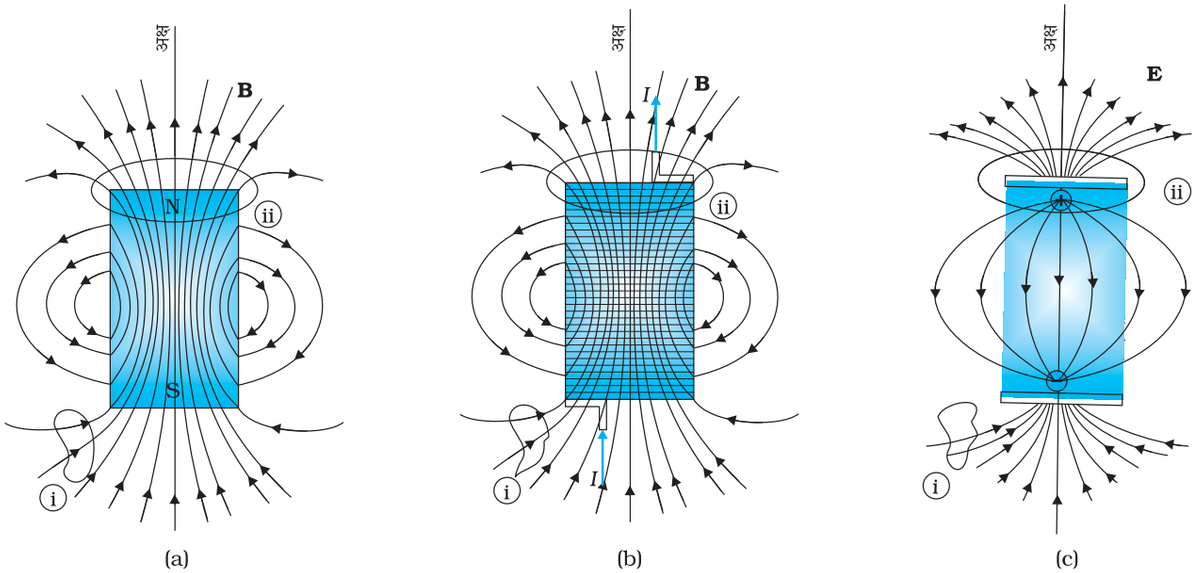
चित्र 5.2 एक छड़ चुंबक के इर्द-गिर्द लौह रेतन की व्यवस्था। यह पैटर्न चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं की अनुकृति है। ये इंगित करते हैं कि छड़ चुंबक एक चुंबकीय द्विध्रुव है।

5.2.1 चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ

लौह रेतन के बने पैटर्नों के आधार पर हम चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ* खींच सकते हैं। चित्र 5.3 में यह छड़ चुंबक और धारावाही परिनालिका, दोनों के लिए दर्शाया गया है। तुलना के लिए अध्याय एक चित्र 1.17(d) देखिए। विद्युत द्विध्रुव की वैद्युत बल रेखाएँ चित्र 5.3(c) में भी दर्शायी गई हैं। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ, चुंबकीय क्षेत्र का दृश्य और अंतर्दृष्टिपरक प्रस्तुतीकरण हैं। इनके गुण हैं:

(i) किसी चुंबक (या धारावाही परिनालिका) की चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ संतत बंद लूप बनाती हैं। यह वैद्युत-द्विध्रुव के जैसी नहीं है, जहाँ ये रेखाएँ धनावेश से शुरू होकर ऋणावेश पर खत्म हो जाती हैं [चित्र 5.3(c) देखिए] या फिर अनंत की ओर चली जाती हैं।

(ii) क्षेत्र रेखा के किसी बिंदु पर खींची गई स्पर्श रेखा उस बिंदु पर परिणामी चुंबकीय क्षेत्र **B** की दिशा बताती है।



चित्र 5.3 क्षेत्र रेखाएँ (a) एक छड़ चुंबक की (b) एक सीमित आकार वाली धारावाही परिनालिका की, और (c) एक वैद्युत द्विध्रुव की। बहुत अधिक दूरी पर तीनों रेखा समुच्चय एक से हैं। (i) एवं (ii) अंकित वक्र, बंद गाउसीय पृष्ठ हैं।

* कुछ पाठ्यपुस्तकों में चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं को *चुंबकीय बल रेखाएँ* कहा गया है। इस नामावली से बचना उचित होगा क्योंकि यह भ्रामक है। स्थिरवैद्युत के विपरीत चुंबकत्व में क्षेत्र रेखाएँ (गतिमान) आवेश पर बल की दिशा की सूचक नहीं हैं।

Chapter 5(Hindi).PMD 175 27-12-2012, 15:54

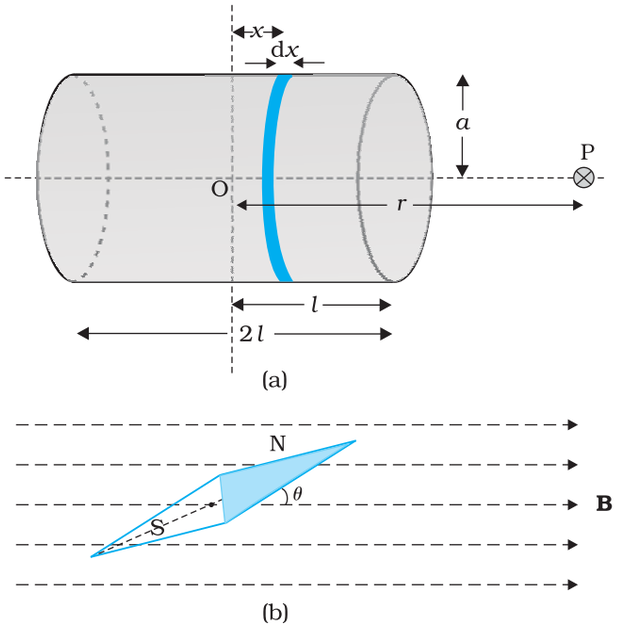
(iii) क्षेत्र के लंबवत रखे गए तल के प्रति इकाई क्षेत्रफल से जितनी अधिक क्षेत्र रेखाएँ गुजरती हैं, उतना ही अधिक उस स्थान पर चुंबकीय क्षेत्र **B** का परिमाण होता है। चित्र 5.3 (a) में, क्षेत्र (ii) के आसपास **B** का परिमाण क्षेत्र (i) की तुलना में अधिक है।

(iv) चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ एक-दूसरे को काटती नहीं हैं। ऐसा इसलिए है क्योंकि इस स्थिति में कटान बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र की दिशा एक ही नहीं रह जाती।

आप चाहें तो कई तरह से चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ आलेखित कर सकते हैं। एक तरीका यह है कि भिन्न-भिन्न जगहों पर एक छोटी चुंबकीय कंपास सुई रखिए और इसके दिक्विन्यास को अंकित कीजिए। इस तरह आप चुंबक के आस-पास विभिन्न बिंदुओं पर चुंबकीय क्षेत्र की दिशा जान सकेंगे।

5.2.2 छड़ चुंबक का एक धारावाही परिनालिका की तरह व्यवहार

पिछले अध्याय में हमने यह समझाया है कि किस प्रकार एक धारा लूप एक चुंबकीय द्विध्रुव की तरह व्यवहार करता है (अनुभाग 4.10 देखिए)। हमने ऐम्पियर की इस परिकल्पना का जिक्र भी किया था कि सभी चुंबकीय परिघटनाओं को परिवाही धाराओं के प्रभावों के रूप में समझाया जा सकता है। याद कीजिए कि किसी धारावाही लूप से जुड़े चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण **m** की परिभाषा $\mathbf{m} = NI\mathbf{A}$ से दी जाती है, जहाँ N लूप में फेरों की संख्या, I धारा एवं **A** क्षेत्रफल-सदिश है [समीकरण (4.30) देखिए]।



चित्र 5.4 (a) एक सीमित परिनालिका के अक्षीय क्षेत्र का परिकलन, ताकि इसकी छड़ चुंबक से साम्यता प्रदर्शित की जा सके। (b) एक समान चुंबकीय क्षेत्र **B** में रखी हुई चुंबकीय सूई। यह प्रबंध चुंबकीय क्षेत्र **B** अथवा चुंबकीय आघूर्ण **m** का आकलन करने में सहायक है।

एक छड़ चुंबक की चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं की, एक धारावाही परिनालिका की चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं से साम्यता यह सुझाती है कि जैसे परिनालिका बहुत-सी परिवाही धाराओं का योग है वैसे ही छड़ चुंबक भी बहुत-सी परिसंचारी धाराओं का योग हो सकता है। एक छड़ चुंबक के दो बराबर टुकड़े करना वैसा ही है जैसे एक परिनालिका को काटना। जिससे हमें दो छोटी परिनालिकाएँ मिल जाती हैं जिनके चुंबकीय क्षेत्र अपेक्षाकृत क्षीण होते हैं। क्षेत्र रेखाएँ संतत बनी रहती हैं, एक सिरे से बाहर निकलती हैं और दूसरे सिरे से अंदर प्रवेश करती हैं। एक छोटी चुंबकीय कंपास सुई को एक छड़ चुंबक एवं एक धारावाही सीमित परिनालिका के पास एक जगह से दूसरी जगह ले जाकर यह देखा जा सकता है कि दोनों के लिए चुंबकीय सुई में विक्षेपण एक जैसा है और इस तरह इस साम्यता का परीक्षण आसानी से किया जा सकता है।

इस साम्यता को और अधिक सुदृढ़ करने के लिए हम चित्र 5.4 (a) में दर्शायी गई सीमित परिनालिका के अक्षीय क्षेत्र की गणना करते हैं। हम यह प्रदर्शित करेंगे कि बहुत अधिक दूरी पर यह अक्षीय क्षेत्र छड़ चुंबक के अक्षीय क्षेत्र जैसा ही है।

माना कि चित्र 5.4 (a) में दर्शायी गई धारावाही परिनालिका की प्रति इकाई लंबाई में n फेरे हैं और इसकी त्रिज्या 'a' है। माना इसकी लंबाई $2l$ है। परिनालिका के केंद्र से r दूरी पर (बिंदु P) हम अक्षीय क्षेत्र ज्ञात कर सकते हैं। यह करने के लिए, परिनालिका का एक छोटा वृत्ताकार अंश dx मोटाई का लेते हैं जो इसके केंद्र से x दूरी पर है। इसमें $n\,dx$ फेरे हैं। माना कि परिनालिका में I धारा प्रवाहित हो रही है। पिछले अध्याय के अनुभाग 4.6 में हमने एक वृत्ताकार लूप के अक्ष

Chapter 5(Hindi).PMD 176 27-12-2012, 15:54

पर चुंबकीय क्षेत्र की गणना की थी। समीकरण (4.17) के अनुसार, वृत्ताकार अंश के कारण बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण

$$dB \quad \frac{{}_0 n\, dx\, I\, a^2}{2[(r \quad x)^2 \quad a^2]^{3/2}}$$

कुल क्षेत्र का परिमाण प्राप्त करने के लिए ऐसे सभी अंशों के योगदान जोड़ने होंगे। दूसरे शब्दों में $x = -l$ से $x = +l$ तक समाकलन करना होगा।

$$B \quad \frac{{}_0 nIa^2}{2} \quad {}_{l}^{l} \frac{dx}{[(r \quad x)^2 \quad a^2]^{3/2}}$$

यह समाकलन त्रिकोणमितीय प्रतिस्थापन द्वारा किया जा सकता है। किंतु, हमारा उद्देश्य पूरा करने के लिए ऐसा करना आवश्यक नहीं है। ध्यान दें कि x का परास $-l$ से $+l$ तक है। धारावाही परिनालिका के बहुत दूर स्थित अक्षीय बिंदु के लिए $r >> a$ एवं $r >> l$। तब भिन्न में हर का लगभग मान हो जाएगा :

$$[(r \quad x)^2 \quad a^2]^{3/2} \quad r^3$$

और $$B \quad \frac{{}_0 n\, I\, a^2}{2r^3} \; {}_{l}^{l} dx$$

$$= \frac{{}_0 n\, I}{2} \frac{2l a^2}{r^3} \qquad (5.1)$$

ध्यान दीजिए कि धारावाही परिनालिका के चुंबकीय आघूर्ण का परिमाण $m = n\,(2l)\,I\,(\pi a^2)$ [अर्थात कुल फेरों की संख्या × धारा × अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल]। अत:

$$B \quad \frac{{}_0}{4} \frac{2m}{r^3} \qquad (5.2)$$

यही समीकरण छड़ चुंबक की अक्ष पर दूर स्थित बिंदु के लिए भी है जिसे कोई भी प्रयोगात्मक विधि से प्राप्त कर सकता है। इस प्रकार, छड़ चुंबक और धारावाही परिनालिका एक जैसे चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं। अत: एक छड़ चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण, उतना ही चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने वाली समतुल्य धारावाही परिनालिका के चुंबकीय आघूर्ण के बराबर है।

कुछ पाठ्यपुस्तकें $2l$ लंबाई के एक छड़ चुंबक के उत्तर ध्रुव के लिए एक *चुंबकीय आवेश* $+q_m$ एवं दक्षिण (इसे *ध्रुव शक्ति* कहते हैं) ध्रुव के लिए $-q_m$ नियत करके इसका चुंबकीय आघूर्ण $+q_m(2l)$ नियत करती हैं। r दूरी पर q_m के कारण क्षेत्र की तीव्रता $\mu_0 q_m/4\pi r^2$ होगी और तब अक्षीय एवं अनुप्रस्थ दोनों स्थितियों में इस छड़ चुंबक के कारण चुंबकीय क्षेत्र उसी प्रकार ज्ञात किया जा सकता है जैसा कि वैद्युत द्विध्रुव के लिए किया गया था (देखिए अध्याय 1)। यह तरीका सरल भी है और आकर्षक भी। *परंतु, चुंबकीय एकध्रुवों का अस्तित्व तो होता नहीं, इसलिए, हमने इस प्रस्तुति-विधि का उपयोग नहीं किया है।*

5.2.3 एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में द्विध्रुव

लौह रेतन (iron filling) से बने पैटर्न अर्थात चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ हमें चुंबकीय क्षेत्र **B** का एक सन्निकट मान बताते हैं। प्राय: हमें **B** का सही-सही मान जानने की आवश्यकता होती है। इसके लिए हम एक पतली चुंबकीय सुई का, जिसका चुंबकीय आघूर्ण **m** एवं जड़त्वाघूर्ण I ज्ञात हों, इस चुंबकीय क्षेत्र में दोलन कराते हैं। यह व्यवस्था चित्र 5.4 (b) में दर्शायी गई है।

चुंबकीय सुई पर बलआघूर्ण [समीकरण (4.29) देखिए]

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{m} \times \mathbf{B} \qquad (5.3)$$

जिसका परिमाण $\tau = mB\sin\theta$

यहाँ $\boldsymbol{\tau}$ प्रत्यानयन आघूर्ण है तथा कोण θ, $\mathbf{m}$ और $\mathbf{B}$ के बीच का कोण है।

अत:, संतुलनावस्था में $\mathcal{J}\frac{d^2}{dt^2}$ $mB\sin$

$mB\sin\theta$ के साथ ऋणात्मक चिह्न यह निर्दिष्ट करता है कि प्रत्यानयन आघूर्ण विस्थापनकारी आघूर्ण के विपरीत दिशा में है। रेडियन में बहुत छोटे कोण के लिए हम $\sin\ \theta \approx \theta$ लेते हैं। अत:,

$\mathcal{J}\frac{d^2}{dt^2}$ $-mB$

अथवा $\frac{d^2}{dt^2}$ $\frac{mB}{\mathcal{J}}$

यह सरल आवर्त गति दर्शाता है, जिसके लिए, कोणीय आवृत्ति का वर्ग $\omega^2 = mB/\mathcal{J}$ तथा दोलन काल है,

T 2 $\sqrt{}$ (5.4)

अथवा B $\frac{4\ ^2}{m\,T^2}$ (5.5)

चुंबकीय स्थितिज ऊर्जा के लिए व्यंजक प्राप्त करने के लिए हम उसी विधि का अनुसरण कर सकते हैं जो हमने वैद्युत स्थितिज ऊर्जा का व्यंजक प्राप्त करने के लिए अपनायी थी।

किसी चुंबकीय द्विध्रुव की चुंबकीय स्थितिज ऊर्जा U_m इस प्रकार है

U_m ( )d

$mB\sin$ $mB\cos$

$\mathbf{m}\cdot\mathbf{B}$ (5.6)

इस बात को हमने पहले भी काफी जोर देकर कहा था कि स्थितिज ऊर्जा का शून्य हम अपनी सुविधानुसार निर्धारित कर सकते हैं। समाकलन नियंताक को शून्य लेने का अर्थ है कि हमने स्थितिज ऊर्जा का शून्य $\theta = 90^\circ$ पर, अर्थात उस स्थिति को ले लिया है जिस पर सुई क्षेत्र के लंबवत है। समीकरण (5.6) यह दर्शाती है कि न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा (= $-mB$) (अर्थात सर्वाधिक स्थायी अवस्था) $\theta = 0^\circ$ पर होती है एवं अधिकतम स्थितिज ऊर्जा (= $+mB$) (अर्थात अधिकतम अस्थायी अवस्था) $\theta = 180^\circ$ पर होती है।

उदाहरण 5.1

उदाहरण 5.1 चित्र 5.4 (b) में, चुंबकीय सुई का चुंबकीय आघूर्ण 6.7×10^{-2} A m^2 और जड़त्वाघूर्ण $\mathcal{J} = 7.5 \times 10^{-6}$ kg m^2 है। यह 6.70 s में 10 पूरे दोलन करती है। चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण क्या है?

हल दोलनकाल

T $\frac{6.70}{10}$ 0.67 s

समीकरण (5.5) से प्राप्त होता है

B $\frac{4\ ^2}{mT^2}$

$= \frac{4\quad (3.14)^2\quad 7.5\quad 10^{\ 6}}{6.7\quad 10^{-2}\quad (0.67)^2}$

$= 0.01$ T

उदाहरण 5.2

उदाहरण 5.2 एक छोटे छड़ चुंबक को जब 800 G के बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में इस तरह रखा जाता है कि इसकी अक्ष क्षेत्र से 30° का कोण बनाए, तो यह 0.016 N m का बलआघूर्ण अनुभव करता है। (a) चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण कितना है? (b) सर्वाधिक स्थायी स्थिति से सर्वाधिक अस्थायी स्थिति तक इसको घुमाने में कितना कार्य करना पड़ेगा? (c) छड़ चुंबक को यदि एक परिनालिका से प्रतिस्थापित कर दें जिसमें 1000 फेरे हों, जिसके अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल 2×10^{-4} m^2 हो और जिसका चुंबकीय आघूर्ण उतना ही हो जितना छड़ चुंबक का है, तो परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा ज्ञात कीजिए।

हल

(a) समीकरण (5.3) के अनुसार $\tau = m B \sin \theta$, $\theta = 30°$, इसलिए $\sin\theta = 1/2$

अत:, $0.016 = m \times (800 \times 10^{-4}\ T) \times (1/2)$

$m = 160 \times 2/800 = 0.40\ A\ m^2$

(b) समीकरण (5.6) के अनुसार सर्वाधिक स्थायी स्थिति तब है जब $\theta = 0°$ एवं सर्वाधिक अस्थायी स्थिति तब है जब $\theta = 180°$

$W \quad U_m(\ 180\ )\ \ U_m(\ 0\ )$

$= 2\ m\ B = 2 \times 0.40 \times 800 \times 10^{-4} = 0.064\ J$

(c) समीकरण (4.30) के अनुसार $m_s = NIA$ भाग (a) में हमने ज्ञात किया है कि $m_s = 0.40\ A\ m^2$

$0.40 = 1000 \times I \times 2 \times 10^{-4}$

$I = 0.40 \times 10^4/(1000 \times 2) = 2A$

उदाहरण 5.3

उदाहरण 5.3

(a) क्या होता है जबकि एक चुंबक को दो खंडों में विभाजित करते हैं (i) इसकी लंबाई के लंबवत (ii) लंबाई के अनुदिश?

(b) एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में रखी गई किसी चुंबकीय सुई पर बल आघूर्ण तो प्रभावी होता है पर इस पर कोई परिणामी बल नहीं लगता। तथापि, एक छड़ चुंबक के पास रखी लोहे की कील पर बल आघूर्ण के साथ-साथ परिणामी बल भी लगता है। क्यों?

(c) क्या प्रत्येक चुंबकीय विन्यास का एक उत्तरी और एक दक्षिणी ध्रुव होना आवश्यक है? एक टोरॉयड के चुंबकीय क्षेत्र के संबंध में इस विषय में अपनी टिप्पणी दीजिए।

(d) दो एक जैसी दिखाई पड़ने वाली छड़ें A एवं B दी गई हैं जिनमें कोई एक निश्चित रूप से चुंबकीय है, यह ज्ञात है (पर, कौन सी यह ज्ञात नहीं है)। आप यह कैसे सुनिश्चित करेंगे कि दोनों छड़ें चुंबकित हैं या केवल एक? और यदि केवल एक छड़ चुंबकित है तो यह कैसे पता लगाएँगे कि वह कौन सी है। [आपको छड़ों A एवं B के अतिरिक्त अन्य कोई चीज प्रयोग नहीं करनी है।]

हल

(a) दोनों ही प्रकरणों में आपको दो चुंबक प्राप्त होते हैं जिनमें से प्रत्येक में एक उत्तरी और एक दक्षिणी ध्रुव होता है।

(b) यदि क्षेत्र एकसमान हों केवल तभी चुंबक पर कोई बल नहीं लगता। परंतु छड़ चुंबक के कारण कील पर असमान क्षेत्र आरोपित होता है जिसके कारण कील में चुंबकीय आघूर्ण प्रेरित होता है। अत: इस पर परिणामी बल भी लगता है और बल आघूर्ण भी। परिणामी बल आकर्षण बल होता है, क्योंकि कील में प्रेरित दक्षिण ध्रुव (माना) इसमें प्रेरित उत्तरी ध्रुव की अपेक्षा चुंबक के अधिक निकट होता है।

(c) आवश्यक नहीं है। यह तभी सत्य होगा जब चुंबकीय क्षेत्र के स्रोत का परिणामी चुंबकीय आघूर्ण शून्य नहीं होगा। टोरॉयड या अनंत लंबाई की परिनालिका के लिए ऐसा नहीं होता।

(d) चुंबकों के अलग-अलग सिरों को एक-दूसरे के पास लाने की कोशिश कीजिए। यदि किसी स्थिति में प्रतिकर्षण बल का अनुभव हो तो दोनों छड़ें चुंबकित हैं। यदि हमेशा आकर्षण बल

उदाहरण 5.3

ही लगे तो उनमें से एक छड़ चुंबकित नहीं है। यह देखने के लिए कि कौन-सी छड़ चुंबकित है, एक छड़ A मान लीजिए और इसका एक सिरा नीचे कीजिए; पहले दूसरी छड़ B के सिरे के पास लाइए और फिर बीच में। अगर आप पाएँ कि B के बीच में छड़ A आकर्षण बल अनुभव नहीं करती तो B चुंबकित है। और यदि आप पाएँ कि सिरे पर और बीच में आकर्षण बल बराबर है, तो छड़ A चुंबकित है।

5.2.4 स्थिरवैद्युत अनुरूप

समीकरणों (5.2), (5.3) एवं (5.4) के संगत विद्युत द्विध्रुव के समीकरणों (अध्याय 1 देखिए) से तुलना करने पर हम इस परिणाम पर पहुँचते हैं कि **m** चुंबकीय आघूर्ण वाले छड़ चुंबक का चुंबकीय क्षेत्र, इससे बहुत दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर ज्ञात करने के लिए, हमें द्विध्रुव आघूर्णों वाले विद्युत द्विध्रुव के कारण उत्पन्न विद्युत क्षेत्र के समीकरण में, केवल निम्नलिखित प्रतिस्थापन करने होंगे–

$$\mathbf{E} \quad \mathbf{B}, \ \mathbf{p} \quad \mathbf{m}, \ \frac{1}{4 \quad _0} \quad \frac{_0}{4}$$

विशेषतः, r दूरी ($r >> l$ के लिए, जहाँ l चुंबक की लंबाई है)पर एक छड़ चुंबक का विषुवतीय चुंबकीय क्षेत्र

$$\mathbf{B}_E \quad \frac{_0 \mathbf{m}}{4 \quad r^3} \tag{5.7}$$

इसी प्रकार, r दूरी ($r >> l$ के लिए) पर एक छड़ चुंबक का अक्षीय चुंबकीय क्षेत्र

$$\mathbf{B}_A \quad \frac{_0}{4} \frac{2\mathbf{m}}{r^3} \tag{5.8}$$

समीकरण (5.8), समीकरण (5.2) का सदिश रूप है। सारणी 5.1 विद्युत एवं चुंबकीय द्विध्रुवों के मध्य समानता दर्शाती है।

सारणी 5.1 द्विध्रुवों की सादृश्यता

	स्थिर वैद्युत	चुंबकीय
	$1/\varepsilon_0$	μ_0
द्विध्रुव आघूर्ण	$\mathbf{p}$	$\mathbf{m}$
विषुवतीय क्षेत्र	$-\mathbf{p}/4\pi\varepsilon_0 r^3$	$-\mu_0 \mathbf{m} / 4\pi r^3$
अक्षीय क्षेत्र	$2\mathbf{p}/4\pi\varepsilon_0 r^3$	$\mu_0 2\mathbf{m} / 4\pi r^3$
बाह्य क्षेत्र–बल आघूर्ण	$\mathbf{p} \times \mathbf{E}$	$\mathbf{m} \times \mathbf{B}$
बाह्य क्षेत्र–स्थितिज ऊर्जा	$-\mathbf{p}\cdot\mathbf{E}$	$-\mathbf{m}\cdot\mathbf{B}$

उदाहरण 5.4

उदाहरण 5.4 5 cm लंबाई के छड़ चुंबक के केंद्र से 50 cm की दूरी पर स्थित बिंदु पर, विषुवतीय एवं अक्षीय स्थितियों के लिए चुंबकीय क्षेत्र का परिकलन कीजिए। छड़ चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण 0.40 A m^2, जैसा कि उदाहरण 5.2 में है।

हल समीकरण (5.7) के अनुसार,

$$B_E \quad \frac{_0 m}{4 \quad r^3} \quad \frac{10^{\ 7} \quad 0.4}{0.5^{\ 3}} \quad \frac{10^{\ 7} \quad 0.4}{0.125} \quad 3.2 \quad 10^{\ 7} \text{ T}$$

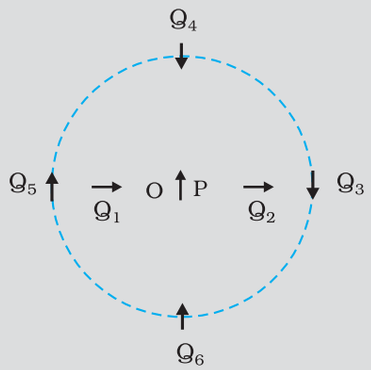
समीकरण (5.8) के अनुसार, $B_A \quad \frac{_0 2m}{4 \quad r^3} \quad 6.4 \quad 10^{\ 7}$ T

उदाहरण 5.5 चित्र 5.5 में O बिंदु पर रखी गई एक छोटी चुंबकीय सुई P दिखाई गई है। तीर इसके चुंबकीय आघूर्ण की दिशा दर्शाता है। अन्य तीर, दूसरी समरूप चुंबकीय सुई Q की विभिन्न स्थितियों (एवं चुंबकीय आघूर्ण के दिक्विन्यासों) को प्रदर्शित करते हैं।

(a) किस विन्यास में यह निकाय संतुलन में नहीं होगा?

(b) किस विन्यास में निकाय (i) स्थायी (ii) अस्थायी संतुलन में होंगे?

(c) दिखाए गए सभी विन्यासों में किसमें न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा है?



चित्र 5.5

हल

किसी विन्यास की स्थितिज ऊर्जा, एक चुंबकीय द्विध्रुव (माना Q) की, दूसरे चुंबकीय द्विध्रुव (माना P) के चुंबकीय क्षेत्र के कारण उत्पन्न स्थितिज ऊर्जा है। आप समीकरण (5.7) एवं (5.8) द्वारा व्यक्त निम्नलिखित परिणाम प्रयोग में ला सकते हैं–

$\mathbf{B}_P \quad \frac{_0}{4}\frac{\mathbf{m}_P}{r^3}$ (लंब समद्विभाजक पर)

$\mathbf{B}_P \quad \frac{_0 2}{4}\frac{\mathbf{m}_P}{r^3}$ (अक्ष पर)

जहाँ $\mathbf{m}_P$ द्विध्रुव P का चुंबकीय आघूर्ण है।

संतुलन तब स्थायी होगा जब $\mathbf{m}_Q$ एवं $\mathbf{B}_P$ एक-दूसरे के समांतर होंगी और संतुलन अस्थायी तब होगा जब वे प्रतिसमांतर होंगी।

उदाहरणार्थ, विन्यास Q_3 में, जिसके लिए Q द्विध्रुव P के लंब समद्विभाजक के अनुदिश है, Q का चुंबकीय आघूर्ण, स्थिति 3 में, चुंबकीय क्षेत्र के समांतर है, अत: Q_3 स्थायी है

इस प्रकार,

(a) PQ_1 एवं PQ_2

(b) (i) PQ_3, PQ_6 (स्थायी); (ii) PQ_5, PQ_4 (अस्थायी)

(c) PQ_6

उदाहरण 5.5

5.3 चुंबकत्व एवं गाउस नियम

अध्याय 1 में हमने स्थिरवैद्युत के लिए गाउस के नियम का अध्ययन किया था। चित्र 5.3 (c) में हम देखते हैं कि (i) द्वारा अंकित बंद गाउसीय सतह से क्षेत्र रेखाओं की जितनी संख्या बाहर आती है, उतनी ही इसके अंदर प्रवेश करती है। इस बात की इस तथ्य से संगति बैठती है कि सतह द्वारा परिवेष्ठित कुल आवेश का परिमाण शून्य है। किंतु, उसी चित्र में, बंद सतह (ii) जो किसी धनावेश को घेरती है, के लिए परिणामी निर्गत फ्लक्स होता है।

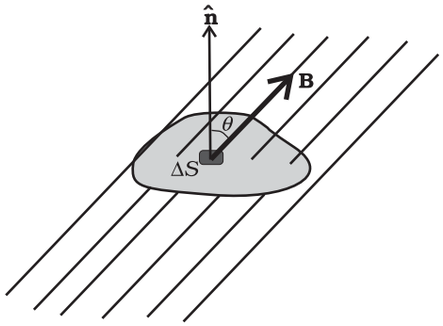
Chapter 5(Hindi).PMD 181 27-12-2012, 15:54

कार्ल फ्रेड्रिक गाउस (1777 – 1855)



कार्ल फ्रेड्रिक गाउस (1777 – 1855) वे एक विलक्षण बाल-प्रतिभा थे। गणित, भौतिकी, अभियांत्रिकी, खगोलशास्त्र और यहाँ तक कि भू-सर्वेक्षण में भी उनको प्रकृति की अनुपम देन थी। संख्याओं के गुण उनको लुभाते थे और उनके कार्य में उनके बाद आने वाले जमाने के प्रमुख गणितीय विकास का पूर्वाभास होता है। 1833 में विल्हेम वेलसर के साथ मिलकर उन्होंने पहला विद्युतीय टेलिग्राफ बनाया। वक्र-पृष्ठों से संबंधित उनके गणितीय सिद्धांत ने बाद में रीमन द्वारा किए गए कार्य की आधारशिला रखी।

यह स्थिति उन चुंबकीय क्षेत्रों के लिए पूर्णत: भिन्न है, जो संतत हैं और बंद लूप बनाते हैं। चित्र 5.3 (a) या 5.3 (b) में (i) या (ii) द्वारा अंकित गाउसीय सतहों का निरीक्षण कीजिए। आप पाएँगे कि सतह से बाहर आने वाली बल रेखाओं की संख्या इसके अंदर प्रवेश करने वाली संख्या के बराबर है। *दोनों ही सतहों के लिए कुल चुंबकीय फ्लक्स शून्य है* और यह बात किसी भी बंद सतह के लिए सत्य है।



चित्र 5.6

किसी बंद सतह S का एक छोटा सदिश क्षेत्रफल अवयव $\Delta\mathbf{S}$ लीजिए। जैसा कि चित्र 5.6 में दर्शाया गया है। $\Delta\mathbf{S}$ से गुजरने वाला चुंबकीय फ्लक्स $\Delta\phi_B = \mathbf{B}.\Delta\mathbf{S}$ है, जहाँ **B**, $\Delta\mathbf{S}$ पर चुंबकीय क्षेत्र है। हम S को कई छोटे-छोटे अवयवों में बाँट लेते हैं और उनमें से प्रत्येक से गुजरने वाले फ्लक्सों के मान अलग-अलग निकालते हैं। तब, कुल फ्लक्स ϕ_B का मान है,

$$B \quad \text{'सभी'} \quad B \quad \text{'सभी'} \quad \mathbf{B}\cdot\mathbf{S} \quad 0 \qquad (5.9)$$

जहाँ 'सभी' का अर्थ है सभी क्षेत्रफल अवयव $\Delta\mathbf{S}$। इसकी तुलना वैद्युतस्थितिकी के गाउस के नियम से कीजिए। जहाँ एक बंद सतह से गुजरने वाला वैद्युत फ्लक्स

$$\mathbf{E}\cdot\mathbf{S} \quad \frac{q}{0}$$

जहाँ q बंद सतह द्वारा परिबद्ध आवेश है।

चुंबकत्व एवं स्थिरवैद्युतिकी के गाउस नियमों के बीच का अंतर इसी तथ्य की अभिव्यक्ति है कि *पृथक्कृत चुंबकीय ध्रुवों (जिन्हें एकध्रुव भी कहते हैं) का अस्तित्व नहीं होता।* **B** का कोई उद्गम या अभिगम नहीं होता है। सरलतम चुंबकीय अवयव एक द्विध्रुव या धारा लूप है। सभी चुंबकीय परिघटनाएँ एक धारा लूप एवं/या द्विध्रुव व्यवस्था के रूप में समझायी जा सकती हैं।

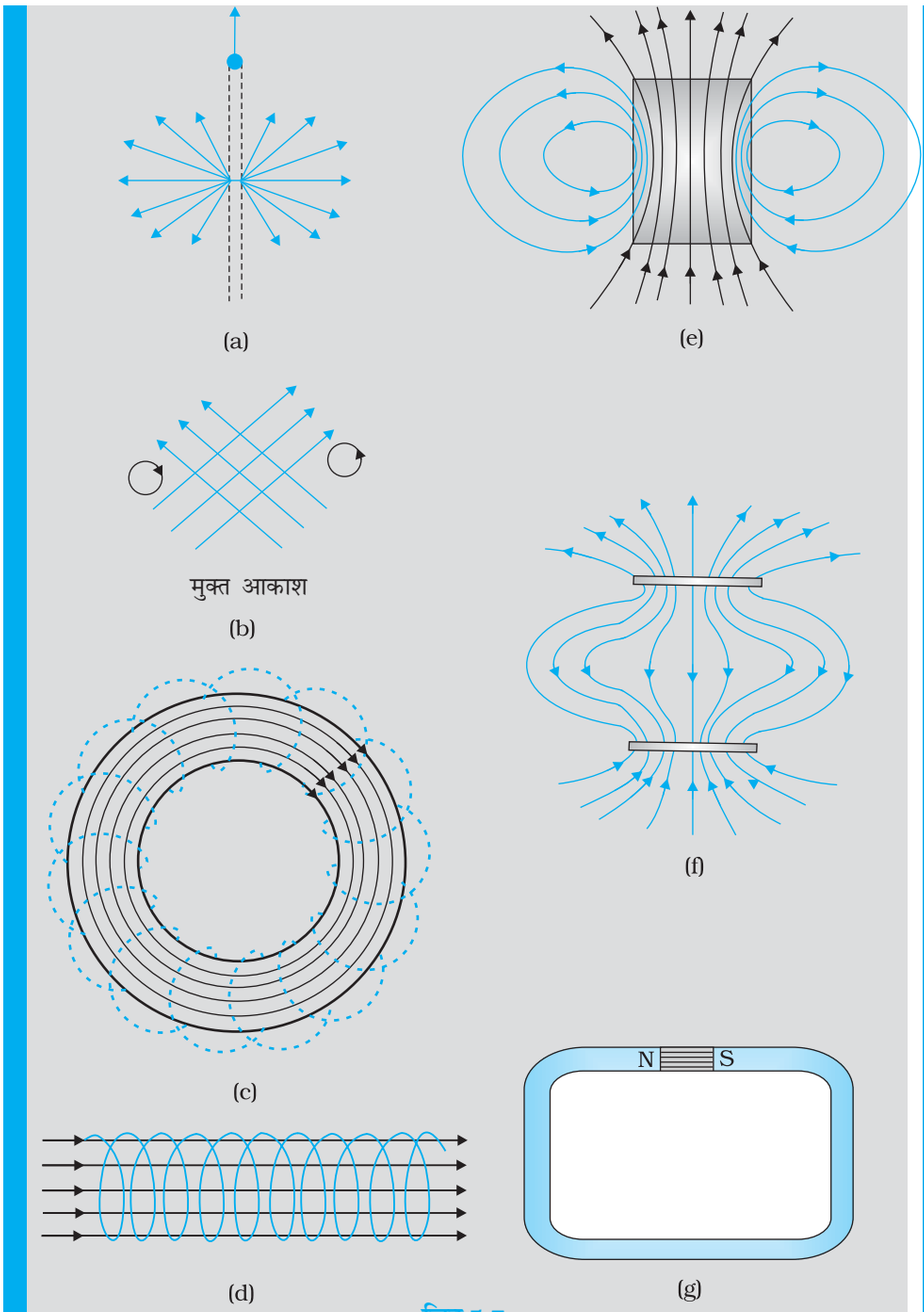
चुंबकत्व के लिए गाउस का नियम है–

किसी भी बंद सतह से गुज़रने वाला कुल चुंबकीय फ्लक्स हमेशा शून्य होता है।

उदाहरण 5.6

उदाहरण 5.6 नीचे दिए गए चित्रों में से कई में चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ गलत दर्शायी गई हैं [चित्रों में मोटी रेखाएँ]। पहचानिए कि उनमें गलती क्या है? इनमें से कुछ में वैद्युत क्षेत्र रेखाएँ ठीक-ठीक दर्शायी गई हैं। बताइए, वे कौन से चित्र हैं?

Chapter 5(Hindi).PMD 182 27-12-2012, 15:54



चित्र 5.7

हल

(a) *गलत* है। चुंबकीय बल रेखाएँ एक बिंदु से इस प्रकार नहीं निकल सकतीं जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। किसी बंद सतह पर **B** का कुल फ्लक्स हमेशा शून्य ही होना चाहिए अर्थात, चित्र में जितनी क्षेत्र रेखाएँ सतह में प्रवेश करें उतनी ही इससे बाहर निकलनी चाहिए। दिखायी गई क्षेत्र रेखाएँ, वास्तव में, एक लंबे धनावेशित तार का विद्युत क्षेत्र प्रदर्शित करती हैं। सही चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ जैसा अध्याय 4 में बताया गया है, सीधे तार को चारों ओर से घेरने वाले वृत्तों के रूप में हैं।

उदाहरण 5.6

Chapter 5(Hindi).PMD 183 27-12-2012, 15:54

उदाहरण 5.6

(b) *गलत* है। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ (विद्युत क्षेत्र रेखाओं की तरह ही) कभी भी एक-दूसरे को काट नहीं सकतीं। क्योंकि, अन्यथा कटान बिंदु पर क्षेत्र की दिशा संदिग्ध हो जाएगी। चित्र में एक गलती और भी है। स्थिर-चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ मुक्त आकाश में कभी भी बंद वक्र नहीं बना सकतीं। स्थिर-चुंबकीय क्षेत्र रेखा के बंद लूप को निश्चित रूप से एक ऐसे प्रदेश को घेरना चाहिए जिसमें से होकर धारा प्रवाहित हो रही हो [इसके विपरीत वैद्युत क्षेत्र रेखाएँ कभी भी बंद लूप नहीं बना सकतीं, न तो मुक्त आकाश में और न ही तब जब लूप आवेश को घेरते हैं।]

(c) *ठीक* है। चुंबकीय रेखाएँ पूर्णत: एक टोरॉइड में समाहित हैं। यहाँ चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं द्वारा बंद लूप बनाने में कोई त्रुटि नहीं है, क्योंकि प्रत्येक लूप एक ऐसे क्षेत्र को घेरता है जिसमें से होकर धारा गुजरती है। ध्यान दीजिए कि चित्र में स्पष्टता लाने के लिए ही टोरॉइड के अंदर मात्र कुछ क्षेत्र रेखाएँ दिखायी गई हैं। तथ्य यह है कि टोरॉइड के फेरों के अंदर के संपूर्ण भाग में चुंबकीय क्षेत्र मौजूद रहता है।

(d) *गलत* है। परिनालिका की क्षेत्र रेखाएँ, इसके सिरों पर और इसके बाहर पूर्णत: सीधी और सिमटी हुई नहीं हो सकती हैं। ऐसा होने से ऐम्पियर का नियम भंग होता है। ये रेखाएँ सिरों पर वक्रित हो जानी चाहिए और इनको अंत में मिल कर बंद पाश बनाने चाहिए।

(e) *सही* है। एक छड़ चुंबक के अंदर एवं बाहर दोनों ओर चुंबकीय क्षेत्र होता है। अंदर क्षेत्र की दिशा पर अच्छी तरह ध्यान दीजिए। सभी क्षेत्र रेखाएँ उत्तर ध्रुव से नहीं निकलतीं (और न ही दक्षिण ध्रुव पर समाप्त होती हैं)। N-ध्रुव एवं S-ध्रुव के चारों तरफ क्षेत्र के कारण कुल फ्लक्स शून्य होता है।

(f) *गलत* है। संभावना यही है कि ये क्षेत्र रेखाएँ चुंबकीय क्षेत्र प्रदर्शित नहीं करतीं। ऊपरी भाग को देखिए। सभी क्षेत्र रेखाएँ छायित प्लेट से निकलती जान पड़ती हैं। इस प्लेट को घेरने वाली सतह से गुजरने वाले क्षेत्र का कुल फ्लक्स शून्य नहीं है। चुंबकीय क्षेत्र के संदर्भ में ऐसा होना संभव नहीं है। दिखायी गई क्षेत्र रेखाएँ, वास्तव में, धनावेशित ऊपरी प्लेट एवं ऋणावेशित निचली प्लेट के बीच स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ हैं। [चित्र 5.7(e) एवं (f)] के बीच के अंतर को ध्यानपूर्वक ग्रहण करना चाहिए।

(g) *गलत* है। दो ध्रुवों के बीच चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ, सिरों पर, ठीक सरल रेखाएँ नहीं हो सकतीं। रेखाओं में कुछ फैलाव अवश्यम्भावी है अन्यथा, ऐम्पियर का नियम भंग होता है। यह बात वैद्युत क्षेत्र रेखाओं के लिए भी लागू होती है।

उदाहरण 5.7

उदाहरण 5.7

(a) चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ (हर बिंदु पर) वह दिशा बताती हैं जिसमें (उस बिंदु पर रखी) चुंबकीय सुई संकेत करती है। क्या चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ प्रत्येक बिंदु पर गतिमान आवेशित कण पर आरोपित *बल रेखाएँ* भी हैं?

(b) एक टोरॉइड में तो चुंबकीय क्षेत्र पूर्णत: क्रोड के अंदर सीमित रहता है, पर परिनालिका में ऐसा नहीं होता। क्यों?

(c) यदि चुंबकीय एकल ध्रुवों का अस्तित्व होता तो चुंबकत्व संबंधी गाउस का नियम क्या रूप ग्रहण करता?

(d) क्या कोई छड़ चुंबक अपने क्षेत्र की वजह से अपने ऊपर बल आघूर्ण आरोपित करती है? क्या किसी धारावाही तार का एक अवयव उसी तार के दूसरे अवयव पर बल आरोपित करता है।

(e) गतिमान आवेशों के कारण चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होते हैं। क्या कोई ऐसी प्रणाली है जिसका चुंबकीय आघूर्ण होगा, यद्यपि उसका नेट आवेश शून्य है?

Chapter 5(Hindi).PMD 184 27-12-2012, 15:54

हल

(a) *नहीं।* चुंबकीय बल सदैव **B** के लंबवत होता है (क्योंकि चुंबकीय बल = $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ अत: **B** की क्षेत्र रेखाओं को बल रेखाएँ कहना भ्रामक वक्तव्य है।

(b) यदि क्षेत्र रेखाएँ सिर्फ सीधी परिनालिका के दो सिरों के बीच सीमित होतीं तो प्रत्येक सिरे के अनुप्रस्थ काट से गुज़रने वाला फ्लक्स शून्य न होता। लेकिन, क्षेत्र **B** का किसी बंद सतह से गुज़रने वाला फ्लक्स तो सदैव शून्य ही होता है। टोरॉइड के विषय में यह समस्या ही खड़ी नहीं होती क्योंकि इसके कोई सिरे नहीं होते।

(c) चुंबकत्व संबंधी गाउस का नियम यह कहता है कि क्षेत्र **B** के कारण, किसी बंद सतह से गुज़रने वाला कुल फ्लक्स सदैव शून्य होता है । किसी बंद सतह S के लिए $\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$

यदि एकल ध्रुवों का अस्तित्व होता तो (स्थिरवैद्युतिकी के गाउस नियम के अनुरूप) समीकरण के दायीं ओर सतह S से घिरे एकल ध्रुवों (चुंबकीय आवेशों) q_m का योग आता। अर्थात समीकरण का रूप होता

$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 q_m$ जहाँ q_m, S से घिरा चुंबकीय आवेश (एकल ध्रुव) है।

(d) *नहीं।* तार के अल्पांश द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र के कारण इसके स्वयं के ऊपर कोई बल या बल आघूर्ण नहीं लगता। लेकिन इसके कारण उसी तार के दूसरे अल्पांश पर बल (या बल आघूर्ण) लगता है। (सीधे तार के विशेष मामले में, यह बल शून्य ही होता है)।

(e) *हाँ।* संपूर्ण व्यवस्था को देखें तो सभी आवेशों का औसत शून्य हो सकता है। फिर भी, यह हो सकता है कि विभिन्न धारा लूपों के कारण उत्पन्न चुंबकीय आघूर्णों का औसत शून्य न हो। हमारे समक्ष अनुचुंबकीय पदार्थों के संदर्भ में ऐसे कई उदाहरण आएँगे जहाँ परमाणुओं का आवेश शून्य है लेकिन उनका द्विध्रुव-आघूर्ण शून्य नहीं है।

उदाहरण 5.7

5.4 भू-चुंबकत्व

हमने पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का जिक्र पहले भी किया है। पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता, इसकी सतह पर, भिन्न स्थानों पर भिन्न होती है, पर इसका मान 10^{-5} T की कोटि का होता है।

पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का कारण क्या है, यह बहुत स्पष्ट नहीं है। प्रारंभ में यह सोचा गया कि पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र इसके अंदर बहुत गहराई में रखे एक विशाल चुंबक के कारण है जो लगभग पृथ्वी के घूर्णन अक्ष के अनुदिश रखा है। परंतु, यह सरलीकृत चित्र निश्चित रूप से सही नहीं है। अब यह माना जाता है कि पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र इसके बाह्य क्रोड के धात्विक तरलों (जो अधिकांशत: पिघला लोहा एवं निकिल है) की संवाहक गति के कारण उत्पन्न विद्युत धाराओं के परिणामस्वरूप अस्तित्व में आता है। इसको *डायनेमो प्रभाव* कहा जाता है।

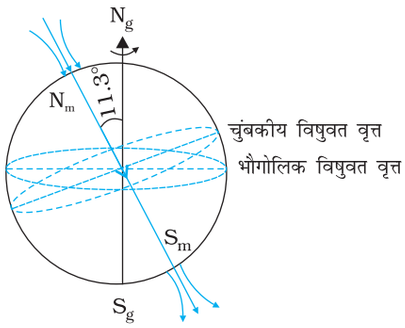
पृथ्वी की चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ, पृथ्वी के केंद्र पर रखे (काल्पनिक) चुंबकीय द्विध्रुव के जैसी ही होती हैं। इस द्विध्रुव की अक्ष पृथ्वी के घूर्णन अक्ष के संपाती नहीं होती है, बल्कि वर्तमान में यह इससे लगभग 11.3º पर झुकी हुई है। इस दृष्टि से देखें तो चुंबकीय ध्रुव वहाँ अवस्थित है जहाँ चुंबकीय बल रेखाएँ पृथ्वी में प्रवेश करती हैं अथवा इससे बाहर निकलती हैं। पृथ्वी के उत्तरी चुंबकीय ध्रुव की स्थिति 79.74º N अक्षांश एवं 71.8º W देशांतर पर है। यह स्थान उत्तरी कनाडा में है। चुंबकीय दक्षिणी ध्रुव अंटार्कटिका में, 79.74º S अक्षांश एवं 108.22º E देशांतर पर है।

वह ध्रुव जो पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी ध्रुव के निकट है *उत्तरी चुंबकीय ध्रुव* कहलाता है। इसी प्रकार पृथ्वी के भौगोलिक दक्षिण ध्रुव के निकट स्थित ध्रुव *दक्षिणी चुंबकीय ध्रुव* कहलाता

भौतिकी

भू-चुंबकत्व – बहुधा पूछे जाने वाले प्रश्न
http://www.ngde.noaa.gov/seg/geomag/

Chapter 5(Hindi).PMD 185 27-12-2012, 15:54



चित्र 5.8 पृथ्वी, एक विशाल चुंबकीय द्विध्रुव की भाँति।

है। ध्रुवों के नामकरण के संबंध में कुछ संभ्रम हैं। यदि आप पृथ्वी की चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं को देखें (चित्र 5.8), तो छड़ चुंबक के विपरीत क्षेत्र रेखाएँ उत्तरी चुंबकीय ध्रुव (N_m) से पृथ्वी के अंदर प्रवेश करती हैं और दक्षिणी चुंबकीय ध्रुव (S_m) से बाहर आती हैं। यह परिपाटी इसलिए शुरू हुई क्योंकि चुंबकीय उत्तर वह दिशा थी जिसमें चुंबकीय सुई का उत्तरी सिरा संकेत करता था; चुंबक के ध्रुव को उत्तरी ध्रुव इसलिए कहा गया क्योंकि यह उत्तर दिशा का ज्ञान कराने में सहायक था। इस प्रकार, वास्तव में, उत्तरी चुंबकीय ध्रुव पृथ्वी के अंदर के छड़ चुंबक के दक्षिणी ध्रुव की तरह व्यवहार करता है एवं दक्षिणी चुंबकीय ध्रुव इस छड़ चुंबक के उत्तरी ध्रुव की तरह।

उदाहरण 5.8

उदाहरण 5.8 विषुवत रेखा पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण लगभग 0.4 G है। पृथ्वी के चुंबक के द्विध्रुव आघूर्ण की गणना कीजिए।

हल समीकरण (5.7) के अनुसार विषुवतीय चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण,

$$B_E \quad \frac{_0 m}{4 \quad r^3}$$

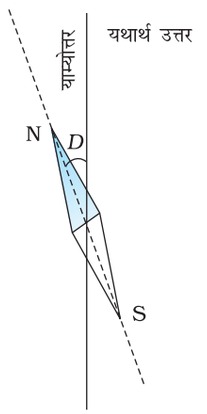
दिया है: $B_E \sim 0.4$ G $= 4 \times 10^{-5}$ T, r यहाँ पृथ्वी की त्रिज्या है, 6.4×10^6 m अत:

$$m \quad \frac{4 \quad 10^{5} \quad (6.4 \quad 10^6)^3}{_0 / 4} = 4 \times 10^2 \times (6.4 \times 10^6)^3 \quad (\mu_0/4\pi = 10^{-7})$$

$$= 1.05 \times 10^{23} \text{ A m}^2$$

यह मान भू-चुंबकत्व संबंधी पुस्तकों में दिए गए मान 8×10^{22} A m^2 के बहुत निकट है।

5.4.1 चुंबकीय दिक्पात एवं नति



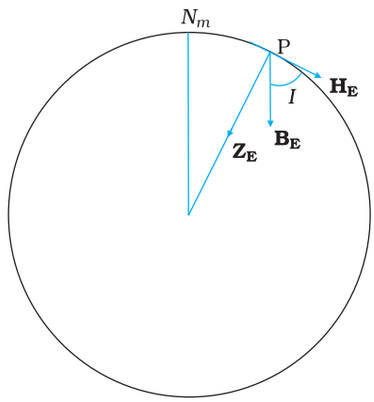
चित्र 5.9 क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र चुंबकीय सुई, चुंबकीय उत्तर-दक्षिण दिशा में इंगित करती है।

पृथ्वी की सतह पर कोई बिंदु लीजिए। इस बिंदु से गुज़रने वाला देशांतर वृत्त भौगोलिक उत्तर-दक्षिण दिशा निर्दिष्ट करता है जिसकी उत्तरी ध्रुव की ओर जाने वाली रेखा यथार्थ उत्तर की ओर इंगित करती है। देशांतर वृत्त एवं पृथ्वी के घूर्णन अक्ष में से गुजरने वाला ऊर्ध्वाधर तल *भौगोलिक याम्योत्तर* कहलाता है। इसी प्रकार आप किसी स्थान विशेष पर *चुंबकीय याम्योत्तर* भी उस स्थान और चुंबकीय उत्तरी एवं दक्षिणी ध्रुवों को मिल जाने वाली काल्पनिक रेखा से गुज़रने वाले ऊर्ध्वाधर तल के रूप में परिभाषित कर सकते हैं। यह तल भी पृथ्वी की सतह को देशांतर जैसे ही एक वृत्त में काटेगा। एक चुंबकीय सुई जो क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है, तब चुंबकीय याम्योत्तर में रहेगी और इसका उत्तरी ध्रुव पृथ्वी के चुंबकीय उत्तरी ध्रुव की ओर संकेत करेगा। चूँकि चुंबकीय ध्रुवों को मिलाने वाली रेखा, पृथ्वी के भौगोलिक अक्ष की तुलना में किसी कोण पर झुकी रहती है, किसी स्थान पर चुंबकीय याम्योत्तर, भौगोलिक याम्योत्तर से एक कोण बनाती है। यही वह कोण है जो यथार्थ भौगोलिक उत्तर एवं चुंबकीय सुई द्वारा इंगित उत्तर के बीच बनता है। इस कोण को चुंबकीय दिक्पात अथवा केवल *दिक्पात* कहते हैं (चित्र 5.9)।

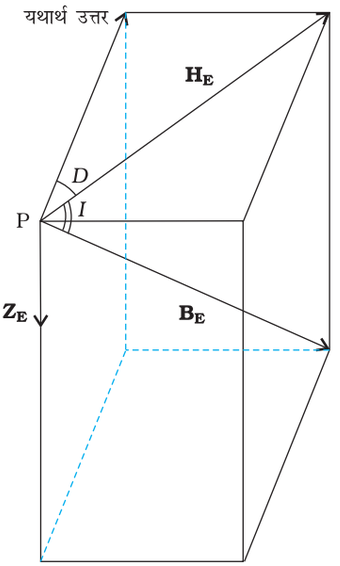
दिक्पात उच्चतर अक्षांशों पर अधिक एवं विषुवत रेखा के पास कम होता है, भारत में दिक्पात का मान कम है, यह दिल्ली में 0º41′ E एवं मुंबई

में 0º58′ W है। अत: दोनों ही स्थानों पर चुंबकीय सुई काफ़ी हद तक सही उत्तर दिशा दर्शाती है।

एक अन्य महत्वपूर्ण राशि भी है जिसमें आपकी रुचि हो सकती है। यदि कोई चुंबकीय सुई, एक क्षैतिज अक्ष पर इस प्रकार पूर्ण संतुलन में हो कि चुंबकीय याम्योत्तर के तल में घूम सके तो यह सुई क्षैतिज से एक कोण बनाएगी (चित्र 5.10)। यह *नमन कोण* (या आनति) कहलाता है। अत: आनति वह कोण है जो पृथ्वी का कुल चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}_E$ पृथ्वी की सतह से बनाता है। चित्र (5.11) पृथ्वी की सतह के किसी बिंदु P पर चुंबकीय याम्योत्तर तल दर्शाता है। यह तल पृथ्वी से गुजरने वाला एक खंड है। बिंदु P पर कुल चुंबकीय क्षेत्र को हम एक क्षैतिज अवयव $\mathbf{H}_E$ एवं एक ऊर्ध्वाधर अवयव $\mathbf{Z}_E$ में वियोजित कर सकते हैं। $\mathbf{B}_E$, $\mathbf{H}_E$ से जो कोण बनाता है वही नमन कोण I है।



चित्र 5.10 दर्शाया गया वृत्त, पृथ्वी से गुज़रने वाला चुंबकीय याम्योत्तर का खंड है। $\mathbf{B}_E$ एवं क्षैतिज अवयव $\mathbf{H}_E$ के बीच बना कोण आनति है।



चित्र 5.11 पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}_E$, एवं इसके क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर अवयव $\mathbf{H}_E$ एवं $\mathbf{Z}_E$। दिक्पात कोण D एवं नमन कोण I भी दर्शाए गए हैं।

अधिकतर उत्तरी गोलार्ध में नमन वृत्त की सुई का उत्तरी ध्रुव नीचे की ओर झुकता है। इसी प्रकार अधिकांश दक्षिणी गोलार्ध में नमन सुई का दक्षिणी ध्रुव नीचे झुकता है।

पृथ्वी की सतह पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र को पूरी तरह निर्दिष्ट करने के लिए हमें तीन राशियों का विवरण देना होता है, ये हैं- दिक्पात कोण D, आनति या नमन कोण I एवं *पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज अवयव* H_E। ये *पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के घटक कहलाते हैं।*

यहाँ ऊर्ध्वाधर घटक,

$$Z_E = B_E \sin I$$

क्षैतिज घटक, [5.10(a)]

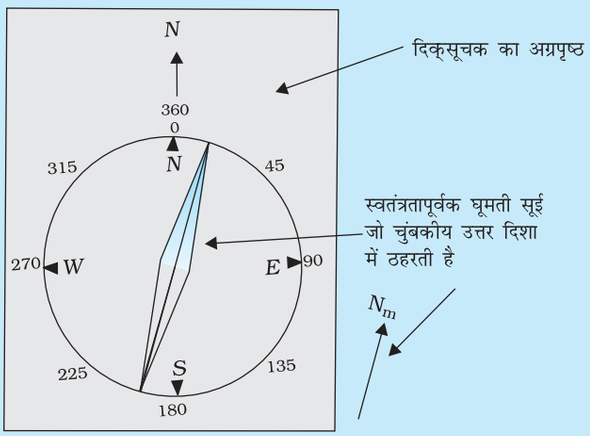
$$H_E = B_E \cos I \qquad [5.10(b)]$$

जिससे हमें प्राप्त होता है

$$\tan I \quad \frac{Z_E}{H_E} \qquad [5.10(c)]$$

ध्रुवों पर हमारी चुंबकीय सुई को क्या हो जाता है?

चुंबकीय दिक्सूचक में एक चुंबकीय सुई एक धुरी पर स्वतंत्रतापूर्वक घूम सकती है। जब दिकसूचक को समतल में रखा जाता है तो इसकी चुंबकीय सुई उस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज अवयव की दिशा में ठहरती है। पृथ्वी पर कुछ स्थानों पर चुंबकीय खनिजों के भंडार पाए जाते हैं जिनके कारण दिक्सूचक सुई चुंबकीय याम्योत्तर से हट जाती है। किसी स्थान पर दिक्पात का ज्ञान, हमें उस स्थान पर दिक्सूचक सुई के मान में संशोधन कर यथार्थ उत्तर दिशा जानने में सहायता करता है



अत: चुंबकीय सुई को ध्रुव पर ले जाने का परिणाम क्या होगा? ध्रुव पर, या तो चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ ऊर्ध्वाधरत: अभिसरित होंगी या अपसरित होंगी इससे क्षैतिज घटक का मान उपेक्षणीय होगा। यदि सुई केवल क्षैतिज तल में ही घूमने के लिए स्वतंत्र होगी तो यह किसी भी दिशा में संकेत कर सकती है और इस कारण दिक्सूचक के रूप में इसकी कोई उपयोगिता नहीं रह जाएगी। इस स्थिति में जिस वस्तु की हमें आवश्यकता है वह है नमनदर्शी सुई जो एक ऐसी दिक्सूचक सुई है जिसको पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र से युक्त ऊर्ध्वाधर तल में घूमने के लिए धुरी पर रखा गया है। तब इस दिक्सूचक की सुई वह कोण दर्शाती है जो चुंबकीय क्षेत्र ऊर्ध्वाधर से बनाता है। चुंबकीय ध्रुवों पर यह सुई सीधे नीचे की ओर इंगित करती है।

उदाहरण 5.9

उदाहरण 5.9 किसी स्थान के चुंबकीय याम्योत्तर में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज अवयव 0.26 G है एवं नमन कोण 60^o है। इस स्थान पर पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र क्या है?

हल

यह दिया गया है कि $H_E = 0.26$ G, चित्र 5.11 से हम पाते हैं कि–

$$\cos 60^o \quad \frac{H_E}{B_E}$$

$$B_E \quad \frac{H_E}{\cos 60^o}$$

$$= \frac{0.26}{(1/2)} \quad 0.52\,\text{G}$$

Chapter 5(Hindi).PMD 188 27-12-2012, 15:54

पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र

यह नहीं मानना चाहिए कि पृथ्वी के अंदर गहराई में कोई विशाल छड़ चुंबक रखा है जो पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के लिए उत्तरदायी है। यद्यपि पृथ्वी के अंदर लोहे के प्रचुर भंडार हैं तथापि इसकी संभावना बहुत ही कम है कि लोहे का कोई विशाल ठोस खंड चुंबकीय उत्तरी ध्रुव से चुंबकीय दक्षिणी ध्रुव तक फैला हो। पृथ्वी का क्रोड बहुत गर्म तथा पिघली हुई अवस्था में है तथा लोहे एवं निकिल के आयन पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के लिए उत्तरदायी हैं। यह परिकल्पना संभावित जान पड़ती है। चंद्रमा जिसमें कोई द्रवीभूत क्रोड नहीं है, इसका कोई चुंबकीय क्षेत्र भी नहीं है। शुक्र ग्रह जिसकी घूर्णन गति अत्यंत मंद है इसका चुंबकीय क्षेत्र भी बहुत क्षीण है, जबकि बृहस्पति, जिसकी घूर्णन गति ग्रहों में सर्वाधिक है, इसका चुंबकीय क्षेत्र भी पर्याप्त शक्तिशाली है। किंतु, इन परिवाही धाराओं की उत्पत्ति के सही कारण और उनको बनाए रखने के लिए आवश्यक ऊर्जा आदि को बहुत अच्छी तरह से समझा नहीं जा सका है। ये ऐसे प्रश्न हैं जो सतत शोध के लिए एक महत्वपूर्ण क्षेत्र प्रदान करते हैं।

स्थान परिवर्तन के साथ पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र में होने वाले परिवर्तन भी अध्ययन का रोचक विषय है। सूर्य से उत्सर्जित होने वाले आवेशित कण एक प्रवाह के रूप में पृथ्वी की ओर आते हैं जिसे सौर पवन कहा जाता है। इन कणों की गति पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र से प्रभावित होती है और ये स्वयं पृथ्वी की चुंबकीय क्षेत्र व्यवस्था में बदलाव ला देते हैं। ध्रुवों के निकट पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की संरचना अन्य भागों से बिलकुल अलग होती है।

समय के साथ पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र में होने वाले परिवर्तन भी कोई कम लुभावने नहीं हैं। इनमें अल्पकालिक परिवर्तन भी शामिल हैं जो शताब्दियों में नजर आने लगते हैं और दीर्घकालीन परिवर्तन भी जो लाखों वर्षों के दीर्घकाल में दृष्टिगत होते हैं। ज्ञात स्रोतों के अनुसार, 1580 ई. से 1820 ई. के बीच के 240 वर्षों के समय काल में लंदन में चुंबकीय दिक्पात के मान में 3.5º का अंतर रिकार्ड किया गया, जिससे यह संकेत मिलता है कि पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र समय के साथ परिवर्तित होता है। यह पाया गया है कि 10 लाख वर्षों में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की दिशा उलट जाती है। असिताश्म (Basalt) में लोहा होता है और असिताश्म ज्वालामुखी विस्फोट में बाहर निकलता है। जब यह ठंडा होकर ठोस में बदलता है तो इसके अंदर के छोटे-छोटे लौह-चुंबक चुंबकीय क्षेत्र की दिशा के समांतर समरेखित हो जाते हैं। ऐसे चुंबकीय क्षेत्रों से युक्त असिताश्म भंडारों के भूवैज्ञानिक अध्ययनों से इस बात के प्रमाण मिले हैं कि पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की दिशा अतीत में कई बार उलट चुकी है।

5.5 चुंबकीकरण एवं चुंबकीय तीव्रता

पृथ्वी तत्वों एवं यौगिकों की विस्मयकारी विभिन्नताओं से भरपूर है। इसके अतिरिक्त, हम नए-नए मिश्रधातु, यौगिक, यहाँ तक कि तत्व भी संश्लेषित करते जा रहे हैं। आप इन सब पदार्थों को चुंबकीय गुणों के आधार पर वर्गीकृत करना चाहेंगे। प्रस्तुत अनुभाग में हम ऐसे कुछ पदों की परिभाषा देंगे और उनके बारे में समझाएँगे जो इस वर्गीकरण में हमारी सहायता करेंगे।

हम यह देख चुके हैं कि परमाणु में परिक्रमण करते इलेक्ट्रॉन का एक चुंबकीय आघूर्ण होता है। पदार्थ के किसी बड़े टुकड़े में ये चुंबकीय आघूर्ण सदिश रूप से समाकलित होकर शून्येतर परिणामी चुंबकीय आघूर्ण प्रदान कर सकते हैं। किसी दिए गए नमूने का *चुंबकन* **M** हम इस प्रकार उत्पन्न हुए प्रति इकाई आयतन परिणामी चुंबकीय आघूर्ण के रूप में परिभाषित कर सकते हैं,

$$\mathbf{M} \quad \frac{\mathbf{m}_{\text{नेट}}}{V} \qquad (5.11)$$

M एक सदिश राशि है जिसका विमीय सूत्र $L^{-1} A$ एवं मात्रक $A\ m^{-1}$ है।

एक लंबी परिनालिका लीजिए जिसकी प्रति इकाई लंबाई में n फेरे हों, और जिसमें I धारा प्रवाहित हो रही हो। इस परिनालिका के अंदर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण है,

Chapter 5(Hindi).PMD 189 27-12-2012, 15:54

$$\mathbf{B}_0 = \mu_0 nI \tag{5.12}$$

यदि परिनालिका के अंदर शून्येतर चुंबकन का कोई पदार्थ भरा हो तो यहाँ क्षेत्र $\mathbf{B}_0$ से अधिक होगा। परिनालिका के अंदर परिणामी क्षेत्र $\mathbf{B}$ को लिख सकते हैं

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_m \tag{5.13}$$

जहाँ $\mathbf{B}_m$ क्रोड के पदार्थ द्वारा प्रदत्त क्षेत्र है। यह पाया गया है कि यह अतिरिक्त क्षेत्र $\mathbf{B}_m$ पदार्थ के चुंबकन $\mathbf{M}$ के अनुक्रमानुपाती होता है और इसको हम निम्नवत व्यक्त कर सकते हैं

$$\mathbf{B}_m = \mu_0 \mathbf{M} \tag{5.14}$$

जहाँ μ_0 वही नियंताक है (निर्वात की पारगम्यता) जो बायो-सावर्ट के नियम में उपयोग किया गया था।

सुविधा के लिए हम एक अन्य सदिश क्षेत्र $\mathbf{H}$ की बात करते हैं जिसे *चुंबकीय तीव्रता* कहा जाता है और जिसको निम्नलिखित समीकरण द्वारा परिभाषित किया जाता है

$$\mathbf{H} \quad \frac{\mathbf{B}}{0} - \mathbf{M} \tag{5.15}$$

जहाँ $\mathbf{H}$ की विमाएँ वहीं हैं जो $\mathbf{M}$ की और इसका मात्रक भी $\mathrm{A\,m^{-1}}$ ही है।

इस प्रकार कुल चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ को लिख सकते हैं

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \tag{5.16}$$

उपरोक्त विवरण में आए पदों को व्युत्पन्न करने में हमने जिस पद्धति का प्रयोग किया है उसको दोहराते हैं। परिनालिका के अंदर के कुल चुंबकीय क्षेत्र को हमने दो अलग-अलग योगदानों के रूप में प्रस्तुत किया– *पहला* बाह्य कारक, जैसे कि परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा का योगदान। यह $\mathbf{H}$ द्वारा व्यक्त किया गया है; और *दूसरा* चुंबकीय पदार्थ की विशेष प्रकृति के कारण अर्थात $\mathbf{M}$। बाद वाली राशि ($\mathbf{M}$) बाह्य कारकों द्वारा प्रभावित की जा सकती है। यह प्रभाव गणितीय रूप में इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं:

$$\mathbf{M} \quad \mathbf{H} \tag{5.17}$$

जहाँ χ एक विमाविहीन राशि है और इसे *चुंबकीय प्रवृत्ति* कहते हैं। यह किसी चुंबकीय पदार्थ पर बाह्य चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव का माप है। सारणी 5.2 में कुछ तत्वों की चुंबकीय प्रवृत्ति को सूचीबद्ध किया गया है। हम देखते हैं कि χ बहुत छोटे परिमाण वाली राशि है। कुछ पदार्थों के लिए इसका मान छोटा और धनात्मक है जिन्हें *अनुचुंबकीय* पदार्थ कहते हैं। कुछ पदार्थों के लिए इसका मान छोटा एवं ऋणात्मक है जिन्हें *प्रतिचुंबकीय* पदार्थ कहते हैं। प्रतिचुंबकीय पदार्थों में $\mathbf{M}$ एवं $\mathbf{H}$ विपरीत दिशाओं में होते हैं। समीकरण (5.16) एवं (5.17) से हम पाते हैं,

$$\mathbf{B} \quad {}_0(1 \quad)\mathbf{H} \tag{5.18}$$

$$= \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$$

$$= \mu \mathbf{H} \tag{5.19}$$

जहाँ, $\mu_r = (1 + \chi)$ एक विमाविहीन राशि है जिसे हम पदार्थ की *आपेक्षिक चुंबकशीलता* या 'आपेक्ष चुंबकीय पारगम्यता' कहते हैं। यह स्थिरवैद्युतिकी के परावैद्युतांक के समतुल्य राशि है। पदार्थ की *चुंबकशीलता* μ है और इसकी विमाएँ तथा मात्रक वही हैं जो μ_0 के हैं।

$$\mu = \mu_0 \mu_r = \mu_0 (1+\chi)$$

χ, μ_r एवं μ में तीन राशियाँ परस्पर संबंधित हैं। यदि इनमें से किसी एक का मान ज्ञात हो तो बाकी दोनों के मान ज्ञात किए जा सकते हैं।

सारणी 5.2 300 K पर कुछ तत्वों की चुंबकीय प्रवृत्ति

प्रतिचुंबकीय पदार्थ	χ	अनुचुंबकीय पदार्थ	χ
बिस्मथ	-1.66×10^{-5}	ऐलुमिनियम	2.3×10^{-5}
ताँबा	-9.8×10^{-6}	कैल्शियम	1.9×10^{-5}
हीरा	-2.2×10^{-5}	क्रोमियम	2.7×10^{-4}
सोना	-3.6×10^{-5}	लिथियम	2.1×10^{-5}
सीसा	-1.7×10^{-5}	मैग्नीशियम	1.2×10^{-5}
पारा	-2.9×10^{-5}	नियोबियम	2.6×10^{-5}
नाइट्रोजन (STP)	-5.0×10^{-9}	ऑक्सीजन (STP)	2.1×10^{-6}
चाँदी	-2.6×10^{-5}	प्लैटिनम	2.9×10^{-4}
सिलिकन	-4.2×10^{-6}	टंगस्टन	6.8×10^{-5}

उदाहरण 5.10

उदाहरण 5.10 एक परिनालिका के क्रोड में भरे पदार्थ की आपेक्षिक चुंबकशीलता 400 है। परिनालिका के विद्युतीय रूप से पृथक्कृत फेरों में 2A की धारा प्रवाहित हो रही है। यदि इसकी प्रति 1m लंबाई में फेरों की संख्या 1000 है तो (a) H, (b) M, (c) B एवं (d) चुंबककारी धारा I_m की गणना कीजिए।

हल

(a) क्षेत्र H क्रोड के पदार्थ पर निर्भर करता है और इसके लिए सूत्र है

$H = nI = 1000 \times 2.0 = 2 \times 10^3$ A/m

(b) चुंबकीय क्षेत्र B के लिए सूत्र है

$B = \mu_r \mu_0 H$

$= 400 \times 4\pi \times 10^{-7}$ (N/A^2) $\times 2 \times 10^3$ (A/m)

$= 1.0$ T

(c) चुंबकन

$M = (B - \mu_0 H)/\mu_0$

$= (\mu_r \mu_0 H - \mu_0 H)/\mu_0 = (\mu_r - 1)H = 399 \times H$

$\cong 8 \times 10^5$ A/m

(d) चुंबकन धारा I_M वह अतिरिक्त धारा है जो क्रोड की अनुपस्थिति में परिनालिका के फेरों में प्रवाहित किए जाने पर इसके अंदर उतना ही क्षेत्र B उत्पन्न करेगी जितना क्रोड की उपस्थिति में होता। अत: $B = \mu_r n_0 (I + I_M)$ लेने पर $I = 2$ A, $B = 1$ T हमें प्राप्त होता है $I_M = 794$ A

5.6 पदार्थों के चुंबकीय गुण

पिछले अनुभाग में वर्णित विचार हमें पदार्थों को प्रतिचुंबकीय, अनुचुंबकीय एवं लोहचुंबकीय श्रेणियों में वर्गीकृत करने में सहायता प्रदान करते हैं। चुंबकीय प्रवृत्ति χ की दृष्टि से देखें तो कोई पदार्थ प्रतिचुंबकीय है यदि इसके लिए χ ऋणात्मक है, अनुचुंबकीय होगा यदि χ धनात्मक एवं अल्प मान वाला है, और लोहचुंबकीय होगा यदि χ धनात्मक एवं अधिक मान वाला है।

अधिक मूर्त रूप में सारणी 5.3 पर एक दृष्टि हमें इन पदार्थों का एक अच्छा अनुभव प्रदान करती है। यहाँ ε एक छोटी धन संख्या है जो अनुचुंबकत्व का परिमाण निर्धारित करने के लिए लाई गई है। अब हम इन पदार्थों के बारे में कुछ विस्तार से चर्चा करेंगे।

Chapter 5(Hindi).PMD 191 27-12-2012, 15:54

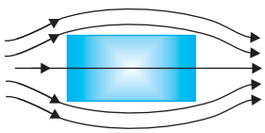
सारणी 5.3

प्रतिचुंबकीय	अनुचुंबकीय	लोहचुंबकीय
$-1 \le \chi < 0$	$0 < \chi < \varepsilon$	$\chi >> 1$
$0 \le \mu_r < 1$	$1 < \mu_r < 1+\varepsilon$	$\mu_r >> 1$
$\mu < \mu_0$	$\mu > \mu_0$	$\mu >> \mu_0$

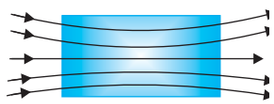
5.6.1 प्रतिचुंबकत्व

प्रतिचुंबकीय पदार्थ वह होते हैं जिनमें बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में अधिक तीव्रता वाले भाग से कम तीव्रता वाले भाग की ओर जाने की प्रवृत्ति होती है। दूसरे शब्दों में कहें तो चुंबक लोहे जैसी धातुओं को तो अपनी ओर आकर्षित करता है, परंतु यह प्रतिचुंबकीय पदार्थों को विकर्षित करेगा।

चित्र 5.12 (a), बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखी प्रतिचुंबकीय पदार्थ की एक छड़ दर्शाता है। क्षेत्र रेखाएँ विकर्षित होती हैं या दूर हटती हैं इसलिए पदार्थ के अन्दर क्षेत्र कम हो जाता है सारणी 5.2 से यह स्पष्ट है कि अधिकांश मामलों में क्षेत्र की तीव्रता में यह कमी अत्यल्प होती है (10^5 भागों में एक भाग)। छड़ को किसी असमान चुंबकीय क्षेत्र में रखने पर इसकी प्रवृत्ति अधिक क्षेत्र से कम क्षेत्र की ओर जाने की होती है।



(a)



(b)

चित्र 5.12
एक (a) प्रतिचुंबकीय (b) अनुचुंबकीय पदार्थ के निकट किसी बाह्य चुंबकीय क्षेत्र के कारण चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं का व्यवहार।

प्रतिचुंबकत्व की सरलतम व्याख्या इस प्रकार है–नाभिक के चारों ओर घूमते इलेक्ट्रॉनों के कारण कक्षीय कोणीय संवेग होता है। ये प्ररिक्रमण करते इलेक्ट्रॉन एक धारावाही लूप के समतुल्य होते हैं और इस कारण इनका कक्षीय चुंबकीय आघूर्ण होता है, प्रतिचुंबकीय पदार्थ वे होते हैं जिनके परमाणु में परिणामी चुंबकीय आघूर्ण शून्य होता है। जब कोई बाह्य चुंबकीय क्षेत्र आरोपित किया जाता है तो जिन इलेक्ट्रॉनों के कक्षीय चुंबकीय आघूर्ण क्षेत्र की दिशा में होते हैं उनकी गति मंद हो जाती है और जिनके चुंबकीय आघूर्ण क्षेत्र के विपरीत दिशा में होते हैं उनकी गति बढ़ जाती है। ऐसा लेंज के नियम के अनुसार प्रेरित धारा के कारण होता है जिसके विषय में आप अध्याय 6 में अध्ययन करेंगे। इस प्रकार पदार्थ में परिणामी चुंबकीय आघूर्ण आरोपित क्षेत्र के विपरीत दिशा में विकसित होता है और इस कारण यह प्रतिकर्षित होता है।

कुछ प्रतिचुंबकीय पदार्थ हैं– बिस्मथ, ताँबा, सीसा, सिलिकन, नाइट्रोजन (STP पर), पानी एवं सोडियम क्लोराइड। प्रति चुंबकत्व सभी पदार्थों में विद्यमान होता है। परंतु, अधिकांश पदार्थों के लिए यह इतना क्षीण होता है कि अनुचुंबकत्व एवं लौह चुंबकत्व जैसे प्रभाव इस पर हावी हो जाते हैं।

सबसे अधिक असामान्य प्रतिचुंबकीय पदार्थ हैं *अति चालक।* ये ऐसी धातुएँ हैं, जिनको यदि बहुत निम्न ताप तक ठंडा कर दिया जाता है तो ये पूर्ण चालकता एवं पूर्ण प्रतिचुंबकत्व दोनों प्रदर्शित करती हैं। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ पूर्णत: इनके बाहर रहती हैं, $\chi = -1$ एवं $\mu_r = 0$। एक अतिचालक, एक चुंबक को प्रतिकर्षित करेगा और (न्यूटन के तृतीय नियमानुसार) स्वयं इसके द्वारा प्रतिकर्षित होगा। अतिचालकों में पूर्ण प्रतिचुंबकत्व की यह परिघटना इसके आविष्कारक के नाम पर *माइस्नर प्रभाव* कहलाती है। अनेक भिन्न परिस्थितियों में जैसे कि, चुंबकीकृत अधरगामी अति तीव्र रेलगाड़ियों को चलाने में अतिचालक चुंबकों का लाभ उठाया जा सकता है।

5.6.2 अनुचुंबकत्व

अनुचुंबकीय पदार्थ ऐसे पदार्थ होते हैं जो बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षीण चुंबकत्व प्राप्त कर लेते हैं। उनमें क्षीण चुंबकीय क्षेत्र से सशक्त चुंबकीय क्षेत्र की ओर जाने की प्रवृत्ति होती है अर्थात ये चुंबक की ओर क्षीण बल द्वारा आकर्षित होते हैं।

Chapter 5(Hindi).PMD 192 27-12-2012, 15:54

किसी अनुचुंबकीय पदार्थ के परमाणुओं (या आयनों या अणुओं) का अपना स्वयं का स्थायी चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण होता है। परमाणुओं की सतत यादृच्छिक तापीय गति के कारण कोई परिणामी चुंबकीकरण दृष्टिगत नहीं होता। पर्याप्त शक्तिशाली बाह्य चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}_0$ की उपस्थिति में एवं निम्न तापों पर अलग-अलग परमाणुओं के द्विध्रुव आघूर्ण सरल रेखाओं में और $\mathbf{B}_0$ की दिशा के अनुदिश संरेखित किए जा सकते हैं। चित्र 5.12 (b) बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखी हुई अनुचुंबकीय पदार्थ की एक छड़ प्रदर्शित करता है। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ पदार्थ के अंदर संकेंद्रित हो जाती हैं और अंदर चुंबकीय क्षेत्र बढ़ जाता है। अधिकतर मामलों में, जैसा सारणी 5.2 से प्रकट है कि यह वृद्धि अति न्यून है, 10^5 भागों में एक भाग। असमान चुंबकीय क्षेत्र में रखने पर यह छड़ निम्न क्षेत्र से उच्च क्षेत्र की ओर चलने की चेष्टा करेगी।

कुछ अनुचुंबकीय पदार्थ हैं–ऐलुमिनियम, सोडियम, कैल्शियम, ऑक्सीजन (STP पर) एवं कॉपर क्लोराइड। प्रयोगात्मक रूप से किसी अनुचुंबकीय पदार्थ का चुंबकन लगाए गए चुंबकीय क्षेत्र के अनुक्रमानुपाती एवं परम ताप T के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

$$M \quad C\frac{B_0}{T} \qquad [5.20(a)]$$

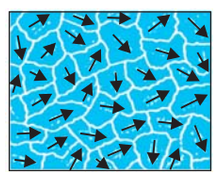
या दूसरे समतुल्य रूप में, समीकरण (5.12) एवं (5.17) के प्रयोग से

$$C\frac{_0}{T} \qquad [5.20(b)]$$

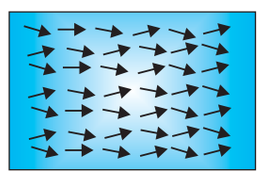
यह इसके शोधकर्ता पियरे क्यूरी (1859-1906) के सम्मान में *क्यूरी का नियम* कहलाता है। नियतांक C को *क्यूरी नियतांक* कहते हैं। अत: किसी अनुचुंबकीय पदार्थ के लिए χ एवं μ_r दोनों का मान न केवल पदार्थ पर निर्भर करता है, वरन् (एक सरल रूप में) इसके ताप पर भी निर्भर करता है। बहुत उच्च चुंबकीय क्षेत्रों में या बहुत निम्न ताप पर, चुंबकन अपना अधिकतम मान ग्रहण करने लगता है, जबकि सभी परमाण्वीय द्विध्रुव आघूर्ण चुंबकीय क्षेत्र में रेखाओं के अनुदिश संरेखित हो जाते हैं। यह संतृप्त चुंबकन मान M_s कहलाता है। इसके परे, क्यूरी का नियम [समीकरण (5.20)] मान्य नहीं रह जाता है।

5.6.3 लौह चुंबकत्व

लौह चुंबकीय पदार्थ ऐसे पदार्थ होते हैं जो बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखे जाने पर शक्तिशाली चुंबक बन जाते हैं। उनमें चुंबकीय क्षेत्र के क्षीण भाग शक्तिशाली भाग की ओर चलने की तीव्र प्रवृत्ति होती है अर्थात वे चुंबक की ओर भारी आकर्षण बल का अनुभव करते हैं। किसी लौह चुंबकीय पदार्थ के एकल परमाणुओं (या आयनों या अणुओं) का भी अनुचुंबकीय पदार्थों की तरह ही चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण होता है। परंतु, वे एक-दूसरे के साथ इस प्रकार अन्योन्य क्रिया करते हैं कि एक स्थूल आयतन में (जिसे डोमेन कहते हैं) सब एक साथ एक दिशा में संरेखित हो जाते हैं। इस सहकारी प्रभाव की व्याख्या के लिए क्वांटम यांत्रिकी की आवश्यकता होती है, जो इस पाठ्यपुस्तक के क्षेत्र से बाहर है। प्रत्येक डोमेन का अपना परिणामी चुंबकन होता है। प्रारूपी डोमेन का आकार 1 mm है, और एक डोमेन में लगभग 10^{11} परमाणु होते हैं। प्रथमदृष्टया चुंबकन एक डोमेन से दूसरे डोमेन तक जाने पर यादृच्छिक रूप से बदलता है तथा कुल पदार्थ में कोई चुंबकन नहीं होता। यह चित्र 5.13 (a) में दिखाया गया है। जब हम बाह्य चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}_0$ लगाते हैं, तो डोमेन $\mathbf{B}_0$ के अनुदिश उन्मुख होने लगते हैं और साथ ही वे डोमेन जो $\mathbf{B}_0$ की दिशा में हैं, साइज़ में बढ़ने लगते हैं। डोमेनों का अस्तित्व और $\mathbf{B}_0$ के अनुदिश उनके होने वाली गति केवल अनुमान नहीं है। लौह चुंबकीय पदार्थ के पाउडर को किसी द्रव में छिड़क कर उसके निलंबन



(a)



(b)

चित्र 5.13
(a) यादृच्छिक अभिविन्यासित डोमेन, (b) संरेखित डोमेन।

को सूक्ष्मदर्शी के द्वारा उसकी यादृच्छिक गति को देखा जा सकता है। चित्र 5.12 (b) वह स्थिति दर्शाता है जब सभी डोमेन पंक्तिबद्ध हो गए हैं और उन्होंने घुल-मिलकर एक अकेला विशाल डोमेन बना लिया है।

इस प्रकार एक लौह चुंबकीय पदार्थ में चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ बहुत अधिक संकेंद्रित हो जाती हैं। एक असमान चुंबकीय क्षेत्र में इस पदार्थ का नमूना अधिक शक्तिशाली चुंबकीय क्षेत्र वाले भाग की ओर चलने को प्रवृत्त होता है। हम यह सोच सकते हैं कि बाह्य क्षेत्र हटा लेने पर क्या होगा? कुछ चुंबकीय पदार्थों में चुंबकन बना रह जाता है। ऐसे पदार्थों को कठोर चुंबकीय पदार्थ या कठोर लौह चुंबक कहा जाता है। एलनिको (लोहे, ऐलुमिनियम, निकल, कोबाल्ट एवं ताँबे का एक मिश्रातु) ऐसा ही एक पदार्थ है और प्राकृतिक रूप में उपलब्ध लोडस्टोन दूसरा। इन पदार्थों से स्थायी चुंबक बनते हैं और इनका उपयोग चुंबकीय सुई बनाने के अलावा अन्य कार्यों में भी होता है। दूसरी ओर लौह चुंबकीय पदार्थों की एक श्रेणी ऐसी है जिनका चुंबकन बाह्य क्षेत्र को हटाते ही खत्म हो जाता है। नर्म लोहा ऐसा ही एक पदार्थ है। उचित रूप से ही, ऐसे पदार्थों को *नर्म लौह चुंबकीय पदार्थ* कहा जाता है। बहुत से तत्व लौह चुंबकीय हैं; जैसे–लोहा, कोबाल्ट, निकल, गैडोलिनियम आदि। इनकी आपेक्षिक चुंबकशीलता 1000 से अधिक है।

लौह चुंबकीय गुण भी ताप पर निर्भर करता है। पर्याप्त उच्च ताप पर एक लौह चुंबक, अनुचुंबक बन जाता है। ताप बढ़ने पर डोमेन संरचनाएँ विघटित होने लगती हैं। ताप बढ़ने पर चुंबकन का विलोपन धीरे-धीरे होता है। यह एक तरह का प्रावस्था (Phase) परिवर्तन है वैसे ही जैसे किसी ठोस मणिभ (क्रिस्टल) का पिघलना। वह ताप जिस पर कोई लौह चुंबक, अनुचुंबक में परिवर्तित हो जाता है *क्यूरी ताप* (T_c) कहलाता है। सारणी 5.4 कुछ लौह चुंबकों के क्यूरी ताप दर्शाती है।

क्यूरी ताप से उच्चतर ताप पर अर्थात अनुचुंबकीय प्रावस्था में चुंबकीय प्रवृत्ति,

$$\frac{C}{T \quad T_c} \quad (T \quad T_c) \tag{5.21}$$

सारणी 5.4 कुछ लौह चुंबकीय पदार्थों के क्यूरी ताप T_c

पदार्थ का नाम	T_c (K)
कोबाल्ट	1394
लोहा	1043
Fe_2O_3	893
निकल	631
गैडोलिनियम	317

उदाहरण 5.11 लौह चुंबकीय पदार्थ लोहे में कोई डोमेन 10^{-4}m भुजा वाले घन के रूप में है। डोमेन में लौह परमाणुओं की संख्या, अधिकतम संभावित चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण और इसके चुंबकन का मान ज्ञात कीजिए। लोहे का परमाण्विक द्रव्यमान 55 g/mole और इसका घनत्व 7.9 g/cm^3 है। यह मान लीजिए कि प्रत्येक लौह परमाणु का चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण 9.27×10^{-24} A m^2 है।

चुंबकीय पदार्थों में शैथिल्य http://hyperphysics.phy_astr.gsiu.edu/hbase/solids/hyst.html
भौतिकी

Chapter 5(Hindi).PMD 194 27-12-2012, 15:54

उदाहरण 5.11

हल घनीय डोमेन का आयतन होगा

$V = (10^{-6}\ \text{m})^3 = 10^{-18}\ \text{m}^3 = 10^{-12}\ \text{cm}^3$

इसका द्रव्यमान = आयतन × घनत्व = $7.9\ \text{g cm}^{-3} \times 10^{-12}\ \text{cm}^3 = 7.9 \times 10^{-12}\ \text{g}$

यह दिया गया है कि एक एवोगाद्रो संख्या (6.023×10^{23}) के बराबर लौह परमाणुओं का द्रव्यमान 55 g है। अत: डोमेन में परमाणुओं की संख्या,

$$N = \frac{7.9 \times 10^{-12} \times 6.023 \times 10^{23}}{55}$$

$$= 8.65 \times 10^{10} \text{ परमाणु}$$

अधिकतम संभावित चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण $m_{\text{अधिकतम}}$ तब प्राप्त होता है (यद्यपि यह एक अवास्तविक स्थिति है), जब सभी परमाण्विक आघूर्ण पूर्णत: पंक्तिबद्ध हो जाते हैं। अत:

$m_{\text{अधिकतम}} = (8.65 \times 10^{10}) \times (9.27 \times 10^{-24})$

$= 8.0 \times 10^{-13}\ \text{A m}^2$

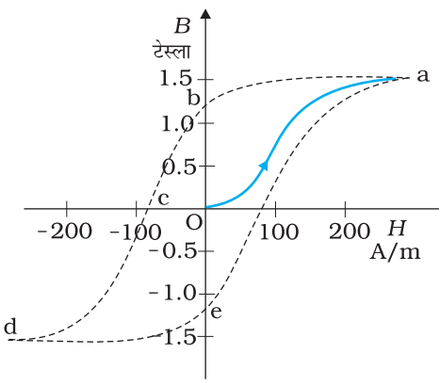
परिणामी चुंबकन का मान

$M_{\text{अधिकतम}} = m_{\text{अधिकतम}}/\text{डोमेन आयतन}$

$= 8.0 \times 10^{-13}\ \text{Am}^2/10^{-18}\ \text{m}^3$

$= 8.0 \times 10^{5}\ \text{A m}^{-1}$

लौह-चुंबकीय पदार्थों में **B** एवं **H** का संबंध बहुत जटिल है। प्राय: यह रैखिक संबंध नहीं होता एवं नमूने के चुंबकीय अतीत पर निर्भर करता है। चित्र 5.14 चुंबकन के एक चक्र में पदार्थ का व्यवहार चित्रित करता है। माना कि पदार्थ शुरू में बिलकुल विचुंबकित है। हम इसको परिनालिका में रखते हैं और परिनालिका में धारा का मान बढ़ाते हैं। पदार्थ में चुंबकीय क्षेत्र B का मान बढ़ता है और अंत में संतृप्त हो जाता है जैसा कि वक्र Oa में चित्रित है। यह व्यवहार दर्शाता है कि डोमेन तब तक पंक्तिबद्ध और एक-दूसरे में विलीन होते रहते हैं जब तक कि आगे वृद्धि असंभव न हो जाए। इससे आगे धारा (और इस कारण चुंबकीय तीव्रता H) को बढ़ाने का कोई उपयोग नहीं है। फिर, हम H को घटाते हुए शून्य पर ले आते हैं। $H = 0$ पर $B \neq 0$ है। यह वक्र ab द्वारा प्रदर्शित है। $H = 0$ पर B का मान पदार्थ की *चुंबकीय धारणशीलता* या *चुंबकत्वावशेष* कहलाता है। चित्र 5.14 में $B_R \sim 1.2$ T है, यहाँ निम्नष्ठ R धारणशीलता को इंगित करता है। बाह्य चुंबकनकारी क्षेत्र हटा लेने पर भी डोमेन पूर्णत: बेतरतीब विन्यास ग्रहण नहीं कर पाते। अब, परिनालिका में धारा की दिशा उलट देते हैं और धीरे-धीरे इसका मान बढ़ाते हैं। फलस्वरूप कुछ डोमेन पलटकर अपना विन्यास बदल लेते हैं, जब तक कि अंदर परिणामी क्षेत्र शून्य न हो जाए। यह वक्र bc द्वारा दर्शाया गया है। c बिंदु पर H का मान, पदार्थ की *निग्राहिता* कहलाती है। चित्र 5.14 में, $H_c \sim -90\ \text{A m}^{-1}$। प्रतिलोम धारा का परिमाण बढ़ाते जाने पर हम एक बार फिर संतृप्तता की स्थिति प्राप्त कर लेते हैं। वक्र cd यही दर्शाता है। संतृप्त चुंबकीय क्षेत्र $B_s \sim 1.5$ T है। एक बार फिर, धारा को कम किया जाता है (वक्र de) और फिर उलट दिया जाता है (वक्र ea)। यह चक्र दोहराया जाता रहता है। इस विषय में हम निम्नलिखित प्रेक्षण लेते हैं: (i) जब H को कम किया जाता है, तो वक्र Oa पुन: अनुरेखित नहीं होता। H के दिए गए मान के लिए, B का कोई अद्वितीय मान लब्ध नहीं होता, बल्कि यह नमूने के पूर्व इतिहास पर निर्भर करता है। यह परिघटना चुंबकीय शैथिल्य (Hysterisis) कहलाती है। शब्द *हिस्टेरिसिस* का अर्थ *चुंबकीय पश्चता* है ('इतिहास' नहीं)।



चित्र 5.14 चुंबकीय शैथिल्य पाश लौह-चुंबकीय पदार्थों के लिए B-H वक्र है।

5.7 स्थायी चुंबक एवं विद्युत चुंबक

वह पदार्थ जो कमरे के ताप पर अपने लौह-चुंबकीय गुण दीर्घ काल के लिए बनाए रख सकते हैं, *स्थायी चुंबक* कहलाते हैं। स्थायी चुंबक विभिन्न तरीकों से बनाए जा सकते हैं। लोहे की एक



चित्र 5.15 एक लोहार, उत्तर-दक्षिण दिशा में रखी एक लाल गर्म लोहे की छड़ को हथौड़े से पीट कर चुंबक में बदलते हुए। यह आरेख सन 1600 में प्रकाशित, डॉ. विलियम गिल्बर्ट (जो इंग्लैंड की महारानी एलिजाबेथ के शाही चिकित्सक थे) की पुस्तक, डे मैग्नेटे (De Magnete) से है।

छड़ को उत्तर-दक्षिण दिशा में रख कर बार-बार इस पर हथौड़े से प्रहार करते हैं तो वह चुंबक बन जाती है। यह विधि चित्र 5.15 में दर्शायी गई है। यह चित्र एक 400 साल पुरानी पुस्तक से यह दर्शाने के लिए लिया गया है कि स्थायी चुंबक बनाने की कला काफी पुरानी है। स्थायी चुंबक बनाने के लिए एक स्टील की छड़ को पकड़ कर उसके ऊपर किसी छड़ चुंबक का एक सिरा एक ओर से दूसरी ओर स्पर्श कराते हुए बार-बार ले जाते हैं।

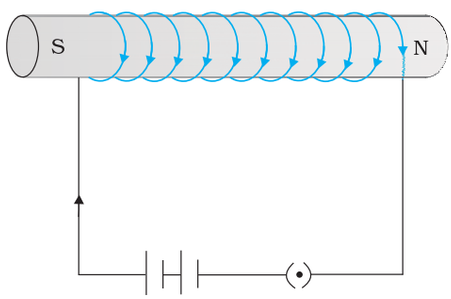
स्थायी चुंबक बनाने का एक प्रभावी तरीका यह है कि किसी परिनालिका के अंदर एक लौह चुंबकीय पदार्थ की छड़ रखी जाए और उस परिनालिका में नियत दिष्ट धारा प्रवाहित की जाए। परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र छड़ को चुंबकित कर देता है।

चुंबकीय शैथिल्य वक्र (चित्र 5.14) हमें स्थायी चुंबकों के लिए उचित पदार्थ चुनने में सहायता करते हैं। शक्तिशाली चुंबक बनाने के लिए पदार्थ की उच्च चुंबकीय धारणशीलता और उच्च निग्राहिता होनी चाहिए ताकि इधर-उधर के चुंबकीय क्षेत्रों या तापीय उतार-चढ़ावों या क्षुद्र यांत्रिक हानियों के कारण इसका चुंबकत्व आसानी से खत्म न हो जाए।

इसके अलावा पदार्थ की उच्च चुंबकशीलता होनी चाहिए। स्टील ऐसा ही एक पदार्थ है। इसकी धारणशीलता नर्म लोहे से कुछ कम है पर नर्म लोहे की निग्राहिता इतनी कम है कि सब गुणों को सोचें तो स्थायी चुंबक बनाने के लिए स्टील नर्म लोहे से बेहतर है। स्थायी चुंबकों के लिए उपयुक्त अन्य पदार्थों के नाम हैं–ऐलनिको (लोहे, एलुमिनियम, निकल, कोबाल्ट एवं ताँबे का एक मिश्रातु), कोबाल्ट-स्टील एवं टिकोनल।

विद्युत चुंबक ऐसे लौह चुंबकीय पदार्थों के बने होते हैं जिनकी चुंबकशीलता बहुत अधिक एवं धारणशीलता बहुत कम होती है। नर्म लोहा विद्युत चुंबकों के लिए एक उपयुक्त पदार्थ है। किसी परिनालिका के अंदर नर्म लोहे की छड़ रख कर हम उसमें नियत दिष्ट धारा प्रवाहित करते हैं, तो परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र हज़ार गुना बढ़ जाता है। जब हम परिनालिका में धारा प्रवाहित करना बंद कर देते हैं तो चुंबकीय क्षेत्र भी वस्तुतः समाप्त हो जाता है क्योंकि नर्म लोहे वाले क्रोड की चुंबकीय धारणशीलता बहुत कम है। यह व्यवस्था चित्र 5,16 में दर्शायी गई है।

भारत के चुंबकीय क्षेत्र
http://iigs.iigm.res.in
भौतिकी



चित्र 5.16 एक नर्म लौह-क्रोड युक्त परिनालिका विद्युत चुंबक की तरह व्यवहार करती है।

कुछ अनुप्रयोगों में पदार्थ एक लंबे समय तक चुंबकन के प्रत्यावर्ती चक्र से गुजरता है। ट्रांसफॉर्मर के क्रोड एवं टेलीफोन के डायफ्राम में ऐसा ही होता है। इनमें प्रयुक्त पदार्थों के चुंबकीय शैथिल्य वक्र संकीर्ण होने चाहिए। परिणामस्वरूप इनमें ऊष्मा क्षय एवं ताप वृद्धि कम होगी। इन पदार्थों की प्रतिरोधकता भी कम होनी चाहिए ताकि भँवर धाराओं के कारण ऊर्जा क्षय में कमी रहे। भँवर धाराओं के विषय में हम अध्याय 6 में अध्ययन करेंगे।

विद्युत चुंबकों का अनुप्रयोग विद्युत घंटियों, ध्वनि विस्तारक एवं दूरभाष यंत्रों में होता है। विशालकाय विद्युत चुंबकों का क्रेनों में मशीनों या लोहे एवं स्टील की भारी वस्तुओं को उठाने के लिए इस्तेमाल किया जाता है।

Chapter 5(Hindi).PMD 196 27-12-2012, 15:54

भारत के चुंबकीय क्षेत्र का मानचित्रण

अन्वेषण, संचार एवं नाविकी में व्यावहारिक अनुप्रयोगों के कारण दुनिया के अधिकतर देशों ने पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के ऐसे नक्शे बनाए हैं जिनकी परिशुद्धता भौगोलिक नक्शों के साथ तुलनीय है। भारत में, दक्षिण में त्रिवेंद्रम से उत्तर में गुलमर्ग तक एक दर्जन से अधिक वेधशालाएँ हैं। ये वेधशालाएँ मुंबई के कोलाबा में स्थित, भारतीय भू-चुंबकत्व संस्थान (IIG) के अधीन कार्य करती हैं। भारतीय भू-चुंबकत्व संस्थान, कोलाबा एवं अलीबाग वेधशालाओं के विस्तार स्वरूप, औपचारिक रूप से 1971 में स्थापित किया गया। भारतीय भू-चुंबकत्व संस्थान अपनी देशव्यापी वेधशालाओं के माध्यम से भू, समुद्र तल एवं अंतरिक्ष के चुंबकीय क्षेत्र एवं उनमें होने वाले उतार-चढ़ावों पर निगाह रखता है। इसकी सेवाएँ तेल एवं प्राकृतिक गैस आयोग (ONGC), राष्ट्रीय समुद्र-विज्ञान संस्थान (NIO) एवं भारतीय अंतरिक्ष अनुसंधान संगठन (ISRO) द्वारा प्रयोग की जाती हैं। यह उस विश्वव्यापी व्यवस्था का अंग है जो लगातार प्रयत्नपूर्वक भू-चुंबकीय आंकड़ों को सुधारती रहती है। अब भारत का 'गंगोत्री' नामक एक स्थायी केंद्र है।

सारांश

1. चुंबकत्व विज्ञान एक प्राचीन विज्ञान है। यह अत्यंत प्राचीन काल से ज्ञात रहा है कि चुंबकीय पदार्थों में उत्तर-दक्षिण दिशा में संकेत करने की प्रवृत्ति होती है। समान ध्रुव एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं और विपरीत ध्रुव आकर्षित। किसी छड़ चुंबक को काटकर दो भागों में विभाजित करें तो दो छोटे चुंबक बन जाते हैं। चुंबक के ध्रुव अलग नहीं किए जा सकते।
2. जब $\mathbf{m}$ चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण वाले छड़ चुंबक को समांग चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ में रखते हैं, तो
   (a) इस पर लगने वाला कुल बल शून्य होता है।
   (b) बल आघूर्ण $\mathbf{m} \times \mathbf{B}$ होता है।
   (c) इसकी स्थितिज ऊर्जा $-\mathbf{m}.\mathbf{B}$ होती है, जहाँ हमने शून्य ऊर्जा को उस विन्यास में लिया है जब $\mathbf{m}$ चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ के लंबवत है।
3. लंबाई l एवं चुंबकीय आघूर्ण $\mathbf{m}$ का एक छड़ चुंबक लीजिए। इसके मध्य बिंदु से r दूरी पर, जहाँ $r >> l$, इस छड़ के कारण चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ का मान होगा,

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \mathbf{m}}{2\pi r^3} \qquad \text{(अक्ष के अनुदिश)}$$

$$= -\frac{\mu_0 \mathbf{m}}{4\pi r^3} \qquad \text{(विषुवत वृत्त के अनुदिश)}$$

4. चुंबकत्व संबंधी गाउस के नियमानुसार, किसी बंद पृष्ठ में से गुजरने वाला कुल चुंबकीय फ्लक्स हमेशा शून्य होता है।

$$\Phi_B = \int_{\substack{\text{सभी क्षेत्रफल}\\ \text{अंशों } \mathbf{S} \text{ के लिए}}} \mathbf{B}.\,\mathbf{S} = 0$$

5. पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र, पृथ्वी के केंद्र पर रखे एक चुंबकीय द्विध्रुव (परिकल्पित) के समतुल्य है। पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी ध्रुव के समीप के ध्रुव को *उत्तरी चुंबकीय ध्रुव* कहते हैं। इसी प्रकार से, पृथ्वी के भौगोलिक दक्षिणी ध्रुव के समीप के ध्रुव को *दक्षिण चुंबकीय ध्रुव* कहते हैं। यह द्विध्रुव पृथ्वी के घूर्णन अक्ष से एक छोटा कोण बनाता है। पृथ्वी की सतह पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण $\approx 4 \times 10^{-5}$ T है।

Chapter 5(Hindi).PMD 197 27-12-2012, 15:54

6. पृथ्वी की सतह पर इसके चुंबकीय क्षेत्र का विवरण देने के लिए तीन राशियाँ आवश्यक हैं– चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज अवयव, चुंबकीय दिक्पात एवं चुंबकीय नति। ये पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयव हैं।
7. माना कि कोई पदार्थ एक बाह्य चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}_0$ में रखा है। *चुंबकीय तीव्रता* की परिभाषा है,
$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}_0}{\mu_0}$$
पदार्थ का चुंबकन **M** इसका द्विध्रुव आघूर्ण प्रति इकाई आयतन है। पदार्थ के अंदर चुंबकीय क्षेत्र
$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})$$
8. रैखिक पदार्थ के लिए,
$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H}$ जिससे कि $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$
एवं χ पदार्थ की चुंबकीय प्रवृत्ति कहलाती है। राशियों χ, आपेक्षिक चुंबकशीलता μ_r एवं चुंबकशीलता μ में निम्नलिखित संबंध हैं–
$$\mu = \mu_0 \mu_r$$
$$\mu_r = 1 + \chi$$
9. चुंबकीय पदार्थों को मोटे तौर पर तीन श्रेणियों में विभाजित करते हैं : प्रतिचुंबकीय, अनुचुंबकीय एवं लौह चुंबकीय। प्रतिचुंबकीय पदार्थों के लिए χ का मान ऋणात्मक और प्राय: बहुत कम होता है, अनुचुंबकीय पदार्थों के लिए χ धनात्मक एवं बहुत कम है। लौह चुंबकों के लिए χ धनात्मक एवं बहुत अधिक मान वाला है और ये **B** एवं **H** के रैखिक संबंधों से भी पहचाने जाते हैं। वे शैथिल्यता का गुण प्रदर्शित करते हैं।
10. वे पदार्थ जो सामान्य ताप पर लंबे समय के लिए लौह चुंबकीय गुण दर्शाते हैं, स्थायी चुंबक कहलाते हैं।

भौतिक राशि	प्रतीक	प्रकृति	विमाएँ	मात्रक	टिप्पणी
निर्वात की चुंबकशीलता	μ_0	अदिश	$[M L T^{-2} A^{-2}]$	$T\ m\ A^{-1}$	$\mu_0/4\pi = 10^{-7}$
चुंबकीय क्षेत्र; चुंबकीय प्रेरण; चुंबकीय फ्लक्स घनत्व	**B**	सदिश	$[M T^{-2} A^{-1}]$	T (टेस्ला)	10^4 G (गाउस) = 1 T
चुंबकीय आघूर्ण	**m**	सदिश	$[L^{-2} A]$	$A\ m^2$	
चुंबकीय फ्लक्स	ϕ_B	अदिश	$[M L^2 T^{-2} A^{-1}]$	W (वेबर)	$W = T\ m^2$
चुंबकन	**M**	सदिश	$[L^{-1} A]$	$A\ m^{-1}$	$\frac{\text{चुंबकीय आघूर्ण}}{\text{आयतन}}$
चुंबकीय तीव्रता चुंबकीय क्षेत्र सामर्थ्य	**H**	सदिश	$[L^{-1} A]$	$A\ m^{-1}$	$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})$
चुंबकीय प्रवृत्ति	χ	अदिश	-	-	$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H}$
आपेक्षिक चुंबकशीलता	μ_r	अदिश	-	-	$\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$
चुंबकशीलता	μ	अदिश	$[M L T^{-2} A^{-2}]$	$T\ m\ A^{-1}$ $N\ A^{-2}$	$\mu = \mu_0 \mu_r$ $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$

विचारणीय विषय

1. गतिमान आवेशों/धाराओं के माध्यम से चुंबकीय प्रक्रमों की संतोषजनक समझ सन 1800 ई. के बाद पैदा हुई। लेकिन, चुंबकों के दैशिक गुणों का प्रौद्योगिकीय उपयोग इस वैज्ञानिक समझ से दो हजार वर्ष पूर्व होने लगा था। अत: अभियांत्रिक अनुप्रयोगों के लिए, वैज्ञानिक समझ का होना कोई आवश्यक शर्त नहीं है। आदर्श स्थिति यह है कि विज्ञान और अभियांत्रिकी एक-दूसरे से सहयोग करते हुए चलते हैं। कभी विज्ञान अभियांत्रिकी को आगे बढ़ाता है तो कभी अभियांत्रिकी विज्ञान को।
2. एकल चुंबकीय ध्रुवों का अस्तित्व नहीं होता। यदि आप एक चुंबक को काट कर दो टुकड़े करते हैं तो आपको दो छोटे चुंबक प्राप्त होते हैं। इसके विपरीत पृथक्कृत धनात्मक एवं ऋणात्मक विद्युत आवेशों का अस्तित्व है। एक इलेक्ट्रॉन पर आवेश का परिमाण $|e| = 1.6 \times 10^{-19}$ C होता है जो आवेश का सूक्ष्मतम मान है। अन्य सभी आवेश इस न्यूनतम इकाई आवेश के पूर्ण गुणांक होते हैं। दूसरे शब्दों में, आवेश क्वांटीकृत होते हैं। हमें ज्ञात नहीं है कि एकल चुंबकीय ध्रुवों का अस्तित्व क्यों नहीं है अथवा विद्युत आवेश क्वांटीकृत क्यों होता है?
3. इस तथ्य का कि चुंबकीय एकल ध्रुवों का अस्तित्व नहीं होता, एक परिणाम यह है कि चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ संतत हैं और बंद लूप बनाती हैं। इसके विपरीत, वैद्युत बल रेखाएँ धनावेश से शुरू होकर ऋणावेश पर समाप्त हो जाती हैं (या अनंत में लीन हो जाती हैं)।
4. पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र इसके अंदर रखे एक विशाल छड़ चुंबक के कारण नहीं है। पृथ्वी का क्रोड गर्म एवं पिघली हुई अवस्था में है। शायद इस क्रोड में प्रवाहित होने वाली संवहन धाराएँ ही पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के लिए जिम्मेदार हैं। हम नहीं जानते कि वह कौन-सा 'जनित्र' प्रभाव है जो इन धाराओं को बनाये रखता है और पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र लगभग हर दस लाख सालों में अपनी ध्रुवता क्यों उलट लेता है।
5. चुंबकीय प्रवृत्ति χ के मान में अत्यल्प अंतर से पदार्थ के व्यवहार में मूलभूत अंतर पाया जाता है, जैसे प्रतिचुंबक और अनुचुंबक के व्यवहारों में अंतर। प्रतिचुंबकीय पदार्थों के लिए $\chi \simeq -10^{-5}$ जबकि अनुचुंबकीय पदार्थों के लिए $\chi \simeq +10^{-5}$।
6. अतिचालक, परिपूर्ण प्रतिचुंबक (perfect diamagnetic) भी होते हैं। इसके लिए $\chi = -1$, $\mu_r = 0$, $\mu = 0$। बाह्य चुंबकीय क्षेत्र पूर्णत: इसके बाहर ही रहता है। एक मनोरंजक तथ्य यह है कि यह पदार्थ एक परिपूर्ण चालक भी है। परंतु, ऐसा कोई चिरसम्मत सिद्धांत नहीं है जो इन दोनों गुणों में एक सूत्रता ला सके। बार्डीन, कूपर एवं श्रीफर ने एक क्वांटम यांत्रिकीय सिद्धांत (BCS सिद्धांत) दिया है, जो इन प्रभावों की व्याख्या कर सकता है। BCS सिद्धांत 1957 में प्रस्तावित किया गया था और बाद में, 1970 में, भौतिकी के नोबेल पुरस्कार के रूप में इसको मान्यता प्राप्त हुई।
7. चुंबकीय शैथिल्यता की परिघटना, पदार्थों के प्रत्यास्थता संबंधी मिलते-जुलते व्यवहार की याद दिलाता है। जैसे–प्रतिबल, विकृति के अनुक्रमानुपाती होना आवश्यक नहीं है वैसे ही यहाँ H एवं B (या M) में रैखिक संबंध नहीं है। प्रतिबल-विकृति वक्र शैथिल्यता का प्रदर्शन करता है और इससे घिरा हुआ क्षेत्रफल प्रति इकाई आयतन में होने वाला ऊर्जा क्षय व्यक्त करता है। B-H चुंबकीय शैथिल्य वक्र की भी इसी तरह की व्याख्या की जा सकती है।
8. प्रतिचुंबकत्व सार्वत्रिक है। यह सभी पदार्थों में विद्यमान है। परंतु अनुचुंबकीय एवं लौह चुंबकीय पदार्थों में यह बहुत क्षीण होता है और इसका पता लगाना बहुत कठिन है।
9. हमने पदार्थों का प्रतिचुंबकीय, अनुचुंबकीय एवं लौह चुंबकीय रूपों में वर्गीकरण किया है। लेकिन चुंबकीय पदार्थों के इनके अलावा भी कुछ प्रकार हैं; जैसे–लघु लौह चुंबकीय (फेरी चुंबकीय), प्रतिलौह चुंबकीय, स्पिन-काँच आदि जिनके गुण बहुत ही असामान्य एवं रहस्यमय हैं।

Chapter 5(Hindi).PMD 199 27-12-2012, 15:54

अभ्यास

5.1 भू-चुंबकत्व संबंधी निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए–

(a) एक सदिश को पूर्ण रूप से व्यक्त करने के लिए तीन राशियों की आवश्यकता होती है। उन तीन स्वतंत्र राशियों के नाम लिखिए जो परंपरागत रूप से पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र को व्यक्त करने के लिए प्रयुक्त होती हैं।

(b) दक्षिण भारत में किसी स्थान पर नति कोण का मान लगभग 18° है। ब्रिटेन में आप इससे अधिक नति कोण की अपेक्षा करेंगे या कम की?

(c) यदि आप ऑस्ट्रेलिया के मेल्बोर्न शहर में भू-चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं का नक्शा बनाएँ तो ये रेखाएँ पृथ्वी के अंदर जाएँगी या इससे बाहर आएँगी?

(d) एक चुंबकीय सुई जो ऊर्ध्वाधर तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है, यदि भू-चुंबकीय उत्तर या दक्षिण ध्रुव पर रखी हो तो यह किस दिशा में संकेत करेगी?

(e) यह माना जाता है कि पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र लगभग एक चुंबकीय द्विध्रुव के क्षेत्र जैसा है जो पृथ्वी के केंद्र पर रखा है और जिसका द्विध्रुव आघूर्ण $8 \times 10^{22}\ \mathrm{JT}^{-1}$ है। कोई ढंग सुझाइए जिससे इस संख्या के परिमाण की कोटि जाँची जा सके।

(f) भू-गर्भशास्त्रियों का मानना है कि मुख्य N-S चुंबकीय ध्रुवों के अतिरिक्त, पृथ्वी की सतह पर कई अन्य स्थानीय ध्रुव भी हैं, जो विभिन्न दिशाओं में विन्यस्त हैं। ऐसा होना कैसे संभव है?

5.2 निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए–

(a) एक जगह से दूसरी जगह जाने पर पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र बदलता है। क्या यह समय के साथ भी बदलता है? यदि हाँ, तो कितने समय अंतराल पर इसमें पर्याप्त परिवर्तन होते हैं?

(b) पृथ्वी के क्रोड में लोहा है, यह ज्ञात है। फिर भी भूगर्भशास्त्री इसको पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का स्रोत नहीं मानते। क्यों?

(c) पृथ्वी के क्रोड के बाहरी चालक भाग में प्रवाहित होने वाली आवेश धाराएँ भू-चुंबकीय क्षेत्र के लिए उत्तरदायी समझी जाती हैं। इन धाराओं को बनाए रखने वाली बैटरी (ऊर्जा स्रोत) क्या हो सकती है?

(d) अपने 4-5 अरब वर्षों के इतिहास में पृथ्वी अपने चुंबकीय क्षेत्र की दिशा कई बार उलट चुकी होगी। भूगर्भशास्त्री, इतने सुदूर अतीत के पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के बारे में कैसे जान पाते हैं?

(e) बहुत अधिक दूरियों पर (30,000 km से अधिक) पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र अपनी द्विध्रुवीय आकृति से काफी भिन्न हो जाता है। कौन से कारक इस विकृति के लिए उत्तरदायी हो सकते हैं?

(f) अंतरातारकीय अंतरिक्ष में $10^{-12}\ \mathrm{T}$ की कोटि का बहुत ही क्षीण चुंबकीय क्षेत्र होता है। क्या इस क्षीण चुंबकीय क्षेत्र के भी कुछ प्रभावी परिणाम हो सकते हैं? समझाइए।

[**टिप्पणी :** प्रश्न 5.2 का उद्देश्य मुख्यत: आपकी जिज्ञासा जगाना है। उपरोक्त कई प्रश्नों के उत्तर या तो काम चलाऊ हैं या अज्ञात हैं। जितना संभव हो सका, प्रश्नों के संक्षिप्त उत्तर पुस्तक के अंत में दिए गए हैं। विस्तृत उत्तरों के लिए आपको भू-चुंबकत्व पर कोई अच्छी पाठ्यपुस्तक देखनी होगी।]

5.3 एक छोटा छड़ चुंबक जो एकसमान बाह्य चुंबकीय क्षेत्र $0.25\ \mathrm{T}$ के साथ 30° का कोण बनाता है, पर $4.5 \times 10^{-2}\ \mathrm{J}$ का बल आघूर्ण लगता है। चुंबक के चुंबकीय आघूर्ण का परिमाण क्या है?

5.4 चुंबकीय आघूर्ण $m = 0.32\ JT^{-1}$ वाला एक छोटा छड़ चुंबक, 0.15 T के एकसमान बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखा है। यदि यह छड़ क्षेत्र के तल में घूमने के लिए स्वतंत्र हो, तो क्षेत्र के किस विन्यास में यह (i) स्थायी संतुलन और (ii) अस्थायी संतुलन में होगा? प्रत्येक स्थिति में चुंबक की स्थितिज ऊर्जा का मान बताइए।

5.5 एक परिनालिका में पास-पास लपेटे गए 800 फेरे हैं, तथा इसका अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल $2.5 \times 10^{-4}\ m^2$ है और इसमें 3.0 A धारा प्रवाहित हो रही है। समझाइए कि किस अर्थ में यह परिनालिका एक छड़ चुंबक की तरह व्यवहार करती है? इसके साथ जुड़ा हुआ चुंबकीय आघूर्ण कितना है?

5.6 यदि प्रश्न 5.5 में बताई गई परिनालिका ऊर्ध्वाधर दिशा के परितः घूमने के लिए स्वतंत्र हो और इस पर क्षैतिज दिशा में एक 0.25 T का एकसमान चुंबकीय क्षेत्र लगाया जाए, तो इस परिनालिका पर लगने वाले बल आघूर्ण का परिमाण उस समय क्या होगा, जब इसकी अक्ष आरोपित क्षेत्र की दिशा से 30^o का कोण बना रही हो?

5.7 एक छड़ चुंबक जिसका चुंबकीय आघूर्ण $1.5\ JT^{-1}$ है, 0.22 T के एक एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश रखा है।

(a) एक बाह्य बल आघूर्ण कितना कार्य करेगा यदि यह चुंबक को चुंबकीय क्षेत्र के (i) लंबवत (ii) विपरीत दिशा में संरेखित करने के लिए घुमा दे।

(b) स्थिति (i) एवं (ii) में चुंबक पर कितना बल आघूर्ण होता है?

5.8 एक परिनालिका जिसमें पास-पास 2000 फेरे लपेटे गए हैं तथा जिसके अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल $1.6 \times 10^{-4}\ m^2$ है और जिसमें 4.0 A की धारा प्रवाहित हो रही है, इसके केंद्र से इस प्रकार लटकायी गई है कि यह एक क्षैतिज तल में घूम सके।

(a) परिनालिका के चुंबकीय आघूर्ण का मान क्या है?

(b) परिनालिका पर लगने वाला बल एवं बल आघूर्ण क्या है, यदि इस पर, इसकी अक्ष से 30^o का कोण बनाता हुआ 7.5×10^{-2} T का एकसमान क्षैतिज चुंबकीय क्षेत्र लगाया जाए?

5.9 एक वृत्ताकार कुंडली जिसमें 16 फेरे हैं, जिसकी त्रिज्या 10 cm है और जिसमें 0.75 A धारा प्रवाहित हो रही है, इस प्रकार रखी है कि इसका तल, 5.0×10^{-2} T परिमाण वाले बाह्य क्षेत्र के लंबवत है। कुंडली, चुंबकीय क्षेत्र के लंबवत और इसके अपने तल में स्थित एक अक्ष के चारों तरफ घूमने के लिए स्वतंत्र है। यदि कुंडली को जरा-सा घुमा कर छोड़ दिया जाए तो यह अपनी स्थायी संतुलनावस्था के इधर-उधर $2.0\ s^{-1}$ की आवृत्ति से दोलन करती है। कुंडली का अपने घूर्णन अक्ष के परितः जड़त्व-आघूर्ण क्या है?

5.10 एक चुंबकीय सुई चुंबकीय याम्योत्तर के समांतर एक ऊर्ध्वाधर तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है। इसका उत्तरी ध्रुव क्षैतिज से 22^o के कोण पर नीचे की ओर झुका है। इस स्थान पर चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज अवयव का मान 0.35 G है। इस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण ज्ञात कीजिए।

5.11 दक्षिण अफ्रीका में किसी स्थान पर एक चुंबकीय सुई भौगोलिक उत्तर से 12^o पश्चिम की ओर संकेत करती है। चुंबकीय याम्योत्तर में संरेखित नति-वृत्त की चुंबकीय सुई का उत्तरी ध्रुव क्षैतिज से 60^o उत्तर की ओर संकेत करता है। पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज अवयव मापने पर 0.16 G पाया जाता है। इस स्थान पर पृथ्वी के क्षेत्र का परिमाण और दिशा बताइए।

5.12 किसी छोटे छड़ चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण $0.48\ JT^{-1}$ है। चुंबक के केंद्र से 10 cm की दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर इसके चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण एवं दिशा बताइए यदि यह बिंदु (i) चुंबक के अक्ष पर स्थित हो (ii) चुंबक के अभिलंब समद्विभाजक पर स्थित हो।

5.13 क्षैतिज तल में रखे एक छोटे छड़ चुंबक का अक्ष, चुंबकीय उत्तर-दक्षिण दिशा के अनुदिश है। संतुलन बिंदु चुंबक के अक्ष पर, इसके केंद्र से 14 cm दूर स्थित है। इस स्थान पर पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र 0.36 G एवं नति कोण शून्य है। चुंबक के अभिलंब समद्विभाजक पर इसके केंद्र से उतनी ही दूर (14 cm) स्थित किसी बिंदु पर परिणामी चुंबकीय क्षेत्र क्या होगा?

5.14 यदि प्रश्न 5.13 में वर्णित चुंबक को 180^{o} से घुमा दिया जाए तो संतुलन बिंदुओं की नयी स्थिति क्या होगी?

5.15 एक छोटा छड़ चुंबक जिसका चुंबकीय आघूर्ण $5.25 \times 10^{-2} JT^{-1}$ है, इस प्रकार रखा है कि इसका अक्ष पृथ्वी के क्षेत्र की दिशा के लंबवत है। चुंबक के केंद्र से कितनी दूरी पर, परिणामी क्षेत्र पृथ्वी के क्षेत्र की दिशा से 45^{o} का कोण बनाएगा, यदि हम (a) अभिलंब समद्विभाजक पर देखें, (b) अक्ष पर देखें। इस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण 0.42 G है। प्रयुक्त दूरियों की तुलना में चुंबक की लंबाई की उपेक्षा कर सकते हैं।

अतिरिक्त अभ्यास

5.16 निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए–

(a) ठंडा करने पर किसी अनुचुंबकीय पदार्थ का नमूना अधिक चुंबकन क्यों प्रदर्शित करता है? (एक ही चुंबककारी क्षेत्र के लिए)

(b) अनुचुंबकत्व के विपरीत, प्रतिचुंबकत्व पर ताप का प्रभाव लगभग नहीं होता। क्यों?

(c) यदि एक टोरॉइड में बिस्मथ का क्रोड लगाया जाए तो इसके अंदर चुंबकीय क्षेत्र उस स्थिति की तुलना में (किंचित) कम होगा या (किंचित) ज्यादा होगा, जबकि क्रोड खाली हो?

(d) क्या किसी लौह चुंबकीय पदार्थ की चुंबकशीलता चुंबकीय क्षेत्र पर निर्भर करती है? यदि हाँ, तो उच्च चुंबकीय क्षेत्रों के लिए इसका मान कम होगा या अधिक?

(e) किसी लौह चुंबक की सतह के प्रत्येक बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ सदैव लंबवत होती हैं [यह तथ्य उन स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाओं के सदृश है जो कि चालक की सतह के प्रत्येक बिंदु पर लंबवत होती हैं]। क्यों?

(f) क्या किसी अनुचुंबकीय नमूने का अधिकतम संभव चुंबकन, लौह चुंबक के चुंबकन के परिमाण की कोटि का होगा?

5.17 निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए–

(a) लौह चुंबकीय पदार्थ के चुंबकन वक्र की अनुत्क्रमणीयता, डोमेनो के आधार पर गुणात्मक दृष्टिकोण से समझाइए।

(b) नर्म लोहे के एक टुकड़े के शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल, कार्बन-स्टील के टुकड़े के शैथिल्य लूप के क्षेत्रफल से कम होता है। यदि पदार्थ को बार-बार चुंबकन चक्र से गुजारा जाए तो कौन सा टुकड़ा अधिक ऊष्मा ऊर्जा का क्षय करेगा?

(c) लौह चुंबक जैसा शैथिल्य लूप प्रदर्शित करने वाली कोई प्रणाली स्मृति संग्रहण की युक्ति है। इस कथन की व्याख्या कीजिए।

(d) कैसेट के चुंबकीय फीतों पर पर्त चढ़ाने के लिए या आधुनिक कंप्यूटर में स्मृति संग्रहण के लिए, किस तरह के लौह चुंबकीय पदार्थों का इस्तेमाल होता है?

(e) किसी स्थान को चुंबकीय क्षेत्र से परिरक्षित करना है। कोई विधि सुझाइए।

5.18 एक लंबे, सीधे, क्षैतिज केबल में, 2.5 A धारा, 10^{o} दक्षिण-पश्चिम से 10^{o} उत्तर-पूर्व की ओर प्रवाहित हो रही है। इस स्थान पर चुंबकीय याम्योत्तर भौगोलिक याम्योत्तर के 10^{o} पश्चिम में है। यहाँ पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र 0.33 G एवं नति कोण शून्य है। उदासीन बिंदुओं की रेखा निर्धारित कीजिए। (केबल की मोटाई की उपेक्षा कर सकते हैं)।

(उदासीन बिंदुओं पर, धारावाही केबल द्वारा चुंबकीय क्षेत्र, पृथ्वी के क्षैतिज घटक के चुंबकीय क्षेत्र के समान एवं विपरीत दिशा में होता है।)

Chapter 5(Hindi).PMD 202 27-12-2012, 15:54

5.19 किसी स्थान पर एक टेलिफोन केबल में चार लंबे, सीधे, क्षैतिज तार हैं जिनमें से प्रत्येक में 1.0 A की धारा पूर्व से पश्चिम की ओर प्रवाहित हो रही है। इस स्थान पर पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र 0.39 G एवं नति कोण 35° है। दिक्पात कोण लगभग शून्य है। केबल के 4.0 cm नीचे और 4.0 cm ऊपर परिणामी चुंबकीय क्षेत्रों के मान क्या होंगे?

5.20 एक चुंबकीय सुई जो क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है, 30 फेरों एवं 12 cm त्रिज्या वाली एक कुंडली के केंद्र पर रखी है। कुंडली एक ऊर्ध्वाधर तल में है और चुंबकीय याम्योत्तर से 45° का कोण बनाती है। जब कुंडली में 0.35 A धारा प्रवाहित होती है, चुंबकीय सुई पश्चिम से पूर्व की ओर संकेत करती है।

(a) इस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज अवयव का मान ज्ञात कीजिए।

(b) कुंडली में धारा की दिशा उलट दी जाती है और इसको अपनी ऊर्ध्वाधर अक्ष पर वामावर्त दिशा में (ऊपर से देखने पर) 90° के कोण पर घुमा दिया जाता है। चुंबकीय सुई किस दिशा में ठहरेगी? इस स्थान पर चुंबकीय दिक्पात शून्य लीजिए।

5.21 एक चुंबकीय द्विध्रुव दो चुंबकीय क्षेत्रों के प्रभाव में है। ये क्षेत्र एक-दूसरे से 60° का कोण बनाते हैं और उनमें से एक क्षेत्र का परिमाण 1.2×10^{-2} T है। यदि द्विध्रुव स्थायी संतुलन में इस क्षेत्र से 15° का कोण बनाए, तो दूसरे क्षेत्र का परिमाण क्या होगा?

5.22 एक समोर्जी 18 keV वाले इलेक्ट्रॉनों के किरण पुंज पर जो शुरू में क्षैतिज दिशा में गतिमान है, 0.04 G का एक क्षैतिज चुंबकीय क्षेत्र, जो किरण पुंज की प्रारंभिक दिशा के लंबवत है, लगाया गया है। आकलन कीजिए 30 cm की क्षैतिज दूरी चलने में किरण पुंज कितनी दूरी ऊपर या नीचे विस्थापित होगा? ($m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C)।

[**नोट:** इस प्रश्न में आँकड़े इस प्रकार चुने गए हैं कि उत्तर से आपको यह अनुमान हो, कि TV सेट में इलेक्ट्रॉन गन से पर्दे तक इलेक्ट्रॉन किरण पुंज की गति भू-चुंबकीय क्षेत्र से किस प्रकार प्रभावित होती है]।

5.23 अनुचुंबकीय लवण के एक नमूने में 2.0×10^{24} परमाणु द्विध्रुव हैं जिनमें से प्रत्येक का द्विध्रुव आघूर्ण 1.5×10^{-23} J T^{-1} है। इस नमूने को 0.64 T के एक एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में रखा गया और 4.2 K ताप तक ठंडा किया गया। इसमें 15% चुंबकीय संतृप्तता आ गई। यदि इस नमूने को 0.98 T के चुंबकीय क्षेत्र में 2.8 K ताप पर रखा हो तो इसका कुल द्विध्रुव आघूर्ण कितना होगा? (यह मान सकते हैं कि क्यूरी नियम लागू होता है।)

5.24 एक रोलैंड रिंग की औसत त्रिज्या 15 cm है और इसमें 800 आपेक्षिक चुंबकशीलता के लौह चुंबकीय क्रोड पर 3500 फेरे लिपटे हुए हैं। 1.2 A की चुंबककारी धारा के कारण इसके क्रोड में कितना चुंबकीय क्षेत्र (**B**) होगा?

5.25 किसी इलेक्ट्रॉन के नैज चक्रणी कोणीय संवेग **S** एवं कक्षीय कोणीय संवेग **l** के साथ जुड़े चुंबकीय आघूर्ण क्रमशः $\boldsymbol{\mu}_s$ और $\boldsymbol{\mu}_l$ है। क्वांटम सिद्धांत के आधार पर (और प्रयोगात्मक रूप से अत्यंत परिशुद्धतापूर्वक पुष्ट) इनके मान क्रमशः निम्न प्रकार दिए जाते हैं–

$\mu_S = -(e/m)\mathbf{S}$, एवं $\mu_l = -(e/2m)\mathbf{l}$

इनमें से कौन-सा व्यंजक चिरसम्मत सिद्धांतों के आधार पर प्राप्त करने की आशा की जा सकती है? उस चिरसम्मत आधार पर प्राप्त होने वाले व्यंजक को व्युत्पन्न कीजिए।

Chapter 5(Hindi).PMD 203 27-12-2012, 15:54

अध्याय 6

वैद्युतचुंबकीय प्रेरण

6.1 भूमिका

विद्युत तथा चुंबकत्व काफी लंबे समय तक अलग-अलग तथा असंबद्ध परिघटनाएँ मानी जाती रही हैं। उन्नीसवीं शताब्दी के प्रारंभिक दशकों में ऑर्स्टेड, ऐम्पियर तथा कुछ अन्य वैज्ञानिकों द्वारा विद्युत धारा पर किए गए प्रयोगों ने यह प्रमाणित किया कि विद्युत तथा चुंबकत्व परस्पर संबंधित हैं। उन्होंने ज्ञात किया कि गतिमान विद्युत आवेश चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं। उदाहरण के लिए, विद्युत धारा अपने पास रखी हुई एक चुंबकीय सुई को विक्षेपित करती है। इससे एक स्वाभाविक प्रश्न उत्पन्न होता है – क्या इसका विपरीत प्रभाव संभव है? क्या गतिमान चुंबक विद्युत धारा उत्पन्न कर सकते हैं? क्या प्रकृति विद्युत तथा चुंबकत्व के बीच इस प्रकार के संबंध की अनुमति देती है? इसका उत्तर एक निश्चित 'हाँ' है। लगभग सन 1830 में माइकल फैराडे द्वारा इंग्लैंड में तथा जोसेफ हेनरी द्वारा अमेरिका में किए गए प्रयोगों ने स्पष्ट रूप से दर्शाया कि परिवर्तनशील चुंबकीय क्षेत्र बंद कुंडलियों में विद्युत धारा उत्पन्न करता है। इस अध्याय में हम परिवर्तनशील चुंबकीय क्षेत्रों से संबंधित परिघटनाओं के बारे में अध्ययन करेंगे तथा इनमें निहित सिद्धांतों को समझेंगे। वह परिघटना जिसमें चुंबकीय क्षेत्रों द्वारा विद्युत धारा उत्पन्न होती है, उसे उचित रूप से ही *वैद्युतचुंबकीय प्रेरण* कहते हैं।

जब फैराडे ने प्रथम बार अपनी इस खोज को सार्वजनिक किया कि 'चालक तार से बने लूप तथा दंड चुंबक के बीच सापेक्ष गति कराने पर लूप में क्षीण धारा उत्पन्न होती है', तब उनसे पूछा गया कि 'इसका क्या उपयोग है'? फैराडे का उत्तर था, 'नवजात शिशु का क्या उपयोग होता है?'

वैद्युतचुंबकीय प्रेरण केवल सैद्धांतिक या शैक्षिक रूप से ही उपयोगी परिघटना नहीं है वरन व्यावहारिक दृष्टि से विद्युत न हो तो विद्युत प्रकाश न हो, ट्रेन न हो, टेलीफ़ोन न हो और कंप्यूटर न हो। फैराडे एवं हेनरी के इन पुरोगामी (pioneering) प्रयोगों ने ही आधुनिक जनित्रों एवं ट्रांसफार्मरों के विकास को संभव बनाया। आज की सभ्यता के विकास में वैद्युतचुंबकीय प्रेरण की खोज ने एक अहम भूमिका निभाई है।



जोसेफ हेनरी [1797 – 1878]

जोसेफ हेनरी अमेरिकी प्रायोगिक भौतिक-शास्त्री, प्रिंस्टन विश्वविद्यालय में प्रोफ़ेसर तथा स्मिथसोनियन इंस्टीट्यूशन के प्रथम निदेशक थे। लोहे के ध्रुवों के चारों ओर पृथक्कृत दंड चुंबक को स्थिर रखकर तथा इसके स्थान पर तार की कुंडलियाँ लपेटकर उन्होंने विद्युत चुंबकों में महत्वपूर्ण सुधार किए एवं एक विद्युत चुंबकीय मोटर तथा एक नए दक्ष टेलीग्राफ़ का आविष्कार किया। उन्होंने स्वप्रेरण की खोज की तथा इस बात का पता लगाया कि कैसे एक परिपथ में प्रवाहित धारा दूसरे परिपथ में धारा प्रेरित करती है।

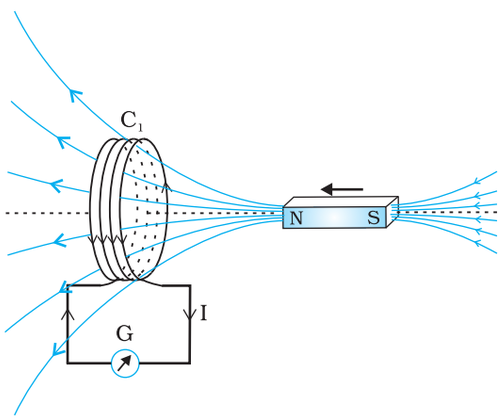
जोसेफ हेनरी (1797 – 1878)

6.2 फैराडे एवं हेनरी के प्रयोग

वैद्युतचुंबकीय प्रेरण की खोज तथा उसकी समझ फैराडे एवं हेनरी द्वारा किए गए अनेक प्रयोगों पर आधारित है। हम उनमें से कुछ प्रयोगों का वर्णन यहाँ करेंगे।

प्रयोग 6.1

चित्र 6.1 में धारामापी G से जुड़ी हुई एक कुंडली C_1* दर्शायी गई है। जब एक दंड चुंबक के उत्तरी ध्रुव को इस कुंडली की ओर धकेला जाता है तो धारामापी का संकेतक विक्षेपित होता है जो कुंडली में विद्युत धारा की उपस्थिति को दर्शाता है। यह विक्षेप तभी तक रहता है जब तक दंड चुंबक गति में रहता है। जब चुंबक स्थिर होता है तो धारामापी कोई विक्षेप नहीं दर्शाता। जब चुंबक को कुंडली से दूर ले जाते हैं तो धारामापी विपरीत दिशा में विक्षेप दर्शाता है, जो धारा प्रवाह की दिशा के विपरीत होने को दर्शाता है। इसके अतिरिक्त, जब दंड चुंबक के दक्षिणी ध्रुव को कुंडली की ओर या इससे दूर ले जाते हैं तो धारामापी में विक्षेप की दिशाएँ उत्तरी ध्रुव की इसी प्रकार की गति की अपेक्षा विपरीत हो जाती हैं। इसके अतिरिक्त, जब चुंबक को कुंडली की ओर या इससे दूर तेजी से गतिमान किया जाता है तो विक्षेप और इसलिए धारा अधिक प्राप्त होता है। यह भी देखा गया है कि यदि दंड चुंबक को स्थिर रखा जाए तथा इसके बजाय कुंडली C_1 को चुंबक की ओर या इससे दूर गतिमान किया जाए तो भी इसी प्रकार का प्रभाव उत्पन्न होता है। *यह दर्शाता है कि कुंडली में विद्युत धारा की उत्पत्ति (प्रेरण) चुंबक तथा कुंडली के मध्य सापेक्ष गति का प्रतिफल है।*



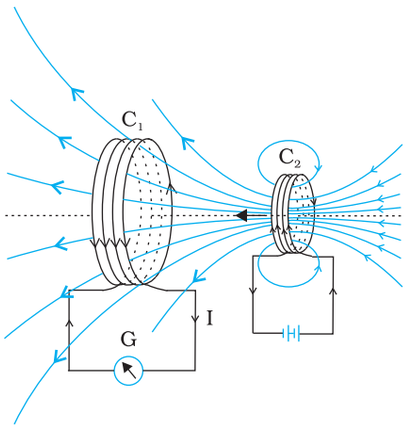
चित्र 6.1 जब दंड चुंबक को कुंडली की ओर धकेलते हैं, धारामापी G का संकेतक विक्षेपित होता है।

प्रयोग 6.2

चित्र 6.2 में दंड चुंबक को बैटरी से जुड़ी हुई एक दूसरी कुंडली C_2 से प्रतिस्थापित किया गया है। कुंडली C_2 में अपरिवर्ती धारा अपरिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। जैसे ही कुंडली C_2 को कुंडली C_1 की ओर लाते हैं, धारामापी एक विक्षेप दर्शाता है। यह कुंडली C_1 में प्रेरित विद्युत धारा को निदर्शित करता है। जब C_2 को दूर ले जाते हैं तो धारामापी फिर से विक्षेप दर्शाता है, लेकिन इस बार यह विक्षेप विपरीत दिशा में होता है। यह विक्षेप तभी तक रहता है जब तक कुंडली C_2 गति में रहती है। जब कुंडली C_2 को

* जब भी कुंडली या 'लूप' शब्द का उपयोग किया जाता है तो यह मान लिया जाता है कि वे चालक पदार्थों से बने हैं तथा इन्हें जिन तारों से बनाया गया है उन पर अवरोधक पदार्थों की परत चढ़ी है।

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 205 27-12-2012, 15:55



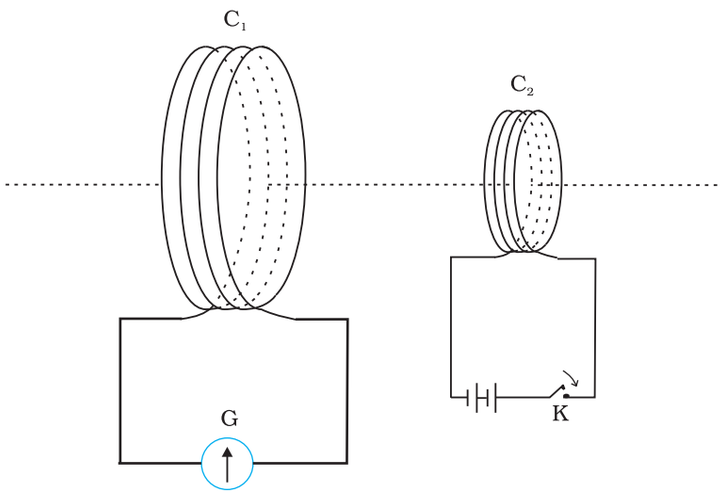
चित्र 6.2 धारायुक्त कुंडली C_2 की गति के कारण कुंडली C_1 में प्रेरित धारा उत्पन्न होती है।

स्थिर रखा जाता है तथा C_1 गतिमान होता है तो उन्हीं प्रभावों को फिर से देखा जा सकता है। यहाँ भी *कुंडलियों के मध्य सापेक्ष गति विद्युत धारा प्रेरित करती है।*

प्रयोग 6.3

उपरोक्त दोनों प्रयोगों में चुंबक तथा कुंडली के बीच तथा दो कुंडलियों के बीच सापेक्ष गति शामिल है। एक अन्य प्रयोग द्वारा फैराडे ने दर्शाया कि यह सापेक्ष गति कोई अति आवश्यक अनिवार्यता नहीं है। चित्र 6.3 में दो कुंडलियाँ C_1 तथा C_2 दर्शायी गई हैं जो स्थिर रखी गई हैं। कुंडली C_1 को एक धारामापी G से जोड़ा गया है जबकि दूसरी कुंडली C_2 को एक दाब-कुंजी K से होकर एक बैटरी से जोड़ा जाता है।

यह देखा जाता है कि दाब-कुंजी K को दबाने पर धारामापी एक क्षणिक विक्षेप दर्शाता है और फिर इसका संकेतक तत्काल शून्य पर वापस आ जाता है। यदि कुंजी



चित्र 6.3 प्रयोग 6.3 के लिए प्रयोगात्मक व्यवस्था

को लगातार दबाकर रखा जाए तो धारामापी में कोई विक्षेप नहीं होता। जब कुंजी को छोड़ा जाता है तो फिर से एक क्षणिक विक्षेप देखा जाता है, लेकिन यह विक्षेप विपरीत दिशा में होता है। यह भी देखा गया है कि यदि कुंडलियों में उनके अक्ष के अनुदिश एक लोहे की छड़ रख दी जाए तो विक्षेप नाटकीय रूप से बढ़ जाता है।

6.3 चुंबकीय फ्लक्स

फैराडे की विशाल अंतर्दृष्टि के कारण वैद्युतचुंबकीय प्रेरण पर उनके द्वारा किए गए प्रयोगों की शृंखला की व्याख्या करने वाले एक सरल गणितीय संबंध की खोज करना संभव हुआ। तथापि, इसके पहले कि हम वह नियम बताएँ तथा उसकी प्रशंसा में कुछ कहें, हमें चुंबकीय फ्लक्स Φ_B की अवधारणा से परिचित हो जाना आवश्यक है। चुंबकीय फ्लक्स को भी ठीक उसी प्रकार परिभाषित किया जाता है जिस प्रकार विद्युतीय फ्लक्स को अध्याय 1 में परिभाषित किया गया है।

फैराडे एवं लेंज के नियमों से संबंधित प्रभावी एवं सजीव चित्रण
http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/faraday/

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 206 27-12-2012, 15:55

यदि क्षेत्रफल **A** वाले समतल को एकसमान चुंबकीय क्षेत्र **B** (चित्र 6.4) में रखा जाता है तो चुंबकीय फ्लक्स को व्यक्त किया जा सकता है –

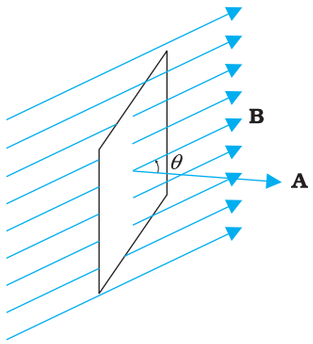
$$\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} = BA \cos\theta \qquad (6.1)$$

जहाँ पर θ **B** तथा **A** के बीच का कोण है। एक सदिश राशि के रूप में क्षेत्रफल की अवधारणा का विवेचन पहले ही अध्याय 1 में किया जा चुका है। समीकरण (6.1) को वक्र पृष्ठों एवं असमान क्षेत्रों के लिए विस्तारित किया जा सकता है।

यदि चित्र 6.5 में दर्शाए अनुसार किसी सतह के विभिन्न भागों पर चुंबकीय क्षेत्र के परिमाण तथा दिशाएँ भिन्न-भिन्न हों, तो सतह से होकर गुजरने वाला चुंबकीय फ्लक्स होगा

$$\Phi_B = \mathbf{B}_1 \cdot d\mathbf{A}_1 + \mathbf{B}_2 \cdot d\mathbf{A}_2 + \cdots = \sum_{\text{सभी}} \mathbf{B}_i \cdot d\mathbf{A}_i \qquad (6.2)$$

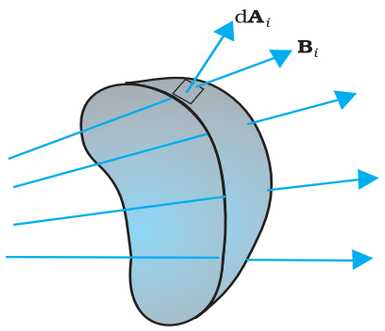
जहाँ 'सभी' का अर्थ है सतह के सभी सूक्ष्म क्षेत्र अवयवों $d\mathbf{A}_i$ के लिए योग तथा $\mathbf{B}_i$ क्षेत्र अवयव $d\mathbf{A}_i$ पर चुंबकीय क्षेत्र है। चुंबकीय फ्लक्स का SI मात्रक वेबर (Wb) है। इसे टेस्ला वर्ग मीटर ($T\ m^2$) द्वारा भी व्यक्त किया जाता है। चुंबकीय फ्लक्स एक अदिश राशि है।



चित्र 6.4 एकसमान चुंबकीय क्षेत्र **B** में रखा पृष्ठ क्षेत्रफल **A** वाला एक समतल।

6.4 फैराडे का प्रेरण का नियम

प्रायोगिक प्रेक्षणों के आधार पर फैराडे इस निष्कर्ष पर पहुँचे कि जब किसी कुंडली में चुंबकीय फ्लक्स समय के साथ परिवर्तित होता है तब कुंडली में विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है। अनुभाग 6.2 में चर्चित प्रायोगिक प्रेक्षणों की इस अवधारणा का उपयोग करके व्याख्या कर सकते हैं।



चित्र 6.5 वे अवयव क्षेत्र पर चुंबकीय क्षेत्र B_i। dA_i, iवें क्षेत्र अवयव का क्षेत्र सदिश निरूपित करता है।

प्रयोग 6.1 में कुंडली C_1 की ओर अथवा इससे दूर चुंबक की गति तथा प्रयोग 6.2 में कुंडली C_1 की ओर अथवा इससे दूर एक धारा वाहक कुंडली C_2 की गति, कुंडली C_1 की ओर अथवा इससे दूर एक धारा वाहक कुंडली C_2 की गति, कुंडली C_1 से संबद्ध चुंबकीय फ्लक्स को परिवर्तित करती है। चुंबकीय फ्लक्स में परिवर्तन से कुंडली C_1 में विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है। इसी प्रेरित विद्युत वाहक बल के कारण कुंडली C_1 तथा धारामापी में विद्युत धारा प्रवाहित होती है। प्रयोग 6.3 में किए गए प्रेक्षणों का एक युक्तियुक्त स्पष्टीकरण निम्न प्रकार है– जब दाब कुंजी K को दबाते हैं तो कुंडली C_2 में विद्युत धारा (तथा इसके कारण चुंबकीय क्षेत्र)अल्प समय में शून्य से अधिकतम मान तक बढ़ती है। परिणामस्वरूप, समीपस्थ कुंडली C_1 में भी चुंबकीय फ्लक्स बढ़ता है। कुंडली C_1 में होने वाले चुंबकीय फ्लक्स के इस परिवर्तन के कारण कुंडली C_1 में प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है। जब कुंजी को दबाकर रखा जाता है तो कुंडली C_2 में धारा स्थिर रहती है। इसीलिए कुंडली C_1 में चुंबकीय फ्लक्स में कोई परिवर्तन नहीं होता तथा कुंडली C_1 में धारा शून्य हो जाती है। जब कुंजी को छोड़ते हैं तो कुंडली C_2 में विद्युत धारा तथा इसके कारण उत्पन्न होने वाला चुंबकीय क्षेत्र अल्प समय में अधिकतम मान से घटकर शून्य हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप कुंडली C_1* में चुंबकीय फ्लक्स घटता है और इस प्रकार कुंडली C_1 में पुनः प्रेरित विद्युत धारा उत्पन्न होती है। इन सभी प्रेक्षणों में एक सर्वनिष्ठ बात यह है कि किसी परिपथ में चुंबकीय फ्लक्स के परिवर्तन दर के कारण प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है। फैराडे ने प्रायोगिक प्रेक्षणों को एक नियम के रूप में व्यक्त किया जिसे *फैराडे का वैद्युतचुंबकीय*

* नोट कीजिए कि विद्युत चुंबक के समीप रखे सुग्राही विद्युत यंत्र विद्युत चुंबक को ऑन (ON) या ऑफ़ (OFF) करने पर उत्पन्न होने वाली धाराओं के कारण क्षतिग्रस्त हो जाते हैं।

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 207 27-12-2012, 15:55

माइकल फैराडे (1791–1867)



माइकल फैराडे [1791–1867] माइकल फैराडे ने विज्ञान के क्षेत्र में महत्वपूर्ण योगदान किया, उदाहरण के लिए वैद्युतचुंबकीय प्रेरण की खोज, विद्युत अपघटन के नियम, बेंजीन तथा यह तथ्य कि ध्रुवण तल विद्युत क्षेत्र में घूर्णन कर सकता है। विद्युत मोटर, विद्युत जनित्र तथा ट्रांसफार्मर की खोज का श्रेय भी फैराडे को ही जाता है। उन्हें उन्नीसवीं शताब्दी का महानतम प्रयोगात्मक वैज्ञानिक माना जाता है।

प्रेरण का नियम कहते हैं। इस नियम को निम्न प्रकार से अभिव्यक्त किया गया है।

प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिमाण चुंबकीय फ्लक्स में समय के साथ होने वाले परिवर्तन की दर के बराबर होता है।

गणितीय रूप में प्रेरित विद्युत धारा बल को

$$-\frac{\mathrm{d}\Phi_B}{\mathrm{d}t} \tag{6.3}$$

ऋण चिह्न ε की दिशा तथा परिणामतः बंद लूप में धारा की दिशा व्यक्त करता है। इसकी विस्तृत चर्चा हम अगले अनुच्छेद में करेंगे।

पास-पास लपेटे हुए N फेरों वाली किसी कुंडली के प्रत्येक फेरे से संबद्ध फ्लक्स में एकसमान परिवर्तन होता है। इसलिए कुल प्रेरित विद्युत वाहक बल का व्यंजक होगा–

$$-N\frac{\mathrm{d}\Phi_B}{\mathrm{d}t} \tag{6.4}$$

बंद कुंडली में फेरों की संख्या N बढ़ा कर प्रेरित विद्युत वाहक बल को बढ़ाया जा सकता है।

समीकरण (6.1) तथा (6.2), से हमें ज्ञात होता है कि फ्लक्स में परिवर्तन **B**, **A** तथा θ में से किसी एक या अधिक पदों को बदल कर किया जा सकता है। अनुच्छेद 6.2 के प्रयोगों 6.1 तथा 6.2 में फ्लक्स को **B** में परिवर्तित करके बदला गया है। फ्लक्स में परिवर्तन चुंबकीय क्षेत्र में इसी कुंडली के आकार में परिवर्तन करके (जैसे इसे सिकोड़ कर या खींच कर) या कुंडली को चुंबकीय क्षेत्र में इस प्रकार घूर्णन कराकर कि **B** तथा **A** के बीच में कोण θ बदल जाए, भी किया जा सकता है। इन अवस्थाओं में भी क्रमानुसार कुंडलियों में एक विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है।

उदाहरण 6.1

उदाहरण 6.1 प्रयोग 6.2 पर विचार करें। (a) धारामापी में अधिक विक्षेप प्राप्त करने के लिए आप क्या करेंगे? (b) धारामापी की अनुपस्थिति में आप प्रेरित धारा की उपस्थिति किस प्रकार दर्शाएँगे?

हल

(a) अधिक विक्षेप प्राप्त करने के लिए निम्न में से एक या अधिक उपाय किए जा सकते हैं– (i) कुंडली C_2 के अंदर नर्म लोहे की छड़ का उपयोग करेंगे, (ii) कुंडली को एक उच्च शक्ति की बैटरी से जोड़ेंगे, (iii) परीक्षण कुंडली C_1 की ओर संयोजन को अधिक तेजी से ले जाएँगे।

(b) धारामापी को टॉर्च में उपयोग किए जाने वाले छोटे बल्ब से बदल देंगे। दोनों कुंडलियों के बीच सापेक्ष गति से बल्ब क्षणिक अवधि के लिए चमकेगा जो प्रेरित धारा के उत्पन्न होने का द्योतक है। *प्रयोगात्मक भौतिकी में हमें नवीनता लाने का प्रयास करना चाहिए। उच्चतम श्रेणी के प्रयोग वैज्ञानिक माइकल फैराडे प्रयोगों में विविधता लाने के लिए प्रसिद्ध हैं।*

उदाहरण 6.2

उदाहरण 6.2 एक वर्गाकार लूप जिसकी एक भुजा 10 cm लंबी है तथा जिसका प्रतिरोध 0.5 Ω है, पूर्व-पश्चिम तल में ऊर्ध्वाधर रखा गया है। 0.10 T के एक एकसमान चुंबकीय क्षेत्र को उत्तर-पूर्व दिशा में तल के आर-पार स्थापित किया गया है। चुंबकीय क्षेत्र को एकसमान दर से 0.70 s में घटाकर शून्य तक लाया जाता है। इस समय अंतराल में प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा धारा का मान ज्ञात कीजिए।

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 208 27-12-2012, 15:55

उदाहरण 6.2

हल कुंडली का क्षेत्रफल-सदिश, चुंबकीय क्षेत्र के साथ $\theta = 45^\circ$ कोण बनाता है। समीकरण (6.1) से, प्रारंभिक चुंबकीय फ्लक्स है

$\Phi = BA \cos \theta$

$$\frac{0.1 \quad 10^{-2}}{\sqrt{2}} \text{ Wb}$$

अंतिम फ्लक्स, $\Phi_{\text{न्यूनतम}} = 0$

फ्लक्स में परिवर्तन 0.70 s में हुआ। समीकरण (6.3) से, प्रेरक विद्युत वाहक बल होगा

$$\frac{\left| \quad _B \right|}{t} \quad \frac{\left| \quad -0 \right|}{t} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{2} \quad 0.7} \quad 1.0 \text{ mV}$$

और धारा का परिमाण होगा

$$I \quad \frac{}{R} \quad \frac{10^{-3} \text{V}}{0.5} \quad 2 \text{mA}$$

ध्यान दें कि पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र भी लूप में कुछ फ्लक्स उत्पन्न करता है। किन्तु पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र स्थिर है (जो कि प्रयोग की अल्प अवधि में परिवर्तित नहीं होता) और कोई विद्युत वाहक बल प्रेरित नहीं करता।

उदाहरण 6.3

उदाहरण 6.3

10 cm त्रिज्या, 500 फेरों तथा 2 Ω प्रतिरोध की एक वृत्ताकार कुंडली को इसके तल के लंबवत पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक में रखा गया है। इसे अपने ऊर्ध्व व्यास के परित: 0.25 s में 180º से घुमाया गया कुंडली में प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा विद्युत धारा का आकलन कीजिए। दिए गए स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक का मान 3.0×10^{-5} T है।

हल

कुंडली में प्रारंभिक फ्लक्स,

$$\Phi_{\text{B (प्रारंभिक)}} = BA \cos \theta$$
$$= 3.0 \times 10^{-5} \times (\pi \times 10^{-2}) \times \cos 0^\circ$$
$$= 3\pi \times 10^{-7} \text{ Wb.}$$

घूर्णन के पश्चात अंतिम फ्लक्स,

$$\Phi_{\text{B (अंतिम)}} = 3.0 \times 10^{-5} \times (\pi \times 10^{-2}) \times \cos 180^\circ$$
$$= -3\pi \times 10^{-7} \text{ Wb}$$

इसलिए प्रेरित विद्युत वाहक बल का आकलित मान है,

$$N \frac{}{t}$$

$$= 500 \times (6\pi \times 10^{-7})/0.25$$
$$= 3.8 \times 10^{-3} \text{ V}$$

$I = \varepsilon / R = 1.9 \times 10^{-3}$ A

ध्यान दें कि ये ε तथा I के परिमाणों के आकलित मान हैं। इनके तात्क्षणिक मान भिन्न हैं तथा वे किसी विशेष समय पर घूर्णन गति पर निर्भर करते हैं।

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 209 27-12-2012, 15:55

6.5 लेंज का नियम तथा ऊर्जा संरक्षण

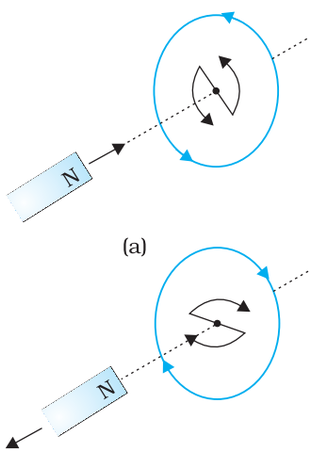
सन 1834 में जर्मन भौतिकविद हेनरिक फ्रेडरिच लेंज (1804-1865) ने एक नियम का निगमन किया जिसे *लेंज का नियम* के नाम से जाना जाता है। यह नियम प्रेरित विद्युत वाहक बल की ध्रुवता (दिशा) का स्पष्ट एवं संक्षिप्त रूप में वर्णन करता है। इस नियम का प्रकथन है–

प्रेरित विद्युत वाहक बल की ध्रुवता (polarity) इस प्रकार होती है कि वह उस दिशा में धारा प्रवाह प्रवृत्त करे जो उसे उत्पन्न करने वाले कारक (चुंबकीय क्षेत्र परिवर्तन) का विरोध करे।

समीकरण (6.3) में ऋण चिह्न इस प्रभाव को निरूपित करता है। अनुच्छेद 6.2.1 के प्रयोग 6.1 का निरीक्षण करके हम लेंज के नियम को समझ सकते हैं। चित्र 6.1 में हम देखते हैं कि दंड चुंबक का उत्तरी-ध्रुव बंद कुंडली की ओर ले जाया जा रहा है। जब दंड चुंबक का उत्तरी ध्रुव कुंडली की ओर गति करता है तब कुंडली में चुंबकीय फ्लक्स बढ़ता है। इस प्रकार कुंडली में प्रेरित धारा ऐसी दिशा में उत्पन्न होती है जिससे कि यह फ्लक्स के बढ़ने का विरोध कर सके। यह तभी संभव है जब चुंबक की ओर स्थित प्रेक्षक के सापेक्ष कुंडली में धारा वामावर्त दिशा में हो। ध्यान दीजिए, इस धारा से संबद्ध चुंबकीय आघूर्ण की ध्रुवता उत्तरी है जबकि इसकी ओर चुंबक का उत्तरी ध्रुव आ रहा हो। इसी प्रकार, यदि कुंडली में चुंबकीय फ्लक्स घटेगा। चुंबकीय फ्लक्स के इस घटने का विरोध करने के लिए कुंडली में प्रेरित धारा दक्षिणावर्त दिशा में बहती है तथा इसका दक्षिणी ध्रुव दूर हटते दंड चुंबक के उत्तरी ध्रुव की ओर होता है। इसके फलस्वरूप एक आकर्षण बल काम करेगा जो चुंबक की गति तथा इससे संबद्ध फ्लक्स के घटने का विरोध करेगा।

उपरोक्त उदाहरण में यदि बंद लूप के स्थान पर एक खुला परिपथ उपयोग किया जाए तो क्या होगा? इस दशा में भी, परिपथ के खुले सिरों पर एक प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होगा।

प्रेरित विद्युत वाहक बल की दिशा लेंज के नियम का उपयोग करके ज्ञात की जा सकती है। चित्र 6.6 (a) तथा (b) पर विचार करें। ये प्रेरित धाराओं की दिशा को समझने के लिए एक सरल विधि सुझाते हैं। ध्यान दीजिए कि तथा द्वारा दर्शायी गई दिशाएँ प्रेरित धारा की दिशाएँ निरूपित करती हैं।



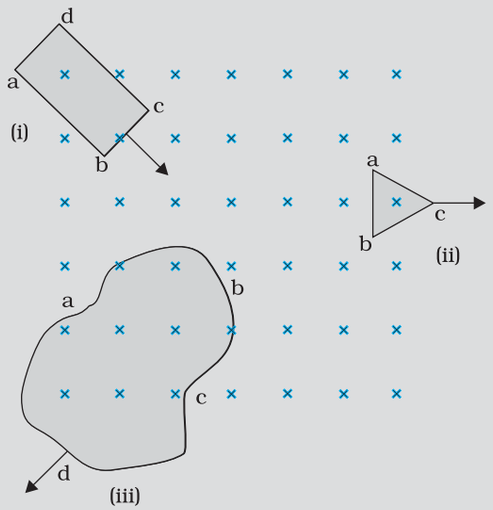
चित्र 6.6
लेंज के नियम का चित्रण

इस विषय पर थोड़े से गंभीर चिंतन से हम लेंज के नियम की सत्यता को स्वीकार कर सकते हैं। माना कि प्रेरित विद्युत धारा की दिशा चित्र 6.6(a) में दर्शायी गई दिशा के विपरीत है। उस दशा में, प्रेरित धारा के कारण दक्षिणी ध्रुव पास आते हुए चुंबक के उत्तरी ध्रुव की ओर होगा। इसके कारण दंड चुंबक कुंडली की ओर लगातार बढ़ते हुए त्वरण से आकर्षित होगा। चुंबक को दिया गया हलका-सा धक्का इस प्रक्रिया को प्रारंभ कर देगा तथा बिना किसी ऊर्जा निवेश के इसका वेग एवं गतिज ऊर्जा सतत रूप से बढ़ती जाएगी। यदि ऐसा हो सके तो उचित प्रबंध द्वारा एक शाश्वत गतिक मशीन (perpetual motion machine) का निर्माण किया जा सकता है। यह ऊर्जा के संरक्षण नियम का उल्लंघन है और इसीलिए ऐसा नहीं हो सकता।

अब चित्र 6.6(a) में दर्शायी गई सही स्थिति पर विचार करें। इस स्थिति में दंड चुंबक प्रेरित विद्युत धारा के कारण एक प्रतिकर्षण बल का अनुभव करता है। इसलिए चुंबक को गति देने के लिए हमें कार्य करना पड़ेगा। हमारे द्वारा खर्च की गई ऊर्जा कहाँ गई? वह ऊर्जा प्रेरित धारा द्वारा उत्पन्न जूल ऊष्मन के रूप में क्षयित होती है।

उदाहरण 6.4

चित्र 6.7 में विभिन्न आकार के समतल लूप जो चुंबकीय क्षेत्र में प्रवेश कर रहे हैं अथवा क्षेत्र से बाहर निकल रहे हैं, दिखाए गए हैं। चुंबकीय क्षेत्र लूप के तल के अभिलंबवत किंतु प्रेक्षक से दूर जाते हुए हैं। लेंज के नियम का उपयोग करते हुए प्रत्येक लूप में प्रेरित विद्युत धारा की दिशा ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.7

हल

(i) आयताकार लूप abcd में चुंबकीय फ्लक्स, लूप के चुंबकीय क्षेत्र के भाग की ओर गति करने के कारण बढ़ता है। प्रेरित धारा पथ bcdab के अनुदिश प्रवाहित होनी चाहिए जिससे कि यह बढ़ते हुए फ्लक्स का विरोध कर सके।

(ii) बाहर की ओर गति करने के कारण, त्रिभुजाकार लूप abc में चुंबकीय फ्लक्स घटता है जिसके कारण प्रेरित धारा bacb के अनुदिश प्रवाहित होती है, जिससे कि यह फ्लक्स परिवर्तन का विरोध कर सके।

(iii) चुंबकीय क्षेत्र से बाहर की ओर गति करने के कारण अनियमित आकार के लूप abcd में चुंबकीय फ्लक्स घटता है जिसके कारण प्रेरित धारा cdabc के अनुदिश प्रवाहित होती है जिससे कि यह फ्लक्स का विरोध कर सके।

नोट कीजिए कि जब तक लूप पूरी तरह से चुंबकीय क्षेत्र के अंदर या इससे बाहर रहता है तब कोई प्रेरित धारा उत्पन्न नहीं होती।

उदाहरण 6.4

उदाहरण 6.5

(a) एक बंद लूप, दो स्थिर रखे गए स्थायी चुंबकों के उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुवों के बीच चुंबकीय क्षेत्र में स्थिर रखा गया है। क्या हम अत्यंत प्रबल चुंबकों का उपयोग करके लूप में धारा उत्पन्न होने की आशा कर सकते हैं।

(b) एक बंद लूप विशाल संधारित्र की प्लेटों के बीच स्थिर विद्युत क्षेत्र के अभिलंबवत गति करता है। क्या लूप में प्रेरित धारा उत्पन्न होगी (i) जब लूप संधारित्र की प्लेटों के पूर्णतः अंदर हो (ii) जब लूप आंशिक रूप से प्लेटों के बाहर हो? विद्युत क्षेत्र लूप के तल के अभिलंबवत है।

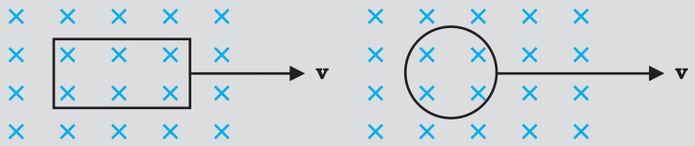
(c) एक आयताकार लूप एवं एक वृत्ताकार लूप एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में से (चित्र 6.8) क्षेत्र विहीन भाग में *एकसमान वेग* **v** से निकल रहे हैं। चुंबकीय क्षेत्र से बाहर निकलते समय, आप

उदाहरण 6.5

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 211 27-12-2012, 15:55

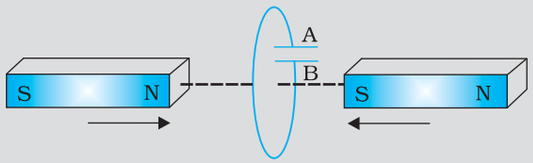
उदाहरण 6.5

किस लूप में प्रेरित विद्युत वाहक बल के स्थिर होने की अपेक्षा करते हैं? क्षेत्र, लूपों के तल के अभिलंबवत है।



चित्र 6.8

(d) चित्र 6.9 में वर्णित स्थिति के लिए संधारित्र की ध्रुवता की प्रागुक्ति (Predict) कीजिए।



चित्र 6.9

हल

(a) नहीं। चुंबक चाहे कितना भी प्रबल हो, प्रेरित धारा तभी उत्पन्न होगी जब लूप में से चुंबकीय फ्लक्स परिवर्तित हो।

(b) नहीं। विद्युत फ्लक्स परिवर्तित करके प्रेरित धारा प्राप्त नहीं हो सकती।

(c) आयताकार लूप के लिए प्रेरित विद्युत वाहक बल के स्थिर रहने की अपेक्षा कर सकते हैं। वृत्ताकार लूप में क्षेत्र के प्रभाव से बाहर निकलते समय लूप के क्षेत्रफल के परिवर्तन की दर स्थिर नहीं है, अतः प्रेरित विद्युत वाहक बल तदनुसार बदलेगा।

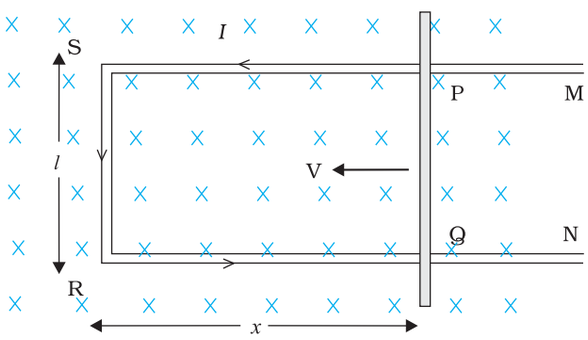
(d) संधारित्र की प्लेट 'A' की ध्रुवता प्लेट 'B' के सापेक्ष धनात्मक होगी।

6.6 गतिक विद्युत वाहक बल

किसी एकसमान, काल स्वतंत्र (time independent) चुंबकीय क्षेत्र में एक गतिमान ऋजु चालक पर विचार कीजिए। चित्र 6.10 में एक आयताकार चालक PQRS दर्शाया गया है जिसमें चालक PQ स्वतंत्र रूप से गति कर सकता है। छड़ PQ को स्थिर वेग **v** से बाईं ओर, चित्र में दर्शाए अनुसार, चलाया जाता है। मान लीजिए कि घर्षण के कारण किसी प्रकार का ऊर्जा का क्षय नहीं हो रहा है। PQRS एक बंद परिपथ बनाता है जिससे घिरा क्षेत्रफल PQ की गति के कारण परिवर्तित होता है। इसे एकसमान चुंबकीय क्षेत्र **B** में इस प्रकार रखा जाता है कि इसका तल चुंबकीय क्षेत्र के अभिलंबवत हो। यदि लंबाई RQ = x तथा RS = l, तो लूप PQRS से घिरा चुंबकीय फ्लक्स Φ_B होगा

$$\Phi_B = Blx$$

क्योंकि x समय के साथ बदल रहा है, फ्लक्स Φ_B के परिवर्तन की दर के कारण एक प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होगा जिसका मान होगा



चित्र 6.10 भुजा PQ बाईं ओर गतिमान है जिससे आयताकार लूप का क्षेत्रफल घट जाता है। इस गति के कारण दर्शाए अनुसार प्रेरित धारा I उत्पन्न होती है।

$$\frac{-\mathrm{d}\ _B}{\mathrm{d}t} \quad -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\ Blx$$

$$= -Bl\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \quad Blv \qquad (6.5)$$

जहाँ हमने $\mathrm{d}x/\mathrm{d}t = -v$ लिया है जो कि चालक PQ की चाल है। प्रेरित विद्युत वाहक बल Blv को *गतिक विद्युत वाहक बल* कहते हैं। इस प्रकार हम चुंबकीय क्षेत्र को परिवर्तित करने की बजाय किसी चालक को गतिमान करके, किसी परिपथ द्वारा घिरे चुंबकीय फ्लक्स में परिवर्तन करके प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न कर सकते हैं।

समीकरण (6.5) में दर्शाए गए गतिक विद्युत वाहक बल के व्यंजक को चालक PQ के स्वतंत्र आवेशों पर कार्य करने वाले लोरेंज बल की सहायता से भी समझाना संभव है। चालक PQ में कोई यादृच्छिक (arbitrary) आवेश q पर विचार करें। जब छड़ चाल v से गति करती है तो आवेश भी चुंबकीय क्षेत्र **B** में चाल v से गति करेगा। इस आवेश पर लोरेंज बल का परिमाण qvB है तथा इसकी दिशा Q के अनुदिश होगी। प्रत्येक आवेश परिमाण तथा दिशा में, छड़ PQ में उनकी स्थिति के निरपेक्ष, समान बल का अनुभव करेंगे।

आवेश को P से Q तक ले जाने में किया गया कार्य है, $W = qvBl$

चूँकि प्रति इकाई आवेश पर किया गया कार्य ही विद्युत वाहक बल है, अत:

$$\frac{W}{q} \quad Blv$$

यह समीकरण छड़ PQ के सिरों के बीच प्रेरण द्वारा उत्पन्न हुए विद्युत वाहक बल का मान बताती है तथा समीकरण (6.5) के तुल्य है। हम इस बात को जोर देकर कहना चाहते हैं कि हमारी यह प्रस्तुति पूर्णत: यथार्थ नहीं है। परंतु यह किसी एकसमान एवं समय के साथ न बदलने वाले चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान चालक के लिए फैराडे के नियम का आधार समझने में हमारी सहायता करती है।

दूसरी ओर, यह स्पष्ट नहीं होता है कि जब चालक स्थिर हो और चुंबकीय क्षेत्र परिवर्तित हो रहा हो तो इसमें emf कैसे प्रेरित होता है – जो एक ऐसा तथ्य है जो फैराडे के अनेक प्रयोग द्वारा पुष्ट होता है। स्थिर चालक के लिए इसके आवेशों पर लगने वाला बल,

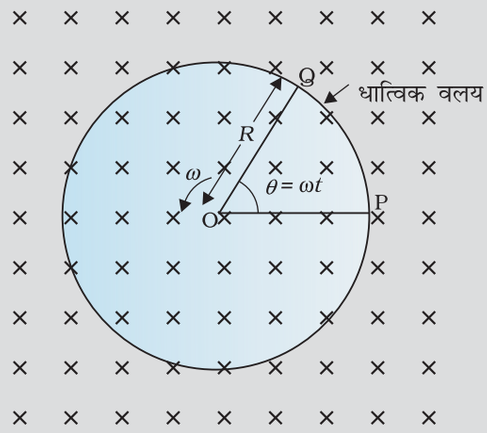
$$\mathbf{F} = q\,(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) = q\mathbf{E} \qquad (6.6)$$

क्योंकि $\mathbf{v} = 0$ है, अत: आवेश पर लगने वाला कोई भी बल केवल विद्युत क्षेत्र **E** के कारण होगा। इसलिए प्रेरित विद्युत वाहक बल या प्रेरित धारा के अस्तित्व की व्याख्या करने के लिए हमें यह मान लेना चाहिए कि समय के साथ परितवर्तनशील चुंबकीय क्षेत्र एक विद्युतीय क्षेत्र भी उत्पन्न करता है। तथापि, साथ ही हम यह भी कहना चाहेंगे कि स्थिर विद्युत आवेशों द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्र समय के साथ बदलते चुंबकीय क्षेत्रों द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्रों से भिन्न गुण रखते हैं। अध्याय 4 में हमने अध्ययन किया कि गतिमान आवेश (विद्युत धारा) स्थिर चुंबक पर बल/बल युग्म आरोपित कर सकते हैं। इसके विपरीत एक गतिमान दंड चुंबक (या अधिक व्यापक रूप में कहें तो एक परिवर्तनशील चुंबकीय क्षेत्र) स्थिर आवेश पर एक बल आरोपित कर सकता है। यही फैराडे की खोज की मूलभूत महत्ता है। विद्युत एवं चुंबकत्व परस्पर संबंधित होते हैं।

उदाहरण 6.6 एक मीटर लंबी धातु की एक छड़ को 50 चक्कर/सेंकड की आवृत्ति से घुमाया गया है। छड़ का एक सिरा वृत्ताकार धात्विक वलय जिसकी त्रिज्या 1 मीटर है, के केन्द्र पर तथा दूसरा सिरा वलय की परिधि पर कब्ज़े से इस प्रकार जुड़ा है कि छड़ की गति वलय के केन्द्र से जाने वाले तथा वलय के तल में अभिलंबवत अक्ष के परित: है (चित्र 6.11)। अक्ष के अनुदिश एक स्थिर तथा एकसमान चुंबकीय क्षेत्र 1 T सर्वत्र उपस्थित है। केन्द्र तथा धात्विक वलय के बीच विद्युत वाहक बल क्या होगा?

उदाहरण 6.6

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 213 27-12-2012, 15:55



चित्र 6.11

हल

प्रथम विधि :

जब छड़ घूर्णन करती है तो छड़ में मुक्त इलेक्ट्रॉन लोरेंज बल के कारण बाहरी सिरे की ओर गति करते हैं तथा वलय के ऊपर वितरित हो जाते हैं। इस प्रकार, आवेशों के परिणामी पृथक्करण के कारण छड़ के सिरों के बीच एक विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है। विद्युत वाहक बल के एक निश्चित मान के लिए इलेक्ट्रॉनों का और अधिक प्रवाह नहीं होता तथा एक स्थायी दशा पहुँच जाती है। समीकरण (6.5) का उपयोग करने पर, जब छड़ चुंबकीय क्षेत्र के लंबवत गतिमान है तो इसकी लंबाई dr के आर-पार उत्पन्न विद्युत वाहक बल का परिमाण प्राप्त होगा

$d \quad Bv\,dr$ अतः,

$$d \quad \int_0^R Bv\,dr \quad \int_0^R B \quad r\,dr \quad \frac{B \quad R^2}{2}$$

नोट कीजिए कि हमने $v = \omega r$ उपयोग किया है। इससे प्राप्त होता है

$$\varepsilon \quad \frac{1}{2} \quad 1.0 \quad 2 \quad 50 \quad (1^2)$$

$= 157$ V

द्वितीय विधि–

विद्युत वाहक बल की गणना करने के लिए हम एक बंद लूप OPQ की कल्पना करते हैं जिसमें बिंदु O तथा P को प्रतिरोध R से जोड़ा गया है तथा OQ घूमती हुई छड़ है। प्रतिरोध के आर-पार विभवान्तर प्रेरित विद्युत वाहक बल के बराबर होगा तथा ये $B \times$ (लूप के क्षेत्रफल परिवर्तन की दर) के बराबर होगा। यदि t समय पर छड़ तथा P पर वृत्त की त्रिज्या के बीच का कोण θ है, तो खंड OPQ का क्षेत्रफल प्राप्त होगा

$$R^2 \quad \frac{}{2} \quad \frac{1}{2}R^2$$

जहाँ पर R वृत्त की त्रिज्या है। अतः प्रेरित विद्युत वाहक बल है

$$\varepsilon = B \quad \frac{d}{dt} \quad \frac{1}{2}R^2 \quad = \frac{1}{2}BR^2 \frac{d}{dt} \quad \frac{B \quad R^2}{2}$$

[नोट कीजिए : $\frac{d}{dt} \qquad 2$]

यह व्यंजक प्रथम विधि द्वारा प्राप्त व्यंजक के अनुरूप ही है और हम ε का समान मान पाते हैं।

उदाहरण 6.6

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 214 27-12-2012, 15:55

उदाहरण 6.7

एक पहिया जिसमें 0.5 m लंबे 10 धात्विक स्पोक (spokes) हैं, को 120 चक्र प्रति मिनट की दर से घुमाया जाता है। पहिये का घूर्णन तल उस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक H_E के अभिलंबवत है। उस स्थान पर यदि $H_E = 0.4$ G है तो पहिये की धुरी (axle) तथा रिम के मध्य स्थापित प्रेरित विद्युत वाहक बल का मान क्या होगा? नोट कीजिए 1 G = 10^{-4} T

हल

प्रेरित विद्युत वाहक बल = $(1/2)\,\omega B R^2$

$= (1/2) \times 4\pi \times 0.4 \times 10^{-4} \times (0.5)^2$

$= 6.28 \times 10^{-5}$ V

क्योंकि स्पोक के आरपार विद्युत वाहक बल समांतर हैं इसलिए उनकी संख्या का कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

उदाहरण 6.7

6.7 ऊर्जा दृष्टि : एक परिमाणात्मक अध्ययन

अनुच्छेद 6.5 के अंतर्गत हमने गुणात्मक विवेचन द्वारा यह दर्शाया कि लेंज का नियम ऊर्जा संरक्षण सिद्धांत के अनुरूप या सुसंगत है। अब हम इसी पक्ष को अधिक ठोस उदाहरण द्वारा देखेंगे।

मान लीजिए कि चित्र 6.10 में दर्शाए आयताकार चालक की चल भुजा (movable arm) PQ का प्रतिरोध r है। हमने यह मान लिया है कि अन्य भुजाओं QR, RS तथा SP का प्रतिरोध r की तुलना में नगण्य है। इस प्रकार आयताकार लूप का नेट प्रतिरोध r होगा तथा PQ की गति से भी यह नहीं बदलेगा। लूप में धारा I है,

$$I = \frac{B l v}{r} \qquad (6.7)$$

चुंबकीय क्षेत्र की उपस्थिति के कारण, भुजा PQ पर एक बल कार्य करेगा। यह बल I (**l** × **B**) छड़ के वेग की दिशा के विपरीत बहिर्मुखी निर्दिष्ट होगा। इस बल का परिमाण है

$$F = I l B = \frac{B^2 l^2 v}{r}$$

यहाँ हमने समीकरण (6.7) का उपयोग किया है। नोट कीजिए कि यह बल छड़ के अनुदिश (धारा के लिए उत्तरदायी) आवेशों के अपवाह वेग (drift velocity) तथा उनके परिणामस्वरूप प्रभावी होने वाले लोरेंज बलों के कारण उत्पन्न होता है।

क्योंकि भुजा PQ को एक स्थिर चाल v से धकेला जाता है,

इस क्रिया में प्रयुक्त शक्ति

$$P = F v = \frac{B^2 l^2 v^2}{r} \qquad (6.8)$$

इस कार्य को करने वाला एजेंट यांत्रिक है। इस यांत्रिक ऊर्जा का क्या हुआ? उत्तर है कि यह यांत्रिक ऊर्जा जूल ऊष्मा के रूप में क्षयित हो गई तथा इसका मान है

$$P_J = I^2 r = \left(\frac{Blv}{r}\right)^2 r = \frac{B^2 l^2 v^2}{r}$$

जो समीकरण (6.8) के सर्वसम है।

इस प्रकार भुजा PQ को चलाने में प्रयुक्त हुई यांत्रिक ऊर्जा विद्युतीय ऊर्जा में परिवर्तित हुई (प्रेरित विद्युत वाहक बल) तथा अंततः ऊष्मीय ऊर्जा में बदल गई।

परिपथ में आवेश प्रवाह तथा चुंबकीय फ्लक्स के परिवर्तन में भी एक रोचक संबंध है। फैराडे के नियम से, हमने सीखा है कि प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिमाण है

$$| | \quad \frac{B}{t}$$

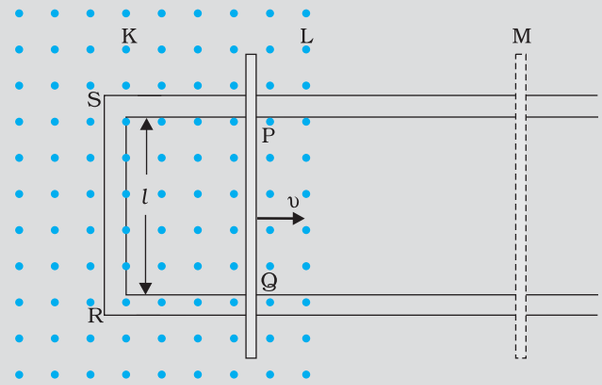
परंतु,

$$| | \quad Ir \quad \frac{Q}{t} r$$

इसलिए,

$$Q \quad \frac{B}{r}$$

उदाहरण 6.8 चित्र 6.12 (a) को देखिए। आयताकार चालक की भुजा PQ को $x = 0$ से दायीं ओर चलाया जाता है। एकसमान चुंबकीय क्षेत्र तल के लंबवत है तथा $x = 0$ से $x = b$ तक विस्तारित है तथा $x > b$ के लिए शून्य है। केवल भुजा PQ में ही पर्याप्त प्रतिरोध r है। उस स्थिति की कल्पना कीजिए जब भुजा PQ को $x = 0$ से $x = 2b$ तक, बाहर की ओर खींचा जाता है तथा पुनः स्थिर चाल v से $x = 0$ तक वापस ले जाते हैं। फ्लक्स, प्रेरित विद्युत वाहक बल, भुजा को खींचने के लिए आवश्यक बल तथा जूल ऊष्मा के रूप में क्षयित शक्ति के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए। इन राशियों में दूरी के साथ होने वाले परिवर्तन का ग्राफ भी खींचिए।



चित्र 6.12 (a)

हल सर्वप्रथम अग्र गति $x = 0$ से $x = 2b$ पर विचार करते हैं।

परिपथ SPQR से संबद्ध फ्लक्स है,

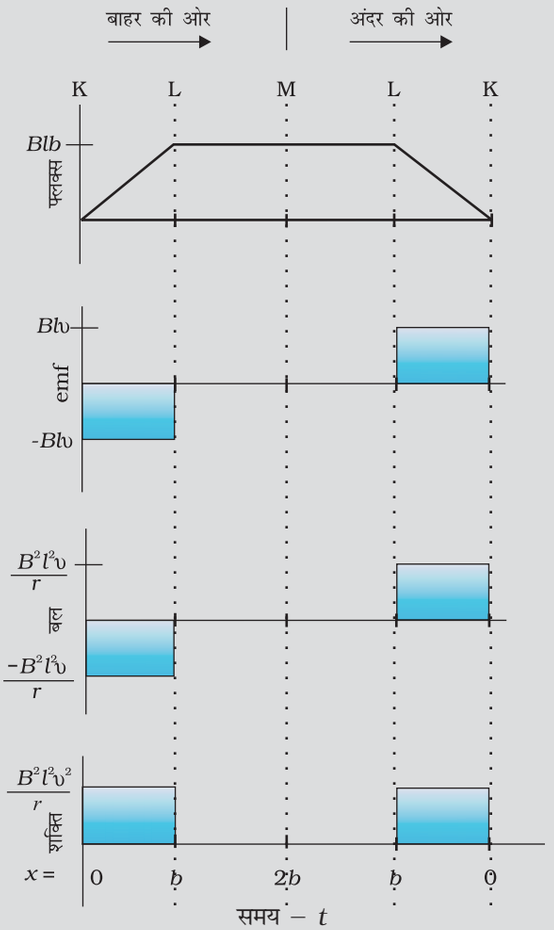
$$_B \quad Blx \quad 0 \quad x \quad b$$
$$Blb \quad b \quad x \quad 2b$$

प्रेरित विद्युत वाहक बल है,

$$\frac{d \ _B}{dt}$$
$$Blv \quad 0 \quad x \quad b$$
$$0 \quad b \quad x \quad 2b$$

उदाहरण 6.8

जब प्रेरित विद्युत वाहक बल शून्य नहीं है, तब धारा I (का परिमाण) I $\frac{Blv}{r}$ है।



चित्र 6.12 (b)

भुजा PQ को स्थिर गति देने हेतु आवश्यक बल IlB होगा। इसकी दिशा बाईं ओर होगी। इसका परिमाण

$$F \quad \frac{B^2l^2v}{r} \qquad 0 \quad x \quad b$$
$$0 \qquad\qquad b \quad x \quad 2b$$

जूल ऊष्मन क्षय है

$$P_J \quad I^2r$$

$$\frac{B^2l^2v^2}{r} \qquad 0 \quad x \quad b$$
$$0 \qquad\qquad b \quad x \quad 2b$$

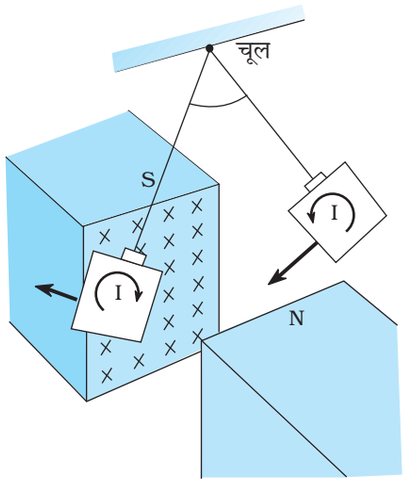
इसी प्रकार का व्यंजक भुजा PQ के अंदर की ओर $x = 2b$ से $x = 0$ तक की गति के लिए प्राप्त होता है। चित्र 6.12 (b) में प्रदर्शित विभिन्न राशियों के आरेख को देखकर कोई भी संपूर्ण प्रक्रिया को समझ सकता है।

उदाहरण 6.8

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 217 27-12-2012, 15:55

6.8 भँवर धाराएँ

अभी तक हमने चालकों से बने वृत्ताकार लूपों जैसे सुपरिभाषित पथों में, प्रेरित हुई विद्युत धाराओं के विषय में अध्ययन किया है। लेकिन जब चालकों के स्थूल टुकड़ों को परिवर्तनशील चुंबकीय फ्लक्स के प्रभाव में रखते हैं तो उनमें भी प्रेरित धाराएँ उत्पन्न होती हैं। तथापि, उनके प्रवाह का पैटर्न पानी में चक्कर खाते भँवरों से मिलता है। इस प्रभाव को भौतिकविद फोको (1819-1868) ने खोजा तथा इन धाराओं को *भँवर धाराएँ* कहते हैं।

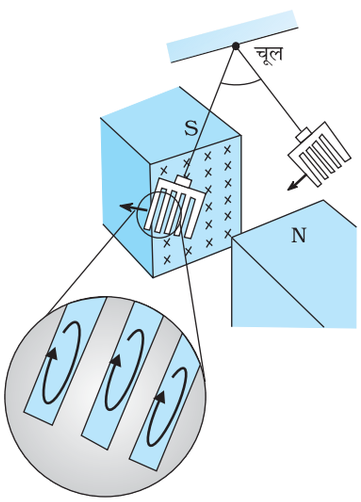


चित्र 6.13 ताम्र पट्टिका जब चुंबकीय क्षेत्र में अंदर बाहर आती-जाती है तो इसमें भँवर धाराएँ उत्पन्न होती हैं।

चित्र 6.13 में दर्शाए उपकरण पर विचार करें। इसमें एक ताम्र पट्टिका को एक शक्तिशाली चुंबक के ध्रुवों के बीच सरल लोलक की भाँति दोलित कराते हैं। यह देखा गया कि पट्टिका की गति अवमंदित है तथा कुछ ही क्षणों में वह चुंबकीय क्षेत्र में विराम अवस्था में आ जाती है। इस परिघटना की व्याख्या हम विद्युत चुंबकीय प्रेरण के आधार पर कर सकते हैं। जब पट्टिका चुंबकीय ध्रुवों के क्षेत्र में अंदर और बाहर गति करती है तो पट्टिका से संबद्ध चुंबकीय फ्लक्स परिवर्तित होता रहता है। फ्लक्स में परिवर्तन पट्टिका में भँवर धाराएँ प्रेरित करता है। जब पट्टिका दोलन करते हुए ध्रुवों के क्षेत्र के बीच में प्रवेश करती है तथा जब यह उस क्षेत्र से बाहर निकलती है तो भँवर धाराओं की दिशा विपरीत होती है।

यदि ताँबे की पट्टिका में चित्र 6.14 में दर्शाए अनुसार आयताकार खाँचे बनाए जाते हैं तो भँवर धाराओं के प्रवाह के लिए उपलब्ध क्षेत्रफल कम हो जाता है। इस प्रकार लोलक पट्टिका में छिद्र अथवा खाँचे विद्युत चुंबकीय अवमंदन को कम कर देते हैं तथा पट्टिका अधिक स्वतंत्रतापूर्वक दोलन करती है। नोट कीजिए कि प्रेरित धाराओं का चुंबकीय आघूर्ण (जो गति का विरोध करता है) धाराओं द्वारा परिबद्ध क्षेत्रफल पर निर्भर है (अध्याय 4 में समीकरण $\mathbf{m} = I\mathbf{A}$ का स्मरण कीजिए)।

यह तथ्य ट्रांसफार्मरों की धात्विक क्रोड में, विद्युत मोटरों तथा दूसरी ऐसी अन्य युक्तियों में जिनमें किसी धात्विक क्रोड पर कुंडली को लपेटना होता है, भँवर धाराओं को कम करने में सहायक है। भँवर धाराएँ अवांछनीय हैं क्योंकि ये क्रोड को गर्म करती हैं तथा विद्युत ऊर्जा का ऊष्मा के रूप में क्षय करती हैं। धात्विक क्रोड बनाने के लिए स्तरित धातु (Laminated) का उपयोग करके भँवर धाराओं को कम किया जा सकता है। स्तरों को कुचालक पदार्थ, जैसे लैकर (lacquer) से, पृथक्कृत करते हैं। स्तरों के तल को चुंबकीय क्षेत्र के समांतर व्यवस्थित करना आवश्यक है जिससे कि वे भँवर धाराओं के पथों को आरपार काट सकें। यह प्रबंध भँवर धाराओं की प्रबलता को घटा देता है। क्योंकि विद्युत ऊर्जा का ऊष्मा में क्षय विद्युत धारा की प्रबलता के वर्ग पर निर्भर है इसलिए ऊष्मा-हानि पर्याप्त मात्रा में कम हो जाती है।



चित्र 6.14 ताम्र पट्टिका में खाँचे बनाने से इसमें भँवर धाराओं का प्रभाव कम हो जाता है।

भँवर धाराएँ कुछ अनुप्रयोगों में उपयोग की जाती हैं, जैसे —

(i) *रेलगाड़ियों में चुंबकीय ब्रेक में*– कुछ विद्युत चालित रेलगाड़ियों में पटरियों के ऊपर प्रबल विद्युत चुंबक स्थित होते हैं। जब विद्युत चुंबकों को सक्रियित किया जाता है तो पटरियों में प्रेरित भँवर धाराएँ रेलगाड़ी की गति का विरोध करती हैं। क्योंकि यहाँ कोई यांत्रिक संयोजन नहीं है इसलिए ब्रेक के कारण किसी प्रकार के झटके नहीं लगेंगे।

(ii) *विद्युत चुंबकीय अवमंदन*– कुछ धारामापियों की क्रोड स्थिर होती है तथा अचुंबकीय धात्विक पदार्थों की बनी होती है। जब कुंडली दोलन करती है तो क्रोड में उत्पन्न होने वाली भँवर धाराएँ इसकी गति का विरोध करती हैं तथा कुंडली को तेजी से विरामावस्था में ले आती हैं।

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 218 27-12-2012, 15:55

(iii) *प्रेरण भट्टी*– प्रेरण भट्टी उच्च ताप उत्पन्न करने के लिए उपयोग की जा सकती है तथा घटक धातुओं को पिघला कर मिश्र धातु तैयार करने के काम आ सकती है। एक कुंडली में उच्च आवृत्ति की प्रत्यावर्ती धारा (alternating current) प्रवाहित की जाती है। यह कुंडली उन धातुओं को घेरे होती है जिनको पिघलाना होता है। धातुओं में उत्पन्न होने वाली भँवर धाराएँ उच्च ताप उत्पन्न करती हैं जो उन धातुओं को पिघलाने के लिए पर्याप्त होता है।

(iv) *विद्युत शक्ति मीटर*– विद्युत शक्ति मीटर (अनुरूप प्रकार) में धातु की चमकदार डिस्क भँवर धाराओं के कारण ही घूर्णन करती है। कुंडली में ज्यावक्रीय (sinusoidally) परिवर्ती धाराओं से उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्रों से डिस्क में प्रेरित विद्युत धाराएँ उत्पन्न होती हैं।

आप अपने घर के बिजली के मीटर में घूर्णन करती चमकदार डिस्क को देख सकते हैं।

विद्युत चुंबकीय अवमंदन

ऐलुमिनियम तथा पीवीसी (PVC) के बने समान आंतरिक व्यासों के दो पतले खोखले बेलनाकार पाइप लीजिए। इन्हें क्लैंप की सहायता से रिटॉर्ट स्टैंड पर ऊर्ध्वाधरत: लगाइए। एक छोटा बेलनाकार चुंबक लीजिए जिसका व्यास पाइपों के आंतरिक व्यास से थोड़ा-सा कम हो। इसे प्रत्येक पाइप में इस प्रकार गिराइए कि गिरते समय चुंबक पाइपों की दीवारों को न छुए। नोट कीजिए कि प्रत्येक दशा में पाइप से बाहर आने में यह कितना समय लेता है। आप देखेंगे कि पीवीसी (PVC) के बने पाइप में गिरते समय चुंबक पाइप से बाहर आने में उतना ही समय लेता है जितना कि वह उसी ऊँचाई तक बिना पाइप के गिरते समय लेता। आप यह भी देखेंगे कि ऐलुमिनियम के पाइप में गिरते समय चुंबक अपेक्षाकृत काफी समय लेता है। ऐसा क्यों है? यह उन भँवर धाराओं के कारण है जो कि ऐलुमिनियम के पाइप में उत्पन्न होकर, जो चुंबकीय फ्लक्स में, परिवर्तन का अर्थात चुंबक की गति का विरोध करती है। भँवर धाराओं के कारण उत्पन्न मंदक बल चुंबक की गति का निरोध करता है। इस प्रकार की परिघटनाओं को *विद्युत चुंबकीय अवमंदन* कहते हैं। नोट कीजिए कि पीवीसी (PVC) पाइप में भँवर धाराएँ उत्पन्न नहीं होतीं क्योंकि इसका पदार्थ विद्युत रोधी है जबकि ऐलुमिनियम चालक है।

6.9 प्रेरकत्व

एक कुंडली के निकट रखी दूसरी कुंडली में फ्लक्स परिवर्तन से अथवा उसी कुंडली में फ्लक्स परिवर्तन से, उस कुंडली में विद्युत धारा प्रेरित हो सकती है। ये दोनों स्थितियाँ अगले दो उपखंडों में अलग-अलग वर्णित की गई हैं। तथापि, इन दोनों स्थितियों में, कुंडली में फ्लक्स धारा के समानुपाती है। अर्थात् $\Phi_B \propto I$

इसके अतिरिक्त यदि समय के साथ कुंडली की ज्यामिति नहीं बदलती, तब

$$\frac{d\Phi_B}{dt} \propto \frac{dI}{dt}$$

समीप-समीप लिपटे N फेरों (turns) वाली कुंडली के सभी फेरों से समान चुंबकीय फ्लक्स संबद्ध होता है। जब कुंडली में फ्लक्स Φ_B परिवर्तित होता है तो प्रत्येक फेस प्रेरित विद्युत वाहक बल में योगदान करता है। इसलिए एक पद *फ्लक्स-बंधता* (flux linkage) का उपयोग होता है जो कि पास-पास लिपटी कुंडली के लिए $N\Phi_B$ के बराबर है तथा इस स्थिति में

$$N\Phi_B \propto I$$

इस संबंध में समानुपातिक स्थिरांक को *प्रेरकत्व* कहते हैं। हम देखेंगे कि प्रेरकत्व का मान कुंडली की ज्यामिति तथा उसके पदार्थ के नैज (intrinsic) गुणधर्मों पर निर्भर करता है। यह पक्ष

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 219 27-12-2012, 15:55

धारिता की प्रकृति के समान है जो समांतर प्लेट संधारित्र के लिए प्लेट के क्षेत्रफल तथा प्लेट-पृथक्करण (ज्यामिति) तथा उनके बीच उपस्थित माध्यम के परावैद्युतांक K (पदार्थ के नैज गुणधर्म) पर निर्भर करती है।

प्रेरकत्व एक अदिश राशि है। इसकी विमाएँ $[M L^2 T^{-2} A^{-2}]$ हैं जो कि फ्लक्स की विमाओं तथा धारा की विमाओं के अनुपात द्वारा व्यक्त की जाती हैं। प्रेरकत्व की SI मात्रक *हेनरी* है तथा इसे H द्वारा व्यक्त किया जाता है। यह नाम *जोसेफ हेनरी* के सम्मान में रखा गया है जिन्होंने इंग्लैंड के वैज्ञानिक फैराडे से अलग अमेरिका में वैद्युत चुंबकीय प्रेरण की खोज की।

6.9.1 अन्योन्य प्रेरकत्व

चित्र 6.15 में दर्शायी गई दो लंबी समाक्षी (co-axial) परिनालिकाओं (solenoids) जिनकी प्रत्येक की लंबाई l है, पर विचार कीजिए। हम अंत: परिनालिका S_1 की त्रिज्या r_1 तथा उसकी इकाई लंबाई में फेरों की संख्या को n_1 द्वारा व्यक्त करते हैं। बाह्य परिनालिका S_2 के लिए संगत राशियाँ क्रमश: r_2 तथा n_2 हैं। मान लीजिए N_1 तथा N_2 क्रमश: कुंडलियों S_1 तथा S_2 में फेरों की कुल संख्या है।

जब S_2 में धारा I_2 प्रवाहित करते हैं तो यह S_1 में एक चुंबकीय फ्लक्स स्थापित करती है। हम इसे Φ_1 से निर्दिष्ट करते हैं। परिनालिका S_1 में संगत फ्लक्स-बंधता है

$$N_1 \Phi_1 = M_{12} I_2 \qquad (6.9)$$

M_{12} को परिनालिका S_1 का परिनालिका S_2 के सापेक्ष *अन्योन्य प्रेरकत्व* कहते हैं। इसे *अन्योन्य प्रेरक गुणांक* भी कहा जाता है।

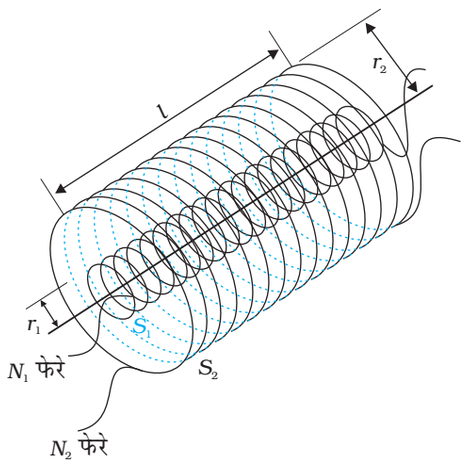
इन सरल समाक्षी परिनालिकाओं के लिए M_{12} की गणना संभव है। परिनालिका S_2 में स्थापित विद्युत धारा I_2 द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र है $\mu_0 n_2 I_2$। कुंडली S_1 के साथ परिणामी फ्लक्स-बंधता है

$$N_1 \; {}_1 \quad n_1 l \quad r_1^2 \quad {}_0 n_2 I_2$$

$$ {}_0 n_1 n_2 \; r_1^2 l \, I_2 \qquad (6.10)$$

जहाँ $n_1 l$ परिनालिका S_1 में कुल फेरों की संख्या है। इस प्रकार, समीकरण (6.9) तथा समीकरण (6.10) से

$$M_{12} = \mu_0 n_1 n_2 \pi r_1^2 l \qquad (6.11)$$



चित्र 6.15 समान लंबाई l की दो समाक्षी दीर्घ परिनालिकाएँ।

ध्यान दीजिए कि हमने यहाँ पर कोर-प्रभावों को नगण्य मान लिया है तथा चुंबकीय क्षेत्र $\mu_0 n_2 I_2$ को परिनालिका S_2 को लंबाई तथा चौड़ाई में सर्वत्र एकसमान माना है। यह ध्यान रखते हुए कि परिनालिका लंबी है, जिसका अर्थ है $l >> r_2$ यह एक अच्छा सन्निकटन (approximation) है।

अब हम विपरीत स्थिति पर विचार करते हैं। परिनालिका S_1 से एक विद्युत धारा I_1 प्रवाहित की जाती है तथा परिनालिका S_2 से फ्लक्स-बंधता है,

$$N_2 \Phi_2 = M_{21} I_1 \qquad (6.12)$$

M_{21} को परिनालिका S_2 का परिनालिका S_1 के सापेक्ष *अन्योन्य प्रेरकत्व* कहते हैं।

S_1 में धारा I_1 के कारण फ्लक्स पूरी तरह S_1 के अंदर सीमित माना जा सकता है क्योंकि परिनालिकाएँ बहुत लंबी हैं। अत:, परिनालिका S_2 के साथ फ्लक्स-बंधता है

$$N_2 \; {}_2 \quad n_2 l \quad r_1^2 \quad {}_0 n_1 I_1$$

यहाँ पर $n_2 l$, S_2 में फेरों की कुल संख्या है। समीकरण (6.12) से,

$$M_{21} = \mu_0 n_1 n_2 \pi r_1^2 l \qquad (6.13)$$

समीकरण (6.11) तथा समीकरण (6.12) का उपयोग करके हमें प्राप्त होता है

$$M_{12} = M_{21} = M \text{ (माना)} \qquad (6.14)$$

हमने यह समानता दीर्घ लंबाई की समाक्षी परिनालिकाओं के लिए दर्शायी है। तथापि, यह संबंध व्यापक रूप से सत्य है। नोट कीजिए कि यदि अंत:परिनालिका बाह्य परिनालिका से बहुत छोटी होती (तथा बाह्य परिनालिका में ठीक प्रकार अंदर रखी होती) तब भी हम फ्लक्स ग्रंथिका $N_1 \Phi_1$ की गणना कर पाते, क्योंकि अंत:परिनालिका बाह्य परिनालिका के कारण प्रभावी ढंग से एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में निमज्जित है। इस स्थिति में, M_{12} की गणना सरल होगी। तथापि, बाह्य परिनालिका से आबद्ध फ्लक्स की गणना करना अत्यंत कठिन होगा क्योंकि अंत:परिनालिका के कारण चुंबकीय क्षेत्र बाह्य परिनालिका की लंबाई तथा साथ-ही-साथ अनुप्रस्थ काट के आर-पार परिवर्तित होगा। इसीलिए इस स्थिति में M_{21} की गणना भी अत्यंत कठिन होगी। ऐसी स्थितियों में $M_{12}=M_{21}$ जैसी समानता अत्यंत लाभकारी होगी।

उपरोक्त उदाहरण की व्याख्या हमने यह मान कर की है कि परिनालिकाओं के अंदर माध्यम वायु है। इसके स्थान पर यदि μ_r सापेक्ष चुंबकशीलता का माध्यम मौजूद होता तो अन्योन्य प्रेरकत्व का मान होता

$$M = \mu_r \mu_0 n_1 n_2 \pi r_1^2 l$$

यह जानना भी महत्वपूर्ण है कि कुंडलियों, परिनालिकाओं आदि के युग्म का अन्योन्य प्रेरकत्व उनके पृथक्करण एवं साथ-ही-साथ उनके सापेक्ष दिक्विन्यास (orientation) पर निर्भर है।

उदाहरण 6.9 दो संकेन्द्री वृत्ताकार कुंडलियाँ, एक कम त्रिज्या r_1 की तथा दूसरी अधिक त्रिज्या r_2 की, ऐसी कि $r_1 << r_2$, समाक्षी रखी हैं तथा दोनों के केन्द्र संपाती हैं। इस व्यवस्था के लिए अन्योन्य प्रेरकत्व ज्ञात कीजिए।

हल माना कि बाह्य वृत्ताकार कुंडली में से I_2 धारा प्रवाहित होती है। कुंडली के केन्द्र पर चुंबकीय क्षेत्र है $B_2 = \mu_0 I_2 / 2r_2$। क्योंकि दूसरी समाक्षी कुंडली की त्रिज्या अत्यंत अल्प है, उसके अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल पर B_2 का मान स्थिर माना जा सकता है। अत:,

$$\Phi_1 = \pi r_1^2 B_2$$

$$= \frac{\mu_0 r_1^2}{2r_2} I_2$$

$$= M_{12} I_2$$

इस प्रकार,

$$M_{12} = \frac{\mu_0 r_1^2}{2r_2}$$

समीकरण (6.14) से

$$M_{12} = M_{21} = \frac{\mu_0 \pi r_1^2}{2r_2}$$

ध्यान दीजिए कि हमने M_{12} की गणना Φ_1 के सन्निकट मान से यह मानते हुए की है कि चुंबकीय क्षेत्र B_2 का मान क्षेत्रफल πr_1^2 पर एकसमान है। तथापि, हम इस मान को स्वीकार कर सकते हैं क्योंकि $r_1 << r_2$।

उदाहरण 6.9

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 221 27-12-2012, 15:55

अब, अनुच्छेद 6.2 के प्रयोग 6.3 को स्मरण करें। उस प्रयोग में, जब भी कुंडली C_2 में धारा परिवर्तित होती है, कुंडली C_1 में विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है। मान लीजिए कुंडली C_1 (माना N_1 फेरों वाली) में फ्लक्स Φ_1 है, जबकि कुंडली C_2 में धारा I_2 है।

तब समीकरण (6.9) से हमें प्राप्त होगा

$N_1 \Phi_1 = MI_2$

समय के साथ परिवर्तनशील धाराओं के लिए

$$\frac{d\ N_{1\ 1}}{dt} \quad \frac{d\ MI_2}{dt}$$

क्योंकि कुंडली C_1 में प्रेरक विद्युत वाहक बल का मान है

$$-\frac{d\ N_{1\ 1}}{dt}$$

हमें प्राप्त होगा,

$$-M\frac{dI_2}{dt}$$

यह दर्शाता है कि किसी कुंडली में परिवर्ती धारा समीपस्थ कुंडली में विद्युत वाहक बल प्रेरित कर सकती है। प्रेरक विद्युत वाहक बल का परिमाण धारा परिवर्तन की दर तथा दोनों कुंडलियों के अन्योन्य प्रेरकत्व पर निर्भर है।

6.9.2 स्व-प्रेरकत्व

पिछले उप-परिच्छेद में हमने एक परिनालिका में बहने वाली धारा के कारण दूसरी परिनालिका में उत्पन्न होने वाले फ्लक्स के बारे में विचार किया। किसी एकल वियुक्त कुंडली में भी उसी कुंडली में धारा परिवर्तित करने पर कुंडली में होने वाले फ्लक्स परिवर्तन के कारण, विद्युत वाहक बल प्रेरित करना संभव है। इस परिघटना को *स्व-प्रेरण* कहते हैं। इस स्थिति में, N फेरों वाली कुंडली में फ्लक्स-बंधता, कुंडली में बहने वाली धारा के समानुपातिक है तथा इसे व्यक्त कर सकते हैं,

$$N_B \quad I$$

$$N_B \quad LI \qquad (6.15)$$

यहाँ समानुपातिक स्थिरांक L को कुंडली का *स्व-प्रेरकत्व* कहते हैं। इसे कुंडली का *स्व-प्रेरण गुणांक* भी कहते हैं। जब धारा परिवर्तित होती है, कुंडली से संबद्ध फ्लक्स भी परिवर्तित होता है। समीकरण (6.15) का उपयोग करने पर प्रेरित विद्युत वाहक बल होगा

$$-\frac{d\ N_B}{dt}$$

$$-L\frac{dI}{dt} \qquad (6.16)$$

इस प्रकार, स्व-प्रेरित विद्युत वाहक बल सदैव कुंडली में किसी भी धारा परिवर्तन (बढ़ना या घटना) का विरोध करता है।

सरल ज्यामितियों से किसी परिपथ के लिए स्व-प्रेरकत्व की गणना करना संभव है। आइए एक लंबी परिनालिका के स्व-प्रेरकत्व की गणना करें, जिसके अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल A तथा लंबाई l है, तथा इसी एकांक लंबाई में फेरों की संख्या n है। परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा I के कारण चुंबकीय क्षेत्र $B = \mu_0\, n\, I$ है (पहले की भाँति कोर प्रभावों को नगण्य मानते हुए)। परिनालिका से संबद्ध कुल फ्लक्स हैं

$$N_B \quad nl \quad {}_0 nI \quad A$$

$$= \mu_0 n^2 AlI$$

यहाँ पर nl फेरों की कुल संख्या है। अत:, स्व-प्रेरकत्व है,

$$L \quad \frac{}{I}$$

$$_0 n^2 Al \qquad (6.17)$$

यदि हम परिनालिका की अंत:धारा को μ_r आपेक्षिक चुंबकशीलता वाले पदार्थ से भर दें (उदाहरण के लिए नर्म लोहा, जिसकी आपेक्षिक चुंबकशीलता का मान उच्च है), तब,

$$L \quad _r \ _0 n^2 Al \qquad (6.18)$$

कुंडली का स्वप्रेरकत्व उसकी ज्यामितीय संरचना तथा माध्यम की चुंबकशीलता पर निर्भर है।

स्वप्रेरित विद्युत वाहक बल को *विरोधी विद्युत वाहक बल (back emf)* भी कहते हैं क्योंकि यह परिपथ में किसी भी धारा-परिवर्तन का विरोध करता है। भौतिक दृष्टि से *स्व-प्रेरकत्व जड़त्व का कार्य करता है।* यह यांत्रिकी में द्रव्यमान का विद्युतचुंबकीय अनुरूप है। अत:, धारा स्थापित करने के लिए, विरोधी विद्युत वाहक बल (ε) के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है। यह किया गया कार्य चुंबकीय स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। किसी परिपथ में किसी क्षण धारा I के लिए कार्य करने की दर है,

$$\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} \quad | \ | I$$

यदि हम प्रतिरोधक क्षयों को नगण्य मान लें तथा केवल प्रेरणिक प्रभाव पर ही विचार करें, तब समीकरण (6.16) का उपयोग करने पर,

$$\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} \quad L \ I \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$$

धारा I स्थापित करने में किया गया कुल कार्य है,

$$W \quad \mathrm{d}W \quad \int_0^I L \, I \, \mathrm{d}I$$

अत:, धारा I स्थापित करने में आवश्यक ऊर्जा होगी,

$$W \quad \frac{1}{2} LI^2 \qquad (6.19)$$

यह व्यंजक हमें m द्रव्यमान के किसी कण की गतिज ऊर्जा (यांत्रिक) के व्यंजक $mv^2/2$ की याद दिलाता है तथा दर्शाता है कि L, m के अनुरूप है (अर्थात L विद्युत जड़त्व है तथा किसी परिपथ में जिसमें यह संयोजित है, धारा के बढ़ने तथा घटने का विरोध करता है)।

दो समीपस्थ कुंडलियों में साथ-साथ प्रवाहित होने वाली धाराओं की सामान्य स्थिति पर विचार करें। एक कुंडली के साथ संबद्ध फ्लक्स, स्वतंत्र रूप से विद्यमान दो फ्लक्सों के योग के बराबर होगा। समीकरण (6.9) निम्न रूप में रूपांतरित हो जाएगी।

$$N_1 \ _1 \quad M_{11} I_1 \quad M_{12} I_2$$

यहाँ M_{11} उसी कुंडली के प्रेरकत्व को निरूपित करता है।

अत:, फैराडे का नियम उपयोग करने पर,

$$_1 \quad M_{11} \frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t} \quad M_{12} \frac{\mathrm{d}I_2}{\mathrm{d}t}$$

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 223 27-12-2012, 15:55

M_{11} स्व-प्रेरकत्व है तथा इसे L_1 द्वारा लिखा जाता है। इसलिए,

$$_1 \quad L_1 \frac{dI_1}{dt} \quad M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

उदाहरण 6.10 (a) परिनालिका में संचित चुंबकीय ऊर्जा का व्यंजक परिनालिका के चुंबकीय क्षेत्र B, क्षेत्रफल A तथा लंबाई l के पदों में ज्ञात कीजिए। (b) यह चुंबकीय ऊर्जा तथा संधारित्र में संचित स्थिरवैद्युत ऊर्जा किस रूप में तुलनीय है?

हल

(a) समीकरण (6.19) से, चुंबकीय ऊर्जा है

$$U_B \quad \frac{1}{2} LI^2$$

$$= \frac{1}{2} L \left(\frac{B}{\mu_0 n} \right)^2 \qquad \left(\text{क्योंकि परिनालिका के लिए, } B = \mu_0 nI \right)$$

$$\frac{1}{2} (\ _0 n^2 Al) \ \frac{B}{_0 n}^2 \qquad \text{[समीकरण (6.17) से]}$$

$$\frac{1}{2\ _0} B^2 Al$$

(b) प्रति एकांक आयतन चुंबकीय ऊर्जा है,

$$u_B \quad \frac{U_B}{V} \qquad \text{(यहाँ } V \text{ आयतन है जिसमें फ्लक्स विद्यमान है)}$$

$$\frac{U_B}{Al}$$

$$\frac{B^2}{2\ _0} \qquad (6.20)$$

हम पहले ही समांतर प्लेट संधारित्र के एकांक आयतन में संचित स्थिरवैद्युत ऊर्जा का संबंध प्राप्त कर चुके हैं [अध्याय 2 समीकरण 2.77 देखिए]।

$$u \quad \frac{1}{2}\ _0 E^2 \qquad (2.77)$$

दोनों दशाओं में ऊर्जा क्षेत्र की तीव्रता के समानुपाती है। समीकरण (6.20) तथा (2.77) विशेष स्थितियों क्रमशः एक परिनालिका तथा एक समांतर प्लेट संधारित्र के लिए व्युत्पन्न किए गए हैं। लेकिन वे व्यापक हैं तथा विश्व के किसी भी ऐसे स्थान के लिए सत्य है जिसमें कोई चुंबकीय क्षेत्र अथवा/और विद्युतीय क्षेत्र विद्यमान है।

उदाहरण 6.10

प्रत्यावर्ती धारा जनित्र का प्रभावी सजीव चित्रण
http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/generator/ac.html
भौतिकी

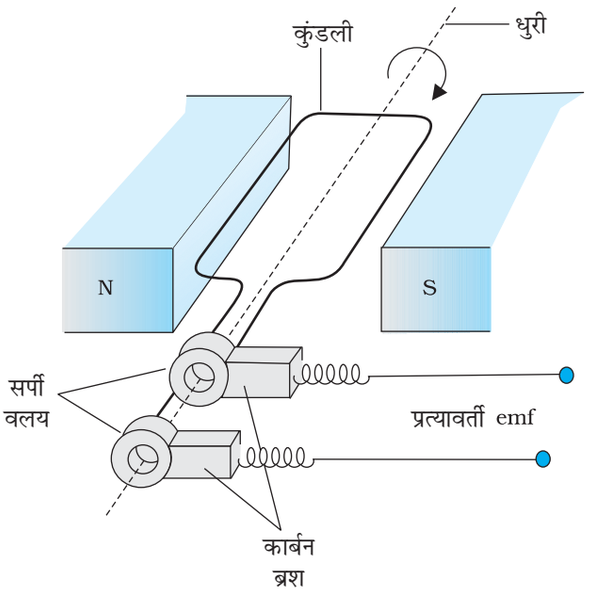
6.10 प्रत्यावर्ती धारा जनित्र

विद्युत चुंबकीय प्रेरण परिघटना का प्रौद्योगिक रूप से कई प्रकार से उपयोग किया गया है। एक असाधारण तथा महत्वपूर्ण उपयोग प्रत्यावर्ती धारा (ac) उत्पादन है। 100 MW सामर्थ्य का आधुनिक प्रत्यावर्ती धारा जनित्र एक अत्यंत विकसित मशीन है। इस अनुच्छेद में, हम इस मशीन के मूल सिद्धांतों का वर्णन करेंगे। इस मशीन के विकास का श्रेय यूगोस्लाव वैज्ञानिक निकोला टेस्ला को जाता है। जैसा कि अनुच्छेद 6.3 में संकेत किया गया था, किसी लूप में विद्युत वाहक बल या धारा प्रेरित करने के लिए, एक विधि यह है कि लूप के अभिविन्यास में अथवा इसके प्रभावी क्षेत्रफल

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 224 27-12-2012, 15:55

में परिवर्तन किया जाए। जब कुंडली एक चुंबकीय क्षेत्र **B** में घूर्णन करती है तो लूप का (क्षेत्र के अभिलंबवत) प्रभावी क्षेत्रफल $A \cos \theta$ है, यहाँ θ, **A** तथा **B** के बीच का कोण है। फ्लक्स परिवर्तन करने की यह विधि, एक सरल प्रत्यावर्ती धारा जनित्र का कार्य सिद्धांत है। जनित्र यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करता है।

प्रत्यावर्ती धारा जनित्र के मूल अवयव चित्र 6.16 में दर्शाए गए हैं। इसमें एक कुंडली होती है जो रोटर शैफ्ट (roter shaft) पर आरोपित होती है। कुंडली का घूर्णन अक्ष चुंबकीय क्षेत्र की दिशा के लंबवत है। कुंडली (जिसे आर्मेचर कहते हैं) को किसी एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में किसी बाह्य साधन द्वारा यांत्रिक विधि से घूर्णन कराया जाता है। कुंडली के घूमने से, इसमें चुंबकीय फ्लक्स परिवर्तित होता है, जिससे कि कुंडली में एक विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है। कुंडली के सिरों को सर्पी वलयों (slip rings) तथा ब्रुशों (brushes) की सहायता से एक बाह्य परिपथ से जोड़ा जाता है।



चित्र 6.16 प्रत्यावर्ती धारा जनित्र।

जब कुंडली को एकसमान कोणीय चाल ω से घूर्णन कराया जाता है तो चुंबकीय क्षेत्र सदिश **B** तथा क्षेत्रफल सदिश **A** के बीच कोण θ का मान किसी समय t पर $\theta = \omega t$ है (यह मानते हुए कि जब $t = 0$, $\theta = 0^\circ$) है। परिणामस्वरूप, कुंडली का प्रभावी क्षेत्रफल, जिसमें चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ होकर गुजरती हैं, समय के साथ परिवर्तित होता है। समीकरण (6.1) के अनुसार किसी समय t पर फ्लक्स है :

$$\Phi_B = BA \cos \theta = BA \cos \omega t$$

फैराडे के नियम से, N फेरों वाली घूर्णी कुंडली के लिए प्रेरित विद्युत वाहक बल होगा

$$-N\frac{d\ _B}{dt} \quad -NBA\frac{d}{dt}(\cos \quad t)$$

अत:, विद्युत वाहक बल का तात्क्षणिक मान है

$$\varepsilon = NBA\,\omega\ \sin \omega t \qquad (6.21)$$

यहाँ $NBA\omega$ विद्युत वाहक बल का अधिकतम मान है, जो $\sin \omega t = \pm 1$ पर प्राप्त होता है। यदि हम $NBA\omega$ को ε_0 से दर्शाएँ, तब

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t \qquad (6.22)$$

क्योंकि ज्या फलन (sine function) का मान +1 से –1 के बीच बदलता है, विद्युत वाहक बल का चिह्न या ध्रुवता समय के साथ परिवर्तित होता है। चित्र 6.17 से नोट कीजिए कि जब $\theta = 90^\circ$ या $\theta = 270^\circ$ होता है तो विद्युत वाहक बल अपने चरम मान पर होता है क्योंकि इन बिंदुओं पर फ्लक्स में परिवर्तन अधिकतम है।

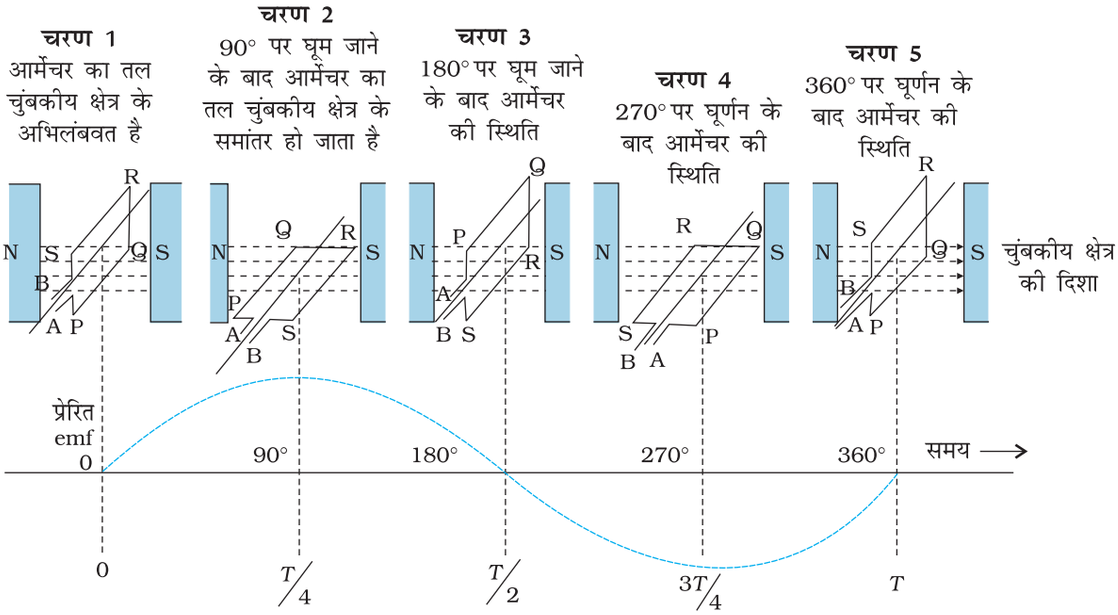
क्योंकि धारा की दिशा आवर्ती रूप से परिवर्तित होती है इसलिए धारा को *प्रत्यावर्ती धारा* (ac) कहते हैं। क्योंकि $\omega = 2\pi\nu$, समीकरण (6.22) को हम निम्न प्रकार से लिख सकते हैं–

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin 2\pi\, \nu\, t \qquad (6.23)$$

यहाँ, ν, जनित्र की कुंडली (आर्मेचर) के परिक्रमण की आवृत्ति है।

ध्यान रखिए कि समीकरण (6.22) तथा (6.23) विद्युत वाहक बल का तात्क्षणिक मान बतलाते हैं तथा ε, $+\varepsilon_0$ तथा $-\varepsilon_0$ के बीच आवर्ती रूप से परिवर्तित होता है। हम अध्याय 7 में सीखेंगे कि प्रत्यावर्ती वोल्टता तथा धारा का काल औसत मान कैसे ज्ञात करते हैं।

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 225 27-12-2012, 15:55



चित्र 6.17 एक चुंबकीय क्षेत्र में घूर्णन करते तार के लूप में एक प्रत्यावर्ती विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है।

व्यावसायिक जनित्रों में, आर्मेचर को घुमाने के लिए आवश्यक यांत्रिक ऊर्जा ऊँचाई से गिरते हुए पानी द्वारा प्राप्त की जाती है, उदाहरण के लिए, बाँधों द्वारा। इन्हें *जल-विद्युत जनित्र (hydro-electric generator)* कहते हैं। विकल्पतः, कोयला या अन्य स्रोतों का उपयोग करके, पानी को गर्म करके भाप पैदा करते हैं। उच्च दाब पर भाप को आर्मेचर को घुमाने के लिए प्रयोग में लाते हैं। इन्हें *तापीय जनित्र (thermal generator)* कहते हैं। कोयले के स्थान पर यदि नाभिकीय ईंधन का प्रयोग किया जाता है तो हमें नाभिकीय शक्ति प्राप्त होती है। आधुनिक जनित्र 500 MW उच्च विद्युत शक्ति उत्पन्न कर सकते हैं, अर्थात् इनसे 100 W के 50 लाख बल्ब एक साथ जलाए जा सकते हैं। अधिकांश जनित्रों में कुंडलियों को अचर रखा जाता है तथा विद्युत चुंबकों को घुमाया जाता है। भारत में जनित्रों में घूर्णन आवृत्ति 50 Hz है। कुछ देशों में, जैसे अमेरिका (USA) में यह आवृत्ति 60 Hz है।

उदाहरण 6.11

उदाहरण 6.11 कमला एक स्थिर साइकिल के पैडल को घुमाती है। पैडल का संबंध 100 फेरों तथा 0.10 m^2 क्षेत्रफल वाली एक कुंडली से है। कुंडली प्रति सेकंड आधा परिक्रमण (चक्कर) कर पाती है तथा यह एक 0.01 T तीव्रता वाले एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में, जो कुंडली के घूर्णन अक्ष के लंबवत है, रखी है। कुंडली में उत्पन्न होने वाली अधिकतम वोल्टता क्या होगी?

हल यहाँ $f = 0.5$ Hz; $N = 100$, $A = 0.1$ m^2 तथा $B = 0.01$ T। समीकरण (6.21) लगाने पर

$\varepsilon_0 = NBA\,(2\,\pi\,\nu)$

$= 100 \times 0.01 \times 0.1 \times 2 \times 3.14 \times 0.5$

$= 0.314$ V

अधिकतम वोल्टता 0.314 V है।

हम आपसे आग्रह करते हैं कि विद्युत शक्ति उत्पादन के लिए वैकल्पिक संभावनाओं का पता लगाएँ।

पक्षियों का प्रवसन

पक्षियों का प्रवसन (Migration) पैटर्न जीव विज्ञान के क्षेत्र में और वास्तव में विज्ञान के सभी क्षेत्रों में एक रहस्य बना हुआ है। उदाहरण के लिए, प्रत्येक सर्दी में साइबेरिया से पक्षी भारतीय उपमहाद्वीप के जल-स्थलों में बिना कोई गलती किए उड़ते हुए पहुँच जाते हैं। कुछ चिंतकों ने यह सुझाव दिया है कि इस प्रवसन पैटर्न के पीछे विद्युत चुंबकीय प्रेरण हो सकता है। पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र पृथ्वी के विकासीय इतिहास में सदैव उपस्थित माना जाता रहा है। प्रवसन करने वाले पक्षियों के लिए दिशा ज्ञात करने में यह चुंबकीय क्षेत्र अत्यंत लाभकारी हो सकता है। जहाँ तक हमें ज्ञात है पक्षियों में किसी प्रकार के लौह चुंबकीय पदार्थ के पाए जाने की पुष्टि नहीं हुई है। अत: विद्युत चुंबकीय प्रेरण ही प्रवसन की दिशा निर्धारण में युक्तिसंगत प्रक्रम हो सकता है। एक इष्टतम (optimal) स्थिति पर विचार करें: माना पक्षियों के मार्ग में पृथ्वी के चुंबकत्व की तीव्रता **B** है, पक्षी की गति **v** है तथा पक्षी के शरीर में दो विशिष्ट बिन्दुओं की दूरी l है तथा ये तीनों सदिश अन्योन्य रूप से एक-दूसरे के लंबवत हैं। तब गतिक विद्युत वाहक बल के समीकरण (6.5) से

$$\varepsilon = Blv$$

अब $B = 4 \times 10^{-5}$ T, $l = 2$ cm चौड़ा, तथा $v = 10$ m/s लेने पर हमें प्राप्त होगा

$$\varepsilon = 4 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-2} \times 10 \text{ V} = 8 \times 10^{-6} \text{ V}$$

$$= 8 \ \mu\text{V}$$

यह अत्यंत कम विभवांतर सुझाता है कि हमारी परिकल्पना की वैधता संदेहास्पद है। कुछ प्रकार की मछलियाँ अवश्य इतने अल्प विभवांतर को संसूचित कर सकती हैं। तथापि, इन मछलियों में कुछ विशेष कोशिकाओं (cells) की पहचान की गई है, जो अत्यल्प विभवांतर का संसूचन कर सकती हैं। पक्षियों में इस प्रकार की कोशिकाओं की पहचान नहीं की जा सकी है। अत: पक्षियों में प्रवसन आज भी एक गुत्थी ही है।

सारांश

1. क्षेत्रफल **A** की किसी सतह को एकसमान चुंबकीय क्षेत्र **B** में रखने पर उसमें से गुजरने वाले चुंबकीय फ्लक्स को निम्न प्रकार परिभाषित कर सकते हैं।

   $\Phi_B = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} = BA \cos \theta$

   यहाँ θ, **B** एवं **A** के बीच का कोण है।
2. फैराडे के विद्युत चुंबकीय प्रेरण के नियम के अनुसार N फेरे युक्त कुंडली में प्रेरित विद्युत वाहक बल उससे गुजरने वाले चुंबकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर के तुल्य होता है

   $$N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

   यहाँ Φ_B एक फेरे से संबद्ध चुंबकीय फ्लक्स है। यदि परिपथ एक बंद परिपथ हो तो उसमें एक धारा $I = \varepsilon/R$ स्थापित हो जाती है, जहाँ R परिपथ का प्रतिरोध है।
3. लेंज के नियम के अनुसार, प्रेरित विद्युत वाहक बल की ध्रुवता इस प्रकार होती है कि वह उस दिशा में धारा प्रवाहित करे, जो उसी परिवर्तन का विरोध करे जिसके कारण उसकी उत्पत्ति हुई है। फैराडे द्वारा निष्पादित व्यंजक में ऋण चिह्न इसी बात का द्योतक है।
4. यदि एक l लंबाई की धात्विक छड़ को एकसमान चुंबकीय क्षेत्र B के लंबवत रखें तथा इसे क्षेत्र के लंबवत v वेग से चलाएँ तो इसके सिरों के बीच प्रेरित विद्युत वाहक बल (जिसे गतिक विद्युत वाहक बल कहते हैं) का मान है

   $\varepsilon = Blv$
5. परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र के निकट स्थित धातु (कोई चालक) की वस्तुओं में धारा लूप स्थापित हो जाते हैं। इन लूपों में ऊष्मा के रूप में विद्युत ऊर्जा क्षयित होती है। ऐसी धाराओं को *भँवर धाराएँ* कहते हैं।
6. प्रेरकत्व, फ्लक्स बंधता तथा धारा का अनुपात है। इसका मान $N\Phi/I$ होता है।

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 227 27-12-2012, 15:55

7. किसी कुंडली (कुंडली 2) में धारा परिवर्तन निकट स्थित कुंडली (कुंडली 1) में प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न कर सकता है। इस संबंध को

$$_1 \quad M_{12}\frac{dI_2}{dt}$$

द्वारा व्यक्त करते हैं। यहाँ राशि M_{12} कुंडली 1 का कुंडली 2 के सापेक्ष अन्योन्य प्रेरकत्व है। M_{21} को भी इसी प्रकार परिभाषित किया जा सकता है। इन दो प्रेरकत्वों में एक सामान्य तुल्यता होती है।

$M_{12} = M_{21}$

8. जब किसी कुंडली में धारा परिवर्तन होता है तो वह परिवर्तन कुंडली में एक विरोधी विद्युत वाहक बल को उत्पन्न करता है। इस स्व-प्रेरित विद्युत वाहक बल का मान निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है :

$$L\frac{dI}{dt}$$

यहाँ L कुंडली का स्व-प्रेरकत्व है। यह कुंडली के जड़त्व की माप है जो परिपथ में किसी भी धारा परिवर्तन का विरोध करता है।

9. किसी लंबी परिनालिका जिसकी क्रोड μ_r चुंबकशीलता के पदार्थ की है, का स्व-प्रेरकत्व निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है,

$L = \mu_r \mu_0 n^2 A l$

यहाँ A परिनालिका का अनुप्रस्थ काट, l उसकी लंबाई तथा n उसकी इकाई लंबाई में लपेटों की संख्या को व्यक्त करते हैं।

10. किसी प्रत्यावर्ती धारा जनित्र में विद्युत चुंबकीय प्रेरण द्वारा यांत्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में रूपांतरित करते हैं। यदि N फेरों वाली तथा A अनुप्रस्थ काट वाली कुंडली एकसमान चुंबकीय क्षेत्र B में प्रति सेकंड ν चक्कर लगाए तो गतिक विद्युत वाहक बल का मान

$\varepsilon = NBA\,(2\pi\nu)\sin(2\pi\nu t)$

द्वारा व्यक्त किया जाता है। यहाँ हमने मान लिया है कि $t = 0$ s, पर कुंडली चुंबकीय क्षेत्र के अभिलंबवत है।

राशि	प्रतीक	मात्रक	विमाएँ	समीकरण
चुंबकीय फ्लक्स	Φ_B	Wb (वेबर)	$[ML^2T^{-2}A^{-1}]$	$\Phi_B = \mathbf{B}\cdot\mathbf{A}$
विद्युत वाहक बल (emf)	ε	V (वोल्ट)	$[ML^2T^{-3}A^{-1}]$	$\varepsilon = d(N\ _B)/dt$
अन्योन्य प्रेरकत्व	M	H (हेनरी)	$[ML^2T^{-2}A^{-2}]$	$\varepsilon_1 \quad M_{12}\ dI_2/dt$
स्व-प्रेरकत्व	L	H (हेनरी)	$[ML^2T^{-2}A^{-2}]$	$L\ dI/dt$

विचारणीय विषय

1. विद्युत एवं चुंबकत्व का एक-दूसरे के साथ घनिष्ठ संबंध है। उन्नीसवीं शताब्दी के प्रारंभ में आर्स्टेड, ऐम्पियर एवं अन्य द्वारा किए गए प्रयोगों ने सिद्ध कर दिया कि गतिमान आवेश (धारा) चुंबकीय क्षेत्र की उत्पत्ति करते हैं। कुछ समय पश्चात सन 1830 के आसपास फैराडे तथा हेनरी द्वारा किए गए प्रयोगों ने स्पष्ट रूप से प्रदर्शित किया कि गतिमान चुंबक विद्युत धारा प्रेरित (उत्पन्न) करते हैं। गुरुत्वीय, विद्युत चुंबकीय, क्षीण तथा प्रबल नाभिकीय बल एक-दूसरे से संबंधित हैं?
2. किसी बंद परिपथ में, विद्युत धारा इस प्रकार उत्पन्न होती है जिससे कि यह परिवर्ती चुंबकीय फ्लक्स का विरोध कर सके। यह ऊर्जा संरक्षण के सिद्धांत के अनुरूप है। तथापि, एक खुले

Chapter 6 (Hindi)Final.PMD 228 27-12-2012, 15:55

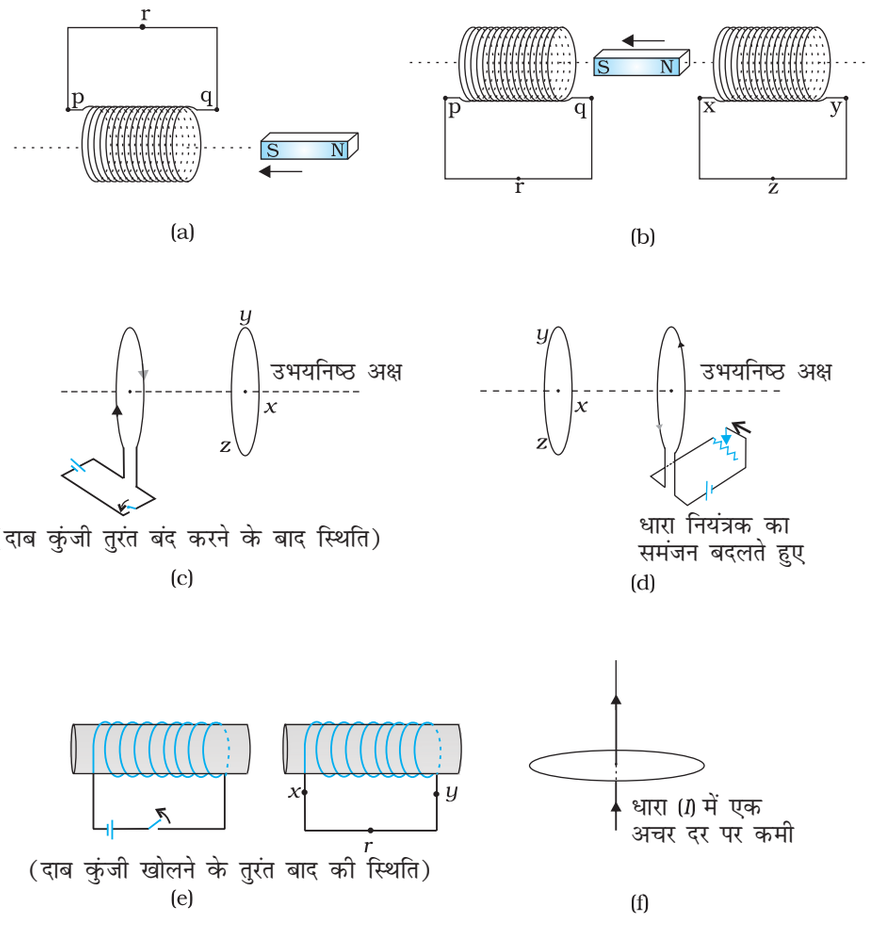
परिपथ में प्रेरित विद्युत वाहक बल इसके सिरों पर उत्पन्न होता है। यह फ्लक्स परिवर्तन से किस प्रकार संबंधित है।

3. अनुच्छेद 6.5 में गतिक विद्युत वाहक बल की विवेचना की गई है। इस अवधारणा का निष्पादन हम गतिमान आवेश पर लगने वाले लोरेंज़ बल का प्रयोग करते हुए फैराडे के नियम से भी स्वतंत्रतापूर्वक कर सकते हैं। तथापि, यदि आवेश स्थिर भी हों [तथा लोरेंज़ बल का $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ पद क्रियात्मक नहीं है] तब भी समय के साथ परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र के कारण एक प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है। अत: स्थिर चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेश एवं समय के साथ परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र में स्थिर आवेश फैराडे के नियम के लिए सममित स्थिति में प्रतीत होते हैं। यह फैराडे के नियम के लिए सापेक्षता के सिद्धांत की प्रासंगिकता पर ललचाने वाला संकेत देता है।

4. जब एक ताम्र पट्टिका को चुंबक के ध्रुवों के बीच दोलित कराया जाता है तो पट्टिका की गति अवमंदित हो जाती है। भँवर धाराओं द्वारा अवमंदन बल कैसे उत्पन्न होता है?

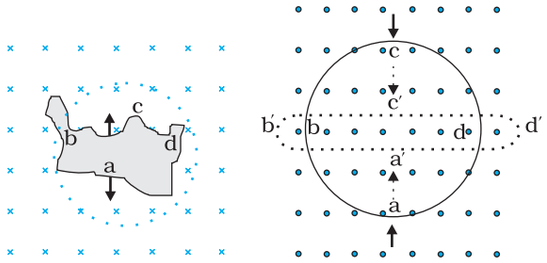
अभ्यास

6.1 चित्र 6.18 (a) से (f) में वर्णित स्थितियों के लिए प्रेरित धारा की दिशा की प्रागुक्ति (predict) कीजिए।



चित्र 6.18

6.2 चित्र 6.19 में वर्णित स्थितियों के लिए लेंज के नियम का उपयोग करते हुए प्रेरित विद्युत धारा की दिशा ज्ञात कीजिए।
(a) जब अनियमित आकार का तार वृत्ताकार लूप में बदल रहा हो;
(b) जब एक वृत्ताकार लूप एक सीधे बारीक तार में विरूपित किया जा रहा हो।



(a) (b)

चित्र 6.19

6.3 एक लंबी परिनालिका के इकाई सेंटीमीटर लंबाई में 15 फेरे हैं। उसके अंदर $2.0\ cm^2$ का एक छोटा-सा लूप परिनालिका की अक्ष के लंबवत रखा गया है। यदि परिनालिका में बहने वाली धारा का मान 2.0 A में 4.0 A से 0.1 s कर दिया जाए तो धारा परिवर्तन के समय प्रेरित विद्युत वाहक बल कितना होगा?

6.4 एक आयताकार लूप जिसकी भुजाएँ 8 cm एवं 2 cm हैं, एक स्थान पर थोड़ा कटा हुआ है। यह लूप अपने तल के अभिलंबवत 0.3 T के एकसमान चुंबकीय क्षेत्र से बाहर की ओर निकल रहा है। यदि लूप के बाहर निकलने का वेग $1\ cm\ s^{-1}$ है तो कटे भाग के सिरों पर उत्पन्न विद्युत वाहक बल कितना होगा, जब लूप की गति अभिलंबवत हो (a) लूप की लंबी भुजा के (b) लूप की छोटी भुजा के। प्रत्येक स्थिति में उत्पन्न प्रेरित वोल्टता कितने समय तक टिकेगी?

6.5 1.0 m लंबी धातु की छड़ उसके एक सिरे से जाने वाले अभिलंबवत अक्ष के परित: $400\ rad\ s^{-1}$ की कोणीय आवृत्ति से घूर्णन कर रही है। छड़ का दूसरा सिरा एक धात्विक वलय से संपर्कित है। अक्ष के अनुदिश सभी जगह 0.5 T का एकसमान चुंबकीय क्षेत्र उपस्थित है। वलय तथा अक्ष के बीच स्थापित विद्युत वाहक बल की गणना कीजिए।

6.6 एक वृत्ताकार कुंडली जिसकी त्रिज्या 8.0 cm तथा फेरों की संख्या 20 है अपने ऊर्ध्वाधर व्यास के परित: $50\ rad\ s^{-1}$ की कोणीय आवृत्ति से 3.0×10^{-2} T के एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में घूम रही है। कुंडली में उत्पन्न अधिकतम तथा औसत प्रेरित विद्युत वाहक बल का मान ज्ञात कीजिए। यदि कुंडली 10 Ω प्रतिरोध का एक बंद लूप बनाए तो कुंडली में धारा के अधिकतम मान की गणना कीजिए। जूल ऊष्मन के कारण क्षयित औसत शक्ति की गणना कीजिए। यह शक्ति कहाँ से प्राप्त होती है?

6.7 पूर्व से पश्चिम दिशा में विस्तृत एक 10 m लंबा क्षैतिज सीधा तार $0.30 \times 10^{-4}\ Wb\ m^{-2}$ तीव्रता वाले पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक से लंबवत $5.0\ m\ s^{-1}$ की चाल से गिर रहा है।
(a) तार में प्रेरित विद्युत वाहक बल का तात्क्षणिक मान क्या होगा?
(b) विद्युत वाहक बल की दिशा क्या है?
(c) तार का कौन-सा सिरा उच्च विद्युत विभव पर है?

6.8 किसी परिपथ में 0.1 s में धारा 5.0 A से 0.0 A तक गिरती है। यदि औसत प्रेरित विद्युत वाहक बल 200 V है तो परिपथ में स्वप्रेरकत्व का आकलन कीजिए।

6.9 पास-पास रखे कुंडलियों के एक युग्म का अन्योन्य प्रेरकत्व 1.5 H है। यदि एक कुंडली में 0.5 s में धारा 0 से 20 A परिवर्तित हो, तो दूसरी कुंडली की फ्लक्स बंधता में कितना परिवर्तन होगा?

6.10 एक जेट प्लेन पश्चिम की ओर 1800 km/h वेग से गतिमान है। प्लेन के पंख 25 m लंबे हैं। इनके सिरों पर कितना विभवांतर उत्पन्न होगा? पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का मान उस स्थान पर 5×10^{-4} T तथा नति कोण (dip angle) 30° है।

अतिरिक्त अभ्यास

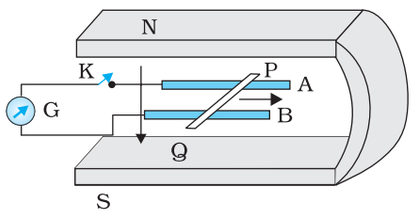
6.11 मान लीजिए कि अभ्यास 6.4 में उल्लिखित लूप स्थिर है किन्तु चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने वाले विद्युत चुंबक में धारा का मान कम किया जाता है जिससे चुंबकीय क्षेत्र का मान अपने प्रारंभिक मान 0.3 T से 0.02 T s^{-1} की दर से घटता है। अब यदि लूप का कटा भाग जोड़ दें जिससे प्राप्त बंद लूप का प्रतिरोध 1.6 Ω हो तो इस लूप में ऊष्मन के रूप में शक्ति ह्रास क्या है? इस शक्ति का स्रोत क्या है?

6.12 12 cm भुजा वाला वर्गाकार लूप जिसकी भुजाएँ X एवं Y अक्षों के समांतर हैं, x-दिशा में 8 cm s^{-1} की गति से चलाया जा रहा है। लूप तथा उसकी गति का परिवेश धनात्मक z-दिशा के चुंबकीय क्षेत्र का है। चुंबकीय क्षेत्र न तो एकसमान है और न ही समय के साथ नियत है। इस क्षेत्र की ऋणात्मक दिशा में प्रवणता 10^{-3} T cm^{-1} है (अर्थात ऋणात्मक x-अक्ष की दिशा में इकाई सेंटीमीटर दूरी पर क्षेत्र के मान में 10^{-3} T cm^{-1} की वृद्धि होती है), तथा क्षेत्र के मान में 10^{-3} T s^{-1} की दर से कमी भी हो रही है। यदि कुंडली का प्रतिरोध 4.50 mΩ हो तो प्रेरित धारा का परिमाण एवं दिशा ज्ञात कीजिए।

6.13 एक शक्तिशाली लाउडस्पीकर के चुंबक के ध्रुवों के बीच चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता के परिमाण का मापन किया जाना है। इस हेतु एक छोटी चपटी 2 cm^2 क्षेत्रफल की अन्वेषी कुंडली (search coil) का प्रयोग किया गया है। इस कुंडली में पास-पास लिपटे 25 फेरे हैं तथा इसे चुंबकीय क्षेत्र के लंबवत व्यवस्थित किया गया है और तब इसे द्रुत गति से क्षेत्र के बाहर निकाला जाता है। तुल्यत: एक अन्य विधि में अन्वेषी कुंडली को 90° से तेजी से घुमा देते हैं जिससे कुंडली का तल चुंबकीय क्षेत्र के समांतर हो जाए। इन दोनों घटनाओं में कुल 7.5 mC आवेश का प्रवाह होता है (जिसे परिपथ में प्रक्षेप धारामापी (ballistic galvanometer) लगाकर ज्ञात किया जा सकता है)। कुंडली तथा धारामापी का संयुक्त प्रतिरोध 0.50 Ω है। चुंबक की क्षेत्र तीव्रता का आकलन कीजिए।

6.14 चित्र 6.20 में एक धातु की छड़ PQ को दर्शाया गया है जो पटरियों AB पर रखी है तथा एक स्थायी चुंबक के ध्रुवों के मध्य स्थित है। पटरियाँ, छड़ एवं चुंबकीय क्षेत्र परस्पर अभिलंबवत दिशाओं में हैं। एक गैल्वेनोमीटर (धारामापी) G को पटरियों से एक स्विच K की सहायता से संयोजित किया गया है। छड़ की लंबाई = 15 cm, B = 0.50 T तथा पटरियों, छड़ तथा धारामापी से बने बंद लूप का प्रतिरोध = 9.0 mΩ है। क्षेत्र को एकसमान मान लें।

(a) माना कुंजी K खुली (open) है तथा छड़ 12 cm s^{-1} की चाल से दर्शायी गई दिशा में गतिमान है। प्रेरित विद्युत वाहक बल का मान एवं ध्रुवणता (polarity) बताइए।



चित्र 6.20

(b) क्या कुंजी K खुली होने पर छड़ के सिरों पर आवेश का आधिक्य हो जाएगा? क्या होगा यदि कुंजी K बंद (close) कर दी जाए?

(c) जब कुंजी K खुली हो तथा छड़ एकसमान वेग से गति में हो तब भी इलेक्ट्रॉनों पर कोई परिणामी बल कार्य नहीं करता यद्यपि उन पर छड़ की गति के कारण चुंबकीय बल कार्य करता है। कारण स्पष्ट कीजिए।

(d) कुंजी बंद होने की स्थिति में छड़ पर लगने वाले अवमंदन बल का मान क्या होगा?

(e) कुंजी बंद होने की स्थिति में छड़ को उसी चाल (=12 cm s^{-1}) से चलाने हेतु कितनी शक्ति (बाह्य कारक के लिए) की आवश्यकता होगी?

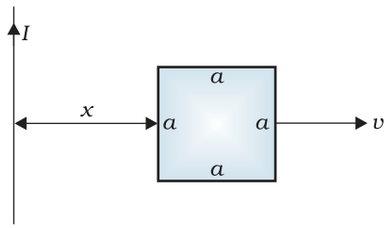
(f) बंद परिपथ में कितनी शक्ति का ऊष्मा के रूप में क्षय होगा? इस शक्ति का स्रोत क्या है?

(g) गतिमान छड़ में उत्पन्न विद्युत वाहक बल का मान क्या होगा यदि चुंबकीय क्षेत्र की दिशा पटरियों के लंबवत होने की बजाय उनके समांतर हो?

6.15 वायु के क्रोड वाली एक परिनालिका में, जिसकी लंबाई 30 cm तथा अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल 25 cm^2 तथा कुल फेरे 500 हैं, 2.5 A धारा प्रवाहित हो रही है। धारा को 10^{-3} s के अल्पकाल में अचानक बंद कर दिया जाता है। परिपथ में स्विच के खुले सिरों के बीच उत्पन्न औसत विद्युत वाहक बल का मान क्या होगा? परिनालिका के सिरों पर चुंबकीय क्षेत्र के परिवर्तन की उपेक्षा कर सकते हैं।

6.16 (a) चित्र 6.21 में दर्शाए अनुसार एक लंबे, सीधे, तार तथा एक वर्गाकार लूप जिसकी एक भुजा की लंबाई a है, के लिए अन्योन्य प्रेरकत्व का व्यंजक प्राप्त कीजिए।

(b) अब मान लीजिए कि सीधे तार में 50 A की धारा प्रवाहित हो रही है तथा लूप एक स्थिर वेग v = 10 m/s से दाईं ओर को गति कर रहा है। लूप में प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिकलन उस क्षण पर कीजिए जब x = 0.2 m हो। लूप के लिए a = 0.1 m लीजिए तथा यह मान लीजिए कि उसका प्रतिरोध बहुत अधिक है।



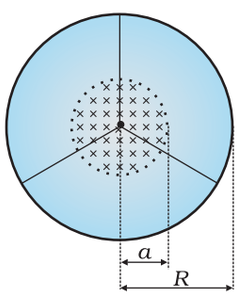
चित्र 6.21

6.17 किसी M द्रव्यमान तथा R त्रिज्या वाले एक पहिए के किनारे (rim) पर एक रैखिक आवेश स्थापित किया गया है जिसकी प्रति इकाई लंबाई पर आवेश का मान λ है। पहिए के स्पोक (slope) हलके एवं कुचालक हैं तथा वह अपनी अक्ष के परितः घर्षण रहित घूर्णन हेतु स्वतंत्र है जैसा कि चित्र 6.22 में दर्शाया गया है। पहिए के वृत्तीय भाग पर, रिम के अंदर एकसमान चुंबकीय क्षेत्र विस्तरित है। इसे इस प्रकार परिभाषित किया गया है,

$\mathbf{B} = -B_0\,\mathbf{k}$ $\quad (r \le a;\ a < R)$

$= 0$ $\quad$ (अन्यथा)

चुंबकीय क्षेत्र को अचानक 'ऑफ़' (switched off) करने के पश्चात, पहिए का कोणीय वेग ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.22

अध्याय 7

प्रत्यावर्ती धारा

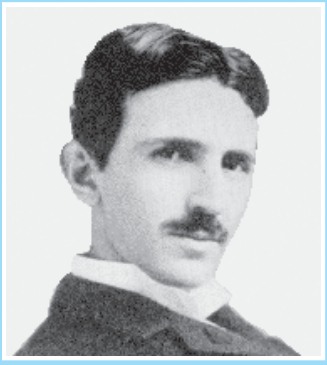
7.1 भूमिका

अब तक हमने *दिष्टधारा* (dc) स्रोतों एवं दिष्टधारा स्रोतों से युक्त परिपथों पर विचार किया है। समय के साथ इन धाराओं की दिशा में परिवर्तन नहीं होता। तथापि, समय के साथ परिवर्तित होने वाली धाराओं और वोल्टताओं का मिलना एक आम बात है। हमारे घरों एवं दफ्तरों में पाया जाने वाला मुख्य विद्युत प्रदाय (electric mains supply) एक ऐसी ही वोल्टता का स्रोत है जो समय के साथ ज्या फलन (sine function) की भाँति परिवर्तित होता है। ऐसी वोल्टता को *प्रत्यावर्ती* (ac) *वोल्टता* तथा किसी परिपथ में इसके द्वारा अचालित धारा को *प्रत्यावर्ती धारा* (ac धारा)* कहते हैं। आजकल जिन वैद्युत युक्तियों का हम उपयोग करते हैं उनमें से अधिकांश के लिए ac वोल्टता की ही आवश्यकता होती है। इसका मुख्य कारण यह है कि अधिकांश विद्युत कंपनियों द्वारा बेची जा रही विद्युत ऊर्जा प्रत्यावर्ती धारा के रूप में ही संप्रेषित एवं वितरित होती है। dc पर ac के उपयोग को वरीयता दिए जाने का मुख्य कारण यह है कि ac वोल्टताओं को ट्रांसफॉर्मरों द्वारा आसानी से एवं दक्षता के साथ एक वोल्टता से दूसरी वोल्टता में बदला जा सकता है। इसके अतिरिक्त ac के रूप में लंबी दूरियों तक वैद्युत ऊर्जा का संप्रेषण भी अपेक्षाकृत कम खर्चीला होता है। प्रत्यावर्ती धारा परिपथ ऐसे अभिलक्षण प्रदर्शित करता है जिनका उपयोग दैनिक जीवन में काम आने वाली अनेक युक्तियों में किया जाता है। उदाहरणार्थ, जब हम अपने रेडियो को अपने मनपसंद स्टेशन से समस्वरित करते हैं तो ac परिपथों के एक विशिष्ट गुण का लाभ उठाते हैं जो उन अनेक गुणों में से एक है जिनका अध्ययन आप इस अध्याय में करेंगे।

---

* ac वोल्टता एवं ac धारा, ये वाक्यांश असंगत एवं अनुप्रयुक्त हैं, क्योंकि इनका शाब्दिक अर्थ है क्रमशः 'प्रत्यावर्ती धारा वोल्टता' एवं 'प्रत्यावर्ती धारा धारा'। तब भी संकेताक्षर ac समय के अनुसार सरल आवर्ती क्रम में परिवर्तित होने वाली वैद्युत राशि को व्यक्त करने के लिए इतनी सार्वभौमिक स्वीकृति पा चुका है कि इसके प्रयोग में हम प्रचलित परिपाटी का ही अनुसरण करेंगे। इसके अतिरिक्त, सामान्यतः प्रयुक्त होने वाले शब्द *वोल्टता* का अर्थ दो बिंदुओं के बीच विभवांतर होता है।

निकोला टेस्ला (1836 – 1943)



निकोला टेस्ला (1836 – 1943) युगोस्लाविया के वैज्ञानिक, आविष्कर्ता एवं प्रतिभावान व्यक्ति। चुंबकीय क्षेत्र को घुमाने का उनका विचार ही व्यावहारिक रूप में सब प्रत्यावर्ती धारा मशीनों का आधार बना जिसके कारण विद्युत शक्ति के युग में प्रवेश किया जा सका। अन्य वस्तुओं के अतिरिक्त, प्रेरण मोटर, ac शक्ति की बहुफेज़ प्रणाली; रेडियो, टेलीविजन तथा अन्य वैद्युत उपकरणों पर लगने वाली उच्च आवृत्ति प्रेरण कुंडली (टेस्ला कुंडली) का आविष्कार भी उन्होंने किया। चुंबकीय क्षेत्र के SI मात्रक का नाम उनके सम्मान में रखा गया है।

7.2 प्रतिरोधक पर प्रयुक्त ac वोल्टता

चित्र 7.1 में ac वोल्टता स्रोत ε से जुड़ा प्रतिरोधक R दर्शाया गया है। परिपथ आरेख में ac स्रोत का संकेत चिह्न $\sim$ है। यहाँ हम एक ऐसे स्रोत की बात कर रहे हैं जो अपने सिरों के बीच ज्यावक्रीय रूप में परिवर्तनशील विभवांतर उत्पन्न करता है, माना कि यह विभवांतर जिसे ac वोल्टता भी कहा जाता है, निम्नलिखित प्रकार से व्यक्त किया जाए

$$v \quad v_m \sin \quad t \qquad (7.1)$$

यहाँ v_m दोलायमान विभवांतर का आयाम एवं ω इसकी कोणीय आवृत्ति है।



चित्र 7.1 प्रतिरोधक पर प्रयुक्त ac वोल्टता।

प्रतिरोधक में प्रवाहित होने वाली धारा का मान प्राप्त करने के लिए हम चित्र 7.1 में दर्शाए गए परिपथ पर किरखोफ का लूप नियम $(t) \quad 0$, लागू करते हैं जिससे हमें प्राप्त होता है :

$$v_m \sin \quad t = i R$$

अथवा $\quad i \quad \dfrac{v_m}{R} \sin \quad t$

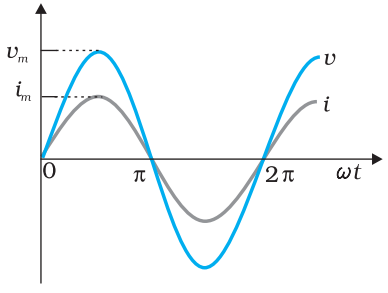
चूँकि R एक नियतांक है, हम इस समीकरण को इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं :

$$i \quad i_m \sin \quad t \qquad (7.2)$$

यहाँ धारा आयाम i_m के लिए सूत्र है :

$$i_m \quad \frac{v_m}{R} \qquad (7.3)$$

समीकरण (7.3) मात्र ओम का नियम ही है जो प्रतिरोधकों के प्रकरण में ac एवं dc दोनों प्रकार की वोल्टताओं के लिए समान रूप से लागू होता है। समीकरण (7.1) एवं समीकरण (7.2) द्वारा व्यक्त किसी शुद्ध प्रतिरोधक के सिरों के बीच लगाई गई वोल्टता एवं इसमें प्रवाहित होने वाली धारा को चित्र 7.2 में समय के फलन के रूप में आलेखित किया गया है। इस तथ्य पर विशेष ध्यान दीजिए कि v एवं i दोनों ही शून्य, न्यूनतम एवं अधिकतम मानों की स्थितियाँ साथ-साथ ही प्राप्त करती हैं। अत: स्पष्ट है कि वोल्टता एवं धारा एक दूसरे के साथ समान कला में हैं।



चित्र 7.2 शुद्ध प्रतिरोधक में वोल्टता एवं धारा एक ही कला में हैं। निम्निष्ठ, शून्य तथा उच्चिष्ठ क्रमश: एक ही समय में बनते हैं।

हम देखते हैं कि प्रयुक्त वोल्टता की भाँति ही धारा भी ज्या-वक्रीय रूप में परिवर्तित होती है और तदनुसार ही प्रत्येक चक्र में इसके धनात्मक एवं ऋणात्मक मान प्राप्त होते हैं। अत: एक संपूर्ण चक्र में तात्क्षणिक धारा मानों का योग शून्य होता है तथा माध्य धारा शून्य होती है। तथापि माध्य धारा शून्य है इस तथ्य का यह अर्थ नहीं है कि व्यय होने वाली माध्य शक्ति भी शून्य है, और विद्युत ऊर्जा का क्षय नहीं हो रहा है। जैसा कि आप

जानते हैं जूल i^2R द्वारा व्यक्त होता है और i^2 (जो सदैव धनात्मक ही होता है चाहे i धनात्मक हो या ऋणात्मक) पर निर्भर करता है, न कि i पर। अत: जब किसी प्रतिरोधक से ac धारा प्रवाहित होती है तो जूल तापन एवं वैद्युत ऊर्जा का क्षय होता है।

प्रतिरोधकता के क्षयित होने वाली तात्क्षणिक शक्ति होती है

$$p = i^2R = i_m^2 R \sin^2 \omega t \qquad (7.4)$$

एक समय चक्र में p का माध्य मान है*

$$\overline{p} \quad i^2R \quad i_m^2 R \sin^2 \quad t \qquad [7.5(a)]$$

जहाँ किसी अक्षर के ऊपर लगी रेखा (यहाँ p) उसका माध्य मान निर्दिष्ट करती है एवं <.....> यह सूचित करता है कि कोष्ठक के अंदर की राशि का माध्य लिया गया है। चूँकि i_m^2 एवं R नियत राशियाँ हैं

$$\overline{p} \quad i_m^2 R \quad \sin^2 \quad t \qquad [7.5(b)]$$

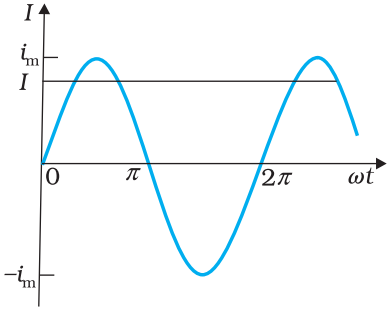
त्रिकोणमितीय सर्वसमिका $\sin^2 \omega t = (1/2)\,(1 - \cos 2\omega t)$, का उपयोग करने पर $< \sin^2 \omega t > = (1/2)\,(1 - < \cos 2\omega t >)$ और चूँकि $< \cos 2\omega t > = 0$**, इसीलिए

$$\sin^2 \quad t \quad \frac{1}{2}$$

अत:,

$$\overline{p} \quad \frac{1}{2} i_m^2 R \qquad [7.5(c)]$$

ac शक्ति को उसी रूप में व्यक्त करने के लिए जिसमें dc शक्ति ($P = i^2R$) को व्यक्त किया जाता है धारा के एक विशिष्ट मान का उपयोग किया जाता है जिसे *वर्ग माध्य मूल* (rms) अथवा प्रभावी (effective) धारा (चित्र 7.3) कहते हैं और इसे I_{rms} अथवा I द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है।



चित्र 7.3 rms धारा I, शिखरधारा i_m से सूत्र $I = i_m / \sqrt{2} = 0.707\, i_m$ द्वारा संबंधित है।



जॉर्ज वेस्टिंगहाउस (1846 – 1914)
दिष्टधारा की तुलना में प्रत्यावर्ती धारा के प्रमुख पक्षधर। अत: दिष्टधारा के समर्थक थॉमस अल्वा एडीसन से उनका सीधा संघर्ष हुआ। वेस्टिंगहाउस का पूर्ण विश्वास था कि प्रत्यावर्ती धारा प्रौद्योगिकी के हाथ में ही वैद्युतीय भविष्य की कुंजी है। उन्होंने अपने नाम वाली प्रसिद्ध कम्पनी की स्थापना की और निकोला टेस्ला एवं अन्य आविष्कारकों को प्रत्यावर्ती धारा मोटरों एवं उच्च वोल्टता पर विद्युत धारा के संप्रेषण संबंधी उपकरणों के विकास के लिए नियुक्त किया, जिससे बड़े पैमाने पर प्रकाश प्राप्त करने का मार्ग खुला।

* किसी फलन $F(t)$ का समयावधि T में माध्यमान ज्ञात करने के लिए सूत्र है $\langle F(t) \rangle \quad \frac{1}{T} \int_0^T F(t)\,dt$

** $\cos 2 \quad t \quad \frac{1}{T} \int_0^T \cos 2 \quad t\,dt \quad \frac{1}{T} \frac{\sin 2 \quad t}{2} \Big|_0^T \quad \frac{1}{2 \quad T} \sin 2 \quad T \quad 0 \quad 0$

इसे इस प्रकार व्यक्त किया जाता है

$$I \quad \sqrt{\overline{i^2}} \quad \sqrt{\frac{1}{2} i_m^2} \quad \frac{i_m}{\sqrt{2}}$$

$$= 0.707\, I_m \qquad (7.6)$$

I के पदों में व्यक्त करें तो P द्वारा निर्दिष्ट माध्य शक्ति

$$P \quad \overline{p} \quad \frac{1}{2} i_m^2 R \quad I^2 R \qquad (7.7)$$

इसी प्रकार, *rms वोल्टता* अथवा *प्रभावी वोल्टता* को हम व्यक्त करते हैं :

$$V = \frac{v_m}{\sqrt{2}} = 0.707\, v_m \qquad (7.8)$$

समीकरण (7.3) के आधार पर

$$v_m = i_m R$$

अथवा $\frac{v_m}{\sqrt{2}} \quad \frac{i_m}{\sqrt{2}} R$

अथवा $V = IR \qquad (7.9)$

समीकरण (7.9) ac धारा एवं ac वोल्टता के बीच संबंध बताती है जो dc में इन राशियों के संबंध के समान ही है। यह rms मानों की अवधारणा के लाभ दर्शाती है। rms मानों के पदों में, ac परिपथों के लिए शक्ति का समीकरण (7.7) एवं धारा तथा वोल्टता का संबंध वही है जो dc के लिए होता है।

परंपरा यह कि ac राशियों को उनके rms मानों के पदों में मापा और व्यक्त किया जाए। उदाहरणार्थ, घरेलू आपूर्ति में 220 V वोल्टता का rms मान है जिसका शिखर मान है

$$v_m = \sqrt{2}\, V = (1.414)(220\ \text{V}) = 311\ \text{V}$$

वास्तव में, I अथवा rms धारा उस dc धारा के समतुल्य है जो वही माध्य शक्ति ह्रास करेगी जो प्रत्यावर्ती धारा करती है। समीकरण (7.7) को निम्नलिखित रूप में भी प्रस्तुत कर सकते हैं–

$$P = V^2 / R = I V \quad (\text{चूँकि } V = I R)$$

उदाहरण 7.1 एक विद्युत बल्ब 220V आपूर्ति पर 100W शक्ति देने के लिए बनाया गया है। (a) बल्ब का प्रतिरोध; (b) स्रोत की शिखर वोल्टता एवं (c) बल्ब में प्रवाहित होने वाली rms धारा ज्ञात कीजिए।

हल

(a) दिया है $P = 100$ W एवं $V = 220$ V। बल्ब का प्रतिरोध है :

$$R \quad \frac{V^2}{P} \quad \frac{220\,\text{V}^{\ 2}}{100\,\text{W}} \quad 484$$

(b) स्रोत की शिखर वोल्टता

$$v_m \quad \sqrt{2}V \quad 311\,\text{V}$$

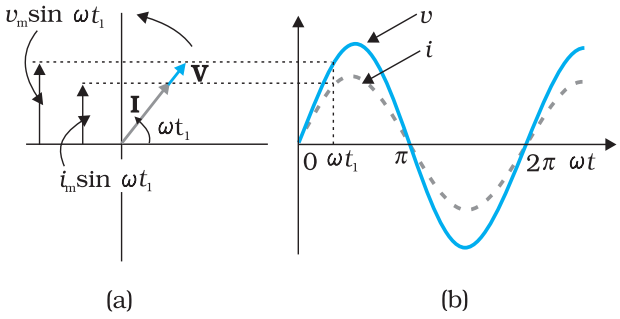
(c) चूँकि, $P = I V$

$$I \quad \frac{P}{V} \quad \frac{100\,\text{W}}{220\,\text{V}} \quad 0.450\text{A}$$

उदाहरण 7.1

7.3 ac धारा एवं वोल्टता का घूर्णी सदिश द्वारा निरूपण– कलासमंजक (फेजर्स)

पिछले अनुभाग में हमने सीखा कि किसी प्रतिरोधक में प्रवाहित होने वाली धारा तथा ac वोल्टता समान कला में रहते हैं। परन्तु प्रेरक, संधारित्र अथवा इनके संयोजन युक्त परिपथों में ऐसा नहीं होता है। ac परिपथ में धारा एवं वोल्टता के बीच कला संबंध दर्शाने के लिए हम फेजर्स की धारणा का उपयोग करते हैं। फेजर चित्र के उपयोग से ac परिपथ का विश्लेषण सरलतापूर्वक हो जाता है। फेजर* जैसा कि चित्र 7.4 में दर्शाया गया है, एक सदिश है जो मूल बिंदु के परित: कोणीय वेग ω से घूर्णन करता है। फेजर्स **V** एवं I के ऊर्ध्वाधर घटक ज्यावक्रीय रूप से परिवर्तनशील राशियाँ v एवं i निरूपित करते हैं। फेजर्स **V** एवं **I** के परिमाण इन दोलायमान राशियों के आयाम अथवा शिखरमान v_m एवं i_m निरूपित करते हैं। चित्र 7.4(a) चित्र 7.1 के संगत किसी प्रतिरोधक के सिरों से जुड़ी ac वोल्टता की, किसी क्षण t_1 पर, वोल्टता एवं धारा के फेजर्स और उनका पारस्परिक संबंध दर्शाता है। वोल्टता एवं धारा के ऊर्ध्वाधर अक्ष पर प्रक्षेप अर्थात $v_m \sin\omega t$ एवं $i_m \sin \omega t$, क्रमश:, उस क्षण विशेष पर वोल्टता एवं धारा के मान निरूपित करते हैं। ज्यों-ज्यों वे आवृत्ति ω से घूर्णन करते हैं चित्र 7.4(b) में दर्शाए गए वक्र जैसे होते हैं।



चित्र 7.4 (a) चित्र 7.1 में दर्शाए गए परिपथ के लिए फेजर आरेख (b) v एवं i तथा ωt के बीच ग्राफ।

चित्र 7.4(a) से हम यह समझ सकते हैं कि प्रतिरोधक के लिए फेजर्स **V** एवं **I** एक ही दिशा में होते हैं। ऐसा हर समय होता है। इसका अर्थ है कि वोल्टता एवं धारा के बीच कला कोण शून्य होता है।

7.4 प्रेरक पर प्रयुक्त ac वोल्टता

चित्र 7.5 एक प्रेरक के सिरों पर लगा ac स्रोत दर्शाता है। प्राय: प्रेरक के लपेटों में लगे तार का अच्छा खासा प्रतिरोध होता है, लेकिन यहाँ हम यह मानेंगे कि इस प्रेरक का प्रतिरोध नगण्य है। अत: यह परिपथ विशुद्ध प्रेरणिक ac परिपथ है। माना कि स्रोत के सिरों के बीच वोल्टता $v = v_m \sin\omega t$ है क्योंकि परिपथ में कोई प्रतिरोधक नहीं है। किरखोफ लूप नियम

(t) 0 , का उपयोग करने से

$$v \quad L\frac{di}{dt} \quad 0 \qquad (7.10)$$

यहाँ समीकरण का दूसरा पद प्रेरक में स्वप्रेरित फैराडे emf है, एवं L प्रेरक का स्व-प्रेरकत्व है। ऋणात्मक चिह्न लेंज के नियम का अनुसरण करने से



चित्र 7.5 प्रेरक से जुड़ा एक ac स्रोत।

* यद्यपि ac परिपथ में वोल्टता एवं धारा को घूर्णन करते सदिशों-फेजर्स द्वारा निरूपित किया जाता है, अपने आप में वे सदिश नहीं हैं। वे अदिश राशियाँ हैं। होता यह है, कि आवर्ती रूप से परिवर्तित होते अदिशों की कलाएँ एवं आयाम गणितीय रूप से उसी प्रकार संयोजित होते हैं जैसे कि उन्हीं परिमाण एवं दिशाओं वाले घूर्णन सदिशों के प्रक्षेप। आवर्ती रूप से परिवर्तित होने वाली अदिश राशियों को, घूर्णन सदिशों द्वारा निरूपित करने से हम इन राशियों का संयोजन एक सरल विधि द्वारा, एक पहले से ही ज्ञात नियम का प्रयोग करके, कर सकते हैं।

समाविष्ट होता है (अध्याय 6)। समीकरण (7.1) एवं समीकरण (7.10) को संयोजित करने पर

$$\frac{di}{dt} \quad \frac{v}{L} \quad \frac{v_m}{L}\sin \quad t \qquad (7.11)$$

समीकरण (7.11) में यह सन्निहित है कि धारा $i(t)$ के लिए समीकरण समय का ऐसा फलन होना चाहिए कि इसकी प्रवणता, di/dt एक ज्यावक्रीय रूप में परिवर्तनशील राशि हो जो स्रोत वोल्टता के साथ समान कला में रहती हो और जिसका आयाम v_m/L द्वारा प्राप्त होता हो। धारा का मान प्राप्त करने के लिए, हम di/dt को समय के सापेक्ष समाकलित करते हैं,

$$\frac{di}{dt}dt \quad \frac{v_m}{L} \quad \sin(\quad t)dt$$

इससे हमें प्राप्त होता है :

$$i \qquad \frac{v_m}{L}\cos(\quad t) \quad \text{नियतांक}$$

यहाँ समाकलन नियतांक की विमा, धारा की विमा होती है और यह समय पर निर्भर नहीं करती। चूँकि, स्रोत का emf शून्य के परित: सममितीय रूप से दोलन करता है; वह धारा, जो इसके कारण बहती है, भी सममितीय रूप से दोलन करती है। अत: न तो धारा का कोई नियत, न ही समय पर निर्भर करने वाला अवयव, अस्तित्व में आता है। इसलिए, समाकलन नियतांक का मान शून्य होता है।

$$\cos(\quad t) \quad \sin \quad t \quad \frac{}{2} \text{, लिखें तो}$$

$$i \quad i_m \sin \quad t \quad \frac{}{2} \qquad (7.12)$$

यहाँ $i_m \quad \frac{v_m}{L}$ धारा का आयाम है। राशि ωL प्रतिरोध के सदृश है, इसे *प्रेरकीय प्रतिघात* कहा जाता है एवं इसे X_L द्वारा व्यक्त करते हैं।

$$X_L = \omega L \qquad (7.13)$$

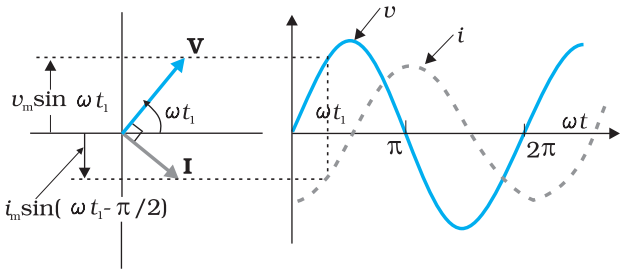
तब, धारा का आयाम है :

$$i_m \quad \frac{v_m}{X_L} \qquad (7.14)$$

प्रेरकीय प्रतिघात की विमाएँ वही हैं तो प्रतिरोध की और इसका SI मात्रक ओम (Ω) है। प्रेरकीय प्रतिघात एक शुद्ध प्रेरणिक परिपथ में धारा को वैसे ही नियंत्रित करता है जैसे प्रतिरोध एक शुद्ध प्रतिरोधक परिपथ में। प्रेरकीय प्रतिघात, प्रेरकत्व एवं धारा की आवृत्ति के अनुक्रमानुपाती होता है।

स्रोत वोल्टता एवं प्रेरक में प्रवाहित होने वाली धारा के समीकरण (7.1) एवं (7.12) की तुलना से यह ज्ञात होता है कि धारा वोल्टता से $\pi/2$ अथवा (1/4) चक्र पीछे रहती है। चित्र 7.6 (a) प्रस्तुत प्रकरण के t_1 क्षण पर, वोल्टता एवं धारा फेजर्स दर्शाता है। धारा फेजर **I** वोल्टता फेजर **V** से $\pi/2$ पीछे है। जब उन्हें ω आवृत्ति से वामावर्त दिशा में घूर्णन कराते हैं तो ये वोल्टता एवं धारा जनित करते हैं जो क्रमश: समीकरण (7.1) एवं (7.12) द्वारा व्यक्त की जाती है और जिसे चित्र 7.6 (b) में दर्शाया गया है।

ac परिपथ के अवयव, R, L तथा C एवं RLC श्रेणी-परिपथ के फेज़र आरेखों से संबंधित प्रभावी सजीव चित्रण
http://www.animations.physics.unsw.edu.au//jw/AC.html
भौतिकी



चित्र 7.6 (a) चित्र 7.5 में दर्शाए गए परिपथ का फेजर आरेख (b) v एवं i तथा ωt के बीच ग्राफ़।

हम देखते हैं कि धारा, वोल्टता की अपेक्षा चौथाई आवर्त काल $\frac{T}{4}$ $/2$ के पश्चात अपने अधिकतम मान को प्राप्त करती है। आपने देखा कि एक प्रेरक में प्रतिघात होता है जो धारा को उसी प्रकार नियंत्रित करता है जैसे dc परिपथ में प्रतिरोध करता है। पर, क्या प्रतिरोध की तरह ही इसमें भी शक्ति व्यय होती है? आइए, इसका पता लगाने का प्रयास करें।

प्रेरक को आपूर्त तात्क्षणिक शक्ति

$$p_L = i\,v = i_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \times v_m \sin(\omega t)$$

$$i_m v_m \cos \quad t \ \sin \quad t$$

$$\frac{i_m v_m}{2} \sin \ 2 \quad t$$

अत: एक पूरे चक्र में माध्य शक्ति

$$P_L \quad \left\langle \ \frac{i_m v_m}{2} \sin \ 2 \quad t \ \right\rangle$$

$$\frac{i_m v_m}{2} \langle \sin \ 2 \quad t \ \rangle = 0$$

क्योंकि, एक पूरे चक्र में $\sin(2\omega t)$ का माध्य शून्य होता है

इसलिए *एक पूरे चक्र में किसी प्रेरक को आपूर्त माध्य शक्ति भी शून्य होती है।*

चित्र 7.7 में इस तथ्य को विस्तार में समझाया गया है।

उदाहरण 7.2 25.0 mH का एक शुद्ध प्रेरक 220 V के एक स्रोत से जुड़ा है। यदि स्रोत की आवृत्ति 50 Hz हो तो परिपथ का प्रेरकीय प्रतिघात एवं rms धारा ज्ञात कीजिए।

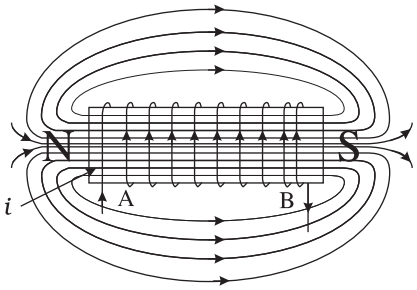
हल प्रेरकीय प्रतिघात

$$X_L = 2 \quad L = 2 \quad 3.14 \quad 50 \quad 25 \quad 10^{-3}\ \Omega$$
$$= 7.85\Omega$$

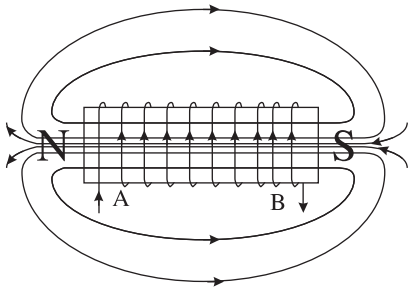
परिपथ में rms धारा

$$I \quad \frac{V}{X_L} \quad \frac{220\,V}{7.85} \quad 28A$$

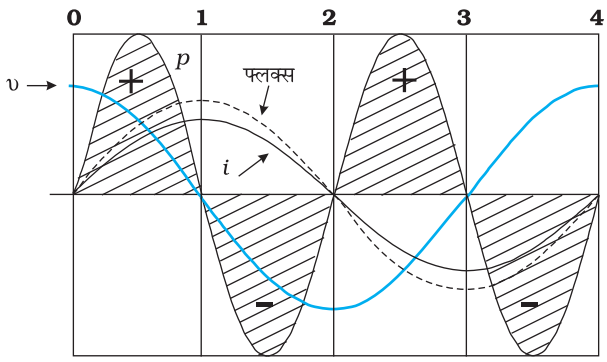
उदाहरण 7.2



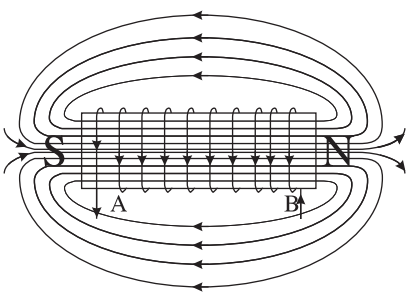
0-1 कुंडली में प्रवाहित होने वाली धारा i, जो कुंडली में बिंदु A पर प्रवेश करती है, शून्य से अधिकतम मान तक बढ़ती है। फ्लक्स रेखाएँ स्थापित होती हैं अर्थात क्रोड चुंबकित होता है। दर्शायी गई ध्रुव स्थिति के लिए, वोल्टता एवं धारा दोनों धनात्मक होते हैं, अत: इनका गुणनफल p धनात्मक होता है। *स्रोत से ऊर्जा अवशोषित होती है।*



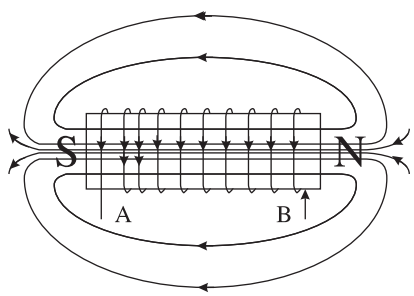
1-2 कुंडली में प्रवाहित होने वाली धारा अभी भी धनात्मक है परन्तु कम हो रही है। आधे चक्र के अंत में क्रोड विचुंबकित हो जाता है और कुल फ्लक्स शून्य हो जाता है। वोल्टता v ऋणात्मक है (क्योंकि di/dt का मान ऋणात्मक होता है) वोल्टता एवं धारा का गुणनफल ऋणात्मक होता है और *ऊर्जा स्रोत को लौटाई जाने लगती है।*



वोल्टता/धारा का एक पूर्ण चक्र। ध्यान दीजिए कि धारा वोल्टता से पीछे है।



2-3 धारा i ऋणात्मक हो जाती है अर्थात यह बिंदु B से प्रवेश कर बिंदु A से बाहर आती है। क्योंकि धारा की दिशा बदल गई है, चुंबक के ध्रुव भी बदल जाते हैं। धारा और वोल्टता दोनों ऋणात्मक हो जाते हैं अत: उनका गुणनफल p धनात्मक है। *ऊर्जा अवशोषित होती है।*



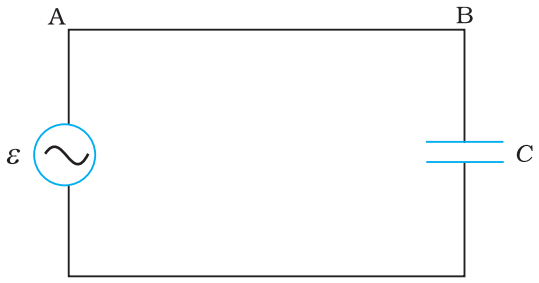
3-4 धारा i कम होती है और 4 पर धारा शून्य हो जाती है। 4 पर क्रोड विचुंबकित हो जाता है तथा फ्लक्स शून्य है। वोल्टता धनात्मक एवं धारा ऋणात्मक हैं। अत: शक्ति ऋणात्मक है। *जो ऊर्जा 2-3 चौथाई चक्र के दौरान अवशोषित हुई थी ऊर्जा स्रोत को वापस लौटा दी जाती है।*

चित्र 7.7 किसी प्रेरक का चुंबकन एवं विचुंबकन।

7.5 संधारित्र पर प्रयुक्त ac वोल्टता

चित्र 7.8 में एक संधारित्रीय ac परिपथ दर्शाया गया है जिसमें केवल एक संधारित्र एक ऐसे ac स्रोत ε से जुड़ा है जो वोल्टता $v = v_m \sin \omega t$ प्रदान करता है।

जब dc परिपथ में वोल्टता स्रोत से किसी संधारित्र को जोड़ा जाता है तो इसमें धारा, उस अल्पकाल के लिए ही प्रवाहित होती है जो संधारित्र की प्लेटों पर एकत्रित होता है, उनके बीच विभवांतर बढ़ता है, जो धारा का विरोध करता है। अर्थात dc परिपथ में ज्यों-ज्यों संधारित्र आवेशित होता है यह परिपथ धारा को सीमित करता है अथवा उसके प्रवाह का विरोध करता है। जब संधारित्र पूरी तरह आवेशित हो जाता है तो परिपथ में धारा गिर कर शून्य हो जाती है।



चित्र 7.8 एक संधारित्र से जुड़ी ac वोल्टता।

जब संधारित्र को ac स्रोत से जोड़ा जाता है, जैसा कि चित्र 7.8 में दर्शाया गया है तो यह धारा को नियंत्रित तो करता है, पर आवेश के प्रवाह को पूरी तरह रोकता नहीं है। क्योंकि धारा प्रत्येक अर्द्ध चक्र में प्रत्यावर्तित होती है संधारित्र भी एकांतर क्रम में आवेशित एवं अनावेशित होता है। माना कि किसी क्षण t पर संधारित्र पर आवेश q है। तो संधारित्र के सिरों के बीच तात्क्षणिक वोल्टता है,

$$v \quad \frac{q}{C} \tag{7.15}$$

किरखोफ के लूप नियम के अनुसार, स्रोत एवं संधारित्र के सिरों के बीच वोल्टताएँ समान हैं, अत:

$$v_m \sin \quad t \quad \frac{q}{C}$$

धारा का मान ज्ञात करने के लिए हम संबंध $i \quad \frac{dq}{dt}$ का उपयोग करते हैं

$$i \quad \frac{d}{dt} \; v_m C \sin \quad t \qquad C v_m \cos(\quad t)$$

संबंध, $\cos(\quad t) \quad \sin \quad t \quad \frac{}{2}$, का उपयोग करने से हम पाते हैं,

$$i \quad i_m \sin \quad t \quad \frac{}{2} \tag{7.16}$$

यहाँ, दोलायमान धारा का आयाम $i_m = \omega C v_m$ है। इसको हम

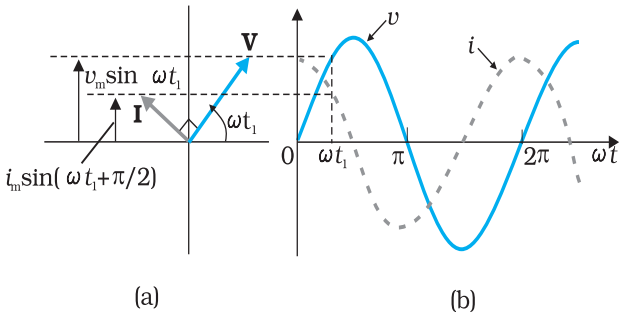
$$i_m \quad \frac{v_m}{(1/ \quad C)}$$

के रूप में लिखें और विशुद्ध प्रतिरोधकीय परिपथ के तदनुरूपी सूत्र $i_m = v_m/R$ से तुलना करें तो हम पाते हैं कि $(1/\omega C)$ की भूमिका प्रतिरोध जैसी ही है। इसको *संधारित्र प्रतिघात* कहते हैं और X_c से निरूपित करते हैं।

$$X_c = 1/\omega C \tag{7.17}$$

अत: धारा का आयाम है,

$$i_m \quad \frac{v_m}{X_C} \tag{7.18}$$



(a) (b)

चित्र 7.9 (a) चित्र 7.7 में दर्शाए गए परिपथ का फेजर आरेख (b) v एवं i का समय के सापेक्ष ग्राफ़।

संधारित्रीय प्रतिघात की विमाएँ वही हैं जो प्रतिरोध की और इसका SI मात्रक ओम (Ω) है। संधारित्रीय प्रतिघात उसी प्रकार विशुद्ध संधारित्रीय परिपथ में धारा को नियंत्रित करता है जैसे विशुद्ध प्रतिरोधकीय परिपथ में प्रतिरोध, परंतु इसका मान आवृत्ति एवं धारिता के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

समीकरण (7.16) की स्रोत वोल्टता की समीकरण (7.1) से तुलना करने पर हम पाते हैं कि धारा, वोल्टता से $\pi/2$ अग्रगामी होती है। चित्र 7.9 (a) किसी क्षण t_1 पर फेजर आरेख दर्शाता है। यहाँ धारा फेजर **I**, वोल्टता फेजर **V** से $\pi/2$ कोण अग्रगामी है जब वे वामावर्त घूर्णन करते हैं। चित्र 7.9 (b), वोल्टता एवं धारा में समय के साथ होने वाला परिवर्तन दर्शाता है। हम देखते हैं कि धारा, वोल्टता की तुलना में चौथाई समयकाल पहले अधिकतम मान ग्रहण करती है।

संधारित्र को आपूर्त तात्क्षणिक शक्ति,

$$p_c = i\,v = i_m \cos(\omega t)\, v_m \sin(\omega t)$$
$$= i_m v_m \cos(\omega t)\sin(\omega t)$$
$$\frac{i_m v_m}{2}\sin(2\ \ t) \qquad (7.19)$$

अत: संधारित्र के प्रकरण में, माध्य शक्ति

$$\bar{P}_C \quad \left\langle \frac{i_m v_m}{2}\sin(2\ \ t)\right\rangle \quad \frac{i_m v_m}{2}\langle \sin(2\ \ t)\rangle \quad 0$$

क्योंकि एक पूर्ण चक्र पर $\langle \sin(2\omega t)\rangle = 0$, चित्र 7.10 इसकी विस्तार से व्याख्या करता है। इस प्रकार हम देखते हैं कि प्रेरक के प्रकरण में धारा, वोल्टता से $\pi/2$ कोण पश्चगामी एवं संधारित्र के प्रकरण में धारा, वोल्टता से $\pi/2$ कोण अग्रगामी होती है।

उदाहरण 7.3

उदाहरण 7.3 एक लैंप किसी संधारित्र के साथ श्रेणीक्रम में जुड़ा है। dc एवं ac संयोजनों के लिए अपने प्रेक्षणों की प्रागुक्ति कीजिए। प्रत्येक प्रकरण में बताइए कि संधारित्र की धारिता कम करने का क्या प्रभाव होगा?

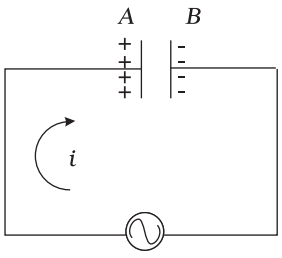
हल जब संधारित्र के साथ किसी dc स्रोत को जोड़ते हैं तो संधारित्र आवेशित होता है और उसके पूर्ण आवेशन के बाद परिपथ में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती और लैंप प्रकाशित नहीं होता है। इस मामले में C को कम करने से कोई परिवर्तन नहीं आएगा। ac स्रोत के साथ, संधारित्र $(1/\omega C)$ संधारित्रीय प्रतिघात लगाता है और परिपथ में धारा प्रवाहित होती है। परिणामत: लैंप प्रकाश देगा। C को कम करने से प्रतिघात बढ़ेगा और लैंप पहले की तुलना में दीप्ति से प्रकाशित होगा।

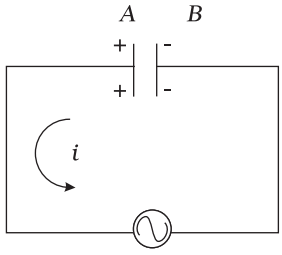
उदाहरण 7.4

उदाहरण 7.4 15.0 μF का एक संधारित्र, 220 V, 50 Hz स्रोत से जोड़ा गया है। परिपथ का संधारित्रीय प्रतिघात और इसमें प्रवाहित होने वाली (rms एवं शिखर) धारा का मान बताइए। यदि आवृत्ति को दोगुना कर दिया जाए तो संधारित्रीय प्रतिघात और धारा के मान पर क्या प्रभाव होगा?

हल संधारित्रीय प्रतिघात है,

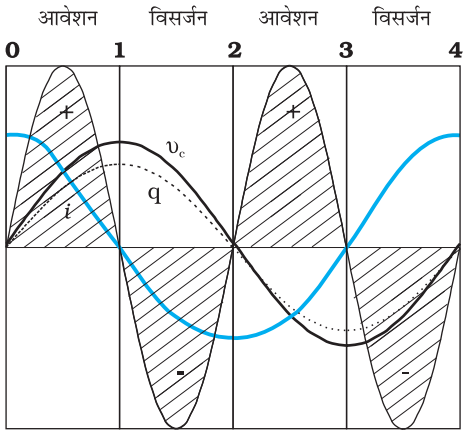
$$X_C \quad \frac{1}{2 \quad C} \quad \frac{1}{2\ (50\text{Hz})(15.0 \quad 10^{\ 6}\text{F})} \quad 212$$



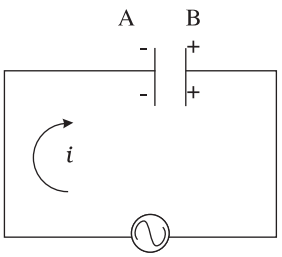


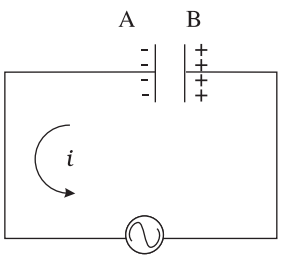
0-1 धारा i दर्शाए अनुसार प्रवाहित होती है एवं 0 पर अधिकतम मान से 1 पर शून्य हो जाती है। प्लेट A धनावेशित होती है जबकि प्लेट B पर ऋणात्मक आवेश q बढ़ता है जो 1 पर अधिकतम हो जाता है जहाँ धारा शून्य हो जाती है। वोल्टता $\upsilon_c = q/C$ आवेश q के साथ समान कला में रहती है और 1 पर शून्य हो जाती है। धारा और वोल्टता दोनों धनात्मक होती हैं। अत: $p = \upsilon_c i$ धनात्मक है। *इस चौथाई चक्र में जैसे-जैसे संधारित्र आवेशित होता है, यह स्रोत से ऊर्जा अवशोषित करता है।*

1-2 धारा i की दिशा उलट जाती है। संगृहित आवेश समाप्त हो जाता है अर्थात संधारित्र इस चौथाई चक्र में विसर्जित हो जाता है। वोल्टता कम होती जाती है पर धनात्मक बनी रहती है। धारा ऋणात्मक है। अत: शक्ति जो इनका गुणनफल है, ऋणात्मक होती है। **0-1** *चौथाई चक्र में अवशोषित ऊर्जा इस चौथाई चक्र में वापस मिल जाती है।*



वोल्टता/धारा/आवेश/शक्ति का एक पूर्ण चक्र। ध्यान दीजिए कि धारा वोल्टता की तुलना में अग्रगामी है।





2-3 क्योंकि धारा i A से B की ओर बहती है, संधारित्र विपरीत ध्रुवता के साथ आवेशित होता है, अर्थात प्लेट B पर धनात्मक एवं प्लेट A पर ऋणात्मक आवेश आने लगता है। धारा एवं वोल्टता दोनों ही ऋणात्मक होते हैं। उनका गुणनफल p धनात्मक है। इस चौथाई चक्र में संधारित्र ऊर्जा *अवशोषित* करता है।

3-4 क्षण **3** पर धारा i की दिशा में उत्क्रमण हो जाता है और यह B से A की ओर प्रवाहित होने लगती है। संग्रहित आवेश समाप्त हो जाता है और वोल्टता υ_c का परिमाण कम हो जाता है। जब **4** पर संधारित्र पूर्णत: आवेशित हो जाता है तो υ_c का मान शून्य हो जाता है। शक्ति ऋणात्मक होती है और **2-3** *में अवशोषित ऊर्जा स्रोत को वापस लौटा दी जाती है। कुल अवशोषित ऊर्जा शून्य है।*

चित्र 7.10 एक संधारित्र का आवेशन एवं निरावेशन।

उदाहरण 7.4

rms धारा है

$$I \quad \frac{V}{X_C} \quad \frac{220\,\text{V}}{212} \quad 1.04\,\text{A}$$

शिखर धारा है

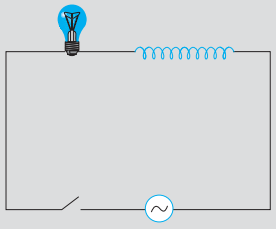
$$i_m \quad \sqrt{2}I \quad (1.41)(1.04\,A) \quad 1.47A$$

यह धारा +1.47A एवं –1.47 A के बीच दोलन करती है और वोल्टता से $\pi/2$ कोण अग्रगामी होती है।

यदि आवृत्ति दोगुनी हो जाए तो संधारित्रीय प्रतिघात आधा रह जाता है, परिणामतः धारा दोगुनी हो जाती है।

उदाहरण 7.5

उदाहरण 7.5 एक प्रकाश बल्ब और एक सरल कुंडली प्रेरक, एक कुंजी सहित, चित्र में दर्शाए अनुसार, एक ac स्रोत से जोड़े गए हैं। स्विच को बंद कर दिया गया है और कुछ समय पश्चात एक लोहे की छड़ प्रेरक कुंडली के अंदर प्रविष्ट कराई जाती है।



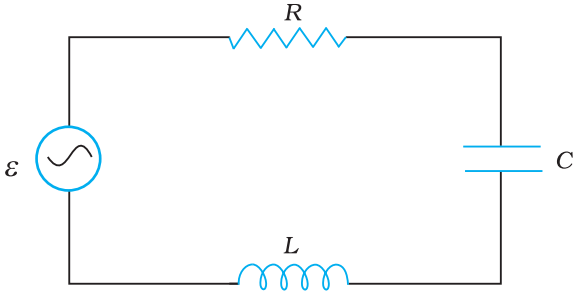
चित्र 7.11

छड़ को प्रविष्ट कराते समय प्रकाश बल्ब की चमक (a) बढ़ती है (b) घटती है (c) अपरिवर्तित रहती है। कारण सहित उत्तर दीजिए।

हल जैसे-जैसे लोहे की छड़ कुंडली में प्रवेश करती है कुंडली के अंदर का चुंबकीय क्षेत्र इसे चुंबकित कर देता है जिससे कुंडली के अंदर चुंबकीय क्षेत्र बढ़ जाता है। अतः कुंडली का प्रेरकत्व बढ़ जाता है। परिणामतः कुंडली का प्रेरकीय प्रतिघात बढ़ जाता है। इस प्रकार प्रयुक्त ac वोल्टता का अधिकांश भाग प्रेरक के सिरों के बीच प्रभावी हो जाता है और बल्ब के सिरों के बीच वोल्टता कम रह जाती है। अतः बल्ब की दीप्ति कम हो जाती है।

7.6 श्रेणीबद्ध LCR परिपथ पर प्रयुक्त ac वोल्टता

चित्र 7.12, ac स्रोत ε से जुड़ा श्रेणीबद्ध LCR परिपथ दर्शाता है। पहले की ही भाँति हम ac स्रोत की वोल्टता $v = v_m \sin \omega t$ लेते हैं।



चित्र 7.12 किसी ac स्रोत से संयोजित श्रेणीबद्ध LCR परिपथ।

यदि संधारित्र पर आवेश q एवं किसी क्षण t पर परिपथ में प्रवाहित धारा i है तो किरखोफ़ पाश नियम से

$$L\frac{\text{d}i}{\text{d}t} + iR + \frac{q}{C} = v \qquad (7.20)$$

हम तात्क्षणिक धारा i और प्रयुक्त प्रत्यावर्ती वोल्टता v के साथ इसका कला संबंध ज्ञात करना चाहते हैं। हम इस समस्या को हल करने के लिए दो विधियों का उपयोग करेंगे। पहली विधि में हम फेजर्स तकनीक का उपयोग करेंगे और दूसरी विधि में हम समीकरण (7.20) को विश्लेषणात्मक रूप से हल करके i की कालाश्रितता प्राप्त करेंगे।

7.6.1 फेजर आरेख द्वारा हल

चित्र 7.12 में दर्शाए गए परिपथ में प्रतिरोधक, प्रेरक एवं संधारित्र श्रेणीक्रम में जुड़े हैं। अत: किसी क्षण विशेष पर परिपथ के हर घटक में ac धारा, उसके आयाम एवं कला समान हैं। माना कि

$$i = i_m \sin(\omega t + \phi) \qquad (7.21)$$

यहाँ ϕ स्रोत की वोल्टता और परिपथ में प्रवाहित होने वाली धारा में कला-अंतर है। पिछले अनुभागों में हमने जो सीखा है उसके आधार पर हम वर्तमान प्रकरण का एक फेजर आरेख बनाएँगे।

मान लीजिए कि समीकरण (7.21) द्वारा प्रदत्त परिपथ की धारा को फेजर $\mathbf{I}$ द्वारा व्यक्त करें। और प्रेरक, प्रतिरोधक, संधारित्र एवं स्रोत के सिरों के बीच वोल्टताओं को क्रमश: $\mathbf{V_L}$, $\mathbf{V_R}$, $\mathbf{V_C}$, एवं $\mathbf{V}$ से निरूपित करें तो पिछले अनुभाग से हम जानते हैं कि $\mathbf{V_R}$, $\mathbf{I}$ के समातंर है, $\mathbf{V_C}$ धारा $\mathbf{I}$ से $\pi/2$ रेडियन पीछे है तथा $\mathbf{V_L}$, $\mathbf{I}$ से $\pi/2$ रेडियन आगे है। चित्र 7.13(a) में $\mathbf{V_L}$, $\mathbf{V_R}$, $\mathbf{V_C}$ एवं $\mathbf{I}$ को समुचित कला संबंधों के साथ दर्शाया गया है।

इन फेजर्स की लंबाई अर्थात $\mathbf{V_R}$, $\mathbf{V_C}$ एवं $\mathbf{V_L}$ के आयाम हैं :

$$v_{Rm} = i_m R,\ v_{Cm} = i_m X_C,\ v_{Lm} = i_m X_L \qquad (7.22)$$

परिपथ के लिए वोल्टता समीकरण (7.20) को इस प्रकार लिखा जा सकता है

$$v_L + v_R + v_C = v \qquad (7.23)$$

वह फेजर संबंध जिसके ऊर्ध्वाधर घटकों द्वारा उपरोक्त समीकरण बनती है, वह है

$$\mathbf{V_L} + \mathbf{V_R} + \mathbf{V_C} = \mathbf{V} \qquad (7.24)$$

इस संबंध को चित्र 7.13 (b) में प्रस्तुत किया गया है। चूँकि, $\mathbf{V_C}$ एवं $\mathbf{V_L}$ सदैव एक ही सरल रेखा में और एक दूसरे की विपरीत दिशाओं में होते हैं, उनको एक एकल फेजर $(\mathbf{V_C} + \mathbf{V_L})$ के रूप में संयोजित किया जा सकता है जिसका परिमाण $|v_{Cm} - v_{Lm}|$ होता है। चूँकि $\mathbf{V}$ उस समकोण त्रिभुज के कर्ण से निरूपित किया गया है जिसकी भुजाएँ $\mathbf{V_R}$ एवं $(\mathbf{V_C} + \mathbf{V_L})$ हैं, पाइथागोरस प्रमेय द्वारा,

$$v_m^2 \quad v_{Rm}^2 \quad v_{Cm} \quad v_{Lm}^{\ 2}$$

समीकरण (7.22) से v_{Rm}, v_{Cm}, एवं v_{Lm} के मान प्रत्येक समीकरण में रखने पर

$$v_m^2 \quad (i_m R)^2 \quad (i_m X_C \quad i_m X_L)^2$$

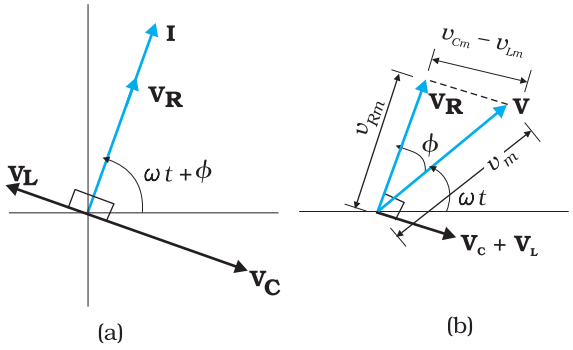
$$i_m^2 \quad R^2 \quad (X_C \quad X_L)^2$$

अथवा $$i_m \quad \frac{v_m}{\sqrt{R^2 \quad (X_C \quad X_L)^2}} \qquad [7.25(a)]$$

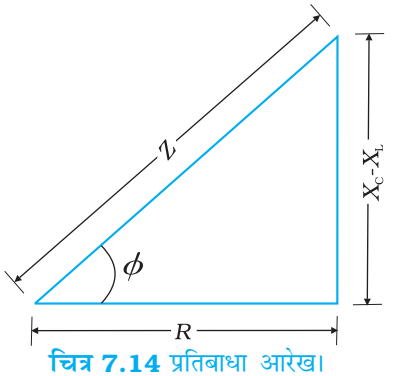
किसी परिपथ में प्रतिरोध से समतुल्यता के आधार पर हम ac परिपथ के लिए *प्रतिबाधा*, Z पद को उपयोग में लाएँ तो

$$i_m \quad \frac{v_m}{Z} \qquad [7.25(b)]$$

यहाँ $$Z \quad \sqrt{R^2 \quad (X_C \quad X_L)^2} \qquad (7.26)$$



चित्र 7.13 (a) फेजर्स $\mathbf{V_L}$, $\mathbf{V_R}$, $\mathbf{V_C}$, एवं I के बीच पारस्परिक संबंध (b) फेजर्स $\mathbf{V_L}$, $\mathbf{V_R}$, एवं $(\mathbf{V_L} + \mathbf{V_C})$ के बीच 7.11 में दर्शाए गए परिपथ के लिए संबंध।



चित्र 7.14 प्रतिबाधा आरेख।

चूँकि फेजर **I** सदैव फेजर $\mathbf{V_R}$ के समांतर होता है, कला कोण ϕ $\mathbf{V_R}$ एवं **V** के बीच बना कोण है और चित्र 7.14 के आधार पर इसका मान ज्ञात किया जा सकता है

$$\tan \quad \frac{v_{Cm} \quad v_{Lm}}{v_{Rm}}$$

समीकरण (7.22) का उपयोग करने पर,

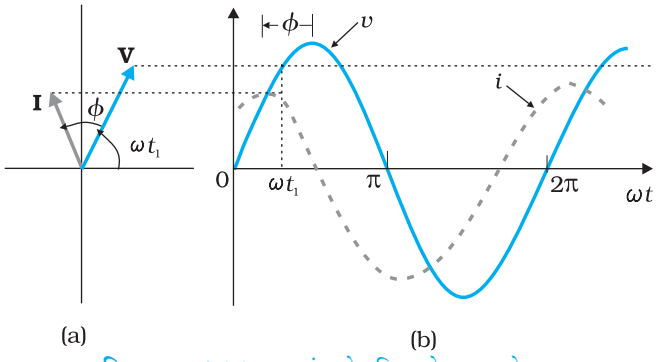
$$\tan \quad \frac{X_C \quad X_L}{R} \qquad (7.27)$$

समीकरणों (7.26) एवं (7.27) का ग्राफीय निरूपण चित्र (7.14) में प्रस्तुत किया गया है। यह *प्रतिबाधा आरेख* कहलाता है। यह एक समकोण त्रिभुज है जिसका कर्ण Z है।

समीकरण 7.25(a) धारा का आयाम बताती है एवं समीकरण (7.27) से कलाकोण का मान प्राप्त होता है। इनके साथ मिलकर समीकरण (7.21) पूर्णत: निर्दिष्ट हो जाती है।

यदि $X_C > X_L$, ϕ धनात्मक होता है तथा परिपथ का धारितात्मक व्यवहार प्रधान हो जाता है। परिणामत: परिपथ में धारा स्रोत वोल्टता से अग्र हो जाती है। यदि $X_C < X_L$, ϕ ऋणात्मक होता है तथा परिपथ का प्रेरकीय व्यवहार प्रमुख हो जाता है। परिणामत: परिपथ में धारा स्रोत वोल्टता से पश्च हो जाती है।

चित्र 7.15, $X_C > X_L$ के प्रकरण के लिए फेजर आरेख है और यह ωt के साथ v एवं i में होने वाले परिवर्तन को दर्शाता है।



चित्र 7.15 (a) **V** एवं **I** के लिए फेजर आरेख (b) श्रेणीबद्ध LCR परिपथ के लिए ωt के साथ v एवं i में परिवर्तन दर्शाने वाले ग्राफ (यहाँ $X_C > X_L$)।

इस प्रकार, फेजर्स तकनीक का उपयोग करके, हमने श्रेणीबद्ध *LCR* परिपथ में धारा का आयाम एवं कला ज्ञात कर ली है। लेकिन ac परिपथों के विश्लेषण की इस विधि में कुछ कमियाँ हैं। प्रथम तो यह कि फेज़र आरेख प्रारंभिक स्थितियों के विषय में कोई सूचना नहीं देते। आप t का कोई भी यादृच्छिक मान (जैसा कि इस अध्याय में सब जगह t_1 लिया गया है) ले सकते हैं और विभिन्न फेजर्स के बीच सापेक्षिक कोण दर्शाते हुए अलग-अलग फेजर्स आरेख बना सकते हैं। इस प्रकार प्राप्त हल को *स्थायी अवस्था हल* कहते हैं। यह कोई व्यापक हल नहीं है। इसके अतिरिक्त एक *क्षणिक हल* भी होता है जो $v = 0$ के लिए भी लागू होता है। व्यापक हल, क्षणिक हल एवं स्थायी अवस्था हल के योग से प्राप्त होता है। पर्याप्त दीर्घकाल के पश्चात क्षणिक हल के प्रभाव निष्प्रभावी हो जाते हैं और परिपथ के आचरण का वर्णन स्थायी अवस्था द्वारा ही हल किया जाता है।

7.6.2 विश्लेषणात्मक हल

परिपथ के लिए वोल्टता समीकरण है,

$$L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \quad Ri \quad \frac{q}{C} \quad v$$

$$= v_m \sin \omega t$$

हम जानते हैं कि $i = \mathrm{d}q/\mathrm{d}t$ इसलिए, $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t = \mathrm{d}^2q/\mathrm{d}t^2$ अत:, q के पदों में, वोल्टता समीकरण को लिख सकते हैं,

$$L\frac{d^2q}{dt^2} \quad R\frac{dq}{dt} \quad \frac{q}{C} \quad v_m \sin \quad t \qquad (7.28)$$

यह किसी प्रणोदित अवमंदित दोलक के समीकरण जैसी ही है। [देखिए समीकरण (14.37(b) कक्षा 11 भौतिकी पाठ्यपुस्तक]। मान लिया कि इसका एक हल है,

$$q = q_m \sin(\omega t + \theta) \qquad [7.29(a)]$$

ताकि, $\frac{dq}{dt} \quad q_m \quad \cos(\quad t \quad)$ [7.29(b)]

एवं $\frac{d^2q}{dt^2} \quad q_m \quad ^2 \sin(\quad t \quad)$ [7.29(c)]

इन मानों को समीकरण (7.28) में रखने पर, हम पाते हैं

$$q_m \quad R\cos(\quad t \quad) \quad (X_C \quad X_L)\sin(\quad t \quad) = v_m \sin \quad t \qquad (7.30)$$

यहाँ हमने $X_c = 1/\omega C$ एवं $X_L = \omega L$ संबंधों का उपयोग किया है। समीकरण (7.30) के वाम पक्ष को $Z \quad \sqrt{R^2 \quad X_c \quad X_L \quad ^2}$ से गुणा एवं विभाजित करने पर,

$$q_m \quad Z \quad \frac{R}{Z}\cos(\quad t \quad) \quad \frac{(X_C \quad X_L)}{Z}\sin(\quad t \quad) \quad v_m \sin \quad t \qquad (7.31)$$

अब, माना कि $\frac{R}{Z} \quad \cos$

तथा $\frac{(X_C \quad X_L)}{Z} \quad \sin$

ताकि $\tan \ ^1 \frac{X_C \quad X_L}{R}$ (7.32)

समीकरण (7.31) में यह मान प्रतिस्थापित करके सरलीकरण करने पर,

$$q_m \quad Z\cos(\quad t \quad) \quad v_m \sin \quad t \qquad (7.33)$$

इस समीकरण के दोनों पक्षों की तुलना करने पर हम पाते हैं कि,

$$v_m \quad q_m \quad Z \quad i_m Z$$

यहाँ

$$i_m \quad q_m \qquad [7.33 (a)]$$

एवं $\frac{}{2}$ अथवा $\frac{}{2}$ [7.33 (b)]

इसलिए परिपथ में धारा का संबंध है

$$i \quad \frac{dq}{dt} \quad q_m \quad \cos(\quad t \quad)$$

$$= i_m \cos(\omega t + \theta)$$

अथवा $i = i_m \sin(\omega t + \phi)$ (7.34)

यहाँ $i_m \quad \frac{v_m}{Z} \quad \frac{v_m}{\sqrt{R^2 \quad (X_C \quad X_L)^2}}$ [7.34 (a)]

एवं $\tan \ ^1 \frac{X_C \quad X_L}{R}$

अत: परिपथ में धारा के आयाम एवं कला के लिए विश्लेषणात्मक हल फेजर्स तकनीक से प्राप्त हल से मेल खाता है।

7.6.3 अनुनाद

श्रेणीबद्ध *RLC* परिपथ का एक रोचक अभिलक्षण अनुनाद की परिघटना है। अनुनाद ऐसे सभी निकायों की एक सामान्य परिघटना है जिनमें एक विशिष्ट आवृत्ति से दोलन की प्रवृत्ति होती है। यह आवृत्ति उस निकाय की *प्राकृतिक आवृत्ति* कहलाती है। यदि इस प्रकार का कोई निकाय किसी ऐसे ऊर्जा स्रोत द्वारा संचालित हो जिसकी आवृत्ति निकाय की प्राकृतिक आवृत्ति के सन्निकट हो तो निकाय बहुत अधिक आयाम के साथ दोलन करता हुआ पाया जाता है। इसका एक सुपरिचित उदाहरण झूले पर बैठा हुआ बच्चा है। झूले की, लोलक की ही तरह मूल बिन्दु के इधर-उधर दोलन की एक प्राकृतिक आवृत्ति होती है। यदि बच्चा रस्सी को नियमित समय-अंतरालों पर खींचता है और खींचने की आवृत्ति लगभग झूले के दोलनों की प्राकृतिक आवृत्ति के बराबर हो तो झूलने का आयाम अधिक होगा (देखिए कक्षा 11 का अध्याय 14)।

v_m आयाम एवं ω आवृत्ति की वोल्टता द्वारा संचालित *RLC* परिपथ के लिए हम पाते हैं कि धारा आयाम,

$$i_m \quad \frac{v_m}{Z} \quad \frac{v_m}{\sqrt{R^2 \quad (X_C \quad X_L)^2}}$$

यहाँ $X_c = 1/\omega C$ एवं $X_L = \omega L$ अत: यदि ω को परिवर्तित किया जाए तो एक विशिष्ट आवृत्ति ω_0 पर $X_c = X_L$ एवं प्रतिबाधा Z का मान न्यूनतम $Z \quad \sqrt{R^2 \quad 0^2} \quad R$ हो जाता है। यह आवृत्ति *अनुनादी आवृत्ति* कहलाती है :

$$X_c = X_L \text{ या } \frac{1}{\omega_0 C} = \omega_0 L$$

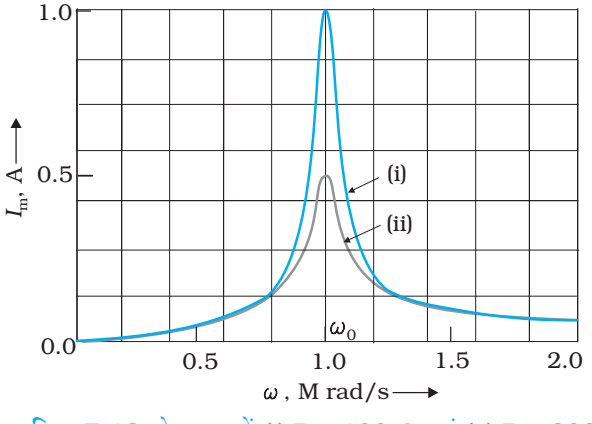
या $\quad _0 \quad \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (7.35)

अनुनादी आवृत्ति पर धारा का आयाम अधिकतम होता है और इसका मान है, $i_m = v_m/R$

चित्र 7.16 किसी *RLC* श्रेणीक्रम परिपथ के लिए ω के साथ I_m का परिवर्तन दर्शाता है। यहाँ $L = 1.00$ mH, $C = 1.00$ nF है तथा R के दो अलग-अलग मान (i) $R = 100$ Ω एवं (ii) $R = 200$ Ω लिए गए हैं। प्रयुक्त स्रोत के लिए V_m = 100 V, इस प्रकरण में $\omega_0 = (\frac{1}{\sqrt{LC}}) = 1.00\times10^6$ rad/s।

हम देखते हैं कि अनुनादी आवृत्ति पर धारा का आयाम अधिकतम होता है। चूँकि $i_m = v_m / R$ अनुनाद की स्थिति में, प्रकरण (i) में धारा का परिमाण प्रकरण (ii) की स्थिति में धारा के परिमाण से दोगुना है।

अनुनादी परिपथों के तरह-तरह के अनुप्रयोग होते हैं उदाहरणार्थ, रेडियो एवं टीवी सेटों के समस्वरण की क्रियाविधि। किसी रेडियो का ऐंटिना अनेक प्रसारक स्टेशनों से संकेतों का



चित्र 7.16 दो प्रकरणों *(i)* $R = 100$ Ω एवं *(ii)* $R = 200$ Ω के लिए, ω के साथ I_m का परिवर्तन। दोनों प्रकरणों में $L = 1.00$ mH

अभिग्रहण करता है। ऐंटिना द्वारा अभिग्रहित संकेत, रेडियो के समस्वरण परिपथ में स्रोत का कार्य करते हैं, इसलिए परिपथ अनेक आवृत्तियों पर संचालित किया जा सकता है। परंतु किसी विशिष्ट रेडियो स्टेशन को सुनने के लिए हम रेडियो को समस्वरित करते हैं। समस्वरण के लिए हम समस्वरण परिपथ में लगे संधारित्र की धारिता को परिवर्तित कर परिपथ की आवृत्ति को परिवर्तित कर इस स्थिति में लाते हैं कि उसकी अनुनादी आवृत्ति अभिगृहित रेडियो संकेतों की आवृत्ति के लगभग बराबर हो जाए। जब ऐसा होता है तो परिपथ में उस विशिष्ट रेडियो स्टेशन से आने वाले संकेतों की आवृत्ति के धारा आयाम का मान अधिकतम हो जाता है।

एक महत्वपूर्ण एवं ध्यान देने योग्य तथ्य यह है कि अनुनाद की परिघटना केवल उन्हीं परिपथों द्वारा प्रदर्शित की जाती है जिनमें L एवं C दोनों विद्यमान होते हैं। क्योंकि केवल तभी L एवं C के सिरों के बीच की वोल्टता (विपरीत कला में होने के कारण) एक दूसरे को निरस्त करती हैं और धारा आयाम v_m/R होता है तथा कुल स्रोत वोल्टता R के सिरों के बीच ही प्रभावी पायी जाती है। इसका अर्थ यह हुआ कि RL या RC परिपथ में अनुनाद नहीं।

अनुनाद की तीक्ष्णता

श्रेणीबद्ध LCR परिपथ में धारा का आयाम,

$$i_m \quad \frac{v_m}{\sqrt{R^2 \quad L \quad \frac{1}{C}^2}}$$

और इसका मान अधिकतम होता है, जब $_0 \quad 1/\sqrt{LC}$ तथा यह अधिकतम मान होता है

$$i_m^{\text{अधिकतम}} = v_m / R$$

ω के ω_0 के अतिरिक्त सभी मानों के लिए धारा का आयाम, इसके अधिकतम मान से कम होता है। मान लीजिए कि हम ω का एक ऐसा मान चुनते हैं जिसके लिए धारा आयाम, अधिकतम मान का $1/\sqrt{2}$ गुना है। इस मान के लिए परिपथ में होने वाला शक्ति क्षय आधा हो जाता है। चित्र (7.16) के वक्र में हम देखते हैं कि ω के ऐसे दो मान हैं, ω_1 एवं ω_2, जिनमें एक ω_0 से कम है और दूसरा ω_0 से अधिक। ये दोनों मान ω_0 के इधर-उधर सममित रूप में स्थित होते हैं। हम लिख सकते हैं :

$$\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$$

$$\omega_2 = \omega_0 - \Delta\omega$$

इन दोनों आवृत्तियों के बीच का अंतर $\omega_1 - \omega_2 = 2\Delta\omega$ प्रायः परिपथ का *बैंड-विस्तार* कहलाता है। राशि $(\omega_0 / 2\Delta\omega)$ को अनुनाद की तीव्रता का माप माना जाता है। $\Delta\omega$ जितना छोटा होगा, अनुनाद उतना ही तीक्ष्ण या संकीर्ण होगा।

$\Delta\omega$ के लिए व्यंजक प्राप्त करने के लिए, ध्यान दें कि धारा-आयाम $i_m = \left(1/\sqrt{2}\right) i_m^{\text{अधिकतम}}$ तब होता है जब $\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$, इसलिए

$_1$ पर, $\quad i_m \quad \frac{v_m}{\sqrt{R^2 \quad {}_1L \quad \frac{1}{{}_1C}^2}}$

$$= \frac{i_m^{\text{अधिकतम}}}{\sqrt{2}} = \frac{v_m}{R\sqrt{2}}$$

अथवा $\sqrt{R^2 \quad {}_1L \quad \frac{1}{{}_1C}^2} \quad R\sqrt{2}$

अथवा $R^2 \quad {}_1L \quad \frac{1}{{}_1C}^2 \quad 2R^2$

${}_1L \quad \frac{1}{{}_1C} \quad R$

जिसको लिख सकते हैं

$(\ {}_0 \quad)L \quad \frac{1}{(\ {}_0 \quad)C} \quad R$

${}_0L \ 1 \ \frac{}{{}_0} \quad \frac{1}{{}_0C \ 1 \ \frac{}{{}_0}} \quad R$

वामपक्ष के दूसरे पद में ${}^2_0 \quad \frac{1}{LC}$ का उपयोग करने पर

${}_0L \ 1 \ \frac{}{{}_0} \quad \frac{{}_0L}{1 \ \frac{}{{}_0}} \quad R$

चूँकि $\frac{}{{}_0} << 1$, $1 \ \frac{}{{}_0}^{\ 1}$ का सन्निकट मान $1 \ \frac{}{{}_0}$ रख सकते हैं। इसलिए,

${}_0L \ 1 \ \frac{}{{}_0} \quad {}_0L \ 1 \ \frac{}{{}_0} \quad R$

अथवा ${}_0L\frac{2}{{}_0} \quad R$

$$\frac{R}{2L} \qquad [7.36\ (a)]$$

अतः, अनुनाद की तीक्ष्णता

$$\frac{{}_0}{2} \quad \frac{{}_0L}{R} \qquad [7.36\ (b)]$$

अनुपात $\frac{{}_0L}{R}$ को परिपथ का *गुणवत्ता गुणांक* Q भी कहते हैं $Q \quad \frac{{}_0L}{R}$ [7.36 (c)]

समीकरण [7.36 (b)] एवं [7.36 (c)] से हम देखते हैं कि $2 \quad \frac{{}_0}{Q}$ अतः, Q का मान जितना अधिक होगा, $2\Delta\omega$ अर्थात बैंड विस्तार का मान उतना ही कम होगा और अनुनाद उतना ही तीक्ष्ण

होगा। $\frac{2}{0}$ $1/LC$ का उपयोग करके समीकरण [7.36(c)] को समतुल्यतापूर्वक निम्न प्रकार से व्यक्त कर सकते हैं $Q = 1/\omega_0 CR$

चित्र 7.15 से हम देखते हैं कि यदि अनुनाद की तीक्ष्णता कम हो तो न केवल शिखर धारा कम होती है, परिपथ अधिक बड़े आवृत्ति परिसर $\Delta\omega$ के लिए अनुनाद के निकट रहता है और इसलिए परिपथ का समस्वरण अच्छा नहीं हो पाएगा। अत: अनुनाद जितना कम तीक्ष्ण होगा परिपथ की चयन क्षमता भी उतनी ही कम होगी। इसके विपरीत यदि अनुनाद तीक्ष्ण है तो परिपथ की चयन क्षमता भी अधिक होगी। समीकरण (7.36) से हम देखते हैं कि यदि गुणवत्ता गुणांक अधिक है, अर्थात R कम या L अधिक है तो परिपथ की चयन क्षमता अधिक होती है।

उदाहरण 7.6 एक 200 Ω प्रतिरोधक एवं एक 15.0 μF संधारित्र, किसी 220 V, 50 Hz ac स्रोत से श्रेणीक्रम में जुड़े हैं। (a) परिपथ में धारा की गणना कीजिए; (b) प्रतिरोधक एवं संधारित्र के सिरों के बीच (rms) वोल्टता की गणना कीजिए। क्या इन वोल्टाओं का बीजगणितीय योग स्रोत वोल्टता से अधिक है? यदि हाँ, तो इस विरोधाभास का निराकरण कीजिए।

हल

दिया है

$R \quad 200 \quad , C \quad 15.0 \quad F \quad 15.0 \quad 10^{6} F$

$V \quad 220 V, \quad 50 Hz$

(a) धारा की गणना करने के लिए, हमें परिपथ की प्रतिबाधा की आवश्यकता होती है। यह होता है–

$$Z \quad \sqrt{R^2 \quad X_C^2} \quad \sqrt{R^2 \quad (2 \quad C)^2}$$

$$\sqrt{(200 \quad)^2 \quad (2 \quad 3.14 \quad 50 \quad 10^{6} F)^2}$$

$$\sqrt{(200 \quad)^2 \quad (212 \quad)^2}$$

$$291.5$$

इसलिए, परिपथ में धारा है,

$$I \quad \frac{V}{Z} \quad \frac{220 V}{291.5} \quad 0.755 A$$

(b) चूँकि पूरे परिपथ में समान धारा प्रवाहित हो रही है, इसलिए

$V_R \quad IR \quad (0.755 A)(200 \quad) \quad 151 V$

$V_C \quad I X_C \quad (0.755 A)(212.3 \quad) \quad 160.3 V$

दोनों वोल्टाओं V_R एवं V_C का बीजगणितीय योग 311.3 V है जो स्रोत वोल्टता 220 V से अधिक है। इस विरोधाभास का निराकरण किस प्रकार किया जाए? जैसा कि आपने पाठ में पढ़ा है, दोनों वोल्टाएँ समान कला में नहीं होती हैं। इसलिए उनको साधारण संख्याओं की तरह नहीं जोड़ा जा सकता है। इन वोल्टाओं में 90º का कला-अंतर होता है। इसलिए इनके योग का परिमाण पाइथागोरस के प्रमेय का उपयोग करके ज्ञात किया जा सकता है। अत:,

$V_{R\,C} \quad \sqrt{V_R^2 \quad V_C^2}$

$= 220 V$

इस प्रकार, यदि दो वोल्टाओं के बीच के कला-अंतर को गणना में लाते हुए प्रतिरोधक एवं संधारित्र के सिरों के बीच कुल वोल्टता ज्ञात की जाए तो यह स्रोत वोल्टता के बराबर ही पायी जाएगी।

उदाहरण 7.6

7.7 ac परिपथों में शक्ति : शक्ति गुणांक

हम देख चुके हैं कि श्रेणीबद्ध *RLC* परिपथ में प्रयुक्त कोई वोल्टता $v = v_m \sin\omega t$ इस परिपथ में धारा $i = i_m \sin(\omega t + \phi)$ प्रवाहित करती है। यहाँ,

$$i_m \quad \frac{v_m}{Z} \quad \text{एवं} \quad \tan^{1} \frac{X_C \quad X_L}{R}$$

इसलिए स्रोत द्वारा आपूर्त तात्क्षणिक शक्ति p है,

$$p \quad vi \quad v_m \sin \quad t \quad i_m \sin(\quad t \quad)$$

$$\frac{v_m i_m}{2} \cos \quad \cos(2 \quad t \quad) \qquad (7.37)$$

एक पूर्ण चक्र में माध्य शक्ति समीकरण (7.37) के दाएँ पक्ष के दोनों पदों का माध्य लेने से प्राप्त हो सकती है। इनमें केवल दूसरा पद ही समय पर निर्भर करता है, और इसका माध्य शून्य है (कोज्या (cosine) का धनात्मक अर्द्ध इसके ऋणात्मक अर्द्ध को निरस्त कर देता है।) इसलिए,

$$P \quad \frac{v_m i_m}{2}\cos \quad \frac{v_m}{\sqrt{2}}\frac{i_m}{\sqrt{2}}\cos$$

$$V I \cos \qquad [7.38(a)]$$

इसको इस प्रकार भी लिखा जा सकता है

$$P \quad I^2 Z \cos \qquad [7.38(b)]$$

अतः क्षयित माध्य शक्ति, न केवल वोल्टता एवं धारा पर निर्भर करती है बल्कि उनके बीच के कला-कोण की कोज्या (cosine) पर भी निर्भर करती है। राशि $\cos\phi$ को *शक्ति गुणांक* कहा जाता है। आइए निम्नलिखित प्रकरणों पर चर्चा करें :

प्रकरण (i) *प्रतिरोधकीय परिपथ :* यदि परिपथ में केवल शुद्ध R है तो यह परिपथ *प्रतिरोधकीय* परिपथ कहलाता है। इस परिपथ के लिए $\phi = 0$, $\cos\phi = 1$ इसमें अधिकतम शक्ति क्षय होती है।

प्रकरण (ii) *शुद्ध प्रेरकीय* अथवा *धारितीय परिपथ :* यदि परिपथ में केवल एक प्रेरक अथवा संधारित्र हो तो हम जानते हैं कि धारा एवं वोल्टता के बीच कला अंतर $\pi/2$ होता है। इसलिए $\cos\phi = 0$ और इसलिए यद्यपि परिपथ में धारा प्रवाहित होती है तो भी कोई शक्ति क्षय नहीं होती। इस धारा को कभी-कभी *वाटहीन धारा* भी कहा जाता है।

प्रकरण (iii) *श्रेणीबद्ध LCR परिपथ :* किसी *LCR* परिपथ में शक्ति क्षय समीकरण (7.38) के अनुसार होता है। यहाँ $\phi = \tan^{-1}(X_c - X_L)/R$ अतः किसी *RL* या *RC* या *RCL* परिपथ में ϕ शून्येतर हो सकता है। इन परिपथों में भी शक्ति केवल प्रतिरोधक में ही क्षयित होती है।

प्रकरण (iv) *LCR परिपथ में अनुनाद स्थिति में शक्ति क्षय :* अनुनाद की स्थिति में $X_c - X_L = 0$ एवं $\phi = 0$ इसलिए $\cos\phi = 1$ एवं $P = I^2Z = I^2R$ अर्थात परिपथ में अधिकतम शक्ति (R के माध्यम से) अनुनाद की स्थिति में क्षयित होती है।

उदाहरण 7.7

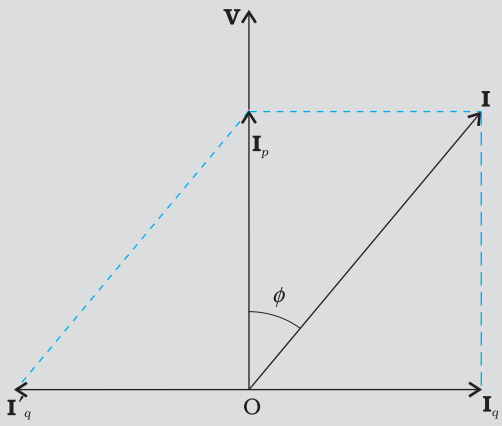
उदाहरण 7.7 (a) विद्युत शक्ति के परिवहन के लिए प्रयुक्त होने वाले परिपथों में निम्न शक्ति गुणांक, संप्रेषण में अधिक ऊर्जा का क्षय होगा, निर्दिष्ट करता है। इसका कारण समझाइए।

(b) परिपथ का शक्ति गुणांक, प्रायः परिपथ में उपयुक्त मान के संधारित्र का उपयोग करके सुधारा जा सकता है। यह तथ्य समझाइए।

हल (a) हम जानते हैं कि $P = I V \cos \phi$ यहाँ $\cos \phi$ शक्ति गुणांक है। दी गई वोल्टता पर वांछित शक्ति की आपूर्ति के लिए यदि $\cos \phi$ का मान कम होगा तो हमें उसी अनुपात में धारा का मान बढ़ाना पड़ेगा। परन्तु इससे संप्रेषण में अधिक शक्ति क्षय (I^2R) होगा।

(b) माना कि किसी परिपथ में धारा I वोल्टता से ϕ कोण पीछे रहती है तो इस परिपथ के लिए $\cos \phi = R/Z$

हम शक्ति गुणांक का सुधार कर इसका मान 1 की ओर प्रवृत्त कर सकते हैं जिसके लिए Z का मान R हो यह प्रयास करना पड़ेगा। यह उपलब्धि कैसे होती है, आइए चित्र द्वारा इसे समझने का प्रयास करें। धारा **I** को हम दो घटकों में वियोजित करते हैं– $\mathbf{I}_p$ प्रयुक्त वोल्टता **V** की दिशा में एवं



चित्र 7.17

$\mathbf{I}_q$ वोल्टता की लंबवत दिशा में। $\mathbf{I}_q$ जैसा आप अनुभाग 7.7 में पढ़ चुके हैं, वाटहीन घटक कहलाता है क्योंकि धारा के इस घटक के संगत कोई शक्ति क्षय नहीं होता। $\mathbf{I}_P$ को शक्ति घटक कहा जाता है, क्योंकि यह वोल्टता के साथ समान कला में है और इसी के साथ परिपथ में शक्ति क्षय होती है।

इस विश्लेषण से यह स्पष्ट है कि यदि हम शक्ति गुणांक में सुधार लाना चाहें तो पश्चगामी वाटहीन धारा $\mathbf{I}_q$ को उसी के बराबर अग्रगामी वाटहीन धारा $\mathbf{I'}_q$ द्वारा उदासीन करना पड़ेगा। इसके लिए उपयुक्त मान का संधारित्र समांतर क्रम में संयोजित करना होगा ताकि $\mathbf{I}_q$ एवं $\mathbf{I'}_q$ एक-दूसरे को निरस्त कर सकें और P प्रभावी रूप से $I_p V$ हो सके।

उदाहरण 7.7

उदाहरण 7.8 283 V शिखर वोल्टता एवं 50 Hz आवृत्ति की एक ज्यावक्रीय वोल्टता एक श्रेणीबद्ध LCR परिपथ से जुड़ी है जिसमें $R = 3\ \Omega$, $L = 25.48$ mH, एवं $C = 796\ \mu$F है। ज्ञात कीजिए (a) परिपथ की प्रतिबाधा; (b) स्रोत के सिरों के बीच लगी वोल्टता एवं परिपथ में प्रवाहित होने वाली धारा के बीच कला-अंतर; (c) परिपथ में होने वाला शक्ति-क्षय; एवं (d) शक्ति गुणांक।

हल

(a) परिपथ की प्रतिबाधा ज्ञात करने के लिए पहले हम X_L एवं X_C की गणना करेंगे।

$$X_L = 2\pi\nu L$$
$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 25.48 \times 10^{-3}\ \Omega = 8\ \Omega$$
$$X_C \quad \frac{1}{2 \quad C}$$

उदाहरण 7.8

उदाहरण 7.8

$$\frac{1}{2 \quad 3.14 \quad 50 \quad 796 \quad 10^{-6}} \quad 4$$

इसलिए,

$$Z \quad \sqrt{R^2 \quad (X_L \quad X_C)^2} \quad \sqrt{3^2 \quad (8 \quad 4)^2}$$

$= 5\ \Omega$

(b) कला-अंतर, $\phi = \tan^{-1} \frac{X_C \quad X_L}{R}$

$$\tan^{-1} \frac{4 \quad 8}{3} \quad 53.1$$

चूँकि ϕ का मान ऋणात्मक है, परिपथ में धारा स्रोत के सिरों के बीच वोल्टता से पीछे रहती है,

(c) परिपथ में शक्ति क्षय,

$$P \quad I^2R$$

अब, $I \quad \frac{i_m}{\sqrt{2}} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \frac{283}{5} \quad 40\text{A}$

अतः, $P \quad (40\text{A})^2 \quad 3 \quad 4800\,\text{W}$

(d) शक्ति गुणांक $= \cos \quad \cos 53.1 \quad 0.6$

उदाहरण 7.9

उदाहरण 7.9 माना कि पूर्व उदाहरण में वर्णित स्रोत की आवृत्ति परिवर्तनशील है। (a) स्रोत की किस आवृत्ति पर अनुनाद होगा। (b) अनुनाद की अवस्था में प्रतिबाधा, धारा एवं क्षयित शक्ति की गणना कीजिए।

हल

(a) वह आवृत्ति जिस पर अनुनाद होगा,

$$_0 \quad \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \frac{1}{\sqrt{25.48 \quad 10^{-3} \quad 796 \quad 10^{-6}}}$$

$$222.1\,\text{rad/s}$$

$$_r \quad \frac{_0}{2} \quad \frac{221.1}{2 \quad 3.14}\,\text{Hz} \quad 35.4\text{Hz}$$

(b) अनुनाद की स्थिति में प्रतिबाधा, Z प्रतिरोध, R के बराबर होती है अतः

$$Z \quad R \quad 3$$

अनुनाद स्थिति में rms धारा

$$\frac{V}{Z} \quad \frac{V}{R} \quad \frac{283}{\sqrt{2}} \quad \frac{1}{3} \quad 66.7\text{A}$$

अनुनाद स्थिति में शक्ति क्षय

$$P \quad I^2 \quad R \quad (66.7)^2 \quad 3 \quad 13.35\ \text{kW}$$

प्रस्तुत प्रकरण में आप देख सकते हैं कि अनुनाद स्थिति में शक्ति क्षय उदाहरण 7.8 में हुए शक्ति क्षय से अधिक है।

उदाहरण 7.10

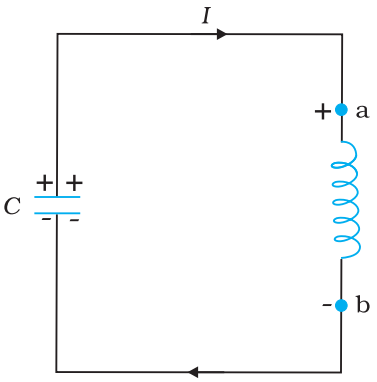
उदाहरण 7.10 किसी हवाई अड्डे पर सुरक्षा कारणों से, किसी व्यक्ति को धातु-संसूचक के द्वार पथ से गुजारा जाता है। यदि उसके पास कोई धातु से बनी वस्तु है, तो धातु संसूचक से एक ध्वनि निकलने लगती है। यह संसूचक किस सिद्धांत पर कार्य करता है?

हल धातु संसूचक ac परिपथों में अनुनाद के सिद्धांत पर कार्य करता है। जब आप किसी धातु संसूचक से गुजरते है तो वास्तव में आप अनेक फेरों वाली एक कुंडली से होकर गुजरते हैं। यह कुंडली एक ऐसी समस्वरित संधारित्र से जुड़ी होती है जिसके कारण परिपथ अनुनाद की स्थिति में होता है। जब आप जेब में धातु लेकर कुंडली से गुजरते हैं तो परिपथ की प्रतिबाधा परिवर्तित हो जाती है, परिणामस्वरूप परिपथ में प्रवाहित होने वाली धारा में सार्थक परिवर्तन होता है। धारा का यह परिवर्तन संसूचित होता है एवं इलेक्ट्रॉनिक परिपथिकी के कारण चेतावनी की ध्वनि उत्पन्न होती है।

7.8 LC दोलन

हम जानते हैं कि एक संधारित्र एवं एक प्रेरक क्रमशः वैद्युत एवं चुंबकीय ऊर्जा संचित कर सकते हैं। जब एक (पहले से आवेशित) संधारित्र एक प्रेरक के साथ जोड़ा जाता है तो संधारित्र पर आवेश एवं परिपथ में धारा, वैद्युत दोलनों की वैसी ही परिघटना प्रदर्शित करते हैं जैसी यांत्रिक प्रणालियों के दोलनों में देखी जाती है (अध्याय 14, कक्षा 11)।

माना कि किसी संधारित्र पर ($t = 0$) पर q_m आवेश है और इसे एक प्रेरक से जोड़ा गया है जैसा चित्र 7.18 में दर्शाया गया है।



चित्र 7.18 दर्शाए गए क्षण पर धारा बढ़ रही है अतः प्रेरक में प्रेरण द्वारा उत्पन्न की गई ध्रुवता वैसी ही होती है जैसी चित्र में दर्शायी गई है।

जैसे ही परिपथ पूर्ण होता है, संधारित्र पर आवेश कम होना प्रारंभ हो जाता है जिससे परिपथ में धारा प्रवाहित होने लगती है। माना कि किसी क्षण t पर आवेश q एवं परिपथ में धारा i है। चूँकि di/dt धनात्मक है, L में प्रेरित emf की ध्रुवता वही होगी जो चित्र में दर्शायी गई है, अर्थात $v_b < v_a$। किरखोफ के लूप नियम के अनुसार,

$$\frac{q}{C} \quad L\frac{di}{dt} \quad 0 \qquad (7.39)$$

$i = -(dq/dt)$, क्योंकि प्रस्तुत प्रकरण में q कम हो रहा है, i बढ़ रहा है अतः समीकरण (7.39) को लिख सकते हैं :

$$\frac{d^2q}{dt^2} \quad \frac{1}{LC}q \quad 0 \qquad (7.40)$$

इस समीकरण का स्वरूप सरल आवर्त गति की समीकरण $\frac{d^2x}{dt^2} \quad {}^2_0 x \quad 0$ जैसा है। अतः, आवेश सरल आवर्त दोलन करता है जिनकी प्राकृतिक आवृत्ति है,

$$_0 \quad \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (7.41)$$

और इसके परिमाण में समय के साथ ज्यावक्रीय रूप से परिवर्तन होता है जिसको हम निम्नलिखित सूत्र द्वारा व्यक्त कर सकते हैं :

$$q \quad q_m \cos \quad _0 t \qquad (7.42)$$

यहाँ q_m आवेश q का अधिकतम मान है एवं ϕ एक कला नियतांक है। चूँकि, $t = 0$ पर $q = q_m$, $\cos \phi = 1$ या $\phi = 0$ । इसलिए, प्रस्तुत प्रकरण में

$$q \quad q_m \cos(\ _0 t) \tag{7.43}$$

तब धारा i $\quad \frac{dq}{dt}$ को व्यक्त कर सकेंगे,

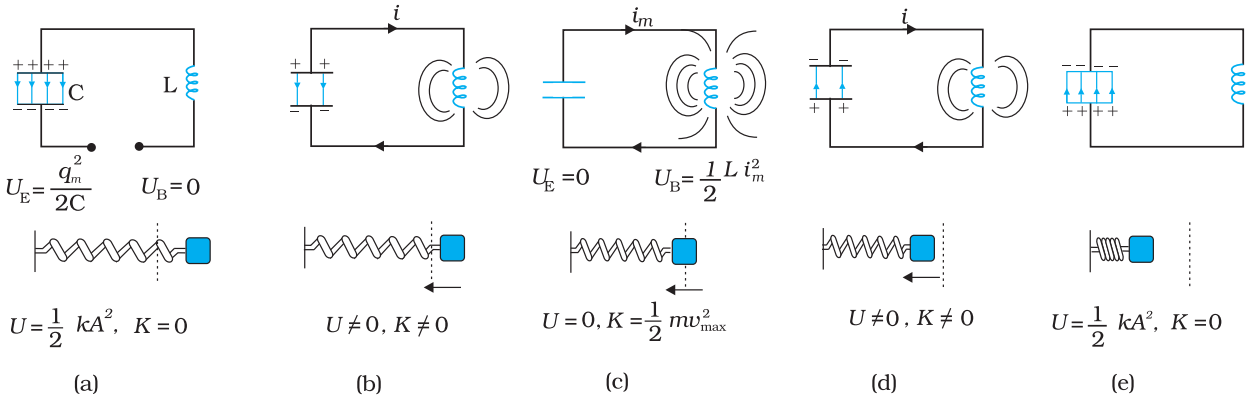
$$i \quad i_m \sin(\ _0 t) \tag{7.44}$$

यहाँ $\quad i_m \quad {}_0 q_m$

आइए अब यह देखने की चेष्टा करें कि परिपथ में यह दोलन होते कैसे हैं?

चित्र 7.19(a) में प्रारंभिक आवेश q_m युक्त एक संधारित्र एक आदर्श प्रेरक से जुड़ा दिखाया गया है। आवेशित संधारित्र में संचित वैद्युत ऊर्जा है $U_E \quad \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}$ । क्योंकि, परिपथ में कोई धारा प्रवाहित नहीं हो रही है, प्रेरक में ऊर्जा शून्य है। अतः LC परिपथ की कुल ऊर्जा है,

$$U \quad U_E \quad \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}$$



चित्र 7.19 *LC* परिपथ के दोलन स्प्रिंग के सिरे पर लगे गुटके के दोलनों के समतुल्य हैं। चित्र में दोलनों के आधे चक्र को दर्शाया गया है।

$t = 0$ पर स्विच बंद कर दिया जाता है और संधारित्र विसर्जित होने लगता है [चित्र 7.19 (b)]। जैसे-जैसे धारा बढ़ती है प्रेरक में चुंबकीय क्षेत्र स्थापित होने लगता है और प्रेरक में चुंबकीय ऊर्जा के रूप में ऊर्जा संचित होने लगती है जिसका मान है $U_B = (1/2)\, Li^2$। जब i_m, ($t = T/4$ पर) धारा का मान अधिकतम i_m होता है, जैसा चित्र 7.19 (c) में दर्शाया गया है तो कुल ऊर्जा चुंबकीय क्षेत्र के रूप में संचित होती है जिसका मान है– $U_B = (1/2)\, Li_m^2$। आप यह आसानी से जाँच सकते हैं कि अधिकतम वैद्युत ऊर्जा, अधिकतम चुंबकीय ऊर्जा के बराबर होती है। इस स्थिति में संधारित्र पर कोई आवेश और इसलिए कोई ऊर्जा नहीं होती। अब, जैसा चित्र 7.19 (d) में दर्शाया गया है, धारा संधारित्र को आवेशित करने लगती है। यह प्रक्रिया तब तक चलती रहती है जब तक कि ($t = T/2$ पर) संधारित्र पूरी तरह आवेशित नहीं हो जाता है [चित्र 7.19 (e)]। लेकिन, अब इसका आवेशन, चित्र 7.19 (a) में दर्शायी गई प्रारंभिक स्थिति की ध्रुवता को विपरीत ध्रुवता के साथ होता है। ऊपर बताई गई प्रक्रिया अब फिर से दोहराई जाएगी जिससे प्रणाली अपनी मूल अवस्था में लौट आएगी। अतः इस प्रणाली में ऊर्जा संधारित्र एवं प्रेरक के बीच दोलन करती है।

LC दोलन स्प्रिंग से जुड़े पिंड के यांत्रिक दोलनों की ही तरह है। चित्र 7.19 में प्रत्येक आकृति का नीचे का भाग यांत्रिक प्रणाली (स्प्रिंग से जुड़े पिंड) की संगत अवस्था प्रदर्शित करता है। जैसा पहले देखा गया है, m द्रव्यमान के ω_0 आवृत्ति से दोलन करते पिंड के लिए, समीकरण है

$$\frac{d^2x}{dt^2} \quad {}^2_0 x \quad 0$$

यहाँ, $_0 \quad \sqrt{k/m}$, एवं k स्प्रिंग नियतांक है। इसलिए, x के संगत राशि q है। यांत्रिक प्रणाली के लिए, $F = ma = m(dv/dt) = m(d^2x/dt^2)$। विद्युतीय प्रणाली के लिए $\varepsilon = -L(di/dt) = -L(d^2q/dt^2)$। इन दो समीकरणों की तुलना करने पर, हम देखते हैं कि L द्रव्यमान m के समतुल्य है : L धारा में परिवर्तन के प्रतिरोध का माप है। LC परिपथ के प्रकरण में, $_0 \quad 1/\sqrt{LC}$ एवं स्प्रिंग पर दोलन करते द्रव्यमान के लिए, $_0 \quad \sqrt{k/m}$ । इसलिए $1/C$ स्प्रिंग नियतांक k के समतुल्य है। नियतांक, k $(=F/x)$ व्यक्त करता है इकाई विस्थापन के लिए आवश्यक (बाह्य) बल, जबकि $1/C$ $(=V/q)$ व्यक्त करता है इकाई आवेश संचित करने के लिए आवश्यक विभवांतर।

सारणी 7.1 में यांत्रिक एवं वैद्युत राशियों की सादृश्यता प्रस्तुत की गई है।

ध्यान दें कि LC दोलनों के संबंध में उपरोक्त चर्चा दो कारणों से यथार्थ नहीं है–

सारणी 7.1 यांत्रिक एवं वैद्युत राशियों में समतुल्यता

यांत्रिक निकाय	वैद्युत निकाय
द्रव्यमान m	प्रेरकत्व L
बल नियतांक k	व्युत्क्रम धारिता $1/C$
विस्थापन x	आवेश q
वेग $v = dx/dt$	धारा $i = dq/dt$
यांत्रिक ऊर्जा	विद्युत चुंबकीय ऊर्जा
$E \quad \frac{1}{2}kx^2 \quad \frac{1}{2}mv^2$	$U \quad \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} \quad \frac{1}{2}Li^2$

(i) प्रत्येक प्रेरक में कुछ न कुछ प्रतिरोध अवश्य होता है। यह प्रतिरोध आवेश एवं परिपथ में प्रवाहित धारा पर अवमंदक प्रभाव डालता है जिससे अंततः दोलन समाप्त हो जाते हैं।

(ii) यदि प्रतिरोध शून्य हो तो भी निकाय की कुल ऊर्जा नियत नहीं रहेगी। यह निकाय से विद्युत चुंबकीय तरंगों के रूप में विकिरित हो जाएगी (अगले अध्याय में इस विषय में विस्तार से चर्चा की गई है)। वास्तव में रेडियो एवं टीवी संप्रेषकों की कार्य प्रणाली इन्हीं विकिरणों के ऊपर निर्भर करती है।

दो अलग-अलग परिघटनाएँ, समान गणितीय व्यवहार

संभवत: आप कक्षा 11 की भौतिकी की पाठ्यपुस्तक के अनुभाग 14.10 में वर्णित प्रणोदित अवमंदित दोलक की तुलना ac से जुड़े *LCR* परिपथ से करना चाहें। हम यह टिप्पणी पहले ही कर चुके हैं कि कक्षा 11 की पाठ्यपुस्तक में दी गई समीकरण [14.37 (b)] और इस अध्याय में दी गई समीकरण (7.28) में यद्यपि अलग-अलग संकेत चिह्न एवं प्राचल प्रयुक्त किए गए हैं, फिर भी वे एक दूसरे से बिलकुल मिलती-जुलती हैं। आइए, इन दो स्थितियों में विभिन्न राशियों की समतुल्यता सूचीबद्ध करें–

प्रणोदित दोलन	***संचालित LCR परिपथ***
$m\frac{d^2x}{dt^2}$ $b\frac{dx}{dt}$ kx $F\cos$ $_dt$	$L\frac{d^2q}{dt^2}$ $R\frac{dq}{dt}$ $\frac{q}{C}$ $v_m \sin$ t
विस्थापन, x	संधारित्र पर आवेश, q
समय, t	समय, t
द्रव्यमान, m	स्वप्रेरकत्व, L
अवमंदन नियतांक, b	प्रतिरोध, R
स्प्रिंग नियतांक, k	व्युत्क्रम धारिता, $1/C$
संचालक आवृत्ति, ω_d	संचालक आवृत्ति, ω
दोलक की प्राकृतिक आवृत्ति, ω	*LCR* परिपथ की प्राकृतिक आवृत्ति, ω_0
प्रणोदित दोलनों का आयाम, A	संचित अधिकतम आवेश, q_m
संचालक बल का आयाम, F_0	लगाई गई वोल्टता का आयाम, v_m

ध्यान दें कि चूँकि विस्थापन *(x)*, आवेश *(q)* के संगत होता है, आयाम (अधिकतम विस्थापन) A के संगत अधिकतम संचित आवेश, q_m होगा। कक्षा 11 की समीकरण [14.39 (a)] अन्य प्राचलों के पदों में दोलनों का आयाम निर्दिष्ट करती है जो सुविधा के लिए यहाँ हम प्रस्तुत करते हैं :

$$A \quad \frac{F_0}{m^2(\ ^2 \quad \ ^2_d)^2 \quad \ ^2_d b^2\ ^{1/2}}$$

उपरोक्त समीकरण में प्रत्येक प्राचल को उसके संगत वैद्युत राशि से प्रतिस्थापित करें और देखें कि क्या होता है। इससे, L, C, ω एवं ω_0, को, संबंधों $X_L = \omega L$, $X_C = 1/\omega C$, एवं $\omega_0^2 = 1/LC$ का उपयोग करके हटाएँ। जब आप समीकरण (7.33) एवं (7.34) का उपयोग करेंगे तो आप पाएँगे कि उनमें पूरा तालमेल है।

भौतिकी में ऐसी अनेक स्थितियों से आपका सामना होगा जहाँ बिलकुल अलग भौतिक परिघटनाओं को एक जैसी गणितीय समीकरणों द्वारा व्यक्त किया जाता है। यदि आप उनमें से एक को सुलझा चुके हैं तो दूसरी को सुलझाने के लिए आप केवल संगत राशियों को प्रतिस्थापित करके नए संदर्भ में परिणाम की व्याख्या करें। हमारा सुझाव है कि आप भौतिकी के विभिन्न क्षेत्रों से इस प्रकार की समान परिस्थितियों को खोजें। हमें इन स्थितियों के अंतरों से भी अवगत होना चाहिए।

उदाहरण 7.11 दर्शाइए कि LC परिपथ के मुक्त दोलनों में, संधारित्र एवं प्रेरक में संचित ऊर्जाओं का योग, समय के बदलने पर भी नहीं बदलता।

हल मान लीजिए कि किसी संधारित्र पर प्रारंभिक आवेश q_0 है तथा यह संधारित्र L प्रेरकत्व के किसी प्रेरक के साथ जोड़ा गया है। जैसा आपने अनुभाग 7.8 में पढ़ा है, इस LC परिपथ में आवृत्ति (ω)

यहाँ $\omega \quad 2 \quad \frac{1}{\sqrt{LC}}$ के दोलन बने रहेंगे।

किसी क्षण t पर, संधारित्र पर आवेश q एवं परिपथ में धारा i हैं,

$q(t) = q_0 \cos \omega t$

$i(t) = -q_0 \omega \sin \omega t$

समय t पर, प्रेरक में संचित ऊर्जा

$$U_E = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

$$= \frac{q_0^2}{2C} \cos^2 (\omega t)$$

समय t पर प्रेरक में संचित ऊर्जा

$$U_M \quad \frac{1}{2} L i^2$$

$$\frac{1}{2} L q_0^2 \quad ^2 \sin^2 (\quad t)$$

$$\frac{q_0^2}{2C} \sin^2 (\quad t) \quad \because \quad ^2 \quad 1/\sqrt{LC}$$

ऊर्जाओं का योग

$$U_E \quad U_M \quad \frac{q_0^2}{2C} \cos^2 \quad t \quad \sin^2 \quad t$$

$$\frac{q_0^2}{2C}$$

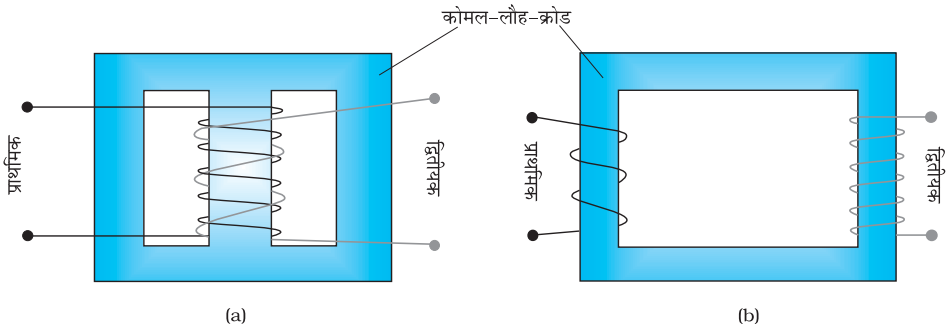
क्योंकि q_0 एवं C दोनों ही समय पर निर्भर नहीं करते इसलिए यह योग समय के साथ नहीं बदलता। ध्यान देने योग्य बात यह है कि ऊर्जाओं का यह योग संधारित्र की प्रारंभिक ऊर्जा के बराबर है। ऐसा क्यों है? विचार कीजिए!

उदाहरण 7.11

7.9 ट्रांसफॉर्मर

अनेक उद्देश्यों के लिए ac वोल्टता को एक मान से दूसरे अधिक या कम मान में परिवर्तित करना (या रूपांतरित करना) आवश्यक हो जाता है। ऐसा अन्योन्य प्रेरण के सिद्धांत पर आधारित एक युक्ति के द्वारा किया जाता है जिसे *ट्रांसफॉर्मर* कहते हैं।

ट्रांसफार्मर में दो कुंडलियाँ होती हैं जो एक दूसरे से विद्युतरुद्ध होती हैं। वे एक कोमल-लौह-क्रोड पर लिपटी होती हैं। लपेटने की विधि या तो चित्र 7.20 (a) की भाँति होती है, जिसमें एक कुंडली दूसरी के ऊपर लिपटी होती है, या फिर चित्र 7.20 (b) की भाँति जिसमें दोनों कुंडलियाँ क्रोड की अलग-अलग भुजाओं पर लिपटी होती हैं। एक कुंडली को *प्राथमिक कुंडली* (primary coil) कहते हैं इसमें N_p लपेटे होते हैं। दूसरी कुंडली को *द्वितीयक कुंडली* (secondary coil) कहते



चित्र 7.20 किसी ट्रांसफॉर्मर में प्राथमिक एवं द्वितीयक कुंडलियों को लपेटने की दो व्यवस्थाएँ : (a) एक दूसरे के ऊपर लपेटी गई दो कुंडलियाँ (b) क्रोड की अलग-अलग भुजाओं पर लिपटी कुंडलियाँ

हैं, इसमें N_s लपेटे होते हैं। प्राय: प्राथमिक कुंडली निवेशी कुंडली होती है एवं द्वितीयक कुंडली ट्रांसफार्मर की निर्गत कुंडली होती है।

जब प्राथमिक कुंडली के सिरों के बीच प्रत्यावर्ती वोल्टता लगाई जाती है तो परिणामी धारा एक प्रत्यावर्ती चुंबकीय फ्लक्स उत्पन्न करती है जो द्वितीयक कुंडली से संयोजित होकर इसके सिरों के बीच एक emf प्रेरित करता है। इस emf का मान द्वितीयक कुंडली में फेरों की संख्या पर निर्भर करता है। हम मान लेते हैं कि हमारा ट्रांसफॉर्मर एक आदर्श ट्रांसफॉर्मर है जिसकी प्राथमिक कुंडली का प्रतिरोध नगण्य है, और क्रोड का संपूर्ण फ्लक्स प्राथमिक एवं द्वितीयक दोनों कुंडलियों से गुजरता है। प्राथमिक कुंडली के सिरों के बीच वोल्टता v_p लगाने से, माना किसी क्षण t पर, इस कुंडली का प्रत्येक फेरा क्रोड में ϕ फ्लक्स उत्पन्न करता है।

तब N_s लपेटों वाली द्वितीयक कुंडली के सिरों के बीच प्रेरित emf या वोल्टता ε_s है

$$_s \quad N_s \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \qquad (7.45)$$

प्रत्यावर्ती फ्लक्स, ϕ प्राथमिक कुंडली में भी एक emf प्रेरित करता है जिसे पश्च विद्युत वाहक बल कहते हैं। यह है,

$$_p \quad N_p \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \qquad (7.46)$$

लेकिन, $\varepsilon_p = v_p$ यदि ऐसा नहीं होता तो प्रारंभिक कुंडली (जिसका प्रतिरोध हमने शून्य माना है) में अनंत परिमाण की धारा प्रवाहित होती। यदि द्वितीयक कुंडली के सिरे मुक्त हों अथवा इससे बहुत कम धारा ली जा रही हो तो पर्याप्त सन्निकट मान तक

$$\varepsilon_s = v_s$$

यहाँ v_s द्वितीयक कुंडली के सिरों के बीच वोल्टता है। अत: समीकरणों (7.45) एवं (7.46) को हम इस प्रकार लिख सकते हैं –

$$v_s \quad N_s \frac{d}{dt} \qquad [7.45(a)]$$

$$v_p \quad N_p \frac{d}{dt} \qquad [7.46(a)]$$

समीकरण [7.45 (a)] एवं [7.46 (a)] से,

$$\frac{v_s}{v_p} \quad \frac{N_s}{N_p} \qquad (7.47)$$

ध्यान दीजिए कि उपरोक्त संबंध की व्युत्पत्ति में हमने तीन परिकल्पनाओं का उपयोग किया है जो इस प्रकार हैं– (i) प्राथमिक कुंडली का प्रतिरोध एवं इसमें प्रवाहित होने वाली धारा कम है; (ii) प्राथमिक एवं द्वितीयक कुंडली से समान फ्लक्स बाहर निकल पाता है; एवं (iii) द्वितीयक कुंडली में बहुत कम धारा प्रवाहित होती है।

यदि यह मान लिया जाए कि ट्रांसफॉर्मर की दक्षता 100% है (कोई ऊर्जा क्षय नहीं होता); तो निवेशी शक्ति, निर्गत शक्ति के बराबर होगी और चूँकि $p = i\upsilon$,

$$i_p \upsilon_p = i_s \upsilon_s \tag{7.48}$$

यद्यपि कुछ न कुछ ऊर्जा क्षय तो सदैव होता ही है, फिर भी यह एक अच्छा सन्निकटन है, क्योंकि एक भली प्रकार अभिकल्पित ट्रांसफॉर्मर की दक्षता 95% से अधिक होती है। समीकरण (7.47) एवं (7.48) को संयोजित करने पर,

$$\frac{i_p}{i_s} \quad \frac{\upsilon_s}{\upsilon_p} \quad \frac{N_s}{N_p} \tag{7.49}$$

क्योंकि i एवं υ दोनों की दोलन आवृत्ति वही है जो ac स्रोत की, समीकरण (7.49) से संगत राशियों के आयामों अथवा rms मानों का अनुपात भी प्राप्त होता है।

अब, हम देख सकते हैं कि ट्रांसफॉर्मर किस प्रकार वोल्टता एवं धारा के मानों को प्रभावित करता है। हम जानते हैं कि :

$$V_s \quad \frac{N_s}{N_p} \; V_p \quad \text{तथा} \; I_s \quad \frac{N_p}{N_s} \; I_p \tag{7.50}$$

अर्थात यदि द्वितीयक कुंडली में प्राथमिक कुंडली से अधिक फेरे हैं ($N_s > N_p$) तो वोल्टता बढ़ जाती है ($V_s > V_p$) । इस प्रकार की व्यवस्था को *उच्चायी ट्रांसफॉर्मर* (step-up transformer) कहते हैं। तथापि, इस व्यवस्था में, द्वितीयक कुंडली में धारा प्राथमिक कुंडली से कम होती है ($N_p/N_s < 1$ एवं $I_s < I_p$)। उदाहरणार्थ, यदि किसी ट्रांसफॉर्मर की प्राथमिक कुंडली में 100 एवं द्वितीयक कुंडली में 200 फेरे हों तो $N_s/N_p = 2$ एवं $N_p/N_s = 1/2$ । अत: 220V, 10A का निवेश, बढ़कर 440 V का निर्गम 5.0 A पर देगा।

यदि द्वितीयक कुंडली में प्राथमिक कुंडली से कम फेरे हैं ($N_s < N_p$) तो यह ट्रांसफॉर्मर *अपचयी* (step-down transformer) है। इस ट्रांसफार्मर में $V_s < V_p$ एवं $I_s > I_p$ अर्थात वोल्टता कम हो जाती है तथा धारा बढ़ जाती है।

ऊपर प्राप्त की गई समीकरण आदर्श ट्रांसफॉर्मरों के लिए ही लागू होती है (जिनमें कोई ऊर्जा क्षय नहीं होता)। परंतु वास्तविक ट्रॉसफॉर्मरों में निम्नलिखित कारणों से अल्प मात्रा में ऊर्जा क्षय होता है–

(i) *फ्लक्स क्षरण*–सदैव कुछ न कुछ फ्लक्स तो क्षरित होता ही है, अर्थात क्रोड के खराब अभिकल्पन या इसमें रही वायु रिक्ति के कारण, प्राथमिक कुंडली का समस्त फ्लक्स द्वितीयक कुंडली से नहीं गुजरता। प्राथमिक एवं द्वितीयक कुंडलियों को एक दूसरे के ऊपर लपेट कर फ्लक्स क्षरण को कम किया जाता है।

(ii) *कुंडलनों का प्रतिरोध*– कुंडलियाँ बनाने में लगे तारों का कुछ न कुछ प्रतिरोध तो होता ही है और इसलिए इन तारों में उत्पन्न ऊष्मा (I^2R) के कारण ऊर्जा क्षय होता है। उच्च धारा, निम्न वोल्टता कुंडलनों में मोटे तार का उपयोग करके, इनमें होने वाले ऊर्जा क्षय को कम किया जाता है।

(iii) *भँवर धाराएँ*–प्रत्यावर्ती चुंबकीय फ्लक्स, लौह-क्रोड में भँवर धाराएँ प्रेरित करके, इसे गर्म कर देता है। स्तरित क्रोड का उपयोग करके इस प्रभाव को कम किया जाता है।

(iv) *शैथिल्य* (Hysteresis)–प्रत्यावर्ती चुंबकीय क्षेत्र द्वारा क्रोड का चुंबकन बार-बार उत्क्रमित होता है। इस प्रक्रिया में व्यय होने वाली ऊर्जा क्रोड में ऊष्मा के रूप में प्रकट होती है। कम शैथिल्य वाले पदार्थ का क्रोड में उपयोग करके इस प्रभाव को कम रखा जाता है।

विद्युत ऊर्जा का लंबी दूरियों तक, बड़े पैमाने पर संप्रेषण एवं वितरण करने के लिए ट्रांसफॉर्मरों का उपयोग किया जाता है। जनित्र की निर्गत वोल्टता को उच्चायित किया जाता है (ताकि धारा कम हो जाती है और परिणामस्वरूप I^2R हानि घट जाती है। इसकी लंबी दूरी के उपभोक्ता के समीप स्थित क्षेत्रीय उप-स्टेशन तक संप्रेषित किया जाता है। वहाँ वोल्टता को अपचयित किया जाता है। वितरण उप-स्टेशनों एवं खंभों पर फिर से अपचयित करके 240 V की शक्ति आपूर्ति हमारे घरों को पहुँचायी जाती है।

सारांश

1. जब किसी प्रतिरोधक R के सिरों पर कोई प्रत्यावर्ती वोल्टता $v \quad v_m \sin \quad t$ लगाई जाती है तो उसमें धारा $i = i_m \sin\omega t$ संचालित होती है जहाँ, $i_m \quad \frac{v_m}{R}$. यह धारा प्रयुक्त वोल्टता की कला में होती है।
2. किसी प्रतिरोधक R से प्रवाहित प्रत्यावर्ती धारा $i = i_m \sin\omega t$ के लिए जूल तापन के कारण माध्य शक्ति क्षय $(1/2) i_m^2 R$ होता है। इसे उसी रूप में व्यक्त करने के लिए जिसमें dc शक्ति ($P = I^2R$), को व्यक्त करते हैं, धारा के एक विशिष्ट मान का उपयोग किया जाता है। इसे वर्ग माध्य मूल (rms) धारा कहते हैं तथा I से व्यक्त करते हैं :

$$I \quad \frac{i_m}{\sqrt{2}} \quad 0.707\, i_m$$

इसी प्रकार, *rms* वोल्टता

$$V \quad \frac{v_m}{\sqrt{2}} \quad 0.707\, v_m$$

माध्य शक्ति के लिए व्यंजक $P = IV = I^2R$

3. किसी शुद्ध प्रेरक L के किसी पर प्रयुक्त ac वोल्टता $v = v_m \sin\omega t$ इसमें $i = i_m \sin(\omega t - \pi/2)$, धारा संचालित करता है, यहाँ

$$i_m = \frac{v_m}{X_L} \quad \text{जहाँ} \quad X_L \quad L$$

X_L को *प्रेरणिक प्रतिघात* कहते हैं। प्रेरक में धारा वोल्टता से $\pi/2$ रेडियन से पीछे होती है। एक पूरे चक्र में किसी प्रेरिक को आपूर्ति माध्य शक्ति शून्य होती है।

4. किसी संधारित्र के सिरों पर प्रयुक्त ac वोल्टता $v = v_m \sin\omega t$ उसमें $i = i_m \sin(\omega t + \pi/2)$ धारा संचालित करता है। यहाँ

$$i_m \quad \frac{v_m}{X_C}, X_C \quad \frac{1}{C}$$

X_C को *धारिता प्रतिघात* कहते हैं। संधारित्र में प्रवाहित धारा प्रयुक्त वोल्टता से $\pi/2$ रेडियन आगे होती है। प्रेरक के समान ही एक पूरे चक्र में संधारित्र को आपूर्त माध्य शक्ति शून्य होती है।

5. वोल्टता $v = v_m \sin\omega t$, द्वारा संचालित किसी श्रेणीबद्ध LCR परिपथ में धारा का मान निम्नलिखित व्यंजक से दिया जाता है,

यहाँ $i_m \quad \frac{v_m}{\sqrt{R^2 \quad X_C \quad X_L{}^2}}$

तथा $\tan^{-1}\frac{X_C - X_L}{R}$

होता है।

$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$ को परिपथ की *प्रतिबाधा* कहते हैं।

एक पूरे चक्र में माध्य शक्ति क्षय को निम्न सूत्र से व्यक्त करते हैं,

$$P = V I \cos\phi$$

पद $\cos\phi$ को *शक्ति गुणांक* कहते हैं।

6. किसी विशुद्ध प्रेरणिक अथवा धारिता परिपथ के लिए $\cos\phi = 0$। ऐसे परिपथ में यद्यपि धारा तो प्रवाहित होती है तथापि शक्ति क्षय नहीं होता है। ऐसे उदाहरणों में धारा को *वाटहीन* (Wattless) धारा कहते हैं।
7. किसी ac परिपथ में धारा व वोल्टता के मध्य कला के संबंध को सुगमता से व्यक्त किया जा सकता है। इसमें वोल्टता तथा धारा को घूर्णी सदिशों से निरूपित करते हैं। घूर्णी सदिश को *फेजर* कहते हैं। फेजर एक सदिश के समान है जो ω चाल से मूल बिंदु के चतुर्दिश घूर्णन करता है। फेजर का परिमाण फेजर द्वारा निरूपित राशि (वोल्टता या धारा) के आयाम या शिखर मान को व्यक्त करता है।
फेजर-आरेख के उपयोग से किसी ac परिपथ का विश्लेषण आसान हो जाता है।
8. अनुनाद की घटना किसी श्रेणीबद्ध *LCR* परिपथ की एक रोचक विशिष्टता है। परिपथ अनुनाद को प्रदर्शित करता है अर्थात अनुनादी आवृत्ति $_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ पर धारा का आयाम अधिकतम होता है। $Q = \frac{_0L}{R} = \frac{1}{_0CR}$ द्वारा परिभाषित गुणता कारक (Quality Factor) Q अनुनाद की तीक्ष्णता का संकेतक है। Q का अधिक मान यह संकेत करता है कि धारा का शिखर अपेक्षाकृत अधिक तीक्ष्ण है।
9. ac स्रोत तथा प्रतिरोधक विहीन कोई ऐसा परिपथ जिसमें कोई प्रेरक L तथा संधारित्र C (प्रारंभ में आवेशित) हैं, मुक्त दोलन प्रदर्शित करता है। संधारित्र का आवेश q एक सरल आवर्त गति करता है:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$$

इस प्रकार मुक्त दोलनों की आवृत्ति $_0 = 1/\sqrt{LC}$ होती है। निकाय की ऊर्जा संधारित्र तथा प्रेरक के मध्य दोलन करती है, किंतु उनका योग अथवा कुल ऊर्जा समय के साथ नियत रहती है।
10. ट्रांसफार्मर में एक लोहे का क्रोड होता है जिसमें फेरों की संख्या N_p की एक प्राथमिक कुंडली तथा फेरों की संख्या N_s की एक द्वितीयक कुंडली लिपटी रहती है। यदि प्राथमिक कुंडली को किसी ac स्रोत से जोड़ दें, तो प्राथमिक एवं द्वितीयक वोल्टता निम्नलिखित व्यंजक द्वारा संबंधित होती हैं,

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} V_p$$

तथा दोनों धाराओं के मध्य के संबंध को निम्नलिखित सूत्र से व्यक्त करते हैं

$$I_s = \frac{N_p}{N_s} I_p$$

यदि प्राथमिक की तुलना में द्वितीयक कुंडली में फेरों की संख्या अधिक है तो वोल्टता उच्च हो जाती है ($V_s > V_p$)। इस प्रकार की युक्ति को *उच्चायी ट्रांसफार्मर* कहते हैं। किंतु यदि प्राथमिक की तुलना में द्वितीयक में फेरों की संख्या कम है तो *ट्रांसफार्मर अपचयी* होता है।

भौतिक राशि	प्रतीक	विमा	मात्रक	टिप्पणी
rms वोल्टता	V_{rms}	$[M L^2 T^{-3} A^{-1}]$	V	$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$, V_m ac वोल्टता का आयाम है।
rms धारा	I_{rms}	[A]	A	$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$, I_m ac धारा का आयाम है।
प्रतिघात :				
प्रेरणिक	X_L	$[M L^2 T^{-3} A^{-2}]$	Ω	$X_L = \omega L$
धारितात्मक	X_C	$[M L^2 T^{-3} A^{-2}]$	Ω	$X_C = 1/\omega C$
प्रतिबाधा	Z	$[M L^2 T^{-3} A^{-2}]$	Ω	परिपथ में विद्यमान अवयवों पर निर्भर करता है।
अनुनादी आवृत्ति	ω_r या ω_0	$[T^{-1}]$	Hz	$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ एक श्रेणीबद्ध *LCR* परिपथ के लिए
गुणता कारक	Q	विमाहीन		$Q = \frac{\omega_r L}{R} = \frac{1}{\omega_r CR}$ श्रेणीबद्ध *LCR* परिपथ के लिए
शक्ति कारक		विमाहीन		$= \cos\phi$, ϕ परिपथ में आरोपित वोल्टता तथा धारा में कलांतर है

विचारणीय विषय

1. जब ac वोल्टता या धारा को कोई मान दिया जाता है तो यह प्रायः धारा अथवा वोल्टता का rms मान होता है। आपके कमरे में लगे विद्युत स्विच के टर्मिनलों के बीच वोल्टता सामान्यतया 240 V होती है। यह वोल्टता के *rms* मान को निर्दिष्ट करती है। इस वोल्टता का आयाम $V_m = \sqrt{2}V_{rms} = \sqrt{2}(240) = 340\,V$ है।
2. किसी ac परिपथ में प्रयुक्त अवयव की शक्ति संनिर्धारण माध्य शक्ति से निर्धारण को इंगित करती है।
3. किसी परिपथ में उपयुक्त शक्ति कभी भी ऋणात्मक नहीं होती।
4. प्रत्यावर्ती एवं दिष्ट धाराएँ दोनों ऐम्पियर में मापी जाती हैं। किंतु प्रत्यावर्ती धारा के लिए ऐम्पियर को किस प्रकार भौतिक रूप से परिभाषित किया जाए? जिस प्रकार dc ऐम्पियर को परिभाषित करते हैं उसी प्रकार इसे (ac ऐम्पियर को) ac धाराओं को वहन करने वाले दो समांतर तारों के अन्योन्य आकर्षण के रूप में परिभाषित नहीं कर सकते। ac धारा स्रोत की आवृत्ति के साथ दिशा परिवर्तित करती है जिससे माध्य आकर्षण बल शून्य हो जाता है। अतः ac ऐम्पियर को किसी ऐसे गुण के संबंध में परिभाषित करना चाहिए जो धारा की दिशा पर निर्भर न करता हो।

जूल तापन एक ऐसा ही गुण है, तथा किसी परिपथ में प्रत्यावर्ती धारा के *rms* मान को एक ऐम्पियर के रूप में परिभाषित करते हैं यदि यह धारा वही औसत ऊष्मीय प्रभाव उत्पन्न करती है, जैसा कि dc धारा की एक ऐम्पियर उन्हीं परिस्थितियों में करती है।

5. किसी ac परिपथ में विभिन्न अवयवों के सिरों के बीच वोल्टताओं का योग करते समय उनकी कलाओं का उचित ध्यान रखना चाहिए। उदाहरणार्थ, यदि किसी *RC* परिपथ में V_R और V_C क्रमशः *R* व *C* के सिरों के बीच वोल्टता है तो *RC* संयोजन के सिरों के बीच वोल्टता $V_{RC} = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$ होगी न कि $V_R + V_C$ क्योंकि V_C तथा V_R के बीच कला-अंतर $\frac{\pi}{2}$ है।

6. यद्यपि किसी फेजर-आरेख में वोल्टता तथा धारा को सदिशों से निरूपित करते हैं तथापि ये राशियाँ वास्तव में सदिश नहीं हैं। ये अदिश राशियाँ हैं। ऐसा होता है कि सरल आवर्त रूप से परिवर्तित होने वाले अदिशों की कलाएँ गणितीय रूप से उसी प्रकार संयोग करती हैं, जैसे कि तदनुसार परिमाणों व दिशाओं के घूर्णी सदिशों के प्रक्षेप करते हैं। 'घूर्णी सदिश', जो सरल आवर्त रूप से परिवर्तनशील अदिश राशियों का निरूपण करते हैं, हमें इन राशियों के जोड़ने की सरल विधि प्रदान करने के लिए सन्निविष्ट किए जाते हैं। इसके लिए हम उस नियम का उपयोग करते हैं जिसे हम सदिशों के संयोजन के नियम के रूप में पहले ही से जानते हैं।

7. किसी ac परिपथ में शुद्ध संधारित्रों तथा प्रेरकों से कोई शक्ति-क्षय संबद्ध नहीं होता। यदि ac परिपथ में किसी अवयव द्वारा शक्ति-क्षय होता है तो वह प्रतिरोधक अवयव है।

8. किसी *LCR* परिपथ में अनुनाद की परिघटना तब होती है जब $X_L = X_C$ या $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$। अनुनाद होने के लिए परिपथ में *L* व *C* दोनों अवयवों का होना आवश्यक है। इनमें से मात्र एक (*L* अथवा *C*) के होने से वोल्टता के निरस्त होने की संभावना नहीं होती और इस प्रकार अनुनाद संभव नहीं है।

9. किसी *LCR* परिपथ में शक्ति गुणांक (Power Factor) इस बात को मापता है कि परिपथ अधिकतम शक्ति व्यय करने के कितने समीप है।

10. जनित्रों एवं मोटरों में निवेश तथा निर्गत की भूमिकाएँ एक-दूसरे के विपरीत होती हैं। एक मोटर में वैद्युत ऊर्जा निवेश है तथा यांत्रिक ऊर्जा निर्गत है; जनित्र में यांत्रिक ऊर्जा निवेश है तथा वैद्युत ऊर्जा निर्गत है। दोनों युक्तियाँ ऊर्जा को एक प्रकार से दूसरे में रूपांतरित करती हैं।

11. एक ट्रांसफॉर्मर (*उच्चायी*) निम्न वोल्टता को उच्च वोल्टता में परिवर्तित करता है। यह ऊर्जा के संरक्षण के नियम का उल्लंघन नहीं करता है। धारा उसी अनुपात में घट जाती है।

12. यह चयन करना कि दोलन गति का विवरण ज्या (sine) या कोज्या (cosine) के द्वारा दिया जाता है अथवा इनके रैखिक संयोग द्वारा, महत्वहीन है क्योंकि शून्य-समय स्थिति में परिवर्तन एक को दूसरे में रूपांतरित कर देता है।

अभ्यास

7.1 एक 100 Ω का प्रतिरोधक 200 V, 50 Hz आपूर्ति से संयोजित है।

(a) परिपथ में धारा का rms मान कितना है?

(b) एक पूरे चक्र में कितनी नेट शक्ति व्यय होती है।

7.2 (a) ac आपूर्ति का शिखर मान 300 V है। rms वोल्टता कितनी है?

(b) ac परिपथ में धारा का rms मान 10 A है। शिखर धारा कितनी है?

7.3 एक 44 mH का प्रेरित्र 220 V, 50 Hz आपूर्ति से जोड़ा गया है। परिपथ में धारा के rms मान को ज्ञात कीजिए।

7.4 एक 60 μF का संधारित्र 110 V, 60 Hz ac आपूर्ति से जोड़ा गया है। परिपथ में धारा के rms मान को ज्ञात कीजिए।

7.5 अभ्यास 7.3 व 7.4 में एक पूरे चक्र की अवधि में प्रत्येक परिपथ में कितनी नेट शक्ति अवशोषित होती है? अपने उत्तर का विवरण दीजिए।

7.6 एक *LCR* परिपथ की, जिसमें $L = 2.0$ H, $C = 32$ μF तथा $R = 10$ Ω अनुनाद आवृत्ति ω_r परिकलित कीजिए। इस परिपथ के लिए Q का क्या मान है?

7.7 30 μF का एक आवेशित संधारित्र 27 mH के प्रेरित्र से जोड़ा गया है। परिपथ के मुक्त दोलनों की कोणीय आवृत्ति कितनी है?

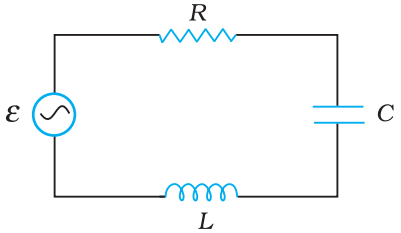
7.8 कल्पना कीजिए कि अभ्यास 7.7 में संधारित्र पर प्रारंभिक आवेश 6 mC है। प्रारंभ में परिपथ में कुल कितनी ऊर्जा संचित होती है। बाद में कुल ऊर्जा कितनी होगी?

7.9 एक श्रेणीबद्ध *LCR* परिपथ को, जिसमें $R = 20$ Ω, $L = 1.5$ H तथा $C = 35$ μF, एक परिवर्ती आवृत्ति की 200 V ac आपूर्ति से जोड़ा गया है। जब आपूर्ति की आवृत्ति परिपथ की मूल आवृत्ति के बराबर होती है तो एक पूरे चक्र में परिपथ को स्थानांतरित की गई माध्य शक्ति कितनी होगी?

7.10 एक रेडियो को MW प्रसारण बैंड के एक खंड के आवृत्ति परास के एक ओर से दूसरी ओर (800 kHz से 1200 kHz) तक समस्वरित किया जा सकता है। यदि इसके *LC* परिपथ का प्रभावकारी प्रेरकत्व 200 μH हो, तो उसके परिवर्ती संधारित्र की परास कितनी होनी चाहिए?

[**संकेत :** समस्वरित करने के लिए मूल आवृत्ति अर्थात *LC* परिपथ के मुक्त दोलनों की आवृत्ति रेडियो तरंग की आवृत्ति के समान होनी चाहिए।]

7.11 चित्र 7.21 में एक श्रेणीबद्ध *LCR* परिपथ दिखलाया गया है जिसे परिवर्ती आवृत्ति के 230 V के स्रोत से जोड़ा गया है। $L = 5.0$ H, $C = 80$ μF, $R = 40$ Ω



चित्र 7.21

(a) स्रोत की आवृत्ति निकालिए जो परिपथ में अनुनाद उत्पन्न करे।

(b) परिपथ की प्रतिबाधा तथा अनुनादी आवृत्ति पर धारा का आयाम निकालिए।

(c) परिपथ के तीनों अवयवों के सिरों पर विभवपात के rms मानों को निकालिए। दिखलाइए कि अनुनादी आवृत्ति पर *LC* संयोग के सिरों पर विभवपात शून्य है।

अतिरिक्त अभ्यास

7.12 किसी *LC* परिपथ में 20 mH का एक प्रेरक तथा 50 μF का एक संधारित्र है जिस पर प्रारंभिक आवेश 10 mC है। परिपथ का प्रतिरोध नगण्य है। मान लीजिए कि वह क्षण जिस पर परिपथ बंद किया जाता है $t = 0$ है।

(a) प्रारंभ में कुल कितनी ऊर्जा संचित है? क्या यह *LC* दोलनों की अवधि में संरक्षित है?

(b) परिपथ की मूल आवृत्ति क्या है?

(c) किस समय पर संचित ऊर्जा

(i) पूरी तरह से वैद्युत है (अर्थात वह संधारित्र में संचित है)?

(ii) पूरी तरह से चुंबकीय है (अर्थात प्रेरक में संचित है)?

(d) किन समयों पर संपूर्ण ऊर्जा प्रेरक एवं संधारित्र के मध्य समान रूप से विभाजित है?

(e) यदि एक प्रतिरोधक को परिपथ में लगाया जाए तो कितनी ऊर्जा अंततः ऊष्मा के रूप में क्षयित होगी?

7.13 एक कुंडली को जिसका प्रेरण 0.50 H तथा प्रतिरोध 100 Ω है, 240 V व 50 Hz की एक आपूर्ति से जोड़ा गया है।

(a) कुंडली में अधिकतम धारा कितनी है?

(b) वोल्टेज शीर्ष व धारा शीर्ष के बीच समय-पश्चता (time lag) कितनी है?

7.14 यदि परिपथ को उच्च आवृत्ति की आपूर्ति (240 V, 10 kHz) से जोड़ा जाता है तो अभ्यास 7.13 (a) तथा (b) के उत्तर निकालिए। इससे इस कथन की व्याख्या कीजिए कि अति उच्च आवृत्ति पर किसी परिपथ में प्रेरक लगभग खुले परिपथ के तुल्य होता है। स्थिर अवस्था के पश्चात किसी dc परिपथ में प्रेरक किस प्रकार का व्यवहार करता है।

7.15 40 Ω प्रतिरोध के श्रेणीक्रम में एक 100 μF के संधारित्र को 110 V, 60 Hz की आपूर्ति से जोड़ा गया है।

(a) परिपथ में अधिकतम धारा कितनी है?

(b) धारा शीर्ष व वोल्टेज़ शीर्ष के बीच समय-पश्चता कितनी है?

7.16 यदि परिपथ को 110 V, 12 kHz आपूर्ति से जोड़ा जाए तो अभ्यास (a) व (b) का उत्तर निकालिए। इससे इस कथन की व्याख्या कीजिए कि अति उच्च आवृत्तियों पर एक संधारित्र चालक होता है। इसकी तुलना उस व्यवहार से कीजिए जो किसी dc परिपथ में एक संधारित्र प्रदर्शित करता है।

7.17 स्रोत की आवृत्ति को एक श्रेणीबद्ध *LCR* परिपथ की अनुनादी आवृत्ति के बराबर रखते हुए तीन अवयवों *L*, *C* तथा *R* को समांतरक्रम में लगाते हैं। यह दर्शाइए कि समांतर *LCR* परिपथ में इस आवृत्ति पर कुल धारा न्यूनतम है। इस आवृत्ति के लिए अभ्यास 7.11 में निर्दिष्ट स्रोत तथा अवयवों के लिए परिपथ की हर शाखा में धारा के rms मान को परिकलित कीजिए।

7.18 एक परिपथ को जिसमें 80 mH का एक प्रेरक तथा 60 μF का संधारित्र श्रेणीक्रम में है, 230 V, 50 Hz की आपूर्ति से जोड़ा गया है। परिपथ का प्रतिरोध नगण्य है।

(a) धारा का आयाम तथा rms मानों को निकालिए।

(b) हर अवयव के सिरों पर विभवपात के rms मानों को निकालिए।

(c) प्रेरक में स्थानांतरित माध्य शक्ति कितनी है?

(d) संधारित्र में स्थानांतरित माध्य शक्ति कितनी है?

(e) परिपथ द्वारा अवशोषित कुल माध्य शक्ति कितनी है?

['माध्य में यह समाविष्ट है' कि इसे 'पूरे चक्र' के लिए लिया गया है]।

7.19 कल्पना कीजिए कि अभ्यास 7.18 में प्रतिरोध 15 Ω है। परिपथ के हर अवयव को स्थानांतरित माध्य शक्ति तथा संपूर्ण अवशोषित शक्ति को परिकलित कीजिए।

7.20 एक श्रेणीबद्ध LCR परिपथ को जिसमें $L = 0.12$ H, $C = 480$ nF, $R = 23\ \Omega$, 230 V परिवर्ती आवृत्ति वाले स्रोत से जोड़ा गया है।

(a) स्रोत की वह आवृत्ति कितनी है जिस पर धारा आयाम अधिकतम है। इस अधिकतम मान को निकालिए।

(b) स्रोत की वह आवृत्ति कितनी है जिसके लिए परिपथ द्वारा अवशोषित माध्य शक्ति अधिकतम है।

(c) स्रोत की किस आवृत्ति के लिए परिपथ को स्थानांतरित शक्ति अनुनादी आवृत्ति की शक्ति की आधी है।

(d) दिए गए परिपथ के लिए Q कारक कितना है?

7.21 एक श्रेणीबद्ध LCR परिपथ के लिए जिसमें $L = 3.0$ H, $C = 27\ \mu$F तथा $R = 7.4\ \Omega$ अनुनादी आवृत्ति तथा Q कारक निकालिए। परिपथ के अनुनाद की तीक्ष्णता को सुधारने की इच्छा से "अर्ध उच्चिष्ठ पर पूर्ण चौड़ाई" को 2 गुणक द्वारा घटा दिया जाता है। इसके लिए उचित उपाय सुझाइए।

7.22 निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए–

(a) क्या किसी ac परिपथ में प्रयुक्त तात्क्षणिक वोल्टता परिपथ में श्रेणीक्रम में जोड़े गए अवयवों के सिरों पर तात्क्षणिक वोल्टताओं के बीजगणितीय योग के बराबर होता है? क्या यही बात rms वोल्टताओं में भी लागू होती है?

(b) प्रेरण कुंडली के प्राथमिक परिपथ में एक संधारित्र का उपयोग करते हैं।

(c) एक प्रयुक्त वोल्टता संकेत एक dc वोल्टता तथा उच्च आवृत्ति के एक ac वोल्टता के अध्यारोपण से निर्मित है। परिपथ एक श्रेणीबद्ध प्रेरक तथा संधारित्र से निर्मित है। दर्शाइए कि dc संकेत C तथा ac संकेत L के सिरे पर प्रकट होगा।

(d) एक लैंप से श्रेणीक्रम में जुड़ी चोक को एक dc लाइन से जोड़ा गया है। लैंप तेजी से चमकता है। चोक में लोहे के क्रोड को प्रवेश कराने पर लैंप की दीप्ति में कोई अंतर नहीं पड़ता है। यदि एक ac लाइन से लैंप का संयोजन किया जाए तो तदनुसार प्रेक्षणों की प्रागुक्ति कीजिए।

(e) ac मेंस के साथ कार्य करने वाली फ्लोरोसेंट ट्यूब में प्रयुक्त चोक कुंडली की आवश्यकता क्यों होती है? चोक कुंडली के स्थान पर सामान्य प्रतिरोधक का उपयोग क्यों नहीं होता?

7.23 एक शक्ति संप्रेषण लाइन अपचयी ट्रांसफार्मर में जिसकी प्राथमिक कुंडली में 4000 फेरे हैं, 2300 वोल्ट पर शक्ति निवेशित करती है। 230 V की निर्गत शक्ति प्राप्त करने के लिए द्वितीयक में कितने फेरे होने चाहिए?

7.24 एक जल विद्युत शक्ति संयंत्र में जल दाब शीर्ष 300 m की ऊँचाई पर है तथा उपलब्ध जल प्रवाह $100\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$ है। यदि टर्बाइन जनित्र की दक्षता 60% हो तो संयंत्र से उपलब्ध विद्युत शक्ति का आकलन कीजिए, $g = 9.8\ \text{m s}^{-2}$।

7.25 440 V पर शक्ति उत्पादन करने वाले किसी विद्युत संयंत्र से 15 km दूर स्थित एक छोटे से कस्बे में 220 V पर 800 kW शक्ति की आवश्यकता है। विद्युत शक्ति ले जाने वाली दोनों तार की लाइनों का प्रतिरोध $0.5\ \Omega$ प्रति किलोमीटर है। कस्बे को उप-स्टेशन में लगे 4000 – 220 V अपचयी ट्रांसफार्मर से लाइन द्वारा शक्ति पहुँचती है।

(a) ऊष्मा के रूप में लाइन से होने वाली शक्ति के क्षय का आकलन कीजिए।

(b) संयंत्र से कितनी शक्ति की आपूर्ति की जानी चाहिए, यदि क्षरण द्वारा शक्ति का क्षय नगण्य है।

(c) संयंत्र के उच्चायी ट्रांसफार्मर की विशेषता बतलाइए।

7.26 ऊपर किए गए अभ्यास को पुनः कीजिए। इसमें पहले के ट्रांसफार्मर के स्थान पर 40,000 – 220 V का अपचयी ट्रांसफार्मर है। [पूर्व की भाँति क्षरण के कारण हानियों को नगण्य मानिए, यद्यपि अब यह सन्निकटन उचित नहीं है क्योंकि इसमें उच्च वोल्टता पर संप्रेषण होता है]। अतः समझाइए कि क्यों उच्च वोल्टता संप्रेषण अधिक वरीय है?

अध्याय 8

वैद्युतचुंबकीय तरंगें

© NCERT not to be republished

8.1 भूमिका

अध्याय 4 में हमने सीखा है कि विद्युत धारा चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है तथा दो धारावाही तार परस्पर एक-दूसरे पर चुंबकीय बल आरोपित करते हैं। इसके अतिरिक्त, अध्याय 6 में हम यह देख चुके हैं कि समय के साथ परिवर्तनशील चुंबकीय क्षेत्र विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है। परंतु, क्या इसका विलोम भी सत्य है? क्या समय के साथ परिवर्तित होता हुआ विद्युत क्षेत्र चुंबकीय क्षेत्र को उत्पन्न करता है? जेम्स क्लार्क मैक्सवेल (1831-1879) ने यह तर्क प्रस्तुत किया कि वास्तव में ऐसा ही होता है। न केवल विद्युत धारा वरन समय के साथ परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र भी चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है। समय के साथ परिवर्तनशील धारा से जुड़े संधारित्र के बाहर किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए ऐम्पियर का नियम लगाते समय, मैक्सवेल का ध्यान इस नियम संबंधी एक असंगति की ओर गया। इस असंगति को दूर करने के लिए उन्होंने एक अतिरिक्त धारा के अस्तित्व का सुझाव दिया जिसको उन्होंने विस्थापन धारा नाम दिया।

उन्होंने विद्युत व चुंबकीय क्षेत्रों तथा उनके स्रोतों–आवेश एवं धारा-घनत्व को सम्मिलित कर, समीकरणों का एक समुच्चय सूत्रबद्ध किया। इन समीकरणों को मैक्सवेल समीकरण कहते हैं। लोरेंज का बल सूत्र (अध्याय 4) और मिला लें तो ये समीकरण विद्युत-चुंबकत्व के सभी आधारभूत नियमों को गणितीय रूप में व्यक्त करते हैं।

मैक्सवेल के समीकरणों से उभरने वाली सबसे महत्वपूर्ण प्रागुक्ति वैद्युतचुंबकीय तरंगों का अस्तित्व होना है जो अंतरिक्ष में संचरित समय के साथ बदलते (युग्मित) विद्युतीय एवं चुंबकीय क्षेत्र हैं। मैक्सवेल के समीकरणों के अनुसार, इन तरंगों की चाल, प्रकाशीय मापन द्वारा प्राप्त प्रकाश



जेम्स क्लार्क मैक्सवेल (1831–1879)

जेम्स क्लार्क मैक्सवेल (1831 – 1879) स्कॉटलैंड के एडिनबर्ग में जन्मे, उन्नीसवीं शती के महानतम भौतिकविदों में से एक। उन्होंने गैस के अणुओं की तापीय गतियों के वितरण के लिए व्यंजक व्युत्पन्न किया और वे उन पहले लोगों में से एक थे जिन्होंने श्यानता आदि मापन योग्य राशियों का उपयोग कर आण्विक प्राचलों के विश्वसनीय आकलन प्राप्त किए। मैक्सवेल की सबसे बड़ी उपलब्धि, विद्युत एवं चुंबकत्व के (कूलॉम, ऑर्स्टेड, ऐम्पियर एवं फैराडे द्वारा खोजे गए) नियमों के एकीकरण द्वारा संगत समीकरणों का एक समुच्चय प्रस्तुत करना था, जिन्हें आज हम मैक्सवेल के समीकरणों के नाम से जानते हैं। इनके आधार पर वे इस सर्वाधिक महत्वपूर्ण निष्कर्ष पर पहुँचे कि प्रकाश, वैद्युतचुंबकीय तरंग ही है। मजे की बात यह है कि मैक्सवेल, फैराडे के वैद्युत अपघटन के नियमों से उत्पन्न इस विचार से सहमत नहीं थे कि विद्युत की प्रकृति कण रूप में है।

की चाल (3×10^8 m/s) के लगभग बराबर होती है। इससे हम इस महत्वपूर्ण निष्कर्ष पर पहुँचे कि प्रकाश एक वैद्युतचुंबकीय तरंग है। इस प्रकार, मैक्सवेल के कार्य ने विद्युत, चुंबकत्व एवं प्रकाश के क्षेत्रों को एकीकृत कर दिया। 1885 में, हर्ट्ज़ ने प्रयोग द्वारा वैद्युतचुंबकीय तरंगों के अस्तित्व को प्रदर्शित किया। मार्कोनी एवं अन्य आविष्कर्ताओं ने यथासमय, इसके तकनीकी उपयोग में संचार के क्षेत्र में जो क्रांति की, उसके आज हम प्रत्यक्षदर्शी हैं।

इस अध्याय में, पहले हम विस्थापन धारा की आवश्यकता एवं उसके परिणामों के विषय में चर्चा करेंगे। फिर हम वैद्युतचुंबकीय तरंगों का एक विवरणात्मक चित्र प्रस्तुत करेंगे। वैद्युतचुंबकीय तरंगों का संपूर्ण वर्णक्रम, जो गामा किरणों (तरंगदैर्घ्य $\sim 10^{-12}$ m) से दीर्घ रेडियो तरंगों (तरंगदैर्घ्य $\sim 10^6$ m) तक फैला है, उसके विषय में चर्चा की जाएगी। संचार प्रणाली में वैद्युतचुंबकीय तरंगें किस प्रकार संप्रेषित एवं अभिगृहीत की जाती हैं इस विषय में अध्याय 15 में चर्चा करेंगे।

8.2 विस्थापन धारा

अध्याय 4 में हम देख चुके हैं कि विद्युत धारा अपने चारों ओर एक चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। मैक्सवेल ने दर्शाया कि तार्किक संगति के लिए यह आवश्यक है कि परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र भी चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करे। यह प्रभाव बहुत ही महत्त्व का है, क्योंकि यह रेडियो तरंगों, गामा किरणों, एवं दृश्य प्रकाश के अतिरिक्त भी अन्य सभी वैद्युतचुंबकीय तरंगों के अस्तित्व की व्याख्या करता है।

यह देखने के लिए कि परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र किस प्रकार चुंबकीय क्षेत्र के उद्भव का कारण बनता है। आइए हम किसी संधारित्र के आवेशन की प्रक्रिया पर विचार करें और संधारित्र के बाहर किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए ऐम्पियर के परिपथीय नियम (अध्याय 4)

$$\oint \mathbf{B}.d\mathbf{l} = \mu_0 i(t) \qquad (8.1)$$

का उपयोग करें।

[चित्र 8.1(a)] में एक समांतर प्लेट संधारित्र C दर्शाया गया है जो एक ऐसे परिपथ का भाग है जिसमें समय के साथ परिवर्तनशील धारा $i(t)$ प्रवाहित हो रही है। आइए, समांतर प्लेट संधारित्र के बाह्य क्षेत्र में स्थित किसी बिंदु जैसे कि P पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात करें। इसके लिए, हम r त्रिज्या का एक समतल वृत्ताकार लूप लेते हैं जिसका तल धारावाही तार की दिशा के लंबवत है और जिसका केंद्र तार के ऊपर है [चित्र 8.1(a)]। सममिति के आधार पर हम कह सकते हैं कि चुंबकीय क्षेत्र की दिशा वृत्ताकार लूप की परिधि के अनुदिश है और लूप के प्रत्येक बिंदु पर इसका परिमाण समान है। इस कारण, यदि क्षेत्र का परिमाण B है तो समीकरण (8.1) का वाम पक्ष $B(2\pi r)$ है।

$$B(2\pi r) = \mu_0 i(t) \qquad (8.2)$$

© NCERT not to be republished

अब इसी परिसीमा वाली एक अन्य सतह पर विचार कीजिए। यह घड़े के आकार की एक सतह है जो धारा को कहीं भी नहीं छूती है [चित्र 8.1(b)] पर इसकी तली संधारित्र की दोनों प्लेटों के बीच में है और उसका मुँह ऊपर वर्णित वृत्ताकार लूप है। दूसरी ऐसी सतह (बिना ढक्कन के) टिफिन बॉक्स के आकार की है [चित्र 8.1(c)]। *समान* प्राचलों वाली ऐसी सतहों के लिए ऐम्पियर का नियम लगाने पर, हम पाते हैं कि समीकरण (8.1) के बाईं ओर का मान तो नहीं बदलता है पर दाईं ओर का मान *शून्य* है *न कि* $\mu_0 i\,(t)$, क्योंकि चित्र 8.1(b) एवं (c) में दर्शायी गई सतहों से कोई धारा नहीं गुजरती है। इसलिए, हमारा सामना एक *विरोधाभास* से होता है। एक प्रकार से गणना करें तो बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र है; दूसरी प्रकार गणना करें तो P पर चुंबकीय क्षेत्र शून्य होता है। क्योंकि यह विरोधाभास हमारे द्वारा लागू किए गए ऐम्पियर के परिपथीय नियम के कारण उत्पन्न होता है। इस नियम में संभवत: कोई पद छूट गया है। छूटा हुआ यह पद ऐसा होना चाहिए कि चाहे हम किसी भी सतह का उपयोग करें बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र का समान मान प्राप्त हो।

यदि हम चित्र 8.1(c) को ध्यानपूर्वक देखें तो छूटे हुए पद का अनुमान लगाया जा सकता है। क्या संधारित्र की प्लेटों के *बीच* की सतह S से गुजरती हुई किसी राशि के मान में परिवर्तन हो रहा है। जी हाँ, वास्तव में उनके बीच विद्युत क्षेत्र बदल रहा है। यदि संधारित्र की प्लेटों का क्षेत्रफल A हो एवं इस पर कुल आवेश Q हो तो प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ का परिमाण $(Q/A)/\varepsilon_0$ होता है [देखिए समीकरण (2.41)]। यह क्षेत्र चित्र 8.1(c) की सतह S के लंबवत होता है। इसका परिमाण संधारित्र की प्लेटों के क्षेत्रफल A पर समान रहता है पर इनके बाहर शून्य हो जाता है। इसलिए, सतह S से गुजरने वाला *विद्युत फ्लक्स*, गाउस के नियम के उपयोग से होता है

$$\Phi_E = |\mathbf{E}|\,A = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{Q}{A}A = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{8.3}$$

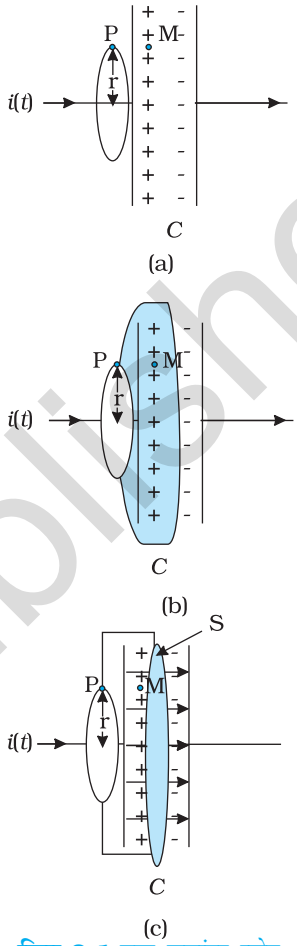
अब यदि संधारित्र की प्लेटों पर आवेश Q समय के साथ परिवर्तित हो तो यहाँ एक धारा $i = (\mathrm{d}Q/\mathrm{d}t)$ होगी। इसलिए समीकरण (8.3) से

$$\frac{\mathrm{d}\Phi_E}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{Q}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}$$

यह निर्दिष्ट करता है कि ऐम्पियर के नियम में संगति के लिए,

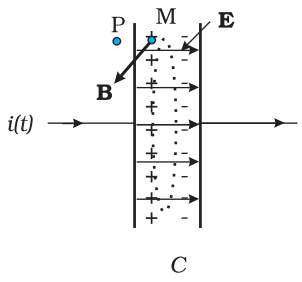
$$\varepsilon_0\,\frac{\mathrm{d}\Phi_E}{\mathrm{d}t} = i \tag{8.4}$$

यही ऐम्पियर के परिपथीय नियम का छूटा हुआ पद है। यदि हम किसी भी सतह से होकर चालकों द्वारा वाहित कुल धारा में, ε_0 गुणा विद्युत फ्लक्स के परिवर्तन की दर जोड़ें तो हम ऐम्पियर के परिपथीय नियम का सामान्यीकरण कर सकते हैं। तब सभी सतहों के लिए धारा का मान i समान होगा। तब कहीं पर भी ऐम्पियर का सामान्यीकृत नियम लगाने पर B के प्राप्त मान में कोई विसंगति नहीं आएगी। बिंदु P पर, B का मान शून्येतर ही होगा चाहे इसकी गणना करने के लिए हम कोई भी सतह लें। प्लेटों के बाहर, किसी बिंदु P पर B का मान वही होगा जो ठीक इसके अंदर बिंदु M पर होना चाहिए [चित्र 8.1(a)]। आवेशों के प्रवाह के कारण चालकों में जो धारा प्रवाहित होती है उसे *चालन धारा* कहा जाता है। समीकरण (8.4) द्वारा व्यक्त धारा एक नवीन पद है। जो परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र (या विद्युतीय विस्थापन, जो अभी भी कभी उपयोग में आता है) के कारण अस्तित्व में आता है। इसको इसलिए *विस्थापन धारा* अथवा मैक्सवेल की विस्थापन धारा कहा जाता है। चित्र 8.2, ऊपर वर्णित समांतर प्लेट संधारित्र के अंदर विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र दर्शाता है।

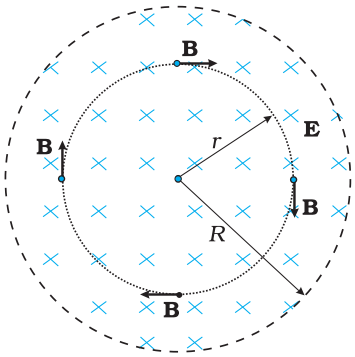


चित्र 8.1 एक समांतर प्लेट संधारित्र C, जो एक ऐसे परिपथ का भाग है जिसमें समय के साथ परिवर्तनशील धारा $i\,(t)$ प्रवाहित हो रही है; तथा, (a) में r त्रिज्या का एक लूप दर्शाया गया है जो लूप पर स्थित P बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए बनाया गया है; (b) में एक घट-आकार, सतह दर्शायी गई है जो संधारित्र के अंदर इसकी प्लेटों के बीच से गुजरती है एवं (a) में दर्शाया गया लूप इसका रिम है; (c) में (टिफिन की आकृति की) एक अन्य सतह दर्शायी गई है, वृत्ताकार लूप जिसका रिम है एवं समतल वृत्ताकार तली S संधारित्र की प्लेटों के बीच में है। तीर संधारित्र प्लेटों के बीच एक समय विद्युत क्षेत्र दर्शाते हैं।

© NCERT not to be republished



(a)



(b)

चित्र 8.2 (a) संधारित्र की प्लेटों के बीच स्थित बिंदु M पर विद्युत क्षेत्र **E** एवं चुंबकीय क्षेत्र **B** (b) चित्र (a) का परिच्छेदीय आरेख।

मैक्सवेल द्वारा किया गया व्यापकीकरण निम्न है। चुंबकीय क्षेत्र का स्रोत केवल प्रवाहमान आवेशों से निर्मित चालन विद्युत धारा ही नहीं होती, अपितु समय के सापेक्ष विद्युत क्षेत्र में परिवर्तन की दर भी इसका कारण बन सकती है। अधिक स्पष्टता से इस बात को कहें तो कुल धारा i, i_c द्वारा निर्दिष्ट चालन धारा एवं i_d $(= \varepsilon_0 (d\Phi_E/dt))$ द्वारा निर्दिष्ट विस्थापन धारा के योग के बराबर होती है। अत:

$$i = i_e + i_d = i_c + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \tag{8.5}$$

सुस्पष्ट शब्दों में इसका अर्थ है कि संधारित्र की प्लेटों के बाहर केवल चालन धारा $i_c = i$ होती है, तथा कोई विस्थापन धारा नहीं होती, अर्थात् $i_d = 0$ । दूसरी ओर संधारित्र के अंदर कोई चालन धारा नहीं होती, अर्थात् $i_c = 0$ और केवल विस्थापन धारा होती है जिससे $i_d = i$ ।

व्यापकीकृत (एवं यथार्थ) ऐम्पियर के परिपथीय नियम का स्वरूप समीकरण (8.1) जैसा है। बस केवल एक अंतर है "ऐसी किसी भी सतह, जिसकी परिमिति बंद लूप है से गुजरने वाली कुल धारा चालन धारा एवं विस्थापन धारा का योग होती है।" व्यापक रूप में यह नियम

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i_c + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \tag{8.6}$$

तथा इसे ऐम्पियर मैक्सवेल नियम कहते हैं।

किसी भी दृष्टि से विस्थापन धारा के भौतिक प्रभाव चालन धारा के समान हैं। कुछ स्थितियों में, उदाहरणार्थ, किसी चालक तार में नियत विद्युत क्षेत्र के लिए विस्थापन धारा का मान शून्य हो सकता है क्योंकि किसी विद्युत क्षेत्र **E** समय के साथ परिवर्तित नहीं होता। कुछ दूसरी स्थितियों में, जैसे कि ऊपर बताए गए आवेशित होते संधारित्र में चालन एवं विस्थापन धारा दोनों ही उपस्थित हो सकते हैं पर अलग-अलग दिक्स्थानों में। परंतु अधिकतर स्थितियों में दोनों एक ही स्थान पर विद्यमान हो सकते हैं क्योंकि कोई भी माध्यम पूर्ण चालक या पूर्ण विद्युतरोधी नहीं होता। सर्वाधिक रोचक तथ्य यह है कि किसी विशाल क्षेत्र में जहाँ कोई भी चालन धारा नहीं होती, समय के साथ परिवर्तनशील विद्युत क्षेत्र के कारण केवल विस्थापन धारा ही होती है। ऐसे क्षेत्र में, आसपास कोई (चालन) धारा स्रोत नहीं होने पर भी चुंबकीय क्षेत्र विद्यमान होगा। इस विस्थापन धारा के अस्तित्व की प्रागुक्ति प्रयोग द्वारा पुष्ट की जा सकती है। उदाहरण के लिए, चित्र 8.2(a) के संधारित्र की प्लेटों के बीच (माना बिंदु M पर) चुंबकीय क्षेत्र मापा जा सकता है। यह ठीक उतना ही पाया जाएगा जितना कि बाहर के किसी बिंदु (माना P) पर।

विस्थापन धारा के (शब्दश:) दूरगामी परिणाम हैं। एक तथ्य जिसकी ओर हमारा ध्यान एकदम आकर्षित होता है, वह यह है कि विद्युत एवं चुंबकत्व अब और अधिक सममितीय* हो गए हैं। फैराडे का प्रेरण संबंधी नियम यह बताता है कि प्रेरित विद्युत वाहक बल चुंबकीय फ्लक्स *परिवर्तन की दर के बराबर* होता है। अब, चूँकि दो बिंदुओं 1 एवं 2 के बीच विद्युत वाहक बल, बिंदु 1 से बिंदु 2 तक इकाई आवेश को ले जाने में किया गया कार्य है। विद्युत वाहक बल की उपस्थिति एक विद्युत क्षेत्र की उपस्थिति को इंगित करती है। फैराडे के विद्युत चुंबकीय प्रेरण संबंधी नियम को हम दूसरे शब्दों में इस प्रकार भी कह सकते हैं कि समय के साथ परिवर्तनशील *चुंबकीय क्षेत्र, विद्युत क्षेत्र* उत्पन्न करता है। यह तथ्य कि समय के साथ परिवर्तनशील *विद्युत क्षेत्र, चुंबकीय क्षेत्र* उत्पन्न करता

* ये अभी भी पूर्णत: सममितीय नहीं हैं। विद्युत क्षेत्र को उत्पन्न करने के लिए विद्युत आवेशों के सादृश्य चुंबकीय क्षेत्र के स्रोत (चुंबकीय एकल ध्रुव, magnetic monopole) ज्ञात नहीं हैं।

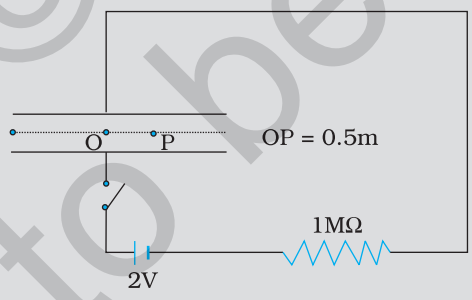
© NCERT not to be republished

है, फैराडे के नियम का सममितीय प्रतिरूप है और विस्थापन धारा के चुंबकीय क्षेत्र का स्रोत होने का परिणाम है। अत: समय पर निर्भर वैद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र एक-दूसरे की उत्पत्ति के कारण हैं। फैराडे का विद्युत चुंबकीय प्रेरण का नियम एवं मैक्सवेल-ऐम्पियर का परिपथीय नियम इस कथन की परिमाणात्मक अभिव्यक्ति है। जहाँ धारा, कुल धारा है जैसा कि समीकरण (8.5) से स्पष्ट है। इस सममिति की एक अत्यंत महत्वपूर्ण निष्पत्ति विद्युत चुंबकीय तरंगों का अस्तित्व है जिसके विषय में हम अगले अनुभाग में चर्चा करेंगे।

मैक्सवेल के समीकरण

1. $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = Q / \varepsilon_0$ (विद्युत संबंधी गाउस नियम)
2. $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$ (चुंबकत्व संबंधी गाउस नियम)
3. $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \frac{-d\Phi_B}{dt}$ (फैराडे नियम)
4. $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i_c + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$ (ऐम्पियर-मैक्सवेल नियम)

उदाहरण 8.1 एक समांतर प्लेट संधारित्र जिसकी वृत्ताकार प्लेटों की त्रिज्या 1 m है, धारिता 1 nF है। समय $t = 0$ पर इसको आवेशित करने के लिए $R = 1$ MΩ के एक प्रतिरोधक के साथ श्रेणीक्रम में 2V की बैटरी से जोड़ा गया है (चित्र 8.3)। 10^{-3}s के पश्चात संधारित्र के बीच में दोनों प्लेटों के केंद्र एवं उनकी परिमिति के ठीक मध्य में स्थित बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र का परिकलन कीजिए। [क्षण t पर संधारित्र पर आवेश $q(t) = CV[1 - \exp(-t/\tau)]$ होता है, जहाँ समय नियतांक $\tau = CR$ है]।



चित्र 8.3

हल CR परिपथ का समय नियतांक $\tau = CR = 10^{-3}$ s । अत:

$q(t) = CV[1 - \exp(-t/\tau)]$

$= 2 \times 10^{-9} [1 - \exp(-t/10^{-3})]$

t क्षण पर प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र,

$$E = \frac{q(t)}{\varepsilon_0 A} = \frac{q}{\pi\varepsilon_0}$$; क्योंकि $A = \pi(1)^2$ m^2 = प्रत्येक प्लेट का क्षेत्रफल

अब बिंदु P से गुजरते हुए प्लेटों के समांतर एक (1/2) m त्रिज्या के वृत्ताकार लूप की कल्पना कीजिए। लूप के प्रत्येक बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र **B** का परिमाण समान है और इसकी दिशा लूप के अनुदिश है। लूप से गुजरने वाले फ्लक्स Φ_E का मान है–

उदाहरण 8.1

© NCERT not to be republished

उदाहरण 8.1

Φ_E = E×लूप का क्षेत्रफल

$$= E \times \pi \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{\pi E}{4} = \frac{q}{4\varepsilon_0}$$

विस्थापन धारा

$$i_d = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

$$= \frac{1}{4}\frac{dq}{dt} = 0.5 \times 10^{-6} \exp(-1),$$

$t = 10^{-3}$s रखने पर। अब लूप के लिए ऐम्पियर का नियम लागू करने पर,

$$B \times 2\pi \times \frac{1}{2} = \mu_0 (i_c + i_d) = \mu_0 (0 + i_d) = 0.5 \times 10^{-6}\ \mu_0 \exp(-1)$$

अथवा, $B = 0.74 \times 10^{-13}$ T

8.3 वैद्युतचुंबकीय तरंगें

8.3.1 तरंगों के स्रोत

वैद्युतचुंबकीय (electromagnetic, संक्षेप में em) तरंगें उत्पन्न कैसे होती हैं? न तो स्थिर आवेश, न ही एकसमान गति से चलते हुए आवेश (स्थिर धारा), वैद्युतचुंबकीय तरंगों के स्रोत हो सकते हैं। क्योंकि, स्थिर आवेश तो केवल स्थिरवैद्युत क्षेत्र उत्पन्न करते हैं जबकि गतिमान आवेश चुंबकीय क्षेत्र भी उत्पन्न करते हैं पर वह समय के साथ परिवर्तित नहीं होता। मैक्सवेल के सिद्धांत की यह एक महत्वपूर्ण निष्पत्ति है कि त्वरित आवेश वैद्युतचुंबकीय तरंगें विकिरित करते हैं। इस मौलिक निष्पत्ति का प्रमाण प्रस्तुत पुस्तक के विस्तार क्षेत्र से परे है, परंतु हम इसको एक अपरिष्कृत, गुणात्मक विवेचन के आधार पर स्वीकार कर सकते हैं। मान लीजिए कि एक आवेश है जो किसी निश्चित आवृत्ति से दोलन कर रहा है (कोई दोलन करता हुआ आवेश भी एक त्वरित आवेश का उदाहरण है)। यह उस क्षेत्र में एक दोलित विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है जो पुनः एक दोलित चुंबकीय क्षेत्र को जन्म देता है जो पुनः एक दोलित विद्युत क्षेत्र की उत्पत्ति का कारण बनता है और यह प्रक्रिया चलती रहती है। अतः दोलित विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र एक-दूसरे को संपोषित करते हैं या कहें कि तरंग गमन करती है। स्वाभाविक रूप से वैद्युतचुंबकीय तरंगों की आवृत्ति, आवेश के दोलनों की आवृत्ति के बराबर होती है। गमनकारी तरंगों से जुड़ी ऊर्जा, स्रोत अर्थात त्वरित आवेश की ऊर्जा से ही प्राप्त होती है।

पूर्वोक्त चर्चा के आधार पर हो सकता है कि इस प्रागुक्ति का परीक्षण कि प्रकाश विद्युत चुंबकीय तरंग है, सहज हो सकता है। हम विचार कर सकते हैं कि दृश्य प्रकाश (माना कि पीला) उत्पन्न करने के लिए हमें बस एक आवेश को उस प्रकाश की आवृत्ति से दोलन कराने के लिए एक ac परिपथ की आवश्यकता है। लेकिन अफसोस की बात यह है कि ऐसा संभव नहीं है। पीले प्रकाश की आवृत्ति लगभग 6×10^{14} Hz है जबकि अत्यधिक आधुनिक इलैक्ट्रॉनिक परिपथों से भी जो अधिकतम आवृत्ति हम प्राप्त कर पाते हैं वह लगभग 10^{11} Hz होती है। यही कारण है कि जब वैद्युतचुंबकीय तरंगों का प्रायोगिक प्रदर्शन हुआ तो वह निम्न आवृत्ति की तरंगों (रेडियो तरंगों के परिसर में) के लिए ही हुआ, जैसा कि हर्ट्ज़ के प्रयोग (1887) के प्रकरण में देख सकते हैं।

मैक्सवेल के सिद्धांत के परीक्षण के लिए किए गए हर्ट्ज़ के सफल प्रयोग ने सनसनी फैला दी तथा ये प्रयोग इस क्षेत्र में अन्य महत्वपूर्ण कार्यों के लिए प्रेरणा का आधार बने। इस संबंध में

© NCERT not to be republished

दो महत्वपूर्ण उपलब्धियाँ उल्लेख किए जाने योग्य हैं। हर्ट्ज़ के प्रयोग के सात साल बाद, जगदीश चंद्र बसु ने कलकत्ता में कार्य करते हुए काफी कम तरंगदैर्घ्य (25 mm से 5 mm) की वैद्युतचुंबकीय तरंगें उत्पन्न करने और उन्हें प्रेक्षित करने में सफलता प्राप्त की। उनका प्रयोग भी हर्ट्ज़ के प्रयोग की भाँति ही प्रयोगशाला तक ही सीमित रहा।

लगभग उसी समय इटली में गुगलीओ मार्कोनी ने हर्ट्ज़ के कार्य का अनुसरण करते हुए कई किलोमीटर तक की दूरियों तक वैद्युतचुंबकीय तरंगें संप्रेषित करने में सफलता प्राप्त की। मार्कोनी के प्रयोग से संचार के क्षेत्र में वैद्युतचुंबकीय तरंगों के उपयोग का प्रारंभ हुआ।



हेनरिच रूडोल्फ हर्ट्ज़ (1857 – 1894) जर्मन भौतिकविद, जिन्होंने पहली बार रेडियो तरंगों को प्रसारित किया और ग्रहण किया। उन्होंने वैद्युतचुंबकीय तरंगें पैदा कीं, उन्हें आकाश में भेजा और उनका तरंगदैर्घ्य तथा चाल ज्ञात किया। उन्होंने दर्शाया कि वैद्युतचुंबकीय तरंगों के कंपनों की प्रकृति, परावर्तन एवं अपवर्तन ठीक वैसे ही थे जैसे प्रकाश एवं ऊष्मा तरंगों में, और इस प्रकार पहली बार इनकी अभिन्नता सिद्ध की। उन्होंने गैसों में विद्युत विसर्जन संबंधी शोध की अगुवाई की और प्रकाश-विद्युत प्रभाव की खोज की।

हेनरिच रूडोल्फ हर्ट्ज़ (1857–1894)

8.3.2 वैद्युतचुंबकीय तरंगों की प्रकृति

मैक्सवेल के समीकरणों के आधार पर यह दर्शाया जा सकता है कि किसी वैद्युतचुंबकीय तरंग में विद्युतीय एवं चुंबकीय क्षेत्र एक-दूसरे के लंबवत होते हैं और इसके गमन की दिशा के भी। विस्थापन धारा पर दिए गए विवेचन के आधार पर भी यह तर्कसंगत प्रतीत होता है। चित्र 8.2 पर विचार कीजिए। संधारित्र में प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र प्लेटों के लंबवत है। विस्थापन धारा के द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र संधारित्र की प्लेटों के समांतर वृत्त के अनुदिश है। अत: इस स्थिति में **B** तथा **E** परस्पर लंबवत हैं। यह एक सामान्य लक्षण है।

चित्र (8.4) में हमने z दिशा में गमन करती हुई एक समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग का प्रारूपिक उदाहरण प्रदर्शित किया है (किसी क्षण t पर, क्षेत्रों को z-निर्देशांक के फलन के रूप में दर्शाया गया है)। विद्युत क्षेत्र E_x, x-अक्ष के अनुदिश है और किसी क्षण t पर z के साथ ज्यावक्रीय रूप में परिवर्तित होता है। चुंबकीय क्षेत्र B_y, y-अक्ष के अनुदिश है और यह भी z के साथ ज्यावक्रीय रूप में परिवर्तित होता है। विद्युत क्षेत्र E_x एवं चुंबकीय क्षेत्र B_y एक दूसरे के लंबवत हैं एवं गमन दिशा, z के भी लंबवत है। E_x एवं B_y को हम निम्नवत लिख सकते हैं :

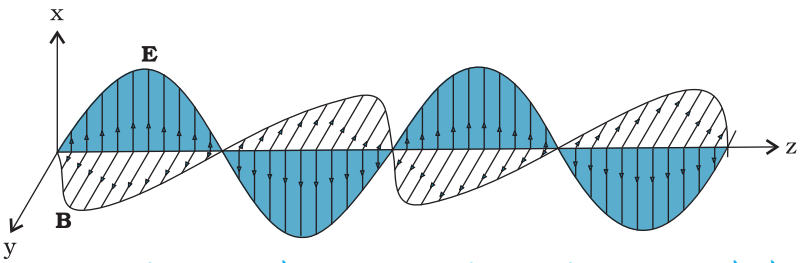
$$E_x = E_0 \sin(kz - \omega t) \qquad [8.7(a)]$$

$$B_y = B_0 \sin(kz - \omega t) \qquad [8.7(b)]$$

यहाँ k एवं तरंग की तरंगदैर्घ्य λ में निम्नलिखित सामान्य संबंध है

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (8.8)$$

तथा यहाँ ω कोणीय आवृत्ति है, k तरंग सदिश (या गमन सदिश) **k** का परिमाण है। k की दिशा तरंग के गमन की दिशा निर्दिष्ट करती है। तरंग की गमन चाल (ω/k) है। E_x एवं B_y के लिए समीकरणों [8.7(a) एवं (b)] तथा मैक्सवेल के समीकरणों का उपयोग करके आप निम्न परिणाम पर पहुँच सकते हैं –



चित्र 8.4 एक रेखीय ध्रुवित वैद्युतचुंबकीय तरंग जो z-दिशा में गमन कर रही है और जिसका दोलनकारी विद्युत क्षेत्र **E**, x-दिशा के अनुदिश एवं दोलनकारी चुंबकीय क्षेत्र **B**, y-दिशा के अनुदिश है।

© NCERT not to be republished

$\omega = ck$, यहाँ, $c = 1/\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$ [8.9(a)]

समीकरण $\omega = ck$, सभी तरंगों के लिए प्रामाणिक संबंध है (देखिए कक्षा 11 भौतिकी पाठ्यपुस्तक, अनुभाग 15.4)। प्राय: इस संबंध को आवृत्ति, ν $(=\omega/2\pi)$ एवं तरंगदैर्घ्य, λ $(=2\pi/k)$ के पदों में इस रूप में लिखा जाता है–

$$2\pi\nu = c\ \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{अथवा}$$

$$\nu\lambda = c \qquad [8.9(b)]$$

मैक्सवेल के समीकरणों के आधार पर इस निष्कर्ष पर भी पहुँचा जा सकता है कि किसी वैद्युतचुंबकीय तरंग में विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र परस्पर निम्नलिखित समीकरण द्वारा संबंधित है –

$$B_0 = (E_0/c) \qquad (8.10)$$

अब हम वैद्युतचुंबकीय तरंगों के कुछ अभिलक्षणों पर टिप्पणियाँ करते हैं। वे मुक्त स्थान या निर्वात में, विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के स्व:संपोषित दोलन हैं। वे इस अर्थ में अभी तक हमारे द्वारा अध्ययन की गई अन्य तरंगों से भिन्न हैं कि इनमें विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के दोलनों के लिए किसी *भौतिक माध्यम* की आवश्यकता नहीं होती। वायु में ध्वनि तरंगें अनुदैर्घ्य तरंगें होती हैं जो गमन दिशा में संपीडनों एवं विरलनों के रूप में चलती हैं। जल की सतह पर अनुप्रस्थ तरंगों में, जैसे-जैसे तरंगें क्षैतिज तल में बाहर की ओर फैलती हैं जल के कण ऊपर-नीचे होते हैं। दृढ़ एवं विरूपण का विरोध करने वाले ठोस में भी अनुप्रस्थ प्रत्यास्थ तरंगें गमन कर सकती हैं। उन्नीसवीं शताब्दी के वैज्ञानिक इस यांत्रिक चित्र के ऐसे अभ्यस्त हो गए थे कि उन्होंने एक ऐसे सर्वव्यापी माध्यम की कल्पना की जो सब जगह और सब पदार्थों में विद्यमान था और जो विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के प्रति वैसे ही क्रिया-प्रतिक्रिया करता था जैसे कोई भी प्रत्यास्थ माध्यम करता है। उन्होंने इस माध्यम को *ईथर* नाम दिया। वे इस ईथर माध्यम की सत्यता के लिए इतने आश्वस्त थे कि सर आर्थर कॉनन डॉयल (जो कि प्रसिद्ध जासूस शरलक होल्म्स के सृष्टिकर्ता) ने द *पॉइज़न बैल्ट* (Poison Belt)नामक उपन्यास की रचना की जिसमें सौरमंडल एक विषैले ईथर वाले क्षेत्र से गुजरता माना गया है। अब हम जानते हैं कि इस प्रकार के किसी भौतिक माध्यम की आवश्यकता नहीं है। माइकल्सन एवं मोरले के 1887 में किए गए प्रसिद्ध प्रयोग ने *ईथर* की प्राक्कल्पना को पूरी तरह धराशायी कर दिया। दिक्काल में दोलन करते विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र, निर्वात में भी एक-दूसरे को संपोषित करके बनाए रख सकते हैं।

लेकिन, अगर एक भौतिक माध्यम वास्तव में विद्यमान हो तो उदाहरण के लिए हम जानते हैं कि प्रकाश जो वैद्युतचुंबकीय तरंगें ही हैं; काँच में से गमन करता है। यह हम पहले ही देख चुके हैं कि किसी माध्यम में कुल विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों को उस माध्यम की आपेक्षिक विद्युतशीलता ε एवं आपेक्षिक चुंबकशीलता μ के पदों में वर्णित किया जाता है (यह राशियाँ बताती हैं कि बाह्य क्षेत्र की तुलना में कुल क्षेत्र कितने गुना है)। मैक्सवेल समीकरणों में विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के विवरण में ε_0 एवं μ_0 का स्थान यह राशियाँ ले लेती हैं। आपेक्षिक विद्युतशीलता ε एवं आपेक्षिक चुंबकशीलता μ वाले किसी माध्यम में, प्रकाश का वेग हो जाता है

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \qquad (8.11)$$

अत: किसी माध्यम में प्रकाश का वेग उस माध्यम के वैद्युत एवं चुंबकीय गुणों पर निर्भर करता है। अगले अध्याय में हम देखेंगे कि एक माध्यम के सापेक्ष दूसरे माध्यम का *अपवर्तनांक* इन दो माध्यमों में प्रकाश के वेग के अनुपात में होता है।

मुक्त आकाश अथवा निर्वात में वैद्युतचुंबकीय तरंगों का वेग एक महत्वपूर्ण, मौलिक नियतांक

वैद्युतचुंबकीय तरंगों के प्रसारण के अनुकरण
(i) http://www.amanogawa.com/waves.html
(ii) http://www.phys.hawaii.edu/~teb/javaëkntnujava/emWave/emWave.html
भौतिकी
© NCERT not to be republished

है। विभिन्न तरंगदैर्घ्य की वैद्युतचुंबकीय तरंगों पर किए गए प्रयोगों ने यह दर्शाया है कि यह वेग (जो तरंगदैर्घ्य पर निर्भर नहीं है) सभी के लिए समान होता है और इसका मान 3×10^8 m/s से कुछ मीटर प्रति सेकंड कम या अधिक होता है। निर्वात में वैद्युतचुंबकीय तरंगों के वेग का नियत होना, प्रयोगों द्वारा इतनी दृढ़ता से पुष्ट हो चुका है और इसका मान इतनी अधिक यथार्थता से ज्ञात किया जा चुका है कि इसको *लंबाई* के मानक के रूप में स्वीकार कर लिया गया है। अर्थात मीटर को अब उस दूरी के रूप में *परिभाषित* किया जाता है कि जो दूरी प्रकाश द्वारा $1/c$ समय में तय की जाती है [$(1/c)$ सेकंड = $(2.99792458 \times 10^8)^{-1}$ सेकंड]। यह परिभाषीकरण निम्न कारण से किया गया है। समय के मूल मात्रक को कुछ परमाणु आवृत्तियों अर्थात किसी विशिष्ट प्रक्रिया में परमाणु द्वारा उत्सर्जित प्रकाश की आवृत्ति के पदों में बहुत अधिक यथार्थता से परिभाषित किया जा सकता है। लेकिन लंबाई के मूल मात्रक को सीधे-सीधे इतनी ही यथार्थता से परिभाषित करना कठिन है। प्रकाश की चाल c के लिए पूर्व के मापनों में, तात्कालिक लंबाई का मात्रक (मीटर छड़) प्रयोग करके ज्ञात किए गए मान लगभग 2.9979246×10^8 m/s प्राप्त हुए। क्योंकि c का मान नियत संख्या है अतः लंबाई को c एवं समय के मात्रक के पदों में परिभाषित किया जा सकता है!

हर्ट्ज़ ने न केवल वैद्युतचुंबकीय तरंगों का अस्तित्व प्रदर्शित किया बल्कि उन्होंने यह भी दर्शाया कि प्रकाश तरंगों की तुलना में एक करोड़ गुना तरंगदैर्घ्य की तरंगें विवर्तित, अपवर्तित एवं ध्रुवित हो सकती हैं। इस प्रकार, उन्होंने विकिरणों की तरंग प्रकृति को निर्णायक रूप से स्थापित कर दिया। इसके अतिरिक्त उन्होंने अप्रगामी वैद्युतचुंबकीय तरंगें उत्पन्न कीं और दो क्रमागत प्रस्पंदों के बीच की दूरी माप कर उनका तरंगदैर्घ्य ज्ञात किया। क्योंकि तरंग की आवृत्ति (दोलित्र की आवृत्ति के समान होने के कारण) ज्ञात थी, उन्होंने सूत्र $v = \nu\lambda$ का उपयोग कर इन तरंगों की चाल ज्ञात की और पाया कि यह तरंगें भी उतनी ही चाल से चलती हैं जिससे कि प्रकाश चलता है।

इस तथ्य को कि वैद्युतचुंबकीय तरंगें ध्रुवित होती हैं किसी सुबाह्य AM रेडियो के स्टेशन के प्रति व्यवहार द्वारा सुगमता से परखा जा सकता है। यदि किसी AM रेडियो में दूरदर्शी ऐंटीना लगा है तो यह सिग्नल के विद्युतीय भाग के प्रति प्रतिक्रिया दर्शाता है। जब ऐंटीना को क्षैतिज कर देते हैं तो सिग्नल अत्यधिक घट जाता है। कुछ सुबाह्य रेडियो में क्षैतिज ऐंटीना लगे होते हैं जो वैद्युतचुंबकीय तरंगों के चुंबकीय घटक के प्रति संवेदनशील होते हैं। इस प्रकार के रेडियो के ऐंटीना को सिग्नल प्राप्त करने के लिए क्षैतिज रहना चाहिए। इन स्थितियों में सिग्नल की प्रभावी ग्राह्यता रेडियो के प्रसारण स्टेशन के सापेक्ष विन्यास पर भी निर्भर करेगी।

क्या अन्य तरंगों की तरह वैद्युतचुंबकीय तरंगें भी ऊर्जा एवं संवेग वहन करती हैं? जी हाँ, वे ऊर्जा एवं संवेग वहन करती हैं। अध्याय 2 में हमने अध्ययन किया था कि किसी मुक्त या निर्वातित क्षेत्र में यदि विद्युत क्षेत्र E विद्यमान होता है तो उस क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व $(\varepsilon_0 E^2/2)$ होता है। इसी प्रकार चुंबकीय क्षेत्र B से संबंधित चुंबकीय ऊर्जा घनत्व $(B^2/2\mu_0)$ होता है। क्योंकि वैद्युतचुंबकीय तरंग में वैद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र दोनों ही होते हैं इसके साथ एक शून्येतर ऊर्जा घनत्व जुड़ा होता है। अब मान लीजिए कि वैद्युतचुंबकीय तरंग की गमन दिशा के लंबवत कोई तल है (चित्र 8.4)। यदि इस तल में कोई वैद्युत आवेश होंगे तो वे वैद्युतचुंबकीय तरंगों के विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के कारण गति में आकर उस गत्यावस्था में बने रहेंगे। इस प्रकार वह आवेश तरंगों से ऊर्जा एवं संवेग प्राप्त करते हैं। इससे यही तथ्य स्पष्ट होता है कि (अन्य तरंगों की भाँति) वैद्युतचुंबकीय तरंगें भी ऊर्जा एवं संवेग वहन करती हैं। चूँकि यह संवेग वहन करती हैं इसलिए एक वैद्युतचुंबकीय तरंग दाब डालती है जिसे *विकिरण दाब* कहते हैं।

यदि t समय में किसी सतह पर स्थानांतरित कुल ऊर्जा U हो तो यह दर्शाया जा सकता है कि इस सतह को प्रदान किया गया कुल संवेग (यह मानते हुए कि सतह द्वारा कुल ऊर्जा अवशोषित की गई है) होगा,

$$p = \frac{U}{c} \qquad (8.12)$$

© NCERT not to be republished

जब तेज धूप आपके हाथ पर पड़ती है तो आप अनुभव करते हैं कि आपके हाथ द्वारा वैद्युतचुंबकीय तरंगें अवशोषित की जा रही हैं (आपका हाथ गर्म हो जाता है)। वैद्युतचुंबकीय तरंगें आपके हाथ पर संवेग भी स्थानांतरित करती हैं, पर क्योंकि c का मान अत्यधिक है, अत: स्थानांतरित संवेग का परिमाण बहुत छोटा होता है और आपको दाब का अनुभव नहीं होता। 1903 में, अमेरिकी वैज्ञानिकों निकोल्स एवं हुल ने दृश्य प्रकाश का विकिरण दाब मापने में सफलता प्राप्त की तथा समीकरण (8.12) की पुष्टि की। यह 7×10^{-6} N/m^2 की कोटि का पाया गया। इस प्रकार, 10 cm^2 क्षेत्रफल की सतह पर विकिरण के कारण बल केवल 7×10^{-9} N होता है।

वैद्युतचुंबकीय तरंगों का बड़ा प्रौद्योगिकीय महत्त्व, इनके द्वारा एक स्थान से दूसरे स्थान तक ऊर्जा वहन करने की क्षमता से ही प्रस्फुटित होता है। रेडियो एवं टीवी सिग्नलों के रूप में प्रसारण स्टेशनों से यही ऊर्जा अभिग्राहकों तक पहुँच कर उन्हें क्रियाशील बनाती है। प्रकाश के रूप में सूर्य से ऊर्जा पृथ्वी तक पहुँचती है जिसके कारण पृथ्वी पर जीवन संभव हुआ है।

उदाहरण 8.2

उदाहरण 8.2 25 MHz आवृत्ति की एक समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग निर्वात में x-दिशा के अनुदिश गतिमान है। दिक्काल (space) में किसी विशिष्ट बिंदु पर इसका $\mathbf{E} = 6.3\ \hat{\mathbf{j}}$ V/m है। इस बिंदु पर $\mathbf{B}$ का मान क्या है?

हल $\mathbf{B}$ एवं $\mathbf{E}$ के परिमाण एक-दूसरे से निम्नलिखित समीकरण द्वारा संबंधित हैं–

$$B = \frac{E}{c}$$

$$= \frac{6.3\ \text{V/m}}{3 \times 10^8\ \text{m/s}} = 2.1 \times 10^{-8}\ \text{T}$$

इसकी दिशा के संबंध में हम जानते हैं कि $\mathbf{E}$ y-दिशा के अनुदिश है और तरंग x-दिशा के अनुदिश गमन कर रही है। अत: $\mathbf{B}$ x- एवं y-अक्षों दोनों के लंबवत दिशा में होना चाहिए। सदिश बीजगणित का उपयोग करने पर, $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ को x-दिशा में होना चाहिए। चूँकि $(+\hat{\mathbf{j}}) \times (+\hat{\mathbf{k}}) = \hat{\mathbf{i}}$, $\mathbf{B}$ z-दिशा के अनुदिश है।

अत: $\mathbf{B} = 2.1 \times 10^{-8}\ \hat{\mathbf{k}}$ T

उदाहरण 8.3

उदाहरण 8.3 किसी समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग में चुंबकीय क्षेत्र $B_y = 2 \times 10^{-7} \sin (0.5 \times 10^3 x + 1.5 \times 10^{11} t)$ T है

(a) तरंग की आवृत्ति तथा तरंगदैर्घ्य क्या है?

(b) विद्युत क्षेत्र के लिए व्यंजक लिखिए।

हल

(a) दिए गए समीकरण की निम्न समीकरण

$$B_y = B_0 \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} + \frac{t}{T}\right)$$

से तुलना करने पर

$$\lambda = \frac{2\pi}{0.5 \times 10^3}\ \text{m} = 1.26\ \text{cm}$$

तथा $\frac{1}{T} = \nu = \left(1.5 \times 10^{11}\right)/2\pi = 23.9$ GHz

(b) $E_0 = B_0 c = 2 \times 10^{-7}\ \text{T} \times 3 \times 10^8\ \text{m/s} = 6 \times 10^1\ \text{V/m}$

विद्युत क्षेत्र घटक तरंग की गमन दिशा एवं चुंबकीय क्षेत्र की दिशा के लंबवत होता है। अत:, विद्युत क्षेत्र घटक z-अक्ष के अनुदिश निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त होगा

$$E_z = 60 \sin (0.5 \times 10^3 x + 1.5 \times 10^{11}\ t)\ \text{V/m}$$

© NCERT not to be republished

उदाहरण 8.4 $18\ \text{W/cm}^2$ के ऊर्जा फ्लक्स का प्रकाश किसी अपरावर्तक सतह पर अभिलंबवत आपतित होता है। यदि सतह का क्षेत्रफल $20\ \text{cm}^2$ हो तो 30 मिनट की समयावधि में सतह पर लगने वाले औसत बल का परिकलन कीजिए।

हल सतह पर पड़ने वाली कुल ऊर्जा

$$U = (18\ \text{W/cm}^2) \times (20\ \text{cm}^2) \times (30 \times 60)$$
$$= 6.48 \times 10^5\ \text{J}$$

इसलिए, इस सतह को प्रदत्त कुल संवेग (संपूर्ण अवशोषण के लिए):

$$p = \frac{U}{c} = \frac{6.48 \times 10^5\ \text{J}}{3 \times 10^8\ \text{m/s}} = 2.16 \times 10^{-3}\ \text{kg m/s}$$

अत: सतह पर लगा औसत बल है,

$$F = \frac{p}{t} = \frac{2.16 \times 10^{-3}}{0.18 \times 10^4} = 1.2 \times 10^{-6}\ \text{N}$$

यदि सतह पूर्ण परावर्तक होती तो आपका उत्तर क्या होता?

उदाहरण 8.4

उदाहरण 8.5 3 m की दूरी पर स्थित किसी 100 W बल्ब से आ रहे विकिरण द्वारा उत्पन्न विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों की गणना कीजिए। आप यह जानते हैं कि बल्ब की दक्षता 2.5% है और यह एक बिंदु स्रोत है।

हल बिंदु स्रोत के रूप में बल्ब सभी दिशाओं में समान रूप से प्रकाश विकिरित करता है। 3 m की दूरी पर इसको घेरने वाली गोलाकार सतह का क्षेत्रफल

$$A = 4\pi r^2 = 4\pi(3)^2 = 113\ \text{m}^2$$

अत:, इस दूरी पर प्रकाश की तीव्रता

$$I = \frac{\text{शक्ति}}{\text{क्षेत्रफल}} = \frac{100\ \text{W} \times 2.5\%}{113\ \text{m}^2}$$
$$= 0.022\ \text{W/m}^2$$

इस तीव्रता में आधा योगदान विद्युत क्षेत्र का है और आधा चुंबकीय क्षेत्र का

$$\frac{1}{2} I = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_0 E_{rms}^2 c\right)$$
$$= \frac{1}{2}\left(0.022\ \text{W/m}^2\right)$$

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{0.022}{\left(8.85 \times 10^{-12}\right)\left(3 \times 10^8\right)}}\ \text{V/m}$$
$$= 2.9\ \text{V/m}$$

विद्युत क्षेत्र E का यह मान वर्ग माध्य मूल मान है। क्योंकि किसी प्रकाश पुंज में विद्युत क्षेत्र ज्यावक्रीय होता है। E_0 का मान है,

$$E_0 = \sqrt{2} E_{\text{rms}} = \sqrt{2} \times 2.9\ \text{V/m}$$
$$= 4.07\ \text{V/m}$$

इस प्रकार, आप देखते हैं कि वह प्रकाश जिसका उपयोग आप पढ़ने के लिए करते हैं उसका विद्युत क्षेत्र काफी शक्तिशाली है। इसकी तुलना टी.वी. अथवा FM तरंगों के विद्युत क्षेत्र की शक्ति से कीजिए जो कुछ माइक्रोवोल्ट प्रति मीटर की कोटि के होते हैं।

अब, आइए हम चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता का परिकलन करें,

उदाहरण 8.5

© NCERT not to be republished

उदाहरण 8.5

$$B_{rms} = \frac{E_{rms}}{c} = \frac{2.9 \text{ V m}^{-1}}{3\times10^{8} \text{ m s}^{-1}}$$
$$= 9.6 \times 10^{-9} \text{ T}$$

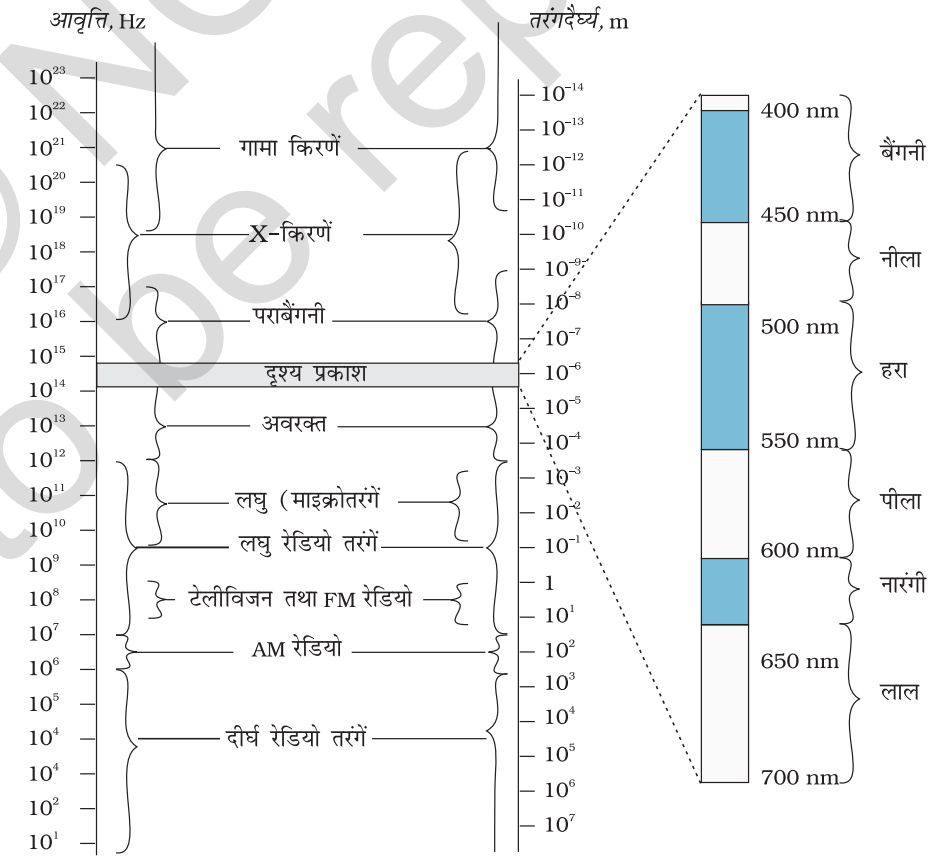
प्रकाश पुंज में क्षेत्र ज्यावक्रीय हैं, शिखर चुंबकीय क्षेत्र, $B_0 = \sqrt{2}\ B_{rms} = 1.4 \times 10^{-8}$ T। ध्यान देने योग्य बात यह है कि यद्यपि चुंबकीय क्षेत्र में ऊर्जा विद्युत क्षेत्र में ऊर्जा के बराबर है, स्पष्टत: चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता बहुत कम है।

8.4 वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम

जिस समय मैक्सवेल ने वैद्युतचुंबकीय तरंगों संबंधी अपना सिद्धांत प्रस्तुत किया था तो दृश्य प्रकाश तरंगें ही एक मात्र सुपरिचित वैद्युतचुंबकीय (em) तरंगें थीं। पराबैंगनी एवं अवरक्त तरंगों का अस्तित्व अभी मुश्किल से साबित हो पाया था। उन्नीसवीं शताब्दी के अंत तक X- किरणें एवं गामा किरणें भी खोज ली गई थीं। अब हम जानते हैं कि दृश्य प्रकाश तरंगें, X- किरणें, गामा किरणें, रेडियो तरंगें, सूक्ष्म (माइक्रो) तरंगें, पराबैंगनी एवं अवरक्त तरंगें ये सभी em तरंगें हैं। तरंगों का आवृत्ति के क्रम में वर्गीकरण (चित्र 8.5) *वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम* कहलाता है। *एक प्रकार की तरंग और उसके निकटवर्ती दूसरे प्रकार की तरंग के बीच कोई स्पष्ट विभाजन रेखा नहीं है।* वर्गीकरण मोटे तौर पर इस बात पर आधारित है कि तरंगें किस प्रकार उत्पन्न एवं/अथवा संसूचित की जाती हैं।

अब हम वैद्युतचुंबकीय तरंगों के इन विभिन्न प्रकारों का उनकी घटती हुई तरंगदैर्घ्यों के क्रम में वर्णन करेंगे।

वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम
http://www.fnal.gov/pub/inquiring/more/light
http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/
भौतिकी



चित्र 8.5 वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम जिसके विभिन्न भागों के सामान्य नाम दर्शाए गए हैं। विभिन्न भागों के बीच कोई स्पष्ट विभाजन रेखा नहीं है।

© NCERT not to be republished

हम इन विभिन्न प्रकार की वैद्युतचुंबकीय तरंगों का अवरोही तरंगदैर्घ्य के क्रम में, संक्षेप में वर्णन कर रहे हैं।

8.4.1 रेडियो तरंगें

रेडियो तरंगें चालक तारों में आवेशों की त्वरित गति से उत्पन्न होती हैं। इनका उपयोग रेडियो एवं दूरदर्शन की संचार प्रणालियों में किया जाता है। इनका आवृत्ति परास सामान्यत: 500 kHz से लगभग 1000 MHz के बीच होता है। AM (आयाम मॉड्यूलित) बैंड 530 kHz से 1710 kHz के बीच होता है। इससे उच्चतर 54 MHz तक की आवृत्तियाँ लघुतरंग बैंडों के रूप में उपयोग की जाती हैं। टी.वी. तरंगों का परास 54 MHz से 890 MHz के बीच होता है। FM (आवृत्ति मॉड्यूलित) रेडियो बैंड 88 MHz से 108 MHz के बीच फैला होता है। सेल्यूलर फोनों में अत्युच्च आवृत्ति (UHF) बैंड की रेडियो तरंगों का उपयोग करके ध्वनि संदेशों के आदान-प्रदान की व्यवस्था की जाती है। ये तरंगें किस प्रकार प्रसारित एवं अभिगृहित की जाती है, इसका वर्णन अध्याय 15 में किया गया है।

8.4.2 सूक्ष्म तरंगें

सूक्ष्म तरंगों (लघु तरंगदैर्घ्य की रेडियो तरंगें) की आवृत्तियाँ गिगा हर्ट्ज़ (GHz) के परास में होती हैं ये विशेष प्रकार की निर्वात नलिकाओं (vacuum tubes) जिन्हें क्लाइस्ट्रॉन, मेगनेट्रॉन अथवा गन डायोड कहते हैं, द्वारा उत्पन्न होती हैं। अपने लघु तरंगदैर्घ्य के कारण विमान संचालन में रडार प्रणाली के लिए उपयुक्त हैं। रडार, तेज गेदों जैसे कि टेनिस में सर्व की गई गेंदों या वाहनों की गति ज्ञात करने के लिए उपयोग में लाए जाने वाले यंत्र, चाल-गनों (speed guns), गनों की कार्य प्रणाली का भी आधार हैं। माइक्रोवेव ऑवन इन तरंगों का एक रोचक घरेलू अनुप्रयोग है। इन ऑवनों में सूक्ष्म तरंगों की आवृत्ति इस प्रकार चुनी जाती है कि वे जल के अणुओं की अनुनाद आवृत्ति से मेल खा सकें, ताकि तरंगों की ऊर्जा प्रभावी रूप से अणुओं की गतिज ऊर्जा बढ़ाने के लिए स्थानांतरित की जा सके। इससे किसी भी जलयुक्त खाद्य पदार्थ का ताप बढ़ जाता है।



माइक्रोवेव ऑवन

वैद्युतचुंबकीय विकिरणों के स्पेक्ट्रम का एक भाग *सूक्ष्म तरंग* कहलाता है। इन तरंगों की आवृत्ति एवं ऊर्जा दृश्य प्रकाश से कम एवं तरंगदैर्घ्य इससे अधिक होती है। माइक्रोवेव ऑवन का सिद्धांत क्या है, और यह कैसे कार्य करता है?

हमारा उद्देश्य भोजन को पकाना या इसे गर्म करने का होता है। सभी भोज्य वस्तुओं; जैसे - फलों, सब्जियों, मांस, अनाज इत्यादि का एक अवयव जल भी होता है। जब हम कहते हैं कि कोई पिंड गर्म हो गया है तो इससे हमारा क्या आशय होता है? जब किसी वस्तु का ताप बढ़ता है तो इसके परमाणुओं एवं अणुओं की यादृच्छिक गति की ऊर्जा बढ़ जाती है और वे अधिक ऊर्जा से चलने, दोलन करने या घूर्णन करने लगते हैं। जल के अणुओं के घूर्णन की आवृत्ति लगभग 300 करोड़ अर्थात 3 गिगा हर्ट्ज़ (GHz) है। यदि जल को इस आवृत्ति की सूक्ष्म तरंगें मिल जाएँ तो उसके अणु इन विकिरणों को अवशोषित कर लेंगे जो जल को गर्म करने के तुल्य ही हैं। ये अणु इस ऊर्जा को निकटवर्ती भोजन-अणुओं के साथ बाँट लेते हैं और इस प्रकार भोजन गर्म हो जाता है।

माइक्रोवेव ऑवन में आपको चीनी मिट्टी के बर्तनों का उपयोग करना चाहिए, धातु के बर्तनों का नहीं अन्यथा संचित विद्युत आवेशों के कारण आपको झटका लग सकता है। धातुएँ अत्यधिक ऊष्मा के कारण पिघल भी सकती हैं। चीनी मिट्टी का पात्र अप्रभावित और ठंडा बना रहता है। क्योंकि इसके विशाल अणु अपेक्षाकृत बहुत कम आवृत्ति से घूर्णन एवं कंपन करते हैं और इस कारण सूक्ष्म तरंगों को अवशोषित नहीं कर पाते। अत: वे गर्म नहीं होते।

इस प्रकार, माइक्रोवेव ऑवन का मूल सिद्धांत यह है कि इसके जिस स्थान पर हम भोजन रखते हैं वहाँ उपयुक्त आवृत्ति की सूक्ष्म तरंगें उत्पन्न की जाएँ। इस प्रकार बर्तन को गर्म करने में ऊर्जा व्यर्थ नहीं होती। पारंपरिक विधि में पहले बर्नर पर रखा हुआ पात्र गर्म होता है, फिर इससे ऊर्जा पात्र में रखे भोजन को स्थानांतरित होती है, जबकि माइक्रोवेव ऑवन ऊर्जा सीधे जल के अणुओं को और उनसे संपूर्ण भोजन को प्राप्त होती है।

© NCERT not to be republished

8.4.3 अवरक्त तरंगें

अवरक्त तरंगें (Infrared Waves) गर्म पिंडों एवं अणुओं से उत्पन्न होती हैं। यह बैंड दृश्य स्पेक्ट्रम के निम्न आवृत्ति या दीर्घ तरंगदैर्घ्य सिरे से संलग्नित होता है। अवरक्त तरंगों को कभी-कभी *ऊष्मा तरंगें* भी कहा जाता है। ऐसा इसलिए है क्योंकि अधिकांश पदार्थों में विद्यमान जल के अणु अवरक्त तरंगों को तुरंत अवशोषित कर लेते हैं (कई अन्य अणु, जैसे, CO_2, NH_3, आदि भी अवरक्त तरंगों को अवशोषित कर लेते हैं।) अवशोषण के पश्चात उनकी तापीय गति बढ़ जाती है, अर्थात वे गर्म हो जाते हैं और अपने परिवेश को गर्म करने लगते हैं। अवरक्त लैम्पों का उपयोग कायचिकित्सा में किया जाता है। अवरक्त विकिरण की पृथ्वी की गर्मी अर्थात माध्य ताप बनाए रखने में भी हरित गृह प्रभाव के द्वारा एक अहम भूमिका है। पृथ्वी पर आने वाला दृश्य प्रकाश (जो अपेक्षाकृत सरलतापूर्वक वायुमंडल से गुजर जाता है, पृथ्वी के पृष्ठ द्वारा अवशोषित हो जाता है और दीर्घ तरंगदैर्घ्य की अवरक्त तरंगों के रूप में पुनर्विकिरित हो जाता है। यह विकिरण, कार्बन डाइऑक्साइड एवं जल वाष्प जैसे हरित गृह प्रभावकारी गैसों के द्वारा वायुमंडल में रोक लिया जाता है। उपग्रहों में लगे अवरक्त संसूचकों का उपयोग सैनिक उद्देश्यों एवं फसलों की वृद्धि का प्रेक्षण करने के लिए किया जाता है। इलैक्ट्रॉनिक युक्तियाँ (उदाहरण के लिए प्रकाश उत्सर्जक डायोड) भी अवरक्त तरंगें उत्सर्जित करती हैं और घरेलू इलैक्ट्रॉनिक प्रणालियों जैसे टी.वी. सैट, वीडियो रिकॉर्डर एवं हाई-फाई प्रणालियों के रिमोट नियंत्रकों में ये बहुलता से प्रयोग की जाती हैं।

8.4.4 दृश्य प्रकाश तरंगें

यह वैद्युतचुंबकीय तरंगों का सर्वाधिक सुपरिचित रूप है। यह उस स्पेक्ट्रम का भाग है जिसके लिए मानवीय नेत्र संवेदनशील होते हैं। इसका आवृत्ति परास लगभग 4×10^{14} हर्ट्ज़ से 7×10^{14} हर्ट्ज़ या तरंगदैर्घ्य परास लगभग 700 – 400 nm होता है। हमारे चारों ओर की वस्तुओं से उत्सर्जित या परावर्तित होने वाला दृश्य प्रकाश जगत के विषय में सभी सूचनाएँ हमें उपलब्ध कराता है। हमारे नेत्र तरंगदैर्घ्यों के इस परास के लिए संवेदनशील हैं। विभिन्न जंतु तरंगदैर्घ्यों के विभिन्न परासों के लिए संवेदनशील हैं। उदाहरणार्थ, सर्प अवरक्त तरंगों को संसूचित कर सकते हैं। कई कीटों का दृश्य परास पराबैंगनी तरंगों तक पहुँचता है।

8.4.5 पराबैंगनी तरंगें

इसमें लगभग 4×10^{-7} m (400 nm) से 6×10^{-10}m (0.6 nm) तरंगदैर्घ्य परास की तरंगें सम्मिलित हैं। पराबैंगनी (UV) विकिरण विशिष्ट लैंपों एवं बहुत गर्म पिंडों से उत्पन्न होते हैं। सूर्य पराबैंगनी प्रकाश का एक महत्वपूर्ण स्रोत है। परंतु, सौभाग्य से इसका अधिकांश भाग वायुमंडल की लगभग 40 – 50 km की ऊँचाई पर स्थित ओजोन परत में अवशोषित हो जाता है। अधिक परिमाण में UV प्रकाश के संपर्क में आने का मानवों पर हानिकारक प्रभाव होता है। UV विकिरणों के पड़ने से त्वचा में अधिक मेलानिन का उत्पादन होता है जिससे त्वचा ताम्र रंग की हो जाती है। UV विकिरण सामान्य काँच द्वारा अवशोषित हो जाते हैं। अत: काँच लगी खिड़कियों से छन कर आने वाले प्रकाश के कारण धूप-ताम्रता (sunburn) नहीं होती है।

वेल्डिंग करने वाले लोग, वेल्डिंग चिनगारियों से निकलने वाली UV किरणों से अपनी आँखों की सुरक्षा के लिए विशिष्ट काँच युक्त धूप के चश्मे पहनते हैं या काँच की खिड़कियों से युक्त मुखौटे अपने चेहरे पर लगाते हैं। अपनी छोटी तरंगदैर्घ्यों के कारण, पराबैंगनी किरणों को अति परिशुद्ध अनुप्रयोगों, जैसे लासिक (LASIK – Laser-assisted in situ keratomileusis) नेत्र शल्यता में उपयोग हेतु अत्यंत संकीर्ण किरण-पुंजों में फ़ोकसित किया जा सकता है। जल शोधक में पराबैंगनी (UV) लैंपों का उपयोग जीवाणुओं को मारने में होता है।

चूँकि ओजोन परत एक संरक्षक की भूमिका अदा करती है इसलिए क्लोरोफ्लोरो-कार्बन (CFCs) गैसों (जैसे फ्रीऑन) द्वारा इसका ह्रास अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर चिंता का विषय है।

© NCERT not to be republished

8.4.6 X-किरणें

वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम के UV भाग के पश्चात X-किरणों का क्षेत्र है। चिकित्सीय उपयोगिता के कारण हम X-किरणों से परिचित हैं। इसका परास तरंगदैर्घ्य 10^{-8} m (10 nm) से लेकर नीचे 10^{-13} m (10^{-4}nm) तक फैला है। X-किरणों के उत्पादन की एक सामान्य विधि किसी धात्वीय लक्ष्य पर उच्च ऊर्जा के इलेक्ट्रॉनों की बौछार करना है। चिकित्सा में X-किरणों को नैदानिक साधन के रूप में तथा कुछ प्रकार के कैंसर के उपचार के लिए उपयोग में लाते हैं। चूँकि X-किरणें सजीव ऊतकों तथा जीवों को हानि पहुँचाती हैं या नष्ट कर देती हैं इसलिए इनसे अनावश्यक अथवा अधिक उद्भासन (exposure) से बचने की सावधानी बरतनी चाहिए।

8.4.7 गामा किरणें

ये वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम के ऊपरी आवृत्ति के क्षेत्र में होती हैं तथा इनकी तरंगदैर्घ्य लगभग 10^{-10} m से लेकर 10^{-14} m से भी कम होती है। उच्च आवृत्ति का यह विकिरण नाभिकीय अभिक्रियाओं में उत्पन्न होता है। यह रेडियोधर्मी नाभिकों द्वारा भी उत्सर्जित होता है। ये चिकित्सा में कैंसर कोशिकाओं को नष्ट करने के लिए भी उपयोगी हैं।

सारणी 8.1 में विभिन्न प्रकार की वैद्युतचुंबकीय तरंगों, उनके उत्पादन एवं संसूचन को सार रूप में प्रस्तुत किया गया है। जैसा कि पहले बताया गया है, विभिन्न किरणों के क्षेत्रों के मध्य कोई तीक्ष्ण सीमाएँ नहीं हैं तथा ये दूसरे क्षेत्रों में भी व्यापित होते हैं।

सारणी 8.1 विभिन्न वैद्युतचुंबकीय तरंगों के अभिलक्षण

प्रकार	तरंगदैर्घ्य का परास	उत्पादन	संसूचन
रेडियो तरंगें	> 0.1 m	एरियल (aerial) में इलेक्ट्रॉनों का द्रुत त्वरण या मंदन	अभिग्राहक के एरियल
सूक्ष्म तरंगें	0.1m से 1 mm	क्लेस्ट्रॉन या मेग्नाट्रॉन वाल्व	बिंदु संपर्क डायोड
अवरक्त तरंगें	1mm से 700 nm	परमाणुओं एवं अणुओं के कंपन	थर्मोपाइल, बोलोमीटर, अवरक्त फोटोग्राफिक फिल्म
प्रकाश तरंगें	700 nm से 400 nm	परमाणु में इलेक्ट्रॉन, जब उच्चतर ऊर्जा स्तर से निम्नतर ऊर्जा स्तर पर संक्रमण करते हैं	मानवीय नेत्र, फोटो सेल, फोटोग्राफिक फिल्म
पराबैंगनी प्रकाश तरंगें	400 nm से 1 nm	परमाणु के आंतरिक शैलों में इलेक्ट्रॉनों का एक ऊर्जा स्तर से दूसरे ऊर्जा स्तर पर संक्रमण	फोटो सेल फोटोग्राफिक फिल्म
X-किरणें	1nm से 10^{-3} nm	X-किरण नलिका अथवा आंतरिक शैलों के इलेक्ट्रॉन	फोटोग्राफिक फिल्म, गीगर ट्यूब, आयनीकरण प्रकोष्ठ
गामा किरणें	$<10^{-3}$ nm	नाभिकों का रेडियोऐक्टिव क्षय	फोटोग्राफिक फिल्म, गीगर ट्यूब, आयनीकरण प्रकोष्ठ

© NCERT not to be republished

सारांश

1. मैक्सवेल ने ऐम्पियर के नियम में एक विसंगति पाई तथा इस विसंगति को दूर करने के लिए एक अतिरिक्त धारा के अस्तित्व का सुझाव दिया जिसे विस्थापन धारा कहते हैं। विस्थापन धारा समय के साथ परिवर्तित होने वाले विद्युत क्षेत्र के कारण उत्पन्न होती है और इसको इस प्रकार लिख सकते हैं

$$i_d = \varepsilon_0 \frac{\mathrm{d}\Phi_E}{\mathrm{d}t}$$

यह ठीक उसी प्रकार चुंबकीय क्षेत्र के स्रोत का कार्य करती है जैसे कि चालन धारा।

2. एक त्वरित आवेश वैद्युतचुंबकीय तरंगें उत्पन्न करता है। आवर्तीय रूप से, ν आवृत्ति से दोलन करता एक विद्युत आवेश उसी आवृत्ति ν की वैद्युतचुंबकीय तरंगों को उत्पन्न करता है। एक वैद्युत द्विध्रुव वैद्युतचुंबकीय तरंगों का मौलिक स्रोत है।
3. कुछ मीटर कोटि तरंगदैर्घ्य वाली वैद्युतचुंबकीय तरंगें प्रयोगशाला में सबसे पहले 1887 में हर्ट्ज़ द्वारा उत्पन्न व संसूचित की गईं। इस प्रकार उन्होंने मैक्सवेल की मौलिक भविष्यवाणी की पुष्टि की।
4. किसी वैद्युतचुंबकीय तरंग में विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्र, दिक्काल में ज्यावक्रीय ढंग से दोलन करते हैं। दोलनशील विद्युत व चुंबकीय क्षेत्र **E** तथा **B** परस्पर तथा वैद्युतचुंबकीय तरंग के संचरण की दिशा के लंबवत होते हैं। z-अक्ष के अनुदिश संचरित आवृत्ति ν तथा तरंगदैर्घ्य λ की किसी तरंग के लिए हमें निम्नलिखित सूत्र उपलब्ध है :

$$E = E_x(t) = E_0 \sin(kz - \omega t)$$

$$= E_0 \sin 2\pi \left(\frac{z}{\lambda} - \nu t\right) = E_0 \sin 2\pi \left(\frac{z}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)$$

$$B = B_y(t) = B_0 \sin(kz - \omega t)$$

$$= B_0 \sin 2\pi \left(\frac{z}{\lambda} - \nu t\right) = B_0 \sin 2\pi \left(\frac{z}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)$$

ये परस्पर निम्नलिखित सूत्र द्वारा संबंधित हैं : $E_0/B_0 = c$

5. निर्वात में वैद्युतचुंबकीय तरंग की चाल c, μ_0 तथा ε_0 (चुंबकशीलता तथा विद्युतशीलता) से इस प्रकार संबंधित हैं : $c = 1/\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$ । c का मान प्रकाशीय मापों द्वारा प्राप्त प्रकाश की चाल के बराबर होता है।

प्रकाश एक वैद्युतचुंबकीय तरंग है इसलिए c प्रकाश की भी चाल है। प्रकाश के अतिरिक्त सभी वैद्युतचुंबकीय तरंगों की मुक्त आकाश में वही चाल c है।

प्रकाश या वैद्युतचुंबकीय तरंगों की किसी भौतिक माध्यम में चाल $v = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$ होती है। यहाँ μ माध्यम की चुंबकशीलता तथा ε विद्युतशीलता है।

6. वैद्युतचुंबकीय तरंगें जब दिक्स्थान (space) में संचरित होती हैं तो अपने साथ ऊर्जा वहन करती हैं तथा यह ऊर्जा विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्र में विभाजित होती है।

वैद्युतचुंबकीय तरंगें संवेग का भी वहन करती हैं। जब ये तरंगें किसी पृष्ठ पर पड़ती हैं तो वे पृष्ठ पर दाब डालती हैं। यदि t समय में पृष्ठ को स्थानांतरित संपूर्ण ऊर्जा U हो तो पृष्ठ को दिया गया कुल संवेग $p = U/c$ होगा।

7. वैद्युतचुंबकीय तरंगों का स्पेक्ट्रम सिद्धांततः तरंगों के अनंत परिसर में विस्तृत होता है। 10^{-2} Å या 10^{-12} m से 10^{6} m तक तरंगदैर्घ्य के बढ़ते हुए क्रम में समायोजित करने पर विभिन्न

© NCERT not to be republished

भाग अलग-अलग नाम से इस प्रकार जाने जाते हैं, γ-किरणें, X-किरणें, पराबैंगनी किरणें, दृश्य प्रकाश, अवरक्त प्रकाश, सूक्ष्म तरंगें तथा रेडियो तरंगें।

ये द्रव्य से विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्रों के द्वारा पारस्परिक क्रिया करती हैं जिससे सभी द्रव्यों में विद्यमान आवेश दोलन प्रारंभ कर देते हैं। विस्तृत पारस्परिक क्रिया तथा इस प्रकार अवशोषण, प्रकीर्णन आदि की क्रिया विधि em तरंग की तरंगदैर्घ्य तथा माध्यम के परमाणु एवं अणुओं की प्रकृति पर निर्भर करती है।

विचारणीय विषय

1. विभिन्न प्रकार की वैद्युतचुंबकीय तरंगों का मौलिक अंतर उनकी तरंगदैर्घ्यों अथवा आवृत्तियों में निहित है क्योंकि ये सभी निर्वात में एक ही चाल से गुजरती हैं। परिणामस्वरूप, तरंगें पदार्थ से अपनी पारस्परिक क्रिया करने की विधि में बहुत भिन्न हैं।
2. त्वरित आवेशित कण वैद्युतचुंबकीय ऊर्जा विकिरित करते हैं। वैद्युतचुंबकीय तरंग की तरंगदैर्घ्य प्राय: तरंग विकीर्णक निकाय के आमाप (साइज़) पर निर्भर करती है। इस प्रकार से γ-किरण जिसकी तरंगदैर्घ्य 10^{-14} m से 10^{-15} m के मध्य है, विशिष्ट रूप से परमाणु-नाभिक से उत्पन्न होती है। X-किरणें भारी परमाणुओं से उत्सर्जित होती हैं। किसी परिपथ में त्वरित इलेक्ट्रॉनों से रेडियो तरंगें उत्पन्न होती हैं। एक संप्रेषक ऐंटीना अति दक्षतापूर्वक उन तरंगों को विकिरित कर सकता है जिनकी तरंगदैर्घ्य उसी परिमाण की हैं, जिस परिमाण का ऐंटीना है तथापि परमाणुओं द्वारा उत्सर्जित दृश्य विकिरण की तरंगदैर्घ्य परमाणु के आकार से काफी अधिक होती है।
3. वैद्युतचुंबकीय तरंग का दोलनशील क्षेत्र आवेशों को त्वरित कर सकता है तथा यह दोलनशील धारा उत्पन्न कर सकता है। इसलिए वैद्युतचुंबकीय तरंगों का पता लगाने के लिए जो उपकरण निर्मित होता है वह इसी तथ्य पर आधारित है। हर्ट्ज़ का मौलिक 'अभिग्राही' ठीक इसी प्रकार काम करता था। सभी आधुनिक व्यावहारिक युक्तियों में इसी मूल सिद्धांत का उपयोग होता है। उच्च आवृत्ति की वैद्युतचुंबकीय तरंगों का पता दूसरी विधि से लगाते हैं जो उन भौतिक प्रभावों पर आधारित हैं, जिन्हें वे द्रव्य के साथ परस्पर क्रिया द्वारा उत्पन्न करते हैं।
4. अवरक्त तरंगें जिनकी आवृत्ति दृश्य प्रकाश से कम होती है, न केवल इलेक्ट्रॉनों को कंपित करती हैं वरन् पदार्थ के सभी परमाणुओं अथवा अणुओं को भी कंपित करती हैं। यह कंपन आंतरिक ऊर्जा को बढ़ाता है तथा परिणामस्वरूप ताप को भी। यही कारण है कि अवरक्त तरंगों को प्राय: *ऊष्मता तरंगें* कहते हैं।
5. हमारी आँख की संवेदनशीलता का केंद्र सूर्य के तरंगदैर्घ्य वितरण के केंद्र पर पड़ता है। ऐसा इसलिए हुआ है क्योंकि मानव इस प्रकार विकसित हुआ है कि उसकी दृष्टि उन तरंगदैर्घ्यों के प्रति सबसे अधिक संवेदनशील है जो सूर्य के विकिरणों में सर्वाधिक प्रबल हैं।

अभ्यास

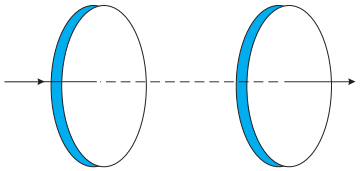
8.1 चित्र 8.6 में एक संधारित्र दर्शाया गया है जो 12 cm त्रिज्या की दो वृत्ताकार प्लेटों को 5.0 cm की दूरी पर रखकर बनाया गया है। संधारित्र को एक बाह्य स्रोत (जो चित्र में नहीं दर्शाया गया है) द्वारा आवेशित किया जा रहा है। आवेशकारी धारा नियत है और इसका मान 0.15A है।

(a) धारिता एवं प्लेटों के बीच विभवांतर परिवर्तन की दर का परिकलन कीजिए।

(b) प्लेटों के बीच विस्थापन धारा ज्ञात कीजिए।

© NCERT not to be republished

(c) क्या किरखोफ का प्रथम नियम संधारित्र की प्रत्येक प्लेट पर लागू होता है? स्पष्ट कीजिए।



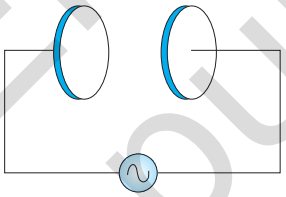
चित्र 8.6

8.2 एक समांतर प्लेट संधारित्र (चित्र 8.7), $R = 6.0$ cm त्रिज्या की दो वृत्ताकार प्लेटों से बना है और इसकी धारिता $C = 100$ pF है। संधारित्र को 230 V, 300 rad s^{-1} की (कोणीय) आवृत्ति के किसी स्रोत से जोड़ा गया है।

(a) चालन धारा का rms मान क्या है?

(b) क्या चालन धारा विस्थापन धारा के बराबर है?

(c) प्लेटों के बीच, अक्ष से 3.0 cm की दूरी पर स्थित बिंदु पर **B** का आयाम ज्ञात कीजिए।



चित्र 8.7

8.3 10^{-10} m तरंगदैर्घ्य की X-किरणों, 6800 Å तरंगदैर्घ्य के प्रकाश, तथा 500 m की रेडियो तरंगों के लिए किस भौतिक राशि का मान समान है?

8.4 एक समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग निर्वात में z-अक्ष के अनुदिश चल रही है। इसके विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्रों के सदिश की दिशा के बारे में आप क्या कहेंगे? यदि तरंग की आवृत्ति 30 MHz हो तो उसकी तरंगदैर्घ्य कितनी होगी?

8.5 एक रेडियो 7.5 MHz से 12 MHz बैंड के किसी स्टेशन से समस्वरित हो सकता है। संगत तरंगदैर्घ्य बैंड क्या होगा?

8.6 एक आवेशित कण अपनी माध्य साम्यावस्था के दोनों ओर 10^9 Hz आवृत्ति से दोलन करता है। दोलक द्वारा जनित वैद्युतचुंबकीय तरंगों की आवृत्ति कितनी है?

8.7 निर्वात में एक आवर्त वैद्युतचुंबकीय तरंग के चुंबकीय क्षेत्र वाले भाग का आयाम $B_0 = 510$ nT है। तरंग के विद्युत क्षेत्र वाले भाग का आयाम क्या है?

8.8 कल्पना कीजिए कि एक वैद्युतचुंबकीय तरंग के विद्युत क्षेत्र का आयाम $E_0 = 120$ N/C है तथा इसकी आवृत्ति $\nu = 50.0$ MHz है। (a) B_0, ω, k तथा λ ज्ञात कीजिए, (b) **E** तथा **B** के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।

8.9 वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम के विभिन्न भागों की पारिभाषिकी पाठ्यपुस्तक में दी गई है। सूत्र $E = h\nu$ (विकिरण के एक क्वांटम की ऊर्जा के लिए : फोटॉन) का उपयोग कीजिए तथा em वर्णक्रम के विभिन्न भागों के लिए eV के मात्रक में फोटॉन की ऊर्जा निकालिए। फोटॉन ऊर्जा के जो विभिन्न परिमाण आप पाते हैं वे वैद्युतचुंबकीय विकिरण के स्रोतों से किस प्रकार संबंधित हैं?

8.10 एक समतल em तरंग में विद्युत क्षेत्र, 2.0×10^{10} Hz आवृत्ति तथा 48 V m^{-1} आयाम से ज्यावक्रीय रूप से दोलन करता है।

© NCERT not to be republished

(a) तरंग की तरंगदैर्घ्य कितनी है?
(b) दोलनशील चुंबकीय क्षेत्र का आयाम क्या है?
(c) यह दर्शाइए कि **E** क्षेत्र का औसत ऊर्जा घनत्व, **B** क्षेत्र के औसत ऊर्जा घनत्व के बराबर है। [$c = 3 \times 10^8$ m s^{-1}]

अतिरिक्त अभ्यास

8.11 कल्पना कीजिए कि निर्वात में एक वैद्युतचुंबकीय तरंग का विद्युत क्षेत्र
$\mathbf{E} = \{(3.1 \text{ N/C}) \cos [(1.8 \text{ rad/m}) y + (5.4 \times 10^6 \text{ rad/s}) t]\} \hat{\mathbf{i}}$ है।
(a) तरंग संचरण की दिशा क्या है?
(b) तरंगदैर्घ्य λ कितनी है?
(c) आवृत्ति ν कितनी है?
(d) तरंग के चुंबकीय क्षेत्र सदिश का आयाम कितना है?
(e) तरंग के चुंबकीय क्षेत्र के लिए व्यंजक लिखिए।

8.12 100 W विद्युत बल्ब की शक्ति का लगभग 5% दृश्य विकिरण में बदल जाता है।
(a) बल्ब से 1 m की दूरी पर,
(b) 10 m की दूरी पर दृश्य विकिरण की औसत तीव्रता कितनी है?
यह मानिए कि विकिरण समदैशिकत: उत्सर्जित होता है और परावर्तन की उपेक्षा कीजिए।

8.13 em वर्णक्रम के विभिन्न भागों के लिए लाक्षणिक ताप परिसरों को ज्ञात करने के लिए $\lambda_m T = 0.29$ cm K सूत्र का उपयोग कीजिए। जो संख्याएँ आपको मिलती हैं वे क्या बतलाती हैं?

8.14 वैद्युतचुंबकीय विकिरण से संबंधित नीचे कुछ प्रसिद्ध अंक, भौतिकी में किसी अन्य प्रसंग में वैद्युतचुंबकीय दिए गए हैं। स्पेक्ट्रम के उस भाग का उल्लेख कीजिए जिससे इनमें से प्रत्येक संबंधित है।
(a) 21 cm (अंतरातारकीय आकाश में परमाण्वीय हाइड्रोजन द्वारा उत्सर्जित तरंगदैर्घ्य)
(b) 1057 MHz (लैंब-विचलन नाम से प्रसिद्ध, हाइड्रोजन में, पास जाने वाले दो समीपस्थ ऊर्जा स्तरों से उत्पन्न विकिरण की आवृत्ति)
(c) 2.7 K [संपूर्ण अंतरिक्ष को भरने वाले समदैशिक विकिरण से संबंधित ताप–ऐसा विचार जो विश्व में बड़े धमाके 'बिग बैंग' के उद्भव का अवशेष माना जाता है]।
(d) 5890 Å - 5896 Å (सोडियम की द्विक रेखाएँ)
(e) 14.4 keV [^{57}Fe नाभिक के एक विशिष्ट संक्रमण की ऊर्जा जो प्रसिद्ध उच्च विभेदन की स्पेक्ट्रमी विधि से संबंधित है (मॉसबौर स्पेक्ट्रोस्कॉपी)]।

8.15 निम्नलिखित प्रश्नों का उत्तर दीजिए :
(a) लंबी दूरी के रेडियो प्रेषित्र लघु-तरंग बैंड का उपयोग करते हैं। क्यों?
(b) लंबी दूरी के TV प्रेषण के लिए उपग्रहों का उपयोग आवश्यक है। क्यों?
(c) प्रकाशीय तथा रेडियो दूरदर्शी पृथ्वी पर निर्मित किए जाते हैं किंतु X-किरण खगोलविज्ञान का अध्ययन पृथ्वी का परिभ्रमण कर रहे उपग्रहों द्वारा ही संभव है। क्यों?
(d) समतापमंडल के ऊपरी छोर पर छोटी-सी ओज़ोन की परत मानव जीवन के लिए निर्णायक है। क्यों?
(e) यदि पृथ्वी पर वायुमंडल नहीं होता तो उसके धरातल का औसत ताप वर्तमान ताप से अधिक होता या कम?
(f) कुछ वैज्ञानिकों ने भविष्यवाणी की है कि पृथ्वी पर नाभिकीय विश्व युद्ध के बाद 'प्रचंड नाभिकीय शीतकाल' होगा जिसका पृथ्वी के जीवों पर विध्वंसकारी प्रभाव पड़ेगा। इस भविष्यवाणी का क्या आधार होगा?

© NCERT not to be republished

मनोवैज्ञानिक कौशलों का विकास

9

इस अध्याय को पढ़ने के बाद आप

- मनोवैज्ञानिकों में कौशलों के विकास की आवश्यकता को समझ सकेंगे,
- प्रेक्षण कौशलों के आधारभूत पक्षों का वर्णन कर सकेंगे,
- संप्रेषण कौशलों के विकास की सार्थकता जान सकेंगे,
- वैयक्तिक मूल्यांकन में मनोवैज्ञानिक परीक्षण कौशलों के महत्त्व को समझ सकेंगे, तथा
- परामर्श के स्वरूप एवं प्रक्रिया की व्याख्या कर सकेंगे।

विषयवस्तु

परिचय
एक प्रभावी मनोवैज्ञानिक के रूप में विकास
सामान्य कौशल
बौद्धिक एवं वैयक्तिक कौशल; विविधताओं के प्रति संवेदनशीलता – व्यक्तिगत एवं सांस्कृतिक भिन्नताएँ (बॉक्स 9.1)
प्रेक्षण कौशल
विशिष्ट कौशल
संप्रेषण कौशल
संप्रेषण की विशेषताएँ (बॉक्स 9.2)
श्रवण कौशलों को सुधारने के कुछ संकेत (बॉक्स 9.3)
मनोवैज्ञानिक परीक्षण कौशल
मनोवैज्ञानिक मूल्यांकन कौशलों के मूल तत्व (बॉक्स 9.4)
साक्षात्कार कौशल
साक्षात्कार प्रश्नों के प्रकार (बॉक्स 9.5)
परामर्श कौशल

प्रमुख पद
सारांश
समीक्षात्मक प्रश्न
परियोजना विचार
वेबलिंक्स
शैक्षिक संकेत

© NCERT not to be republished

परिचय

जैसा कि आप पिछली कक्षा में पढ़ चुके हैं कि मनोविज्ञान का प्रारंभ एक अनुप्रयोग या उपादेय-उन्मुख विद्याशाखा के रूप में हुआ। मनोवैज्ञानिक परीक्षण मनोविज्ञान की व्यावहारिकता का सर्वोत्तम उदाहरण है। मनोविज्ञान हमारे जीवन से संबंधित अनेक प्रश्नों के लिए प्रासंगिक है। उदाहरण के लिए एक सफल व्यक्ति बनने के लिए किस प्रकार के व्यक्तित्व बनावट की आवश्यकता है? या कक्षा 12 में पढ़ने वाले किसी छात्र के लिए कौन-सा व्यवसाय सर्वाधिक उपयुक्त होगा? इसी प्रकार, लोगों के बारे में अनेक प्रश्न और जिज्ञासाएँ होती हैं जिनका उत्तर मनोवैज्ञानिकों से अपेक्षित होता है।

मनोविज्ञान की अनुप्रयोग-संबंधी दो प्रकार की छवियाँ हैं - पहली, एक सेवा-उन्मुख विद्याशाखा के रूप में एवं दूसरा, एक वैज्ञानिक विधि-प्रेरित अनुसंधान विद्याशाखा के रूप में। ये दोनों छवियाँ एक-दूसरे से संबद्ध हैं जिनको अलग करके देखना संभव नहीं है। यहाँ यह जानना आवश्यक है कि कुछ ऐसे कारक हैं जो मनोविज्ञान को अनुप्रयोग-उन्मुख बनाने में अपना योगदान देते हैं। प्रथम, मनोवैज्ञानिकों ने यह पाया कि अतीत एवं वर्तमान दोनों में व्यक्ति, समूह, समाज एवं संगठनों द्वारा अनुभव की जाने वाली अनेक समस्याओं के समाधान के लिए कुछ मनोवैज्ञानिक सिद्धांतों को समझना आवश्यक है। जैसे-जैसे समाज एवं व्यक्तियों के द्वारा अनुभव की जाने वाली समस्याओं की तीव्रता और गंभीरता बढ़ी है, वैसे ही मनोवैज्ञानिकों ने उनके समाधान के ठोस उपाय भी प्रस्तुत किए हैं। उदाहरण के लिए किशोरों में आत्महत्या तथा अवसाद की बढ़ती प्रवृत्ति एक ऐसी ही समस्या है जिसमें किशोरावस्था के विकास संबंधी मनोवैज्ञानिक ज्ञान का उपयोग इस घटना को समझने में किया जाता है तथा कुछ युक्तियों का विकास किया गया है ताकि जीवन के आरंभिक वर्षों में इससे ग्रसित किशोरों की सहायता की जा सके। दूसरा कारण यह है कि मनोवैज्ञानिकों की विशेषज्ञता को अत्यंत महत्वपूर्ण समझा जाने लगा है। पिछले कुछ वर्षों में मनोविज्ञान की माँग और स्वीकृति समाज में एक व्यवसाय के रूप में अच्छे से स्थापित हो रही है। समाज के अनेक वर्गों में मनोवैज्ञानिक ज्ञान को अपने अनेक मूल क्रियाकलापों में समाकलित करने की प्रवृत्ति बढ़ रही है। इसको प्रमुखता से सेना में, शिक्षा के क्षेत्र में, जहाँ कुछ राज्यों के विद्यालयों में प्रशिक्षित परामर्शद (परामर्शदाता) रखना अनिवार्य कर दिया गया है, इसी प्रकार प्रबंधन के क्षेत्र में मनोवैज्ञानिकों की मदद ली जा रही है, कर्मचारी भर्ती, में कर्मचारी व्यवहार, मूल्यांकन में तथा कार्य संबंधित दबाव के प्रबंधन में, स्वास्थ्य संबंधी समस्याओं के प्रबंधन में और हाल में इनको खेल के क्षेत्र में भी प्रयुक्त किया जा रहा है। ये सिर्फ़ कुछ क्षेत्रों तक ही सीमित नहीं हैं बल्कि जीवन के समस्त क्षेत्रों में मनोवैज्ञानिकों की मदद की आवश्यकता अनुभव की जा रही है।

अनुप्रयुक्त मनोविज्ञान के सभी क्षेत्रों में मानव स्वभाव एवं विभिन्न स्थितियों में मनोवैज्ञानिकों की भूमिका के बारे में आधारभूत मान्यताएँ समान हैं। सामान्यत: यह माना जाता है कि मनोवैज्ञानिकों की अभिरुचि लोगों के स्वभाव, उनकी योग्यताओं और व्यवहार में होती है। किसी भी क्षेत्र के मनोवैज्ञानिक से यह अपेक्षा की जाती है कि वह दूसरे लोगों में अभिरुचि लेगा एवं अपने विषय से प्राप्त ज्ञान का उपयोग उनकी मदद करने में करेगा। एक मनोवैज्ञानिक सेवार्थी के इतिवृत को प्राप्त करने में, उसके समाज-सांस्कृतिक परिवेश में, उसके व्यक्तित्व-मूल्यांकन तथा अन्य महत्वपूर्ण विमाओं में सक्रिय अभिरुचि लेता है। यहाँ आप सोच सकते हैं कि सेवार्थी कोई विशेष पद है जिसका उपयोग नैदानिक या परामर्श की स्थितियों में किया जाता है। मनोविज्ञान में सेवार्थी (client) वह व्यक्ति/समूह/संगठन है जो स्वयं ही अपनी किसी समस्या के समाधान में मनोवैज्ञानिक से मदद, निर्देशन या हस्तक्षेप प्राप्त करना चाहता है।

कौशल (skill) पद को *प्रवीणता, दक्षता या निपुणता के रूप में परिभाषित किया जा सकता है जिसका अर्जन या विकास प्रशिक्षण अनुभव के द्वारा किया जा सकता है। वेब्सटर शब्दकोश ने इसके "उन गुणों को स्वायत्तीकरण के रूप में परिभाषित किया है जिससे कुछ किया जाता है या दूसरों से करवाया जाता है।"*

© NCERT not to be republished

अमरीकी मनोवैज्ञानिक संघ (1973) ने एक कार्यदल गठित किया जिसका उद्देश्य था उन कौशलों की पहचान करना जो व्यावसायिक मनोवैज्ञानिकों के लिए आवश्यक हों। इस कार्यदल ने कौशलों के तीन समुच्चयों की संस्तुति या अनुशंसा की। ये हैं – *व्यक्तिगत भिन्नताओं का मूल्यांकन, व्यवहार परिष्करण कौशल तथा परामर्श एवं निर्देशन कौशल।* इन्हीं कौशलों और सक्षमताओं की पहचान एवं उपयोग ने अनुप्रयुक्त मनोविज्ञान के अभ्यास की नींव को सकारात्मक मज़बूती प्रदान की। कोई व्यक्ति एक व्यावसायिक मनोवैज्ञानिक के रूप में कैसे विकसित हो सकता है?

एक प्रभावी मनोवैज्ञानिक के रूप में विकास

अधिकतर लोग सोचते हैं कि वे किसी न किसी प्रकार के मनोवैज्ञानिक हैं। हम अक्सर, बुद्धि, हीनता मनोग्रंथि, अनन्यता संकट, मानसिक बाधाओं, अभिवृत्ति, दबाव, संप्रेषण बाधाओं के बारे में बात करते हैं। सामान्यत: इन पदों का परिचय लोगों के लोकप्रिय लेखन तथा जन संचार के माध्यमों से होता है। मानव व्यवहार के बारे में कई प्रकार के सामान्य बुद्धि के पद लोग अपने जीवन से जुड़ी प्रक्रियाओं से सीख लेते हैं। मानव व्यवहार से जुड़ी कुछ नियमितताओं के अनुभव के आधार पर उनके बारे में सामान्यीकरण किया जाता है। इस प्रकार का दैनिक अव्यवसायी (शौकिया) मनोविज्ञान अक्सर उलटा असर डालता है, कभी-कभी तो अत्यंत भयावह हो सकता है। *अभी भी यह प्रश्न बना हुआ है कि एक कूट मनोवैज्ञानिक को वास्तविक मनोवैज्ञानिक से कैसे अलग करें?*

इसका उत्तर कुछ इस प्रकार के प्रश्न पूछकर तैयार किया जा सकता है, जैसे–उसका व्यावसायिक प्रशिक्षण, शैक्षिक पृष्ठभूमि, संस्थागत संबंधन तथा उसका सेवा देने संबंधी अनुभव आदि। यहाँ पर यह महत्वपूर्ण है कि उस मनोवैज्ञानिक का प्रशिक्षण एक शोधकर्ता के रूप में कैसे हुआ है और उसमें व्यावसायिक मूल्यों का आंतरिकीकरण कितना हुआ है। अब इस बात को माना जा रहा है कि मनोवैज्ञानिकों द्वारा प्रयुक्त उपकरणों का ज्ञान, उनसे जुड़ी विधियाँ एवं सिद्धांत मनोवैज्ञानिक विशेषज्ञता प्राप्त करने के लिए आवश्यक हैं। उदाहरण के लिए एक व्यावसायिक मनोवैज्ञानिक समस्या का निराकरण वैज्ञानिक स्तर पर करता है। वे अपनी समस्याओं को प्रयोगशाला या क्षेत्र में ले जाकर परीक्षण करके उत्तर प्राप्त करने का प्रयास करते हैं। वे अपने प्रश्नों का उत्तर गणितीय प्रसंभाव्यताओं के आधार पर प्राप्त करते हैं। उसके बाद ही वह किसी विश्वसनीय मनोवैज्ञानिक सिद्धांत या नियम पर पहुँचते हैं।

यहाँ पर एक और अंतर स्थापित करना चाहिए। कुछ मनोवैज्ञानिक शोध के माध्यम से सैद्धांतिक निरूपणों की खोज करते हैं जबकि कुछ अन्य हमारे प्रतिदिन की क्रियाओं और व्यवहारों से संबंधित रहते हैं। हमें दोनों प्रकार के मनोवैज्ञानिकों की ज़रूरत है। हमें कुछ ऐसे वैज्ञानिक चाहिए जो सिद्धांतों का विकास करें जबकि कुछ दूसरे उनका उपयोग मानव समस्याओं के समाधान के लिए करें। यहाँ यह जानना महत्वपूर्ण है कि शोध कौशलों के अलावा एक मनोवैज्ञानिक के लिए वे कौन-सी सक्षमताएँ हैं जो आवश्यक हैं। कुछ दशाएँ और सक्षमताएँ ऐसी हैं जो मनोवैज्ञानिकों के लिए अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर आवश्यक मानी जा रही हैं।

इसके अंतर्गत ज्ञान के वे क्षेत्र आते हैं, जिसको शिक्षा और प्रशिक्षण पूरा करने के बाद व्यवसाय में आने से पूर्व किसी मनोवैज्ञानिक को जानना चाहिए। ये शिक्षकों, अभ्यास करने वाले एवं शोध करने वाले सभी के लिए ज़रूरी हैं जो छात्रों से, व्यापार से, उद्योगों से और बृहत्तर समुदायों के साथ परामर्शन की भूमिकाओं में होते हैं। यह माना जा रहा है कि मनोविज्ञान में सक्षमताओं को विकसित करना, उनको अमल में लाना और उनका मापन करना कठिन है, क्योंकि विशिष्ट पहचान और मूल्यांकन की कसौटियों पर आम सहमति नहीं बन पाई है।

आधारभूत कौशल या सक्षमता जिनको मनोवैज्ञानिकों ने पहचाना है और जो एक प्रभावी मनोवैज्ञानिक बनने के लिए आवश्यक हैं, उनको तीन श्रेणियों में बाँटा जा सकता है – (अ) **सामान्य कौशल** (general skills), (ब) **प्रेक्षण कौशल** (observational skills) एवं (स) **विशिष्ट कौशल** (specific skills)। इनकी चर्चा यहाँ विस्तार से की जा रही है।

सामान्य कौशल

ये कौशल मूलत: सामान्य स्वरूप के हैं और इनकी आवश्यकता सभी प्रकार के मनोवैज्ञानिकों को होती है चाहे उनकी विशेषज्ञता का क्षेत्र कोई भी हो। ये कौशल सभी व्यावसायिक मनोवैज्ञानिकों के लिए आवश्यक हैं, चाहे वे नैदानिक एवं स्वास्थ्य मनोविज्ञान के क्षेत्र के हों, औद्योगिक/संगठनात्मक, सामाजिक या पर्यावरणी मनोविज्ञान से संबंधित हों या सलाहकार के रूप में कार्यरत हों। इन कौशलों में वैयक्तिक तथा बौद्धिक

© NCERT not to be republished

कौशल दोनों शामिल होते हैं। यह अपेक्षा की जाती है कि किसी भी प्रकार का व्यावसायिक प्रशिक्षण (चाहे नैदानिक या संगठनात्मक हो) उन विद्यार्थियों को नहीं दिया जाना चाहिए, जिनमें इन कौशलों का अभाव हो। एक बार इन कौशलों का प्रशिक्षण प्राप्त कर लेने के बाद ही किसी विशिष्ट क्षेत्र में विशिष्ट प्रशिक्षण देकर उन कौशलों का अग्रिम विकास किया जा सकता है। इन कौशलों के कुछ उदाहरण बॉक्स 9.1 में दिए गए हैं।

बॉक्स 9.1

बौद्धिक एवं वैयक्तिक कौशल

1. अंतर्वैयक्तिक कौशल – सुनने की योग्यता एवं तदनुभूति की क्षमता, दूसरों की संस्कृति के प्रति सम्मान तथा अभिरुचि की भावना, अनुभवों, मूल्यों, दृष्टिकोणों, लक्ष्यों एवं इच्छाओं तथा भय को समझने का खुलापन तथा प्रतिप्राप्ति को ग्रहण करने की सकारात्मक भावना इत्यादि। इन कौशलों को वाचिक या अवाचिक रूप से व्यक्त किया जाता है।
2. संज्ञानात्मक कौशल – समस्या समाधान की योग्यता, आलोचनात्मक चिंतन और व्यवस्थित तर्कना, बौद्धिक जिज्ञासा तथा नम्यता।
3. भावात्मक कौशल – सांवेगिक नियंत्रण एवं संतुलन, अंतर्वैयक्तिक द्वंद्व के प्रति सहनशीलता, अनिश्चितताओं और अस्पष्टताओं के प्रति सहनशीलता।
4. व्यक्तित्व/अभिवृत्ति – दूसरों के प्रति सहायता की इच्छा, नए विचारों के प्रति खुलापन, ईमानदारी/अखंडता/मूल्यपरक नैतिक व्यवहार, व्यक्तिगत साहस।
5. अभिव्यक्तिपरक कौशल – अपने विचारों, भावनाओं, सूचनाओं को वाचिक, अवाचिक तथा लिखित रूप में संप्रेषित करने की योग्यता।
6. परावर्ती या मननात्मक कौशल – स्वयं की अभिप्रेरणाओं, अभिवृत्तियों एवं व्यवहारों को समझने तथा परीक्षण करने की योग्यता, अपने और दूसरे के व्यवहारों के प्रति संवेदनशीलता।
7. वैयक्तिक कौशल – वैयक्तिक संगठन, स्वास्थ्य, समय प्रबंधन एवं उचित परिधान या वेश।

विविधताओं के प्रति संवेदनशीलता – व्यक्तिगत एवं सांस्कृतिक भिन्नताएँ

- आत्म का ज्ञान (अपनी अभिवृत्ति, मूल्यों और उनसे जुड़ी सीमाएँ तथा क्षमताएँ), जब कोई व्यावसायिक माहौल में विविध प्रकार के लोगों के साथ काम करता है।
- भिन्न स्थितियों में व्यक्तिगत या सांस्कृतिक विविधताओं के स्वरूप या प्रभाव का ज्ञान।
- विविध पृष्ठभूमि के लोगों के साथ मूल्यांकन, उपचार तथा परामर्शन के दौरान ज़िम्मेदारी भरा आचरण।
- भिन्न सांस्कृतिक मानकों और विश्वासों के प्रति सम्मान एवं प्रशंसा की भावना।
- अपनी वरीयताओं या अधिमान्यताओं तथा अपने समूह के प्रति संवेदनशीलता।
- सांस्कृतिक विश्वासों में विविधताओं को प्रोत्साहन एवं सकारात्मक जीवन परिणामों के प्रति सम्मान की भावना।

प्रेक्षण कौशल

मनोवैज्ञानिक चाहे शोध कर रहे हों या क्षेत्र में व्यवसाय कर रहे हों, वे ज़्यादातर समय सावधानीपूर्वक सुनने, ध्यान देने और प्रेक्षण करने का काम करते हैं। वे अपनी समस्त संवेदनाओं का उपयोग देखने, सुनने, सूँघने, स्वाद लेने या स्पर्श करने में करते हैं। इस प्रकार मनोवैज्ञानिक एक उस उपकरण की तरह है जो अपने परिवेश की समस्त सूचनाओं का अवशोषण कर लेता है। आप प्रेक्षण के बारे में पहले ही कक्षा 11 में पढ़ चुके हैं – इसलिए इस वर्ष हम प्रेक्षण कौशलों के विकास संबंधी पक्षों पर अधिक ध्यान देंगे।

एक मनोवैज्ञानिक अपने परिवेश– जिनमें घटनाएँ एवं व्यक्ति दोनों शामिल हैं, के विभिन्न पहलुओं के बारे में प्रेक्षण करता है। प्रारंभ में, एक मनोवैज्ञानिक अपने चारों ओर के वातावरण का सावधानीपूर्वक निरीक्षण करता है तथा भौतिक स्थितियों को जानने की चेष्टा करता है। जैसे, वह फ़र्श के रंग या छत की बनावट, खिड़कियों/दरवाज़ों के आकार, प्रकाश की व्यवस्था, कला चित्र, पेंटिंग या मूर्तिशिल्प पर भी ध्यान

© NCERT not to be republished

देते हैं। ये छोटे, सूक्ष्म तथा अप्रासंगिक से दिखने वाले संकेत मानव व्यवहार को प्रभावित करते हैं।

इसी कारण मनोवैज्ञानिक परिवेश के इन संकेतों पर ध्यान देता है। भौतिक परिवेश के इन पहलुओं के अलावा एक मनोवैज्ञानिक व्यक्तियों एवं उनके व्यवहारों का भी प्रेक्षण करता है। इसमें उसकी जनांकिकीय विशेषताएँ (जैसे – आयु, लिंग, कद इत्यादि), दूसरों से व्यवहार करने या संबंध स्थापित करने के तरीके, दूसरों की उपस्थिति में व्यवहार का स्वरूप आदि शामिल हो सकते हैं। इन सभी पक्षों का मनोवैज्ञानिक एक अभिलेख या रिकॉर्ड तैयार करता है जिससे प्रेक्षण की प्रक्रिया में कुछ महत्वपूर्ण एवं सार्थक पक्षों को समझा जा सके।

- धैर्यपूर्वक प्रेक्षण करना;
- अपने भौतिक परिवेश को निकट से देखना – जिससे क्या, कौन, कैसे, कहाँ और कब को समझा जा सके;
- लोगों की प्रतिक्रियाओं, संवेगों और अभिप्रेरणाओं के प्रति जागरूक रहना;
- उन प्रश्नों को पूछना जिनका उत्तर प्रेक्षण करते समय पाया जा सके;
- स्वयं को उपस्थित रखना – अपने बारे में सूचना देना, यदि पूछा जाए;
- एक आशावादी कुतूहल या जिज्ञासा से प्रेक्षण करें; और
- नैतिक आचरण करें – प्रेक्षण के दौरान लोगों की निजता के मानकों का पालन करें; उनसे प्राप्त सूचनाओं को किसी को भी न बताएँ, इसका ध्यान रखें।

आप प्रेक्षण के दो प्रमुख उपागमों से पहले ही परिचित हो चुके हैं। ये हैं – *प्रकृतिवादी प्रेक्षण* तथा *सहभागी प्रेक्षण*। आइए इनके बारे में कौशल विकसित करने की जानकारी लेते हैं।

प्रकृतिवादी प्रेक्षण (naturalistic observation) एक प्राथमिक तरीका है जिससे हम सीखते हैं कि लोग भिन्न स्थितियों में कैसे व्यवहार करते हैं। मान लीजिए, आप जानना चाहते हैं कि जब कोई कंपनी अपने उत्पाद में भारी छूट की घोषणा करती है तो उसकी प्रतिक्रियास्वरूप लोग शॉपिंग मॉल जाने पर कैसा व्यवहार करते हैं। इसके लिए आप एक शॉपिंग मॉल में जा सकते हैं जहाँ इन छूट वाली वस्तुओं को प्रदर्शित किया गया है, क्रमबद्ध ढंग से आप प्रेक्षण कर सकते हैं कि लोग खरीदारी से पहले या बाद में क्या कहते या करते हैं। उनके तुलनात्मक अध्ययन से, वहाँ क्या हो रहा है, इस बारे में रुचिकर सूझ बन सकती है।

सहभागी प्रेक्षण (participant observation) प्रकृतिवादी प्रेक्षण का ही एक प्रकार है। इसमें प्रेक्षक प्रेक्षण की प्रक्रिया में एक सक्रिय सदस्य के रूप से संलग्न होता है। इसके लिए वह उस स्थिति में स्वयं भी सम्मिलित हो सकता है जहाँ प्रेक्षण करना है। उदाहरण के लिए, ऊपर दी गई समस्या में, एक प्रेक्षणकर्ता उसी शॉपिंग मॉल की दुकान में अंशकालिक नौकरी लेकर अंदर का व्यक्ति बनकर ग्राहकों के व्यवहार में विभिन्नताओं का प्रेक्षण कर सकता है। इस तकनीक का मानवशास्त्री बहुतायत से उपयोग करते हैं जिनका उद्देश्य होता है कि उस सामाजिक व्यवस्था का प्रथमतया दृष्टि से एक परिप्रेक्ष्य विकसित कर सकें जो एक बाहरी व्यक्ति को सामान्यतया उपलब्ध नहीं होता है।

प्रेक्षण के लाभ एवं हानि

- इसका प्रमुख लाभ यह है कि यह प्राकृतिक या स्वाभाविक स्थिति में व्यवहार को देखने और अध्ययन करने का अवसर देता है।
- बाहर के लोगों को या उस स्थिति में रहने वाले लोगों को प्रेक्षण के लिए प्रशिक्षण दिया जा सकता है।

क्रियाकलाप 9.1

अपने अंतर्वैयक्तिक कौशल का मूल्यांकन

निम्नलिखित पक्षों के संदर्भ में आप अपना वर्णन किस प्रकार करेंगे, इसको एक कागज़ पर लिखिए–

(क) मित्रभाव
(ख) मन:स्थिति
(ग) हास्य भावना
(घ) जीवनवृत्ति अभिप्रेरणाएँ
(ङ) समूह एवं टीम में काम करने की योग्यता
(च) स्वतंत्रता या स्वाधीनता
(छ) दूसरों द्वारा स्वीकार किए जाने की इच्छा
(ज) अनुशासन

तीन से पाँच सदस्यों का एक समूह बनाइए। प्रत्येक समूह सदस्य का उपरोक्त विमाओं पर मूल्यांकन कीजिए। प्रत्येक सदस्य विश्लेषण करके बताए कि इन विमाओं पर उसके आत्म-प्रत्यक्षण तथा दूसरों का उसके प्रति जो प्रत्यक्षण है, उनमें क्या समानताएँ एवं भिन्नताएँ हैं।

© NCERT not to be republished

- इसकी एक कमी यह है कि प्रेक्षण करने में अभिनति या पूर्वग्रह की भावना आ जाती है क्योंकि प्रेक्षक या प्रेक्षित की भावनाएँ इसको प्रभावित कर देती हैं।
- किसी दी गई परिस्थिति में दैनंदिन क्रियाएँ नित्यकर्म (रूटीन) की तरह होती हैं जो अक्सर प्रेक्षक की दृष्टि से चूक जाती हैं।
- दूसरी संभाव्य कमी यह है कि वास्तविक व्यवहार और दूसरों की अनुक्रियाएँ प्रेक्षक की उपस्थिति से प्रभावित हो सकती हैं, इस प्रकार प्रेक्षण का उद्देश्य पराजित हो सकता है।

विशिष्ट कौशल

ये कौशल मनोवैज्ञानिक सेवाओं के क्षेत्र के मूल/आधारभूत कौशल हैं। उदाहरण के लिए, नैदानिक स्थितियों में कार्य करने वाले मनोवैज्ञानिकों के लिए आवश्यक है कि वे चिकित्सापरक हस्तक्षेप की तकनीकों, मनोवैज्ञानिक मूल्यांकन एवं परामर्श में प्रशिक्षण प्राप्त करें। इसी प्रकार, संगठनात्मक मनोवैज्ञानिक, जो संगठन के क्षेत्र में काम करते हैं, उनको भी शोध कौशलों के अलावा मूल्यांकन, सुगमीकरण, परामर्शन एवं व्यवहारपरक कौशलों की आवश्यकता होती है जिससे वे व्यक्ति, समूहों, टीमों और संगठनों के विकास की प्रक्रिया को समझ सकें या समझने में मदद कर सकें। यद्यपि विशिष्ट कौशलों और सक्षमताओं की आवश्यकता विशिष्ट व्यावसायिक प्रकार्यों के लिए होती है, फिर भी इन कौशलों में एक प्रकार का अतिव्यापन होता है, अर्थात ये कौशल एक-दूसरे से जुड़े होते हैं। ये किसी क्षेत्र के लिए अनन्य नहीं होते। प्रासंगिक विशिष्ट कौशलों और सक्षमताओं को निम्न रूप में वर्गीकृत किया जा सकता है -

(अ) संप्रेषण कौशल

- *वाचन*
- *सक्रिय श्रवण*
- *शरीर भाषा या अवाचिक कौशल*

(ब) मनोवैज्ञानिक परीक्षण कौशल

(स) साक्षात्कार कौशल

(द) परामर्श कौशल

- *तदनुभूति*
- *सकारात्मक आदर*
- *प्रामाणिकता*

संप्रेषण कौशल

हम जिन कौशलों की चर्चा करने जा रहे हैं वे शायद अमूर्त लगें लेकिन जब आप इससे जुड़ी एक क्रिया को करेंगे तो आप इसको आसानी से समझ जाएँगे। आइए संप्रेषण प्रक्रिया के मूल तत्व को समझें और देखें कि कैसे यह व्यक्तिगत संबंधों एवं व्यक्तिगत प्रभाविता में भूमिका निर्वाह करता है। प्रभावी संप्रेषक सीखना मात्र एक अकादमिक क्रिया नहीं है। यह जीवन में सफलता पाने के लिए सर्वाधिक महत्वपूर्ण कौशल है। इस कक्षा में भी आपकी सफलता आपकी संप्रेषण योग्यता पर निर्भर करती है। उदाहरण के लिए, अच्छा करने के लिए आपको प्रश्न पूछना आना चाहिए, उत्तर देना आना चाहिए, विचारों का सारांश बनाना आना चाहिए, तथ्यों को मतों (opinions) से अलग करना आना चाहिए तथा अपने समकक्षियों एवं अध्यापकों से प्रभावी ढंग से अंत:क्रिया करना आना चाहिए। इसके लिए, आपको श्रवण कौशल की आवश्यकता भी होगी ताकि कक्षा में प्रस्तुत सूचनाओं को समग्र रूप से - वाचिक एवं अवाचिक दोनों रूप में समझ सकें। आपका प्रस्तुतीकरण कौशल अच्छा होना चाहिए ताकि आप कक्षा में दी गई परियोजना संबंधी रिपोर्ट को अच्छी तरह प्रस्तुत कर सकें। संप्रेषण प्रक्रिया से हमारा तात्पर्य क्या है? यह कहा जा सकता है कि *संप्रेषण एक सचेतन या अचेतन, साभिप्राय या अनभिप्रेत प्रक्रिया है जिसमें भावनाओं तथा विचारों को वाचिक या अवाचिक संदेश के रूप में भेजा, ग्रहण किया और समझा जाता है।* संप्रेषण की विशेषताओं को बॉक्स 9.2 में रेखांकित किया गया है -

हमारी संप्रेषण प्रक्रिया आकस्मिक (बिना किसी आशय के), अभिव्यक्तिपरक (व्यक्ति की सांवेगिक स्थिति से जुड़ी) या वाक्पटुता (संप्रेषक के विशिष्ट लक्ष्यों से जुड़ी) हो सकती है। मानव संप्रेषण अंतरावैयक्तिक, अंतर्वैयक्तिक अथवा सार्वजनिक स्तरों पर हो सकता है। **अंतरावैयक्तिक संप्रेषण** (intrapersonal communication) का संबंध व्यक्ति की स्वयं से संवाद करने की क्रिया को कहते हैं। इसमें विचार-प्रक्रम, वैयक्तिक निर्णयन तथा स्वयं पर केंद्रित विचार शामिल होते हैं। **अंतर्वैयक्तिक संप्रेषण** (interpersonal communication) का तात्पर्य उस संप्रेषण से है जो दो या दो से अधिक व्यक्तियों से संबंधित होता है, जो एक संप्रेषणपरक संबंध स्थापित करते हैं। अंतर्वैयक्तिक संप्रेषण के

© NCERT not to be republished

बॉक्स 9.2

संप्रेषण की विशेषताएँ

संप्रेषण गतिशील है- क्योंकि इसकी प्रक्रिया निरंतर परिवर्तनशील रहती है। जैसे कि व्यक्ति की अपेक्षाओं, अभिवृत्तियों, भावनाओं तथा संवेगों में परिवर्तन होता रहता है, इस परिवर्तन को हम लगातार अभिव्यक्त करते हैं- इसी से उनका संप्रेषण भी लगातार परिवर्तित होता रहता है।

संप्रेषण अविराम है - क्योंकि यह कभी भी रुकता नहीं है- चाहे हम सोए या जगे हों - हम लगातार विचारों का प्रक्रमण करते रहते हैं। हमारा मस्तिष्क सदैव सक्रिय रहता है।

संप्रेषण अनुत्क्रमणीय है - क्योंकि एक बार संदेश भेज देने के बाद हम उसे वापस नहीं ले सकते हैं। अगर एक बार ज़बान फिसल जाए, एक बार दृष्टिपात कर दें या संवेगात्मक उत्तेजना को प्रकट कर दें, तो हम उसको मिटा नहीं सकते। हमारी क्षमायाचनाएँ या अस्वीकरण इसके प्रभाव को हल्का कर सकती हैं लेकिन उसको पूरी तरह समाप्त नहीं कर सकती जो कहा जा चुका है।

संप्रेषण अंत:क्रियात्मक है- क्योंकि हम लगातार दूसरों के और स्वयं के संपर्क में रहते हैं। दूसरे हमारे भाषणों तथा व्यवहार के प्रति प्रतिक्रिया देते हैं तथा हम स्वयं भी अपनी वाक्-क्रिया के प्रति अनुक्रिया देते हैं। इस प्रकार, हमारे संप्रेषण का आधार एक क्रिया-प्रतिक्रिया चक्र का बने रहना है।

अनेक प्रकारों में मुखोन्मुख या मध्यस्थ आधारित वार्तालाप, साक्षात्कार एवं लघु समूह परिचर्चा आते हैं। **सार्वजनिक संप्रेषण** (public communication) में वक्ता अपनी बातों या संदेशों को श्रोताओं तक पहुँचाता है। यह प्रत्यक्ष, जैसे - कोई वक्ता मुखोन्मुख जनसभा में भाषण देता है या अप्रत्यक्ष, जैसे - जहाँ वक्ता रेडियो या टेलीविजन के माध्यम से बात करता है।

मानव संप्रेषण के घटक

जब हम संप्रेषण करते हैं तब हमारा संप्रेषण चयनात्मक होता है। इसका अर्थ है, हमारे पास उपलब्ध शब्दों एवं व्यवहारों के एक विशाल संग्रह में से हम उन शब्दों एवं क्रियाओं को चुनते हैं जिसके बारे में हमारा भरोसा रहता है कि वे हमारे विचारों की अभिव्यक्ति के लिए उपयुक्त हैं। जब हम संप्रेषण करते हैं, तब हम **कूट संकेतन** (encode) (विचार लेना, उनको अर्थ देना और उनको संदेश के रूप में बदल देना) करते हैं और फिर उसको संप्रेषक सरणी या पथ में डाल देते हैं। यह हमारी प्राथमिक संकेतक प्रणाली का अंग है जो हमारी ज्ञानेंद्रियों से जुड़ी होती है (देखना, सुनना, सूँघना, स्वाद लेना या स्पर्श करना)। इस संदेश को उस तक भेजा जाता है जो अपनी प्राथमिक संकेत प्रणाली से इसको ग्रहण करता है। वह संग्रहण का **विसंकेतन** (decode) (समझने योग्य रूप में संदेश का अनुवाद करना) करता है। उदाहरण के लिए जैसे आपने कहा कि आपने घंटी की आवाज सुनी या यह बेहद नरम वस्तु है। ये वाचिक या भाषायी संप्रेषण के उदाहरण हैं जो बताते हैं कि आपकी ज्ञानेंद्रियों ने संकेतों को कैसे ग्रहण किया। आप अवाचिक या भाषेतर स्तर पर भी अनुक्रिया दे सकते हैं। जैसे आपने गरम स्टोव को छुआ तो आपकी अंगुलियाँ एकदम से दूर हो गईं और आपकी आँखों से आँसू आ गए। अंगुलियों का खींचना और आँखों में आँसू आना ये दोनों किसी भी देखने वाले को यह बता देंगे कि आपका दर्द कितना था।

चित्र 9.1 में दिया गया मॉडल संप्रेषण प्रक्रिया की विभिन्न अवस्थाओं को प्रदर्शित करता है।

जैसा कि आप देख सकते हैं कि किसी भी संप्रेषण प्रक्रिया के प्रभावी होने की मात्रा इस बात पर निर्भर करती है कि संप्रेषण में प्रयुक्त होने वाले संकेतों या कूटों, जिनका उपयोग संदेश को प्रेषित करने और उसको ग्रहण करने के लिए किया गया है, के प्रति संप्रेषण करने वाले संप्रेषकों की आपसी समझ कितनी है। मान लीजिए आप कोई परीक्षा देने वाले हैं कि अचानक आपको पता चलता है कि आप कक्षा में कलम लेकर नही आए हैं। आप अपने किसी दोस्त से कहते हैं, 'क्या तुम्हारे पास कोई अतिरिक्त कलम है जो तुम मुझे दे सकते हो'? वह कहती है ''हाँ'' और आपको कलम दे देती है। अभी आपने एक प्रभावी संप्रेषण प्रक्रिया में भाग लिया है। आपने (संप्रेषक अ) एक संदेश (आपको कलम

© NCERT not to be republished

की आवश्यकता है) का कूट संकेतन किया है एवं एक सरणी (अपनी आवाज़ की ध्वनि) का उपयोग करके अपने दोस्त (संप्रेषक ब) को संदेश प्रेषित किया है। आपकी दोस्त ज्ञानेंद्रिय (कान) का उपयोग एवं विसंकेतन करके संदेश को ग्रहण करती है (वह समझती है कि आपको कलम चाहिए)। आपकी दोस्त का फीडबैक ('हाँ' कहना और आपको कलम देने का व्यवहार करना) इन सबका मतलब है कि संदेश को सफलतापूर्वक ग्रहण किया गया तथा विसंकेतन किया गया। यद्यपि संप्रेषण उस अवस्था में भी सफल होता, अगर आपकी दोस्त ने यह कहा होता 'माफ करना, मैं नहीं दे सकती, क्योंकि मैं आज एक ही कलम लेकर आई हूँ'।

आप यह याद रखना चाहेंगे कि भाषण स्वयं में कोई संप्रेषण नहीं है। भाषण सिर्फ एक जैविक क्रिया है; ध्वनि की उक्ति या उच्चार, भाषा का उपयोग करते हुए। संप्रेषण का बृहत्तर अर्थ है – इसमें दो या उससे अधिक व्यक्तियों के बीच एक संबंध होता है जिसमें वे अर्थ निरूपण की हिस्सेदारी में शामिल होते हैं जिससे संदेश के भेजने एवं ग्रहण करने में एक समानता बनी रहती है।

वाचन (संभाषण)

संप्रेषण का एक महत्वपूर्ण घटक है भाषा का उपयोग करके बोलना (संभाषण)। भाषा में प्रतीकों का उपयोग किया जाता है जिसमें अर्थ बंधे हुए होते हैं। प्रभावी होने के लिए यह आवश्यक है कि संप्रेषक भाषा का सही उपयोग करना जानता हो क्योंकि भाषा प्रतीकात्मक होती है, इसलिए जहाँ तक संभव हो शब्दों का उपयोग स्पष्ट एवं परिशुद्ध होना चाहिए। संप्रेषण किसी संदर्भ के अंतर्गत घटित होता है। इसलिए दूसरे के संदर्भ आधार को भी ध्यान में रखने की आवश्यकता होती है। इसका अर्थ है प्रेषक जिस संदर्भ से संदेश प्रेषित कर रहा है, उसके प्रति जानकारी होनी चाहिए। साथ ही उस संदर्भ की व्याख्या की हिस्सेदारी आवश्यक है। अगर नहीं तो अपनी शब्दावली स्तर एवं शब्दों के चयन को सुनने वाले के अनुरूप स्तर पर लाना पड़ता है। याद रहे, किसी संस्कृति-विशिष्ट या क्षेत्र अनुरूप अपभाषा तथा शब्दों की अभिव्यक्ति कभी-कभी संप्रेषण की प्रभाविता में बाधा बन जाती है।

श्रवण

श्रवण एक महत्वपूर्ण कौशल है जिसका उपयोग हम प्रतिदिन करते हैं। आपकी शैक्षणिक सफलता, नौकरी की उपलब्धि एवं व्यक्तिगत प्रसन्नता काफ़ी हद तक आपके प्रभावी ढंग से सुनने की योग्यता पर निर्भर करती है। प्रथमतया, श्रवण आपको एक निष्क्रिय व्यवहार लग सकता है क्योंकि इसमें चुप्पी होती है लेकिन निष्क्रियता की यह छवि सच्चाई से दूर है। श्रवण में एक प्रकार की ध्यान सक्रियता होती है। सुनने वाले को धैर्यवान तथा अनिर्णयात्मक होने के साथ विश्लेषण करते रहना पड़ता है ताकि सही अनुक्रिया दी जा सके।



चित्र 9.1 मूल संप्रेषण प्रक्रिया

© NCERT not to be republished

सुनना (hearing) एवं श्रवण (listening) वास्तव में एक नहीं हैं। सुनना एक जैविक क्रिया है जिसमें संवेदी सरणियों के द्वारा संदेश का अभिग्रहण शामिल होता है। यह श्रवण का एक आंशिक पक्ष है, इसमें अभिग्रहण, ध्यान, अर्थ का आरोपण तथा श्रवणकर्ता की संदेश के प्रति अनुक्रिया आदि शामिल होते हैं।

अभिग्रहण

श्रवण प्रक्रिया का प्रारंभिक चरण है उद्दीपक या संदेश का अभिग्रहण करना। ये संदेश श्रव्य (श्रवणयोग्य) और दृश्य (दिखाई देने योग्य) हो सकते हैं। श्रवण प्रक्रिया कुछ जटिल शारीरिक अंत:क्रियाओं पर आधारित होती है जिसमें कान तथा मस्तिष्क की भूमिका होती है। श्रवण तंत्र के अलावा कुछ लोग अपनी दृष्टि प्रणाली से भी श्रवण करते हैं। वे किसी व्यक्ति की मुखीय अभिव्यक्ति, भंगिमा (मुद्रा), गति एवं रूप-रंग का प्रेक्षण करते हैं, जिससे अत्यंत महत्वपूर्ण संकेत प्राप्त होते हैं और जिनको मात्र संदेश के वाचिक अंश के श्रवण से नहीं समझा जा सकता है।

ध्यान

एक बार जब उद्दीपक, जैसे - एक शब्द या दृष्टि संकेत या दोनों, ग्रहण किए जाते हैं तो वे मानव प्रक्रमण तंत्र की ध्यान अवस्था पर पहुँचते हैं। इस अवस्था में अन्य उद्दीपक पश्चगमन की अवस्था में आ जाते हैं ताकि हम विशिष्ट शब्दों या दृश्य प्रतीकों पर पूरा ध्यान दे सकें। सामान्यतया हमारा ध्यान हम जो सुन रहे हैं और समझ रहे हैं उनके बीच बँटा रहता है या हमारे आस-पास जो कुछ घटित हो रहा है उसमें उलझा रहता है। मान लीजिए कि आप कोई सिनेमा देख रहे हैं। आपके सामने बैठा व्यक्ति अपने बगल में बैठे व्यक्ति के साथ लगातार कानाफूसी कर रहा है। सिनेमाघर का ध्वनि यंत्र भी खड़खड़ा रहा है। साथ ही, आपको आगे आने वाली परीक्षा के बारे में भी चिंता है। इस तरह से आपका ध्यान अनेक दिशाओं में बँटा रहता है। विभक्त ध्यान किसी संदेश या संकेत को ग्रहण करना कठिन बना देता है।

पुनर्वाक्यविन्यास

आपको कैसे पता चलेगा कि कोई श्रवण कर रहा है कि नहीं? आप उससे पूछिए कि आपने जो कहा वह उसको फिर से कहे। ऐसा करने वाला व्यक्ति आपके शब्दों को एकदम से नहीं दोहरा सकता है। वह मूलत: अपनी समझ से आपकी बातों या विचारों को पुनर्कथित करता है- वही जो उसकी समझ में आया होता है। इसी को **पुनर्वाक्यविन्यास** (paraphrasing) कहते हैं। इसके द्वारा आपको यह समझ में आ जाता है कि आपने जो कहा वह कितना समझा या सुना गया है। अगर कोई कही हुई बात को संक्षेप में दुबारा दोहरा नहीं सकता तब यह इसका साक्ष्य है कि उसने पूरा संदेश ठीक से ग्रहण नहीं किया है अर्थात या तो सुना नहीं है या समझा नहीं है। हम जब कक्षा में अध्यापक या किसी दूसरे व्यक्ति को सुन रहे हों तब भी इस बात का ध्यान रखना चाहिए कि क्या हम उनकी बात दोहरा सकते हैं या नहीं? सुनी हुई बात का पुनर्वाक्यविन्यास करने का प्रयास करें और यदि आप ऐसा नहीं कर पाते हैं तब संभव होने पर तत्काल स्पष्टीकरण करें।

अगली बार जब आप किसी तीव्रतम बातचीत में संलग्न हों तो वाचिक रूप से पुनर्वाक्यविन्यास करने का प्रयास करें, जैसे - जब कोई आपको निदेश (आदेश) दे रहा हो या किसी मित्र के साथ आप एक द्वंद्व स्थिति (जैसे-वादविवाद) में उलझे हुए हों। आप अपने मित्र की कही हुई बात को दोहरा कर बताएँ यह देखने के लिए कि जो कहा जा रहा है आप वही सुन रहे हैं या नहीं। इससे पता चलेगा कि आपका ग्रहण करना और समझना एक ही धरातल पर चल रहा है। आपको यह जानकर आश्चर्य होगा कि कितनी बार वादविवाद गलत संप्रेषण की वजह से होता है।

अर्थ का आरोपण

किसी भी उद्दीपक को ग्रहण करने के बाद उसको हम एक पूर्वनिर्धारित श्रेणी में रखते हैं, उस श्रेणी का विकास भाषा के सीखने के साथ ही जुड़ा रहता है। हम उन मानसिक श्रेणियों को विकसित करते हैं जिनके द्वारा प्राप्त संदेश की व्याख्या की जाती है। उदाहरण के लिए, हमारी श्रेणीकरण प्रणाली ने 'पनीर' शब्द को एक दुग्ध उत्पाद के रूप में श्रेणीबद्ध कर रखा है, जिसका एक खास स्वाद है, रंग है, जिसके द्वारा हम 'पनीर' शब्द का उपयोग सही अर्थ में कर पाते हैं।

श्रवण में संस्कृति की भूमिका

मस्तिष्क की तरह, हम जिस संस्कृति में पलते-बढ़ते हैं वह भी हमारी श्रवण एवं सीखने की योग्यताओं को प्रभावित करती

© NCERT not to be republished

है। एशियाई संस्कृति, जैसे कि भारत, में जब बड़े या वरिष्ठ लोग संदेश देते हैं तब उसको शांत संप्रेषक की तरह ग्रहण किया जाता है। कुछ संस्कृतियों में ध्यान को नियंत्रित करने पर ध्यान दिया जाता है। उदाहरण के लिए बौद्ध दर्शन में एक संप्रत्यय होता है जिसको 'मनोयोग' कहते हैं। इसका अर्थ है कि आप जो भी करें उस पर अपना संपूर्ण ध्यान केंद्रित रखें। बाल्यावस्था में 'मनोयोग' का प्रशिक्षण देने से ध्यान केंद्रित करने की योग्यता का विस्तार हो जाता है और इससे श्रवण की क्षमता बेहतर हो जाती है। व्यक्ति में इससे सहानुभूतिक श्रवण की योग्यता भी बढ़ती है। फिर भी अनेक संस्कृतियों में श्रवण कौशलों में बढ़ोतरी से जुड़े संप्रत्ययों का अभाव है। बॉक्स 9.3 में श्रवण कौशलों को सुधारने के कुछ संकेत दिए गए हैं।

शरीर भाषा

क्या आप मानते हैं कि जब आप दूसरों से संवाद करते हैं तब आपके शब्द आपके संदेश का पूर्ण अर्थ संप्रेषित कर पाते हैं? अगर आपका उत्तर 'हाँ' में है तब आप गलत हैं। हम सभी जानते हैं कि संप्रेषण का एक बड़ा भाग वाचिक भाषा का उपयोग किए बिना भी हो सकता है। हमें पता है कि अवाचिक क्रियाएँ प्रतीकात्मक होती हैं और किसी भी बातचीत की क्रिया से गहराई से जुड़ी रहती हैं। इन्हीं अवाचिक क्रियाओं के अंश को **शरीर भाषा** (body language) कहते हैं।

शरीर भाषा में वे सारे संदेश शामिल होते हैं जो शब्दों के अलावा लोग बातचीत के दौरान उपयोग करते हैं। शरीर भाषा पढ़ते समय इस बात का अवश्य ध्यान रखें कि कोई भी एक अवाचिक संकेत अपने आप में संपूर्ण अर्थ नहीं रखता है। इसमें हावभाव, भंगिमा, शरीर की बनावट, नेत्र संपर्क शरीर की गति, पोशाक शैली जैसे कारक शामिल होते हैं और इसको एक **गुच्छ** (cluster) के रूप में समझना पड़ता है। साथ ही, वाचिक संप्रेषण में अवाचिक संकेतों के अनेक अर्थ हो सकते हैं। उदाहरण के लिए, सीने पर एक-दूसरे पर रखी गई बाहुओं या भुजाओं का अर्थ होता है कि व्यक्ति स्वयं को अलग रखना चाहता है। परंतु अगर सीधी मुद्रा में सीने पर भुजाएँ बंधी हों, शरीर की मांसपेशियाँ तनी हों, जबड़ों की मांसपेशियों में जकड़न और आँखों की मांसपेशियों में संकुचन हो तो यह संभवतः क्रोध का संप्रेषण करता है।

क्रियाकलाप 9.2

संप्रेषण में अवाचिक व्यवहार का प्रेक्षण

अपने परिवार के सदस्यों का सावधानीपूर्वक प्रेक्षण कीजिए। जब वे किसी के साथ बातचीत कर रहे हों तो उनके अवाचिक व्यवहार या शरीर भाषा पर ध्यान दीजिए। इसी प्रकार, अब आप अपने अवाचिक व्यवहार पर ध्यान दीजिए। क्या आपको उनकी और अपनी शरीर भाषा या अवाचिक व्यवहार में कोई समानता दिखाई देती है? इसको कक्षा में बताइए।

बॉक्स 9.3

श्रवण कौशलों को सुधारने के कुछ संकेत

- इस बात की पहचान करें कि प्रेषक एवं संग्राहक दोनों संप्रेषण को प्रभावी बनाने के लिए समान रूप से जिम्मेदार होते हैं।
- संप्रेषित की जा रही सूचना प्राप्त करने की शुरुआत में कोई निर्णय लेने से बचें। सभी विचारों के प्रति खुलापन रखें।
- धैर्यवान श्रवणकर्ता बनें। अनुक्रिया देने में जल्दी न करें।
- अहं कथन से बचें। केवल जो चाहते हैं उसी के बारे में बात न करें। दूसरों को भी अवसर दें और उनको जो कहना है कहने दें।
- सांवेगिक अनुक्रियाओं के प्रति सावधान रहें, विशेष रूप से वे शब्द जो भावपूर्ण हों।
- यह ध्यान रखें कि आपकी शरीर भंगिमा आपके श्रवण को प्रभावित करती है।
- विमनस्कता को नियंत्रित करें।
- अगर कोई संदेह हो तो पुनर्कथन (पुनर्वाक्यविन्यास) करें। प्रेषक से भी पूछें कि वह आपके द्वारा ठीक से समझा जा रहा है या नहीं।
- जो कहा जा रहा है उसका मानस-प्रत्यक्षीकरण करें। तात्पर्य यह कि संदेश को मूर्त क्रिया के रूप में अनूदित करें।

© NCERT not to be republished

जब हम शरीर भाषा का विश्लेषण कर रहे हैं तब उस व्यक्ति की पृष्ठभूमि और अतीत में उसके व्यवहार के स्वरूप को भी ध्यान में रखना चाहिए। संप्रेषण में वर्तमान व्यवहार और अतीत के व्यवहार के बीच एकरूपता तथा वाचिक एवं अवाचिक व्यवहार के बीच सुमेल को **संगति** (congruency) कहते हैं। अगर आप अपने मित्र को कहते हैं कि ''आज तुम ठीक नहीं लग रहे हो'' तब आपके कहने का आधार यह होता है कि उसका हावभाव और रूप-रंग जो आज दिखाई पड़ रहा है शायद वह अतीत के अनुभवों से अलग है। दूसरे शब्दों में, कुछ बदल गया है और आपको अंतर दिखाई पड़ रहा है। अगर आपके पास अतीत का अनुभव नहीं होता तब आपको शायद परिवर्तन नहीं महसूस होता। याद करें कि किसी बातचीत को प्रोत्साहित या हतोत्साहित करने के लिए हम किस हद तक शरीर भाषा का उपयोग करते हैं। उदाहरण के लिए हम हाथ हिलाकर रेस्तराँ में वेटर या मित्रों का ध्यान अपनी ओर आकर्षित करते हैं। हालाँकि बातचीत में हमारी शरीर भाषा बगैर हमारे सचेतन बोध के अभिव्यक्त होती रहती है।

मनोवैज्ञानिक परीक्षण कौशल

अगला कौशलों (सक्षमताओं) का समुच्चय जिसकी मनोवैज्ञानिकों को आवश्यकता होती है, का संबंध मनोविज्ञान के ज्ञान के आधार से है। इसके अंतर्गत मनोवैज्ञानिक मापन, मूल्यांकन तथा व्यक्तियों और समूहों, संगठनों तथा समुदायों की समस्या समाधान के कौशल आते हैं। मनोवैज्ञानिक सदैव से – उन्नीसवीं सदी में गाल्टन (Galton) के समय से – व्यक्तिगत भिन्नताओं को समझने में अभिरुचि रखते आए हैं। मनोवैज्ञानिक परीक्षण बनाए गए जिनका उपयोग प्रमुखत: सामान्य बुद्धि, व्यक्तित्व, विभेदक अभिक्षमताओं, शैक्षिक उपलब्धियों, व्यावसायिक उपयुक्तता या अभिरुचियों, सामाजिक अभिवृत्तियों तथा विभिन्न अबौद्धिक विशेषताओं के विश्लेषण एवं निर्धारण में किया जाता है। मनोवैज्ञानिक परीक्षणों का उपयोग व्यक्तियों की विभिन्नताओं का अध्ययन करने के अलावा समूहों के मनोवैज्ञानिक अध्ययनों के लिए भी किया जाता है। मनोवैज्ञानिक इन परीक्षणों का उपयोग व्यवसाय, आयु, लिंग, शिक्षा, संस्कृति आदि जैसे कारकों के आधार पर उत्पन्न अंतरों के अध्ययन में करते हैं। मनोवैज्ञानिक परीक्षणों का उपयोग करते समय **वस्तुनिष्ठता** (objectivity), **वैज्ञानिक उन्मुखता** (scientific orientation) तथा **मानकीकृत व्याख्या** (standardised interpretation) के प्रति सजगता रखना आवश्यक होता है।

उदाहरण के लिए उद्योगों और व्यवसाय में, संगठनात्मक एवं कार्मिक (कर्मचारी) कार्यों में जहाँ विशिष्ट पदों के लिए विशेषीकृत परीक्षणों द्वारा चयन का कार्य करना है, यह आवश्यक है कि परीक्षण की वैधता स्थापित करने के लिए वास्तविक निष्पादन अभिलेख या निर्धारण को मानदंड के रूप में लिया जाए। मान लीजिए कि किसी संगठन का कार्मिक विभाग यह जानना चाहता है कि कोई मनोवैज्ञानिक परीक्षण संभावित रूप से सर्वश्रेष्ठ स्टेनोग्राफर की पहचान करने में मदद कर पाएगा या नहीं, इसके लिए जरूरी है कि परीक्षण स्टेनोग्राफर के विभिन्न निष्पादन स्तरों के बीच अंतर कर पाए। इसके साथ ही, यह भी पता लगाना चाहिए कि हाल में नियुक्त किए गए कर्मचारी, जिसका परीक्षण के आधार पर चयन किया गया है, का निष्पादन परीक्षण प्राप्तांक के साथ मेल करता है कि नहीं। बॉक्स 9.4 में मनोवैज्ञानिक मूल्यांकन कौशलों के मूल तत्व का विवरण दिया गया है।

साक्षात्कार कौशल

एक साक्षात्कार दो या अधिक व्यक्तियों के बीच एक उद्देश्यपूर्ण वार्तालाप है जिसमें प्रश्न-उत्तर प्रारूप या फार्मेट का अनुसरण किया जाता है। साक्षात्कार अन्य प्रकार के वार्तालापों की तुलना में अधिक औपचारिक होता है क्योंकि इसका एक पूर्वनिर्धारित उद्देश्य होता है तथा उसकी संरचना केंद्रित होती है। अनेक प्रकार के साक्षात्कार होते हैं। उनमें से एक रोज़गार साक्षात्कार है जिसका अनुभव आप में से अधिकांश लोग करेंगे। अन्य प्रारूपों में सूचना संग्रह संबंधी साक्षात्कार, परामर्शी साक्षात्कार, पूछताछ संबंधी साक्षात्कार, रेडियो-टेलीविज़न के साक्षात्कार तथा शोध साक्षात्कार आते हैं।

साक्षात्कार प्रारूप

एक बार साक्षात्कार के उद्देश्य स्थापित हो जाने पर साक्षात्कारकर्ता एक प्रारूप तैयार करता है। इसका आधारभूत प्रारूप, साक्षात्कार का उद्देश्य चाहे जो हो, तीन अवस्थाओं में विभाजित किया जाता है। इसको *प्रारंभ, मुख्य भाग* एवं *समापन* की संज्ञा दी जा सकती है। अब हम इन तीनों अवस्थाओं का संक्षेप में वर्णन करेंगे।

© NCERT not to be republished

साक्षात्कार का प्रारंभ

साक्षात्कार के प्रारंभ में दो संप्रेषकों के बीच सौहार्द स्थापित करना शामिल होता है। उसका उद्देश्य यह होता है कि साक्षात्कार देने वाला आराम की स्थिति में आ जाए। सामान्यत: साक्षात्कारकर्ता बातचीत की शुरूआत करता है और प्रारंभिक समय में ज्यादा बात करता है। इससे दो उद्देश्य पूरे होते हैं, इससे साक्षात्कार का उद्देश्य स्थापित होता है तथा साक्षात्कार देने वाले को स्थिति एवं प्रश्न पूछने वाले के प्रति सहज होने का समय मिल जाता है।

साक्षात्कार का मुख्य भाग

साक्षात्कार का मुख्य भाग इस प्रक्रिया का केंद्र है। इस अवस्था में साक्षात्कारकर्त्ता सूचना और प्रदत्त प्राप्त करने के उद्देश्य से प्रश्न पूछने का प्रयास करता है जिसके लिए साक्षात्कार का आयोजन किया गया है।

बॉक्स 9.4

मनोवैज्ञानिक मूल्यांकन कौशलों के मूल तत्व

मनोवैज्ञानिक मूल्यांकन एक आधारभूत कौशल है जिसकी आवश्यकता मनोवैज्ञानिकों को होती है। इसमें साक्षात्कार और मनोवैज्ञानिक परीक्षणों के द्वारा व्यक्ति का समग्र एवं समाकलित मूल्यांकन ज्ञान शामिल होता है। इसके अंतर्गत मनोवैज्ञानिक सेवाओं के परिणामों का मूल्यांकन भी सम्मिलित होता है। मनोवैज्ञानिक मूल्यांकन के लिए आवश्यक कौशलों में हैं –

- विविध प्रकार की विधियों एवं माध्यमों से मूल्यांकन करने की योग्यता, इसमें उन तरीकों का ध्यान रखना भी सम्मिलित हैं जिससे विविध व्यक्तियों, युग्मों, परिवारों एवं समूहों के प्रति सम्मान एवं अनुक्रियाशीलता की भावना बनी रहे।
- निर्णय लेने के लिए प्रदत्त संग्रह करते समय एक प्रणालीबद्ध उपागम के उपयोग की योग्यता।
- मूल्यांकन विधियों के आधारों से जुड़े मनोमितिक मुद्दों का ज्ञान।
- विभिन्न स्रोतों से प्राप्त प्रदत्तों को समाकलित करने से संबंधित मुद्दों की जानकारी रखना।
- नैदानिक उद्देश्यों के लिए विभिन्न स्रोतों से प्राप्त प्रदत्तों को समाकलित करने की योग्यता।
- निदान के उपयोग एवं निरूपण की योग्यता, जिससे उपलब्ध नैदानिक उपागमों की सीमाओं और शक्तियों को समझा जा सके।
- कौशलों को बढाने एवं अमल में लाने के लिए पर्यवेक्षण के प्रभावी उपयोग की क्षमता।

कोई भी जो मनोवैज्ञानिक परीक्षणों का उपयोग करता है उसका व्यावसायिक रूप से योग्य होना तथा मनोवैज्ञानिक परीक्षण में प्रशिक्षित होना आवश्यक है। मनोवैज्ञानिक परीक्षणों का संचालन परीक्षण पुस्तिका (मैन्युअल) में दी गई सूचना/अनुदेशों के अनुसार ही किया जाता है। इसके लिए आवश्यक तथ्य निम्नलिखित हैं –

- परीक्षण का उद्देश्य, अर्थात, इसका उपयोग किसके लिए किया जाना है।
- जनसंख्या की विशेषताएँ जिसके लिए इसका उपयोग किया जा सकता है।
- परीक्षण की वैधताओं के प्रकार अर्थात किस आधार पर यह कहा जा सकता है कि यह उसी का मापन करता है जिसके मापन का दावा करता है?
- वैधता के बाह्य मानदंड, अर्थात उन क्षेत्रों पर जिस पर इसकी कार्यशीलता देखी गई है।
- विश्वसनीयता सूचकांक, प्राप्तांकों में त्रुटि की क्या संभावनाएँ हैं?
- प्रतिदर्श-मानकीकरण/अर्थात जब परीक्षण का निर्माण हुआ था तब किस का परीक्षण किया गया था (भारतीयों का, अमरीकियों का, ग्रामीणों का, शहरियों का, साक्षरों का, निरक्षरों का आदि)?
- परीक्षण संचालन के लिए निर्धारित समय।
- अंक देने की पद्धति, अर्थात किसको अंक दिया जाएगा और इसकी विधि क्या होगी?
- मानक कौन-से उपलब्ध हैं? किस समूह के संदर्भ में प्राप्तांकों की व्याख्या की जाएगी (पुरुष/ महिला, आयु समूह आदि)?
- अन्य विशिष्ट कारकों के प्रभाव, जैसे – दबाव स्थितियों या दूसरों की उपस्थिति का प्रभाव आदि।
- परीक्षण की सीमाएँ अर्थात किसका और क्या मूल्यांकन नहीं कर सकता? वे दशाएँ जिनमें यह परीक्षण अच्छा मूल्यांकन नहीं दे सकता है।

© NCERT not to be republished

प्रश्नों का अनुक्रम

एक साक्षात्कार के उद्देश्यों को प्राप्त करने के लिए साक्षात्कारकर्ता प्रश्नों की एक सूची तैयार करता है जिसको *प्रश्न अनुसूची* (schedule) भी कहा जाता है, इस अनुसूची में विभिन्न क्षेत्रों या श्रेणियों से, जो वह जानना चाहता है, प्रश्न होते हैं। इसके लिए आवश्यक है कि साक्षात्कारकर्त्ता उन क्षेत्रों या श्रेणियों को निर्धारित करे जिनके बारे में उसे प्रश्न पूछना है। उदाहरण के लिए बॉक्स 9.5 में दिए गए प्रश्नों का उपयोग नौकरी के साक्षात्कार के लिए किया गया। इसमें साक्षात्कारकर्ता ने अनेक श्रेणियों का चयन किया, जैसे – पिछले संगठन में किए गए काम का स्वरूप, पिछली नौकरी से संतुष्टि, उत्पादों पर विचार (दृष्टिकोण) आदि। इन श्रेणियों से जुड़े प्रश्नों को निर्मित किया गया तथा उनको सरलता से कठिनता के अनुक्रम में व्यवस्थित कर लिया गया। प्रश्नों का उपयोग तथ्यों की जानकारी का मूल्यांकन करने के अलावा व्यक्तिपरक मूल्यांकन के लिए भी किया जा सकता है।

साक्षात्कार का समापन

साक्षात्कार का समापन करते समय साक्षात्कारकर्ता ने जो संग्रह किया है उसे उसका सारांश बताना चाहिए। साक्षात्कार का अंत आगे लिए जाने वाले कदम पर चर्चा के साथ होना चाहिए। जब साक्षात्कार समाप्त हो रहा हो तब साक्षात्कारकर्त्ता को साक्षात्कार देने वाले को भी प्रश्न पूछने का अवसर देना चाहिए या टिप्पणी करने का मौका देना चाहिए।

परामर्श कौशल

एक मनोवैज्ञानिक के रूप में विकसित होने के लिए आवश्यक है कि परामर्श एवं निर्देशन के क्षेत्र में भी सक्षमता हो। इन सक्षमताओं को विकसित करने के लिए मनोवैज्ञानिकों को उचित शिक्षा और प्रशिक्षण कुशल पर्यवेक्षण में दिया जाना चाहिए। गलत व्यवसाय में जाने के परिणाम काफ़ी गंभीर हो सकते हैं। मान लीजिए कि कोई व्यक्ति किसी ऐसे काम में

बॉक्स 9.5

साक्षात्कार प्रश्नों के प्रकार

प्रत्यक्ष प्रश्न – ये स्पष्ट होते हैं और इनको विशिष्ट सूचनाओं की आवश्यकता होती है। उदाहरण के लिए, "अंतिम बार आपने कहाँ काम किया था?"

मुक्तोत्तर प्रश्न – ये कम स्पष्ट होते हैं और केवल विषय को बताते हैं। उदाहरण के लिए, "आप अपनी नौकरी से कुल मिलाकर कितने प्रसन्न थे?"

अमुक्तोत्तर प्रश्न – ये अनुक्रिया के विकल्प भी प्रस्तुत करते हैं जिससे अनुक्रिया का प्रसरण संकीर्ण रहता है। उदाहरण के लिए, "क्या आपको लगता है कि उत्पाद संबंधी ज्ञान या संप्रेषण कौशल एक विक्रेता के लिए अधिक महत्वपूर्ण होता है?"

द्वि ध्रुवीय प्रश्न – यह अमुक्तोत्तर प्रश्न का ही एक प्रकार है। इसमें हाँ/नहीं अनुक्रिया अपेक्षित होती है। उदाहरण के लिए, "क्या आप इस कंपनी के लिए काम करना चाहेंगे?"

संकेतक प्रश्न – ये किसी विशिष्ट उत्तर के पक्ष में अनुक्रिया को प्रोत्साहन देते हैं। उदाहरण के लिए, "क्या आप इस पक्ष में नहीं हैं कि इस कंपनी में अधिकारियों का एक संघ (यूनियन) बने?"

दर्पण प्रश्न – इनका उद्देश्य होता है कि व्यक्ति ने जो कहा है उस पर परावर्तन करके विचार करे या उसको आगे बढ़ाए। उदाहरण के लिए, आपने कहा कि ''मैं इतना परिश्रम करता हूँ पर मुझे सफलता नहीं मिलती।'' कृपया बताएँ कि ऐसा क्यों होता है।

साक्षात्कार प्रश्नों के उत्तर देना

- अगर आपको प्रश्न समझ में नहीं आया है तो स्पष्टीकरण के लिए पूछिए।
- अपने उत्तर मे प्रश्न का पुनर्कथन करें।
- एक समय में एक ही प्रश्न का उत्तर दें।
- नकारात्मक प्रश्नों को सकारात्मक में बदल दें।

© NCERT not to be republished

चला जाता है जिसके लिए उसके पास अपेक्षित अभिक्षमता (aptitude) का अभाव है, तब उसके सामने समायोजन की या निषेधात्मक संवेगों की गंभीर समस्या विकसित हो सकती है, वह हीनता मनोग्रंथि से भी ग्रसित हो सकता है। इन कठिनाइयों को वह दूसरे माध्यमों से प्रक्षेपित कर सकता है। इसके विपरीत, अगर कोई ऐसा व्यवसाय चुनता है जिसके लिए उसमें पर्याप्त अनुकूलनशीलता है तब उसको अपने काम से संतुष्टि होगी। इससे उत्पन्न सकारात्मक भावनाएँ उसके समग्र जीवन समायोजन पर अच्छा प्रभाव डालेंगी। परामर्श भी एक ऐसा ही क्षेत्र है जहाँ एक व्यक्ति को प्रवेश करने के लिए आत्म-निरीक्षण की आवश्यकता पड़ती है, जिसमें वह अपनी अनुकूलता और अपने आधारभूत कौशलों का मूल्यांकन करके देख सके कि वह इस व्यवसाय के लिए प्रभावी है या नहीं।

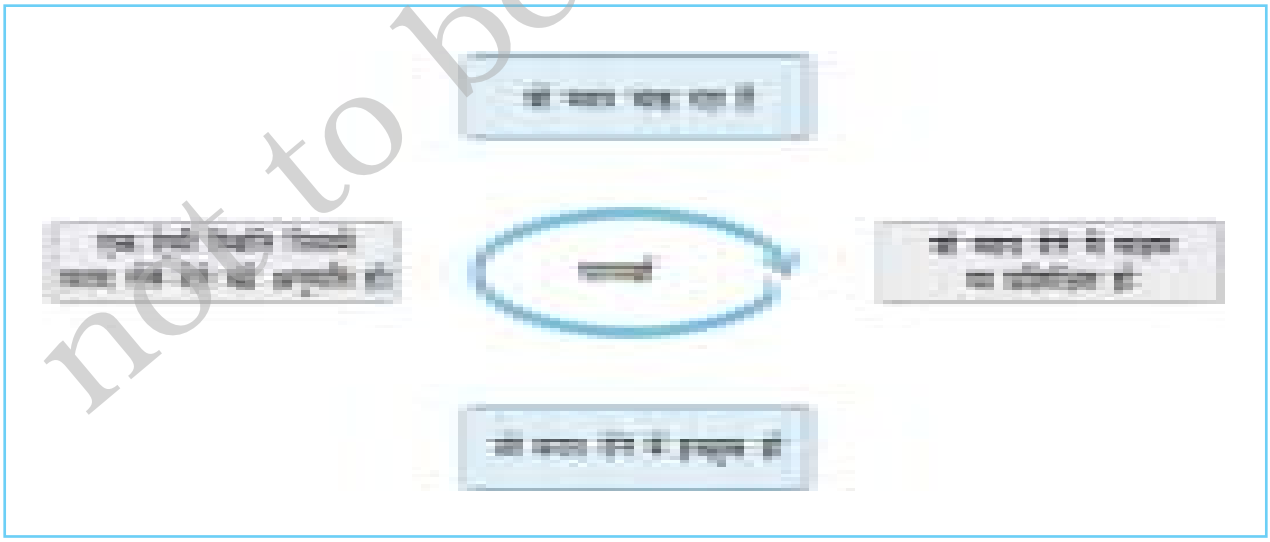
परामर्श का अर्थ एवं स्वरूप

साक्षात्कार की योजना, सेवार्थी एवं परामर्शदाता के व्यवहार का विश्लेषण तथा सेवार्थी के ऊपर पड़ने वाले विकासात्मक प्रभाव के निर्धारण के लिए परामर्श एक प्रणाली प्रस्तुत करता है। इस भाग में हम परामर्श से जुड़े संप्रत्ययों, विधियों एवं कौशलों का विवेचन करेंगे, जिसका उद्देश्य है कि कुछ मूर्त योग्यताओं का विकास किया जा सके। एक परामर्शदाता इस बात में अभिरुचि रखता है कि वह सेवार्थी की समस्याओं को उसके दृष्टिकोण और भावनाओं को ध्यान में रखकर समझ सके। इसमें समस्या से जुड़े वास्तविक तथ्य या वस्तुनिष्ठ तथ्य कम महत्वपूर्ण होते हैं और यह अधिक महत्वपूर्ण होता है कि सेवार्थी द्वारा स्वीकार की गई भावनाएँ कैसी हैं, उनको लेकर काम किया जाए। इसमें व्यक्ति तथा वह समस्या को किस प्रकार परिभाषित करता है, इसको ध्यान में रखा जाता है।

परामर्श में सहायतापरक संबंध होता है जिसमें सम्मिलित होता है वह जो मदद चाह रहा है, जो मदद दे रहा है या देने का इच्छुक है, जो मदद देने में सक्षम हो या प्रशिक्षित हो और उस स्थिति में हो जहाँ मदद लेना और देना सहज हो (चित्र 9.2 देखें)।

परामर्श के निम्नलिखित तत्व उसके सभी प्रमुख सैद्धांतिक उपागमों में समान होते हैं –

1. परामर्श में सेवार्थी के विचारों, भावनाओं एवं क्रियाओं के प्रति अनुक्रिया करना सम्मिलित होता है।
2. परामर्शन में सेवार्थी के प्रत्यक्षण एवं भावनाओं की आधारभूत स्वीकृति होती है, बिना किसी मूल्यांकन मानकों के।
3. गोपनीयता एवं निजता परामर्श स्थिति के अत्यावश्यक संघटक हैं। वे भौतिक स्थितियाँ जो इसकी गुणवता का संरक्षण करती हैं, महत्वपूर्ण हैं।
4. परामर्श स्वैच्छिक होता है। यह तभी होता है जब कोई सेवार्थी किसी परामर्शदाता के पास जाता है। एक परामर्शदाता सूचना प्राप्त करने के लिए किसी भी प्रकार का बलप्रयोग नहीं करता है।
5. परामर्शदाता और सेवार्थी दोनों इस प्रक्रिया में वाचिक तथा अवाचिक संदेशों का आदान-प्रदान करते हैं। इसी कारण,



चित्र 9.2 परामर्श प्रक्रिया के आवश्यक तत्व

© NCERT not to be republished

किसी परामर्शदाता की प्रभाविता के लिए संदेशों के प्रति अभिज्ञता (जानकारी) और संवेदनशीलता अनिवार्य घटक हैं।

परामर्श के मिथकों का खंडन

- परामर्श का तात्पर्य केवल सूचना देना नहीं होता है।
- परामर्श केवल सलाह देना नहीं होता है।
- किसी नौकरी या पाठ्यक्रम में चयन या स्थानन परामर्श देना नहीं होता है।
- परामर्श और साक्षात्कार समान नहीं हैं यद्यपि परामर्श में साक्षात्कार प्रक्रिया का उपयोग किया जा सकता है।
- परामर्श के अंतर्गत अभिवृत्तियों, विश्वासों और व्यवहारों को अनुनय करके, भर्त्सना करके, धमकी देकर या विवश करके प्रभावित करना नहीं आता है।

प्रभावी संबंधों को विकसित करना

अधिकतर लोग जो परामर्शदाता से मदद लेते हैं, उनके प्रभावी या संतोषजनक संबंध बेहद कम होते हैं या उनका पूरी तरह अभाव होता है। चूँकि व्यवहार में परिवर्तन अक्सर सामाजिक अवलंब या समर्थन के एक नेटवर्क से आता है, इसके लिए जरूरी है कि सेवार्थी दूसरे व्यक्तियों से अच्छा संबंध विकसित करने पर ध्यान दें। परामर्श संबंध वह माध्यम है जिससे इसका प्रारंभ किया जा सकता है। हम सभी की तरह परामर्शदाता भी पूर्ण नहीं होते हैं, लेकिन दूसरों की तुलना में स्वस्थ एवं सहायक संबंधों का विकास करने की विशेषताओं में प्रशिक्षण प्राप्त होते हैं।

संक्षेप में, परामर्श में सेवार्थी के लिए एक से अधिक परिणामों की अपेक्षा होती है, जो एक साथ ही घटित होते हैं। सेवार्थी में होने वाले प्रभावी व्यवहार परिवर्तन बहुपक्षीय होते हैं। इसको इस रूप में देखा जा सकता है कि सेवार्थी अधिक जिम्मेदारी ले, नई अंतर्दृष्टि विकसित करे, विभिन्न प्रकार के व्यवहार करे तथा अधिक प्रभावी संबंध विकसित करने का प्रयास करे।

प्रभावी सहायक की विशेषताएँ

प्रशिक्षित सहायक होने के कारण परामर्शदाता की जिम्मेदारी बनती है कि वह सुनिश्चित करे कि उसके परामर्श से सेवार्थी को लाभ हो तथा उसके चिकित्सापरक उद्देश्य हासिल हो सके।

क्रियाकलाप 9.3

श्रवण एवं पुनर्वाक्यविन्यास

इस क्रियाकलाप के लिए तीन विद्यार्थियों की आवश्यकता है–अ, ब और स।

अ परामर्शदाता की भूमिका निभाएगा जो श्रवण का अभ्यास करेगा। उसकी भूमिका यह होगी कि वह सुने गए विभिन्न शब्दों को सेवार्थी के समक्ष दोहराए। अ केवल यही नहीं सुनेगा कि क्या कहा गया बल्कि कैसे (शरीर भाषा) कहा गया और उसके पीछे भावना क्या थी।

ब, अ से किसी ऐसी समस्या की चर्चा करेगा जिसका वह इस समय सामना कर रहा हो।

स प्रेक्षक की भूमिका निभाएगा और इसको नोट करेगा कि अ कितना अच्छा श्रवणकर्ता है।

अ और ब करीब 10 मिनट तक अंत:क्रिया करेंगे। अंत:क्रिया समाप्त हो जाने के बाद स, अ और ब से अपने प्रेक्षणों की चर्चा करेगा। ब भी अ और स के साथ अ के संप्रेषण संबंधी प्रेक्षणों की चर्चा कर सकता है।

प्रतिप्राप्ति सत्र दस मिनट तक का हो सकता है। इसके बाद भूमिकाओं को बदल लीजिए ताकि तीनों को तीनों भूमिकाएँ निभाने का अवसर मिल सके। क्रियाकलाप के अंत में आपने जो सीखा उसका सारांश प्रस्तुत कीजिए।

ज्यादातर स्थितियों में, परामर्श प्रक्रिया की सफलता परामर्शदाता की योग्यता, कौशल, अभिवृति, व्यक्तिगत गुणों एवं उसके व्यवहार पर निर्भर करती है। इनमें से कोई भी या सभी परामर्श की प्रभाविता को बढ़ा सकते हैं या सहायता प्रक्रम को अप्रभावी बना सकते हैं। इस भाग में हम उन चार गुणों की चर्चा करेंगे जो प्रभावी परामर्शदाता के साथ संबंधित होते हैं। इसमें सम्मिलित हैं- (1) *प्रामाणिकता*, (2) *दूसरों के प्रति सकारात्मक आदर*, (3) *तदनुभूति की योग्यता* तथा (4) *पुनर्वाक्यविन्यास* आइए इन गुणों को संक्षेप में देखें–

(1) **प्रामाणिकता** – आपका अपने बारे में प्रत्यक्षण या अपनी छवि आपके ''मैं'' को बनाती है। यह स्व–प्रत्यक्षित 'मैं' आपके विचारों, शब्दों, क्रियाओं, पोशाक और जीवन शैली के माध्यम से अभिव्यक्त होता है। ये सभी आपके 'मैं' को दूसरों तक संप्रेषित करते हैं। जो आपके निकट

© NCERT not to be republished

संपर्क में आते हैं वे अपने लिए आपके बारे में अलग छवि या धारणा बनाते हैं और वे कभी-कभी इस छवि को आप तक पहुँचाते भी हैं। उदाहरण के लिए मित्र आपको बताते हैं कि वे आपके बारे में क्या पसंद या नापसंद करते हैं। आपके माता-पिता या अध्यापक आपकी प्रशंसा या आलोचना करते हैं। आप जिनका सम्मान करते हैं वे भी आपका मूल्यांकन करते हैं। ये सामूहिक निर्णय, उन लोगों के द्वारा जिनका आप सम्मान करते हैं, इनको 'दूसरे महत्वपूर्ण' भी कहा जा सकता है, एक 'हम' का विकास करते हैं। इस 'हम' में वह प्रत्यक्षण सम्मिलित है जो दूसरे हमारे बारे में बताते हैं। यह प्रत्यक्षण आपके स्व-प्रत्यक्षित 'मैं' जैसा भी हो सकता है या उससे भिन्न भी हो सकता है। जहाँ तक आप अपने स्वयं के बारे में अपने प्रत्यक्षण तथा दूसरों के अपने बारे में प्रत्यक्षण के प्रति जितने जानकार एवं सजग हैं, इससे आपकी आत्म-जागरूकता का पता चलता है। प्रामाणिकता का अर्थ है कि आपके व्यवहार की अभिव्यक्ति आपके मूल्यों, भावनाओं एवं आंतरिक आत्मबिंब या आत्म-छवि (self-image) के साथ संगत होती है।

(2) **दूसरों के प्रति सकारात्मक आदर** - एक उपबोध्य (counselee)-परामर्शदाता संबंध में एक अच्छा संबंध अभिव्यक्ति की स्वतंत्रता को प्रोत्साहित करता है। यह इस स्वीकृति को परावर्तित करता है कि दोनों की भावनाएँ महत्वपूर्ण हैं। हमें याद रखना चाहिए कि जब हम नए संबंध बनाते हैं तब हम एक अनिश्चितता की भावना एवं दुश्चिंता का अनुभव करते हैं। इन भावनाओं को कम किया जा सकता है अगर परामर्शदाता सेवार्थी जैसा महसूस कर रहा हो उसके बारे में एक सकारात्मक आदर का भाव प्रदर्शित करता है। दूसरों के प्रति सकारात्मक आदर का भाव दिखाने के लिए निम्नलिखित दिशा-निर्देशों को ध्यान में रखना चाहिए -

(क) जब आप बोल रहे हों तब 'मैं' संदेश का उपयोग की आदत बनाए न कि 'तुम' संदेश की। इसका एक उदाहरण होगा, 'मैं समझता हूँ' न कि ''आपको/ तुमको नहीं चाहिए''।

(ख) दूसरे व्यक्ति को अनुक्रिया तभी दें जब आप उसकी कही हुई बात को समझ लें।

(ग) दूसरे व्यक्ति को यह स्वतंत्रता दें ताकि वह जैसा महसूस करता है वैसा बता सके। उसको टोके या बाधित न करें।

(घ) यह मानकर न चलें कि दूसरा यह जानता है कि आप क्या सोच रहे हैं। अपने को निर्देश आधार के अनुसार ही व्यक्त करें, अर्थात उस संदर्भ के अनुसार जिसमें बातचीत चल रही है।

(ङ) स्वयं या दूसरों के ऊपर कोई लेबल न लगाएँ (उदारहणार्थ, "तुम एक अंतर्मुखी व्यक्ति हो" इत्यादि)।

(3) **तदनुभूति** - यह एक सर्वाधिक महत्वपूर्ण कौशल है जो परामर्शदाता के पास होना चाहिए। जैसा कि आप अध्याय 5 में पढ़ चुके हैं कि तदनुभूति एक परामर्शदाता की वह योग्यता है जिसके द्वारा वह सेवार्थी की भावनाओं को उसके ही परिप्रेक्ष्य से समझता है। यह दूसरे के जूते में

क्रियाकलाप 9.4

अपने भय का सामना करना

इस क्रियाकलाप को किसी समूह की स्थिति में किया जा सकता है। समूह का प्रत्येक सदस्य अपना नाम प्रकट किए बिना ही अपने सबसे अधिक बेकार के संदेह/भय/ दुश्चिंताएँ एक कागज़ पर लिख ले। जब सब अपनी चिंताओं एवं भयों के बारे में लिख चुके हों तब सभी के कागज़ एकत्र कर एक बड़ी टोकरी में डाल दीजिए। अब समूह का प्रत्येक सदस्य टोकरी से एक कागज़ उठाकर बारी-बारी ज़ोर से उन भयों को पढ़े जो कागज़ पर लिखे गए हैं। उसके बाद समूह चर्चा करे कि इन भयों का आधार क्या है, उनकी प्रकृति क्या है, उनके क्या संभावित कारण हैं, किनकी वजह से इस प्रकार के भय मन में आते हैं तथा उनको दूर करने के क्या उपाय हैं? इसी प्रक्रिया को जब तक दोहराएँ जब तक टोकरी के सारे कागज़ पढ़ न लिए जाएँ। इसको पूरा करने के बाद आप जाँच करें कि -

- *इस क्रियाकलाप से आपको अपने बारे में कुछ और जानने/समझने में मदद मिली?*
- *भय के अलावा और किस चीज़ ने आत्म-जागरूकता की प्रक्रिया में, अर्थात में, और अच्छा योगदान दिया होता?*
- *कैसा लग रहा था जब कोई और आपके भयों के बारे में पढ़ रहा था?*

© NCERT not to be republished

पैर डालने जैसा है, जिसके द्वारा आप दूसरों की तकलीफ़ एवं पीड़ा को महसूस करके समझ सकते हैं। सहानुभूति एवं तदनुभूति में अंतर होता है। सहानुभूति में आप रक्षक की भूमिका निभाते हैं। आपको लगता है कि आपकी दया की किसी को ज़रूरत है।

(4) **पुनर्वाक्यविन्यास** - इस कौशल की चर्चा संप्रेषण वाले भाग में पहले ही की जा चुकी है। आपको याद होगा कि इसमें परामर्शदाता उस योग्यता का परिचय देता है कि कैसे सेवार्थी की कही हुई बातों को या भावनाओं को विभिन्न शब्दों का उपयोग करते हुए कहा जा सकता है।

परामर्श के नैतिक सिद्धांत

हाल के वर्षों में, परामर्शदाताओं ने अपनी व्यावसायिक अनन्यता या पहचान विकसित करने के लिए कुछ महत्वपूर्ण कदम उठाए हैं। किसी भी व्यावसायिक समूह के लिए यह महत्वपूर्ण मानदंड है कि वह अपने काम के लिए आवश्यक नैतिक मानकों को विकसित करे। सामाजिक कार्यकर्ता, वैवाहिक परामर्शदाता, परिवारपरक चिकित्सक और मनोवैज्ञानिकों की कुछ नीति संहिताएँ हैं। इन नैतिक मानकों एवं संहिताओं के प्रति जागरूकता अत्यंत महत्वपूर्ण है क्योंकि परामर्श सेवा क्षेत्र (सेक्टर) का महत्वपूर्ण अंश है। इन नैतिक मानकों का पालन न करने की विधिक उपादेयताएँ होती हैं।

परामर्श के कौशलों को सीखते हुए आपके लिए यह जानना आवश्यक है कि सेवार्थी-परामर्शदाता संबंध नैतिक आधारों पर ही निर्मित होते हैं। अमरीकी मनोवैज्ञानिक संघ (ए.पी.ए.) ने वास्तविक नैदानिक स्थितियों में व्यवहार एवं निर्णयन को नियमित करने के लिए नैतिक आचरण-संहिता बनाई है। परामर्श के अभ्यास से जुड़े वांछित परिणामों को पाने के लिए इन नैतिक दिशा-निर्देशों का व्यावहारिक ज्ञान मददगार साबित होगा। अमरीकी मनोवैज्ञानिक संघ के अभ्यास संबंधी दिशा-निर्देश निम्नलिखित हैं -

- नैतिक/व्यावसायिक आचरण-संहिता, मानक तथा दिशा-निर्देशों का ज्ञान; संविधियों, नियमों एवं अधिनियमों की जानकारी के साथ मनोविज्ञान के लिए ज़रूरी कानूनों की जानकारी भी आवश्यक है।
- विभिन्न नैदानिक स्थितियों में नैतिक एवं विधिक मुद्दों को पहचानना और उनका विश्लेषण करना।
- नैदानिक स्थितियों में अपनी अभिवृत्तियों एवं व्यवहार के नैतिक विमाओं को पहचानना और समझना।
- जब भी नैतिक मुद्दों का सामना हो तब उपयुक्त सूचनाओं एवं सलाह को प्राप्त करना।
- नैतिक मुद्दों से संबंधित उपयुक्त व्यावसायिक आग्रहिता का अभ्यास करना।

प्रमुख पद

अनुप्रयुक्त मनोविज्ञान, मूल्यांकन कौशल, संज्ञानात्मक कौशल, सक्षमता, परामर्श, नैतिक प्रेक्षण, अंतरावैयक्तिक जागरूकता, अंतरावेशन एवं परामर्श कौशल, वस्तुनिष्ठता, मुक्त मानसिकता, समस्या समाधान कौशल, मनोवैज्ञानिक मूल्यांकन, मनोवैज्ञानिक परीक्षण, परावर्ती या मननात्मक कौशल, आत्म-जागरूकता, संवेदनशीलता, विश्वासपरकशीलता।

© NCERT not to be republished

सारांश

- *सामान्य एवं विशिष्ट कौशलों से मनोवैज्ञानिकों के लिए उन मूल सक्षमताओं के आधार निर्मित होते हैं जिससे वे दायित्वयुक्त नैतिक व्यवहार करते हैं। किसी भी व्यावसायिक क्षेत्र में प्रवेश करने के पूर्व मनोवैज्ञानिकों के लिए यह आवश्यक हो जाता है कि वे स्वयं को इन अपरिहार्य सक्षमताओं में प्रवीण करें।*
- *सामान्य कौशलों में बौद्धिक एवं वैयक्तिक कौशल दोनों शामिल होते हैं। ये दोनों कौशल सभी व्यावसायिक मनोवैज्ञानिकों के लिए आवश्यक हैं, चाहे वे नैदानिक एवं स्वास्थ्य मनोविज्ञान के क्षेत्र के हों, औद्योगिक/संगठनात्मक, सामाजिक, शैक्षिक या पर्यावरणी मनोविज्ञान से संबंधित हों या एक सलाहकार की तरह कार्य कर रहे हों।*
- *विशिष्ट कौशल मनोवैज्ञानिक सेवाओं के क्षेत्र के लिए मूल/आधारभूत कौशल हैं। उदाहरण के लिए नैदानिक स्थितियों में कार्य करने वाले मनोवैज्ञानिकों के लिए आवश्यक है कि वे चिकित्सापरक हस्तक्षेप की विभिन्न तकनीकों, मनोवैज्ञानिक मूल्यांकन एवं परामर्श में प्रशिक्षण प्राप्त करें।*
- *प्रभावी मनोवैज्ञानिक के रूप में विकसित होने के लिए, मनोवैज्ञानिक में सक्षमता, अखंडता, व्यावसायिक एवं वैज्ञानिक उत्तरदायित्व, लोगों के अधिकारों तथा मर्यादा के प्रति सम्मान की भावना आदि का होना आवश्यक है।*
- *प्रेक्षण कौशल भी आधारभूत कौशल हैं जिनका उपयोग मनोवैज्ञानिक व्यवहार के बारे में अंतर्दृष्टि विकसित करने के लिए एक प्रारंभ बिंदु के रूप में करते हैं। प्रेक्षण के दो प्रमुख उपागमों में हैं-प्रकृतिवादी प्रेक्षण और सहभागी प्रेक्षण।*
- *संप्रेषण वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा अर्थ का संचरण एक व्यक्ति से दूसरे व्यक्ति तक किया जाता है। अंतर्वैयक्तिक संप्रेषण के लिए वाचन और श्रवण दोनों केंद्रीय भूमिका रखते हैं।*
- *भाषा संप्रेषण के लिए आवश्यक है कि इसका उपयोग श्रोताओं की विशेषताओं को ध्यान में रखकर करना चाहिए। अवाचिक संकेत, जैसे - हावभाव, भंगिमाएँ, हाथों की गति आदि का भी उपयोग कर विचारों का संप्रेषण किया जाता है।*
- *एक उचित संदेश की रचना करना, पर्यावरणीय शोर को नियंत्रित करना तथा प्रतिप्राप्ति देना कुछ तरीके हैं जिनके द्वारा प्रभावी संप्रेषण में होने वाली विकृतियों को कम किया जा सकता है।*
- *साक्षात्कार मुखोन्मुख (आमने-सामने के) वार्तालाप की प्रक्रिया है। यह तीन अवस्थाओं में आगे बढ़ती है - प्रारंभिक तैयारी, प्रश्न एवं उत्तर तथा समापन अवस्था।*
- *मनोवैज्ञानिक परीक्षण के कौशल विकसित करना अत्यंत महत्वपूर्ण है क्योंकि परीक्षण में व्यक्तियों एवं समूहों का मूल्यांकन अनेक उद्देश्यों से किया जाता है। इसके संचालन, अंकन तथा व्याख्या के लिए प्रशिक्षण आवश्यक है।*
- *परामर्श में सहायतापरक संबंध होता है, जिसमें सम्मिलित होता है वह जो मदद चाह रहा है तथा वह जो मदद देने का इच्छुक है। प्रभावी परामर्शदाता के लिए आवश्यक गुणों में (1) प्रामाणिकता सम्मिलित होते, (2) दूसरों के प्रति सकारात्मक आदर, (3) तदनुभूति की योग्यता, तथा (4) पुनर्वाक्यविन्यास हैं।*

© NCERT not to be republished

समीक्षात्मक प्रश्न

1. एक प्रभावी मनोवैज्ञानिक बनने के लिए कौन-कौन सी सक्षमताएँ आवश्यक होती हैं?
2. कौन-से सामान्य कौशल सभी मनोवैज्ञानिकों के लिए आवश्यक होते हैं?
3. संप्रेषण को परिभाषित कीजिए। संप्रेषण प्रक्रिया का कौन-सा घटक सबसे महत्वपूर्ण है? अपने उत्तर को प्रासंगिक उदाहरणों से पुष्ट कीजिए।
4. उन सक्षमताओं के समुच्चय का वर्णन कीजिए जिनको एक मनोवैज्ञानिक परीक्षण का संचालन करते समय अवश्य ध्यान में रखना चाहिए।
5. परामर्शी साक्षात्कार का विशिष्ट प्रारूप क्या है?
6. परामर्श से आप क्या समझते हैं? एक प्रभावी परामर्शदाता की विशेषताओं का वर्णन कीजिए।

7. क्या आप इस कथन से सहमत हैं कि एक प्रभावी परामर्शदाता होने के लिए उसका व्यावसायिक रूप से प्रशिक्षित होना अनिवार्य है? अपने तर्कों के समर्थन में कारण प्रस्तुत कीजिए।
8. एक सेवार्थी-परामर्शदाता संबंधों के नैतिक मानदंड क्या हैं?
9. अपने एक मित्र के व्यक्तिगत जीवन के एक ऐसे पक्ष की पहचान कीजिए जिसे वह बदलना चाहता है। अपने मित्र की सहायता करने के लिए, मनोविज्ञान के एक विद्यार्थी के रूप में विचार करके उसकी समस्या के समाधान या निराकरण के लिए एक कार्यक्रम को प्रस्तावित कीजिए।

परियोजना विचार

1. मनोविज्ञान के तीन-चार अलग-अलग क्षेत्रों को पहचानिए। उदाहरण के लिए आप एक नैदानिक मनोवैज्ञानिक, एक परामर्शदाता तथा एक शिक्षा मनोवैज्ञानिक का चयन कर सकते हैं। इस संबंध में सूचना एकत्र कीजिए कि वे किस प्रकार का कार्य करते हैं तथा ये मनोवैज्ञानिक अपने अनूठे परिवेश में किन कौशलों का उपयोग करते हैं। इन मनोवैज्ञानिकों द्वारा किए जा रहे कार्यों से संबंधित सक्षमताओं को पहचानने के लिए आप या तो एक प्रश्नावली का विकास कर सकते हैं या सभी के साथ व्यक्तिगत साक्षात्कार कर सकते हैं। एक रिपोर्ट तैयार कर कक्षा में उस पर चर्चा कीजिए।
2. मनोवैज्ञानिकों के लिए आवश्यक कौशलों की सूची में से किसी एक कौशल का चयन कीजिए। उस विशेष कौशल से जुड़े सैद्धांतिक और व्यावहारिक पक्षों के बारे में सूचना एकत्र कीजिए। प्राप्त सूचना के आधार पर इस कौशल को संवर्द्धित करने के आवश्यक चरणों को सुझाइए। कक्षा में उसका प्रस्तुतीकरण कीजिए।

वेबलिंक्स

www.allpsych.com
www.library.unisa.edu.au/resources/subject/counsel.asp

शैक्षिक संकेत

1. अध्याय का प्रारंभ करते समय विद्यार्थियों से जीवन के विभिन्न क्षेत्रों/पक्षों में मनोविज्ञान के बढ़ते अनुप्रयोगों (उपयोगिताओं) के बारे में पूछिए।
2. विभिन्न क्षेत्रों में कार्य कर रहे मनोवैज्ञानिकों के लिए आवश्यक कौशलों और सक्षमताओं पर विद्यार्थियों को विचारावेश (खुली बहस) करने के लिए कहा जा सकता है।
3. अध्यापक कुछ नवाचारी विधियों, जैसे - व्यक्तिवृत वृत्तांत तथा भूमिका-निर्वाह का उपयोग करके संप्रेषण कौशल, प्रभावी श्रवण एवं पुनर्वाक्यविन्यास आदि का निदर्शन कर सकते हैं, विशेष रूप से इनको समझने में सहायक होगा।

© NCERT not to be republished

उत्तर

अध्याय 1

1.1 (a)

1.2 (a)

1.3 (d)

1.4 (b)

1.5 (c)

1.6 (a)

1.7 (a)

1.8 (c), (d)

1.9 (b), (d)

1.10 (b), (d)

1.11 (c), (d)

1.12 (a), (c).

1.13 (a), (b), (c) और (d).

1.14 शून्य

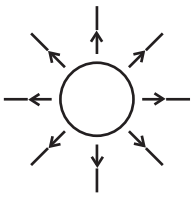
1.15 (i) $\frac{-Q}{4\pi R_1^2}$, (ii) $\frac{Q}{4\pi R_2^2}$

1.16 विद्युत क्षेत्र परमाणुओं को बाँधकर उदासीन अस्तित्व कर देते हैं। आवेशों के आधिक्य के कारण क्षेत्र उत्पन्न होते हैं। किसी वियुक्त चालक के अन्तरापृष्ठ पर आवेश-आधिक्य नहीं हो सकता।

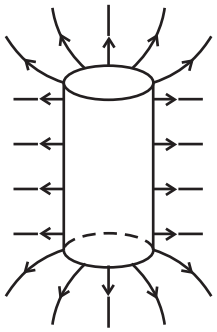
1.17 नहीं, विद्युत क्षेत्र अभिलम्बवत हो सकता है। तथापि, इसका विपरीत सत्य है।

© NCERT not to be republished

1.18



शीर्ष का दृश्य



पार्श्व का दृश्य

1.19 (i) $\frac{q}{8\varepsilon_0}$, (ii) $\frac{q}{4\varepsilon_0}$, (iii) $\frac{q}{2\varepsilon_0}$, (iv) $\frac{q}{2\varepsilon_0}$.

1.20 Al के 1 मोलर द्रव्यमान M में परमाणुओं की संख्या $N_A = 6.023 \times 10^{23}$

$\therefore$ m द्रव्यमान के Al के पैसे के सिक्के में परमाणुओं की संख्या $N = N_A \frac{m}{M}$

अब $Z_{Al} = 13$, $M_{Al} = 26.9815 g$

अत:, $N = 6.02 \times 10^{23}$ परमाणु/मोल $\times \frac{0.75}{26.9815 g / \text{मोल}}$

$= 1.6733 \times 10^{22}$ परमाणु

$\therefore$ q = पैसे में धनावेश = NZe

$= (1.67 \times 10^{22})(13)\ (1.60 \times 10^{-19} C)$

$= 3.48 \times 10^{4}$ C.

$q = 34.8$ kC धनावेश

यह आवेश की एक विशाल मात्रा है।

1.21 $F_1 = \frac{|q|^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} = \left(8.99\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2}\right)\frac{(3.48\times10^4 C)}{10^{-4} m^2} = 1.1\times10^{23} N$

$\frac{F_2}{F_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{(10^{-2} m)^2}{(10^2 m)^2} = 10^{-8} \Rightarrow F_2 = F_1 \times 10^{-8} = 1.1\times10^{15} N$

$\frac{F_3}{F_1} = \frac{r_1^2}{r_3^2} = \frac{(10^{-2} m)^2}{(10^6 m)^2} = 10^{-16}$

$F_3 = 10^{-16} F_1 = 1.1 \times 10^7$ N.

निष्कर्ष: बिन्दु आवेशों में पृथक करने पर ये आवेश विशाल बल आरोपित करते हैं। वैद्युत उदासीनता को विक्षुब्ध करना आसान नहीं है।

© NCERT not to be republished

1.22 (i) शून्य, सममिति से।

(ii) एक धनात्मक Cs आयन हटाना उस अवस्थिति से एकल ऋणात्मक Cs आयन जोड़ने के तुल्य है। तब नेट बल

$$F = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

यहाँ r = Cl आयन और किसी Cs आयन के बीच दूरी

$$F = \sqrt{(0.20)^2+(0.20)^2+(0.20)^2}\times 10^{-9} = \sqrt{3(0.20)^2}\times 10^{-9}$$

$$= 0.346 \times 10^{-9}\,\text{m}$$

अतः, $$F = \frac{(8.99\times 10^9)(1.6\times 10^{-19})^2}{(0.346\times 10^{-9})^2} = 192\times 10^{-11}$$

$$= 1.92 \times 10^{-9}\,\text{N}$$

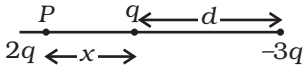
उत्तर: 1.92×10^{-9} N, A से Cl^- की ओर निदेशित

1.23 बिन्दु P पर स्थित आवेश $2q$ पर q के कारण बल बायीं ओर तथा $-3q$ के कारण दायीं ओर है।

$$\therefore \frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 x^2} = \frac{6q^2}{4\pi\varepsilon_0 (d+x)^2}$$

$$\therefore (d + x)^2 = 3x^2$$

$$\therefore 2x^2 - 2dx - d^2 = 0$$



$$x = \frac{d}{2} \pm \frac{\sqrt{3}d}{2}$$

$$x = \frac{d}{2} + \frac{\sqrt{3}d}{2} = \frac{d}{2}(1+\sqrt{3})$$

(ऋणात्मक चिह्न लेने पर x का मान q तथा $-3q$ के बीच होगा, अतः यह मान्य नहीं है।)

1.24 (a) आवेश A तथा C धनात्मक हैं क्योंकि क्षेत्र रेखाएँ इनसे निकलती हैं।

(b) आवेश C का परिमाण अधिकतम है क्योंकि इससे अधिकतम क्षेत्र रेखाएँ संबद्ध हैं।

(c) (i) A के निकट। ऋणावेश तथा किसी स्थिति के बीच कोई उदासीन बिन्दु नहीं है। दो सजातीय आवेशों के कोई उदासीन बिन्दु हो सकते हैं। चित्र में हम यह देखते हैं कि आवेशों A तथा C के बीच एक उदासीन बिन्दु है। साथ ही, दो सजातीय आवेशों के बीच उदासीन बिन्दु कम परिमाण के आवेश के निकट ही होता है। इस प्रकार आवेश A के निकट विद्युत क्षेत्र शून्य है।

1.25 (a) (i) शून्य (ii) $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$ के अनुदिश (iii) $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2q}{r^2}$ के अनुदिश

(b) उत्तर (a) के समान

© NCERT not to be republished

1.26 (a) मान लीजिए विश्व की त्रिज्या R है। यह मानिए कि हाइड्रोजन परमाणु एकसमान रूप से वितरित हैं। प्रत्येक हाइड्रोजन परमाणु पर आवेश $e_H = -(1+y)e + e = -ye = |ye|$

प्रत्येक हाइड्रोजन परमाणु का द्रव्यमान प्रोटॉन के द्रव्यमान $\sim m_p$ के तुल्य है। जब R पर, किसी हाइड्रोजन परमाणु पर यदि कूलॉम-प्रतिकर्षण गुरुत्वीय आकर्षण से अधिक हो जाए तो विस्तार आरम्भ हो जाता है।

मान लीजिए R पर विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E}$ है, तब

$$4\pi R^2 E = \frac{4}{3\varepsilon_o}\pi R^3 N|ye| \quad \text{(गाउस नियम)}$$

$$\mathbf{E}\,(R) = \frac{1}{3}\frac{N|ye|}{\varepsilon_o} R\,\hat{\mathbf{r}}$$

मान लीजिए R पर गुरुत्वीय क्षेत्र G_R है। तब

$$-4\pi R^2 G_R = 4\pi G\, m_p \frac{4}{3}\pi R^3 N$$

$$G_R = -\frac{4}{3}\pi G m_\rho N R$$

$$\mathbf{G}_R(\mathbf{R}) = -\frac{4}{3}\pi G m_p N\, R\,\hat{\mathbf{r}}$$

इस प्रकार R पर हाइड्रोजन परमाणु पर कूलॉम-बल है

$$ye\mathbf{E}(R) = \frac{1}{3}\frac{Ny^2e^2}{\varepsilon_o} R\hat{\mathbf{r}}$$

इस परमाणु पर गुरुत्वाकर्षण बल है

$$m_p G_R(R) = -\frac{4\pi}{3} G N m_p^2 R\,\hat{\mathbf{r}}$$

परमाणु पर नेट बल है

$$\mathbf{F} = \left(\frac{1}{3}\frac{Ny^2e^2}{\varepsilon_o} R - \frac{4\pi}{3} G N m_p^2 R\right)\hat{\mathbf{r}}$$

यह क्रांतिक मान तब है जब

$$\frac{1}{3}\frac{Ny_c^2e^2}{\varepsilon_o} R = \frac{4\pi}{3} G N m_p^2 R$$

$$\Rightarrow y_c^2 = 4\pi\varepsilon_o G\frac{m_p^2}{e^2}$$

$$\approx \frac{7\times10^{-11}\times1.8^2\times10^6\times81\times10^{-62}}{9\times10^9\times1.6^2\times10^{-38}}$$

$$\approx 63\times10^{-38}$$

$$\therefore y_C \approx 8\times10^{-19} \approx 10^{-18}$$

(b) इस नेट बल के कारण हाइड्रोजन परमाणु किसी त्वरण का अनुभव करता है जो इस प्रकार होता है, कि

© NCERT not to be republished

$$m_r \frac{d^2R}{dt^2} = \left(\frac{1}{3}\frac{Ny^2e^2}{e_o}R - \frac{4p}{3}GNm_p^2R\right)$$

अथवा $\frac{d^2R}{dt^2} = a^2R$ जहाँ $a^2 = \frac{1}{m_p}\left(\frac{1}{3}\frac{Ny^2e^2}{e_o} - \frac{4p}{3}GNm_p^2\right)$

इसका एक हल $R = Ae^{at} + Be^{-at}$

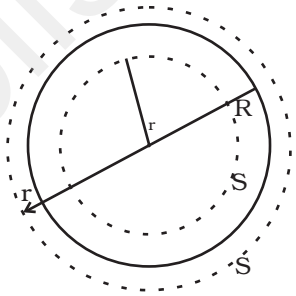
चूंकि हम कोई विस्तार खोज रहे हैं, $B = 0$

$\therefore R = Ae^{at}$

$\Rightarrow \dot{R} = \alpha Ae^{at} = \alpha R$

इस प्रकार वेग केन्द्र से दूरी के अनुक्रमानुपाती है।

1.27 (a) समस्या की सममिति से यह ज्ञात होता है कि विद्युत क्षेत्र अरीय है। $r < R$ वाले बिन्दुओं के लिए किसी गोलीय गाउस-पृष्ठ पर विचार कीजिए। तब उस पृष्ठ पर



$$\oint \boldsymbol{E}_r.d\boldsymbol{S} = \frac{1}{\varepsilon_o}\int_V \rho dv$$

$$4\pi r^2E_r = \frac{1}{\varepsilon_o}4\pi k\int_o^r r'^3dr'$$

$$= \frac{1}{\varepsilon_o}\frac{4\pi k}{4}r^4$$

$$\therefore E_r = \frac{1}{4\varepsilon_o}kr^2$$

$$\mathbf{E}(r) = \frac{1}{4\varepsilon_o}kr^2\hat{\boldsymbol{r}}$$

$r > R$, वाले बिन्दुओं के लिए किसी r त्रिज्या के गोलीय पृष्ठ पर विचार कीजिए

$$\oint \mathbf{E}_r.d\mathbf{S} = \frac{1}{\varepsilon_o}\int_V \rho dv$$

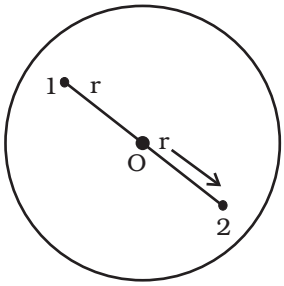
$$4\pi r^2E_r = \frac{4\pi k}{\varepsilon_o}\int_o^R r^3dr$$

$$= \frac{4\pi k}{\varepsilon_o}\frac{R^4}{4}$$

$$\therefore E_r = \frac{k}{4\varepsilon_o}\frac{R^4}{r^2}$$

$$\mathbf{E}(r) = (k/4\varepsilon_o)(R^4/r^2)\hat{\boldsymbol{r}}$$

© NCERT not to be republished



(b) दोनों प्रोटॉन किसी व्यास के अनुदिश केन्द्र के विपरीत पार्श्वों पर होने चाहिए। मान लीजिए प्रोटॉन केन्द्र से r दूरी पर हैं

इस प्रकार, $4\pi\int_o^R kr'^3 dr = 2e$

$$\therefore \frac{4\pi k}{4}R^4 = 2e$$

$$\therefore k = \frac{2e}{\pi R^4}$$

प्रोटॉन 1 पर बलों पर विचार कीजिए। आवेश वितरण के कारण आकर्षण बल है

$$-e\mathbf{E}_r = -\frac{e}{4\varepsilon_o}kr^2\hat{\mathbf{r}} = -\frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_o}\frac{r^2}{R^4}\hat{\mathbf{r}}$$

प्रतिकर्षण बल है $\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{(2r)^2}\hat{r}$

नेट बल है $\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o 4r^2} - \frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_o}\frac{r^2}{R^4}\right)\hat{r}$

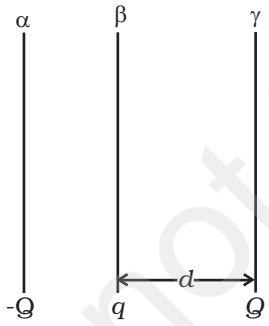
यह नेट बल शून्य है, इसलिए

$$\frac{e^2}{16\pi\varepsilon_o r^2} = \frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_o}\frac{r^2}{R^4}$$

अथवा, $r^4 = \frac{4R^4}{32} = \frac{R^4}{8}$

$$\Rightarrow r = \frac{R}{(8)^{1/4}}$$

इस प्रकार, प्रोटॉन केन्द्र से दूरी $r = \frac{R}{\sqrt[4]{8}}$ पर होना चाहिए।



1.28 (a) प्लेट α के कारण x पर विद्युत क्षेत्र है $-\frac{Q}{S2\varepsilon_o}\hat{\boldsymbol{x}}$

प्लेट β के कारण x पर विद्युत क्षेत्र है $\frac{q}{S2\varepsilon_o}\hat{\boldsymbol{x}}$

इस प्रकार, नेट विद्युत क्षेत्र है

$$\mathbf{E}_1 = \frac{(Q-q)}{2\varepsilon_o S}(-\hat{\boldsymbol{x}})$$

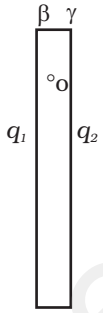
(b) टकराने के समय प्लेट β तथा प्लेट γ एक साथ हैं, अत: समान विभव पर हैं। मान लीजिए β पर आवेश q_1 तथा γ पर आवेश q_2 है। किसी बिन्दु O पर विचार कीजिए। यहाँ विद्युत क्षेत्र शून्य होना चाहिए।

α के कारण 0 पर विद्युत क्षेत्र $= -\frac{Q}{2\varepsilon_o S}\hat{\boldsymbol{x}}$

© NCERT not to be republished

β के कारण 0 पर विद्युत क्षेत्र $= -\frac{q_1}{2\varepsilon_o S}\hat{\boldsymbol{x}}$

γ के कारण 0 पर विद्युत क्षेत्र $= -\frac{q_2}{2\varepsilon_o S}\hat{\boldsymbol{x}}$



$$\therefore \frac{-(Q+q_2)}{2\varepsilon_o S}+\frac{q_1}{2\varepsilon_o S}=0$$

$$\Rightarrow q_1 - q_2 = Q$$

साथ ही, $q_1 + q_2 = Q + q$

$$\Rightarrow q_1 = Q + q/2$$

तथा $q_2 = q/2$

इस प्रकार β और γ पर आवेश क्रमशः $Q + q/2$ और $q/2$ हैं।

(c) मान लीजिए टक्कर के पश्चात् दूरी पर वेग v है। यदि प्लेट γ का द्रव्यमान m है, तब इस फेरे में अर्जित गतिज ऊर्जा विद्युत क्षेत्र द्वारा किए गए कार्य के बराबर होनी चाहिए। टक्कर के पश्चात् γ पर विद्युत क्षेत्र है

$$\mathbf{E}_2 = -\frac{Q}{2\varepsilon_o S}\hat{\boldsymbol{x}}+\frac{(Q+q/2)}{2\varepsilon_o S}\hat{\boldsymbol{x}}=\frac{q/2}{2\varepsilon_o S}\hat{\boldsymbol{x}}$$

प्लेट γ के मुक्त होने से टक्कर तक किया गया कार्य $F_1 d$ है, यहाँ F_1 प्लेट γ पर बल है। टक्कर के पश्चात् इसके d तक पहुँचने तक किया गया कार्य $F_2 d$, यहाँ F_2 प्लेट γ पर बल है।

$$F_1 = E_1 Q = \frac{(Q-q)Q}{2\varepsilon_o S}$$

तथा $F_2 = E_2 q/2 = \frac{(q/2)^2}{2\varepsilon_o S}$

$\therefore$ कुल किया गया कार्य है

$$\frac{1}{2\varepsilon_o S}\left[(Q-q)Q+(q/2)^2\right]d=\frac{1}{2\varepsilon_o S}(Q-q/2)^2\,d$$

$$\Rightarrow (1/2)mv^2=\frac{d}{2\varepsilon_o S}(Q-q/2)^2$$

$$\therefore v=(Q-q/2)\left(\frac{d}{m\varepsilon_o S}\right)^{1/2}$$

1.29 (i) $F=\frac{Q_q}{r^2}=1\text{ डाइन}=\frac{[1\text{esu आवेश}]^2}{[1\text{cm}]^2}$

अथवा

1 esu आवेश = 1 (डाइन)$^{1/2}$(cm)

अतः [1 esu आवेश] = $[F]^{1/2}\,L = [MLT^{-2}]^{1/2}\,L = M^{1/2}\,L^{3/2}\,T^{-1}$

[1 esu आवेश] = $M^{1/2}\,L^{3/2}\,T^{-1}$

© NCERT not to be republished

इस प्रकार cgs मात्रकों में आवेश को M की 1/2 तथा L की 3/2 की भिन्नात्मक घातों में व्यक्त किया जाता है।

(ii) दो आवेशों, जिनमें प्रत्येक का परिमाण 1 esu आवेश तथा जिनके बीच पृथकन 1 cm के बीच बल पर विचार कीजिए।

तब बल 1 डाइन = 10^{-5} N.

यह स्थिति 10^{-2}m पृथकन वाले xC परिणाम के दो आवेशों के तुल्य है।

इससे प्राप्त होता है:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{x^2}{10^{-4}}$$

जो होना चाहिए 1 डाइन = 10^{-5} N

इस प्रकार $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{x^2}{10^{-4}} = 10^{-5} \Rightarrow \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{10^{-9}}{x^2}\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$

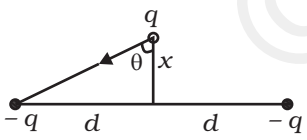
जिसके साथ $x = \frac{1}{[3]\times 10^9}$, इससे प्राप्त होता है

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 10^{-9}\times[3]^2\times 10^{18} = [3]^2\times 10^9\,\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

जिसके साथ $[3] \to 2.99792458$, हमें प्राप्त होता है

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8.98755....\times 10^9\,\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$ तथ्यत:

1.30 केन्द्र O के अनुदिश q पर कुल बल F



$$F = 2\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\cos\theta = -\frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\frac{x}{r}$$

$$F = \frac{-2q^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{x}{(d^2+x^2)^{3/2}}$$

$$\approx \frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 d^3}x = -kx \text{ के लिए } x << d$$

इस प्रकार तीसरे आवेश q पर बल विस्थापन के अनुक्रमानुपाती है तथा वह दो अन्य आवेशों के केन्द्र की ओर है। अत: तीसरे आवेश की गति सरल आवर्त गति है जिसकी आवृत्ति है

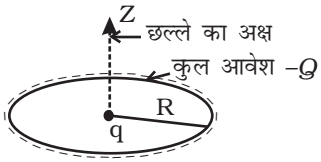
$$\omega = \sqrt{\frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 d^3 m}} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

और इस प्रकार $T = \frac{2\pi}{\omega}\left[\frac{8\pi^3\varepsilon_0 m d^3}{q^2}\right]^{1/2}$

1.31 (a) छल्ले के अक्ष के अनुदिश q को धीरे से दिया गया धक्का चित्र (b) में दर्शायी स्थिति उत्पन्न करेगा। छल्ले के व्यास के दो सिरों पर A तथा B दो बिन्दु हैं।

© NCERT not to be republished

A तथा B पर रेखा अवयवों $\frac{-Q}{2\pi R}$ के कारण q पर बल



(a)

$$F_{A+B} = 2.\frac{-Q}{2\pi R}.q.\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{r^2}.\cos\theta$$

$$= \frac{-Qq}{\pi R.4\pi\varepsilon_o}.\frac{1}{(z^2+R^2)}.\frac{z}{(z^2+R^2)^{1/2}}$$

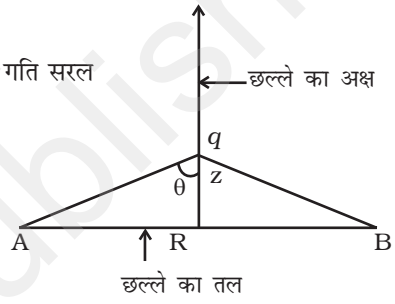
q पर छल्ले के कारण कुल बल $= (F_{A+B})(\pi R)$

$$= \frac{-Qq}{4\pi\varepsilon_o}\frac{z}{(z^2+R^2)^{3/2}}$$

$\square$ $\frac{-Qq}{4\pi\varepsilon_o}$ $z << R$ के लिए

इस प्रकार बल ऋणात्मक विस्थापन के अनुक्रमानुपाती है। ऐसे बलों के अधीन गति सरल आवर्त गति होती है।

(b) प्रश्न के भाग (a) से



(b)

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = -\frac{Qqz}{4\pi\varepsilon_o R^3} \quad \text{अथवा} \quad \frac{d^2z}{dt^2} = -\frac{Qq}{4\pi\varepsilon_o R^3}z$$

अर्थात $\omega^2 = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_o mR^3}$. अतः $T = 2\pi\sqrt{\frac{4\pi\varepsilon_o mR^3}{Qq}}$

अध्याय 2

2.1 (d)

2.2 (c)

2.3 (c)

2.4 (c)

2.5 (a)

2.6 (c)

2.7 (b), (c), (d)

2.8 (a), (b), (c)

2.9 (b), (c)

2.10 (b), (c)

2.11 (a), (d)

2.12 (a), (b)

© NCERT not to be republished

2.13 (c) और (d)

2.14 अधिक

2.15 उच्च विभव

2.16 हाँ, यदि आमाप भिन्न हैं।

2.17 नहीं

2.18 चूँकि विद्युत क्षेत्र संरक्षी है, दोनों प्रकरणों में किया गया कार्य शून्य होगा।

2.19 मान लीजिए यह सत्य नहीं है। तब पृष्ठ के तुरन्त भीतर पृष्ठ की तुलना में विभव भिन्न होना चाहिए जिसके फलस्वरूप कोई विभव प्रवणता होनी चाहिए। इसका यह अर्थ हुआ कि पृष्ठ के अन्तर्मुखी अथवा बहिर्मुखी क्षेत्र रेखाएँ होनी चाहिए। चूँकि पृष्ठ, समविभव पृष्ठ है, दूसरे सिरे पर ये रेखाएँ दुबारा पृष्ठ पर नहीं हो सकतीं। इस प्रकार यह केवल तभी संभव है जब क्षेत्र रेखाओं के दूसरे सिरे भीतर आवेशों पर हों, जो आधार तथ्य के परस्पर विरोधी हैं। अतः भीतर समस्त आयतन समान विभव पर होना चाहिए।

2.20 C कम हो जाएगी।

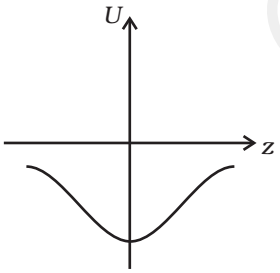
संचित ऊर्जा = $\frac{1}{2}CV^2$ और इसलिए अधिक हो जाएगी।

विद्युत क्षेत्र अधिक हो जाएगा।

संचित आवेश समान रहेगा।

V कम हो जाएगा।

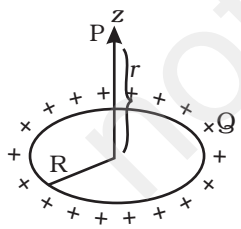
2.21 विद्युत क्षेत्र के अनुदिश आवेशित चालक से अनावेशित चालक की ओर के किसी भी पथ पर विचार कीजिए। इस पथ पर विभव निरन्तर कम होगा। अनावेशित चालक से अनन्त की ओर के अन्य पथ पर विभव और घटेगा। यह अपेक्षित तथ्य को सिद्ध करता है।



2.22 $U = \frac{-qQ}{4\pi\varepsilon_0 R\sqrt{1+z^2/R^2}}$

z के साथ स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन को चित्र में दर्शाया गया है।

विस्थापित आवेश – q दोलन करेगा। मात्र ग्राफ को देखकर हम कोई निष्कर्ष नहीं निकाल सकते।

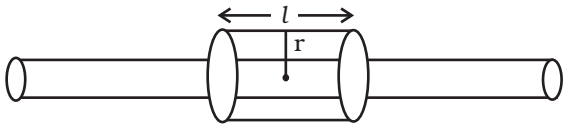


2.23 $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{\sqrt{R^2+z^2}}$

2.24 रेखा से दूरी r पर विभव ज्ञात करने के लिए विद्युत क्षेत्र पर विचार कीजिए। सममिति द्वारा हम यह पाते हैं कि क्षेत्र रेखाएँ बहिर्मुखी अरीय होनी चाहिए। त्रिज्या r तथा लम्बाई l का कोई गाउसीय पृष्ठ खींचिए। तब

© NCERT not to be republished

$$\oint \mathbf{E}.d\mathbf{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\lambda l$$



अथवा $E_r 2\pi rl = \frac{1}{\varepsilon_0}\lambda l$

$$\Rightarrow E_r = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$$

अत:, यदि त्रिज्या r_0 है, तब

$$V(r) - V(r_0) = -\int_{r_0}^{r} \mathbf{E}.d\mathbf{l} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} ln\frac{r_0}{r}$$

किसी दिए गए V के लिए,

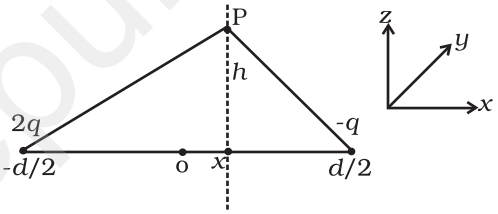
$$ln\frac{r}{r_0} = -\frac{2\pi\varepsilon_0}{\lambda}[V(r) - V(r_0)]$$

$$\Rightarrow r = r_0 e^{-2\pi\varepsilon_0 V(r_0)/\lambda}.e^{+2\pi\varepsilon_0 V(r)/\lambda}$$

समविभव पृष्ठ बेलनाकार हैं जिनकी त्रिज्या है

$$r = r_0 e^{-2\pi\varepsilon_0[V(r)-V(r_0)]\lambda}$$

2.25 मान लीजिए तल मूल बिन्दु से दूरी x है। तब बिन्दु P पर विभव है।



$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left[(x+d/2)^2+h^2\right]^{1/2}} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left[(x-d/2)^2+h^2\right]^{1/2}}$$

यदि यह विभव शून्य है, तो

$$\frac{1}{\left[(x+d/2)^2+h^2\right]^{1/2}} = \frac{1}{\left[(x-d/2)^2+h^2\right]^{1/2}}$$

अथवा $(x-d/2)^2 + h^2 = (x+d/2)^2 + h^2$

$$\Rightarrow x^2 - dx + d^2/4 = x^2 + dx + d^2/4$$

Or, $2dx = 0$

$$\Rightarrow x = 0$$

यह तल $x = 0$ का समीकरण है।

2.26 मान लीजिए यह U की अंतिम वोल्टता है। यदि संधारित्र की परावैद्युत के बिना धारिता C तब संधारित्र पर आवेश है

$Q_1 = CU$

परावैद्युत होने पर संधारित्र की धारिता εC होती है। इसलिए संधारित्र पर आवेश है

$$Q_2 = \varepsilon CU = \alpha CU^2$$

जो संधारित्र आवेशित था उस पर आरम्भिक आवेश है

$Q_0 = CU_0$

आवेशों के संरक्षण से

$Q_0 = Q_1 + Q_2$

अथवा $CU_0 = CU + \varepsilon CU^2$

© NCERT not to be republished

$$\Rightarrow \alpha U^2 + U - u_0 = 0$$

$$\therefore U = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 4\alpha U_0}}{2\alpha}$$

$$= \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 624}}{4} \text{ वोल्ट}$$

$$= \frac{-1 \pm \sqrt{625}}{4}$$

चूंकि U धनात्मक है

$$U = \frac{\sqrt{625} - 1}{4} = \frac{24}{4} = 6\text{V}$$

2.27 जब चक्रिका तली को स्पर्श कर रही है तब समस्त पट्टिका समविभव पट्टिका है। कोई आवेश q' चक्रिका को स्थानान्तरित हो जाता है।

चक्रिका पर विद्युत क्षेत्र

$$= \frac{V}{d}$$

$$\therefore q' = -\varepsilon_0 \frac{V}{d} \pi r^2$$

चक्रिका पर कार्यरत बल है

$$-\frac{V}{d} \times q' = \varepsilon_0 \frac{V^2}{d^2} \pi r^2$$

यदि चक्रिका को ऊपर उठाना है, तब

$$\varepsilon_0 \frac{V^2}{d^2} \pi r^2 = mg$$

$$\Rightarrow V = \sqrt{\frac{mgd^2}{\pi \varepsilon_0 r^2}}$$

2.28 $$\text{U} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q_d q_d}{r} - \frac{q_u q_d}{r} - \frac{q_u q_d}{r}\right\}$$

$$= 8\frac{9\times10^9}{10^{-15}}\left(1.6\times10^{-19}\right)^2\left\{(1/3)^2 - (2/3)(1/3) - (2/3)(1/3)\right\}$$

$$= 2.304 \times 10^{-13}\left\{\frac{1}{9} - \frac{4}{9}\right\} = -7.68\times10^{-14}\text{J}$$

$$= 4.8 \times 10^5 \text{ eV} = 0.48 \text{ MeV} = 5.11 \times 10^{-4} (m_n c^2)$$

2.29 सम्पर्क से पूर्व :

$$Q_1 = \sigma . 4\pi R^2$$

© NCERT not to be republished

$Q_2 = \sigma.4\pi(2R^2) = 4\left(\sigma.4\pi R^2\right) = 4Q$

सम्पर्क के पश्चात्

$Q_1' + Q_2' = Q_1 + Q_2 = 5Q_1,$

$= 5(\sigma.4\pi R^2)$

समान विभव पर होंगे

$\frac{Q_1'}{R} = \frac{Q_2'}{2R}$

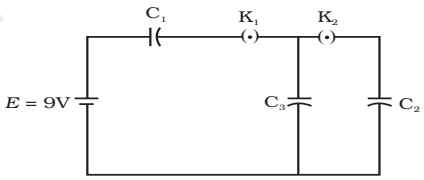
$\therefore Q_2' = 2Q'.$

$\therefore 3Q_1' = 5\left(\sigma.4\pi R^2\right)$

$\therefore Q_1' = \frac{5}{3}\left(\sigma.4\pi R^2\right)$ और $Q_2' = \frac{10}{3}\left(\sigma.4\pi R^2\right)$

$\therefore \sigma_1 = 5/3\,\sigma$ और $\therefore \sigma_2 = \frac{5}{6}\sigma$

2.30 आरम्भ में : और $V \propto \frac{1}{C}, V_1 + V_2 = E$



$\Rightarrow V_1 = 3V$ और $V_2 = 6V$

$\therefore Q_1 = C_1 V_1 = 6C \times 3 = 18\,\mu C$

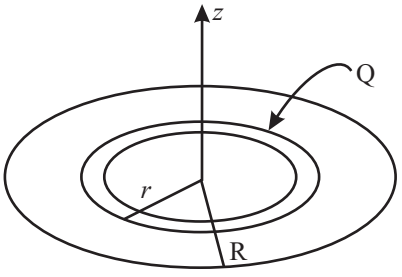
$Q_2 = 9\,\mu C$ और $Q_3 = 0$

बाद में: $Q_2 = Q_2' + Q_3$

साथ ही: $C_2 V + C_3 V = Q_2 \quad \Rightarrow V = \frac{Q_2}{C_2 + C_3} = (3/2)V$

$Q_2' = 9/2\,\mu C$ और $Q_3' = 9/2\,\mu C$

2.31 $\sigma = \frac{Q}{\pi R^2}$



© NCERT not to be republished

$$dU = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{\sigma.2\pi r\,dr}{\sqrt{r^2+z^2}}$$

$$\therefore U = \frac{\pi\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^R \frac{2rdr}{\sqrt{r^2+z^2}}$$

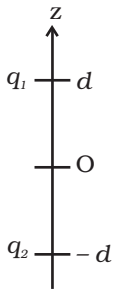
$$= \frac{2\pi\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\left[\sqrt{r^2+z^2}\right]_0^R = \frac{2\pi\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\left[\sqrt{R^2+z^2}-z\right]$$

$$= \frac{2Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}\left[\sqrt{R^2+z^2}-z\right]$$

2.32

$$\frac{q_1}{\sqrt{x^2+y^2+(z-d)^2}} + \frac{q_2}{\sqrt{x^2+y^2+(z+d)^2}} = 0$$

$$\therefore \frac{q_1}{\sqrt{x^2+y^2+(z-d)^2}} = \frac{-q_2}{\sqrt{x^2+y^2+(z+d)^2}}$$

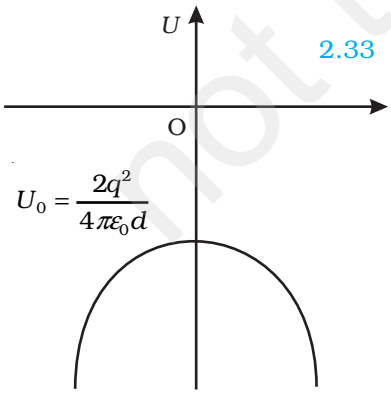


इस प्रकार, कुल विभव शून्य होने के लिए q_1 तथा q_2 के चिह्न विपरीत होने चाहिए। वर्ग और सरल करने पर हमें प्राप्त होता है

$$x^2+y^2+z^2+\left[\frac{(q_1/q_2)^2+1}{(q_1/q_2)^2-1}\right](2zd)+d^2=0$$

यह उस गोले का समीकरण है जिसका केन्द्र $\left(0,0,-2d\left[\frac{q_1^2+q_1^2}{q_1^2-q_1^2}\right]\right)$ पर है।

ध्यान दीजिए यदि $q_1 = -q_2 \Rightarrow$ तब $z = 0$, मध्य बिन्दु से गुजरने वाला तल है।



2.33

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{-q^2}{(d-x)}+\frac{-q^2}{d-x}\right\}$$

$$U = \frac{-q^2}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{2d}{(d^2-x^2)}$$

$$\frac{dU}{dx} = \frac{-q^2.2d}{4\pi\,\epsilon_0}\cdot\frac{2x}{(d^2-x^2)^2}$$

© NCERT not to be republished

$x = 0$ पर $\dfrac{dU}{dx} = 0$

$x = 0$ कोई संतुलन बिन्दु है।

$$\frac{d^2U}{dx^2} = \left(\frac{-2dq^2}{4\pi\epsilon_0}\right)\left[\frac{2}{\left(d^2 - x^2\right)^2} - \frac{8x^2}{(d^2 - x^2)^3}\right]$$

$$= \left(\frac{-2dq^2}{4\pi\epsilon_0}\right)\frac{1}{(d^2 - x^2)^3}\left[2\left(d^2 - x^2\right)^2 - 8x^2\right]$$

$x = 0$ पर

$$\frac{d^2U}{dx^2} = \left(\frac{-2dq^2}{4\pi\epsilon_0}\right)\left(\frac{1}{d^6}\right)(2d^2), \text{ जो } < 0.$$

अत: यह अस्थायी संतुलन है।

अध्याय 3

3.1 (b)

3.2 (a)

3.3 (c)

3.4 (b)

3.5 (a)

3.6 (a)

3.7 (b), (d)

3.8 (a), (d)

3.9 (a), (b)

3.10 (b), (c)

3.11 (a), (c)

3.12 जब कोई इलेक्ट्रॉन किसी संधि की ओर गमन करता है तो एकसमान **E** के अतिरिक्त वह समान्यत: संधि के तारों के पृष्ठ पर संचित आवेशों (जो अपवाह वेग $\boldsymbol{v}_d$ को नियत रखते हैं।) का सामना भी करता है। ये विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करते हैं। ये क्षेत्र संवेग की दिशा परिवर्तित कर देते हैं।

3.13 विश्रान्ति काल इलेक्ट्रॉनों एवं आयनों के वेगों पर निर्भर होने के लिए बाध्य हैं। अनुप्रस्थ विद्युत बल इलेक्ट्रॉन के वेग को 1mm/s कोटि की चालों द्वारा प्रभावित करते है, जो कोई सार्थक प्रभाव

© NCERT not to be republished

नहीं है। इसके विपरीत, T में परिवर्तित वेगों में 10^2 m/s कोटि के प्रभाव उत्पन्न करता है। यह τ में सार्थक प्रभाव ला सकता है। [$\rho = \rho(E,T)$ है जिसमें E पर निर्भरता उपेक्षणीय है, सामान्य अनुप्रयुक्त वोल्टताओं के लिए]।

3.14 व्हीटस्टोन सेतु में शून्य विक्षेप विधि का यह लाभ है कि गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध संतुलन बिन्दु को प्रभावित नहीं करता तथा प्रतिरोधों एवं गैल्वेनोमीटर में प्रवाहित धारा तथा गैल्वेनोमीटर के आन्तरिक प्रतिरोध को ज्ञात करने की कोई आवश्यकता नहीं होती और किरखोफ नियम का परिपथ पर अनुप्रयोग करके अज्ञात प्रतिरोध, $R_{\text{अज्ञात}}$, परिकलित किया जा सकता है। अन्य विधियों में हमे प्रतिरोधों तथा गैल्वेनोमीटर में प्रवाहित सभी धाराओं तथा गैल्वेनोमीटर के आन्तरिक प्रतिरोध की परिशुद्ध मापों की आवश्यकता होगी।

3.15 धातु की मोटी पट्टियों का निम्न प्रतिरोध होता है जिसे शुन्य-विक्षेप बिन्दु पर विभवमापी तार की लम्बाई में सम्मिलित करने की आवश्यकता नहीं होती। हमें केवल सीधे खण्डों (प्रत्येक 1 लम्बा) के अनुदिश तारों की लम्बाई मापनी होती है जिसे मीटर स्केल द्वारा आसानी से मापा जा सकता है। और यह माप परिशुद्ध होती है।

3.16 दो बातो पर विचार करने की आवश्यकता होती है: (i) धातु का मूल्य, तथा (ii) धातु की अच्छी चालकता। अधिक मूल्य होने के कारण हम चाँदी का उपयोग नहीं करते। इसके पश्चात अच्छे चालकों में ताँबा व ऐलुमिनियम उपयोग होते हैं।

3.17 मिश्रातुओं के प्रतिरोध का ताप गुणांक निम्न (निम्न ताप सुग्राह्यता) तथा प्रतिरोधकता उच्च होती है।

3.18 शक्ति क्षय $P_C = I^2R_C$

यहां, R_C संयोजक तारों का प्रतिरोध है

$$P_C = \frac{P^2}{V^2}R_C$$

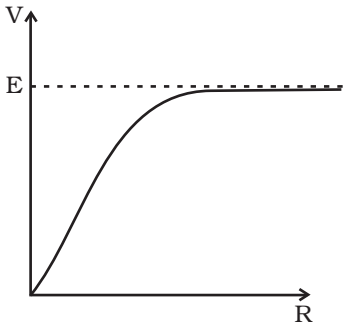
शक्ति क्षय P_C कम करने के लिए शक्ति संचरण उच्च वोल्टता पर किया जाना चाहिए।

3.19 यदि R में वृद्धि कर दें, तो तार से प्रवाहित धारा कम हो जाएगी और इस प्रकार विभव प्रवणता भी कम हो जाएगी, जिसके कारण संतुलन लम्बाई अधिक हो जाएगी। अत: शून्य विक्षेप बिन्दु J बिन्दु B की ओर स्थानान्तरित हो जाएगा।

3.20 (a) E_1 का धनात्मक टर्मिनल X से संयोजित है तथा $E_1 > E$

(b) E_1 का ऋणात्मक टर्मिनल X से संयोजित है।

3.21



3.22 $I = \frac{E}{R+nR}; \frac{E}{R+\frac{R}{n}} = 10I$

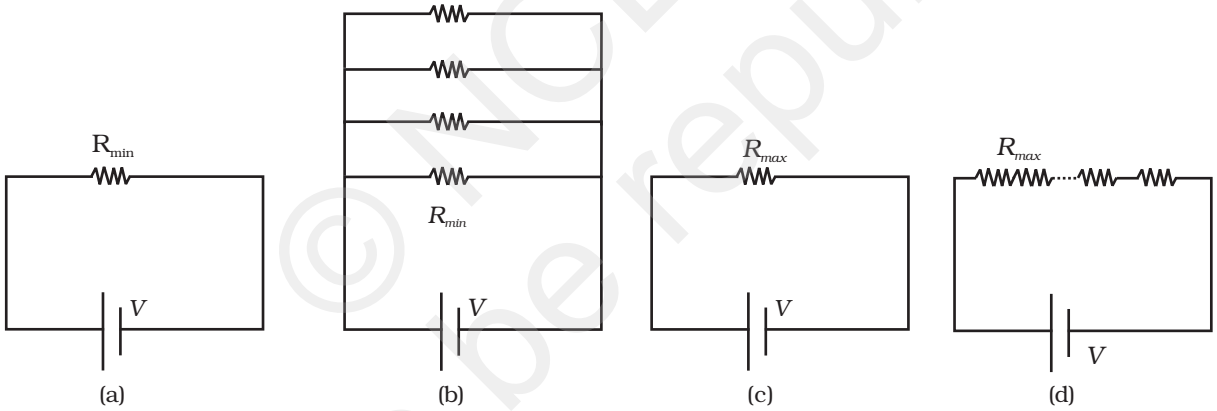
$$\frac{1+n}{1+\frac{1}{n}} = 10 = \frac{1+n}{n+1}n = n$$

$n = 10.$

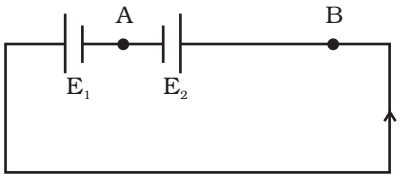
3.23 $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + ... + \frac{1}{R_n}$, $\frac{R_{\text{न्यूनम}}}{R_P} = \frac{R_{\text{न्यूनम}}}{R_1} + \frac{R_{\text{न्यूनम}}}{R_2} + ... + \frac{R_{\text{न्यूनम}}}{R_n} > 1$

और $R_S = R_1 + ... + R_n \geq R_{\text{अधिकतम}}$.

चित्र (b) में R_{min} चित्र (a) में धारा को प्रदान किए जैसा ही तुल्य मार्ग प्रदान करता है। परन्तु इसके साथ-साथ शेष (n – 1) प्रतिरोधकों के द्वारा (n – 1) मार्ग प्रदान किए गए हैं। चित्र (b) में विद्युत धारा > चित्र (a) में विद्युत धारा। चित्र (b) में प्रभावी प्रतिरोध < R_{min}। स्पष्ट रूप से दूसरा परिपथ अधिक प्रतिरोध वहन करने योग्य है। आप चित्र (c) तथा चित्र (d) का उपयोग करके $R_s > R_{max}$ सिद्ध कर सकते हैं।



3.24 $I = \frac{6-4}{2+8} = 0.2\text{A}$



E_1 के सिरों पर विभवान्तर = 6 – 0.2 × 2 = 5.6 V

E_2 के सिरों पर विभवान्तर = V_{AB} = 4 + .2 × 8 = 5.6 V

बिन्दु B बिन्दु A से उच्च विभव पर है।

3.25 $I = \frac{E+E}{R+r_1+r}$

$$V_1 = E - Ir_1 = E - \frac{2E}{r_1+r_2+R}r_1 = 0$$

© NCERT not to be republished

अथवा $E = \dfrac{2Er_1}{r_1 + r_2 + R}$

$$1 = \frac{2r_1}{r_1 + r_2 + R}$$

$r_1 + r_2 + R = 2r_1$

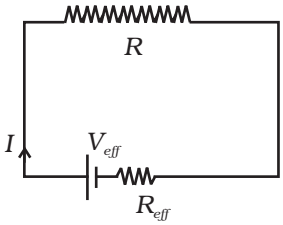
$R = r_1 - r_2$

3.26 $R_A = \dfrac{\rho l}{\pi(10^{-3} \times 0.5)^2}$

$$R_B = \frac{\rho l}{\pi[(10^{-3})^2 - (0.5 \times 10^{-3})^2]}$$

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{(10^{-3})^2 - (0.5 \times 10^{-3})^2}{(.5 \times 10^{-3})^2} = 3 : 1$$

3.27 चित्र में दर्शाए अनुसार हम किसी भी शाखा R के समस्त नेटवर्क को एक सरल परिपथ में परिणत करने की सोच सकते हैं।



तब R से प्रवाहित धारा $I = \dfrac{V_{\text{प्रभावी}}}{R_{\text{प्रभावी}} + R}$

विभीय रूप में $V_{\text{प्रभावी}} = V_{\text{प्रभावी}}$ (V_1, V_2, ... V_n) की विमा वोल्टता की है तथा $R_{\text{प्रभावी}} = R_{\text{प्रभावी}}$ (R_1, R_2, ... R_n) की विमा प्रतिरोध की है।

अत: यदि सब में n-गुनी वृद्धि हो जाती है, तब

$V^{\text{नया}}_{\text{प्रभावी}} = nV_{\text{प्रभावी}}, R^{\text{नया}}_{\text{प्रभावी}} = nR_{\text{प्रभावी}}$

और $R^{\text{प्रभावी}} = nR$

इस प्रकार धारा समान रहती है।

3.28 किरखोफ के संधि नियम का अनुप्रयोग करने पर

$I_1 = I + I_2$

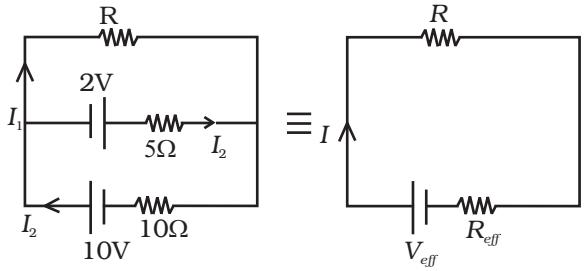
किरखोफ के पाश नियम से प्राप्त होता है

$10 = IR + 10I_1$....(i)

$2 = 5I_2 - RI = 5(I_1 - I) - R_I$

$4 = 10I_1 - 10I - 2RI$..... (ii)

(i) – (ii) $\Rightarrow$ $6 = 3RI + 10I$ अथवा $2 = I\left(R + \dfrac{10}{3}\right)$



© NCERT not to be republished

$2 = (R + R_{\text{प्रभावी}})I$ की $V_{\text{प्रभावी}} = (R + R_{\text{प्रभावी}})I$

और $V_{\text{प्रभावी}} = 2\text{V}$

$$R_{\text{प्रभावी}} = \frac{10}{3}\Omega$$

3.29 उपयुक्त शक्ति = 2मात्रक/घंटा = 2kW = 2000J/s

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2000}{220}\ ;\ 9\,\text{A}$$

तार में शक्ति क्षय = RI^2 J/s

$$= \rho\frac{l}{A}I^2 = 1.7\times10^{-8}\times\frac{10}{\pi\times10^{-6}}\times81\ \text{J/s}$$

$\square$ 4 J/s

= 0.2%

Al तार में शक्ति क्षय = $4\frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} = 1.6\times4 = 6.4\text{J/s} = 0.32\%$

3.30 मान लीजिए विभवमापी के तार का प्रतिरोध R' है, तब

$$\frac{10\times R'}{50+R'} < 8 \Rightarrow\ 10R' < 400 + 8R'$$

$2R' < 400$ अथवा $R' < 200\Omega$

$$\frac{10\times R'}{10+R'} > 8 \Rightarrow 2R' > 80 \Rightarrow R' > 40$$

$$\frac{10\times\frac{3}{4}R'}{10+R'} < 8 \Rightarrow 7.5R' < 80 + 8R'$$

$R' > 160 \Rightarrow\ 160 < R' < 200$

इसकी 400 cm पर विभवपात > 8V

इसकी 300 cm पर विभवपात < 8V

$\phi \times 400 > 8\text{V}$ ($\phi \rightarrow$ विभवान्तर)

$\phi \times 300 < 8\text{V}$

$\phi > 2\text{V/m}$

$< 2\frac{2}{3}$ V/m

3.31 (a) $I = \frac{6}{6} = 1\text{ A} = nev_d A$

$$v_d = \frac{1}{10^{29}\times1.6\times10^{-19}\times10^{-6}} = \frac{1}{1.6}\times10^{-4}\ \text{m/s}$$

गतिज ऊर्जा = $\frac{1}{2}m_e v_d^2 \times nAl$

$$= \frac{1}{2}\times9.1\times10^{-31}\times\frac{1}{2.56}\times10^{-8}\times10^{29}\times10^{-6}\times10^{-1}\ ;\ 2\times10^{-17}\text{J}$$

© NCERT not to be republished

(b) ओमी क्षय = $RI^2 = 6 \times 1^2 = 6\ \text{J/s}$

$\frac{2\times10^{-17}}{6}\text{s} \approx 10^{-17}\text{s}$ में इलेक्ट्रॉन की समस्त गतिज ऊर्जा नष्ट हो जाएगी।

अध्याय 4

4.1 (d)

4.2 (a)

4.3 (a)

4.4 (d)

4.5 (a)

4.6 (d)

4.7 (a), (b)

4.8 (b), (d)

4.9 (b), (c)

4.10 (b), (c), (d)

4.11 (a), (b), (d)

4.12 चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत गमन करने वाले आवेशित कण के लिए: $\frac{mv^2}{R} = qvB$

$$\therefore \frac{qB}{m} = \frac{v}{R} = \omega$$

$$\therefore [\omega] = \left[\frac{qB}{m}\right] = \left[\frac{v}{R}\right] = [T]^{-1}$$

4.13 $dW = \mathbf{F}.d\mathbf{l} = 0$

$\Rightarrow \mathbf{F}.\mathbf{v}dt = 0$

$\Rightarrow \mathbf{F}.\mathbf{v} = 0$

$\mathbf{F}$, वेग निर्भर होना चाहिए जिसका अर्थ यह है कि $\mathbf{F}$ तथा $\mathbf{v}$ के बीच कोण 90° का है। यदि $\mathbf{v}$ परिवर्तित होता है (दिशा में) तो $\mathbf{F}$ भी (दिशा में) इस प्रकार परिवर्तित होगा जिससे उपरोक्त शर्त पूरी हो जाए।

4.14 चुम्बकीय बल निर्देश फ्रेम पर निर्भर है तथापि इससे उत्पन्न नेट त्वरण जड़त्वीय निर्देश फ्रेमों के लिए निर्देश फ्रेम पर निर्भर नहीं करता (अनापेक्षिकीय भौतिकी)।

© NCERT not to be republished

4.15 कण एकान्तरत: त्वरित एवं मंदित होगा। अत: दोनों डी में पथ की त्रिज्या अपरिवर्तित रहेगी।

4.16 O_2 पर I_1 के कारण चुम्बकीय क्षेत्र y-अक्ष के अनुदिश है। दूसरा तार y-अक्ष के अनुदिश है, अत: बल शून्य है।

4.17 $\mathbf{B} = \frac{1}{4}(\hat{\mathbf{i}}+\hat{\mathbf{j}}+\hat{\mathbf{k}})\frac{\mu_0 I}{2R}$

4.18 कोई विमाहीन राशि नहीं। $[T]^{-1} = [\omega] = \left[\frac{eB}{m}\right]$

4.19 $\mathbf{E} = E_0\hat{\mathbf{i}}, E_0 > 0, \mathbf{B} = B_0\hat{\mathbf{k}}$

4.20 $d\mathbf{l_1}$ पर $d\mathbf{l_2}$ के कारण बल शून्य है।

$d\mathbf{l_2}$ पर $d\mathbf{l_1}$ के कारण बल शून्येतर है।

4.21 $i_G (G + R_1) = 2$ (0 – 2V) परिसर के लिए

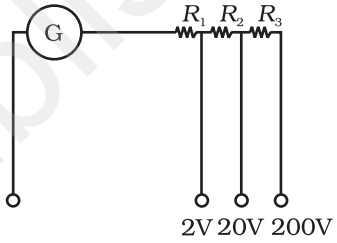
$i_G (G + R_1 + R_2) = 20$, (0 – 2V) परिसर के लिए

तथा $i_G (G + R_1 + R_2 + R_3) = 200$, 200V परिसर के लिए

प्राप्त होता है $R_1 = 1990\Omega$

$R_2 = 18\ k\Omega$

तथा $R_3 = 180\ k\Omega$



4.22 $F = BIl \sin\theta = BIl$

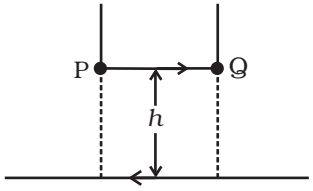
$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi h}$

$F = mg = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi h}$

$h = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi mg} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times250\times25\times1}{2\pi\times2.5\times10^{-3}\times9.8}$

$= 51 \times 10^{-4}$ m

$h = 0.51$ cm



4.23 जब चुम्बकीय क्षेत्र कार्यरत नहीं है, तब $\sum\tau = 0$

$Mgl = W_{\text{कुण्डली}}\ l$

$500\ g\ l = W_{\text{कुण्डली}}\ l$

$W_{\text{कुण्डली}} = 500 \times 9.8$ N

जब चुम्बकीय क्षेत्र लगा दिया जाता है, तब

$Mgl + mgl = W_{\text{कुण्डली}}\ l + IBL \sin 90°l$

$mgl = BILl$

$m = \frac{BIL}{g} = \frac{0.2\times4.9\times1\times10^{-2}}{9.8} = 10^{-3}$ kg

$= 1$ g

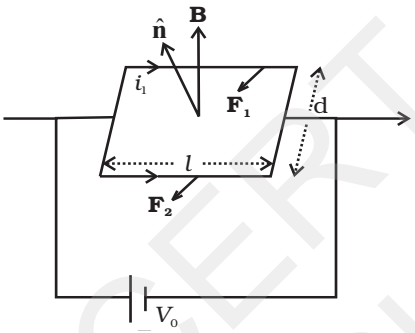
© NCERT not to be republished

4.24 $F_1 = i_1 lB = \frac{V_0}{R} lB$, $\tau_1 = \frac{d}{2\sqrt{2}} F_1 = \frac{V_0 ldB}{2\sqrt{2}R}$

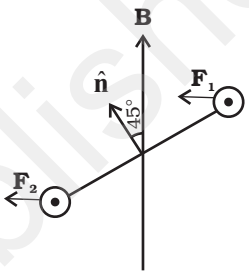
$F_2 = i_2 lB = \frac{V_0}{2R} lB$ $\tau_2 = \frac{d}{2\sqrt{2}} F_2 = \frac{V_0 ldB}{4\sqrt{2}R}$

नेट बल आघूर्ण $\tau = \tau_1 - \tau_2$

$\tau = \frac{1}{4\sqrt{2}} \frac{V_0 AB}{R}$

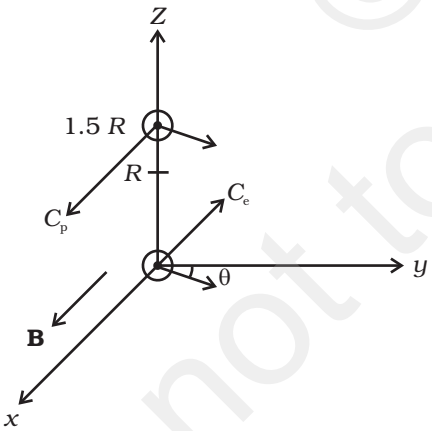


अग्र दृष्टि



पश्च दृष्टि

4.25 चूंकि **B** x-अक्ष के अनुदिश है, वृत्तीय कक्षा के लिए दो कणों के संवेग y - z तल में हैं। मान लीजिए इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन के संवेग क्रमशः $\mathbf{p}_1$ तथा $\mathbf{p}_2$ हैं। ये दोनो R त्रिज्या के वृत्त को निरूपित करते हैं। ये दोनो विपरीत दिशा के वृत्तों का निरूपण करते हैं। मान लीजिए $\mathbf{p}_1$ y अक्ष से θ कोण बनाता तो $\mathbf{p}_2$ को भी इतना ही कोण बनाना चाहिए। इनके अपने निजी केन्द्रों को संवेगों के लम्बवत तथा R दूरी पर होना चाहिए। मान लीजिए इलेक्ट्रॉन का केन्द्र Ce तल पॉजीट्रॉन का केन्द्र Cp पर है।



Ce के निर्देशांक हैं

$Ce \equiv (0, -R\sin\theta, R\cos\theta)$

Cp के निर्देशांक हैं

$Cp \equiv (0, -R\sin\theta, \frac{3}{2}R - R\cos\theta)$

यदि दोनों के केन्द्रों के बीच की दूरी $2R$ से अधिक है, तो इन दोनों के वृत्त परस्पर व्यापन नहीं करेंगे।

मान लीजिए Cp तथा Ce के बीच की दूरी d है, तब

$d^2 = (2R\sin\theta)^2 + \left(\frac{3}{2}R - 2R\cos\theta\right)^2$

$= 4R^2\sin^2\theta + \frac{9}{4}^2 R - 6R^2\cos\theta + 4R^2\cos^2\theta$

© NCERT not to be republished

$$= 4R^2 + \frac{9}{4}R^2 - 6R^2\cos\theta$$

चूँकि d को $2R$ से अधिक होना चाहिए

$d^2 > 4R^2$

$$\Rightarrow 4R^2 + \frac{9}{4}R^2 - 6R^2\cos\theta > 4R^2$$

$$\Rightarrow \frac{9}{4} > 6\cos\theta$$

अथवा $\cos\theta < \frac{3}{8}$

4.26 क्षेत्रफल $A = \frac{\sqrt{3}}{4}a^2$, $A = a^2$, $A = \frac{3\sqrt{3}}{4}a^2$



विद्युत धारा I सबके लिए समान है

चुम्बकीय आघूर्ण $m = n\,I\,A$

$\therefore m = Ia^2\sqrt{3}$ $3a^2I$ $3\sqrt{3}a^2I$

(ध्यान दीजिए: m गुणोत्तर श्रेणी में है।)

4.27 (a) B (z) z - अक्ष पर समान दिशा में संकेत करता है, इसीलिए J (L), L का एक रूपी वृद्धि फलन है।

(b) J(L) + परिरेखा C पर बड़ी दूरियों से योगदान $= \mu_0 I$

$\therefore$ जैसे-जैसे $L \to \infty$

बड़ी दूरियों से योगदान $\to 0$ क्योंकि $(B \sim 1/r^3)$

$J(\infty) - \mu_0 I$

(c) $B_z = \frac{\mu_0 IR^2}{2(z^2 + R^2)^{3/2}}$

$$\int_{-\infty}^{\infty} B_z dz = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\mu_0 IR^2}{2(z^2 + R^2)^{3/2}} dz$$

यदि $z = R\tan\theta$ $dz = R\sec^2\theta\, d\,\theta$

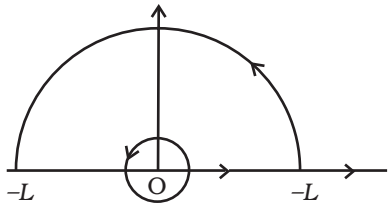
$$\therefore \int_{-\infty}^{\infty} B_z dz = \frac{\mu_0 I}{2}\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos\theta d\theta = \mu_0 I$$

(d) $B(z)_{\text{वर्ग}} < B\ (z)_{\text{वृत्तीय कुण्डली}}$

$\therefore \mathfrak{I}(L)_{\text{वर्ग}} < \mathfrak{I}(L)_{\text{वृत्तीय कुण्डली}}$

परन्तु (b) में दिए गए तर्कों का उपयोग करने पर

$\mathfrak{I}(\infty)_{\text{वर्ग}} = \mathfrak{I}(\infty)_{\text{वृत्तीय कुण्डली}}$



4.28 $i_G . G = (i_1 - i_G)(S_1 + S_2 + S_3)$ जब $i_1 = 10\text{mA}$

$i_G (G + S_1) = (i_2 - i_G)(S_2 + S_3)$ जब $i_2 = 100\text{mA}$

तथा $i_G (G + S_1 + S_2) = (i_3 - i_G)(S_3)$ जब $i_3 = 1\text{A}$

से प्राप्त होता है $S_1 = 1\Omega$, $S_2 = 0.1\Omega$ तथा $S_3 = 0.01\Omega$

© NCERT not to be republished

4.29 (a) शून्य

(b) $\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{R}$ AO के लम्बवत् बाईं दिशा में

(c) $\frac{\mu_0}{\pi}\frac{i}{R}$ AO के लम्बवत् बाईं दिशा में

अध्याय 5

5.1 (c)

5.2 (a)

5.3 (c)

5.4 (b)

5.5 (b)

5.6 (a), (d)

5.7 (a), (d)

5.8 (a), (d)

5.9 (a), (c), (d)

5.10 (b), (c), (d)

5.11 $\mu_p \approx \frac{e\hbar}{2m_p}$ और $\mu_e \approx \frac{e\hbar}{2m_e}, \hbar = \frac{h}{2\pi}$

$\mu_e >> \mu_p$ क्योंकि $m_p >> m_e$

5.12 $Bl = \mu_0 M l = \mu_0 (I + I_M)$ और $H = 0 = I$

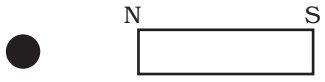
$Ml = I_M = 10^6 \times 0.1 = 10^5 A$

5.13 $\chi \alpha$ घनत्व ρ। अब $\frac{\rho_N}{\rho_{Cu}} = \frac{28g/22.4Lt}{8g/cc} = \frac{3.5}{22.4}\times 10^{-3} = 1.6 \times 10^{-4}$

$\frac{\chi_N}{\chi_{Cu}} = 5\times 10^{-4}$

अत: यहाँ प्रमुख अन्तर घनत्व के कारण है।

5.14 प्रति चुम्बकत्व इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय गति के कारण होता है जो अनुप्रयुक्त क्षेत्र के विपरीत चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न करता है। इसलिए यह ताप से अधिक प्रभावित नहीं होता।

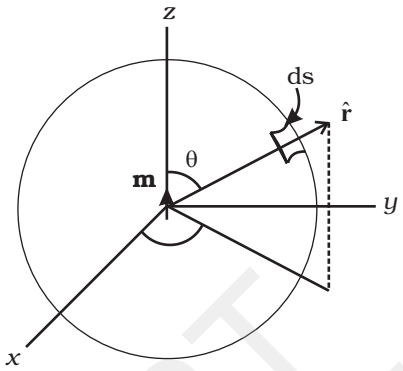


© NCERT not to be republished

अनुचुम्बकत्व और लोह चुम्बकत्व परमाण्वीय चुम्बकीय आघूर्णों के अनुप्रयुक्त क्षेत्र की दिशा में संरेखण के कारण होता है। ताप वृद्धि होने पर यह संरेखण विक्षोभित हो जाता है जिसके फलस्वरूप दोनों की चुम्बकशीलता ताप वृद्धि के साथ घट जाती है।

5.15 (i) चुम्बक से दूर

(ii) चुम्बकीय आघूर्ण बाएं से दाएं



5.16 $\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{3\mathbf{m}.\hat{\mathbf{r}}}{r^3}, m = m\hat{\mathbf{k}}$

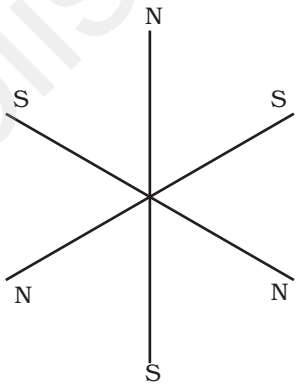
$d\mathbf{s} = \hat{\mathbf{r}}.\mathbf{r}^2 \sin\theta d\theta d\phi$

$0 \le \theta \le \pi, 0 \le \phi \le$

$\oint \mathbf{B}.ds = \frac{\mu_0 m}{4\pi}\int \frac{3\cos\theta}{r^3} r^2 \sin\theta d\theta$

$= 0$ (θ समाकलन के कारण)

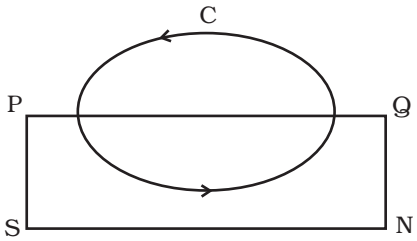
5.17 नेट $m = 0$. मात्र संभवत: चित्र (b) में दर्शायी गई है।



5.18 $E(r) = c\,B(r)$, $p = \frac{m}{c}$. द्विध्रुवों के द्रव्यमान और जड़त्व आघूर्ण समान हैं।

5.19 $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mB}}$ $I' = \frac{1}{2}\times\frac{1}{4}I$ तथा $m' = \frac{m}{2}$. $T' = \frac{1}{2}T$

5.20 छड़ से गुजरने वाली **B** की किसी रेखा पर विचार कीजिए। यह बन्द होनी चाहिए। मान लीजिए C ऐम्पियरी-पाश है।



$\int_Q^P \mathbf{H}.d\mathbf{l} = \int_Q^P \frac{\mathbf{B}}{\mu_0}.d\mathbf{l} > 0$

$\oint_{PQP} \mathbf{H}.d\mathbf{l} = 0$

$\int_P^Q \mathbf{H}.d\mathbf{l} < 0$

$P \to Q$ छड़ के भीतर है।

अत: **H** और $d\mathbf{l}$ के बीच का कोण अधिक कोण है।

5.21 (i) z-अक्ष के अनुदिश

$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{m}}{r^3}$

$\int_a^R \mathbf{B}.d\mathbf{l} = \frac{\mu_0}{4\pi} 2m \int_a^R \frac{dz}{z^3} = \frac{\mu_0 m}{2\pi}\left(-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{a^2}\right)$

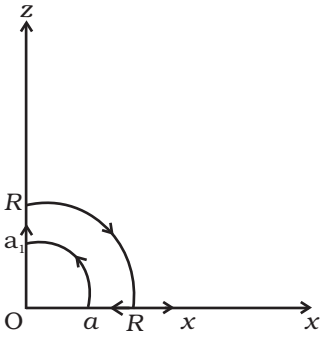
(ii) त्रिज्या R के चौथाई वृत्त के अनुदिश

© NCERT not to be republished

$$B_{\theta} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{-\mathbf{m}.\hat{\boldsymbol{\theta}}}{R^3} = \frac{-\mu_0}{4\pi}\frac{m}{R^3}(-\sin\theta)$$

$$\mathbf{B}.d\boldsymbol{l} = \frac{\mu_0 m}{4\pi R^2}\sin\theta\, d\theta$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \mathbf{B}.d\boldsymbol{l} = \frac{\mu_0 m}{4\pi R^2}$$



(iii) x-अक्ष के अनुदिश

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{-m}{x^3}\right)$$

$$\int \mathbf{B}.d\,\mathbf{l} = 0$$

(iv) त्रिज्या a के चौथाई वृत्त के अनुदिश

$$\mathbf{B}.d\,\mathbf{l} = \frac{-\mu_0 m}{4\pi a^2}\sin\theta d\theta \;,\; \int \mathbf{B}.d\,\mathbf{l} = -\frac{-\mu_0 m}{4\pi a^2}\int_0^{\frac{\pi}{2}}\sin\theta d\theta = \frac{-\mu_0 m}{4\pi a^2}$$

सभी को जोड़ने पर, $\oint_C \mathbf{B}.d\,\mathbf{l} = 0$

5.22 χ विमाहीन है।

χ उस चुम्बकीय आघूर्ण पर निर्भर करता है जो H परमाण्वीय इलेक्ट्रॉनों से इनके आवेशों e द्वारा संयोजित होता है। m पर इसका प्रभाव धारा I से होकर होता है जिसमें 'e' का दूसरा कारक सम्मिलित होता है। संयोजन "$\mu_0 e^2$" "आवेश" Q की विमा पर निर्भर नहीं करता।

$$\chi = \mu_0 e^2 m^{\alpha} v^{\beta} R^{\gamma}$$

$$\mu_0 c^2 = \frac{1}{c^2}\frac{e^2}{\varepsilon_0} \sim \frac{1}{c^2}\frac{e^2}{\varepsilon_0 R}.R \sim \frac{\text{ऊर्जा विस्तार}}{c^2}$$

$$[\chi] = \mathrm{M^0L^0T^0Q^0} = \frac{\mathrm{ML^3T^{-2}}}{L^2T^{-2}} M^{\alpha}\left(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{T}}\right)^{\beta} \mathrm{L^{\gamma}Q^0}$$

$$\alpha = -1, \beta = 0, \gamma = -1$$

$$\chi = \frac{\mu_0 e^2}{mR} \sim \frac{10^{-6}\times 10^{-38}}{10^{-30}\times 10^{-10}} \sim 10^{-4}$$

© NCERT not to be republished

5.23 (i) $|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{R^3}(4\cos^2\theta + \sin^2\theta)^{1/2}$

$\frac{|\mathbf{B}|^2}{\left(\frac{\mu_0}{4\pi R^3}\right)^2 m^2} = 3\cos^2\theta + 1$, $\theta = \frac{\pi}{2}$ पर न्यूनतम।

$|\mathbf{B}|$ चुम्बकीय निरक्ष पर न्यूनतम है।

(ii) tan (नति कोण) = $\frac{B_V}{B_H} = 2\cot\theta$

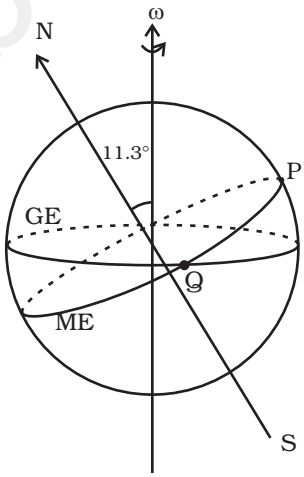
$\theta = \frac{\pi}{2}$ पर नति कोण शून्य हो जाता है। पुन: बिंदुपथ, चुम्बकीय निरक्ष है।

(iii) जब $\frac{B_V}{B_H} = 1$ तब नति कोण ± 45° है।

$2\cot\theta = 1$

$\theta = \tan^{-1}2$ बिन्दुपथ है।

5.24 संलग्न चित्र पर ध्यान दीजिए।



1. बिन्दु P तल S में है (सुई उत्तर की ओर संकेत करेगी)

दिक्पात कोण = 0;

P भी एक चुम्बकीय निरक्ष है।

∴ नति कोण = 0

2. Q चुम्बकीय निरक्ष पर है

∴ नति कोण = 0

परन्तु दिक्पात कोण = 11.3°

5.25 $n_1 = \frac{L}{2\pi R}$ $\qquad n_2 = \frac{L}{4a}$

$m_1 = n_1 IA$ $\qquad m_2 = n_2 IA_2$

$= \frac{L}{2\pi R} I\pi R$ $\qquad = \frac{L}{4a} Ia^2 = \frac{L}{4} Ia$

$I_1 = \frac{MR^2}{2}$ (व्यास से गुजरने वाले किसी अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण)

$I_2 = \frac{Ma^2}{12}$

© NCERT not to be republished

$$\omega_1^2 = \frac{m_1 B}{I_1} \qquad \omega_2^2 = \frac{m_2 B}{I_2}$$

$$\frac{m_1}{I_1} = \frac{m_2}{I_2}$$

$$\frac{LR}{2\pi} \times \frac{I}{\frac{MR^2}{2}} = \frac{\frac{L}{4} Ia}{\frac{Ma^2}{12}} \Rightarrow a = \frac{3\pi}{4} R$$

अध्याय 6

6.1 (c)

6.2 (b)

6.3 (a)

6.4 (d)

6.5 (a)

6.6 (b)

6.7 (a), (b), (d)

6.8 (a), (b), (c)

6.9 (a), (d)

6.10 (b), (c)

6.11 तार का कोई भी भाग गतिमय नहीं है अत: गतिक विद्युत वाहक बल शून्य है। चुम्बक स्थिर है अत: समय के साथ चुम्बकीय क्षेत्र परिवर्तित नहीं होता। इसका यह अर्थ है कि कोई विद्युत वाहक बल उत्पन्न नहीं होता अत: परिपथ में कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी।

6.12 धारा बढ़ जाएगी। जैसे ही तारों को एक दूसरे से दूर खींचा जाता है रिक्त स्थानों से फ्लक्स का क्षरण होता है। लेंज़ के नियम के अनुसार प्रेरित विद्युत वाहक बल इस कमी का विरोध करता है जिसे विद्युत धारा में वृद्धि द्वारा पूरा किया जाता है।

6.13 धारा घट जाएगी। परिनालिका में लोह क्रोड रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र में वृद्धि होती है और फ्लक्स बढ़ जाता है। लेंज़ के नियम के अनुसार प्रेरित विद्युत वाहक बल को इस वृद्धि का विरोध करना चाहिए जिसे धारा में कमी द्वारा प्राप्त किया जाता है।

6.14 आरम्भ में धातु के वलय से कोई फ्लक्स नहीं गुजर रहा था। धारा प्रवाहित होते ही वलय से फ्लक्स गुजरने लगता है। लेंज़ के नियम के अनुसार प्रेरित विद्युत वाहक बल इस वृद्धि का विरोध करेगा और यह तब हो सकता है जब वलय परिनालिका से दूर जाए। इसका विस्तृत विश्लेषण किया जा सकता है (चित्र 6.5)। यदि परिनालिका में धारा दर्शाए अनुसार है तो फ्लक्स (अधोमुखी) में वृद्धि होती है और इससे वामावर्त (वलय के शीर्ष से देखने पर) गति उत्पन्न होगी। जैसे ही धारा

© NCERT not to be republished

का प्रवाह परिनालिका में प्रवाहित धारा के विपरीत होता है, ये एक दूसरे को प्रतिकर्षित करेंगे तथा वलय ऊपर की ओर गति करेगा।

6.15 जब परिनालिका में प्रवाहित विद्युत धारा में कमी होती है, तो वलय में धारा की दिशा, परिनालिका के समान ही होती है। इस प्रकार यहाँ एक अधोमुखी बल लगेगा। इसका यह अर्थ है कि वलय कार्ड बोर्ड पर ही रहेगा। कार्ड बोर्ड की वलय पर उपरिमुखी प्रतिक्रिया बढ़ जाएगी।

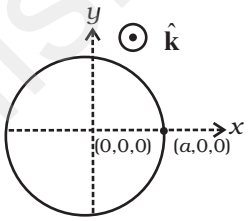
6.16 चुम्बक के लिए, धातु के पाइप में भंवर धाराएँ उत्पन्न होती हैं। ये धाराएँ चुम्बक की गति का विरोध करेंगी। इसीलिए, चुम्बक का अधोमुखी त्वरण, गुरुत्वीय त्वरण से कम होगा। इसके विपरीत, चुम्बकित लोहे की छड़ में भंवर धाराएँ उत्पन्न नहीं होंगी और वह गुरुत्वीय त्वरण से नीचे गिरेगा। अत: चुम्बक गिरने में अधिक समय लगेगा।

6.17 वलय से गुजरने वाला फ्लक्स

$$\phi = B_o(\pi a^2)\cos\omega t$$

$$\varepsilon = B(\pi a^2)\omega\sin\omega t$$

$$I = B(\pi a^2)\omega\sin\omega t / R$$



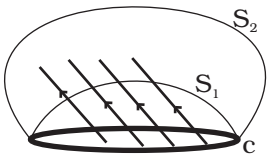
विभिन्न समयों पर धारा का परिमाण

$t = \frac{\pi}{2\omega}$; $I = \frac{B(\pi a^2)\omega}{R}$, $\hat{\mathbf{j}}$ के अनुदिश

$t = \frac{\pi}{\omega}$; $I = 0$

$t = \frac{3}{2}\frac{\pi}{\omega}$; $I = \frac{B(\pi a^2)\omega}{R}$, $-\hat{\mathbf{j}}$ के अनुदिश

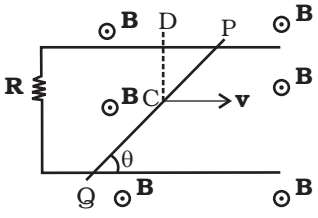
6.18 हमें फ्लक्स के लिए समान उत्तर प्राप्त होगा। फ्लक्स को किसी पृष्ठ (हम किसी क्षेत्रफल $\Delta A \perp$ से **B** तक $dN = B\,\Delta A$ रेखाएँ खीचते हैं) से गुजरने वाली चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की संख्या माना जा सकता है। जिस प्रकार **B** की रेखाएँ दिक्काल में न तो आरम्भ होती हैं और न ही अंत होती हैं (वे बन्द पाश बनाती हैं)। पृष्ठ S_1 से गुजरने वाली रेखाओं की संख्या पृष्ठ S_2 से गुजरने वाली रेखाओं की संख्या के समान होनी चाहिए।



6.19 बिन्दुकित रेखा CD के अनुदिश गतिक विद्युत क्षेत्र (**v** तथा **B** दोनों के लम्बवत् तथा $\mathbf{v}\times\mathbf{B}$ के अनुदिश) $= vB$

PQ के अनुदिश E.M.F. = (लम्बाई PQ)×(PQ के अनुदिश क्षेत्र)

$$= \frac{d}{\cos\theta} \times vB\cos\theta = dvB$$



अत:

$$I = \frac{dvB}{R}$$ और यह θ पर निर्भर नहीं है।

© NCERT not to be republished

6.20 धारा में अधिकतम परिवर्तन की दर AB में है। अत: अधिकतम विरोधी विद्युत विरोधी बल प्राप्त होने का समय $5\text{ s} < t < 10\text{ s}$ के बीच है।

यदि $u = -L\ 1/5 \left(t = 3\text{ s}, \text{पर } \frac{dI}{dt} = 1/5\right) = e$

$5\text{ s} < t < 10\text{ s}$ पर $u_1 = -L\frac{3}{5} = -\frac{3}{5}L = 3e$

इस प्रकार $t = 7\text{ s}$, पर $u_2 = -3\text{ e}$

$10\text{s} < t < 30\text{s}$ पर

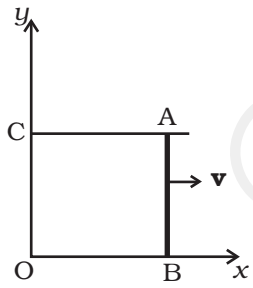
$$u_3 = L\frac{2}{20} = \frac{L}{10} = \frac{1}{2}e$$

$t > 30\text{s}$ पर $u_3 = 0$

6.21 अन्योन्य प्रेरकत्व $= \frac{10^{-2}}{2} = 5\text{mH}$

फ्लक्स $= 5\times10^{-3}\times1 = 5\times10^{-3}\text{ Wb}$

6.22 मान लीजिए, समान्तर तार $y = 0$ तथा $y = d$ हैं। समय $t = 0$ पर AB की स्थिति $x=0$ है और यह वेग $v\hat{\mathbf{i}}$ से गति करता है।



समय t पर, तार की स्थिति है $x(t) = vt$

गतिक e.m.f = $(B_o \sin\omega t)vd(-\hat{\mathbf{j}})$

OBAC के अनुदिश क्षेत्र में परिवर्तन के कारण e.m.f

$$= -B_o\omega\cos\omega t\, x(t)d$$

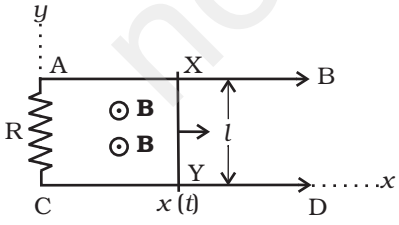
कुल e.m.f $= -B_o d[\omega x\cos(\omega t) + v\sin(\omega t)]$

OBAC के अनुदिश धारा (दक्षिणावर्ती) $= \frac{B_o d}{R}(\omega x\cos\omega t + v\sin\omega t)$

$\hat{\mathbf{i}}$ के अनुदिश आवश्यक बल $= \frac{B_o d}{R}(\omega x\cos\omega t + v\sin\omega t)\times d\times B_o\sin\omega t$

$$= \frac{B_o{}^2 d^2}{R}(\omega x\cos\omega t + v\sin\omega t)\sin\omega t$$

6.23 (i) मान लीजिए समय t पर तार की स्थिति $x = x(t)$ है।



फ्लक्स $= B(t)\ l\ x(t)$

$$E = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{dB(t)}{dt}l\,x(t) - B(t)l.v(t)$$

(दूसरा पद गतिक विद्युत वाहक बल से है)

$$I = \frac{1}{R}E$$

© NCERT not to be republished

बल $= \frac{lB(t)}{R}\left[-\frac{dB}{dt} l\, x(t) - B(t) l\, v(t)\right]\hat{\mathbf{i}}$

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{l^2B}{R}\frac{dB}{dt}x(t) - \frac{l^2B^2}{R}\frac{dx}{dt}$$

(ii) $\frac{dB}{dt} = 0, \qquad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{l^2B^2}{mR}\frac{dx}{dt} = 0$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{l^2B^2}{mR}v = 0$$

$$v = A\exp\left(\frac{-l^2B^2t}{mR}\right)$$

$t = 0$ पर, $v = u$

$v(t) = u \exp(-l^2B^2t/mR)$

(iii) $I^2R = \frac{B^2l^2v^2(t)}{R^2} \times R = \frac{B^2l^2}{R}u^2\exp(-2l^2B^2t/mR)$

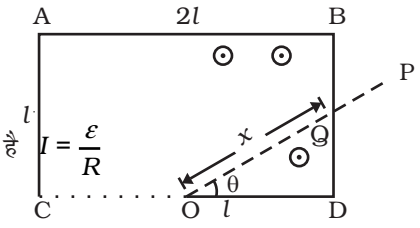
शक्ति क्षय $= \int_0^t I^2R\,dt = \frac{B^2l^2}{R}u^2\frac{mR}{2l^2B^2}\left[1 - e^{-(l^2B^2t/mR)}\right]$

$= \frac{m}{2}u^2 - \frac{m}{2}v^2(t)$

= गतिज ऊर्जा में कमी

6.24 समय $t = 0$ और $t = \frac{\pi}{4\omega}$ के बीच छड़ OP भुजा BD से सम्पर्क बनाएगी। मान लीजिए छड़ की सम्पर्क की लम्बाई OQ किसी समय $t\ \left(0 < t < \frac{\pi}{4\omega}\right)$ पर x है। क्षेत्रफल ODQ से गुजरने वाला फ्लक्स है $\phi = B\frac{1}{2}QD \times OD = B\frac{1}{2}l\tan\theta \times l$

$= \frac{1}{2}$ B l 'यहाँ $\theta = \omega t$



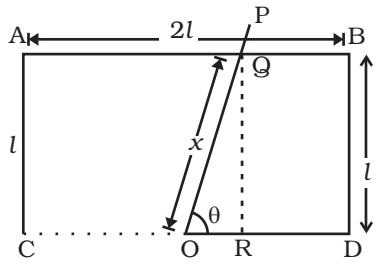
इस प्रकार उत्पन्न emf का परिमाण है $\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{2}Bl^2\omega\sec^2\omega t$ प्रवाहित धारा है $I = \frac{\varepsilon}{R}$

यहाँ R छड़ की सम्पर्क वाली लम्बाई का प्रतिरोध है

$$R = \lambda x = \frac{\lambda l}{\cos\omega t}$$

© NCERT not to be republished

$$\therefore \quad I = \frac{1}{2}\frac{\mathrm{B}l^2\omega}{\lambda l}\sec^2\omega t\cos\omega t = \frac{\mathrm{B}l\omega}{2\lambda\cos\omega t}$$

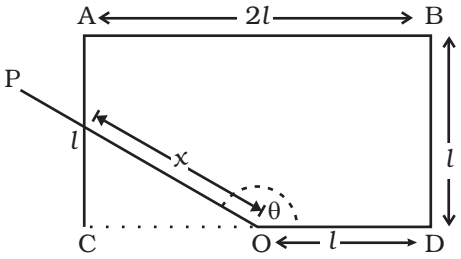


अन्तराल $\frac{\pi}{4\omega} < t < \frac{3\pi}{\omega}$ में छड़ भुजा AB के सम्पर्क में है। मान लीजिए छड़ के सम्पर्क वाले भाग की लम्बाई (OQ) x है। तब OQBD से गुजरने वाली फ्लक्स है–

$$\phi = \left(l^2 + \frac{1}{2}\frac{l^2}{\tan\theta}\right)B \quad \text{यहाँ } \theta = \omega t$$

इस प्रकार उत्पन्न emf का परिमाण है $\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{2}Bl^2\omega\frac{\sec^2\omega t}{\tan^2\omega t}$

प्रवाहित धारा है $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon}{\lambda x} = \frac{\varepsilon\sin\omega t}{\lambda l} = \frac{1}{2}\frac{Bl\omega}{\lambda\sin\omega t}$



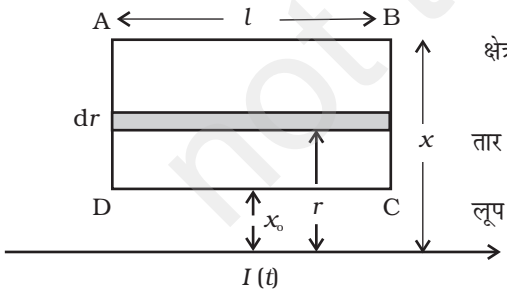
अन्तराल $\frac{3\pi}{\omega} < t < \frac{\pi}{\omega}$ पर छड़ भुजा OC को स्पर्श करेगी। तब OQABD से गुजरने वाला फ्लक्स है $\phi = \left(2l^2 - \frac{l^2}{2\tan\omega t}\right)B$

इस प्रकार emf का परिमाण है

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{Bl\omega l^2\sec^2\omega t}{2\tan^s\omega t}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon}{\lambda x} = \frac{1}{2}\frac{\mathrm{B}l\omega}{\lambda\sin\omega t}$$

6.25 तार से दूरी r पर



क्षेत्र $B(r) = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$ (कागज़ के बहिर्मुखी)

तार से दूरी r पर चौड़ाई dr की किसी पट्टिका पर विचार कीजिए

लूप से कुल फ्लक्स है:

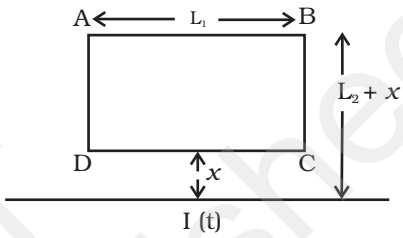
$$\text{फ्लक्स} = \frac{\mu_o I}{2\pi}l\int_{x_o}^{x}\frac{dr}{r} = \frac{\mu_o I}{2\pi}ln\frac{x}{x_o}$$

© NCERT not to be republished

$$\frac{1}{R}\frac{dI}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} = I = \frac{\mu_o l}{2\pi}\frac{\lambda}{R}\ln\frac{x}{x_0}$$

6.26 यदि पाश में प्रवाहित धारा $I(t)$ है, तब

$$I(t) = \frac{1}{R}\frac{d\phi}{dt}$$



यदि समय t में प्रवाहित आवेश Q है, तब

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} \text{ or } \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{R}\frac{d\phi}{dt}$$

समाकलन करने पर $Q(t_1) - Q(t_2) = \frac{1}{R}\left[\phi(t_1) - \phi(t_2)\right]$

$$\phi(t_1) = L_1 \frac{\mu_o}{2\pi}\int_x^{L_2+x}\frac{dx'}{x'} I(t_1)$$

$$= \frac{\mu_o L_1}{2\pi} I(t_1)\ln\frac{L_2 + x}{x}$$

आवेश का परिमाण

$$Q = \frac{\mu_o L_1}{2\pi}\ln\frac{L_2 + x}{x}[I_o - 0]$$

$$= \frac{\mu_o L_1 I_1}{2\pi}\ln\left(\frac{L_2 + x}{x}\right)$$

6.27 $2\pi bE = E.M.F = \frac{B.\pi a^2}{\Delta t}$ यहाँ E पाश के चारों ओर उत्पन्न विद्युत क्षेत्र है।

बल आघूर्ण = $b \times$ बल $= Q\,E\,b = Q\left[\frac{B\pi a^2}{2\pi b\Delta t}\right]b$

$$= Q\frac{Ba^2}{2\Delta t}$$

यदि कोणीय संवेग में परिवर्तन ΔL है, तब

$$\Delta L = \text{बल आघूर्ण} \times \Delta t = Q\frac{Ba^2}{2}$$

© NCERT not to be republished

अंतिम कोणीय संवेग = 0

अंतिम कोणीय संवेग $= mb^2\omega = \frac{QBa^2}{2}$

$$\omega = \frac{QBa^2}{2mb^2}$$

6.28 $$m\frac{d^2x}{dt^2} = mg\sin\theta - \frac{B\cos\theta\, d}{R}\left(\frac{dx}{dt}\right)\times(Bd)\cos\theta$$

$$\frac{dv}{dt} = g\ \sin\theta - \frac{B^2d^2}{mR}(\cos\theta)^2 v$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{B^2d^2}{mR}(\cos\theta)^2 v = g\ \sin\theta$$

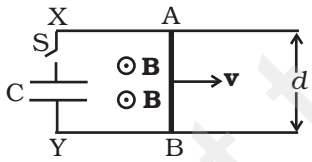
$$v = \frac{g\sin\theta}{\left(\frac{B^2d^2\cos^2\theta}{mR}\right)} + A\exp\left(-\frac{B^2d^2}{mR}(\cos^2\theta)t\right)$$

[जहाँ A एक स्थिरांक है जिसका मान आरंभिक अवस्थाओं से निर्धारित होता है।]

$$= \frac{mgR\sin\theta}{B^2d^2\cos^2\theta}\left(1 - \exp\left(-\frac{B^2d^2}{mR}(\cos^2\theta)t\right)\right)$$

6.29 यदि संधारित्र पर आवेश Q (t) है (ध्यान दीजिए, धारा प्रवाह A से B की ओर है), तब

$$I = \frac{vBd}{R} - \frac{Q}{RC}$$



$$\Rightarrow \frac{Q}{RC} + \frac{dQ}{dt} = \frac{vBd}{R}$$

$$Q = vBdC + Ae^{-t/RC}$$

$\therefore\ \Rightarrow Q = vBdC[1 - e^{-t/RC}]$ (समय $t = 0$ पर $Q = 0 = A = -vBdc$)

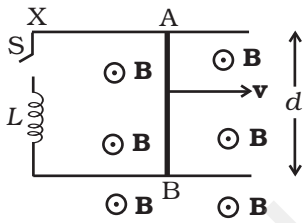
$$I = \frac{vBd}{R}e^{-t/RC}$$

6.30 $$-L\frac{dI}{dt} + vBd = IR$$

$$L\frac{dI}{dt} + IR = vBd$$

© NCERT not to be republished

$$I = \frac{vBd}{R} + A\, e^{-Rt/2}$$



$t = 0$ पर $\quad I = 0 \Rightarrow A = -\frac{vBd}{R}$

$$I = \frac{vBd}{R}(1 - e^{-Rt/L})$$

6.31 $\frac{d\phi}{dt}$ = फ्लक्स में परिवर्तन की दर = $(\pi l^2)\, B_o\, l\, \frac{dz}{dt} = IR$

$$I = \frac{\pi l^2 B_o \lambda}{R} v$$

प्रति सेकण्ड ऊर्जा क्षय = $I^2 R = \frac{(\pi l^2 \lambda)^2 B_o^{\,2} v^2}{R}$

यह स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन की दर से प्राप्त होना चाहिए = $m\, g \frac{dz}{dt} = mgv$

(v= नियत होने के कारण गतिज ऊर्जा नियत है)

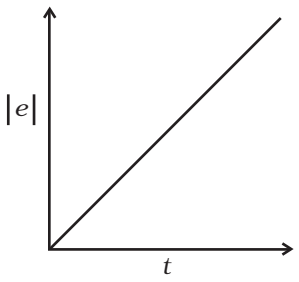
इस प्रकार $mgv = \frac{(\pi l^2 \lambda B_0)^2 v^2}{R}$

अथवा $v = \frac{mgR}{(\pi l^2 \lambda B_o)^2}$

6.32 किसी परिनालिका के कारण चुम्बकीय क्षेत्र $B = \mu_0 nI$

छोटी कुण्डली में चुम्बकीय फ्लक्स $\phi = NBA$

यहाँ $A = \pi b^2$



अतः $e = \frac{-d\phi}{dt} = \frac{-d}{dt}(NBA)$

$$= -N\pi b^2 \frac{d(B)}{dt} = -N\pi b^2 \frac{d}{dt}(\mu_0 nI)$$

$$= -N\pi b^2 \mu_0 n \frac{dI}{dt}$$

$$= -Nn\pi\mu_0 b^2 \frac{d}{dt}(mt^2 + C) = -\mu_0 Nn\pi b^2 2mt$$

$$e = -\mu_0 Nn\pi b^2 2mt$$

ऋणात्मक चिह्न प्रेरित emf का परिमाण चित्र में दर्शाए अनुसार समय के साथ परिवर्तित होता है।

© NCERT not to be republished

अध्याय 7

7.1 (d)

7.2 (c)

7.3 (c)

7.4 (b)

7.5 (c)

7.6 (c)

7.7 (a)

7.8 (a), (d)

7.9 (c), (d)

7.10 (a), (b), (d)

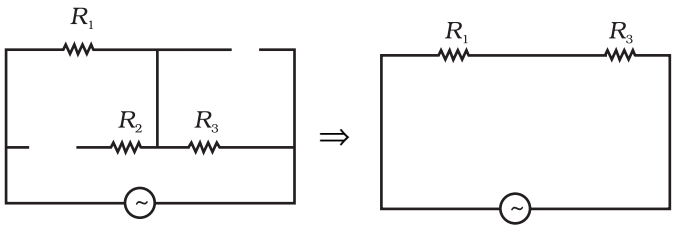
7.11 (a), (b), (c)

7.12 (c), (d)

7.13 (a), (d)

7.14 चुम्बकीय ऊर्जा गतिज ऊर्जा के सदृश तथा वैद्युत ऊर्जा स्थितिज ऊर्जा के सदृश।

7.15 उच्च आवृत्ति पर, संधारित्र ≈ लघु पथ (निम्न प्रतिघात) तथा प्रेरक खुला परिपथ (उच्च प्रतिघात) $Z \approx R_1 + R_3$ जैसा तुल्य परिपथ में दर्शाया गया है।



7.16 (a) हाँ, यदि दोनों परिपथों में rms वोल्टता समान है तो अनुनाद स्थिति में LCR में rms धारा उतनी ही होगी जितनी R परिपथ में।

(b) नहीं, क्योंकि $R \leq Z$, अतः $I_a \geq I_b$

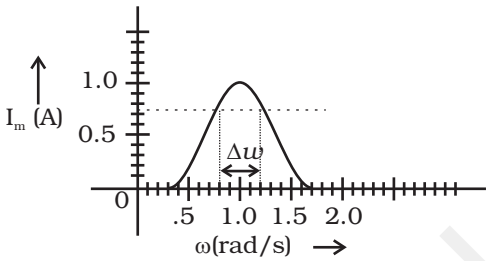
7.17 हाँ, नहीं

© NCERT not to be republished

7.18 बैंड चौड़ाई उन आवृत्तियों के संगत है जिन पर

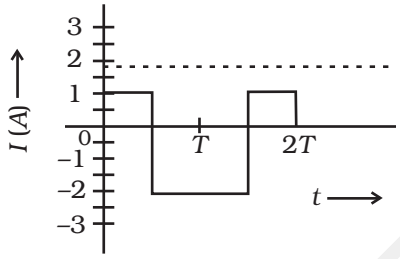
$$I_m = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{max} \approx 0.7 I_{max}$$

यह चित्र में दर्शाया गया है



$\Delta\omega = 1.2 - 0.8 = 0.4$ rad/s

7.19 $I_{rms} = 1.6$ A चित्र में बिन्दुकित रेखा द्वारा निरूपित।



7.20 ऋणात्मक से शून्य फिर धनात्मक, अनुनाद आवृत्ति पर शून्य।

7.21 (a) A

(b) शून्य

(c) L अथवा C अथवा LC

7.22 a.c. धारा की दिशा स्रोत की आवृत्ति के साथ बदलती है तथा आकर्षण बल का औसत मान शून्य हो जाता है, अत: a.c. के संदर्भ में एम्पियर को किसी ऐसे गुण के पदों में परिभाषित किया जाना चाहिए जो धारा की दिशा पर निर्भर न करता हो। जूल का ऊष्मन प्रभाव एक ऐसा ही गुण है अत: इसका उपयोग a.c. के rms मान को परिभाषित करने के लिए किया जा सकता है।

7.23 $X_L = \omega L = 2pfL$

$= 3.14\Omega$

$Z = \sqrt{R^2 + L^2}$

$= \sqrt{(3.14)^2 + (1)^2} = \sqrt{10.86}$

; 3.3Ω

$\tan\phi = \frac{\omega L}{R} = 3.14$

$\phi = \tan^{-1}(3.14)$

; $72°$

; $\frac{72 \times \pi}{180}$ rad.

© NCERT not to be republished

समयपश्चता $\Delta t = \frac{\phi}{\omega}$

$$= \frac{72 \times \pi}{180 \times 2\pi \times 50} = \frac{1}{250}\text{s}$$

7.24 $P_L = 60\text{W}$, $I_L = 0.54\text{A}$

$$V_L = \frac{60}{0.54} = 110\text{V}$$

ट्रांसफॉर्मर अपचायी है तथा निर्गत वोल्टता निवेश वोल्टता की आधी है, अत:,

$$i_p = \frac{1}{2} \times I_2 = 0.27\text{A}$$

7.25 संधारित्र की प्लेटों के बीच के अन्तराल का प्रतिरोध अनन्त होने के कारण इससे होकर दिष्टधारा प्रवाहित नहीं हो सकती। संधारित्र की प्लेटों के बीच जब प्रत्यावर्ती धारा लगाई जाती है तो इसकी प्लेटें बारी-बारी से आवेशित और अनावेशित होती हैं। संधारित्र से होकर प्रवाहित होने वाली धारा इसी परिवर्ती वोल्टता (या आवेश) का परिणाम है। अत: यदि वोल्टता अधिक द्रुत गति से परिवर्तित होती है तो संधारित्र से अधिक धारा प्रवाहित होगी। इसका निहितार्थ यह है कि संधारित्र द्वारा प्रस्तुत प्रतिघात आवृत्ति बढ़ाने से कम होता है: इसका मान होता है $1/\omega C$

7.26 प्रेरक अपने सिरों के बीच लेन्ज के नियम के अनुसार विरोधी विद्युत वाहक बल विकसित करके अपने में से प्रवाहित होने वाली धारा का विरोध करता है। प्रेरित वोल्टता की ध्रुवता इस प्रकार होती है कि विद्यमान धारा का स्तर बना रह सके। यदि धारा कम होती है तो प्रेरित emf की ध्रुवता इस प्रकार होगी कि धारा बढ़ सके और यदि धारा बढ़ती है तो प्रेरित emf की ध्रुवता इसके विपरीत होगी। क्योंकि प्रेरित वोल्टता धारा परिवर्तन की दर के समानुपाती होती है। धारा परिवर्तन की दर अधिक होने पर अर्थात आवृत्ति अधिक होने पर धारा प्रवाह के प्रति प्रेरक का प्रतिघात अधिक हो जाएगा। अत: प्रेरक का प्रतिघात आवृत्ति के समानुपाती होता है और इसका मान ωL. द्वारा व्यक्त किया जाता है।

7.27 शक्ति $P = \frac{V^2}{Z} \Rightarrow \frac{50,000}{2000} = 25 = Z$

$Z^2 = R^2 + (X_C - X_L)^2 = 625$

$$\tan\phi = \frac{X_C - X_L}{R} = -\frac{3}{4}$$

$$625 = R^2 + \left(-\frac{3}{4}R\right)^2 = \frac{25}{16}$$

$R^2 = 400 \Rightarrow \text{R} = 20\Omega$

© NCERT not to be republished

$X_C - X_L = -15\Omega$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{223}{25} \approx 9\text{A}$$

$$I_M = \sqrt{2} \times 9 = 12.6\,\text{A}$$

यदि R, X_C, X_L सभी को दोगुना कर दिया जाए तो $\tan\phi$ में कोई परिवर्तन नहीं होता।

Z को दोगुना करें तो धारा आधी हो जाती है।

7.28 (i) Cu के तारों का प्रतिरोध, R

$$= \rho\frac{l}{A} = \frac{1.7\times10^{-8}\times20000}{\pi\times\left(\frac{1}{2}\right)^2\times10^{-4}} = 4\Omega$$

220 V पर I : $VI = 10^6$ W ; $I = \frac{10^6}{220} = 0.45\times10^4$ A

RI^2 = क्षति क्षय

$= 4 \times (0.45)^2 \times 10^8$ W

$> 10^6$ W

यह विधि संचरण के लिए उपयोग में नहीं लाई जा सकती।

(ii) $V'I' = 10^6$ W $= 11000\, I'$

$$I' = \frac{1}{1.1}\times10^2$$

$$RI'^2 = \frac{1}{1.21}\times4\times10^4 = 3.3\times10^4\,\text{W}$$

प्रतिशक्ति क्षय $= \frac{3.3\times10^4}{10^6} = 3.3\%$

7.29 $Ri_1 = v_m \sin\omega t$ $i_1 = \frac{v_m \sin\omega t}{R}$

$$\frac{q_2}{C} + L\frac{dq_2^2}{dt^2} = v_m \sin\omega t$$

Let $q_2 = q_m \sin(\omega t + \phi)$

$$q_m\left(\frac{\not{1}_m}{C} - L\omega^2\right)\sin(\omega t + \phi) = v_m \sin\omega t$$

© NCERT not to be republished

$$q_m = \frac{v_m}{\frac{1}{C} - L\omega^2}, \phi = 0; \frac{1}{C} - \omega^2 L > 0$$

$$v_R = \frac{v_m}{L\omega^2 - \frac{1}{C}}, \phi = \pi \; L\omega^2 - \frac{1}{C} > 0$$

$$i_2 = \frac{dq_2}{dt} = \omega q_m \cos(\omega t + \phi)$$

i_1 एवं i_2 समान कला में नहीं हैं। माना कि $\frac{1}{C} - \omega^2 L > 0$

$$i_1 + i_2 = \frac{v_m \sin \omega t}{R} + \frac{v_m}{L\omega - \frac{1}{c\omega}} \cos \omega t$$

जहाँ A sin ωt + B cos ωt = C sin ($\omega t + \phi$)

C cos ϕ = A, C sin ϕ = B; $C = \sqrt{A^2 + B^2}$

अत:, $i_1 + i_2 = \left[\frac{{v_m}^2}{R^2} + \frac{{v_m}^2}{[\omega l - 1/\omega C]^2}\right]^{\frac{1}{2}} \sin(\omega t + \phi)$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{R}{X_L - X_C}$$

$$\frac{1}{Z} = \left\{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{(L\omega - 1/\omega C)^2}\right\}^{1/2}$$

7.30 $Li\frac{di}{dt} + Ri^2 + \frac{qi}{c} = vi; Li\frac{di}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li^2\right)$ = प्रेरक में संग्रहीत ऊर्जा परिवर्तन की दर

Ri^2 = जूल ऊष्मन क्षय

$\frac{q}{C}i = \frac{d}{dt}\left(\frac{q^2}{2C}\right)$ संधारित्र में संग्रहीत ऊर्जा परिवर्तन की दर

vi = प्रचालक बल द्वारा ऊर्जा संभरण की दर। यह ऊर्जा प्रयुक्त होती है (i) ओमीय क्षय (ii) संग्रहीत ऊर्जा वृद्धि में।

© NCERT not to be republished

$$\int_0^T dt \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}i^2 + \frac{q^2}{C}\right) + \int_0^T Ri^2 dt = \int_0^T vidt$$

$$0 + (+ve) = \int_0^T vidt$$

$\int_0^T vidt > 0$ यह तभी और केवल तभी संभव है जब कला-अन्तर, जो अचर होता है, न्यूनकोण हो।

7.31 (i) $L\frac{d^2q}{dt^2} + R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = v_m \sin \omega t$

माना $q = q_m \sin(\omega t + \phi) = -q_m \cos(\omega t + \phi)$

$i = i_m \sin(\omega t + \phi) = q_m \omega \sin(\omega t + \phi)$

$$i_m = \frac{v_m}{Z} = \frac{v_m}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}; \phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_C - X_L}{R}\right)$$

(ii) $$U_L = \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}L\left[\frac{v_m}{\sqrt{R^2 + X_C - X_L)^2}_0}\right]^2 \sin^2(\omega t_0 + \phi)$$

$$U_C = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2C}\left[\frac{v_m}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}\right]^2 \frac{1}{\omega^2}\cos^2(\omega t_0 + \phi)$$

(iii) स्वतंत्र छोड देने पर यह एक LC दोलित्र है। संधारित्र अनावेशित होता जाएगा और सम्पूर्ण ऊर्जा L में चली जाएगी। यह क्रम उलटा होगा और बार-बार यह प्रक्रिया दोहराई जाती रहेगी।

अध्याय 8

8.1 (c)

8.2 (b)

8.3 (b)

8.4 (d)

8.5 (d)

8.6 (c)

© NCERT not to be republished

8.7 (c)

8.8 (a), (d)

8.9 (a), (b), (c)

8.10 (b), (d)

8.11 (a), (c), (d)

8.12 (b), (d)

8.13 (a), (c), (d)

8.14 क्योंकि वैद्युतचुंबकीय तरंगें समतल ध्रुवित होती हैं, इसलिए अभिग्राही ऐन्टेना तरंग के वैद्युत/चुंबकीय भाग के समांतर होना चाहिए।

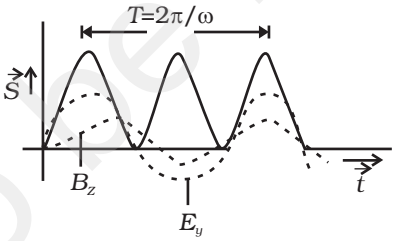
8.15 माइक्रोवेव की आवृत्ति जल के अणुओं की अनुनाद आवृत्ति से मेल खाती है।

8.16 $i_C = i_D = \dfrac{dq}{dt} = -2\pi q_0 \nu \sin 2\pi\nu t$

8.17 आवृत्ति घटाने पर प्रतिघात $X_c = \dfrac{1}{\omega C}$ बढ़ेगा जो चालन धारा को घटाएगा। इस स्थिति में $i_D = i_C$; अत: विस्थापन धारा कम हो जाएगी।

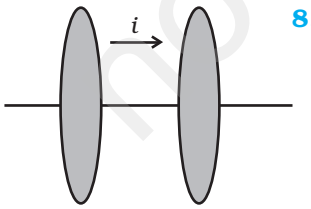
8.18 $I_{av} = \dfrac{1}{2} c \dfrac{B_0^2}{\mu_0} = \dfrac{1}{2} \times \dfrac{3\times 10^8 \times (12\times 10^{-8})^2}{1.26\times 10^{-6}} = 1.71 W/m^2$

8.19



8.20 विद्युतचुंबकीय तरंगें विकिरण दाब लगाती हैं। धूमकेतु की पूँछ सौर विकिरण के कारण है।

8.21



$$B = \frac{\mu_0 2I_D}{4\pi r} = \frac{\mu_0 1}{4\pi r} = \frac{\mu_0}{2\pi r}\varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

$$= \frac{\mu_0 \varepsilon_0}{2\pi r}\frac{d}{dt}(E\pi r^2)$$

$$= \frac{\mu_0 \varepsilon_0 r}{2}\frac{dE}{dt}$$

© NCERT not to be republished

8.22 (a) $\lambda_1 \rightarrow$ माइक्रोवेव (सूक्ष्म तरंगें)

$\lambda_2 \rightarrow$ पराबैंगनी तरंगें

$\lambda_3 \rightarrow$ X- किरणें

$\lambda_4 \rightarrow$ अवरक्त तरंगें

(b) $\lambda_3 < \lambda_2 < \lambda_4 < \lambda_1$

(c) सूक्ष्म तरंगें (माइक्रोवेव) - रडार
पराबैंगनी तरंगें – लासिक नेत्र शल्यता
X-किरणें - अस्थिभंग क्रमवीक्षण
अवरक्त तरंगें - प्रकाशीय संचार

8.23 $S_{av} = c^2\varepsilon_0 |\mathbf{E}_0 \times \mathbf{B}_0| \frac{1}{T}\int_0^T \cos^2(kx - \omega t)dt$ क्योंकि $\mathbf{S} = c^2\varepsilon_0(\mathbf{E}\times\mathbf{B})$

$$= c^2\varepsilon_0 E_0 B_0 \frac{1}{\cancel{T}} \times \frac{\cancel{T}}{2}$$

$$= c^2\varepsilon_0 E_0 \left(\frac{E_0}{c}\right) \times \frac{1}{2} \left(\text{Q } c = \frac{E_0}{B_0}\right)$$

$$= \frac{1}{2}\varepsilon_0 E_0^2 c$$

$$= \frac{E_0^2}{2\mu_0 c} \qquad \text{क्योंकि } \left(c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}\right)$$

8.24 $i_D = C\frac{dV}{dt}$

$$1\times10^{-3} = 2\times10^{-6}\frac{dV}{dt}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{2}\times10^3 = 5\times10 V/s$$

अत: 5×10^2 V/s का परिवर्ती विभवान्तर लगा कर लक्षित मान की विस्थापन धारा उत्पन्न की जा सकती है।

8.25 दाब

$$P = \frac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}} = \frac{F}{A} = \frac{1}{\text{A}}\frac{\Delta p}{\Delta t} \quad \left(F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \text{संवेग परिवर्तन की दर}\right)$$

© NCERT not to be republished

$= \frac{1}{A}.\frac{U}{\Delta tc}$ ($\Delta pc = U = \Delta t$ समय में तरंग द्वारा प्रदान की गई ऊर्जा)

$= \frac{I}{c}\left(\text{तीव्रता } I = \frac{U}{A\Delta t}\right)$

8.26 तीव्रता घटकर एक चौथाई रह जाती है। इसका कारण है कि गोलीय क्षेत्र के क्षेत्रफल $4\pi r^2$ में संचरित होने पर प्रकाश पुंज का विस्तार होता है लेकिन लेज़र में विस्तार नहीं होता और इसलिए तीव्रता स्थिर रहती है।

8.27 वैद्युतचुंबकीय तरंग का विद्युत क्षेत्र दोलायमान क्षेत्र है और किसी आवेशित कण पर इसके द्वारा उत्पन्न विद्युत बल भी ऐसा ही होता है। पूर्णसांख्यिक चक्रों में औसत लेने पर यह विद्युत बल शून्य है क्योंकि इसकी दिशा प्रत्येक आधे चक्र में परिवर्तित हो जाती है। अत: विद्युत क्षेत्र विकिरण दाब में योगदान नहीं करता।

8.28 $\mathbf{E} = \frac{\lambda \hat{\mathbf{e}}_s}{2\pi\varepsilon_o a}\hat{\mathbf{j}}$

$\mathbf{B} = \frac{\mu_o i}{2\pi a}\hat{\mathbf{i}}$

$= \frac{\mu_o \lambda v}{2\pi a}\hat{i}$

$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_o}(\mathbf{E}\times\mathbf{B}) = \frac{1}{\mu_o}\left(\frac{\lambda \hat{\mathbf{j}}_s}{2\pi\varepsilon_o a}\hat{\mathbf{j}} \times \frac{\mu_o \lambda v}{2\pi a}\hat{\mathbf{i}}\right)$

$= \frac{-\lambda^2 v}{4\pi^2\varepsilon_0 a^2}\hat{\mathbf{k}}$

8.29 मान लीजिए प्लेटों के बीच में दूरी d है। तब विद्युत क्षेत्र होगा $E = \frac{V_o}{d}\sin(2\pi\nu t)$। चालन धारा घनत्व ओम के नियम द्वारा प्राप्त होगी- $J^c = sE = \frac{1}{\rho}E$

$\Rightarrow J^c = \frac{1}{\rho}\frac{V_o}{d}\sin(2\pi\nu t) = \frac{V_0}{\rho d}\sin(2\pi\nu t)$

$= J_o^c \sin 2\pi\nu t$

जहाँ पर $J_0^c = \frac{V_0}{\rho d}$

© NCERT not to be republished

विस्थापन धारा घनत्व प्राप्त होगा $J^d = \varepsilon \frac{\partial E}{dt} = \varepsilon \frac{\partial}{dt} \left\{ \frac{V_o}{d} \sin(2\pi \nu t) \right\}$

$$= \frac{\varepsilon 2\pi \nu V_o}{d} \cos(2\pi \upsilon t)$$

$$J^d = \varepsilon \frac{\partial E}{dt} = \varepsilon \frac{\partial}{dt} \left\{ \frac{V_o}{d} \sin(2\pi \nu t) \right\}$$

$$= \frac{\varepsilon 2\pi \nu V_o}{d} \cos(2\pi \nu t)$$

$= J_o^d \cos(2\pi \nu t)$, जहाँ $J_0^d = \frac{2\pi \nu \varepsilon V_0}{d}$

$$J_o^d / J_o^c = \frac{2\pi \nu \varepsilon V_o}{d} \cdot \frac{\rho d}{V_o} = 2\pi \nu \varepsilon \rho = 2\pi \times 80 \varepsilon_o \nu \times 0.25 = 4\pi \varepsilon_o \nu \times 10$$

$$= \frac{10\nu}{9 \times 10^9} = \frac{4}{9}$$

8.30 (i) विस्थापन धारा घनत्व निम्न संबंध से ज्ञात किया जा सकता है

$$\mathbf{J}_D = \varepsilon_0 \frac{d\mathbf{E}}{dt}$$

$$= \varepsilon_0 \mu_0 I_0 \frac{\partial}{\partial t} \cos(2\pi \nu t) . \ln\left(\frac{s}{a}\right) \hat{\mathbf{k}}$$

$$= \frac{1}{c^2} I_0 2\pi \nu^2 (-\sin(2\pi \nu t)) \ln\left(\frac{s}{a}\right) \hat{\mathbf{k}}$$

$$= \left(\frac{\nu}{c}\right)^2 2\pi I_0 \sin(2\pi \nu t) \ln\left(\frac{a}{s}\right) \hat{k}$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda^2} I_0 \ln\left(\frac{a}{s}\right) \sin(2\pi \nu t) \hat{\mathbf{k}}$$

(ii) $I^d = \int J_D s\, ds\, d\theta$

$$= \frac{2\pi}{\lambda^2} I_0 2\pi \int_{s=0}^{a} \ln\left(\frac{a}{s}\right) . s\, ds \sin(2\pi \nu t)$$

© NCERT not to be republished

$$= \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 I_0 \int_{s=0}^{a} \frac{1}{2} ds^2 \ln\left(\frac{a}{s}\right).\sin(2\pi\nu t)$$

$$= \frac{a^2}{4}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 I_0 \int_{s=0}^{a} d\left(\frac{s}{a}\right)^2 \ln\left(\frac{a}{s}\right)^2.\sin(2\pi\nu t)$$

$$= -\frac{a^2}{4}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 I_0 \int_0^1 \ln \xi d\xi.\sin(2\pi\nu t)$$

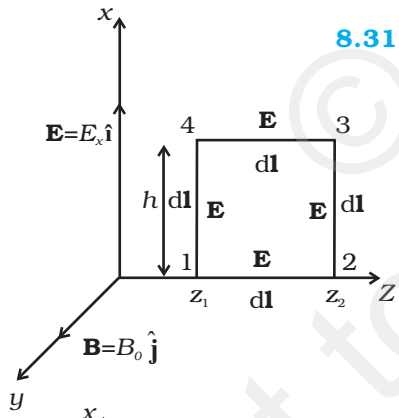
$$= +\left(\frac{a}{2}\right)^2\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 I_0 \sin 2\pi\nu t \quad \text{(समाकल का मान } -1 \text{ है)}$$

(iii) विस्थापन धारा

$$I^d = \left(\frac{a}{2}.\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 I_0 \sin 2\pi\nu t = I_0^d \sin 2\pi\nu t$$

$$\frac{I_0^d}{I_0} = \left(\frac{a\pi}{\lambda}\right)^2.$$

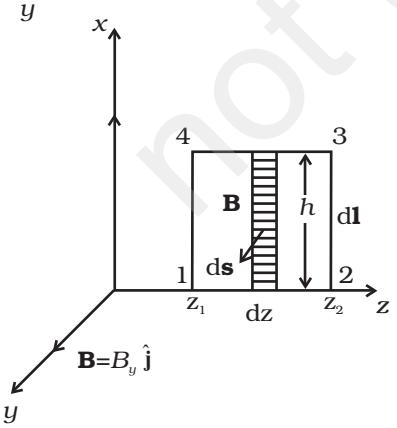
8.31 (i)



$$\oint E.dl = \int_1^2 E.dl + \int_2^3 E.dl + \int_3^4 E.dl + \int_4^1 E.dl$$

$$= \int_1^2 E.dl \cos 90° + \int_2^3 E.dl \cos 0 + \int_3^4 E.dl \cos 90° + \int_4^1 E.dl \cos 180°$$

$$= \boldsymbol{E}_0 h[\sin(kz_2 - \omega t) - \sin(kz_1 - \omega t)] \qquad (1)$$



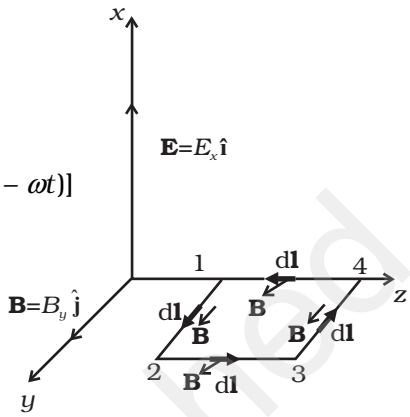
(ii) $\int \boldsymbol{B}.\boldsymbol{ds}$ का मूल्याकंन करने के लिए प्रत्येक का क्षेत्रफल $ds = h\,dz$ की पहियों से बने आयत 1234 पर विचार करें।

$$\int \boldsymbol{B}.\boldsymbol{ds} = \int B ds \cos 0 = \int B ds = \int_{z_1}^{z_2} B_0 \sin(kz - \omega t) h dz$$

$$= \frac{-B_o h}{k}[\cos(kz_2 - \omega t) - \cos(kz_1 - \omega t)] \qquad (2)$$

© NCERT not to be republished

(iii) $\oint \mathbf{E}.\mathbf{dl} = \frac{-d\phi_B}{dt}$



समीकरणों (1) तथा (2) में प्राप्त संबधों का उपयोग करके तथा सरलीकरण द्वारा हमें प्राप्त होगा

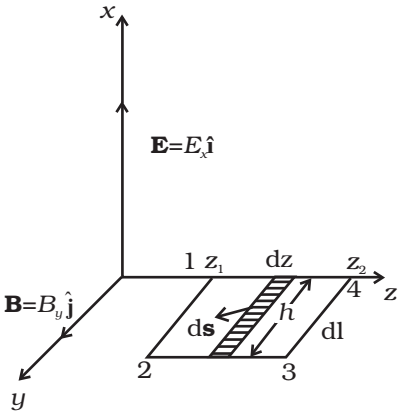
$$E_0 h[sin(kz_2 - \omega t) - sin(kz_1 - \omega t)] = \frac{B_o h}{k}\omega[sin(kz_2 - \omega t) - sin(kz_1 - \omega t)]$$

$$E_0 = B_0 \frac{\omega}{k}$$

$$\frac{E_0}{B_0} = c$$

(iv) $\oint \mathbf{B}.\mathbf{dl}$ के मूल्याकंन के लिए लूप 1234 पर yz तल में चित्र द्वारा दर्शाए अनुसार विचार करें

$$\oint \mathbf{B}.\mathbf{dl} = \int_1^2 \mathbf{B}.\mathbf{dl} + \int_2^3 \mathbf{B}.\mathbf{dl} + \int_3^4 \mathbf{B}.\mathbf{dl} + \int_4^1 \mathbf{B}.\mathbf{dl}$$



$$= \int_1^2 Bdl\cos 0 + \int_2^3 B\,dl\cos 90° + \int_3^4 Bdl\cos 180° + \int_4^1 Bdl\cos 90°$$

$$= B_0 h[sin(kz_1 - \omega t) - sin(kz_2 - \omega t)] \qquad (3)$$

$\phi_E = \int \mathbf{E}.\mathbf{ds}$ का मूल्याकंन करने के लिए, प्रत्येक क्षेत्रफल की पहियों से बने आयत 1234 पर विचार करें।

$$\phi_E = \int \mathbf{E}.\mathbf{ds} = \int Eds\cos 0 = \int Eds = \int_{z_1}^{z_2} E_0 sin(kz_1 - \omega t)hdz$$

$$= \frac{-E_0 h}{k}[\cos(kz_2 - \omega t) - \cos(kz_1 - \omega t)]$$

$$\therefore \frac{d\phi_E}{dt} = \frac{E_0 h\omega}{k}[sin(kz_1 - \omega t) - sin(kz_2 - \omega t)] \qquad (4)$$

$\oint \mathbf{B}.\mathbf{dl} = \mu_0\left(I + \varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}\right)$, I = चालन धारा

= 0 निर्वात में

© NCERT not to be republished

$$\therefore \oint \mathbf{B}.d\mathbf{l} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

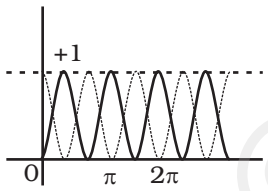
समीकरणों (3) तथा (4) में प्राप्त संबधों का उपयोग करके तथा सरल करने पर हमें प्राप्त होता है–

$$B_0 = E_0 \frac{\omega}{k} . \mu_0 \varepsilon_0$$

$$\frac{E_0}{B_0} \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}$$ लेकिन $E_0/B_0 = c$, तथा $\omega = ck$

या $c.c = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}$ अत:, $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$.

8.32 (i) E - क्षेत्र का योगदान है $u_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$



B - क्षेत्र का योगदान है $u_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$

कुल ऊर्जा घनत्व $u = u_E + u_B = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$ (1)

E^2 तथा B^2 के मान प्रत्येक बिन्दु तथा प्रत्येक क्षण पर परिवर्तित होते हैं। अत: E^2 तथा B^2 के प्रभावी मान उनके कालिक मान हैं।

$$(E^2)_{av} = E_0^2 [\sin^2(kz - \omega t)]_{av}$$

$$(B^2)_{av} = (B^2)_{av} = B_0^2 [\sin^2(kz - \omega t)]_{av}$$

$\sin^2\theta$ तथा $\cos^2\theta$ के ग्राफ आकृति में समरूप हैं लेकिन $\pi/2$ से स्थानान्तरित हैं, अत: $\sin^2\theta$ तथा $\cos^2\theta$ के औसत मान भी π के किसी भी पूर्णसांख्यिक गुणज के लिए समान हैं।

तथा $\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$

अत: सममिति से $\sin^2\theta$ का औसत $= \cos^2\theta$ का औसत $= \frac{1}{2}$

$$\therefore (E^2)_{av} = \frac{1}{2} E_0^2 \; and \; (B^2)_{av} = \frac{1}{2} B_0^2$$

© NCERT not to be republished

समीकरण 1 में प्रस्थापन करने पर

$$u = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{4}\frac{B_0^2}{\mu}$$

(ii) हमें ज्ञात है $\frac{E_0}{B_0} = c$ तथा $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ $\therefore \frac{1}{4}\frac{B_0^2}{\mu_0} = \frac{E_0^2/c^2}{4\mu_0} = \frac{E_0^2}{4\mu_0}\mu_0 \varepsilon_0 = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2$

$$u_{av} = \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2 + \frac{1}{4}\varepsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E_0^2, \text{ तथा } I_{av} = u_{av} c = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E_0^2$$

Chapter 9

9.1 (a)

9.2 (d)

9.3 (c)

9.4 (b)

9.5 (c)

9.6 (c)

9.7 (b)

9.8 (b)

9.9 (b)

9.10 (c)

9.11 (a)

9.12 (a), (b), (c)

9.13 (d)

9.14 (a), (d)

9.15 (a), (b)

9.16 (a), (b), (c)

9.17 क्योंकि लाल प्रकाश के लिए अपवर्तनांक नीले के लिए अपवर्तनांक से कम है, इसलिए लेंस पर आपतित समान्तर प्रकाश पुंज लाल प्रकाश की अपेक्षा नीले प्रकाश की स्थिति में अक्ष की ओर अधिक मुड़ेगा। इसलिए लाल प्रकाश की अपेक्षा नीले प्रकाश के लिए फोकस दूरी कम होगी।

© NCERT not to be republished

9.18 सामान्य व्यक्ति की निकट दृष्टि 25 cm है। किसी बिंब को 10 गुना आवर्धित देखने के लिए

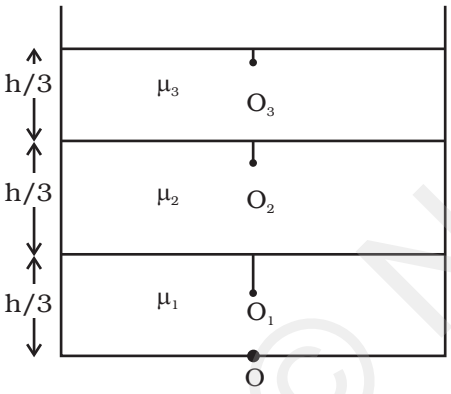
$$m = \frac{D}{f} \Rightarrow f = \frac{D}{m} = \frac{25}{10} = 2.5 = 0.025\text{m}$$

$$P = \frac{1}{0.025} = 40 \text{ डाइऑप्टर}$$

9.19 नहीं। लेंस को उलटा करने पर प्रतिबिंब की स्थिति में परिवर्तन नहीं होगा। (प्रकाश की उत्क्रमणीयता)

9.20 मान लीजिए μ_2 से बिंब को देखने पर आभासी गहराई O_1 है।

$$O_1 = \frac{\mu_2}{\mu_1}\frac{h}{3}$$



μ_3 से देखने पर आभासी गहराई O_2 है।

$$O_2 = \frac{\mu_3}{\mu_2}\left(\frac{h}{3} + O_1\right) = \frac{\mu_3}{\mu_2}\left(\frac{h}{3} + \frac{\mu_2}{\mu_1}\frac{h}{3}\right) = \frac{h}{3}\left(\frac{\mu_3}{\mu_2} + \frac{\mu_3}{\mu_1}\right)$$

बाहर से देखने पर आभासी ऊँचाई

$$O_3 = \frac{1}{\mu_3}\left(\frac{h}{3} + O_2\right) = \frac{1}{\mu_3}\left[\frac{h}{3} + \frac{h}{3}\left(\frac{\mu_3}{\mu_2} + \frac{\mu_3}{\mu_1}\right)\right]$$

$$= \frac{h}{3}\left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_3}\right)$$

9.21 न्यूनतम विचलन पर

$$\mu = \frac{\sin\left[\frac{(A + D_m)}{2}\right]}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

दिया है $D_m = A$

$$\therefore \mu = \frac{\sin A}{\sin\frac{A}{2}} = \frac{2\sin\frac{A}{2}\cos\frac{A}{2}}{\sin\frac{A}{2}} = 2\cos\frac{A}{2}$$

$$\therefore \cos\frac{A}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ अथवा } \frac{A}{2} = 30° \therefore A = 60°$$

© NCERT not to be republished

9.22 मान लीजिए बिंब के दो सिरे क्रमशः बिंब दूरी $u_1 = u - L/2$ तथा $u_2 = u + L/2$ पर हैं, जिससे $|u_1 - u_2| = L$। मान लीजिए दो सिरों के प्रतिबिंब v_1 तथा v_2 पर बनते हैं, इस प्रकार प्रतिबिंब की लम्बाई होगी $L' = |v_1 - v_2|$. क्योंकि $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ या $v = \frac{fu}{u - f}$, दो सिरों का प्रतिबिंब होगा $v_1 = \frac{f(u - L/2)}{u - f - L/2}$ पर $v_2 = \frac{f(u + L/2)}{u - f + L/2}$ पर

अतः

$$L' = |v_1 - v_2| = \frac{f^2 L}{(u - f)^2 \times L^2/4}$$

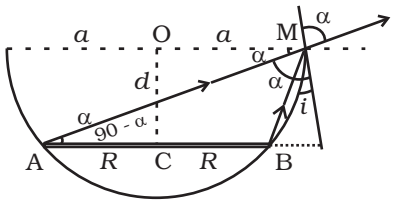
क्योंकि बिंब छोटा है तथा फोकस से दूर रखा गया है इसलिए हम पाएँगे
$L^2/4 << (u - f)^2$
अतः अन्तिमतः

$$L' = \frac{f^2}{(u - f)^2} L.$$

9.23 चित्र के संदर्भ में, द्रव भरने से पहले आपतित किरण की दिशा AM है। द्रव भरने के पश्चात आपतित किरण की दिशा BM है। दोनों स्थितियों में अपवर्तित किरण AM के अनुदिश एक ही है।

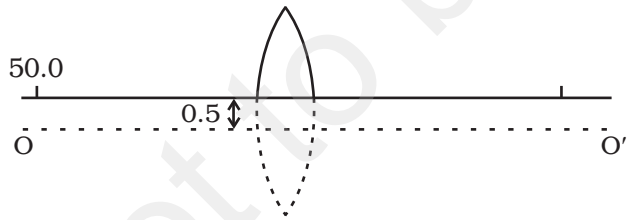
$$\frac{1}{\mu} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i}{\sin \alpha}$$

$$\sin i = \frac{a - R}{\sqrt{d^2 + (a - R)^2}} \text{ तथा } \sin \alpha = \cos(90 - \alpha) = \frac{a + R}{\sqrt{d^2 + (a - R)^2}}$$



प्रतिस्थापित करने पर हमें प्राप्त होगा $d = \frac{\mu(a^2 - R^2)}{\sqrt{(a + R)^2 - \mu(a - R)^2}}$

9.24



यदि काटा न जाता तो बिंब मुख्य अक्ष 00′ से 0.5 cm की ऊँचाई पर होता।

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

$$\therefore \frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{f} = \frac{1}{-50} + \frac{1}{25} = \frac{1}{50}$$

$\therefore v = 50$ cm

© NCERT not to be republished

आवर्धन $m = \frac{v}{u} = -\frac{50}{50} = -1$

अत: प्रतिबिंब प्रकाशिक केन्द्र से 50 cm दूर तथा मुख्य अक्ष से 0.5 cm नीचे बनेगा। इस प्रकार कटे हुए लेंस की कोर से गुज़रने वाली X अक्ष के सापेक्ष प्रतिबिंब के निर्देशांक (50 cm, –1 cm) हैं।

9.25 लेंस सूत्र

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

को देखने पर u तथा v की उत्क्रमणीयता से यह स्पष्ट है। ऐसी दो स्थितियाँ हैं जिनके लिए परदे पर प्रतिबिंब बनेगा।

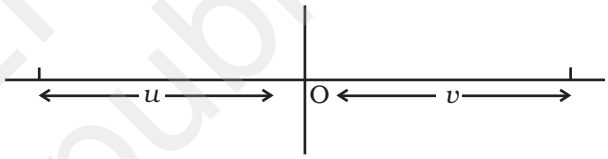
मान लीजिए पहली स्थिति वह है जब लेंस O पर है।

दिया है $-u + v = D$

$\Rightarrow u = -(D - v)$

इसे लेंस सूत्र में रखने पर

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



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

$$\Rightarrow v^2 - Dv + Df = 0$$

$$\Rightarrow v = \frac{D}{2} \pm \frac{\sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$$

$$u = -(D - v) = -\left(\frac{D}{2} \pm \frac{\sqrt{D^2 - 4Df}}{2}\right)$$

इस प्रकार यदि बिंब दूरी $\frac{D}{2} - \frac{\sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$ है तो प्रतिबिंब $\frac{D}{2} + \frac{\sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$ पर होगा।

यदि बिंब दूरी $\frac{D}{2} + \frac{\sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$ है तो प्रतिबिंब $\frac{D}{2} - \frac{\sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$ पर होगा।

इन दो बिंब दूरियों के लिए प्रकाशिक केन्द्रों के बीच की दूरी है

$$\frac{D}{2} + \frac{\sqrt{D^2 - 4Df}}{2} - \left(\frac{D}{2} - \frac{\sqrt{D^2 - 4Df}}{2}\right) = \sqrt{D^2 - 4Df}$$

माना $d = \sqrt{D^2 - 4Df}$

यदि $u = \frac{D}{2} + \frac{d}{2}$ तब प्रतिबिंब होगा $v = \frac{D}{2} - \frac{d}{2}$ पर

© NCERT not to be republished

$\therefore$ आवर्धन $m_1 = \dfrac{D-d}{D+d}$

यदि $u = \dfrac{D-d}{2}$ तब $v = \dfrac{D+d}{2}$

$\therefore$ आवर्धन $m_2 = \dfrac{D+d}{D-d}$ अत: $\dfrac{m_2}{m_1} = \left(\dfrac{D+d}{D-d}\right)^2$

9.26 मान लीजिए डिस्क का व्यास d है। बिंदु अदृश्य हो जाएगा यदि बिंदु से पृष्ठ $\dfrac{d}{2}$ पर आपतित किरणें क्रांतिक कोण पर हों। मान लीजिए आपतन कोण i है

तब $\sin i = \dfrac{1}{\mu}$

अब $\dfrac{d/2}{h} = \tan i$

$\Rightarrow \dfrac{d}{2} = h \tan i = h\left[\sqrt{\mu^2 - 1}\right]^{-1}$

$\therefore d = \dfrac{2h}{\sqrt{\mu^2 - 1}}$

9.27 (i) मान लीजिए सामान्य विश्रान्त नेत्र के लिए दूर बिंदु पर क्षमता P_f है।

तब $P_f = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{0.1} + \dfrac{1}{0.02} = 60$ डाइऑप्टर

संशोधक लेंस के साथ दूर बिंदु पर बिंब दूरी ∞ है।

$P'_f = \dfrac{1}{f'} = \dfrac{1}{\infty} + \dfrac{1}{0.02} = 50\,D$

चश्मे के साथ विश्रांत नेत्र की प्रभावी क्षमता नेत्र तथा चश्मे के लेंसों P_g का योग है।

$\therefore P'_f = P_f + P_g$

$\therefore P_g = -10\ D$

(ii) सामान्य नेत्र के लिए उसकी समंजन क्षमता 4 डाइऑप्टर है। मान लीजिए कि सामान्य नेत्र की निकट दृष्टि की क्षमता P_n है

तब $4 = P_n - P_f$ or $P_n = 64\ D$

मान लीजिए उसका निकट बिंदु x_n हो, तब

$\dfrac{1}{x_n} + \dfrac{1}{0.02} = 64$ अथवा $\dfrac{1}{x_n} + 50 = 64$

$\dfrac{1}{x_n} = 14$

© NCERT not to be republished

$\therefore x_n = \frac{1}{14}$; 0.07m

(iii) चश्मे के साथ $P_n' = P_f' + 4 = 54$

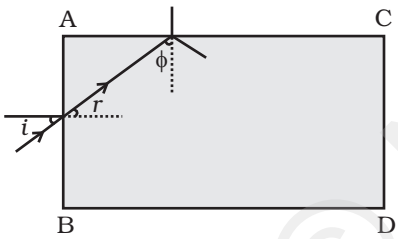
$$54 = \frac{1}{x_n'} + \frac{1}{0.02} = \frac{1}{x_n'} + 50$$

$$\frac{1}{x_n'} = 4$$

$$\therefore x_n' = \frac{1}{4} = 0.25\text{m}$$

9.28 कोई किरण जो कोण i से प्रवेश करती है, AC के अनुदिश निर्देशित होगी यदि फलक AC से बनाया गया कोण (ϕ) क्रांतिक कोण से अधिक है।

$$\Rightarrow \sin \geq \frac{1}{\mu}$$



$$\Rightarrow \cos r \geq \frac{1}{\mu}$$

अथवा $1 - \cos^2 r \leq 1 - \frac{1}{\mu^2}$

i.e. $\sin^2 r \leq 1 - \frac{1}{\mu^2}$

क्योंकि $\sin i = \mu \sin r$

$$\frac{1}{\mu^2} \sin^2 i \leq 1 - \frac{1}{\mu^2}$$

या $\sin^2 i \leq \mu^2 - 1$

जब $i = \frac{\pi}{2}$ तो ϕ छोटे से छोटा कोण होगा। यदि यह क्रांतिक कोण से बड़ा है तब सभी दूसरे आपतन कोण क्रांतिक कोण से अधिक होंगे।

अत: $1 \leq \mu^2 - 1$

या $\mu^2 \geq 2$

$\Rightarrow \mu \geq \sqrt{2}$

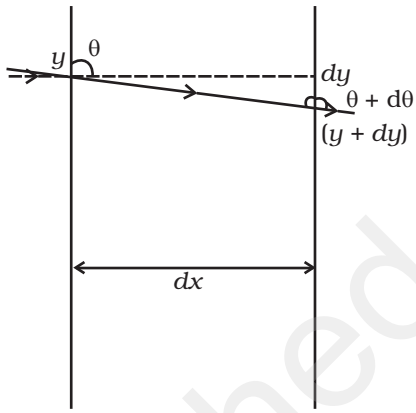
9.29 द्रव के अन्दर x तथा $x + dx$ के बीच एक किरण के किसी भाग पर विचार कीजिए। मान लीजिए x पर आपतन कोण θ है और मान लीजिए यह पतले स्तंभ में y ऊँचाई पर प्रवेश करती है। बंकन के कारण यह कोण $\theta + d\theta$ से $y + dy$ ऊँचाई पर तथा $x + dx$ निर्गत होगी। स्नैल के नियम से–

$\mu(y) \sin \theta = m(y+dy) \sin (\theta+d\theta)$

या $\mu(y) \sin\theta$; $\left(\mu(y) + \frac{d\mu}{dy} dy\right) (\sin\theta \cos d\theta + \cos\theta \sin d\theta)$

© NCERT not to be republished

; $\mu(y)\sin\theta + \mu(y)\cos\theta d\theta + \frac{d\mu}{dy}dy\sin\theta$



अथवा $\mu(y)\cos\theta d\theta$; $\frac{-d\mu}{dy}dy\sin\theta$

$d\theta$; $\frac{-1}{\mu}\frac{d\mu}{dy}dy\tan\theta$

लेकिन $\tan\theta = \frac{dx}{dy}$ (चित्र से)

$\therefore d\theta = \frac{-1}{\mu}\frac{d\mu}{dy}dx$

$\therefore \theta = \frac{-1}{\mu}\frac{d\mu}{dy}\int_o^d dx = \frac{-1}{\mu}\frac{d\mu}{dy}d$

9.30 r तथा $r + dr$ पर दो तलों पर विचार करें। मान लीजिए तल r पर प्रकाश θ कोण से आपतित होता है तथा $r + dr$ से $\theta + d\theta$ कोण से बाहर निकलता है।

तब स्नेल के नियम से

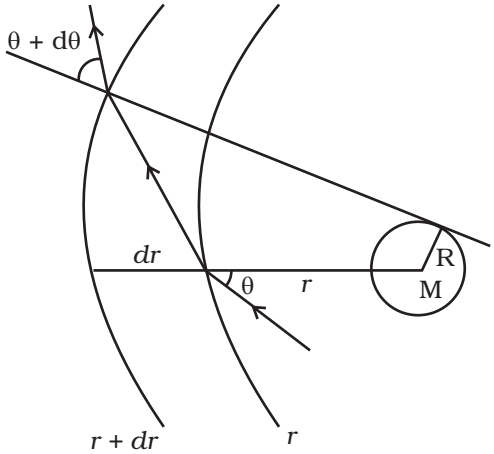
$n(r)\sin\theta = n(r + dr)\sin(\theta + d\theta)$

$\Rightarrow n(r)\sin\theta$; $\left(n(r) + \frac{dn}{dr}dr\right)(\sin\theta\cos d\theta + \cos\theta\sin d\theta)$

; $\left(n(r) + \frac{dn}{dr}dr\right)(\sin\theta + \cos\theta\, d\theta)$

अवकल गुणन फलों को छोड़ने पर

$n(r)\sin\theta$; $n(r)\sin\theta + \frac{dn}{dr}dr\sin\theta + n(r)\cos\theta d\theta$



$\Rightarrow -\frac{dn}{dr}\tan\theta = n(r)\frac{d\theta}{dr}$

$\Rightarrow \frac{2GM}{r^2c^2}\tan\theta = \left(1 + \frac{2GM}{rc^2}\right)\frac{d\theta}{dr} \approx \frac{d\theta}{dr}$

$\therefore \int_0^{\theta_o} d\theta = \frac{2GM}{c^2}\int_{\infty}^{\infty}\frac{\tan\theta dr}{r^2}$

अब $r^2 = x^2 + R^2$ तथा $\tan\theta = \frac{R}{x}$

© NCERT not to be republished

$2rdr = 2xdx$

$$\int_0^{\theta o} d\theta = \frac{2GM}{c^2}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{R}{x}\frac{xdx}{(x^2+R^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$x = R\tan\phi$ रखिए

$x = R\tan\phi$

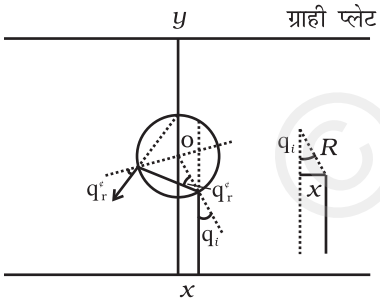
$dx = R\,\text{Sec}^2\,\phi\,d\,\phi$

$$\therefore \quad \theta_0 = \frac{2GMR}{c^2}\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\frac{R\sec^2\phi\,d\phi}{R^3\sec^3\phi}$$

$$= \frac{2GM}{Rc^2}\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\cos\phi\,d\phi = \frac{4GM}{Rc^2}$$

9.31 क्योंकि पदार्थ –1 अपवर्तनांक का है, θ_r ऋणात्मक है तथा θ_r' धनात्मक है। अब $|\theta_i| = |\theta_r| = |\theta_r'|$

बाहर निकलने वाली किरण का अन्दर आने वाली किरण से कुल विचलन $4\theta_i$ है। किरणें ग्राही प्लेट तक नहीं पहुँचेंगी यदि



$$\frac{\pi}{2} \le 4\theta_i \le \frac{3\pi}{2}$$ (कोण y –अक्ष से दक्षिणावर्त मापे गए हैं)

$$\frac{\pi}{8} \le \theta_i \le \frac{3\pi}{8}$$

अब $\sin\theta_i = \frac{x}{R}$

$$\frac{\pi}{8} \le \sin^{-1}\frac{x}{R} \le \frac{3\pi}{8}$$

अथवा $\frac{\pi}{8} \le \frac{x}{R} \le \frac{3\pi}{8}$

अतः $\frac{R\pi}{8} \le x \le \frac{R3\pi}{8}$ के लिए स्रोत से उत्सर्जित प्रकाश ग्राही प्लेट तक नहीं पहुँचेगा।

9.32 (i) S से P_1 तक पारगमन का समय है

$$t_1 = \frac{SP_1}{c} = \frac{\sqrt{u^2+b^2}}{c}\;;\; \frac{u}{c}\left(1+\frac{1}{2}\frac{b^2}{u^2}\right)$$ मान लीजिए $b << u_o$

P_1 से O तक पारगमन का समय है

$$t_2 = \frac{P_1O}{c} = \frac{\sqrt{v^2+b^2}}{c}\;;\; \frac{v}{c}\left(1+\frac{1}{2}\frac{b^2}{v^2}\right)$$

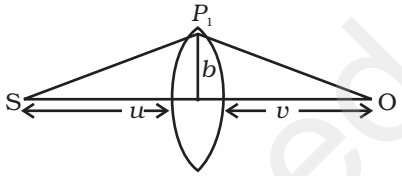
© NCERT not to be republished

लेंस से पारगमन का समय है

$t_l = \dfrac{(n-1)w(b)}{c}$ जहाँ n अपवर्तनांक है।

अत: कुल समय है

$t = \dfrac{1}{c}\left[u + v + \dfrac{1}{2}b^2\left(\dfrac{1}{u}+\dfrac{1}{v}\right) + (n-1)w(b)\right]$. $\dfrac{1}{D} = \dfrac{1}{u}+\dfrac{1}{v}$ रखिए



तब $t = \dfrac{1}{c}\left(u + v + \dfrac{1}{2}\dfrac{b^2}{D} + (n-1)\left(w_0 + \dfrac{b^2}{\alpha}\right)\right)$

फरमैट के सिद्धान्त से

$\dfrac{dt}{db} = 0 = \dfrac{b}{CD} - \dfrac{2(n-1)b}{c\alpha}$

$\alpha = 2(n-1)D$

अत: यदि $\alpha = 2(n-1)D$ तो अभिसरणकारी लेंस बनेगा। यह b से स्वतन्त्र है और इसलिए S से आने वाली सभी उपाक्षीय किरणें O पर अभिसरित होंगी (अर्थात b << n तथा b << v किरणों के लिए)।

क्योंकि $\dfrac{1}{D} = \dfrac{1}{u}+\dfrac{1}{v}$, फोकस दूरी है।

(ii) इस स्थिति में

$t = \dfrac{1}{c}\left(u + v + \dfrac{1}{2}\dfrac{b^2}{D} + (n-1)k_1 ln\left(\dfrac{k_2}{b}\right)\right)$

$\dfrac{dt}{db} = 0 = \dfrac{b}{D} - (n-1)\dfrac{k_1}{b}$

$\Rightarrow b^2 = (n-1)\,k_1 D$

$\therefore\ b = \sqrt{(n-1)k_1 D}$

अत: ऊँचाई से गुजरने वाली सभी किरणें प्रतिबिंब बनाने में योगदान देंगी। किरण पथ द्वारा बनाया गया कोण

$\beta\ ;\ \dfrac{b}{v} = \dfrac{\sqrt{(n-1)k_1 D}}{v^2} = \sqrt{\dfrac{(n-1)k_1 uv}{v^2(u+v)}} = \sqrt{\dfrac{(n-1)k_1 u}{(u+v)v}}$

अध्याय 10

10.1 (c)

10.2 (a)

10.3 (a)

10.4 (c)

10.5 (d)

© NCERT not to be republished

10.6 (a), (b), (d)

10.7 (b), (d)

10.8 (a), (b)

10.9 (a), (b)

10.10 हाँ

10.11 गोलीय

10.12 गोलीय, पृथ्वी की त्रिज्या की तुलना में विशाल त्रिज्या जिससे कि यह लगभग समतल है।

10.13 ध्वनि तरंगों की आवृत्तियाँ 20 Hz से 20 kHz होती हैं। संगत तरंगदैर्घ्य क्रमशः 15m तथा 15mm है। विवर्तन प्रभाव दिखाई देगा यदि झिरियों की चौड़ाई a ऐसी हो कि

$a \sim \lambda$

प्रकाश तरंगों के लिए तरंगदैर्घ्य $\sim 10^{-7}$m। अतः विवर्तन प्रभाव दिखाई देगा जब

$a \sim 10^{-7}\,\text{m}$

जबकि ध्वनि तरंगों के लिए ये दिखाई देंगे

$15\text{mm} < a < 15\text{m}$

10.14 दो बिंदुओं के बीच रैखिक दूरी $l = \frac{2.54}{300}\text{cm}$; $0.84\times10^{-2}\,\text{cm}$ है। Z cm दूरी पर यह कोण ϕ : $l/z \therefore z = \frac{l}{\phi} = \frac{0.84\times10^{-2}\text{cm}}{5.8\times10^{-4}}$: $14.5\,\text{cm}$

10.15 केवल विशेष स्थितियों में जब (III) की पारित अक्ष (I) या (II) के समान्तर है तो कोई प्रकाश निर्गत नहीं होगा। दूसरी सभी स्थितियों में प्रकाश निर्गत होगा क्योंकि (II) की पारित अक्ष (III) के लंबवत नहीं है।

10.16 परावर्तन द्वारा ध्रुवण तब होता है जब आपतन कोण ब्रूस्टर कोण के बराबर हो अर्थात् $\tan\theta_B = \frac{n_2}{n_1}$ जहाँ $n_2 < n_1$

जब ऐसे माध्यम में प्रकाश गमन करता है तो क्रांतिक कोण है $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ जहाँ $n_2 < n_1$.

क्योंकि बड़े कोणों के लिए $|\tan\theta_B| > |\sin\theta_c|$ $\theta_B < \theta_C$
इसलिए परावर्तन द्वारा निश्चित रूप से ध्रुवण होगा।

10.17 $d_{\min} = \frac{1.22\lambda}{2\sin\beta}$

जहाँ β अभिदृश्यक द्वारा बिंब पर अंतरित कोण है।

5500 Å के प्रकाश के लिए

© NCERT not to be republished

$$d_{\min} = \frac{1.22 \times 5.5 \times 10^{-7}}{2 \sin \beta} \text{m}$$

100V से त्वरित इलेक्ट्रॉनों के लिए दे ब्राग्ली तरंगदैर्घ्य है

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{1.227}{\sqrt{100}} = 0.13\text{nm} = 0.13 \times 10^{-9}\text{m}$$

$$\therefore d'_{\min} = \frac{1.22 \times 1.3 \times 10^{-10}}{2 \sin \beta}$$

$$\therefore \frac{d'_{\min}}{d_{\min}} = \frac{1.3 \times 10^{-10}}{5.5 \times 10^{-7}} : \quad 0.2 \times 10^{-3}$$

10.18 $T_2P = D + x$, $T_1 P = D - x$

$$S_1P = \sqrt{(S_1T_1)^2 + (PT_1)^2}$$

$$= [D^2 + (D - x)^2]^{1/2}$$

$$S_2P = [D^2 + (D + x)^2]^{1/2}$$

निम्निष्ठ प्राप्त होगा जब

$$[D^2 + (D + x)^2]^{1/2} - [D^2 + (D - x)^2]^{1/2} = \frac{\lambda}{2}$$

यदि $x = D$

$$(D^2 + 4D^2)^{1/2} = \frac{\lambda}{2}$$

$$(5D^2)^{1/2} = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore D = \frac{\lambda}{2\sqrt{5}} .$$

10.19 बगैर P के

$$A = A_\perp + A_{11}$$

$$A_\perp = A_\perp^1 + A_\perp^2 = A_\perp^0 \sin(kx - \omega t) + A_\perp^0 \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$A_{11} = A_{11}^{(1)} + A_{11}^{(2)}$$

© NCERT not to be republished

$A_{11} = A_{11}^0[\sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t + \phi]$

जहाँ $A_{\perp}^0$, A_{11}^0 किसी भी किरण पुंज के $\perp$ तथा 11 ध्रुवणों में आयाम हैं।

$\therefore$ तीव्रता

$= \{|A_{\perp}^0|^2 + |A_{11}^0|^2\}[\sin^2(kx - \omega t)(1+\cos^2\phi + 2\sin\phi) + \sin^2(kx - \omega t)\ \sin^2\phi]$ औसत

$= \{|A_{\perp}^0|^2 + |A_{11}^0|^2\}\left(\frac{1}{2}\right).2(1+\cos\phi)$

$= 2|A_{\perp}^0|^2.(1+\cos\phi)$ since $|A_{\perp}^0|$ औसत $= |A_{11}^0|$ औसत

P के साथ:

माना $A_{\perp}^{12}$ अवरुद्ध है

तीव्रता = = $(A_{11}^1 + A_{11}^2)^2 + (A_{\perp}^1)^2$

$= |A_{\perp}^0|^2(1+\cos\phi) + |A_{\perp}^0|^2.\frac{1}{2}$

दिया है: $I_0 = 4|A_{\perp}^0|^2$ = बगैर पोलेराइजर के मुख्य उच्चिष्ठ तीव्रता

पोलेराइजर के साथ मुख्य उच्चिष्ठ पर तीव्रता

$$= |A_{\perp}^0|^2\left(2 + \frac{1}{2}\right)$$

$$= \frac{5}{8}I_0$$

पोलेराइजर के साथ मुख्य उच्चिष्ठ पर तीव्रता

$$= |A_{\perp}^0|^2(1-1) + \frac{|A_{\perp}^0|^2}{2}$$

$$= \frac{I_0}{8}$$

10.20 पथांतर = $2d\sin\theta + (\mu - 1)l$

$\therefore$ मुख्य उच्चिष्ठ के लिए

$2d\sin\theta + 0.5l = 0$

© NCERT not to be republished

$$\sin\theta_0 = \frac{-l}{4d} = \frac{-1}{16} \qquad \left(\text{Q } l = \frac{d}{4}\right)$$

$$\therefore \text{ OP} = D\tan\theta_0 \approx -\frac{D}{16}$$

प्रथम निम्निष्ठ के लिए

$$\therefore \; 2d\sin\theta_1 + 0.5l = \pm\frac{\lambda}{2}$$

$$\sin\theta_1 = \frac{\pm\lambda/2 - 0.5l}{2d} = \frac{\pm\lambda/2 - \lambda/8}{2\lambda} = \pm\frac{1}{4} - \frac{1}{16}$$

धनात्मक दिशा में: $\sin\theta^+ = \frac{3}{16}$

ऋणात्मक दिशा में: $\sin\theta^- = -\frac{5}{16}$

धनात्मक दिशा में प्रथम मुख्य उच्चिष्ठ की दूरी

$$D\tan\theta^+ = D\frac{\sin\theta^+}{\sqrt{1-\sin^2\theta}} = D\frac{3}{\sqrt{16^2-3^2}}$$ O के ऊपर

ऋणात्मक दिशा में दूरी होगी $D\tan\theta^- = \frac{5}{\sqrt{16^2-5^2}}$ O के नीचे

10.21 (i) R_1 जो A से d दूरी पर है, पर विक्षोभों के बारे में विचार करें। मान लीजिए A के कारण R_1 पर तरंग है $Y_A = a\cos\omega t$। A से संकेत का B से पथान्तर $\lambda/2$ है तथा इस प्रकार कलान्तर π है।

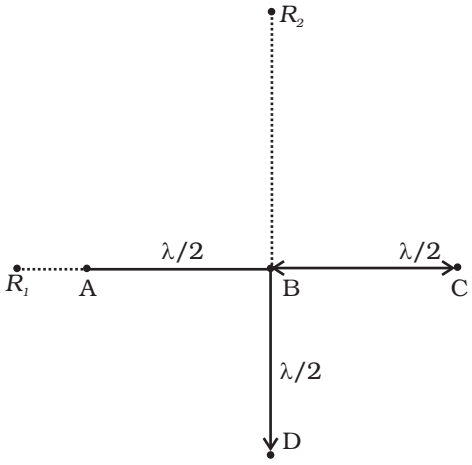
इस प्रकार B के कारण R_1 पर तरंग है

$$y_B = a\cos(\omega t - \pi) = -a\cos\omega t$$

C से संकेत का A से पथान्तर π है और इस प्रकार कलान्तर 2π है।

अत: C के कारण R_1 पर तरंग है $y_c = a\cos\omega t$। D तथा A से संकेत के बीच पथान्तर है

$$\sqrt{d^2 + \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2} - (d - \lambda/2)$$



© NCERT not to be republished

$$= d\left(1+\frac{\lambda}{4d^2}\right)^{1/2} - d + \frac{\lambda}{2}$$

$$= d\left(1+\frac{\lambda^2}{8d^2}\right)^{1/2} - d + \frac{\lambda}{2}$$

पथान्तर : $\frac{\lambda}{2}$ और इसलिए कलान्तर π है।

$\therefore y_D = -a\cos\omega t$

R_1 पर प्राप्त होने वाला संकेत है

$y_A + y_B + y_C + y_D = 0$

मान लीजिए B से R_2 पर प्राप्त होने वाला संकेत है $y_B = a_1 \cos \omega t$। B तथा D पर संकेतों के बीच पथान्तर $\lambda/2$ है

$\therefore y_D = -a_1\cos\omega t$

A तथा B पर संकेत के बीच पथान्तर है

$$\sqrt{(d)^2+\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2} - d = d\left(1+\frac{\lambda^2}{4d^2}\right)^{1/2} - d : \frac{1}{8}\frac{\lambda^2}{d^2}$$

$\therefore$ कलान्तर है $\frac{2\pi}{8\lambda}\cdot\frac{\lambda^2}{d^2} = \frac{\pi\lambda}{4d} = \phi :$ 0

अत: $y_A = a_1 \cos(\omega t - \phi)$
इसी प्रकार $y_C = a_1 \cos(\omega t - \phi)$
$\therefore$ R_2 द्वारा चयनित संकेत है
$y_A + y_B + y_C + y_D = y = 2a_1 \cos(\omega t - \phi)$
$\therefore |y|^2 = 4a_1^2 \cos^2(\omega t - \phi)$
$\therefore \langle I \rangle = 2a_1^2$
अत: R_1 वृहत संकेत चयन करता है।

(ii) यदि B को बन्द कर दिया जाए
R_1 चयन करता है $y = a\cos\omega t$

$$\therefore \langle I_{R_1} \rangle = \frac{1}{2}a^2$$

R_2 चयन करता है $y = a\cos\omega t$

$$\therefore \langle I_{R_2} \rangle = \frac{1}{2}a_1^2$$

© NCERT not to be republished

इस प्रकार R_1 तथा R_2 समान संकेत चयन करते हैं।

(iii) यदि D को बन्द कर दिया जाए

R_1 चयन करता है $y = a\cos\omega t$

$$\therefore \langle I_{R_1} \rangle = \frac{1}{2}a^2$$

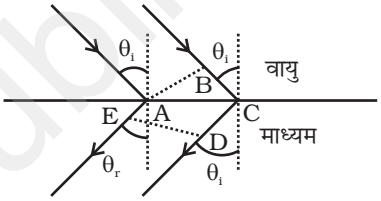
R_2 चयन करता है $y = 3a\cos\omega t$

$$\therefore \langle I_{R_2} \rangle = \frac{1}{2}9a^2$$

इस प्रकार R_2, R_1 तुलना में वृहत संकेत चयन करता है।

(iv) इस प्रकार R_1 पर संकेत दर्शाता है कि B बन्द कर दिया गया है तथा R_2 पर एक वृहत संकेत दर्शाता है D को बन्द कर दिया गया है।

10.22 (i) मान लीजिए कि अभिधारणा सही है, तब दो समान्तर किरणें चित्र में दर्शाए अनुसार अग्रसर होती हैं। मान लीजिए ED तरंगाग्र को दर्शाता है तो इस पर तमाम बिंदु समान कला में होने चाहिए। समान प्रकाशिक पथ लम्बाई के सभी बिंदु समान कला में होने चाहिए।



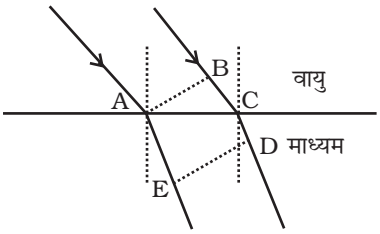
चित्र 1

अतः $-\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\ AE = BC - \sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\ CD$

या $BC = \sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\,(CD - AE)$

चूंकि $BC > 0$, $CD > AE$

यह दर्शाता है कि अभिधारणा युक्तिसंगत है। तथापि, यदि प्रकाश उसी प्रकार अग्रसित होता है जैसे यह साधारण पदार्थों में होता है (अर्थात, चौथे चतुर्थांश में चित्र 2)



चित्र 2

तब $-\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\ AE = BC - \sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\ CD$

या, $BC = \sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\,(CD - AE)$

क्योंकि $AE > CD$, $BC < O$

यह दर्शाते हुए कि ऐसा सम्भव नहीं है। अतः अभिधारणा सही है।

(ii) चित्र 1 से

BC = $AC\sin\theta_i$ तथा CD-AE = $AC\sin\theta_r$:

क्योंकि $-\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\,(AE - CD) = BC$

$-n\sin\theta_r = \sin\theta_i$

10.23 कोण i पर आपतित एक किरण पर विचार करें। इस किरण का एक भाग वायु-फिल्म अन्तरापृष्ठ से परावर्तित होता है तथा एक भाग अन्दर अपवर्तित होता है। यह फिल्म-काँच अन्तरापृष्ठ पर अंशतः परावर्तित तथा अंशतः पारगत होती है। परावर्तित किरण का एक भाग फिल्म-वायु अन्तरापृष्ठ पर परावर्तित होता है तथा एक भाग r_2 की तरह पारगत r_1 के समान्तर पारगत होता है। वास्तव में क्रमिक परावर्तन तथा पारगमन तरंग के आयाम को घटाते रहेंगे। अतः r_1 तथा r_2 किरणें व्यवहार पर छाई रहेंगी। यदि आपतित प्रकाश लेंस द्वारा पारगमित हो तो r_1 तथा r_2 में विनाशी व्यतिकरण होना चाहिए। A तथा D दोनों पर परावर्तन निम्न से उच्च अपवर्तनांक की ओर होंगे अतः परावर्तन पर कोई कला परिवर्तन नहीं होगा। r_2 तथा r_1 के बीच प्रकाशिक पथान्तर है

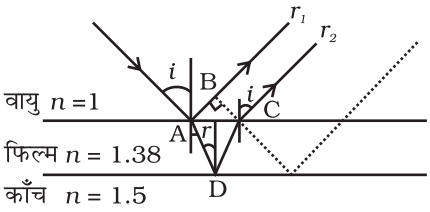
© NCERT not to be republished

n (AD + CD) – AB

यदि d फिल्म की मोटाई है तो

$$AD = CD = \frac{d}{\cos r}$$

$$AB = AC \sin i$$



$$\frac{AC}{2} = d \tan r$$

$$\therefore AC = 2d \tan r$$

अत: AB = 2d $\tan r \sin i$

अत: पथान्तर है

$$2n \frac{d}{\cos r} - 2d \tan r \sin i$$

$$= 2.\frac{\sin i}{\sin r} \frac{d}{\cos r} - 2d \frac{\sin r}{\cos r} \sin i$$

$$= 2d \sin \left[\frac{1 - \sin^2 r}{\sin r \cos r} \right]$$

$$= 2nd \cos r$$

इन तरंगों के विनाशी व्यतिकरण के लिए यह $\lambda/2$ के बराबर होना चाहिए।

$$\Rightarrow 2nd \cos r = \frac{\lambda}{2}$$

या $nd \cos r = \lambda/4$

कैमरे के लेंस के लिए, स्रोत ऊर्ध्वाधर तल में है और इसलिए

$i \square r \square 0$

$\therefore nd ; \frac{\lambda}{4}.$

$$\Rightarrow d = \frac{5500\,\text{Å}}{1.38 \times 4} ; \quad 1000\,\text{Å}$$

© NCERT not to be republished

अध्याय 11

11.1 (d)

11.2 (b)

11.3 (d)

11.4 (c)

11.5 (b)

11.6 (a)

11.7 (a)

11.8 (c)

11.9 (c), (d)

11.10 (a), (c)

11.11 (b), (c)

11.12 (a), (b), (c)

11.13 (b), (d)

11.14 $\lambda_p / \lambda_d = p_x / p_p = \dfrac{\sqrt{2m_\alpha E_\alpha}}{\sqrt{2m_p E_p}} = \sqrt{8} : 1$

11.15 (i) $E_{max} = 2h\nu - \phi$

(ii) एक ही इलेक्ट्रॉन द्वारा दो फोटॉन अवशोषित करने की प्रायिकता अत्यन्त निम्न है। अत: इस प्रकार के उत्सर्जन नगण्य हैं।

11.16 पहली स्थिति में प्रदत्त (बाहर निकली) ऊर्जा संभरित ऊर्जा से कम है। दूसरी स्थिति में क्योंकि उत्सर्जित फोटॉन में अधिक ऊर्जा होती है इसलिए पदार्थ को ऊर्जा आपूर्ति करनी पड़ती है। स्थायी पदार्थों के लिए ऐसा होना संभव नहीं है।

11.17 नहीं, अधिकांश इलेक्ट्रॉन धातु में प्रकीर्ण हो जाते हैं। केवल कुछ ही धातु के पृष्ठ से बाहर आते हैं।

11.18 कुल E नियत है।

मान लीजिए n_1 तथा n_2 X-किरणों तथा दृश्य क्षेत्र के फोटॉन की संख्या है।

$n_1 E_1 = n_2 E_2$

$$n_1 \frac{hc}{\lambda_1} = n_2 \frac{hc}{\lambda_2}$$

© NCERT not to be republished

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{500}$$

11.19 संवेग धातु को स्थानांतरित हो जाता है। सूक्ष्म स्तर पर, परमाणु फोटॉन को अवशोषित करते हैं तथा इसका संवेग मुख्य रूप से नाभिक तथा इलेक्ट्रॉनों को स्थानांतरित हो जाता है। उत्तेजित इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होता है। संवेग संरक्षण नाभिक तथा इलेक्ट्रॉनो को संवेग स्थानांतरित करने के लिए संवेग संरक्षण के परिकलन की आवश्यकता है।

11.20 अधिकतम ऊर्जा = $h\nu - \phi$

$$\left(\frac{1230}{600} - \phi\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{1230}{400} - \phi\right)$$

$$\phi = \frac{1230}{1200} = 1.02\text{eV}$$

11.21 $\Delta x \Delta p$; h

$$\Delta p \; ; \; \frac{\text{h}}{\Delta x} \; ; \; \frac{1.05\times10^{-34}\text{Js}}{10^{-9}\text{m}} = 1.05\times10^{-25}$$

$$E = \frac{p^2}{2m} = \frac{(1.05\times10^{-25})^2}{2\times9.1\times10^{-31}} = \frac{1.05^2}{18.2}\times10^{-19}\text{J} = \frac{1.05^2}{18.2\times1.6}\text{eV}$$

$= 3.8 \times 10^{-2} eV$

11.22 $I = n_A n_A = n_B v_B$

$$\frac{n_A}{n_B} = 2 = \frac{v_B}{v_A}$$

पुंज B की आवृत्ति A से दुगनी है।

11.23 $p_c = |p_A| + |p_B| = \frac{h}{\lambda_A} + \frac{h}{\lambda_B} = \frac{h}{\lambda_c} = \frac{h}{\lambda_c}$ if $p_A, p_B > 0$ or $p_A, p_B < 0$

अथवा $\lambda_c = \frac{\lambda_A \lambda_B}{\lambda_A + \lambda_B}$

यदि $p_A > 0$, $p_B < 0$ अथवा $p_A < 0$, $p_B > 0$

$$p_c = h\frac{\lambda_B - \lambda_A}{|\lambda_A.\lambda_B|} = \frac{h}{\lambda_c}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda_B.\lambda_A}{|\lambda_A - \lambda_B|}$$

© NCERT not to be republished

11.24 $2d \sin\theta = \lambda = d = 10^{-10}$ m

$$p = \frac{h}{10^{-10}} = \frac{6.6\times10^{-34}}{10^{-10}} = 6.6\times10^{-21}\text{kg m/s}$$

$$E = \frac{(6.6\times10^{-24})^2}{2\times(1.7\times10^{-27})}\times1.6\times10^{-19} = \frac{6.6^2}{2\times1.7}\times1.6\times10^{-2}eV$$

$= 20.5 \times 10^{-2}eV = 0.21eV$

11.25 Na के 6×10^{26} परमाणुओं का भार = 23 kg

लक्ष्य का आयतन = $(10^{-4} \times 10^{-3}) = 10^{-7}m^3$

सोडियम का घनत्व = $(d) = 0.97$ kg/m^3

6×10^{26} Na परमाणुओं का आयतन = $\frac{23}{0.97}m^3 = 23.7\ m^3$

1 Na परमाणु का आयतन = $\frac{23}{0.97\times6\times10^{26}}m^3 = 3.95 \times 10^{-26}m^3$

लक्ष्य में Na परमाणुओं की संख्या = $\frac{10^{-7}}{3.95\times10^{-26}} = 2.53 \times 10^{18}$

फोटॉन की संख्या प्रति सेकंड तथा $10^{-4}\ m^2 = n$

ऊर्जा प्रति सेकंड तथा $nh\nu = 10^{-4}\ J \times 100 = 10^{-2}\ W$

$h\nu$ (λ = 660nm के लिए) = $\frac{1234.5}{600}$

$= 2.05eV = 2.05 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.28 \times 10^{-19}J$

$$n = \frac{10^{-2}}{3.28\times10^{-19}} = 3.05\times10^{16}/s$$

$$n = \frac{1}{3.2}\times10^{17} = 3.1\times10^{16}$$

यदि प्रति परमाणु उत्सर्जन की प्रायिकता P है, प्रति फोटॉन, फोटोइलेक्ट्रॉन की प्रति सेकंड उत्सर्जन की संख्या

$= P\times3.1\times10^{16}\times2.53\times10^{18}$

धारा = $P \times 3.1 \times 10^{+16} \times 2.53 \times 10^{18} \times 1.6 \times 10^{-19}$ A

$= P \times 1.25 \times 10^{+16}$ A

यह 100μA के बराबर होनी चाहिए अथवा

© NCERT not to be republished

$$P = \frac{100 \times 10^{-6}}{1.25 \times 10^{+16}}$$

$\therefore P = 8 \times 10^{-21}$

इस प्रकार एकल परमाणु पर एकल फोटॉन द्वारा फोटो उत्सर्जन की प्रायिकता 1 से बहुत कम है। (इसलिए एक परमाणु द्वारा दो फोटॉन का अवशोषण नगण्य है।)

11.26 बाह्य एजेंसी द्वारा किया गया कार्य $= +\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{4}\int_d^\infty \frac{q^2}{x^2}dx = \frac{1}{4}.\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 d}$

$d = 0.1\text{nm}$ से, ऊर्जा $= \frac{(1.6\times10^{-19})\times9\times10^9}{4(10^{-10})\times1.6\times10^{-19}}\text{eV}$

$$= \frac{1.6\times9}{4}\text{eV} = 3.6\text{ eV}$$

11.27 (i) B के लिए उच्च आवृत्ति पर निरोधी विभव = 0

अत: इसका कार्यफलन उच्च है

(ii) ढाल $= \frac{h}{e} = \frac{2}{(10-5)\times10^{14}}$ A के लिए

$= \frac{2.5}{(15-10)\times10^{14}}$ B के लिए

$h = \frac{1.6\times10^{-19}}{5}\times2\times10^{-14} = 6.04\times10^{-34}$Js के लिए A

$= \frac{1.6\times10^{-19}\times2.5\times10^{-14}}{5} = 8\times10^{-34}$ Js के लिए B

क्योंकि h का मान अलग-अलग आता है इसलिए प्रयोग सिद्धान्त के संगत नहीं है।

11.28 $m_A v = m_A v_1 + m_B v_2$

$$\frac{1}{2}m_A v^2 = \frac{1}{2}m_A v_1^2 + \frac{1}{2}m_B v_2^2$$

$$\therefore \frac{1}{2}m_A(v - v_1)(v_A + v_1) = \frac{1}{2}m_B v_B^2$$

$\therefore v + v_1 = v_2$

अथवा $v = v_2 - v_1$

© NCERT not to be republished

$$\therefore v_1 = \left(\frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}\right)v, \qquad \text{तथा} \qquad v_2 = \left(\frac{2m_A}{m_A + m_B}\right)v$$

$$\therefore \lambda_{\text{प्रारम्भिक}} = \frac{h}{m_A v}$$

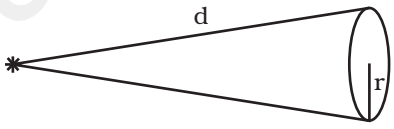
$$\lambda_{\text{अंतिम}} = \frac{h}{m_A v} = \left|\frac{h(m_A + m_B)}{m_A(m_A - m_B)v}\right|$$

$$\therefore \Delta\lambda = \frac{h}{m_A v}\left[\left|\frac{m_A + m_B)}{m_A - m_B}\right| - 1\right]$$

11.29 (i) $\dfrac{dN}{dt} = \dfrac{P}{(hc/\lambda)} = 5 \times 10^{19}/s$

(ii) $\dfrac{hc}{\lambda} = 2.49\,\text{eV} > W_0$: हाँ

(iii) $P.\dfrac{\pi r^2}{4\pi d^2}\Delta t = W_0$, $\Delta t = 28.4\,\text{s}$



(iv) $N = \left(\dfrac{dN}{dt}\right) \times \dfrac{\pi r^2}{4\pi d^2} \times \Delta t = 2$

अध्याय 12

12.1 (c)

12.2 (c)

12.3 (a)

12.4 (a)

12.5 (a)

12.6 (a)

12.7 (a)

12.8 (a), (c)

12.9 (a), (b)

12.10 (a), (b)

12.11 (b), (d)

© NCERT not to be republished

12.12 (b), (d)

12.13 (c), (d)

12.14 आइंस्टीन के द्रव्यमान-ऊर्जा संबंध से हमें प्राप्त होता है: $E = mc^2$. अत: हाइड्रोजन के एक परमाणु का द्रव्यमान है $m_p + m_e - \frac{B}{c^2}$, जहाँ $B \approx 13.6$ eV बंधन-ऊर्जा है।

12.15 क्योंकि इलेक्ट्रॉन के द्रव्यमान की तुलना में दोनों नाभिक अत्यधिक भारी हैं।

12.16 क्योंकि इलेक्ट्रॉन केवल वैद्युत चुम्बकीय रूप से पारस्परिक क्रिया करते हैं।

12.17 हाँ, क्योंकि बोहर-सूत्र में केवल आवेशों का गुणनफल निहित है।

12.18 नहीं, क्योंकि बोहर प्रतिरूप के अनुसार $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$, और भिन्न-भिन्न ऊर्जा के इलेक्ट्रॉन विभिन्न n- मान वाले स्तरों से सम्बद्ध होते हैं: अत: उनके कोणीय-संवेग भिन्न होंगे, क्योंकि $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

12.19 बोहर के सूत्र $E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0 n^2 h^2}$ में 'm' समानीत द्रव्यमान है। H-परमाणु के लिए $m \approx m_e$ पोजिट्रोनियम के लिए $m \approx m_e/2$ अत: एक पोजिट्रोनियम के लिए $E_1 \approx -6.8$eV

12.20 2e आवेश वाले नाभिक तथा $-e$ आवेश वाले इलेक्ट्रॉनों के लिए, स्तर हैं- $E_n = -\frac{4me^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$ निम्नतर स्तर में दो इलेक्ट्रॉन होंगे, जिनमें प्रत्येक की ऊर्जा E तथा निम्नतम स्तर की कुल ऊर्जा $-(4\times13.6)$eV होगी।

12.21 v = इलेक्ट्रॉन का वेग

a_0 = बोहर त्रिज्या

$\therefore$ एकांक समय में चक्रणों की संख्या $= \frac{2\pi a_0}{v}$

$\therefore$ धारा $= \frac{2\pi a_0}{v} e$

12.22 $\nu_{\text{न्यूनतम}} = cRZ^2\left[\frac{1}{(n+p)^2} - \frac{1}{n^2}\right]$,

जहाँ $m = n + p$, $(p = 1, 2, 3, \ldots)$ एवं R रिड्बर्ग नियतांक है।

$p << n$ के लिए

© NCERT not to be republished

$$\nu_{\text{न्यूनतम}} = cRZ^2\left[\frac{1}{n^2}\left(1+\frac{p}{n}\right)^{-2} - \frac{1}{n^2}\right]$$

$$\nu_{\text{न्यूनतम}} = cRZ^2\left[\frac{1}{n^2} - \frac{2p}{n^3} - \frac{1}{n^2}\right]$$

$$\nu_{\text{न्यूनतम}} = cRZ^2\frac{2p}{n^3}\ ;\ \left(\frac{2cRZ^2}{n^3}\right)p$$

इस प्रकार $\nu_{\text{न्यूनतम}}$ का लगभग क्रम है- 1, 2, 3.....

12.23 बामर श्रेणी में H_γ, $n = 5$ से $n = 2$ के संक्रमण के संगत है। अत: न्यूनतम स्तर $n = 1$ के इलेक्ट्रॉन को पहले $n = 5$ में रखना चाहिए। आवश्यक ऊर्जा $= E_1 - E_5 = 13.6 - 0.54 = 13.06$ eV

यदि कोणीय संवेग संरक्षित रहता है, तो फोटान का कोणीय संवेग = इलेक्ट्रॉन के कोणीय संवेग में परिवर्तन $= L_5 - L_2 = 5\text{h} - 2\text{h} = 3\text{h} = 3\times1.06\times10^{-34}$

$= 3.18 \times 10^{-34}$ kg m^2/s

12.24 H के लिए समानीत द्रव्यमान $= \mu_H = \dfrac{m_e}{1+\dfrac{m_e}{M}}\ ;\ m_e\left(1-\dfrac{m_e}{M}\right)$

D के लिए समानीत द्रव्यमान $= \mu_D\ ;\ m_e\left(1-\dfrac{m_e}{2M}\right) = m_e\left(1-\dfrac{m_e}{2M}\right)\left(1+\dfrac{m_e}{2M}\right)$

$h\nu_{ij} = (E_i - E_j)\alpha\,\mu.$ अत:, $\lambda_{ij}\,\alpha\dfrac{1}{\mu}$

यदि हाइड्रोजन/ड्यूटीरियम के लिए तरंगदैर्घ्य λ_H / λ_D है

$$\frac{\lambda_D}{\lambda_H} = \frac{\mu_H}{\mu_D}\ ;\ \left(1+\frac{m_e}{2M}\right)^{-1}\ ;\ \left(1-\frac{1}{2\times1840}\right)$$

$$\lambda_D = \lambda_H \times (0.99973)$$

अत: रेखाएँ हैं 1217.7 Å , 1027.7 Å, 974.04 Å, 951.143 Å

12.25 नाभिकीय गति को सम्मिलित करते हुए, स्थिर अवस्था में ऊर्जाएँ होंगी- $E_n = -\dfrac{\mu Z^2e^4}{8\varepsilon_0^2h^2}\left(\dfrac{1}{n^2}\right)$

मान लिया μ_H हाइड्रोजन का तथा μ_H ड्यूटीरियम का समानीत द्रव्यमान है। तब हाइड्रोजन की प्रथम लाइमन रेखा की आवृत्ति है $h\nu_H = \dfrac{\mu_H e^4}{8\varepsilon_0^2h^2}\left(1-\dfrac{1}{4}\right) = \dfrac{3}{4}\dfrac{\mu_H e^4}{8\varepsilon_0^2h^2}$. अत: संक्रमण

© NCERT not to be republished

की तरंगदैर्घ्य है $\lambda_H = \frac{3}{4}\frac{\mu_H e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c}$। ड्यूटीरियम के लिए संक्रमण की उसी रेखा की तरंगदैर्घ्य है $\lambda_D = \frac{3}{4}\frac{\mu_H e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c}$

$\therefore \Delta\lambda = \lambda_D - \lambda_H$

अत: अन्तर-प्रतिशत है-

$$100\times\frac{\Delta\lambda}{\lambda_H} = \frac{\lambda_D - \lambda_H}{\lambda_H}\times 100 = \frac{\mu_D - \mu_H}{\mu_H}\times 100$$

$$= \frac{\frac{m_e M_D}{(m_e + M_D)} - \frac{m_e M_H}{(m_e + M_H)}}{m_e M_H/(m_e + M_H)}\times 100$$

$$= \left[\left(\frac{m_e + M_H}{m_e + M_D}\right)\frac{M_D}{M_H} - 1\right]\times 100$$

क्योंकि $m_e << M_H < M_D$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_H}\times 100 = \left[\frac{M_H}{M_D}\times\frac{M_D}{M_H}\left(\frac{1+m_e/M_H}{1+m_e/M_D}\right) - 1\right]\times 100$$

$$= \left[(1+m_e/M_H)(1+m_e/M_D)^{-1} - 1\right]\times 100$$

$$; \left[(1+\frac{m_e}{M_H} - \frac{m_e}{M_D} - 1\right]\times 100$$

$$\approx m_e\left[\frac{1}{M_H} - \frac{1}{M_D}\right]\times 100$$

$$= 9.1\times 10^{-31}\left[\frac{1}{1.6725\times 10^{-27}} - \frac{1}{3.3374\times 10^{-27}}\right]\times 100$$

$$= 9.1\times 10^{-4}\,[0.5979 - 0.2996]\times 100$$

$$= 2.714 \times 10^{-2}\,\%$$

12.26 H-परमाणु में, एक बिंदु-नाभिक के लिए

निम्नतम स्तर: $mvr = \mathrm{h}, \frac{mv^2}{r_B} = -\frac{e^2}{r_B^{\,2}}\cdot\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

© NCERT not to be republished

$$\therefore m\frac{h^2}{m^2 r_B^2}.\frac{1}{r_B} = +\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)\frac{1}{r_B^2}$$

$$\therefore \frac{\hbar^2}{m}.\frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2} = r_B = 0.51\,\text{Å}$$

स्थितिज ऊर्जा

$$-\left(\frac{e^2}{4\pi r_0}\right).\frac{1}{r_B} = -27.2eV; K.E = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2}m.\frac{\hbar^2}{m^2 r_B^2} = \frac{\hbar}{2mr_B^2} = +13.6\text{eV}$$

R त्रिज्या के एक गोलीय नाभिक के लिए यदि

$R < r_B$, वही परिणाम।

यदि $R >> r_B$: इलेक्ट्रॉन r_B' (r_B' = नयी बोहर त्रिज्या) त्रिज्या के गोले के भीतर गतिमान है।

r_B' के भीतर आवेश $= e\left(\frac{r_B'^3}{R^3}\right)$

$$\therefore r_B' = \frac{h^2}{m}\left(\frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2}\right)\frac{R^3}{r_B'^3}$$

$$r_B'^4 = (0.51\,\text{Å}).R^3. \qquad R = 10\,\text{Å}$$

$$= 510(\text{Å})^4$$

$$\therefore r_B' \approx (510)^{1/4}\,\text{Å} < R.$$

$$\text{गतिज ऊर्जा} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{m}{2}.\frac{h}{m^2 r_B'^2} = \frac{h}{2m}.\frac{1}{r_B'^2}$$

$$= \left(\frac{h^2}{2mr_B^2}\right).\left(\frac{r_B^2}{r_B'^2}\right) = (13.6\text{eV})\frac{(0.51)^2}{(510)^{1/2}} = \frac{3.54}{22.6} = 0.16\text{eV}$$

$$\text{स्थितिज ऊर्जा} = +\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right).\left(\frac{r_B'^2 - 3R^2}{2R^3}\right)$$

$$= +\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{r_B}\right).\left(\frac{r_B(r_B'^2 - 3R^2}{R^3}\right)$$

© NCERT not to be republished

$$= +(27.2\text{eV})\left[\frac{0.51(\sqrt{510}-300)}{1000}\right]$$

$$= +(27.2\text{eV}).\frac{-141}{1000} = -3.83\text{eV}$$

12.27 क्योंकि नाभिक भारी है, परमाणु का प्रतिक्षिप्त संवेग नगण्य है तथा संक्रमण की कुल ऊर्जा को ओजे-इलेक्ट्रॉन को स्थानान्तरित मान सकते हैं क्योंकि Cr में एक संयोजी इलेक्ट्रॉन है, ऊर्जा अवस्थाओं को बोहर प्रतिरूप द्वारा प्रदत्त माना जा सकता है। nवीं अवस्था की ऊर्जा $E_n = -Z^2R\frac{1}{n^2}$ जहाँ R रिड्बर्ग नियतांक है तथा $Z = 24$

$n = 2$ से $n = 1$ के संक्रमण में मुक्त ऊर्जा है $\Delta E = Z^2R\left(1-\frac{1}{4}\right) = \frac{3}{4}Z^2R$

$n = 4$ इलेक्ट्रॉन को उत्क्षेपित करने के लिए आवश्यक ऊर्जा $E_4 = Z^2R\frac{1}{16}$

अत: ओजे इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा है-

$$K.E = Z^2R\left(\frac{3}{4}-\frac{1}{16}\right) = \frac{1}{16}Z^2R$$

$$= \frac{11}{16}\times 24\times 24\times 13.6\text{eV}$$

$$= 5385.6\text{ eV}$$

12.28 $m_p c^2 = 10^{-6} \times$ इलेक्ट्रॉन द्रव्यमान $\times c^2$

$$\approx 10^{-6}\times 0.5\,\text{MeV}$$

$$\approx 10^{-6}\times 0.5\times 1.6\times 10^{-13}$$

$$\approx 0.8\times 10^{-19}\,\text{J}$$

$$\frac{h}{m_p c} = \frac{hc}{m_p c^2} = \frac{10^{-34}\times 3\times 10^8}{0.8\times 10^{-19}} \approx 4\times 10^{-7} m >>$$ बोहर त्रिज्या

$$|\mathbf{F}| = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r^2}+\frac{\lambda}{r}\right]\exp(-\lambda r)$$

जहाँ $\lambda^{-1} = \frac{\hbar}{m_p c} \approx 4\times 10^{-7}\text{m} >> r_B$

© NCERT not to be republished

$\therefore \lambda << \frac{1}{r_B}$ अर्थात $\lambda r_B << 1$

$$U(r) = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{\exp(-\lambda r)}{r}$$

$mvr = \text{h} \therefore v = \frac{\text{h}}{mr}$

यह भी $: \frac{mv^2}{r} = \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)\left[\frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{r}\right]$

$$\therefore \frac{\text{h}^2}{mr^3} = \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)\left[\frac{1}{r^2} + \frac{\lambda}{r}\right]$$

$$\therefore \frac{\text{h}^2}{m} = \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)[r + \lambda r^2]$$

यदि $\lambda = 0; r = r_B = \frac{\text{h}}{m}.\frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2}$

$$\frac{\text{h}^2}{m} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}.r_B$$

क्योंकि $\lambda^{-1} >> r_B, r = r_B + \delta$ रखें

$\therefore r_B = r_B + \delta + \lambda(r_B^2 + \delta^2 + 2\delta r_B); \delta^2$ नगण्य है।

अथवा $0 = \lambda r_B^2 + \delta(1 + 2\lambda r_B)$

$\delta = \lambda r_B{}^2(1 - 2\lambda r_B) = -\lambda r_B{}^2$ क्योंकि $\lambda r_B << 1$

$$\therefore V(r) = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{\exp(-\lambda\delta - \lambda r_B)}{r_B + \delta}$$

$$\therefore V(r) = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r_B}\left[\left(1 - \frac{\delta}{r_B}\right).(1 - \lambda r_B)\right]$$

$\equiv (-27.2\text{eV})$ अपरिवर्तित रहता है।

© NCERT not to be republished

गतिज ऊर्जा $= -\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m.\frac{h^2}{mr^2} = \frac{h^2}{2(r_B+\delta)^2} = \frac{h^2}{2r_B^2}\left(1-\frac{2\delta}{r_B}\right)$

$= (13.6\text{eV})[1+2\lambda r_B]$

कुल ऊर्जा $= -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_B} + \frac{h^2}{2r_B^2}[1+2\lambda r_B]$

$= -27.2 + 13.6[1+2\lambda r_B]\text{eV}$

ऊर्जा में परिवर्तन $= 13.6\times 2\lambda r_B\text{eV} = 27.2\lambda r_B\text{eV}$

12.29 माना $\varepsilon = 2+\delta$

$F = \frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{R_0^\delta}{r^{2+\delta}} = \wedge\frac{R_0^\delta}{r^{2+\delta}}$, जहाँ $\frac{q_1q_2}{4\pi_0\varepsilon} = \wedge$, $\wedge = (1.6\times10^{-19})^2\times9\times10^9$

$= 23.04\times10^{-29}$

$= \frac{mv^2}{r}$

$v^2 = \frac{\wedge R_0^\delta}{mr^{1+\delta}}$

(i) $mvr = nh$, $r = \frac{nh}{mv} = \frac{nh}{m}\left[\frac{m}{\wedge R_0^\delta}\right]^{1/2} r^{1/2+\delta/2}$

इसे r के लिए हल करने पर $r_n = \left[\frac{n^2h^2}{m\wedge R_0^\delta}\right]^{\frac{1}{1-\delta}}$

$n = 1$ के लिए, तथा स्थिरांक के मान रखने पर, हमें प्राप्त होता है $r_1 = \left[\frac{\hbar^2}{m\wedge R_0^\delta}\right]^{\frac{1}{1-\delta}}$

$r_1 = \left[\frac{1.05^2\times10^{-68}}{9.1\times10^{-31}\times2.3\times10^{-28}\times10^{+19}}\right]^{\frac{1}{29}} = 8\times10^{-11} = 0.08$ nm

(< 0.1 nm)

(ii) $v_n = \frac{n\hbar}{mr_n} = n\hbar\left(\frac{m\wedge R_0^\delta}{n^2\hbar^2}\right)^{\frac{1}{1-\delta}}$ $n = 1$ के लिए, $v_1 = \frac{\hbar}{mr_1} = 1.44\times10^6$ m/s

© NCERT not to be republished

(iii) गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2} m w_1^2 = 9.43 \times 10^{-19}$ J=5.9eV

स्थतिज ऊर्जा R_0 तक $= -\frac{\wedge}{R_0}$

R_0 से r तक स्थितिज ऊर्जा $= + \wedge R_0^{\delta} \int_{R_0}^{r} \frac{dr}{r^{2+\delta}} = + \frac{\wedge R_0^{\delta}}{-1-\delta} \left[\frac{1}{r^{1+\delta}} \right]_{R_0}^{r}$

$$= -\frac{\wedge R_0^{\delta}}{1+\delta} \left[\frac{1}{r^{1+\delta}} - \frac{1}{R_0^{1+\delta}} \right] \text{ तक}$$

स्थितिज ऊर्जा $= -\frac{\wedge}{1+\delta} \left[\frac{R_0^{\delta}}{r^{1+\delta}} - \frac{1}{R_0} \right]$

$$= -\frac{\wedge}{1+\delta} \left[\frac{R_0^{\delta}}{r^{1+\delta}} - \frac{1}{R_0} + \frac{1+\delta}{R_0} \right]$$

$$= -\frac{\wedge}{-0.9} \left[\frac{R_0^{-1.9}}{r^{-0.9}} - \frac{1.9}{R_0} \right]$$

$$= \frac{2.3}{0.9} \times 10^{-18} [(0.8)^{0.9} - 1.9] \text{ J} = -17.3 \text{ eV}$$

कुल ऊर्जा है $(-17.3 + 5.9) = -11.4$ eV

अध्याय 13

13.1 (c)

13.2 (b)

13.3 (b)

13.4 (a)

13.5 (a)

13.6 (b)

13.7 (b)

13.8 (a), (b)

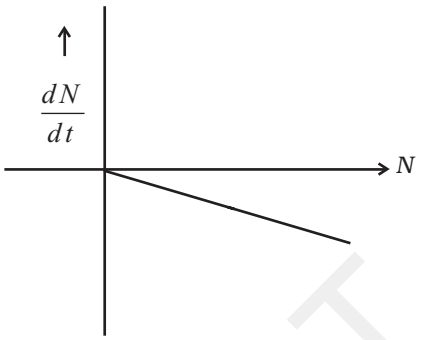
13.9 (b), (d)

© NCERT not to be republished

13.10 (c), (d)

13.11 नहीं, He^3 की बंधन ऊर्जा तुलनात्मक रूप से अधिक है।

13.12



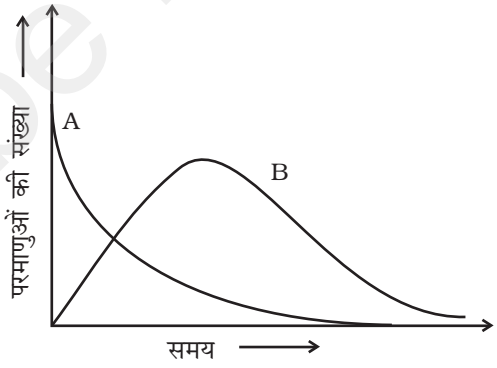
13.13 B की औसत आयु कम है क्योंकि B के लिए λ का मान अधिक है।

13.14 उत्तेजित इलेक्ट्रॉन, क्योंकि इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा स्तरों की ऊर्जा की परास eV में है, MeV में नहीं। γ-विकिरण की ऊर्जा MeV है।

13.15 दो फोटान उत्पन्न होते हैं, जो ऊर्जा-संरक्षण हेतु विपरीत दिशाओं में गति करते हैं।

13.16 प्रोटान धनावेशित होते हैं तथा एक दूसरे को विद्युतीय रूप से प्रतिकर्षित करतें हैं। 10 से अधिक प्रोटानों वाले नाभिक में यह प्रतिकर्षण इतना अधिक हो जाता है कि न्यूट्रानों की अधिकता जो केवल आकर्षण बल उत्पन्न करती है, स्थायित्व के लिए आवश्यक हो जाती है।

13.17



$t = 0$ पर $N_A = N_O$ जबकि $N_B = 0$ जैसे-जैसे समय में वृद्धि होती है, N_A का चर घातांकी रूप से पतन होता है, B के परमाणुओं की संख्या बढ़ती है, अधिकतम होती है और अन्त में ¥ पर शून्य हो जाती है (चर घातांकी विघटन नियमानुसार)

13.18 $t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{R_0}{R}$

© NCERT not to be republished

$$= \frac{5760}{0.693}\ln\frac{16}{12} = \frac{5760}{0.693}\ln\frac{4}{3}$$

$$= \frac{5760}{0.693}\times 2.303\log\frac{4}{3} = 2391.12 \text{ वर्ष}$$

13.19 d दूरी पर पृथक्कृत दो वस्तुओं को अलग करने हेतु अन्वेषी सिग्नल की तरंगदैर्घ्य λ, d से कम होनी चाहिए। अत: न्यूक्लियान के भीतर अलग-अलग भागों का संसूचन करने के लिए, इलेक्ट्रॉन की तरंगदैर्घ्य 10^{-15} m से कम होनी चाहिए।

$$\lambda = \frac{h}{p} \text{ और } K \approx pc \Rightarrow K \approx pc = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{1.6\times10^{-19}\times10^{-15}}\text{eV}$$

$$= 10^{9}\text{ eV.} = 1\text{ GeV}$$

13.20 (a) ${}^{23}_{11}\text{Na} : Z_1 = 11,\ N_1 = 12$

$\therefore\ {}^{23}_{11}\text{Na}$ का दर्पण सम्भारी $= {}^{23}_{12}\text{Mg}$

(b) क्योंकि $Z_2 > Z_1$, Mg की बन्धन ऊर्जा Na से अधिक है।

13.21 ${}^{38}\text{S} \xrightarrow[2.48\text{ h}]{} {}^{38}\text{Cl} \xrightarrow[0.62\text{ h}]{} {}^{38}\text{Ar}$

माना t समय पर, ${}^{38}\text{S}$ के पास $N_1(t)$ सक्रिय नाभिक तथा ${}^{38}\text{Cl}$ के पास $N_2(t)$ सक्रिय नाभिक हैं।

$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 = {}^{38}\text{Cl}$ के बनने की दर

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_1 N_2 + \lambda_1 N_1$$

लेकिन $N_1 = N_0 e^{-\lambda_1 t}$

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2$$

$e^{\lambda_2 t}\,dt$ से गुणा करके पुन: व्यवस्थित करने पर

$$e^{\lambda_2 t}\,dN_2 + \lambda_2 N_2 e^{\lambda_2 t} dt = \lambda_1 N_0 e^{(\lambda_2-\lambda_1)t}\,dt$$

दोनों पक्षों को समाकलित करने पर

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{N_0\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1} e^{(\lambda_2-\lambda_1)t} + C$$

क्योंकि $t = 0$, $N_2 = 0$, $C = -\frac{N_0\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}$

© NCERT not to be republished

$$\therefore N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{N_0 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}(e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} - 1)$$

$$N_2 = \frac{N_0 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

अधिकतम गिनती के लिए $\frac{dN_2}{dt} = 0$

हल करने पर $t = \left(\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) / (\lambda_1 - \lambda_2)$

$$= \ln \frac{2.48}{0.62} / (2.48 - 0.62)$$

$$= \frac{\ln 4}{1.86} = \frac{2.303 \log 4}{1.86}$$

$$= 0.745 \text{ s.}$$

13.22 ऊर्जा सरंक्षण से,

$$E - B = K_n + K_p = \frac{p_n^2}{2m} + \frac{p_p^2}{2m} \quad (1)$$

संवेग सरंक्षण से,

$$p_n + p_p = \frac{E}{c} \quad (2)$$

यदि $E = B$, प्रथम समी. से प्राप्त होता है $p_n = p_p = 0$ और इसलिए द्वितीय समी. सन्तुष्ट नही की जा सकती, तथा प्रक्रिया घटित नहीं हो सकती।

प्रक्रिया के घटित होने के लिए माना $E = B + \lambda$, जहाँ $\lambda << B$ तब समी. (1) से समी. (2) में p_n का मान रखने पर

$$\lambda = \frac{1}{2m}(p_p^2 + p_n^2) = \frac{1}{2m}\left(p_p^2 + (p_p - E/c)^2\right)$$

$$\therefore 2p_p^2 - \frac{2E}{c} p_p + \left(\frac{E^2}{c^2} - 2m\lambda\right) = 0$$

$$\therefore p_p = \frac{2E/c \pm \sqrt{4E^2/c^2 - 8\left(\frac{E^2}{c^2} - 2m\lambda\right)}}{4}$$

क्योंकि p_p के वास्तविक होने के लिए, सारिणिक को धनात्मक होना चाहिए

© NCERT not to be republished

$$\frac{4E^2}{c^2} - 8\left(\frac{E^2}{c^2} - 2m\lambda\right) = 0$$

अथवा, $16m\lambda = \frac{4E^2}{c^2}$, $\therefore \lambda = \frac{E^2}{4mc^2} \approx \frac{B^2}{4mc^2}$.

13.23 H परमाणु में बंधन ऊर्जा $E = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} = 13.6\,\text{eV}$ (1)

यदि प्रोटान और न्यूट्रॉन प्रत्येक पर आवेश e' था तथा वे एकसमान वैद्युतस्थैतिक बलों के अधीन थे, तब उपरोक्त समीकरण में इलेक्ट्रॉनिक द्रव्यमान m को प्रोटान-न्यूट्रॉन के समानीत द्रव्यमान m' तथा इलेक्ट्रॉनिक आवेश e को e' से प्रतिस्थापित करने की आवश्यकता है:

$$m' = \frac{M}{2} = \frac{1836m}{2} = 918m$$

$$\therefore \text{बन्धन ऊर्जा } = \frac{918me'}{8\varepsilon_0^2 h^2} = 2.2\text{MeV} \quad \text{(दिया है)} \qquad (2)$$

(2) को (1) से भाग देने पर

$$918\left(\frac{e'}{e}\right)^4 = \frac{2.2\text{MeV}}{13.6\,\text{eV}}$$

$$\Rightarrow \frac{e'}{e} \approx 11$$

13.24 β विघटन से पूर्व, न्यूट्रॉन विराम में हैं, अत: $E_n = m_n c^2$, $p_n = 0$

β विघटन के पश्चात संवेग सरंक्षण से

$$\mathbf{p}_n = \mathbf{p}_p + \mathbf{p}_e$$

या $\mathbf{p}_p + \mathbf{p}_e = 0 \Rightarrow |\mathbf{p}_p| = |\mathbf{p}_e| = p$

$$E_p = (m_p{}^2c^4 + p_p{}^2c^2)^{\frac{1}{2}},$$

$$E_e = (m_e{}^2c^4 + p_e{}^2c^2)^{\frac{1}{2}} = (m_e{}^2c^4 + p_pc^2)^{\frac{1}{2}}$$

ऊर्जा संरक्षण से

$$(m_p{}^2c^4 + p^2c^2)^{\frac{1}{2}} + (m_e{}^2c^4 + p^2c^2)^{\frac{1}{2}} = m_nc^2$$

© NCERT not to be republished

$m_p c^2 \approx 936\text{MeV}, m_n c^2 \approx 938\text{MeV}, m_e c^2 = 0.51\text{MeV}$

क्योंकि n तथा p के मध्य ऊर्जान्तर न्यून है, pc का मान न्यून होगा। $pc << m_p c^2$, जबकि pc, $m_e c^2$ से अधिक हो सकती है।

$$\Rightarrow m_p c^2 + \frac{p^2 c^2}{2 m_p{}^2 c^4} ; \; m_n c^2 - pc$$

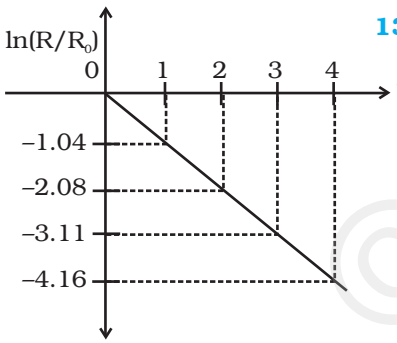
प्रथम क्रम तक pc ; $m_n c^2 - m_p c^2 = 938\text{MeV} - 936\text{MeV} = 2\text{MeV}$

इससे संवेग प्राप्त होता है।

तब,

$$E_p = (m_p{}^2 c^4 + p^2 c^2)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{936^2 + 2^2} \; ; \; 936\,\text{MeV}$$

$$E_e = (m_e{}^2 c^4 + p^2 c^2)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{(0.51)^2 + 2^2} \; ; \; 2.06\,\text{MeV}$$



13.25 (i) $t_{1/2} = 40$ मिनट (लगभग)

(ii) ग्राफ का ढाल = $-\lambda$

अतः $\lambda = -\left(\frac{-4.16+3.11}{1}\right) = 1.05\text{h}$

अतः $t_{1/2} = \frac{0.693}{1.05} = 0.66\text{h} = 39.6$ मिनट *or* 40 मिनट (लगभग)

13.26 (i) $S_{pSn} = (M_{119,70} + M_H - M_{120,70})c^2$

$= (118.9058 + 1.0078252 - 119.902199)c^2$

$= 0.0114362\, c^2$

$S_{pSb} = (M_{120,70} + M_H - M_{121,70})c^2$

$= (119.902199 + 1.0078252 - 120.903822)c_2$

$= 0.0059912\, c^2$

चूँकि $S_{pSn} > S_{pSb}$, Sn नाभिक, Sb नाभिक से अधिक स्थायी है।

(ii) यह नाभिक के लिए उसी प्रकार की कोशिय संरचना को प्रदर्शित करता है जैसा कि परमाणु में होता है। यह बंधन ऊर्जा तथा न्यूक्लान संख्या के बीच खिंचे वक्र में उपस्थित शिखरों की भी व्याख्या करता है।

© NCERT not to be republished

अध्याय 14

14.1 (d)

14.2 (b)

14.3 (b)

14.4 (d)

14.5 (b)

14.6 (c)

14.7 (b)

14.8 (c)

14.9 (a), (c)

14.10 (a), (c)

14.11 (b), (c), (d)

14.12 (b), (c)

14.13 (a), (b), (d)

14.14 (b), (d)

14.15 (a), (c), (d)

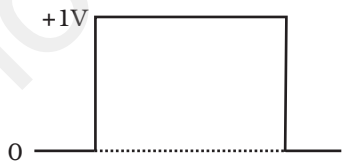
14.16 (a), (d)

14.17 मादित किए जाने वाले परमाणु का साइज ऐसा होना चाहिए कि यह शुद्ध अर्द्धचालक के किस्टल जालक की संरचना को तो विकृत न करे परन्तु Si या Ge के साथ सह-संयोजी बंध सरलतापूर्वक निर्मित कर एक आवेश वाहक का योगदान कर सके।

14.18 परमाणु साइज के अनुसार Sn के लिए ऊर्जा अन्तराल 0 eV, C के लिए 5.4 eV, Si के लिए 1.1 eV तथा Ge के लिए 0.7eV है।

14.19 जी नहीं, क्योंकि संधि-प्रतिरोध की तुलना में वोल्टमीटर का प्रतिरोध अत्युच्च होना ही चाहिए, जबकि संधि प्रतिरोध लगभग अनन्त है।

14.20



14.21 (i) $10 \times 20 \times 30 \times 10^{-3} = 6V$

(ii) यदि dc प्रदाय वोल्टता 5V है तो अधिकतम निर्गम V_{cc} 5V से अधिक नहीं हो सकता।
अतः, $V_0 = 5V$

© NCERT not to be republished

14.22 नहीं, आवर्धित निर्गम के लिए वांछित अतिरिक्त शक्ति DC स्रोत से प्राप्त होती है।

14.23 (i) जेनर संधि डायोड तथा सौर सेल

(ii) जेनर भंजक वोल्टता

(iii) Q- लघु पथन धारा

P- खुले परिपथ की वोल्टता

14.24 आपतित प्रकाश के फोटॉन की ऊर्जा

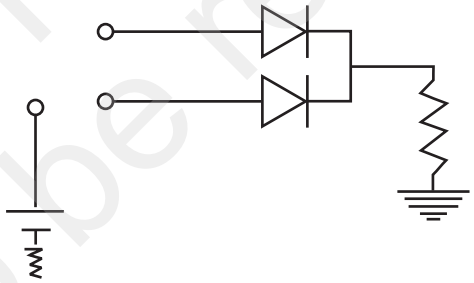
$$h\upsilon = \frac{6.6\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{6\times10^{-7}\times1.6\times10^{-19}} = 2.06eV$$

आपतित विकिरण, फोटोडायोड द्वारा संसूचित हो सके इसके लिए आपतित विकिरण फोटॉनों की ऊर्जा बैंड-अन्तराल से अधिक होनी चाहिए। यह शर्त केवल D_2 द्वारा पूरी होती है। अत: केवल D_2 ही इन विकिरणों को संसूचित करेगा।

14.25 $I_B = \dfrac{V_{BB} - V_{BE}}{R_1}$

यदि R_1 का मान बढ़ाया जाएगा तो I_B का मान कम होगा। क्योंकि $I_c = \beta I_b$, परिणाम यह होगा कि I_C भी कम हो जाएगा अर्थात एमीटर और वोल्टमीटर के पाठ्यांक कम हो जाएँगे।

14.26



OR द्वार का निर्गम नीचे दी गई सत्यमान सारणी के अनुसार होता है:

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

© NCERT not to be republished

14.27

निवेश	निर्गत
A	A
0	1
1	0

14.28 तत्वीय अर्द्धचालकों के ऊर्जा-अन्तराल ऐसे होते हैं कि उत्सर्जन *IR* क्षेत्र में होता है।

14.29 सत्यमान सारणी

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND द्वार

14.30 $I_{Z\max} = \frac{P}{V_Z} = 0.2\text{A} = 200\,\text{mA}$

$$R_S = \frac{V_s - V_Z}{I_{Z\max}} = \frac{2}{0.2} = 10\,\Omega$$

14.31 I_3 शून्य है क्योंकि इस शाखा में लगा डायोड पश्च-बायसित है। AB एवं EF में से प्रत्येक में प्रतिरोध $(125 + 25)\,\Omega = 150\,\Omega$ है।

क्योंकि AB एवं EF सर्वसम समान्तर शाखाएँ हैं, इनका प्रभावी प्रतिरोध है, $\frac{150}{2} = 75\Omega$

$\therefore$ परिपथ में कुल प्रतिरोध $= (75 + 25)\ \Omega = 100\ \Omega$

$\therefore$ धारा $I_1 = \frac{5}{100} = 0.05\text{A}$

क्योंकि AB और EF के प्रतिरोध बराबर हैं तथा $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$, $I_5 = 0$

$$\therefore I_2 = I_4 = \frac{0.05}{2} = 0.025\text{A}$$

14.32 क्योंकि $V_{be} = 0$, R_b पर विभवपात 10V है।

$$\therefore I_b = \frac{10}{400\times10^3} = 25\mu A$$

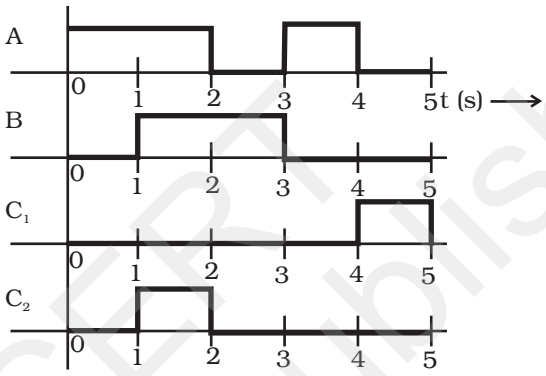
© NCERT not to be republished

क्योंकि $V_{ce} = 0$, R_c, पर विभवपात I_cR_c 10V.

$$\therefore I_c = \frac{10}{3\times10^3} = 3.33\times10^{-3} = 3.33mA\,.$$

$$\therefore \beta = \frac{I_c}{I_b} = \frac{3.33\times10^{-3}}{25\times10^{-6}} = 1.33\times10^2 = 133.$$

14.33



14.34 निर्गम अभिलाक्षणिक वक्र के बिन्दु Q पर, V_{CE} = 8V & I_C = 4mA

$$V_{CC} = I_CR_C + V_{CE}$$

$$R_c = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

$$R_c = \frac{16-8}{4\times10^{-3}} = 2K\Omega$$

चूँकि

$$V_{BB} = I_BR_B + V_{BE}$$

$$R_B = \frac{16-0.7}{30\times10^{-6}} = 510K\Omega$$

अब, $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{4\times10^{-3}}{30\times10^{-6}} = 133$

वोल्टता लब्धि $= A_V = -\beta\frac{R_C}{R_B}$

$$= -133\times\frac{2\times10^3}{510\times10^3}$$

$$= 0.52$$

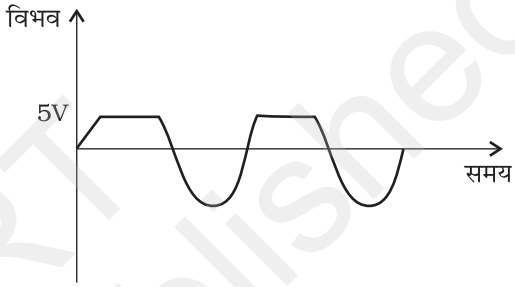
© NCERT not to be republished

शक्ति लब्धि = $A_p = \beta \times A_V$

$= -\beta^2 \frac{R_C}{R_B}$

$= (133)^2 \times \frac{2 \times 10^3}{510 \times 10^3} = 69$

14.35 जब निवेशित वोल्टता 5V से अधिक होती है तो डायोड से धारा प्रवाहित होती है। जब निवेश 5V से कम होता है तो डायोड एक खुला परिपथ होता है।



14.36 (i) 'n' क्षेत्र में As के कारण e^- की संख्या

$n_e = N_D = 1 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{28}$ परमाणु/m^3

$n_e = 5 \times 10^{22}/m^3$

अल्पांश वाहकों (होलों) की संख्या

$n_h = \frac{n_i^2}{n_e} = \frac{(1.5 \times 10^{16})^2}{5 \times 10^{22}} = \frac{2.25 \times 10^{32}}{5 \times 10^{22}}$

$n_h = 0.45 \times 10/m^3$

इसी प्रकार जब बोरॉन का आरोपण किया जाता है, तो 'p' प्रकार निर्मित होता है। जिसमें होलों की संख्या

$n_h = N_A = 200 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{28}$

$= 1 \times 10^{25}/m^3$

यह उस n- प्रकार की परत में विद्यमान e^- की संख्या की तुलना में बहुत अधिक है जिसमें बोरॉन विसरित किया गया था।

इस प्रकार निर्मित 'p' क्षेत्र में अल्पांश वाहकों की संख्या

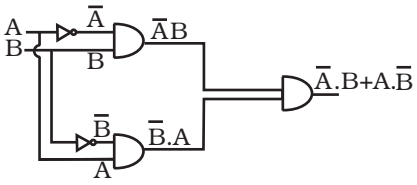
$n_e = \frac{n_i^2}{n_h} = \frac{2.25 \times 10^{32}}{1 \times 10^{25}}$

$= 2.25 \times 10^7/m^3$

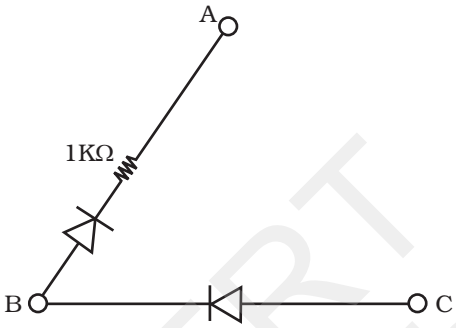
(ii) अत: पश्च बायसित करने पर n- क्षेत्र में विद्यमान $0.45 \times 10^{10}/m^3$ होल, p- क्षेत्र के $2.25 \times 10^7/m^3$ अल्पांश e^- की तुलना में पश्च संतृप्ति धारा के लिए अधिक योगदान करेंगे।

© NCERT not to be republished

14.37



14.38



14.39 $I_C \approx I_E \;\therefore\; I_C(R_C + R_E) + V_{CE} = 12$ V

$R_E = 9 - R_C = 1.2$ KΩ

$\therefore\; V_E = 1.2$ V

$V_B = V_E + V_{BE} = 1.7$ V

$$I = \frac{V_B}{20K} = 0.085\,\text{mA}$$

$$R_B = \frac{12-1.7}{I_C/\beta + 0.085} = \frac{10.3}{0.01+1.085} = 108\,\text{K}\Omega$$

14.40 $I_E = I_C + I_B \qquad I_C = \beta I_B$ (1)

$I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E = V_{CC}$ (2)

$RI_B + V_{BE} + I_E R_E = V_{CC}$ (3)

समीकरण (3) से $I_e \approx I_C = \beta I_B$

$$(R + \beta R_E) = V_{CC} - V_{BE}, \quad I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R + \beta R_E} = \frac{11.5}{200}\,\text{mA}$$

समीकरण (2) से

$$R_C + R_E = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{\beta I_B} = \frac{2}{11.5}(12-3)\text{K}\Omega = 1.56\text{K}\Omega$$

$R_C = 1.56 - 1 = 0.56$KΩ

© NCERT not to be republished

अध्याय 15

15.1 (b)

15.2 (a)

15.3 (b)

15.4 (a)

15.5 (b)

15.6 (c)

15.7 (b)

15.8 (b)

15.9 (c)

15.10 (a), (b), (d)

15.11 (b), (d)

15.12 (b), (c), (d)

15.13 (a), (b), (c)

15.14 (b), (d)

15.15 (i) अनुरूप

(ii) अनुरूप

(iii) अंकीय

(iv) अंकीय

15.16 नहीं, 30 MHz से अधिक आवृत्ति के सिग्नल, आयनमण्डल द्वारा परावर्तित नहीं होंगे बल्कि अंतर्वेधन करेंगे।

15.17 अपवर्तनांक, आवृत्ति बढ़ने के साथ-साथ बढ़ता है जिसका अर्थ यह है कि उच्चतर आवृत्ति तरंगों के लिए अपवर्तन कोण कम होता है, अर्थात मुड़ना कम होता है। अतः पूर्ण आन्तरिक परावर्तन की दशा अधिक दूरी तय करने पर प्राप्त होती है।

15.18 $A_c + A_m = 15,\ A_c - A_m = 3$

$\therefore\ 2A_c = 18,\ 2A_m = 12$

$$\therefore\ m = \frac{A_m}{A_c} = \frac{2}{3}$$

15.19 $$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 1\text{MHz}$$

© NCERT not to be republished

$$\sqrt{LC} = \frac{1}{2\pi \times 10^6}$$

15.20 आयाम-माडुलन में, वाही तरंगों का तत्कालिक विभव माडुलक तरंग विभव द्वारा परिवर्तित होता है। सम्प्रेषण में नॉयज सिग्नल भी जुड़ सकते हैं और ग्राही, नॉयज को, माडुलेटिंग सिग्नल के एक भाग की भाँति व्यवहार करता है। परन्तु आवृत्ति माडुलन में, माडुलक विभव के तत्कालिक विभवानुसार वाही तरंग आवृत्ति परिवर्तित की जाती है। यह केवल मिश्रण/माडुलन स्तर पर किया जा सकता है, सिग्नल के चैनल मे संचरण के दौरान नहीं। अत: नॉयज आवृत्ति माडुलित सिग्नल को प्रभावित नहीं करती।

15.21 संचरण पथ में हुई हानि

$= -2 \text{ dB km}^{-1} \times 5 \text{ km} = -10 \text{ dB}$

प्रवर्धक का कुल लाभ $= 10 \text{ dB} + 20 \text{ dB}$

$= 30 \text{ dB}$

सिगनल का सम्पूर्ण लाभ $= 30 \text{ dB} - 10 \text{ dB}$

$= 20 \text{ dB}$

$10 \log\left(\frac{P_o}{P_i}\right) = 12$ अथवा $P_o = P_i \times 10^2$

$= 1.01 \text{ mW} \times 100 = 101 \text{ mW}$

15.22 (i) परास $= \sqrt{2 \times 6.4 \times 10^6 \times 20} = 16 \text{ km}$

आच्छादित क्षेत्रफल $= 803.84 \text{ km}^2$

(ii) परास $= \sqrt{2 \times 6.4 \times 10^6 \times 20} + \sqrt{2 \times 6.4 \times 10^6 \times 25}$

$= (16 + 17.9) \text{ km} = 33.9 \text{ km}$

आच्छादित क्षेत्रफल $= 3608.52 \text{ km}^2$

(iii) क्षेत्रफल में प्रतिशत वृद्धि

$$= \frac{(3608.52 - 803.84)}{803.84} \times 100$$

$= 348.9\%$

15.23 $d_m^2 = 2(R + h_T)^2$

$8Rh_T = 2(R+h_T)^2$ $\quad (Q\ dm = 2\sqrt{2Rh_T})$

$4Rh_T = R^2 + h_T^2 + 2Rh_T$

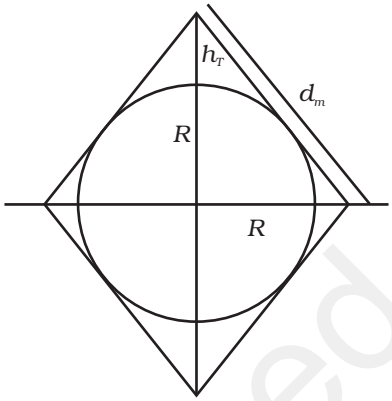
© NCERT not to be republished

$(R - h_T)^2 = 0$

$R = h_T$

क्योंकि केवल आकाश तरंग आवृत्ति प्रयुक्त हुई है $1 << h_T$ अतः केवल मीनार की ऊँचाई का विचार करें।

त्रिविमीय आकाश में, 6 एन्टेना-मीनार प्रयुक्त होंगे। $h_T = R$



15.24 F_1 परत के लिए

$$5 \times 10^6 = 9(N_{max})^{1/2} \text{ or } N_{max} = \left(\frac{5}{9} \times 10^6\right)^2 = 3.086 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$$

F_2 परत के लिए

$8 \times 10^6 = 9\ (N_{max})^{1/2}$ or

$$N_{max} = \left(\frac{8}{9} \times 10^6\right) = 7.9 \times 10^{11} \text{m}^{-3} = 7.9 \times 10^{11} \text{ m}^{-3}$$

15.25 $\omega_c - \omega_m$, ω_c एवं $\omega_m + \omega_m$ में से केवल $\omega_c + \omega_m$ या $\omega_c - \omega_m$ में सूचना निहित है। अतः $\omega_c + \omega_m$, तथा $\omega_c - \omega_m$, दोनों को सम्प्रेषित करके लागत कम की जा सकती है। $\omega_c + \omega_m$ व $\omega_c - \omega_m$

15.26 (i) $\frac{I}{I_o} = \frac{1}{4}$, अतः $\ln\left(\frac{1}{4}\right) = -\alpha x$

अथवा $\ln 4 = \alpha x$ अथवा $x = \left(\frac{ln4}{\alpha}\right)$

(ii) $10\log_{10}\frac{I}{I_o} = -\alpha x$ जहाँ 'a' मे क्षीणन है dB/km

यहाँ $\frac{I}{I_o} = \frac{1}{2}$

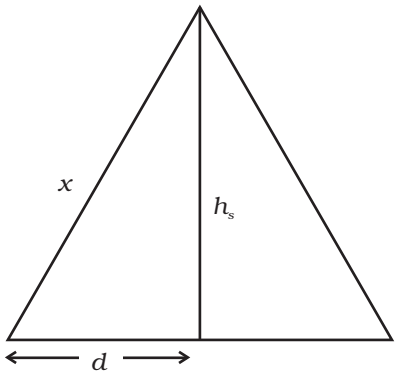
अथवा $10\log\left(\frac{1}{2}\right) = -50\alpha$ अथवा $\log 2 = 5\alpha$

अथवा $\alpha = \frac{\log 2}{5} = \frac{0.3010}{5} = 0.0602 d\text{B/km}$

15.27 $\frac{2x}{\text{समय}} = \text{वेग}$

$2x = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \times 4.04 \times 10^{-3}\text{s}$

$$x = \frac{12.12 \times 10^5}{2} \text{m}$$



© NCERT not to be republished

$x = 6.06 \times 10^5 \text{m} = 606 \text{ km}$

$d^2 = x^2 - h_s^2 = (606)^2 - (600)^2$

$= 7236;\ d = 85.06 \text{ km}$

स्रोत तथा ग्राही के मध्य दूरी

$= 2d \cong 170 \text{ km}$

$d_m = 2\sqrt{2Rh_T}$

$2d = d_m$

$4d^2 = 8\,Rh_T$

$\frac{d^2}{2R} = h_T = \frac{7236}{2 \times 6400} \approx 0.565 \text{ km}$

$h_T = 565\text{m}$

15.28 चित्र से,

$V_{max} = \frac{100}{2} = 50\text{V},\ V_{min} = \frac{20}{2} = 10\text{ V}$

(i) प्रतिशत माडुलन

$$\mu(\%) = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} \times 100 = \left(\frac{50-10}{50+10}\right) \times 100 = \frac{40}{60} \times 100 = 66.67\%$$

(ii) शीर्ष वाही विभव $V_c = \frac{V_{max} + V_{min}}{2}$

$= \frac{50+10}{2} = 30\text{V}$

(iii) शीर्ष सूचना विभव $= V_m = \mu V_c$

$= \frac{2}{3} \times 30 = 20\text{V}$

15.29 (i) $v(t) = A(A_{m_1} \sin \omega_{m_1} t + A_{m_2} \sin \omega_{m_2} t + A_c \sin \omega_c t)$

$+ B(A_{m_1} \sin \omega_{m_1} t + A_{m_2} \sin \omega_{m_2} t + A_c \sin \omega_c t)^2$

$= A(A_{m_1} \sin \omega_{m_1} t + A_{m_2} \sin \omega_{m_2} t + A_c \sin \omega_c t)$

$+ B((A_{m_1} \sin \omega_{m_1} t + A_{m_2} t)^2 + A_c^2 \sin^2 \omega_c t$

$+ 2A_c(A_{m_1} \sin \omega_{m_1} t + A_{m_2} \sin \omega_c t)$

© NCERT not to be republished

$$= A(A_1 \sin \omega_{m_1} t + A_{m_2} \sin \omega_{m_2} t + A_c \sin \omega_c t)$$
$$+ B[A_{m_1}^2 \sin^2 \omega_{m_1} t + A_{m_2}^2 sin^2 \omega_{m_2} t + 2 A_{m_1} A_{m_2} \sin \omega_{m_1} t \sin \omega_{m_2} t$$
$$+ A_c^2 \sin^2 \omega_c t + 2 A_c (A_{m_1} sin \omega_{m_1} t \sin \omega_c t + A_{m_2} \sin \omega_{m_2} + \sin \omega_c t]$$

$$= A(A_{m_1} \sin \omega_{m_1} t + A_{m_2} \sin \omega_{m_2} t + A_c \sin \omega_c t)$$
$$+ B[A_{m1}^2 \sin^2 \omega_{m_1} t + A_{m_2}^2 sin^2 \omega_{m_2} t + A_c^2 \sin^2 \omega_c t$$
$$+ \frac{2 A_{m_1} A_{m_2}}{2} [\cos(\omega_{m_2} - \omega_{m_1})t - \cos(\omega_{m_1} + \omega_{m_2})t]$$

$$+ \frac{2 A_c A_{m_2}}{2} [\cos(\omega_c - \omega_{m_1})t - \cos(\omega_c + \omega_{m_1})t]$$

$$+ \frac{2 A_c A_{m_1}}{2} [\cos(\omega_c - \omega_{m_2})t - \cos(\omega_c + \omega_{m_2})t]$$

∴ विद्यमान आवृत्तियाँ

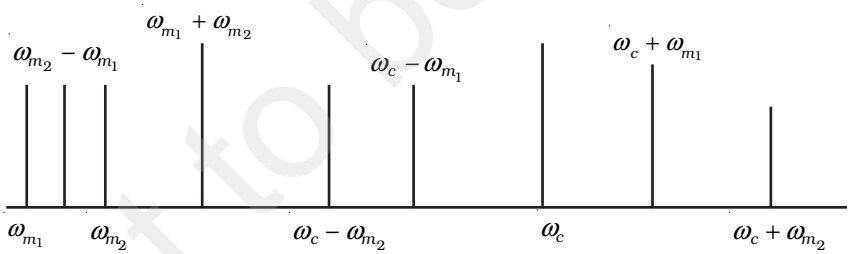
$\omega_{m_1}, \omega_{m_2}, \omega_c$

$(\omega_{m_2} - \omega_{m_1}), (\omega_{m_1} + \omega_{m_2})$

$(\omega_c - \omega_{m_1}), (\omega_c + \omega_{m_1})$

$(\omega_c - \omega_{m_2}), (\omega_c - \omega_{m_2})$

(i) आयाम का ω के साथ वक्र चित्र में दर्शाया गया है।



(ii) जैसा कि देखा जा सकता है कि आवृत्ति स्पेक्ट्रम ω_c पर सममित नही है। $\omega < \omega_c$ पर स्पेक्ट्रम का संघनन विद्यमान है।

(iii) अधिक माडुलन सिग्नल के जुड़ने पर $\omega < \omega_c$ में अधिक संघनन होता है और सिग्नल के मिश्रित होने की सम्भावना बढ़ जाती है।

(iv) अधिक सिग्नलों को सम्मिलित करने के लिए बैण्ड चौड़ाई तथा ω_c बढ़ानी चाहिए। यह प्रदर्शित करता है कि बड़ी वाही आवृत्ति अधिक सूचना (अधिक ω_m) का वहन कर सकती है और जो परिणामत: बैण्ड चौड़ाई को बढ़ाएगा।

© NCERT not to be republished

15.30 $f_m = 1.5\text{kHz}, \frac{1}{f_m} = 0.7 \times 10^{-3}$ s

$f_c = 20\text{MHz}, \frac{1}{f_c} = 0.5 \times 10^{-7}$ s

(i) $RC = 10^3 \times 10^{-8} = 10^{-5}$ s

अत: $\frac{1}{f_c} << RC < \frac{1}{f_m}$ संतुष्ट होता है

अत: यह विमाडुलित हो सकती है।

(ii) $RC = 10^4 \times 10^{-8} = 10^{-4}$ s

यहाँ $\frac{1}{f_c} << RC < \frac{1}{f_m}$

अत: यह भी विमाडुलित हो सकती है।

(iii) $RC = 104 \times 10^{-12} = 10^{-8}$ s

यहाँ $\frac{1}{f_c} > RC$, अत: यह विमाडुलित नहीं हो सकती।

© NCERT not to be republished

प्रश्न पत्र का डिज़ाइन

भौतिकी

कक्षा XII

समय : 3 घंटे **अधिकतम अंक : 70**

प्रश्न पत्र के विभिन्न आयामों पर अंकों का वितरण निम्नवत होगा–

A. विषय वस्तु/पाठ-इकाइयों के अनुसार अंक वितरण

क्र. सं.	इकाई	अंक
1.	स्थिरवैद्युतिकी	08
2.	विद्युत धारा	07
3.	धारा का चुम्बकीय प्रभाव और चुम्बकत्व	08
4.	वैद्युत चुम्बकीय प्रेरण और प्रत्यावर्ती धारा	08
5.	विद्युत चुम्बकीय तरंगें	03
6.	प्रकाशिकी	14
7.	विकिरण तथा द्रव्य की द्वैत प्रकृति	04
8.	परमाणु और नाभिक	06
9.	अर्धचालक इलेक्ट्रॉनिकी	07
10.	संचार व्यवस्था	05
	योग	**70**

B. प्रश्नों के प्रकार के अनुसार अंक वितरण

क्र. सं.	प्रश्न का प्रकार	प्रत्येक प्रश्न में अंक	प्रश्नों की संख्या	कुल अंक
1.	दीर्घ उत्तरीय प्रश्न (LA)	5	3	15
2.	लघु उत्तरीय प्रश्न (I) SA (I)	3	09	27
3.	लघु उत्तरीय प्रश्न (II) SA (II)	2	10	20
4.	अति लघु उत्तरीय प्रश्न (VSA) बहु-विकल्पीय प्रश्न (MCQ)	1	08	08
	योग	–	**30**	**70**

© NCERT not to be republished

1 अंक के प्रश्न अति लघु उत्तरीय (VSA) प्रकार के हो सकते हैं या फिर ऐसे बहु-विकल्पी प्रश्न (MCQ) हो सकते हैं जिनमें केवल एक ही विकल्प सही हो।

C. वैकल्पिक प्रश्नों की योजना

1. प्रश्न-पत्र में समग्र पर कोई विकल्प (ओवर आल चयन) नहीं है।

2. कुछ प्रश्नों में अत्यंत चयनात्मक आधार पर आंतरिक चयन (यह या फिर यह प्रकार) की सुविधा दी गई है।

D. प्रश्नों के कठिनाई स्तर के अनुसार अंक वितरण

क्र.सं.	अनुमानित कठिनाई स्तर	अंक वितरण (प्रतिशत)
1.	असान	15
2.	मध्यम	70
3.	कठिन	15

© NCERT not to be republished

प्रतिदर्श प्रश्न पत्र I
ब्लू प्रिंट (रूपरेखा)

विषय	VSA (1 अंक)	SA II (2 अंक)	SA I (3 अंक)	LA (5 अंक)	योग
I स्थिरवैद्युतिकी	1(1)	4 (2)	3 (1)	—	8 (4)
II विद्युत धारा	1 (1)	—	6 (2)	—	7 (3)
III धारा का चुम्बकीय प्रभाव और चुम्बकत्व	1 (1)	2 (1)	—	5 (1)	8 (3)
IV विद्युत चुम्बकीय प्रेरण और प्रत्यावर्ती धारा	1(1)	2 (1)	—	5 (1)	8 (3)
V विद्युत चुम्बकीय तरंगें	1 (1)	2 (1)	—	—	3 (2)
VI प्रकाशिकी	—	—	9 (3)	5 (1)	14 (4)
VII विकिरण तथा द्रव्य की द्वैत प्रकृति	—	4 (2)	—	—	4 (2)
VIII परमाणु और नाभिक	1(1)	2 (1)	3 (1)	—	6 (3)
IX अर्धचालक इलेक्ट्रॉनिकी	2 (2)	2 (1)	3 (1)	—	7 (4)
X संचार व्यवस्था	—	2 (1)	3 (1)	—	5 (2)
योग	**8 (8)**	**20 (10)**	**27 (9)**	**15 (3)**	**70 (30)**

© NCERT not to be republished

प्रतिदर्श प्रश्न पत्र I
भौतिकी
कक्षा 12

समय : 3 घंटे **अधिकतम अंक : 70**

सामान्य निर्देश :

(i) सभी प्रश्न अनिवार्य हैं।

(ii) इस प्रश्न पत्र में **30** प्रश्न हैं। प्रश्न **1** से **8** तक के प्रश्न एक अंक के हैं, प्रश्न **9** से **18** तक के प्रत्येक प्रश्न दो अंकों के, प्रश्न **19** से **27** तक के प्रत्येक प्रश्न तीन अंकों के तथा प्रश्न **28** से **30** तक के प्रत्येक प्रश्न पाँच अंकों के हैं।

(iii) प्रश्न पत्र में समग्र पर कोई विकल्प नहीं है। तथापि, **पाँच** अंक के तीनों प्रश्नों में आन्तरिक विकल्प दिये गये हैं। ऐसे प्रश्नों में से आपको केवल एक विकल्प का उत्तर देना है।

(vi) कैलकुलेटर के उपयोग की अनुमति **नहीं** है।

(v) जहाँ आवश्यक हो आप निम्नलिखित नियतांकों के मानों का उपयोग कर सकते हैं–

$c = 3 \times 10^{8}\,\text{m s}^{-1}$

$h = 6.6 \times 10^{-34}\,\text{J s}$

$e = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{C}$

$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}\,\text{T m A}^{-1}$

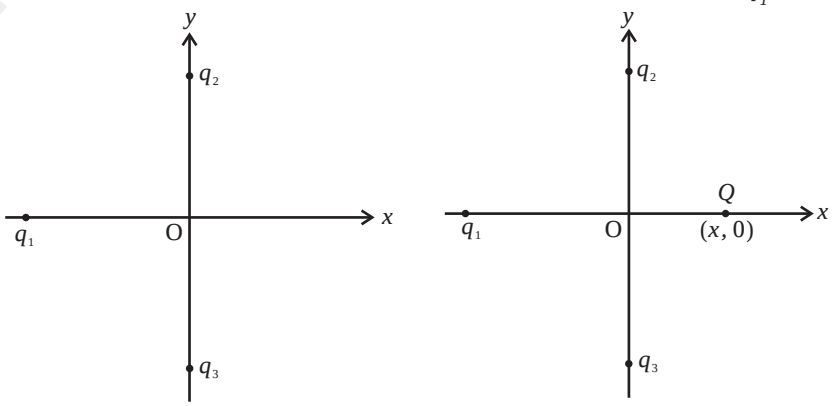
$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^{9}\,\frac{\text{Am}^2}{\text{C}^2}$$

बोल्ट्ज़मान नियतांक, $k = 1.38 \times 10^{23}\,\text{JK}^{-1}$

एवोगाद्रो संख्या $N_A = 6.023 \times 10^{23}/\text{mole}$

न्यूट्रॉन का द्रव्यमान $m_n = 1.6 \times 10^{-27}\,\text{kg}$

1. चित्र 1.1 में y-अक्ष के अनुदिश स्थित दो वैद्युत आवेश q_2 तथा q_3, x-अक्ष के अनुदिश स्थित वैद्युत आवेश q_1 पर, $+x$ दिशा में कोई नेट विद्युत बल आरोपित करते हैं। यदि $(x, 0)$, पर कोई धनावेश Q रख दिया जाए तो q_1 पर आरोपित बल



© NCERT not to be republished

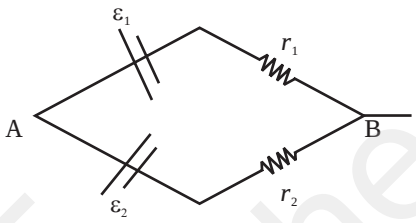
(a) धनात्मक x-अक्ष के अनुदिश बढ़ जाएगा।

(b) धनात्मक x-अक्ष के अनुदिश घट जाएगा।

(c) ऋणात्मक x-अक्ष के अनुदिश संकेत करेगा।

(d) बढ़ जाएगा परन्तु q_2 एवं q_3 के साथ Q के प्रतिच्छेदन के कारण दिशा परिवर्तित हो जाएगी।

2. दो बैटरियाँ जिनके emf ε_1 तथा ε_2 $[\varepsilon_2 > \varepsilon_1]$ तथा आन्तरिक प्रतिरोध क्रमशः r_1 तथा r_2 हैं, चित्र में दर्शाए अनुसार पार्श्व क्रम में संयोजित हैं।



(a) दोनों सेलों का तुल्य विद्युत वाहक बल $\varepsilon_{\text{तुल्य}}$, ε_1 तथा ε_2 के बीच अर्थात्, $\varepsilon_1 < \varepsilon_{\text{तुल्य}} < \varepsilon_2$ है।

(b) तुल्य विद्युत वाहक बल $\varepsilon_{\text{तुल्य}}$, ε_1 से कम है।

(c) सदैव $\varepsilon_{\text{तुल्य}} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ होता है।

(d) $\varepsilon_{\text{तुल्य}}$ आन्तरिक प्रतिरोधों r_1 तथा r_2 पर निर्भर नहीं है।

3. इलेक्ट्रॉन की भांति प्रोटॉन में भी चक्रण तथा चुम्बकीय आघूर्ण होता है। तब पदार्थों के चुम्बकत्व में इसके प्रभाव की उपेक्षा क्यों की जाती है?

4. यदि किसी LC परिपथ को आवर्ती दोलनकारी स्प्रिंग-ब्लॉक प्रणाली के तुल्य समझा जाता है तब इस LC परिपथ की कौन-सी ऊर्जा स्थितिज ऊर्जा के और कौन-सी गतिज ऊर्जा के तुल्य होगी?

5. परिवर्तनीय आवृत्ति का एक a.c. स्रोत एक संधारित्र से जुड़ा है। आवृत्ति में कमी करने पर विस्थापन धारा किस प्रकार प्रभावित होगी?

6. युग्म विलोपन में एक इलेक्ट्रॉन तथा एक पॉजिट्रॉन एक दूसरे का अस्तित्व समाप्त कर गामा विकिरण उत्पन्न करते हैं। इसमें संवेग संरक्षण कैसे होता है?

7. क्या p-n संधि के सिरों पर विभव प्राचीर की माप केवल संधि पर वोल्टतामापी जोड़ कर की जा सकती है?

8. ताप में वृद्धि से किसी अर्धचालक की चालकता में वृद्धि का कारण यह है कि मुक्त धारा वाहकों का–

(a) संख्या घनत्व बढ़ जाता है।

(b) विश्रांति काल बढ़ जाता है।

(c) संख्या घनत्व तथा विश्रांति काल दोनों बढ़ जाते हैं।

(d) संख्या घनत्व बढ़ जाता है और विश्रांति काल घट जाता है।

9. दो आवेशों q तथा $-3q$ को x-अक्ष पर 'd' दूरी के पृथकन के साथ रखा गया है। तीसरे आवेश $2q$ को कहाँ रखा जाए ताकि यह कोई बल अनुभव न करे?

10. किसी समांतर पट्टिका संधारित्र की पट्टियों के बीच एक परावैद्युत पट्टिका रखी जाती है। संधारित्र बैटरी से संयोजित रहती है। संधारित्र के (i) विभवान्तर, (ii) धारिता, (iii) वैद्युत क्षेत्र, तथा (iv) संचरित ऊर्जा में इसका क्या प्रभाव पड़ेगा?

© NCERT not to be republished

11. बोर मॉडल में परिक्रमी इलेक्ट्रॉन को चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण के लिए व्यंजन प्राप्त कीजिए।

12. कसकर लिपटी परिनालिका के रूप में कोई तार किसी दिष्टधारा स्रोत से संयोजित है और इसमें विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। यदि कुण्डली को इस प्रकार से खींचा जाए कि सर्पिलाकार कुण्डली के क्रमागत लपेटों के बीच अन्तराल हो जाए, तो क्या विद्युत धारा बढ़ेगी अथवा घटेगी, स्पष्ट कीजिए।

13. आपको एक 2 μF का समान्तर प्लेट संधारित्र दिया गया है। आप इसकी प्लेटों के बीच के अन्तराल में 1mA की तात्क्षणिक विस्थापन धारा कैसे स्थापित करेंगे?

14. दो प्रकाश स्रोत हैं जिनमें प्रत्येक 100 W शक्ति उत्सर्जन करता है। इनमें से एक 1nm तरंगदैर्घ्य की X-किरणें और दूसरा 500 nm का दृश्य प्रकाश उत्सर्जित करता है। दी गई तरंगदैर्घ्यों के लिए X-किरणों के फोटॉनों की संख्या तथा दृश्य प्रकाश के फोटॉनों की संख्या का अनुपात ज्ञात कीजिए।

15. एक कण इलेक्ट्रॉन की अपेक्षा तीन गुना अधिक चाल से गति कर रहा है। इस कण की दे-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य तथा इलेक्ट्रॉन के दे-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य का अनुपात 1.813×10^{-4} है। कण के द्रव्यमान का परिकलन कीजिए तथा कण को पहचानिए।

16. दो भिन्न हाइड्रोजन परमाणु लें। प्रत्येक परमाणु में इलेक्ट्रॉन उत्तेजित अवस्था में हैं। बोर मॉडल के अनुसार क्या यह संभव है कि इलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा तो भिन्न हो परन्तु कक्षीय कोणीय संवेग समान हो?

17. किसी *p-n* संधि के लिए 'ह्रासी क्षेत्र' तथा 'रोधिका विभव' पदों का तात्पर्य क्या है?

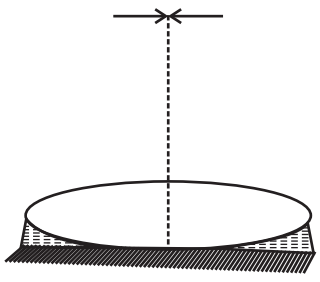
18. यदि आकाश तरंगों का प्रयोग करके LOS (दृष्टि रेखा) संचरण के द्वारा संपूर्ण पृथ्वी को जोड़ना हो (एन्टेना के आकार अथवा टावर की ऊँचाई पर कोई प्रतिबंध नहीं है) तो आवश्यक एन्टेनाओं की न्यूनतम संख्या कितनी होनी चाहिए? इन एन्टेनाओं के टावरों की ऊँचाई पृथ्वी की त्रिज्या के पदों में परिकलित कीजिए।

19. किसी वैद्युत द्विध्रुव के कारण विषुवतीय तल पर स्थित बिन्दुओं के लिए वैद्युत क्षेत्र का व्यंजन संदिश रूप में प्राप्त कीजिए। अधिक दूरियों पर क्षेत्र कैसे बदलता है?

20. 'विश्रांति काल' क्या है? 'विश्रांति काल' तथा इलेक्ट्रॉनों की संख्या घनत्व के पदों में किसी चालक की प्रतिरोधकता का व्यंजन प्राप्त कीजिए।

21. पहले *R* प्रतिरोध के *n* समान प्रतिरोधकों के समुच्चय को श्रेणीक्रम में emf *E* तथा आन्तरिक प्रतिरोध *R* की बैटरी से संयोजित किया गया। परिपथ में धारा *I* प्रवाहित होती है। तत्पश्चात् *n* प्रतिरोधकों को इसी बैटरी से पार्श्वक्रम में संयोजित किया गया। यह पाया गया कि धारा 10 गुना बढ़ गयी। '*n*' का क्या मान है?

22. कोई समतल लेंस (अपवर्तनांक 1.50) किसी समतल दर्पण के फलक पर किसी द्रव की परत के संपर्क में रखा गया है जैसा चित्र में दर्शाया है। कोई छोटी सुई जिसकी नोंक मुख्य अक्ष पर है, अक्ष के अनुदिश ऊपर-नीचे गति कराकर इस प्रकार समायोजित की जाती है कि सुई की नोंक का उलटा प्रतिबिंब सुई की स्थिति पर ही बने। इस स्थित में सुई की लेंस से दूरी 45.0 cm है। द्रव को हटाकर प्रयोग को दोहराया जाता है। नयी दूरी 30.0 cm मापी जाती है। द्रव का अपवर्तनांक क्या है?



23. संपर्क में रखे पतले लेंसो के संयोजन के फोकस दूरी के लिए व्यंजन प्राप्त कीजिए।

24. $d_1 > d_2 > d_3$ घनत्वों तथा $\mu_1 > \mu_2 > \mu_3$ अपवर्तनांकों के तीन अमिश्रणीय द्रवों को एक बीकर में रखा गया है। प्रत्येक द्रव के स्तंभ की ऊँचाई $\frac{h}{3}$ है। बीकर की पैंदी पर एक बिन्दु बनाया गया है। सामान्य निकट दृष्टि के लिए बिंदु की आभासी गहराई ज्ञात कीजिए।

25. किसी रेडियोएक्टिव पदार्थ के लिए 'अर्ध-आयु' तथा 'औसत-आयु' को परिभाषित कीजिए। दोनों में क्या संबंध है?

26. NOR गेट, OR गेट तथा NOT गेट के उचित संयोजन से निम्न सत्यमान सारणी प्राप्त करने के लिए परिपथ बनाइये।

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

(i)

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

(ii)

27. आयाम माडुलित तरंग के लिए 'माडुलन सूचकांक' को परिभाषित कीजिए। किसी आयाम माडुलित तरंग का अधिकतम आयाम 'a' है तथा 'न्यूनतम आयाम' 'b' है। इसका 'माडुलन सूचकांक' क्या होगा?

28. (i) किसी विद्युत धारावाही वृत्ताकार पाश के अक्ष पर चुम्बकीय क्षेत्र के लिए व्यंजन की उत्पत्ति कीजिए।

(ii) 10 cm त्रिज्या को 100 कसकर लपेटे गए फेरों की किसी ऐसी कुंडली पर विचार कीजिए जिसमें 1A विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। कुंडली के केंद्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण क्या है?

अथवा

ऐम्पियर के परिपथीय नियम का कथन दीजिए। एक लंबे सीधे वृत्ताकार अनुप्रस्थ काट के तार (जिसकी त्रिज्या a है) पर विचार करिए जिसमें स्थायी विद्युत धारा I प्रवाहित हो रही हो। विद्युत धारा इस अनुप्रस्थ काट पर एकसमान रूप से वितरित है। ऐम्पियर के परिपथीय नियम का उपयोग कर क्षेत्रों $r < a$ तथा $r > a$ में चुम्बकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए।

29. एक ac बोल्टता $v = v_m \sin\omega t$ किसी श्रेणीबद्ध LCR परिपथ पर प्रयुक्त है। परिपथ में धारा तथा धारा एवं बोल्टता के मध्य कलाकोण के लिए व्यंजन प्राप्त कीजिए। अनुनाद आवृत्ति क्या है?

अथवा

एक ac बोल्टता $v = v_m \sin\omega t$ किसी शुद्ध प्रेरक पर प्रयुक्त है। परिपथ में धारा का व्यंजन प्राप्त कीजिए। सिद्ध कीजिए कि एक पूरे चक्र में किसी प्रेरक को आपूर्त माध्य शक्ति शून्य होती है।

30. (i) हाइगेंस सिद्धांत का कथन और व्याख्या कीजिए। इसका उपयोग करते हुए स्नैल का अपवर्तन संबंधी नियम प्राप्त कीजिए।

© NCERT not to be republished

(ii) जब प्रकाश विरल से सघन माध्यम में गति करता है तो उसकी चाल में कमी आती है। क्या चाल में आई कमी प्रकाश तरंगों द्वारा संचारित ऊर्जा की कमी को दर्शाती है?

अथवा

चिह्नित किरण आरेख की सहायता से संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा प्रतिबिंब बनना दर्शाइए। इसके आवर्धन के लिए व्यंजन व्युत्पत्ति करिए। आवर्धन को कैसे बढ़ाया जा सकता है?

© NCERT not to be republished

प्रतिदर्श प्रश्न पत्र I
हल एवं अंकन योजना

1. (a) (1)

2. (a) (1)

3. $\mu_p \approx \frac{e\hbar}{2m_p}$ और $\mu_e \approx \frac{e\hbar}{2m_e}, \hbar = \frac{h}{2\pi}$ (1/2)

   $\mu_e >> \mu_p$ क्योंकि $m_p >> m_e$. (1/2)

4. चुम्बकीय ऊर्जा गतिज ऊर्जा के सदृश तथा वैद्युत ऊर्जा स्थितिज ऊर्जा के सदृश। (1/2), (1/2)

5. आवृत्ति घटाने पर प्रतिघात $X_c = \frac{1}{\omega C}$ बढ़ेगा जो चालन धारा को घटाएगा। इस स्थिति में $i_D = i_C$; अतः विस्थापन धारा कम हो जाएगी। (1/2, 1/2)

6. दो फोटॉन उत्पन्न होते हैं, जो ऊर्जा-संरक्षण हेतु विपरीत दिशाओं में गति करते हैं। (1)

7. जी नहीं, क्योंकि संधि-प्रतिरोध की तुलना में वोल्टमीटर का प्रतिरोध अत्युच्च होना ही चाहिए, जबकि संधि प्रतिरोध लगभग अनन्त है। (1/2, 1/2)

8. (d) (1)

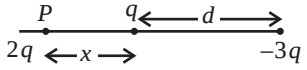
9. बिन्दु P पर स्थित आवेश $2q$ पर q के कारण बल बायीं ओर तथा $-3q$ के कारण दायीं ओर है।

   $\therefore \frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 x^2} = \frac{6q^2}{4\pi\varepsilon_0 (d+x)^2}$ (1/2)

   $\therefore (d + x)^2 = 3x^2$

   $\therefore 2x^2 - 2dx - d^2 = 0$

   $x = \frac{d}{2} \pm \frac{\sqrt{3}d}{2}$ (1/2)

   (ऋणात्मक चिह्न लेने पर x का मान q तथा $-3q$ के बीच होगा, अतः यह मान्य नहीं है।)

   $x = \frac{d}{2} + \frac{\sqrt{3}d}{2} = \frac{d}{2}(1+\sqrt{3})$ q के बायीं ओर। (1)

10. जब बैटरी संयोजित रहती है,

    (i) विभवान्तर V अचर रहता है। (1/2)

    (ii) धारिता C बढ़ता है। (1/2)

© NCERT not to be republished

(iii) विद्युत क्षेत्र घटता है। (1/2)

(iv) संचारित ऊर्जा बढ़ती है क्योंकि C बढ़ता है। (1/2)

11. $I = e / T$ (1/2)

$T = 2\pi r / v$ (1/2)

$\mu_l = IA = I\pi r^2 = evr / 2$ (1/2)

$\mu_l = \frac{e}{2m_e} l$ (1/2)

12. धारा बढ़ जाएगी। जैसे ही तारों को एक दूसरे से दूर खींचा जाता है रिक्त स्थानों से फ्लक्स का क्षरण होता है। लेंज़ के नियम के अनुसार प्रेरित विद्युत वाहक बल इस कमी का विरोध करता है जिसे विद्युत धारा में वृद्धि द्वारा पूरा किया जाता है। (1,1)

13. $i_D = C\frac{dV}{dt}$ (1/2)

$1\times10^{-3} = 2\times10^{-6}\frac{dV}{dt}$

$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{2}\times10^3 = 5\times10^2 V/s$ (1/2)

अत: 5×10^2 V/s का परिवर्ती विभवान्तर लगा कर लक्षित मान की विस्थापन धारा उत्पन्न की जा सकती है। (1)

14. कुल E नियत है। (1/2)
मान लीजिए n_1 तथा n_2 X-किरणों तथा दृश्य क्षेत्र के फोटॉन की संख्या है।

$n_1E_1 = n_2E_2$ (1/2)

$n_1\frac{hc}{\lambda_1} = n_2\frac{hc}{\lambda_2}$

$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$. (1/2)

$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{500}$ (1/2)

15. गति करते हुए कण (द्रव्यमान m तथा वेग v) की दे-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य :

$\lambda = h/p = h/mv$

द्रव्यमान $m = h/\lambda v$ 1/2)

इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान $m_e = h/\lambda_e v_e$

© NCERT not to be republished

हमें ज्ञात है कि $v/v_e = 3$ तथा $\lambda/\lambda_e = 1.813 \times 10^{-4}$

कण का द्रव्यमान, $m = m_e\ (\lambda_e/\lambda)\ (v_e/v)$ (1/2)

$m = (9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg}) \times (1/3) \times (1/1.813 \times 10^{-4})$

$m = 1 \times 1.675 \times 10^{-27}\ \text{kg}.$ (1/2)

इस द्रव्यमान का कण प्रोटॉन या न्यूट्रॉन हो सकता है। (1/2)

16. नहीं, क्योंकि बोहर प्रतिरूप के अनुसार $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$, (1)

और भिन्न-भिन्न ऊर्जा के इलेक्ट्रॉन विभिन्न n- मान वाले स्तरों से सम्बद्ध होते हैं: अत: उनके कोणीय-संवेग भिन्न होंगे, क्योंकि

$mvr = \frac{nh}{2\pi}.$ (1)

17. परिभाषा : ह्रासी क्षेत्र (1)

परिभाषा : रोधिका विभव (1)

18. $d_m^2 = 2(R + h_T)^2$ (1/2)

$8Rh_T = 2(R+h_T)^2 \quad (\text{Q } d_m = 2\sqrt{2Rh_T})$

$4Rh_T = R^2 + h_T^2 + 2Rh_T$

$(R - h_T)^2 = 0$

$R = h_T$ (1/2)

क्योंकि केवल आकाश तरंग आवृत्ति प्रयुक्त हुई है, $\lambda << h_T$ अत: केवल मीनार की ऊँचाई का विचार करें। त्रिविमीय आकाश में, $h_T = R$, के 6 ऐन्टीना-मीनार प्रयुक्त होंगे। (1)

19. उत्पत्ति (2)

अधिक दूरी के लिए, $E \propto 1/r^3$ (1)

20. परिभाषा (1)

उत्पत्ति (2)

21. $I = \text{E}/(R+nR)$ (1)

$10I = \text{E}/(R+R/n)$ (1)

© NCERT not to be republished

$(1+n)/(1+1/n) = 10 = \{(1+n)/(n+1)\}n = n,\ n = 10.$ (1)

22. उत्तल लेंस तथा समतल-उत्तल द्रव लेंस के संयोजन की फोकस दूरी 45 cm है। जब द्रव्य निकाल लेते हैं तो $f_1 = 30$ cm उत्तल लेंस की फोकस दूरी होती है। यदि f_2 समतल-उत्तल द्रव लेंस की फोकस दूरी हो तो

$$\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}=\frac{1}{f}$$ (1/2)

$$\frac{1}{f_2}=\frac{1}{f}-\frac{1}{f_1}=\frac{1}{45}-\frac{1}{30}=\frac{-1}{90},\ f_2=-90\,\text{cm}$$ (1/2)

लेंस-मेकर सूत्र का प्रयोग करने से $(R_1=R,\ R_2=-R)$

$$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)\Rightarrow\frac{1}{30}=(1.5-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R}\right)\Rightarrow R=30\,\text{cm}$$ (1/2,1/2)

समतल-उत्तल लेंस के लिए

$$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$ (1/2)

$$-\frac{1}{90}=(\mu-1)\left(\frac{1}{\infty}-\frac{1}{30}\right)=\frac{\mu-1}{-30}$$

$\mu = 1.33$ (1/2)

23. उत्पत्ति, $\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+\ldots$ (3)

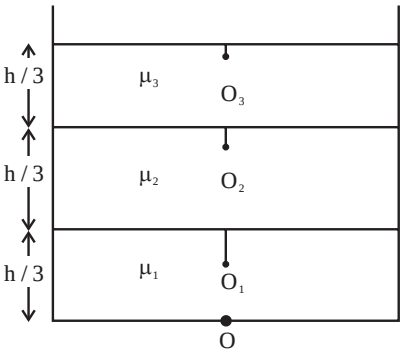
24. माना कि μ_2 से वस्तु को देखने पर आभासी गहराई O_1 है :

$$O_1=\frac{\mu_2}{\mu_1}\frac{h}{3}$$ (1)

μ_3 से देखने पर, आभासी गहराई O_2 है :

$$O_2=\frac{\mu_3}{\mu_2}\left(\frac{h}{3}+O_1\right)=\frac{\mu_3}{\mu_2}\left(\frac{h}{3}+\frac{\mu_2}{\mu_1}\frac{h}{3}\right)=\frac{h}{3}\left(\frac{\mu_3}{\mu_2}+\frac{\mu_3}{\mu_1}\right)$$ (1)

बाहर से देखने पर, आभासी ऊँचाई है :



© NCERT not to be republished

$$O_3 = \frac{1}{\mu_3}\left(\frac{h}{3}+O_2\right) = \frac{1}{\mu_3}\left[\frac{h}{3}+\frac{h}{3}\left(\frac{\mu_3}{\mu_2}+\frac{\mu_3}{\mu_1}\right)\right]$$

$$= \frac{h}{3}\left(\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}+\frac{1}{\mu_3}\right) \quad (1)$$

25. परिभाषा एवं व्यंजन (1/2,1/2)

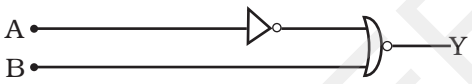
परिभाषा एवं व्यंजन (1/2,1/2)

दोनों में संबंध (1)

26. A, B = (0,1) तथा (1,0) के लिए निर्गत सममित नहीं है। एक निवेश पर NOT गेट। (1)

(i) में तीन शुन्य है। NOR गेट :

अत: (1)



(ii) में तीन एकांक है। OR गेट :

अत: (1)



27. परिभाषा, $\mu = A_m/A_c$ (1)

$a = A_c + A_m$

$b = A_c - A_m$ (1/2)

$A_c = (a + b)/2$, $A_m = (a-b)/2$ (1/2)

$\mu = (a - b)/(a+b)$ (1)

28. (i) उत्पत्ति (3)

(ii) चूँकि कुंडली कसकर लपेटी गई है अत: हम प्रत्येक वृत्ताकार अवयव की त्रिज्या $R = 10\ cm = 0.1m$ मान सकते हैं। फेरों की संख्या N=100 है, अत: चुम्बकीय क्षेत्र का परिणाम

$B = \mu_0 N\ I/(2\ R) = 4\pi\times10^{7}\times10^{-2}\times 1/(2\times10^{-1}) = 2\pi\times10^{-4} = 6.28\times\ 10^{-4}$ T. (2)

अथवा

ऐम्पियर नियम का कथन (1)

उत्पत्ति $B = \mu_0\ I/2\pi r$, for $r > a$ (2)

उत्पत्ति $B = (\mu_0\ I/2\pi a^2)\ r$, for $r < a$ (2)

© NCERT not to be republished

29. उत्पत्ति (4)

अनुनाद आवृत्ति (1)

अथवा

उत्पत्ति (3)

प्रूफ (2)

30. (i) कथन एवं व्याख्या (1)

स्नैल नियम की उत्पत्ति (3)

(ii) नहीं। तरंग द्वारा ले जाने वाली ऊर्जा तरंग के आयाम पर निर्भर करती है, यह तरंग संचरण की चाल पर निर्भर नहीं करती। (1)

अथवा

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा प्रतिबिंब बनने का अंकित किरण आरेख (2)

आवर्धन के लिए व्यंजन व्युत्पत्ति $m = \frac{L}{f_o}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$ (2)

अधिक आवर्धन प्राप्त करने के लिए अभिदृश्यक तथा नेत्रिका की फोकस दूरी कम होनी चाहिए। व्यवहार में, 1cm से कम फोकस दूरी का लेंस बनाना अत्यंत कठिन कार्य है। इसी के साथ L को बड़ा करने के लिए बड़े लेंसों की आवश्यकता होती है। (1)

© NCERT not to be republished

प्रतिदर्श प्रश्न पत्र II
ब्लू प्रिंट (रूपरेखा)

विषय	VSA (1 अंक)	SA II (2 अंक)	SA I (3 अंक)	LA (5 अंक)	योग
I स्थिरवैद्युतिकी	1(1)	2 (1)	—	5 (1)	8 (3)
II विद्युत धारा	—	4 (2)	3 (1)	—	7 (3)
III धारा का चुम्बकीय प्रभाव और चुम्बकत्व	1 (1)	4 (2)	3 (1)	—	8 (4)
IV विद्युत चुम्बकीय प्रेरण और प्रत्यावर्ती धारा	1(1)	2 (1)	—	5 (1)	8 (3)
V विद्युत चुम्बकीय तरंगें	1 (1)	2 (1)	—	—	3 (2)
VI प्रकाशिकी	2 (2)	4 (2)	3 (1)	5 (1)	14 (6)
VII विकिरण तथा द्रव्य की द्वैत प्रकृति	1 (1)	—	3 (1)	—	4 (2)
VIII परमाणु और नाभिक	—	—	6 (2)	—	6 (2)
IX अर्धचालक इलेक्ट्रॉनिकी	1 (1)	—	6 (2)	—	7 (3)
X संचार व्यवस्था	—	2 (1)	3 (1)	—	5 (2)
योग	**8 (8)**	**20 (10)**	**27 (9)**	**15 (3)**	**70 (30)**

© NCERT not to be republished

प्रतिदर्श प्रश्न पत्र II
भौतिकी
कक्षा 12

समय : 3 घंटे **अधिकतम अंक : 70**

सामान्य निर्देश :

(i) सभी प्रश्न अनिवार्य हैं।

(ii) इस प्रश्न पत्र में **30** प्रश्न हैं। प्रश्न **1** से **8** तक के प्रश्न एक अंक के हैं, प्रश्न **9** से **18** तक के प्रत्येक प्रश्न दो अंकों के, प्रश्न **19** से **27** तक के प्रत्येक प्रश्न तीन अंकों के तथा प्रश्न **28** से **30** तक के प्रत्येक प्रश्न पाँच अंकों के हैं।

(iii) प्रश्न पत्र में समग्र पर कोई विकल्प नहीं है। तथापि, **पाँच** अंक के तीनों प्रश्नों में आन्तरिक विकल्प दिये गये हैं। ऐसे प्रश्नों में से आपको केवल एक विकल्प का उत्तर देना है।

(vi) कैलकुलेटर के उपयोग की अनुमति **नहीं** है।

(v) जहाँ आवश्यक हो आप निम्नलिखित नियतांकों के मानों का उपयोग कर सकते हैं :

$c = 3 \times 10^{8}\ \text{m s}^{-1}$

$h = 6.6 \times 10^{-34}\ \text{J s}$

$e = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{T m A}^{-1}$

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^{9}\ \frac{\text{Am}^2}{\text{C}^2}$

बोल्ट्ज़समान नियतांक, $k = 1.38 \times 10^{23}\ \text{JK}^{-1}$

एवोगाद्रो संख्या $N_A = 6.023 \times 10^{23}/\text{mole}$

न्यूट्रॉन का द्रव्यमान $m_n = 1.6 \times 10^{-27}\ \text{kg}$

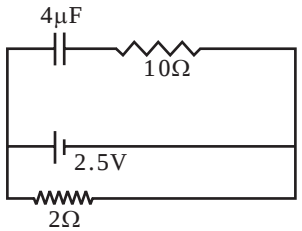
1. चित्र में दर्शाए परिपथ में $4\ \mu\text{F}$ का संधारित्र संयोजित है। बैटरी का आन्तरिक प्रतिरोध $0.5\ \Omega$ है। संधारित्र की प्लेटों पर आवेश की मात्रा होगी–

(a) 0

(b) $4\ \mu\text{C}$

(c) $16\ \mu\text{C}$

(d) $8\ \mu\text{C}$



© NCERT not to be republished

2. दो आवेशित कण किसी एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र $\mathbf{B} = B_0 \hat{\mathbf{k}}$ में पूर्णत: सर्वसम सर्पिल पथों पर विपरीत दिशाओं में गमन करते हैं तो इनके

(a) संवेगों के z-अवयव समान होने चाहिए।

(b) आवेश समान होने चाहिए।

(c) आवेश अवश्य ही कण-प्रतिकण युगल को निरूपित करते होंगे।

(d) आवेश एवं द्रव्यमान का अनुपात संबंध: $\left(\frac{e}{m}\right)_1 + \left(\frac{e}{m}\right)_2 = 0$ की पुष्टि करेगा।

3. कोई परिनालिका किसी बैटरी से संयोजित है जिसके कारण उसमें अपरिवर्ती धारा प्रवाहित हो रही है। यदि इस परिनालिका के भीतर कोई लोह क्रोड रख दिया जाए तो विद्युत धारा घटेगी अथवा बढ़ेगी? स्पष्ट कीजिए।

4. प्रोफेसर सी. वी. रमण ने एक पारदर्शी निर्वातित प्रकोष्ठ में एक छोटी हलकी गेंद को लेजर पुंज से प्रकाशित कर स्वतंत्रतापूर्वक बिना आधार के ठहरा कर दिखाया और अपने विद्यार्थियों को आश्चर्यचकित कर दिया। वे वैद्युतचुम्बकीय तरंगों के किस गुण को प्रदर्शित कर रहे थे? इस गुण का एक और उदाहरण दीजिए।

5. वायुयान में कोई यात्री

(a) कभी भी इन्द्रधनुष नहीं देख पाता है।

(b) प्राथमिक तथा द्वितीयक इन्द्रधनुष को संकेंद्री वृत्तों के रूप में देख पाता है।

(c) प्राथमिक तथा द्वितीयक इन्द्रधनुष को संकेंद्री आर्क के रूप में देख पाता है।

(d) कभी भी द्वितीयक इन्द्रधनुष नहीं देख पाता है।

6. सूर्य के प्रकाश के लिए पृथ्वी पर तरंगाग्र की आकृति कैसी होती है?

7. कोई इलेक्ट्रॉन (द्रव्यमान m) जिसका प्रारंभिक वेग $\mathbf{v} = v_0 \hat{\mathbf{i}} (v_0 > 0)$ है किसी विद्युत क्षेत्र $\mathbf{E} = -E_0 \hat{\mathbf{i}} (E_0 = \text{अचर} > 0)$ में गतिमान है। t क्षण पर इस इलेक्ट्रॉन की दे-ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य है :

(a) $\dfrac{\lambda_0}{\left(1 + \dfrac{eE_0}{m}\dfrac{t}{v_0}\right)}$

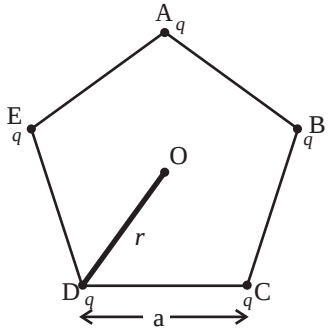
(b) $\lambda_0 \left(1 + \dfrac{eE_0 t}{m v_0}\right)$

(c) λ_0

(d) $\lambda_0 t$.

8. स्पष्ट कीजिए कि तात्विक अर्धचालकों का उपयोग दृश्य LED बनाने में क्यों नहीं किया जा सकता।

9. पाँच आवेश, जिनमें प्रत्येक q है, 'a' भुजा के किसी नियमित पंचभुज के कोनों पर रखे गये हैं जैसा चित्र में दर्शाया गया है।



© NCERT not to be republished

(i) यदि किसी एक कोने (जैसे A) से आवेश को हटा दिया जाए तो O पर विद्युत क्षेत्र कितना होगा?

(ii) यदि A पर आवेश को $-q$ द्वारा प्रतिस्थापित कर दिया जाए तो O पर विद्युत क्षेत्र कितना होगा?

10. विद्युत वाहक बल E_1 एवं E_2 वाले दो सेलों का आंतरिक प्रतिरोध क्रमशः r_1 एवं r_2 है। इनके पार्श्वक्रम में संयोजन के लिए तुल्य विद्युत बाहक बल का व्यंजन प्राप्त कीजिए।

11. एक सेल एवं एक धारा नियंत्रक के सहायता से बने विभव-विभाजक का परिपथ आरेख बनाइये। आरेख में निर्गत सिरों को दर्शाइए।

12. यदि चुंबकीय एकल ध्रुवों का अस्तित्व होता तो चुंबकत्व संबंधी गाउस का नियम क्या रूप ग्रहण करता?

13. आणविक दृष्टिकोण से प्रतिचुम्बकत्व, अनुचुम्बकत्व तथा लोहचुम्बकत्व की चुम्बकीय प्रवृत्तियों की ताप निर्भरता की विवेचना कीजिए।

14. एक लैंप किसी संधारित्र के साथ श्रेणीक्रम में जुड़ा है। dc एवं ac संयोजनों के लिए अपने प्रेक्षणों की प्रागुक्ति कीजिए। प्रत्येक प्रकरण में बताइए कि संधारित्र की धारिता कम करने का क्या प्रभाव होगा?

15. 25 MHz आवृत्ति की एक समतल वैद्युतचुम्बकीय तरंग निर्वात में x- दिशा के अनुदिश गतिमान है। दिक्काल (space) में किसी विशिष्ट बिंदु पर इसका $\mathbf{E} = 6.3\,\hat{\mathbf{j}}\,\text{V/m}$ है। इस बिंदु पर $\mathbf{B}$ का मान क्या है?

16. 'लेंस की क्षमता' की परिभाषा दीजिए। दर्शाइये कि लेंस की क्षमता फोकस दूरी के व्युत्क्रमानुपाती है।

17. दो झिरियाँ 1 मिलीमीटर दूर बनाई गई हैं और परदे को 1 मीटर दूर रखा गया है। फ्रिंज अंतराल कितना होगा जब 500 nm तरंगदैर्घ्य का नीला-हरा प्रकाश प्रयोग में लाया जाता है?

18. 10 kHz आवृत्ति तथा 10 V शिखर वोल्टता के संदेश सिग्नल का उपयोग किसी 1 MHz आवृत्ति तथा 20 V शिखर वोल्टता की वाहक तरंग को माडुलित करने में किया गया है। (i) माडुलन सूचकांक तथा (ii) उत्पन्न पार्श्व बैंड ज्ञात कीजिए।

19. विभवमापी की सहायता से किसी सेल के आंतरिक प्रतिरोध के मापन के लिए परिपथ खींचिए। जिस सिद्धांत पर यह विधि आधारित है उसे समझाइए।

20. प्रतिचुम्बकत्व, अनुचुम्बकत्व तथा लोहचुंबकत्व से आप क्या समझते हैं?

21. किसी सूक्ष्मदर्शी द्वारा उसी अभिदृश्यक के लिए दो बिन्दुओं में भेद करने के लिए, उनके बीच न्यूनतम पृथकनों के अनुपात को ज्ञात कीजिए जबकि पदार्थ को प्रदीप्त करने के लिए 5000 Å के प्रकाश का तथा 100 V से त्वरित इलेक्ट्रॉनों का उपयोग किया गया हो?

22. 6.0×10^{14} Hz आवृत्ति का एकवर्णी प्रकाश किसी लेसर के द्वारा उत्पन्न किया जाता है। उत्सर्जन क्षमता 2.0×10^{-3} W है। (i) प्रकाश किरण-पुंज में किसी फ़ोटॉन की ऊर्जा कितनी है? (ii) स्रोत के द्वारा औसत तौर पर प्रति सेकंड कितने फ़ोटॉन उत्सर्जित होते हैं?

© NCERT not to be republished

23. हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन के लिए 'अनुमत कक्षाओं' के लिए बोर का अभिगृहीत बताइए। दे-ब्रॉग्ली द्वारा इसका स्पष्टीकरण कैसे किया गया?

24. β -क्षय प्रक्रिया उदाहरण देकर समझाइए। β– क्षय द्वारा, ट्राइटियम की अर्ध-आयु 12.5 वर्ष है। 25 वर्ष बाद शुद्ध ट्राइटियम के एक नमूने का कितना अंश अविघटित रहेगा?

25. दिष्टकरण क्या है? अंकित परिपथ आरेख की सहायता से संधि डायोड के उपयोग से पूर्ण तरंग दिष्टकरण समझाइए।

26. परिपथ आरेख की सहायता से समझाइए कि किसी p-n संधि डायोड का (i) अग्रदिशिक बायस एवं (ii) पश्चदिशिक बायस में V-I अभिलाक्षणिक कैसे प्राप्त करते हैं? प्राप्त वक्रों का आकार बनाइये।

27. (i) किसी संचार व्यवस्था का ब्लाक आरेख बनाइए।

(ii) आयाम माडुलित तरंग के संसूचन का तात्पर्य क्या है। संसूचन के आवश्यक चरणों का संक्षेप में वर्णन कीजिए।

28. किसी वैद्युत द्विध्रुव के कारण विभव के व्यंजन की उन दूरियों के लिए जो विभव के आकार की तुलना में अत्यधिक बड़ी हैं, व्युत्पत्ति करिए। द्विध्रुव के कारण विभव एकल आवेश के कारण विभव से कैसे भिन्न है?

अथवा

किसी बाह्य क्षेत्र में दो आवेशों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा के लिए व्यंजन प्राप्त कीजिए। दो आवेशों 7 μC तथा –2 μC जो क्रमशः (–9 cm, 0,0) तथा (9 cm, 0, 0) पर स्थित हैं, का निकाय, बाह्य विद्युत क्षेत्र $E = A\,(1/r^2)$ जहाँ $A = 9 \times 10^5$ C m^{-2} है, में स्थित है। निकाय की स्थितिज ऊर्जा की गणना कीजिए।

29. किसी कुण्डली के 'स्व-प्रेरकत्व' की परिभाषा दीजिए। किसी लंबे परिनालिका के 'स्व-प्रेरकत्व' के लिए व्यंजन, परिनालिका के क्षेत्रफल A, लम्बाई l तथा एकांक लम्बाई में फेरों की संख्या n के पदों में व्युत्पत्ति कीजिए। दर्शाइए कि स्व-प्रेरकत्व यांत्रिकी में द्रव्यमान का अनुरूप है।

अथवा

'अन्योन्य प्रेरकत्व' की परिभाषा दीजिए। किन कारकों पर यह निर्भर करता है? दो संकेंद्री वृत्ताकार कुंडलियाँ, एक कम त्रिज्या r_1 की तथा दूसरी अधिक त्रिज्या r_2 की, ऐसी कि $r_1 << r_2$, समाक्षी रखी हैं तथा दोनों के केंद्र संपाती हैं। इस व्यवस्था के लिए अन्योन्य प्रेरकत्व ज्ञात कीजिए।

30. किसी प्रकाश किरण के काँच के प्रिज्म से दोनों अपवर्तन को किरण आरेख बनाकर दर्शाइए। आरेख की सहायता से विचलन कोण की आपतन कोण पर निर्भरता समझाइए। न्यूनतम विचलन कोण के लिए प्रिज्म कोण तथा प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक के पदों में व्यंजन प्राप्त कीजिए।

अथवा

(i) किसी एकल गोलीय पृष्ठ से प्रकाश के अपवर्तन के समीकरण का उपयोग करते हुए लेंस-मेकर सूत्र की व्युत्पत्ति कीजिए।

(ii) अपवर्नतांक 1.55 के काँच से दोनों फलकों की समान वक्रता त्रिज्या के उभयोत्तल लेंस निर्मित करने हैं। यदि 20 cm फोकस दूरी के लेंस निर्मित करने हैं तो अपेक्षित वक्रता त्रिज्या क्या होगी?

© NCERT not to be republished

प्रतिदर्श प्रश्न पत्र II
हल एवं अंकन योजना

1. (a) (1)

2. (d) (1)

3. धारा घट जाएगी। परिनालिका में लोह क्रोड रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र में वृद्धि होती है और फ्लक्स बढ़ जाता है। लेंज़ के नियम के अनुसार प्रेरित विद्युत वाहक बल को इस वृद्धि का विरोध करना चाहिए जिसे धारा में कमी द्वारा प्राप्त किया जाता है। (1)

4. विद्युत चुम्बकीय तरंगें विकिरण दाब लगाती हैं। धूमकेतु की पूँछ सौर विकिरण के कारण है। (1/2, 1/2)

5. (b) (1)

6. गोलीय, पृथ्वी की त्रिज्या की तुलना में विशाल त्रिज्या जिससे कि यह लगभग समतल है। (1/2, 1/2)

7. (a) (1)

8. तात्विक अर्धचालक के बैंड-अंतराल ऐसे होते हैं कि उत्सर्जन अवरक्त प्रदेश में होता है। (1/2, 1/2)

9. (i) $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$ **OA** के सदिश (1)

   (ii) $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2q}{r^2}$ **OA** के सदिश (1)

10. $I = I_1 + I_2$ (1/2)

$$= \frac{E_1 - V}{r_1} + \frac{E_2 - V}{r_2}$$

$$I = \left(\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}\right) - V\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

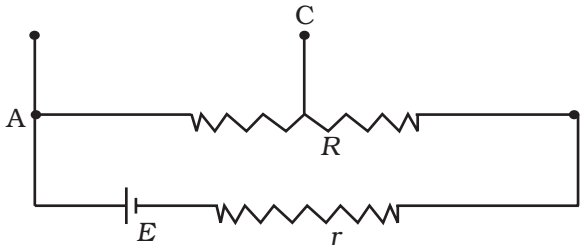
$$V = \frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 + r_2} - I\left(\frac{r_1 + r_2}{r_1 + r_2}\right)$$ (1/2)

$V = E_{eq} - Ir_{eq}$ से तुलना करने पर (1/2)

हमें प्राप्त होता है, $E_{eq} = \frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 + r_2}$ (1/2)

© NCERT not to be republished

11. आरेख में आवश्यक परिपथ दर्शाया गया है। निर्गत विभव A तथा C के मध्य प्राप्त होता है। (1, 1)



12. चुम्बकत्व संबंधी गाउस का नियम यह कहता है कि क्षेत्र **B** के कारण, किसी बंद सतह से गुज़रने वाला कुल फ्लक्स सदैव शून्य होता है। किसी बंद सतह S के लिए $\oint \mathbf{B} . d\ \mathbf{s} = 0$ (1)

यदि एकल ध्रुवों का अस्तित्व होता तो (स्थिरवैद्युतिकी के गाउस नियम के अनुरूप) समीकरण के दायीं ओर सतह S से घिरे एकल ध्रुवों (चुम्बकीय आवेशों) q_m का योग आता अर्थात समीकरण का रूप होता।

$\oint \mathbf{B}. d\ \mathbf{s} = \mu_0 q_m$ जहाँ q_m, S से घिरा चुम्बकीय आवेश (एकल ध्रुव) है। (1)

13. प्रतिचुम्बकत्व इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय गति के कारण होता है जो अनुप्रयुक्त क्षेत्र के विपरीत चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न करता है। इसलिए यह ताप से अधिक प्रभावित नहीं होता। (1)

अनुचुम्बकत्व और लोहचुम्बकत्व परमाण्वीय चुम्बकीय आघूर्णों के अनुप्रयुक्त क्षेत्र की दिशा में सरेखण के कारण होता है। ताप-वृद्धि होने पर यह सरेखण विक्षोभित हो जाता है जिसके फलस्वरूप दोनों की चुम्बकशीलता ताप वृद्धि के साथ घट जाती है। (1)

14. जब संधारित के साथ किसी dc स्रोत को जोड़ते हैं तो संधारित्र आवेशित होता है और उसके पूर्ण आवेशन के बाद परिपथ में कोई धारा प्रवाहित नहीं होती और लैंप प्रकाशित नहीं होता है। इस मामले में C को कम करने से कोई परिवर्तन नहीं आएगा। (1)

ac स्रोत के साथ, संधारित्र $(1/\omega C)$ संधारित्रीय प्रतिघात लगाता है और परिपथ में धारा प्रवाहित होती है। परिणामत: लैंप प्रकाश देगा। C को कम करने से प्रतिघात बढ़ेगा और लैंप पहले की तुलना में दीप्ति से प्रकाशित होगा। (1)

15. **B** एवं **E** के परिमाण एक-दूसरे से निम्नलिखित समीकरण द्वारा संबंधित हैं–

$$B = \frac{E}{c} \quad (1)$$

$$= \frac{6.3\text{V/m}}{3\times10^8\text{m/s}} = 2.1\times10^{-8}\text{T}$$

इसकी दिशा के संबंध में हम जानते हैं कि **E** y-दिशा के अनुदिश है और तरंग x-दिशा के अनुदिश गमन कर रही है। अत: **B** x- एवं y-अक्षों दोनों के लंबवत दिशा में होना चाहिए। सदिश बीजगणित का उपयोग करने पर, **E** × **B** को x-दिशा में होना चाहिए। चूँकि $(+\hat{\mathbf{j}}) \times (+\hat{\mathbf{k}}) = \hat{\mathbf{i}}$, **B** z-दिशा के अनुदिश है।

अत: $\mathbf{B} = 2.1\times10^{-8}\ \hat{\mathbf{k}}$ T. (1)

16. $P = \tan\delta$ (आरेख सहित)

© NCERT not to be republished

$= h / f = \frac{1}{f}$ (1)

लघु δ के लिए, $\tan \delta \sim \delta$. $P = 1/f$ (1)

17. फ्रिंज अंतराल $= \frac{D\lambda}{d}$ (1)

$= \frac{1 \times 5 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-3}} 0.5 \text{ mm}$ (1)

18. (i) माडुलन सूचकांक $= 10/_{10} = 0.5$ (1)

(ii) 1010 kHz तथा 990 kHz पर पार्श्व बैंड है। (1)

19. आरेख (1)

$E = \phi l_1$ (1/2)

$V = \phi l_2 \quad E/V = l_1/l_2$ (1/2)

$E = I$ (r+R), $V = IR$

$E/V = (r + R)/R$ (1/2)

$r = R \{(l_1/l_2)-1\}$. (1/2)

20. प्रतिचुम्बकत्व (1)

अनुचुम्बकत्व (1)

लोह चुम्बकत्व (1)

21. $d_{\min} = \frac{1.22\lambda}{2 \sin \beta}$ (1/2)

जहाँ β अभिदृश्यक द्वारा बिंब पर अंतरित कोण है।

5500 $\mathring{A}$ के प्रकाश के लिए

$d_{\min} = \frac{1.22 \times 5.5 \times 10^{-7}}{2 \sin \beta} \text{m}$ (1)

100 V से त्वरित इलेक्ट्रॉनों के लिए दे-ब्राग्ली तरंगदैर्घ्य है

© NCERT not to be republished

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{1.227}{\sqrt{100}} = 0.13\text{nm} = 0.13 \times 10^{-9}\text{m}$$ (1/2)

$$\therefore d'_{\min} = \frac{1.22 \times 1.3 \times 10^{-10}}{2\sin\beta}$$ (1/2)

$$\frac{d_{\min}}{d'_{\min}} = 0.2 \times 10^{-3}$$ (1/2)

22. (i) प्रत्येक फ़ोटॉन की ऊर्जा होगी

$E = h\nu = (6.63 \times 10^{-34}\text{ J s})\ (6.0 \times 10^{-14}\text{ Hz})$

$= 3.98 \times 10^{-19}\text{J}$ (1)

(ii) यदि स्रोत के द्वारा सेकंड उत्सर्जित फ़ोटॉनों की संख्या N है तो किरण-पुंज में संचरित क्षमता P प्रति फ़ोटॉन ऊर्जा E के N गुना होगी जिससे कि $P = \text{NE}$ । तब

$$N = \frac{P}{E}$$ (1)

$$= \frac{2.0 \times 10^{-3}\text{W}}{3.98 \times 10^{-19}\text{J}} = 5.0 \times 10^{15}$$ फ़ोटान प्रति सेकंड (1)

23. अभिगृहीत (1)

दे-ब्राग्ली स्पष्टीकरण (2)

24. स्पष्टीकरण (1)

उदाहरण (1)

हल : नमूने का 1/4 (1)

25. दिष्टकरण (1/2)

अंकित आरेख (1/2)

स्पष्टीकरण (2)

26. अभिलाक्षणिक प्राप्त करने के उपयुक्त परिपथ आरेख (1)

स्पष्टीकरण (1)

वक्र का आकार (1)

27. (i) संचार व्यवस्था का ब्लाक आरेख (1)

© NCERT not to be republished

(ii) संसूचन का ब्लाक आरेख तथा परिभाषा (1)

स्पष्टीकरण (1)

28. व्युत्पत्ति (4)

अंतर (1)

अथवा

व्युत्पत्ति (3)

प्रश्न का हल (2)

29. परिभाषा (1)

व्यंजन की व्युत्पत्ति (2)

प्रूफ 2

अथवा

परिभाषा (1)

कारकों पर निर्भरता (1)

प्रश्न का हल (3)

30. अंकित आरेख (1)

δ तथा e के बीच आरेख (1)

$\delta_m = (\mu\text{-}1)A$ की व्युत्पत्ति (3)

अथवा

(i) व्युत्पत्ति (3)

(ii) $\mu = 1.55$, $R_1 = R$ (1/2)

$R_2 = -R$, $f = 20$ cm.

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (1/2)$$

$$\frac{1}{20} = (1.55 - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1.10}{R} \quad (1/2)$$

R=20×1.1 = 22 cm. (1/2)

© NCERT not to be republished

शब्दावली

कर्ता-प्रेक्षक प्रभाव (Actor-observer effect) : स्वयं अपने अनुभव या व्यवहार के लिए (कर्ता) और दूसरे व्यक्ति (प्रेक्षक) के उसी अनुभव या व्यवहार के लिए अलग-अलग गुणारोपण करने की प्रवृत्ति।

अनुकूलन (Adaptation) : संरचनात्मक या प्रकार्यात्मक परिवर्तन जो किसी जीव के उत्तरजीविता मूल्य में वृद्धि करता है।

आक्रमण (Aggression) : शारीरिक या शाब्दिक तौर पर किसी को चोट पहुँचाने के आशय से किया गया व्यवहार।

वायु प्रदूषण (Air pollution) : वायु की गुणवत्ता का निम्नीकरण।

सचेत प्रतिक्रिया (Alarm reaction) : सामान्य अनुकूलन संलक्षण की पहली अवस्था जिसमें अधिवृक्कीय और अनुकंपी क्रिया के जरिए ऊर्जा के सक्रियण द्वारा आपाती प्रतिक्रिया होती है।

विसंबंधन (Alienation) : किसी समाज या समूह का अंग न होने की भावना।

गुदीय अवस्था (Anal stage) : फ्रायड द्वारा वर्णित मनोलैंगिक अवस्थाओं में दूसरी, जो शिशु के दूसरे वर्ष में घटित होती है। इसमें सुख की प्रतीति गुदा पर और मल के प्रतिधारण और निष्कासन पर केंद्रित रहती है।

क्षुधा-अभाव (Anorexia nervosa) : ऐसा विकार जिसमें शारीरिक वजन में अत्यधिक कमी निहित है और इसमें वजन बढ़ने या 'मोटा' होने का तीव्र भय उत्पन्न होता है।

समाजविरोधी व्यक्तित्व (Antisocial personality) : ऐसा व्यवहार विकार जिसमें पलायनवृत्ति, अपराधशीलता, स्वैरिता, चोरी, ध्वंसकारिता, लड़ना, सामान्य सामाजिक नियमों का उल्लंघन, खराब काम का इतिहास, आवेगशीलता, अविवेक, आक्रामकता, दुस्साहसी व्यवहार तथा आगे की योजना बनाने की अयोग्यता आदि विशेषताएँ पाई जाती हैं। एक व्यक्ति से दूसरे व्यक्ति में ऐसे व्यवहार का विशिष्ट स्वरूप अलग-अलग होता है।

दुश्चिंता (Anxiety) : मानसिक व्यथा की एक दशा जिसमें भय, आशंका और शरीरक्रिया भाव प्रबोधन या उद्वेलन पाया जाता है।

दुश्चिंता विकार (Anxiety disorders) : ऐसे विकार जिसमें दुश्चिंता ही प्रमुख लक्षण होती है। इस विकार में सुभेद्यता की भावना, आशंका या भय पाया जाता है।

अनुप्रयुक्त मनोविज्ञान (Applied psychology) : सैद्धांतिक और प्रयोगात्मक मनोविज्ञान के परिणाम स्वरूप मन, मस्तिष्क एवं व्यवहार के संबंध में मिले ज्ञान का व्यावहारिक अनुप्रयोग।

अभिक्षमता (Aptitude) : ऐसी विशेषताओं का संयोग जो व्यक्ति की प्रशिक्षण द्वारा कुछ विशिष्ट कौशलों को अर्जित करने की समर्थता का सूचक होता है।

अभिक्षमता परीक्षण (Aptitude tests) : व्यक्ति के भावी निष्पादन की क्षमता का मापन करने वाले परीक्षण।

आद्यप्ररूप (Archetypes) : सामूहिक अचेतन की अंतर्वस्तुओं के लिए युंग द्वारा प्रयुक्त पद; अनुभव के संगठन के लिए वंशागत प्रतिरूपों को अभिव्यक्त करने वाली प्रतिमाएँ या प्रतीक।

भाव प्रबोधन (Arousal) : दूसरों के उपस्थित रहने या निष्पादन के मूल्यांकित होने के विचार से अनुभूत तनाव।

अभिवृत्तियाँ (Attitudes) : किसी विषय पर मन, विचारों या प्रत्ययों की वे स्थितियाँ जिनमें संज्ञानात्मक, भावात्मक और व्यवहारात्मक घटक होते हैं।

अभिवृत्ति विषय (Attitude object) : किसी अभिवृत्ति का लक्ष्य।

गुणारोपण (Attribution) : अपने अथवा दूसरों के व्यवहार की व्याख्या करने के लिए उस व्यवहार के कारणों का विवरण देना।

सत्ता या प्रभुत्व (Authority) : किसी पद (जैसे - प्रबंधकीय) में निहित अधिकार जिनके आधार पर आदेश देना और उनका पालन किए जाने की अपेक्षा करना।

स्वलीनता (Autism) : शैशवावस्था में प्रारंभ होने वाला व्यापक विकासात्मक विकार जिसमें अनेक प्रकार की असमान्यताएँ निहित होती हैं, जैसे - भाषागत, प्रात्यक्षिक और गतिपरक विकास में न्यूनता, दोषपूर्ण वास्तविक परीक्षण और सामाजिक विरक्ति आदि।

संतुलन (Balance) : अभिवृत्ति व्यवस्था की वह स्थिति जिसमें एक व्यक्ति (P) और दूसरे व्यक्ति (O) के बीच,

© NCERT not to be republished

व्यक्ति (P) और अभिवृत्ति विषय (X) के बीच, तथा दूसरे व्यक्ति (O) और अभिवृत्ति विषय (X) के बीच अभिवृत्तियाँ एक ही दिशा में होती हैं या तार्किक रूप से एक-दूसरे से संगत होती है।

व्यवहार चिकित्सा (Behaviour therapy) : ऐसी उपचार पद्धति जो दुरनुकूलक व्यवहार को परिवर्तित करने के लिए व्यवहारवादी अधिगम सिद्धांतों के नियमों पर आधारित होती है।

विश्वास (Beliefs) : किसी विषय से संबंधित विचारों या प्रत्ययों का संज्ञानात्मक घटक।

प्रमुख विशेषक या शीलगुण (Cardinal trait) : आलपोर्ट के अनुसार, वह एकल विशेषक जो व्यक्ति के संपूर्ण व्यक्तित्व में प्रमुखता से विद्यमान रहता है।

व्यक्ति अध्ययन (Case study) : व्यवहार के संबंध में सामान्य सिद्धांत विकसित करने के लिए किसी व्यक्ति या स्थिति का गहन अध्ययन।

केंद्रीय विशेषक या शीलगुण (Central traits) : दूसरों के बारे में विचार निर्मित करने के लिए ध्यान देने योग्य मुख्य विशेषक।

अभिवृत्ति की केंद्रिकता (Centrality of attitude) : वह मात्रा जहाँ तक कोई एक विशिष्ट अभिवृत्ति पूरी अभिवृत्ति व्यवस्था को प्रभावित करती है।

सेवार्थी-केंद्रित (रोज़र्स का) चिकित्सा (Client-centred (Rogerian) therapy) : कार्ल रोज़र्स द्वारा विकसित चिकित्सा उपागम जिसमें चिकित्सक सेवार्थियों को अपनी सही भावनाओं को स्पष्ट करने और वे कौन हैं उसका मूल्यांकन करने में उनकी सहायता करता है।

सहकार्य (Coaction) : ऐसी स्थिति जिसमें बहुत से लोग दूसरों की उपस्थिति में उसी कार्य को करते हैं।

संज्ञान (Cognition) : जानने की प्रक्रिया। ऐसी मानसिक क्रियाएँ जो चिंतन, निर्णयन, भाषा के उपयोग तथा अन्य उच्चतर मानसिक प्रक्रियाओं से संबद्ध होती हैं।

संज्ञानात्मक मूल्यांकन प्रणाली (Cognitive assessment system) : परीक्षणों की एक माला जिसका निर्माण चार आधारभूत पास (PASS) प्रक्रियाओं (योजना-अवधान-सहकालिक-आनुक्रमिक) का मापन करने के लिए किया गया है।

संज्ञानात्मक संगति (Cognitive consistency) : ऐसी स्थिति जिसमें विचार या प्रत्यय तार्किक दृष्टि से एक-दूसरे के सुसंगत होते हैं।

संज्ञानात्मक विसंगति (Cognitive dissonance) : किसी अभिवृत्ति व्यवस्था की वह स्थिति जिसमें दो संज्ञानात्मक तत्व तार्किक दृष्टि से विरोधात्मक या असंगत होते हैं।

संज्ञानात्मक चिकित्सा (Cognitive therapies) : विकृत और दुरनुकूलक विचार प्रतिरूपों को परिवर्तन करने पर केंद्रित चिकित्सा की विधि।

संसक्तता (Cohesiveness) : सभी शक्तियाँ(कारक) जो समूह के सदस्यों को समूह में बने रहने की निमित्त बनती हैं।

सामूहिक अचेतन (Collective unconscious) : कार्ल युंग द्वारा अभिगृहीत अचेतन का वंशागत अंश। वह अचेतन जो सभी मानवों में समान रूप से विद्यमान है।

संक्रामक या संचारी रोग (Communicable disease) : किसी विशिष्ट संक्रामक कारक द्वारा उत्पन्न ऐसी बीमारी जो मनुष्य से मनुष्य में, पशु से पशु में या पर्यावरण से मनुष्य या पशु में प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से संचारित या अंतरित होती है।

प्रतिस्पर्धा (Competition) : एक ही उद्देश्य की प्राप्ति के लिए दो व्यक्तियों या समूहों में परस्पर होड़ उत्पन्न होना।

प्रतिस्पर्धा सहिष्णुता (Competition tolerance) : किसी ऐसी स्थिति को सहन करने की योग्यता जिसमे लोगों को भौतिक स्थान आदि बुनियादी संसाधनों तक के लिए अन्य बहुतों के साथ प्रतिस्पर्धा करनी पड़ती है।

अनुपालन (Compliance) : सामाजिक प्रभाव का एक प्रकार जिसमें एक या अधिक व्यक्ति, प्रभुत्व न रखते हुए भी, एक या अधिक व्यक्तियों के सीधे अनुरोधों को स्वीकार कर लेते हैं।

घटकीय बुद्धि (Componential intelligence) : स्टर्नबर्ग के त्रिचापीय सिद्धांत में यह आलोचनात्मक और विश्लेषणात्मक दृष्टि से सोचने की योग्यता का द्योतक है।

द्वंद्व (Conflict) : परस्पर-विरोधी अभिप्रेरकों, अंतर्नोदों, आवश्यकताओं या लक्ष्यों से उत्पन्न हुए विक्षोभ या तनाव की दशा।

अनुरूपता (Conformity) : सामाजिक प्रभाव का एक प्रकार जिसमें व्यक्ति वर्तमान सामाजिक मानकों का अनुपालन करते हुए अपनी अभिवृत्तियों या व्यवहार में परिवर्तन कर लेते हैं।

सर्वसम अभिवृत्ति परिवर्तन (Congruent attitude change) : विद्यमान अभिवृत्ति की ही दिशा में अभिवृत्ति में परिवर्तन।

© NCERT not to be republished

सांदर्भिक बुद्धि (Contextual intelligence) : स्टर्नबर्ग के त्रिचापीय सिद्धांत में यह व्यावहारिक बुद्धि है जिसका उपयोग दैनिक समस्याओं के समाधान में किया जाता है।

सामना करना (Coping) : ऐसी माँगों के प्रबंधन का प्रयास करने की प्रक्रिया जो प्रयत्नसाध्य या व्यक्ति के संसाधनों की सीमा का अतिक्रमण करने वाली समझी जाती है।

परामर्श या **उपबोधन** (Counselling) : समायोजन की प्राप्ति में व्यक्ति की सहायता के लिए विविध प्रकार की कार्यविधियों का सामान्य द्योतक शब्द है, जैसे - सलाह देना, चिकित्सात्मक विचार-विमर्श, परीक्षण देना एवं उनकी व्याख्या करना तथा व्यावसायिक सहायता।

परामर्शी साक्षात्कार (Counselling interview) : ऐसा साक्षात्कार जिसका उद्देश्य व्यक्तित्व और व्यवसाय चयन आदि के क्षेत्र में परामर्श या मार्गदर्शन प्रदान करना है।

सर्जनात्मकता (Creativity) : विचारों एवं वस्तुओं को उत्पन्न करने की योग्यता तथा समस्या के ऐसे समाधानों को प्रस्तुत करने की योग्यता जिसमें नयापन हो एवं जो उपयुक्त हों।

भीड़ (Crowding) : अत्यंत कम स्थान की मनोवैज्ञानिक अनुभूति, अतिसंकीर्णता का प्रत्यक्षण।

भीड़ सहिष्णुता (Crowding tolerance) : उच्च सघनता या भीड़-भाड़ वाले पर्यावरण के प्रति मानसिक रूप से समायोजन करने की योग्यता, जैसे - भीड़ वाले घर में रहना।

संस्कृति-निरपेक्ष परीक्षण (Culture-fair test) : ऐसा परीक्षण जो परीक्षार्थियों में सांस्कृतिक अनुभवों के आधार पर विभेदन नहीं करता।

रक्षा युक्तियाँ (Defence mechanisms) : फ्रायड के अनुसार वे तरीके जिनमें 'अहं' अचेतन रूप से 'इदम्' के अस्वीकार्य आवेगों का सफलता से हल करने का प्रयत्न करता है, जैसा कि दमन, प्रक्षेपण, प्रतिक्रिया-निर्माण, उदात्तीकरण, युक्तिकरण आदि में होता है।

संस्था-विमुक्ति (Deinstitutionalisation) : पूर्व मानसिक रोगियों को संस्थाओं से समुदाय में स्थानांतरित करने की प्रक्रिया।

भ्रमासक्ति (Delusions) : विरुद्ध दंग का प्रभूत साक्ष्य रहने के बावजूद विद्यमान अतार्किक/उच्छृंखल विश्वास

निर्वैयक्तिकीकरण या व्यक्तित्व-लोप विकार (De-personalisation disorder) : ऐसा विच्छेदी या विसाहचर्य विकार जिसमें 'आत्म' का बोध समाप्त हो जाता है।

रोगोन्मुखता-दबाव मॉडल (Diathesis-stress model) : यह दृष्टिकोण कि जैविक पूर्वप्रवृत्ति और जीवन के दबाव आदि कारकों की अंत:क्रिया के परिणामस्वरूप कोई विशिष्ट विकार उत्पन्न हो सकता है।

दायित्व विसरण (Diffusions of responsibility) : यह विचार कि जब अन्य लोग उपस्थित हैं तो किसी कार्य को करने या न करने का उत्तरदायी किसी एक व्यक्ति को नहीं माना जा सकता; कार्य करने के लिए दूसरे सदस्य भी उतने ही उत्तरदायी हैं।

विपदा (Disaster) : विपदा एक अप्रत्याशित और प्राय: आकस्मिक घटना है जो किसी समाज की सामान्य दशाओं को विघटित कर देती है तथा व्यापक क्षति, विनाश और मानवीय कष्ट उत्पन्न करती है।

भेदभाव (Discrimination) : ऐसा व्यवहार जिसमें यह अनुभव हो कि दो या अधिक व्यक्तियों के बीच, प्राय: किसी व्यक्ति (या व्यक्तियों) के प्रति उनको किसी अन्य विशिष्ट समुदाय का सदस्य होने के आधार पर उसके प्रति विभेद किया जाना।

विस्थापन (Displacement) : किसी आवेश को कम संकटकारी या सुरक्षित लक्ष्य की ओर मोड़ देना; मनोविश्लेषणात्मक सिद्धांत का एक आधारभूत संप्रत्यय; एक रक्षा युक्ति।

विच्छेदन (Dissociation) : चेतनता में विखंडन जिसके कारण कुछ विचार, भावनाएँ या व्यवहार एक-दूसरे से स्वतंत्र होकर क्रियाशील होते हैं।

पारिस्थितिकी (Ecology) : जीवविज्ञान की वह शाखा जो जीवों का उनके पर्यावरण के साथ संबंधों का अध्ययन करती है।

अहं (Ego) : व्यक्तित्व का वह अंश जो इदम् और बाह्य जगत के बीच अंतर्रोधी का कार्य करता है।

विद्युत्-आक्षेपी चिकित्सा (Electroconvulsive therapy, ECT) : सामान्यत: इसे आघात चिकित्सा कहा जाता है। यह एकध्रुवीय अवसाद का एक जैविक उपचार है जिसमें रोगी के सिर से इलेक्ट्रोड संलग्न कर उसमें विद्युत धारा प्रवाहित करके मष्तिष्क तक पहुँचाई जाती है जिससे रोगी को आक्षेप हो जाता है। यह तीव्र अवसाद के रोगियों पर प्रभावी होती है जिन पर औषधि-चिकित्सा असफल हो जाती है।

सांवेगिक बुद्धि (Emotional intelligence) : जीवन के सांवेगिक पक्ष से संबंधित विशेषकों या योग्यताओं का

© NCERT not to be republished

समूह, जैसे – अपने निजी संवेगों की पहचान एवं प्रबंधन करने, दूसरों के संवेगों की पहचान एवं प्रबंधन करने, स्वयं अपने को उत्प्रेरित करने एवं अपने आवेगों को नियंत्रित रखने तथा प्रभावी ढंग से अंतर्वैयक्तिक संबंधों पर व्यवहार करने की योग्यताएँ। इसे एक सांवेगिक लब्धि प्राप्तांक (EQ) के रूप में व्यक्त किया जाता है।

तदनुभूति (Empathy) : दूसरे की भावनाओं के प्रति एक सांवेगिक अनुक्रिया करना जो दूसरे व्यक्ति की भावनाओं के समान हो।

पर्यावरण (Environment) : किसी जीव को प्रभावित करने वाली और उसके आस-पास के परिवेश में व्याप्त भौतिक और सामाजिक व्यवस्था की समग्रता।

पर्यावरणी मनोविज्ञान (Environmental psychology) : मनोविज्ञान की एक शाखा जो भौतिक जगत और मानव व्यवहार के बीच अंत:क्रिया पर केंद्रित होती है।

मूल्यांकन बोध (Evaluation apprehension) : उपस्थित व्यक्तियों (श्रोताओं) द्वारा नकारात्मक रूप में मूल्यांकित होने का भय।

परिश्रांति (Exhaustion) : एक ऐसी दशा जिसमें ऊर्जा संसाधन व्यवहृत हो चुके रहते हैं तथा अनुक्रियाशीलता घटकर न्यूनतम हो जाती है।

झाड़फूँक या भूत अपसारण (Exorcism) : किसी 'आत्माग्रस्त' व्यक्ति से दुष्टात्माओं या शक्तियों को निकाल भगाने के लिए अभिकल्पित धर्म-प्रेरित उपचार विधि।

आनुभविक बुद्धि (Experiential intelligence) : स्टर्नबर्ग के त्रिचापीय सिद्धांत में पूर्णत: नयी समस्याओं का समाधान करने के लिए सर्जनात्मक ढंग से विगत अनुभवों के उपयोग की योग्यता।

बहिर्मुखता (Extraversion) : व्यक्तित्व की एक विमा जिसमें व्यक्ति की अभिरुचि अपने विचारों या भावनाओं की ओर अंतर्मुखी न होकर प्रकृति या अन्य व्यक्तियों की ओर बहिर्मुखी हो जाती है।

अभिवृत्ति की चरमसीमा (Extremeness of attitude) : तटस्थ बिन्दु से अभिवृत्ति की अधिकतम दूरी।

कारक विश्लेषण (Factor analysis) : सहसंबंधों के उपयोग वाली गणितीय प्रक्रिया जिससे विशेषक पदों या परीक्षण अनुक्रियाओं को गुच्छों या कारकों के रूप में अलग-अलग किया जाता है। इसका उपयोग मूल व्यक्तित्व विशेषकों का पता लगाने के लिए अभिकल्पित परीक्षणों के विकास में किया जाता है।

तरल बुद्धि (Fluid intelligence) : जटिल संबंधों का प्रत्यक्षण करने, अमूर्त रूप से तर्क करने तथा समस्याओं का समाधान करने की योग्यता।

मुक्त साहचर्य (Free association) : एक मनोगतिक तकनीक जिसमें रोगी मन में आए हुए किसी विचार, भावना या प्रतिमा का शाब्दिक वर्णन करता है, भले ही वह महत्वहीन क्यों न प्रतीत हो।

मूल गुणारोपण त्रुटि (Fundamental attribution error) : व्यवहार के लिए बाह्य कारणों की अपेक्षा आंतरिक कारणों का अधिक गुणारोपण करने की प्रवृत्ति।

सामान्य अनुकूलन संलक्षण (General adaptation syndrome, GAS) : इसमें तीन अवस्थाएँ होती हैं – *सचेत अवस्था* जो अनुकंपी तंत्रिका तंत्र की क्रियाओं को अग्रसर करती है, *प्रतिरोध अवस्था* जिसमें जीव संकट का सामना करने का प्रयत्न करता है तथा *परिश्रांति अवस्था* जो तब घटित होती है जब जीव संकट पर विजय पाने में असफल रहता है तथा शरीरक्रियात्मक संसाधनों को नि:शेष कर देता है।

आनुवंशिकी (Genetics) : जीवविज्ञान की वह शाखा जिसके अंतर्गत प्राणियों में जीनों की गुणता स्थानांतरण का अध्ययन किया जाता है।

गेस्टाल्ट चिकित्सा (Gestalt therapy) : चिकित्सा का एक ऐसा उपागम जो सेवार्थी के विचारों, भावनाओं और व्यवहार को एक एकीकृत संपूर्ण में समाकलित करने का प्रयास करता है।

सा-कारक (g-factor) : बुद्धि की सभी अभिव्यक्तियों में निहित मूल बौद्धिक क्षमता का संकेत देने वाला सामान्य बुद्धि कारक।

समूह (Group) : दो या अधिक व्यक्ति जो एक-दूसरे से अंतक्रिया करते हैं, साझा लक्ष्य रखते हैं, एक-दूसरे पर निर्भर होते हैं तथा अपने को एक ही समूह का सदस्य समझते हैं।

समूह परीक्षण (Group test) : वैयक्तिक परीक्षण के विपरीत एक ही समय पर एक से अधिक व्यक्तियों को देने के लिए अभिकल्पित परीक्षण।

समूहचिंतन (Groupthink) : चिंतन करने का एक ढंग जिसमें सर्वसम्मत सहमति पर पहुँचने की इच्छा उचित तार्किक और निर्णयकारी प्रक्रियाओं पर हावी हो जाती है; समूह ध्रुवीकरण का एक उदाहरण।

© NCERT not to be republished

विभ्रांति (Hallucination) : एक मिथ्या प्रत्यक्षण जिसमें संगत और उपयुक्त वस्तु के दर्शनीय उद्दीपक के रूप में न रहने पर भी वस्तु की वास्तविकता का बाध्यकारी बोध होता है। यह एक अपसामान्य गोचर है।

परिवेश प्रभाव (Halo effect) : सकारात्मक गुणों को अन्य सकारात्मक गुणों के साथ, जिनके बारे में कोई जानकारी उपलब्ध नहीं है, संबद्ध करने की प्रवृत्ति।

दृढ़ता (Hardiness) : यह अपने बारे में, जगत के बारे में और इनकी अंत:क्रियाओं के संबंध में विश्वासों का एक समुच्चय/ सेट है। इसकी तीन विशेषताएँ होती हैं – प्रतिबद्धता, नियंत्रण तथा चुनौती।

समस्थिति (Homeostasis) : शरीर के भीतर शरीरक्रियात्मक संतुलन की दशा।

मानवतावादी उपागम (Humanistic approach) : वह सिद्धांत जिसमें लोग मूलत: अच्छे होते हैं और कार्यशीलता के उच्चतर स्तर की ओर विकसित होने के लिए प्रवृत्त होते हैं।

मानवतावादी चिकित्सा (Humanistic therapy) : ऐसी चिकित्सा पद्धति जिसमें निहित अभिग्रह यह है कि लोगों का अपने व्यवहार पर नियंत्रण होता है, वे स्वयं अपने जीवन के संबंध में चयन कर सकते हैं और अनिवार्य रूप से अपनी समस्याओं के समाधान के लिए उत्तरदायी होते हैं।

स्वकायदुश्चिंता रोग (Hypochondriasis) : एक मनोवैज्ञानिक विकार जिसमें व्यक्ति चिकित्सकों के बार-बार किसी बीमारी के न होने का आश्वासन दिए जाने के उपरांत भी शारीरिक प्रक्रियाओं के विषय में सोचता रहता है और काल्पनिक बीमारियों के भय से ग्रस्त रहता है।

इदम् या इड (Id) : फ्रायड के अनुसार, मानस का वह आवेगी एवं अचेतन अंश जो मूलप्रवृत्तिक अंतर्नोदों के परितोषण की ओर सुखेप्सा-सिद्धांत के माध्यम से क्रियाशील होता है। इड ही वास्तविक अचेतन या मानस का गहनतम अंश समझा जाता है।

आदर्श अहम् (Ideal self) : जिस प्रकार का व्यक्ति हम बनना चाहेंगे। इसे अहमादर्श या आदर्शीकृत आत्मबिंब भी कहा जाता है।

तदात्मीकरण या तादात्म्य (Identification) : सामान्यत: किसी दूसरे व्यक्ति को अधिक पसंद करने या अत्यधिक सम्मान देने के फलस्वरूप अपने को उस व्यक्ति की तरह समझने/ महसूस करने की प्रक्रिया।

अनन्यता (Identity) : किसी व्यक्ति के विशिष्ट लक्षण-हममें से हरेक कौन है, हमारी क्या भूमिकाएँ हैं और हम क्या-क्या कर सकते हैं।

विसंगत अभिवृत्ति परिवर्तन (Incongruent attitude change) : विद्यमान/वर्तमान अभिवृत्ति से विपरीत दिशा में अभिवृत्ति परिवर्तन।

व्यक्तिगत भिन्नताएँ (Individual differences) : लोगों की विशेषताओं और व्यवहार के स्वरूपों की स्पष्ट विविधताएँ और भिन्नताएँ।

वैयक्तिक परीक्षण (Individual test) : ऐसा परीक्षण जो विशेष रूप से प्रशिक्षित व्यक्ति द्वारा एक समय में किसी एक अकेले व्यक्ति को ही दिया जा सकता है। बिने और वेश्लर बुद्धि परीक्षण वैयक्तिक परीक्षणों के उदाहरण हैं।

औद्योगिक/संगठनात्मक मनोविज्ञान (Industrial/ organisational psychology) : मनोविज्ञान की एक उप-शाखा जो व्यक्ति और उसके कार्य के बीच संबंधों पर विशेष रूप से प्रकाश डालती है। समकालीन संदर्भ में महत्त्व औद्योगिक मनोविज्ञान से संगठनात्मक मनोविज्ञान की ओर खिसक गया है जिसमें औद्योगिक और अन्य सभी संगठन सम्मिलित हैं।

हीनता मनोग्रंथि (Inferiority complex) : एडलर के अनुसार, प्रौढ़ व्यक्तियों में विकसित हीनता की वह भावना जिसका कारण यह होता है कि वे अपने बचपन की अवधि में जब वे छोटे थे और दुनिया के बारे में उनका ज्ञान सीमित था, उत्पन्न हीनता की भावना पर नियंत्रण नहीं पा सके हैं।

अंत:समूह (Ingroup) : ऐसा सामाजिक समूह जिसे कोई व्यक्ति अपना समूह समझता है और उससे जुड़ा रहता है (हम)। वह समूह जिससे कोई व्यक्ति तादात्म्य स्थापित करता है और अन्य समूह उसके लिए बाह्य समूह हैं।

नैमित्तिक परिप्रेक्ष्य (Instrumental perspective) : ऐसा उपागम जो सुझाव देता है कि भौतिक पर्यावरण का अस्तित्व मुख्यत: मनुष्यों के सुख और कल्याण के हेतु उपयोग के लिए है।

बौद्धिक प्रतिभाशीलता (Intellectual giftedness) : विविध प्रकार के कृत्यों में श्रेष्ठ निष्पादन के रूप में प्रदर्शित असाधारण सामान्य बौद्धिक क्षमता।

बुद्धि (Intelligence) : चुनौतियों का सामना करते समय संसाधनों का प्रभावपूर्ण ढंग से उपयोग करने, सविवेक चिंतन करने और जगत को समझने की क्षमता।

© NCERT not to be republished

बुद्धि लब्धि (Intelligence quotient, IQ) : कालानुक्रमिक आयु से मानसिक आयु का अनुपात इंगित करने वाला मानकीकृत बुद्धि परीक्षणों से प्राप्त एक सूचकांक।

बुद्धि परीक्षण (Intelligence tests) : किसी व्यक्ति की बुद्धि का स्तर मापने के लिए अभिकल्पित परीक्षण।

अभिरुचि (Interest) : एक या अधिक विशिष्ट क्रियाकलापों के लिए व्यक्ति की वरीयता।

साक्षात्कार (Interview) : किसी उत्तरदाता के बारे में सूचना एकत्र करने के लिए उस उत्तरदाता और शोधकर्ता के बीच शाब्दिक अंत:क्रिया।

अंतर्मुखता (Introversion) : व्यक्तित्व की एक विमा जिसमें अभिरुचियाँ बाहर (बहिर्मुखी) के बजाय अंदर की ओर उन्मुख होती हैं।

सत्य का आधार तत्व (Kernel of truth) : समूहों के बारे में विश्वासों के अतिसामान्यीकृत समुच्चय (रूढ़धारणाओं) में प्रत्यक्षित किया जा सकने वाला सत्य का सूक्ष्म तत्व।

कामप्रसुप्ति काल (Latency period) : फ्रायड की मनोलैंगिक अवस्थाओं के सिद्धांत में लैंगिक अवस्था और परिपक्व जननांगीय अवस्था के बीच की अवधि (4–5 की आयु से लेकर 12 की आयु तक) जिसमें 'काम' के प्रति कम अभिरुचि रहती है।

कामशक्ति या लिबिडो (Libido) : फ्रायड ने इस पद को प्रस्तावित किया। फ्रायड की विचारधारा में लिबिडो कामुकता की प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष अभिव्यक्ति मात्र थी।

जीवन कौशल (Life skills) : अनुकूली और सकारात्मक व्यवहार की योग्यताएँ जो व्यक्ति को पर्यावरण के साथ प्रभावी सामंजस्य स्थापित करने में समर्थ बनाती हैं।

जीवन शैली (Lifestyle) : स्वास्थ्य मनोविज्ञान के संदर्भ में व्यक्ति के स्वास्थ्य और जीवन की गुणवत्ता का निर्धारण करने वाले निर्णयों एवं व्यवहारों का समग्र प्रतिरूप।

ध्यान (Meditation) : अपनी एकाग्रता को अंतर्मुखी करने और चेतना की परिवर्तित अवस्था को प्राप्त करने की तकनीक।

मानसिक आयु (Mental age, MA) : आयु के रूप में अभिव्यक्त बौद्धिक कार्यशीलता का मापक।

मानसिक मंदन (Mental retardation) : बुद्धि की औसत से भी कम कार्यशीलता तथा उसके साथ की अनुकूली व्यवहार में अनेक कोटि की न्यूनताओं की विद्यमानता।

अध्यावश्यकताएँ (Metaneeds) : आवश्यकताओं के पदानुक्रम में शीर्षस्थ आवश्यकताएँ, जैसे – आत्मसिद्धि, आत्म-सम्मान, सौंदर्यपरक आदि जिनकी संतुष्टि निम्नतर क्रम की आवश्यकताओं की संतुष्टि के बाद ही की जा सकती है।

मॉडलिंग या प्रतिरूपण (Modelling) : अधिगम की एक प्रक्रिया जिसमें व्यक्ति दूसरों को देखकर और उनका अनुकरण करके अनुक्रियाएँ अर्जित करता है।

भावदशा विकार (Mood disorder) : किसी व्यक्ति की सांवेगिक अवस्था को प्रभावित करने वाले विकार, जिसमें अवसाद और द्विध्रुवीय विकार भी शामिल हैं।

तांत्रिका-संचारक या न्यूरोट्रांसमीटर (Neurotransmitter) : वे रसायन जो अभिग्राही तंत्रिका-कोशिका के पार्श्वतंतु को तंत्रिका-कोष संधि की दिशा में संदेश देते हैं।

शोर (Noise) : एक अवांछित ध्वनि जो नकारात्मक भावात्मक अनुक्रिया उत्पन्न करती है।

प्रसामान्य संभाव्यता वक्र (Normal probability curve) : सममितीय, घंटाकार आवृत्ति वितरण। अधिकांश प्राप्तांक मध्य में पाए जाते हैं और दोनों छोरों की ओर समानुपातिक ढंग से कम होते जाते हैं। बहुत सी मनोवैज्ञानिक विशेषताएँ इसी रूप में वितरित हैं।

मानक (Norms) : परीक्षण निष्पादन के मानक जो अन्य परीक्षार्थियों (उसी परीक्षण के) के प्राप्तांकों के साथ किसी एक परीक्षार्थी के प्राप्तांकों की तुलना का आधार प्रदान करते हैं।

आज्ञापालन (Obedience) : दूसरों के आदेशों की प्रतिक्रिया में व्यवहार की पुष्टि करना।

प्रेक्षण-प्रणाली (Observational method) : बिना किसी कारक को प्रहस्तित किए स्वाभाविक/सहज ढंग से घटित होने वाले गोचर का किसी शोधकर्ता द्वारा प्रेक्षण करने की विधि।

मनोग्रसित-बाध्यता विकार (Obsessive-compulsive disorder) : ऐसा विकार जिसमें बाध्यताओं या मनोग्रस्तियों के लक्षण पाए जाते हैं।

इडिपस मनोग्रंथि (Oedipus complex) : फ्रायड द्वारा प्रदत्त संप्रत्यय जिसमें किशोर अपने लिंग के माता-पिता का स्थान लेने की तथा विपरीत लिंग के माता-पिता का वही स्नेह पाने की उत्कट इच्छा विकसित कर लेता है।

आशावाद (Optimism) : सुखद अनुभवों को प्राप्त करने, याद रखने तथा उनकी प्रत्याशा करने की प्रवृत्ति।

बाह्य समूह (Outgroup) : व्यक्ति जिस समूह का सदस्य नहीं है, वह समूह।

© NCERT not to be republished

शांति (Peace) : यह अपने संगी-साथी मनुष्यों और पर्यावरण के प्रति शत्रुता का अभाव तथा समरसता की अभिव्यक्ति है।

निष्पादन परीक्षण (Performance test) : ऐसा परीक्षण जिसमें भाषा की भूमिका न्यूनतम होती है क्योंकि उस कृत्य में वाचिक अनुक्रियाओं की अपेक्षा प्रकट गत्यात्मक या पेशीय अनुक्रियाओं की आवश्यकता पड़ती है।

व्यक्तिगत अनन्यता (Personal identity) : किसी व्यक्ति की सबसे अलग, सबसे भिन्न प्राणी के रूप में पहचान।

व्यक्तिगत स्थान (Personal space) : किसी व्यक्ति के आसपास का वह छोटा-सा स्थान जिसे वह निजी या व्यक्तिगत समझता है और अतिक्रमण होने पर धमकी या अप्रसन्नता का अनुभव करता है।

अनुनयता (Persuasibility) : वह स्तर या मात्रा जहाँ तक लोगों को उनकी अभिवृत्तियों में परिवर्तन करने के लिए सहमत किया जा सकता है।

लैंगिक अवस्था (Phallic stage) : फ्रायड की मनोलैंगिक अवस्थाओं में तीसरी अवस्था (लगभग 5 वर्ष की आयु में) जब सुख का अनुभव जननांगों में केंद्रित होता है और बालक व बालिका दोनों 'इडिपस मनोग्रंथि' का अनुभव करते हैं।

दुर्भीति (Phobia) : जिससे व्यक्ति को अत्यंत कम या बिल्कुल खतरा नहीं रहता, ऐसी किसी विशेष वस्तु या स्थिति का प्रबल, सतत एवं तर्कहीन भय।

भौतिक पर्यावरण (Physical environment) : यह प्रकृति है जिसमें जलवायु, वायु, जल, तापमान, वनस्पतिजात और प्राणिजात सभी समाहित हैं।

योजना या नियोजन (Planning) : दास के बुद्धि के पास (PASS) मॉडल में, नियोजन में लक्ष्य निर्धारित करना, युक्ति का चयन तथा लक्ष्योन्मुखता का अनुवीक्षण आदि निहित हैं।

सकारात्मक स्वास्थ्य (Positive health) : इसमें एक स्वस्थ शरीर, अच्छे अंतर्वैयक्तिक संबंध, जीवन में सोद्देश्यता की भावना और दबाव, अभिघात तथा परिवर्तन के प्रति सहयता निहित होते हैं।

अभिघातज उत्तर दबाव विकार (Post-traumatic stress disorder) : भूकंप या बाढ़ जैसी विपदा के पश्चात लोगों में उत्पन्न होने वाले लक्षणों के प्रतिरूप जिनमें दुश्चिंता प्रतिक्रियाएँ, तनाव, दु:स्वप्न तथा अवसाद आदि सम्मिलित होते हैं।

निर्धनता (Poverty) : यह आर्थिक वंचन है। इसका संबंध कम आय, भूख, निम्न जाति या वर्ग, निरक्षरता, निम्न स्तर के आवास, भीड़-भाड़, सार्वजनिक सुविधाओं की कमी, कुपोषण और अल्प-पोषण तथा बीमारियों की प्रबल आशंका आदि से होता है।

निर्धनता उपशमन (Poverty alleviation) : निर्धनता को कम करने के लिए किए गए उपाय या कार्यक्रम।

पूर्वाग्रह (Prejudice) : सामान्यत: नकारात्मक अभिवृत्ति वाला ऐसा पूर्वनिर्णय जो असत्यापित होता है और प्राय: किसी समूह के विरुद्ध होता है।

प्रथम प्रभाव (Primacy effect) : पहले प्राप्त होने वाली सूचना की प्रबल भूमिका।

प्राथमिक समूह (Primary group) : वह समूह जिसके सदस्य व्यक्तिगत रूप से एक-दूसरे को जानते हैं और जिसमें सभी सदस्य कम-से-कम किसी अवसर पर आपस में मिलते रहते हैं।

समस्या समाधान व्यवहार (Problem solving behaviour) : किसी प्राणी और उसके लक्ष्य की प्राप्ति के बीच आने वाली भौतिक या संप्रत्ययात्मक बाधाओं को दूर करने में निहित क्रियाकलाप और मानसिक प्रक्रियाएँ।

पर्यावरण-उन्मुख व्यवहार (Pro-environmental behaviour) : पर्यावरण की रक्षा के प्रति मनुष्यों की तत्परता और उनके क्रियाकलाप ही पर्यावरण-उन्मुख व्यवहार है।

प्रक्षेपण (Projection) : एक रक्षा युक्ति, स्वयं अपने विशेषकों, अभिवृत्तियों या आत्मनिष्ठ प्रक्रियाओं का अनजाने ही दूसरे पर गुणारोपण करने की प्रक्रिया।

प्रक्षेपी तकनीकें (Projective techniques) : किसी व्यक्ति का अपने संसार के प्रति क्या दृष्टिकोण है या वह उसमें रहकर किस प्रकार व्यवहार करता है, इस संबंध में उसकी लक्षण-विधाओं के विषय में जानकारी प्राप्त करने के लिए अस्पष्ट, अनेकार्थी, असंरचित उद्दीपक विषयों अथवा स्थितियों का उपयोग।

समाजोन्मुख या समाजोपकारी व्यवहार (Pro-social behaviour) : बिना किसी बाहरी दबाव के और बिना किसी पुरस्कार या प्रतिफल की प्रत्याशा के दूसरे की भलाई के लिए किया गया व्यवहार।

आद्यरूप (Prototype) : किसी श्रेणी के रूप में एक अन्विति योजना जो किसी वस्तु या व्यक्ति की सभी संभावित गुणवत्ताओं का प्रतिनिधित्व करती हो।

© NCERT not to be republished

सान्निध्य (Proximity) : गेस्टाल्ट मनोविज्ञान का एक सिद्धांत कि अत्यंत निकट रहने वाले उद्दीपक एक समूह के रूप में प्रत्यक्षित होते हैं।

मनोगतिक उपागम (Psychodynamic approach) : एक उपागम जो अभिप्रेरकों या अंतर्नोदों के अनुसार व्यवहार की व्याख्या करने का प्रयास करता है।

मनोगतिक चिकित्सा (Psychodynamic therapy) : सर्वप्रथम फ्रायड द्वारा प्रतिपादित। यह चिकित्सा इस आधारिका पर आश्रित है कि अपसामान्य व्यवहार के मूल स्रोत अनसुलझे विगत अंतर्द्वंद्व होते हैं और इसकी संभावना रहती है कि अस्वीकार्य अचेतन आवेग चेतना में प्रवेश करेंगे।

मनोवैज्ञानिक परीक्षण (Psychological test) : किसी व्यक्ति के मानसिक और व्यवहारपरक विशेषकों का मापन करने के लिए एक वस्तुनिष्ठ और मानकीकृत उपकरण। इसका उपयोग मनोवैज्ञानिकों द्वारा लोगों को अपने जीवन से संबंधित निर्णय लेने तथा अपने बारे में और अधिक जानकारी प्राप्त करने में सहायता करने के लिए किया जाता है।

मनस्तंत्रिका प्रतिरक्षा विज्ञान (Psychoneuroimmunology) : अनुकूलन की व्यवहारात्मक, तंत्रिका-अंत: स्रावी तथा प्रतिरक्षी प्रक्रियाओं के मध्य अंत:क्रियाएँ।

मनश्चिकित्सा (Psychotherapy) : मानसिक/मनोवैज्ञानिक विकार या कुसमायोजन के उपचार में किसी मनोवैज्ञानिक तकनीक का उपयोग।

संवेग तर्क चिकित्सा (Rational emotive therapy, RET) : अल्बर्ट एलिस द्वारा विकसित एक चिकित्सा पद्धति। यह तर्कहीन, समस्या-उत्पादक दृष्टिकोणों के स्थान पर अधिक यथार्थवादी दृष्टिकोणों को प्रतिस्थापित करने का प्रयास करती है।

युक्तिकरण (Rationalisation) : एक रक्षा युक्ति जो तब घटित होती है जब व्यक्ति अपनी असफलताओं या कमियों की व्याख्या अधिक स्वीकार्य कारणों पर गुणारोपित करके करता है।

प्रतिक्रिया-निर्माण (Reaction formation) : एक रक्षा युक्ति जिसमें व्यक्ति किसी अननुमोदित अभिप्रेरक के प्रतिकूल अभिप्रेरक को सशक्त अभिव्यक्ति देकर उस अभिप्रेरक को नकारता है।

आसन्नता प्रभाव (Recency effect) : सबसे अंत में प्राप्त होने वाली सूचना की प्रबल भूमिका।

प्रतिगमन (Regression) : एक रक्षा युक्ति जिसमें व्यक्ति अपने जीवन की किसी पूर्व अवस्था के व्यवहार को अपना लेता है। यह पद सांख्यिकी में भी प्रयुक्त होता है, जहाँ सहसंबंधों की सहायता से पूर्वकथन किया जाता है।

पुन:स्थापन या पुनर्वास (Rehabilitation) : किसी बीमारी या आपराधिक घटना के उपरांत व्यक्ति को सामान्य या यथासंभव संतोषजनक स्थिति में स्थापित करना।

विश्रांति प्रशिक्षण (Relaxation training) : एक प्रक्रिया जिसमें सेवार्थी को अपने शरीर के सारे तनाव को निर्मुक्त करने का प्रशिक्षण दिया जाता है।

दमन (Repression) : एक ऐसी रक्षा युक्ति जिसमें व्यक्ति सभी अस्वीकार्य, दुश्चिंताकारी विचारों और आवेगों का प्रत्यक्ष सामना करने से बचने के लिए अचेतन में ढकेल देता है।

स्थिति स्थापन (Resilience) : चुनौतीपूर्ण जीवन दशाओं में भी सकारात्मक समायोजन बनाए रखना।

प्रतिरोध (Resistance) : मनोविश्लेषण में रोगी द्वारा उपचार को अवरुद्ध करने के लिए किया गया प्रयास।

भूमिकाएँ (Roles) : सामाजिक मनोविज्ञान में एक महत्वपूर्ण संप्रत्यय जो किसी व्यक्ति द्वारा समाज में अपनी स्थिति या हैसियत के अनुरूप लिए जाने वाले अपेक्षित व्यवहार को इंगित करता है।

बलि का बकरा बनाना (Scapegoating) : किसी गलत या अनुचित कार्य के लिए किसी समूह पर दोषारोपण करना क्योंकि वह समूह आरोप से अपना बचाव नहीं कर सकता।

अन्विति योजना (Schema) : एक मानसिक संरचना जो सामाजिक (तथा अन्य) संज्ञान को निर्देशित करती है।

मनोविदलता (Schizophrenia) : मनस्तापी प्रतिक्रियाओं का समूह जिसमें समाकलित व्यक्तित्व कार्यशीलता विघटित हो जाती है, वास्तविकता से विनिवर्तन, सांवेगिक अवरोध तथा विरूपण, एवं विचार व व्यवहार विक्षुब्ध हो जाता है।

आत्मसिद्धि (Self-actualisation) : आत्म-संपूर्णता की दशा जिसमें व्यक्ति अपने उच्चतम संभावित लक्ष्य को अपने-अपने विशिष्ट तरीके से प्राप्त कर लेते हैं।

आत्म-जागरूकता (Self-awareness) : अपने अभिप्रेरकों, विभवताओं और परिसीमाओं के प्रति अंतर्दृष्टि।

आत्म-सक्षमता (Self-efficacy) : अपनी निजी प्रभाविता के बारे में व्यक्ति के विश्वास के लिए बंदूरा द्वारा प्रयुक्त

© NCERT not to be republished

शब्द; यह प्रत्याशा कि कोई व्यक्ति किसी स्थिति पर पूर्ण आधिपत्य कर सकता है तथा सकारात्मक परिणाम प्राप्त कर सकता है।

आत्म-सम्मान (Self-esteem) : किसी व्यक्ति का अपनी निजी योग्यता के बारे में व्यक्तिगत निर्णय; एक सकारात्मक-नकारात्मक विमा पर अपने प्रति स्वयं की अभिवृत्ति।

स्वतः साधक भविष्योक्ति (Self-fulfilling prophecy) : इस ढंग से व्यवहार करना जो दूसरों द्वारा किए गए भविष्यकथन की पुष्टि करता हो।

आत्म-नियमन (Self-regulation) : यह स्वयं अपने व्यवहार का सुयोजन और अनुवीक्षण करने की हमारी योग्यता का उल्लेख करता है।

संवेदनशीलता (Sensitivity) : अत्यंत निम्न स्तर के भौतिक उद्दीपन पर अनुक्रिया करने की प्रवृत्ति।

अभिवृत्ति की सरलता या जटिलता (बहुविधता) (Simplicity or complexity (multiplexity) of attitude) : या तो संपूर्ण अभिवृत्ति में कोई अकेली या बहुत कम उप-अभिवृत्तियाँ निहित होती हैं (सरल) या इसमें अनेक उप-अभिवृत्तियाँ निहित होती हैं (बहुविध)।

सहकालिक प्रक्रमण (Simultaneous processing) : 'पास' (PASS)मॉडल में संज्ञानात्मक प्रक्रमण जिसमें उद्दीपक स्थिति के तत्वों का सम्मिश्रित एवं सार्थक प्रतिरूपों में समाकलन निहित होता है।

स्थितिवाद (Situationism) : वह सिद्धांत जिसके अनुसार व्यक्ति के बाहर की स्थितियों और परिस्थितियों में उसके व्यवहार को प्रभावित करने की शक्ति होती है।

सामाजिक संज्ञान (Social cognition) : वे प्रक्रियाएँ जिनके माध्यम से हम सामाजिक सूचनाओं से अवगत होते हैं, उनकी व्याख्या करते हैं, उन्हें याद रखते हैं और बाद में उनका उपयोग करते हैं। ये अन्य लोगों तथा स्वयं को ठीक से समझने में सहायता करती हैं।

सामाजिक सुकरीकरण (Social facilitation) : अन्य लोगों या श्रोतागण की उपस्थिति में अपने निष्पादन में सुधार करने की लोगों की प्रवृत्ति।

सामाजिक अनन्यता या अस्मिता (Social identity) : एक व्यक्ति की अपने बारे में यह परिभाषा कि वह कौन है। इसमें विभिन्न समूहों की सदस्यता के साथ-साथ व्यक्तिगत गुण (आत्म-संप्रत्यय) भी सम्मिलित होते हैं।

सामाजिक प्रभाव (Social influence) : वह प्रक्रिया जिसके द्वारा किसी व्यक्ति या समूह के कार्य दूसरों के व्यवहार को प्रभावित करते हैं।

सामाजिक प्रावरोध (Social inhibition) : किसी आचरण पर सामाजिक संयम या नियंत्रण।

सामाजिक स्वैराचार (Social loafing) : किसी समूह में प्रत्येक अतिरिक्त व्यक्ति यह सोचकर कि दूसरे व्यक्ति कार्य में अपना आयास लगा ही रहे होंगे, स्वयं अपना आयास कम कर देता है।

सामाजिक अवलंब (Social support) : किसी व्यक्ति को दूसरे लोगों से यह ज्ञात होना कि लोग उससे प्रेम करते हैं, उसकी परवाह करते हैं, और उसका सम्मान करते हैं। यह जानकारी संचार के जालक्रम और पारस्परिक आभार का अंश होती है।

कायरूप विकार (Somatoform disorders) : किसी पहचानने योग्य आंगिक कारण के न रहते हुए भी शरीर में किसी बीमारी या अशक्तता के हो जाने की स्थिति।

आध्यात्मिक परिप्रेक्ष्य (Spiritual perspective) : ऐसा परिप्रेक्ष्य जो धर्मग्रंथों के अनुरूप किए जाने वाले कार्यों का विशेष रूप से उल्लेख करता है। यह मनुष्य एवं प्रकृति के बीच सामंजस्य की हिमायत करता है।

प्रतिष्ठा या हैसियत (Status) : किसी समूह में सामाजिक श्रेणीक्रम।

रूढ़धारणा (Stereotype) : किसी विशिष्ट समूह के बारे में अतिसामान्यीकृत और असत्यापित आदि प्ररूप।

दबाव (Stress) : ऐसी घटनाओं के प्रति हमारी अनुक्रिया जो हमारी शारीरिक एवं मनोवैज्ञानिक कार्यशीलता को विघटित कर देती है या विघटित करने की धमकी देती है।

दबावकारक (Stressors) : हमारे पर्यावरण में वे घटनाएँ या स्थितियाँ जो दबाव उत्पन्न करती हैं।

संरचना (Structure) : किसी जटिल तंत्र या गोचर का चिरस्थायी स्वरूप एवं संघटन। इसकी विपरीतार्थी संकल्पना 'प्रकार्य' है जो इसी संरचना से निःसृत अपेक्षाकृत कम अवधि की प्रक्रिया है।

मादक द्रव्यों का दुरुपयोग (Substance abuse) : भावदशा या व्यवहार में परिवर्तन करने हेतु किसी मादक द्रव्य या रसायन का उपयोग जिसका प्रतिफल हानिकारक होता है।

आनुक्रमिक प्रक्रमण (Successive processing) : 'पास' मॉडल में संज्ञानात्मक प्रक्रमण जिसमें उद्दीपक स्थिति के घटकों पर क्रमिक ढंग से अनुक्रिया की जाती है।

© NCERT not to be republished

पराहम् (Superego) : फ्रायड के अनुसार मनुष्य में विकसित होने वाली अंतिम व्यक्तित्व-संरचना। यह समाज में सही और गलत के मानकों का प्रतिनिधित्व करता है जो उसे माता-पिता, शिक्षकों तथा अन्य महत्वपूर्ण व्यक्तियों से प्राप्त होते हैं।

पृष्ठ विशेषक या शीलगुण (Surface traits) : आर.बी. कैटल द्वारा वर्णित प्रेक्षण-योग्य विशेषक-घटकों के वे पुंज (अनुक्रियाएँ) जिनकी अवस्थिति साथ-साथ देखी जाती है। सहसंबंधों के कारक विश्लेषण से स्रोत विशेषक प्राप्त होते हैं।

संलक्षण (Syndrome) : किसी विकार के साथ-साथ प्रकट होने वाले लक्षणों का समूह या प्रतिरूप जो उस विकार के विशिष्ट चित्र का प्रतिनिधित्व करता है।

क्रमिक विसंवेदनीकरण (Systematic desensitisation) : व्यवहार चिकित्सा का एक रूप जिसमें दुर्भीतिग्रस्त सेवार्थी पहले विश्रांत अवस्था की ओर प्रेरित होना सीखता है और तब उसके समक्ष भय या दुर्भीति उत्पन्न करने वाला उद्दीपक प्रस्तुत किया जाता है।

चिकित्सात्मक मैत्री या सौहार्द (Therapeutic alliance) : चिकित्सक और सेवार्थी के मध्य स्थापित होने वाला विशिष्ट संबंध; संबंध का संविदागत या अनुबंधीय स्वरूप तथा चिकित्सा की सीमित अवधि इसके दो प्रमुख घटक होते हैं।

टोकन अर्थव्यवस्था (Token economy) : क्रियाप्रसूत अनुबंधन पर आधारित व्यवहार चिकित्सा का एक प्रकार जिसमें अस्पताल में भर्ती रोगी ऐसे टोकन उपार्जित करते हैं, जब वे वहाँ के कर्मचारियों के मनोनुकूल वांछित व्यवहार करते हैं। इन टोकनों का विनिमय मूल्यवान पुरस्कारों या वस्तुओं से किया जा सकता है।

विशेषक या शीलगुण (Trait) : अनेक प्रकार की परिस्थितियों में व्यक्त होने वाला अपेक्षाकृत सतत एवं संगत व्यवहार का स्वरूप।

विशेषक या शीलगुण उपागम (Trait approach) : व्यक्तित्व का ऐसा उपागम जो व्यक्तित्व का वर्णन करने के लिए उसके आधारभूत विशेषकों की पहचान व खोज करता है।

संव्यवहार उपागम (Transactional approach) : इसमें व्यक्ति और उसके पर्यावरण के मध्य की अंत:क्रियाएँ सम्मिलित हैं। मनुष्य पर्यावरण पर प्रभाव डालते हैं और बदले में पर्यावरण द्वारा प्रभावित भी होते हैं।

अन्यारोपण (Transference) : मनोविश्लेषण करने वाले व्यक्ति की चिकित्सक के प्रति प्रबल सकारात्मक या नकारात्मक भावनाएँ।

प्ररूपविज्ञान (Typology) : व्यक्तियों का अलग-अलग कोटियों या प्ररूपों में तर्कसंगत संवर्गीकरण, जैसे-टाइप 'ए' व्यक्तित्व।

अशर्त सकारात्मक आदर (Unconditional positive regard) : किसी प्रेक्षक की ओर से, बिना इस बात पर ध्यान दिए कि दूसरा व्यक्ति क्या कहता या करता है, उस व्यक्ति को स्वीकार करने और सम्मान करने की अभिवृत्ति।

अचेतन (Unconscious) : मनोविश्लेषण सिद्धांत में कोई भी ऐसी क्रिया या मानसिक संरचना जिसकी जानकारी व्यक्ति को नहीं होती।

अभिवृत्ति की कर्षणशक्ति (Valence of attitude) : किसी अभिवृत्ति के सकारात्मक या नकारात्मक होने की स्थिति।

मूल्य (Values) : व्यवहार के आदर्श तरीकों या अस्तित्व की अंत्य अवस्था के संबंध में अमिट विश्वास; वे अभिवृत्तियाँ जिनका मूल्यपरक और 'कर्तव्यता' पक्ष प्रबल होता है।

शाब्दिक परीक्षण (Verbal test) : ऐसा परीक्षण जिसमें अपेक्षित अनुक्रियाएँ करने के लिए परीक्षार्थी की शब्दों एवं संप्रत्ययों को समझने और उनका उपयोग करने की योग्यता महत्वपूर्ण होती है।

© NCERT not to be republished

पठनीय पुस्तकें

विषयवस्तु की और अधिक जानकारी के लिए आप निम्नलिखित पुस्तकों को पढ़ सकते हैं —

- **बैरन, आर. ए.** (2001/भारतीय पुनर्मुद्रण 2002), *साइकोलॉजी* (पाँचवाँ संस्करण), एलिन एंड बेकॅन।
- **बेलैक, ए. एस. तथा हर्सेन, एम.** (1998), *कॉम्प्रिहेंसिव क्लिनिकल साइकोलॉजी,* एलसेवियर, लंदन।
- **कार्सन, आर.सी., बूचर, जे.एन. तथा मिनेका, एस.** (2004), *एबनार्मल साइकोलॉजी एंड माडर्न लाइफ,* पियर्सन एजुकेशन, दिल्ली।
- **डेविस, एस.एफ. तथा पैलाडिनो, जे. एच.** (1997), *साइकोलॉजी,* प्रेंटिस-हॉल।
- **डेविसन, जी. सी.** (1998), *एबनार्मल साइकोलॉजी,* जॉन विले एंड संस।
- **जेरो, जे.आर.** (1997), *साइकोलॉजी-एन इंट्रोडक्शन,* एडिसन वेस्ली लांगमैन।
- **ग्लाइटमैन, एच.** (1996), *बेसिक साइकोलॉजी,* डब्ल्यू. डब्ल्यू. नॉर्टन एंड कंपनी।
- **सैडोक, बी.जे. तथा सैडोक, वी.ए. (संपादक)** (2004), *कैपलान एंड सैडोक्श कॉम्प्रिहेंसिव टेक्स्टबुक ऑफ साइकिऑट्री* (आठवाँ संस्करण, खंड II), लिपिनकौट विलियम्स एंड विल्किंस।
- **लाहे, बी.बी.** (1998), *साइकोलॉजी - एन इंट्रोडक्शन,* टाटा मैकग्रा-हिल।
- **मैलिम, टी. तथा बर्च ए.** (1998), *इंट्रोडक्टरी साइकोलॉजी,* मैकमिलन प्रेस लिमिटेड।
- **मैकमोहन, जे. डब्ल्यू., मैकमोहन, एफ. बी. तथा रोमॉनो, टी.** (1995), *साइकोलॉजी एंड यू,* वेस्ट पब्लिशिंग कंपनी।
- **वीटेन, डब्ल्यू.** (2001), *साइकोलॉजी-थीम्स एंड वैरिएशंस,* थॉमसन लर्निंग, वैड्सवर्थ।
- **जिंबार्डो, पी.जी. तथा वेबर, ए.एल.** (1997), *साइकोलॉजी,* लांगमैन, न्यूयार्क।

© NCERT not to be republished