

## अध्याय 8

# वैद्युतचुंबकीय तरंगे



### 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 वरन् 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 वे 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

## भौतिकी



**जेम्स क्लार्क मैक्सवेल**  
**(1831 – 1879)** स्कॉटलैंड के एडिनबर्ग में जन्मे, उनीसवीं 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, ऑस्टर्टेंड, 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।

जेम्स क्लार्क मैक्सवेल (1831–1879)

की चाल ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) 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, हर्टज़ 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  $\sim 10^{-12} \text{ m}$ ) से दीर्घ रेडियो तरंगों (तरंगदैर्घ्य  $\sim 10^6 \text{ m}$ ) तक फैला है, उसके विषय में चर्चा की जाएगी। संचार प्रणाली में वैद्युतचुंबकीय तरंगों 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 महत्व 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)

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i(t) \quad (8.1)$$

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।

$$B(2\pi r) = \mu_0 i(t) \quad (8.2)$$

## विद्युतचुंबकीय तरंगें

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 संभवतः 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 **E** का परिमाण  $(Q/A)/\epsilon_0$  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

$$\Phi_E = |E| A = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Q}{A} A = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (8.3)$$

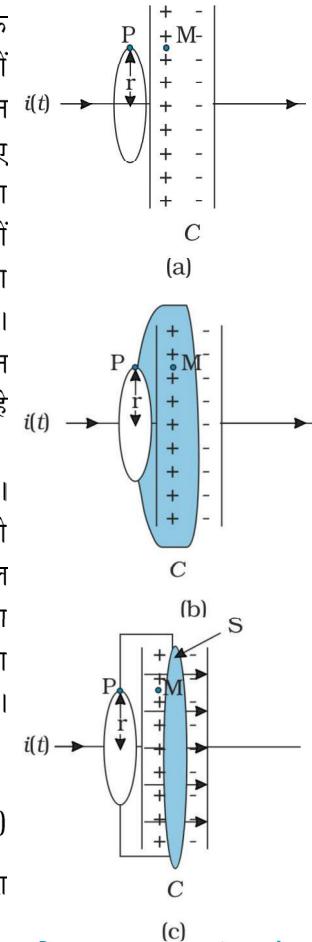
अब यदि संधारित्र की प्लेटों पर आवेश Q समय के साथ परिवर्तित हो तो यहाँ एक धारा  $i = (dQ/dt)$  होगी। इसलिए समीकरण (8.3) से

$$\frac{d\Phi_E}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{Q}{\epsilon_0} \right) = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{dQ}{dt}$$

यह निर्दिष्ट करता है कि ऐम्पियर के नियम में संगति के लिए,

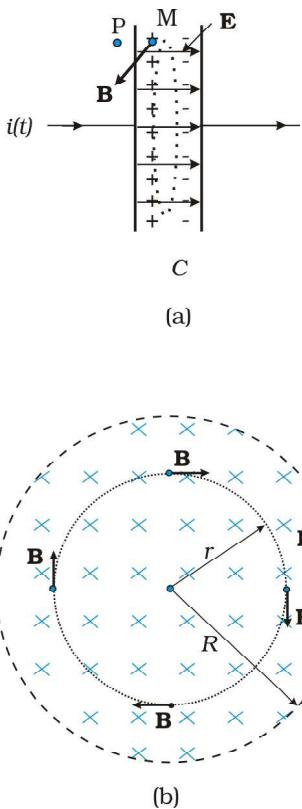
$$\epsilon_0 \left( \frac{d\Phi_E}{dt} \right) = i \quad (8.4)$$

यही ऐम्पियर के परिपथीय नियम का छूटा हुआ पद है। यदि हम किसी भी सतह से होकर चालकों द्वारा वाहित कुल धारा में,  $\epsilon_0$  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 शून्यतर 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 दर्शाता है।

## भौतिकी



**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  $i_d$  ( $= \epsilon_0 (\frac{d\Phi_E}{dt})$ ) द्वारा निर्दिष्ट विस्थापन धारा के योग के बराबर होती है। अतः

$$i = i_c + i_d = i_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (8.5)$$

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

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i_c + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (8.6)$$

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 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 (शब्दशः) दूरगामी परिणाम हैं। एक तथ्य जिसकी ओर हमारा ध्यान एकदम आकर्षित होता है, वह यह है कि विद्युत एवं चुंबकत्व अब और अधिक सम्मितीय\* 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, चौंक 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

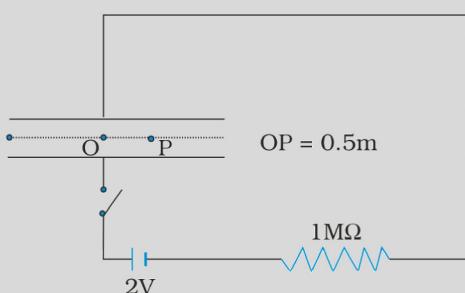
\* ये अभी भी पूर्णतः सम्मितीय नहीं हैं। विद्युत क्षेत्र को उत्पन्न करने के लिए विद्युत आवेशों के सादृश्य चुंबकीय क्षेत्र के स्रोत (चुंबकीय एकल ध्रुव, magnetic monopole) ज्ञात नहीं हैं।

है, फैराडे के नियम का सममितीय प्रतिरूप है और विस्थापन धारा के चुंबकीय क्षेत्र का स्रोत होने का परिणाम है। अतः 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.  $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = Q / \epsilon_0$  (वैद्युत संबंधी गाउस नियम)
2.  $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$  (चुंबकत्व संबंधी गाउस नियम)
3.  $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$  (फैराडे नियम)
4.  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 i_c + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$  (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  $R = 1 \text{ M}\Omega$  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  $\tau = CR = 10^{-3} \text{ s}$ । अतः

$$\begin{aligned} q(t) &= CV[1 - \exp(-t/\tau)] \\ &= 2 \times 10^{-9} [1 - \exp(-t/10^{-3})] \end{aligned}$$

t क्षण पर प्लेटों के बीच विद्युत क्षेत्र,

$$E = \frac{q(t)}{\epsilon_0 A} = \frac{q}{\pi \epsilon_0 A}; \text{ क्योंकि } A = \pi(1)^2 \text{ m}^2 = \text{प्रत्येक प्लेट का क्षेत्रफल}$$

अब बिंदु P से गुजरते हुए प्लेटों के समांतर एक  $(1/2) \text{ m}$  त्रिज्या के वृत्ताकार लूप की कल्पना कीजिए। लूप के प्रत्येक बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र  $\mathbf{B}$  का परिमाण समान है और इसकी दिशा लूप के अनुदिश है। लूप से गुजरने वाले फ्लक्स  $\phi_E$  का मान है—

## उदाहरण 8.1

$$\Phi_E = E \times \text{लूप का क्षेत्रफल}$$

$$= E \times \pi \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{\pi E}{4} = \frac{q}{4\epsilon_0}$$

विस्थापन धारा

$$i_d = \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

$$= \frac{1}{4} \frac{dq}{dt} = 0.5 \times 10^{-6} \exp(-1),$$

$t = 10^{-3}$  s रखने पर। अब लूप के लिए ऐम्पियर का नियम लागू करने पर,

$$B \times 2\pi \times \left(\frac{1}{2}\right) = \mu_0 (i_c + i_d) = \mu_0 (0 + i_d) = 0.5 \times 10^{-6} \mu_0 \exp(-1)$$

अथवा,  $B = 0.74 \times 10^{-13}$  T

## 8.3 वैद्युतचुंबकीय तरंगे

### 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 अर्थात् 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  $6 \times 10^{14}$  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 हर्ट्ज के प्रयोग (1887) के प्रकरण में देख सकते हैं।

मैक्सवेल के सिद्धांत के परीक्षण के लिए किए गए हर्ट्ज 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

दो महत्वपूर्ण उपलब्धियाँ उल्लेख किए जाने योग्य हैं। हर्ट्ज 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 हर्ट्ज के प्रयोग की भाँति ही प्रयोगशाला तक ही सीमित रहा।

लगभग उसी समय इटली में गुगलीओ मार्कोनी ने हर्ट्ज 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।

### 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। अतः 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 हैं।  $E_x$  एवं  $B_y$  को हम निम्नवत लिख सकते हैं :

$$E_x = E_0 \sin(kz - \omega t) \quad [8.7(a)]$$

$$B_y = B_0 \sin(kz - \omega t) \quad [8.7(b)]$$

यहाँ  $k$  एवं तरंग की तरंगदैर्घ्य  $\lambda$  में निम्नलिखित सामान्य संबंध है

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (8.8)$$

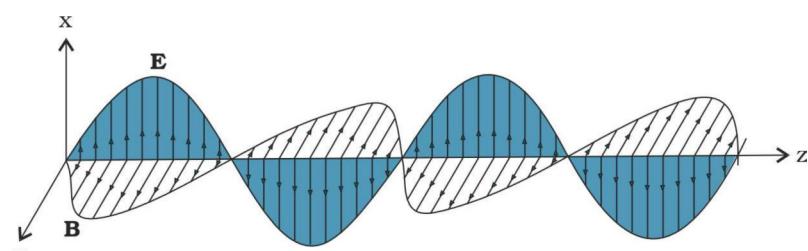
तथा यहाँ  $\omega$  कोणीय आवृत्ति है,  $k$  तरंग सदिश (या गमन सदिश) **k** का परिमाण है।  $k$  की दिशा तरंग के गमन की दिशा निर्दिष्ट करती है। तरंग की गमन चाल ( $\omega/k$ ) है।  $E_x$  एवं  $B_y$  के लिए समीकरणों [8.7(a) एवं (b)] तथा मैक्सवेल के समीकरणों का उपयोग करके आप निम्न परिणाम पर पहुँच सकते हैं –



हेनरिच रूडोल्फ हर्ट्ज

(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।

अंसरिच रूडोल्फ हर्ट्ज (1857-1894)



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।

## भौतिकी

$$\omega = ck, \text{ यहाँ, } c = 1 / \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$$

[8.9(a)]

समीकरण  $\omega = ck$ , सभी तरंगों के लिए प्रामाणिक संबंध है (देखिए कक्षा 11 भौतिकी पाठ्यपुस्तक, अनुभाग 15.4)। प्रायः इस संबंध को आवृत्ति,  $v$  ( $=\omega/2\pi$ ) एवं तरंगार्दैर्घ्य,  $\lambda$  ( $=2\pi/k$ ) के पदों में इस रूप में लिखा जाता है—

$$2\pi v = c \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \quad \text{अथवा}$$

$v\lambda = c$  [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—

$$B_0 = (E_0/c)$$

(8.10)

अब हम वैद्युतचुंबकीय तरंगों के कुछ अभिलक्षणों पर टिप्पणियाँ करते हैं। वे मुक्त स्थान या निर्वात में, विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्रों के स्वःसंपोषित 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 तरंगों होती हैं जो गमन दिशा में संपीड़नों एवं विरलनों के रूप में चलती 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 पॉइंजन 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 तरंगों ही है; 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  $\epsilon$  एवं आपेक्षिक चुंबकशीलता  $\mu$  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  $\epsilon_0$  एवं  $\mu_0$  का स्थान यह राशियाँ ले लेती हैं। आपेक्षिक विद्युतशीलता  $\epsilon$  एवं आपेक्षिक चुंबकशीलता  $\mu$  वाले किसी माध्यम में, प्रकाश का वेग हो जाता है

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (8.11)$$

अतः 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/javaektnujava/emWave/emWave.html>



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  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  से कुछ मीटर प्रति सेकंड कम या अधिक होता है। निवाति 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। अर्थात् 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 अर्थात् किसी विशिष्ट प्रक्रिया में परमाणु द्वारा उत्पर्जित 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 छड़ि) प्रयोग करके ज्ञात किए गए मान लगभग  $2.9979246 \times 10^8 \text{ m/s}$  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!

हर्ट्ज 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 तरंगे विवरित, अपवर्तित एवं ध्रुवित हो सकती हैं। इस प्रकार, उन्होंने विकिरणों की तरंग प्रकृति को निर्णायक रूप से स्थापित कर दिया। इसके अतिरिक्त उन्होंने अप्रगमी वैद्युतचुंबकीय तरंगों उत्पन्न कीं और दो क्रमागत प्रस्पंदों के बीच की दूरी माप कर उनका तरंगदैर्घ्य ज्ञात किया। क्योंकि तरंग की आवृत्ति (होलित्र की आवृत्ति के समान होने के कारण) ज्ञात थी, उन्होंने सूत्र  $v = \nu l$  का उपयोग कर इन तरंगों की चाल ज्ञात की और पाया कि यह तरंगे भी उतनी ही चाल से चलती हैं जिससे कि प्रकाश चलता है।

इस तथ्य को कि वैद्युतचुंबकीय तरंगे 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 वैद्युतीय 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 तरंगे 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 निवातित क्षेत्र में यदि विद्युत क्षेत्र  $E$  विद्यमान होता है तो उस क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व ( $\epsilon_0 E^2 / 2$ ) 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,

$$P = \frac{U}{c}$$

(8.12)

## भौतिकी

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, अतः 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  $7 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$  की कोटि का पाया गया। इस प्रकार,  $10 \text{ cm}^2$  क्षेत्रफल की सतह पर विकिरण के कारण बल केवल  $7 \times 10^{-9} \text{ N}$  होता है।

वैद्युतचुंबकीय तरंगों का बड़ा प्रौद्योगिकीय महत्व, 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** 25 MHz आवृत्ति की एक समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग निर्वात में  $x$ -दिशा के अनुदिश गतिमान है। दिक्काल (space) में किसी विशिष्ट बिंदु पर इसका  $\mathbf{E} = 6.3 \hat{\mathbf{j}} \text{ V/m}$  है। इस बिंदु पर  $\mathbf{B}$  का मान क्या है?

**हल**  $\mathbf{E}$  एवं  $\mathbf{B}$  के परिमाण एक-दूसरे से निम्नलिखित समीकरण द्वारा संबंधित हैं—

$$\begin{aligned} B &= \frac{E}{c} \\ &= \frac{6.3 \text{ V/m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 2.1 \times 10^{-8} \text{ T} \end{aligned}$$

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। अतः  $\mathbf{B}$   $x$ -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।

अतः  $\mathbf{B} = 2.1 \times 10^{-8} \hat{\mathbf{k}} \text{ T}$

**उदाहरण 8.3** किसी समतल वैद्युतचुंबकीय तरंग में चुंबकीय क्षेत्र  $B_y = (2 \times 10^{-7}) \text{ T} \sin(0.5 \times 10^3 x + 1.5 \times 10^{11} t)$  है

(a) तरंग की आवृत्ति तथा तरंगदैर्घ्य क्या है?

(b) विद्युत क्षेत्र के लिए व्यंजक लिखिए।

**हल**

(a) दिए गए समीकरण की निम्न समीकरण

$$B_y = B_0 \sin \left[ 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} + \frac{t}{T} \right) \right]$$

से तुलना करने पर

$$\lambda = \frac{2\pi}{0.5 \times 10^3} \text{ m} = 1.26 \text{ cm}$$

$$\text{तथा } \frac{1}{T} = \nu = (1.5 \times 10^{11}) / 2\pi = 23.9 \text{ GHz}$$

(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। अतः,

विद्युत क्षेत्र घटक  $z$ -अक्ष के अनुदिश निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त होगा

$$E_z = 60 \sin(0.5 \times 10^3 x + 1.5 \times 10^{11} t) \text{ V/m}$$

**उदाहरण 8.4**  $18 \text{ W/cm}^2$  के ऊर्जा फ्लक्स का प्रकाश किसी अपरावर्तक सतह पर अभिलंबवत आपत्ति 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):

$$p = \frac{U}{c} = \frac{6.48 \times 10^5 \text{ J}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 2.16 \times 10^{-3} \text{ kg m/s}$$

अतः 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 8.5** 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

$$A = 4\pi r^2 = 4\pi(3)^2 = 113 \text{ m}^2$$

अतः, 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

$$\frac{1}{2} I = \frac{1}{2} (\epsilon_0 E_{rms}^2 c) \\ = \frac{1}{2} (0.022 \text{ W/m}^2)$$

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{0.022}{(8.85 \times 10^{-12})(3 \times 10^8)}} \text{ V/m} \\ = 2.9 \text{ V/m}$$

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,

$$E_0 = \sqrt{2} E_{rms} = \sqrt{2} \times 2.9 \text{ V/m} \\ = 4.07 \text{ V/m}$$

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 माइक्रोवॉल्ट प्रति मीटर की कोटि के होते हैं।

अब, आइए हम चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता का परिकलन करें,

અધ્યાત્મ 8.5

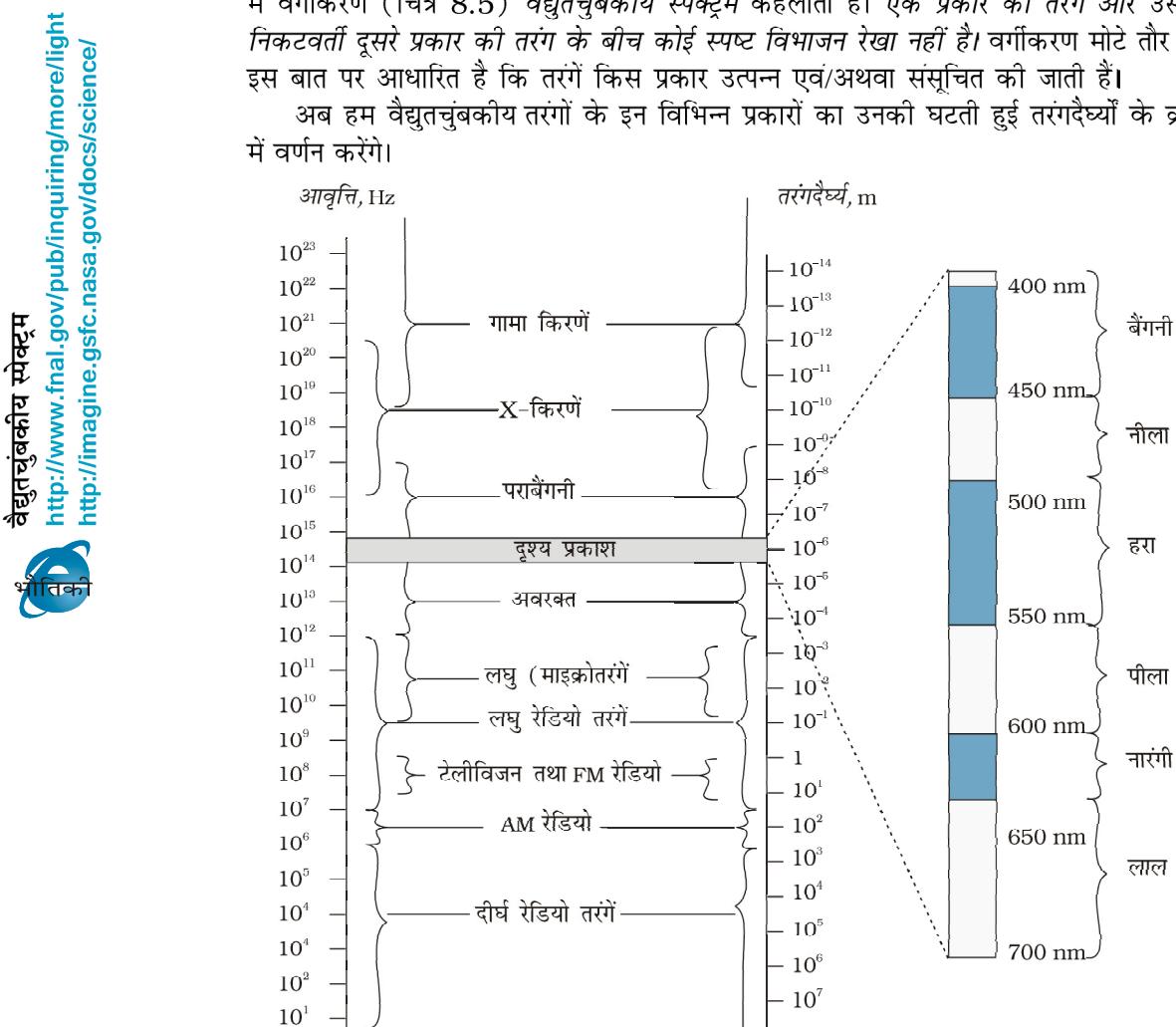
$$B_{rms} = \frac{E_{rms}}{c} = \frac{2.9 \text{ V m}^{-1}}{3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}} = 9.6 \times 10^{-9} \text{ T}$$

प्रकाश पुंज में क्षेत्र ज्यावक्रीय है, 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, स्पष्टतः 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 तरंगों ही एक मात्र सुपरिचित वैद्युतचुंबकीय (em) तरंगें थीं। पराबैग्नी एवं अवरक्त तरंगों का अस्तित्व अभी मुश्किल से साबित हो पाया था। उनीसवीं 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, पराबैग्नी 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 रखा 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।



**चित्र 8.5** वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम जिसके विभिन्न भागों के सामान्य नाम दर्शाए गए हैं। विभिन्न भागों के बीच कोई स्पष्ट विभाजन रखा नहीं है।

## वैद्युतचुंबकीय तरंगे

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 सामान्यतः 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 लघुतंग 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 हैं, 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 गेंदों 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 है। माइक्रोवेव ऑवन इन तरंगों का एक रोचक घरेलू अनुप्रयोग है। इन ऑवनों में सूक्ष्म तरंगों की आवृत्ति इस प्रकार चूनी 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 2.45 गिगा हर्ट्ज़ (GHz) है। यदि जल को इस आवृत्ति की सूक्ष्म तरंगों 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। अतः 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।

### 8.4.3 अवरक्त तरंगे

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,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , आदि भी अवरक्त तरंगों को अवशोषित कर लेते हैं।) अवशोषण के पश्चात उनकी तापीय गति बढ़ जाती है, अर्थात् 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 अर्थात् 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 सुक्तियाँ (उदाहरण के लिए प्रकाश उत्सर्जक डायोड) भी अवरक्त तरंगें उत्सर्जित करती हैं और घरेलू इलैक्ट्रॉनिक प्रणालियों जैसे टी.वी. सेट, वीडियो रिकॉर्डर एवं हाई-फाई प्रणालियों के रिमोट नियंत्रकों में ये बहुलता से प्रयोग की जाती हैं।

### 8.4.4 दृश्य प्रकाश तरंगे

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  $4 \times 10^{14}$  हर्ट्ज से  $7 \times 10^{14}$  हर्ट्ज 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 तरंगे

इसमें लगभग  $4 \times 10^{-7}$  m (400 nm) से  $6 \times 10^{-10}$  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 ताप्र रंग की हो जाती है। UV विकिरण सामान्य काँच द्वारा अवशोषित हो जाते हैं। अतः काँच लगी खिड़कियों से छन कर आने वाले प्रकाश के कारण धूप-ताप्रता (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।

चौंक ओजोन परत एक संरक्षक की भूमिका अदा करती है इसलिए क्लोरोफ्लोरो-कार्बन (CFCs) गैसों (जैसे फ्रीऑन) द्वारा इसका हास अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर चिंता का विषय है।

## वैद्युतचुंबकीय तरंगे

### 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  $10^{-8} \text{ m}$  ( $10 \text{ nm}$ ) से लेकर नीचे  $10^{-13} \text{ m}$  ( $10^{-4} \text{ nm}$ ) 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  $10^{-10} \text{ m}$  से लेकर  $10^{-14} \text{ m}$  से भी कम होती है। उच्च आवृत्ति का यह विकिरण नाभिकीय अभिक्रियाओं में उत्पन्न होता है। यह रेडियोधर्मों 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।

प्रकार	तरंगदैर्घ्य का परास	उत्पादन	संसूचन
रेडियो तरंगें	$> 0.1 \text{ m}$	एरियल (aerial) में इलेक्ट्रॉनों का द्रुत त्वरण या मंदन	अभिग्राहक के एरियल
सूक्ष्म तरंगें	$0.1 \text{ m}$ से $1 \text{ mm}$	क्लेस्ट्रॉन या मेग्नाट्रॉन वाल्व	बिंदु संपर्क डायोड
अवरक्त तरंगें	$1 \text{ mm}$ से $700 \text{ nm}$	परमाणुओं एवं अणुओं के कंपन	थर्मोपाइल, बोलोमीटर, अवरक्त फोटोग्राफिक फिल्म

ERROR: stackunderflow  
OFFENDING COMMAND: ~

STACK:

## उत्तर

### अध्याय 1

**1.1**  $6 \times 10^{-3}$  N (प्रतिकर्षी)

**1.2** (a) 12 cm      (b) 0.2 N (आकर्षी)

**1.3**  $2.4 \times 10^{39}$ । यह एक प्रोटॉन तथा एक इलेक्ट्रॉन (समान दूरियों पर स्थित होने पर) के बीच लगे वैद्युत बल तथा गुरुत्वाकर्षण बल का अनुपात है।

**1.5** आवेश उत्पन्न अथवा नष्ट नहीं होता। यह केवल एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानांतरित होता है।

**1.6** 0 N

**1.8** (a)  $5.4 \times 10^6$  N C<sup>-1</sup> OB के अनुदिश;      (b)  $8.1 \times 10^{-3}$  N OA के अनुदिश

**1.9** कुल आवेश शून्य है। द्विध्रुव आघूर्ण =  $7.5 \times 10^{-8}$  C m; z-अक्ष के अनुदिश

**1.10**  $10^{-4}$  N m

**1.11** (a)  $2 \times 10^{12}$  ऊन से पॉलीथीन पर      (b) हाँ, परंतु नगण्य मात्रा का ( $= 2 \times 10^{-18}$  kg उदाहरण में)

**1.12** (a)  $1.5 \times 10^{-2}$  N      (b) 0.24 N

**1.13**  $5.7 \times 10^{-3}$  N

**1.14** आवेश 1 तथा 2 क्रृत्यात्मक हैं, आवेश 3 धनात्मक है। कण-3 का आवेश-संहति अनुपात अधिकतम है।

**1.15**  $25.98$  N m<sup>2</sup>/C

**1.16** शून्य/ घन में प्रवेश करने वाली रेखाओं की संख्या घन से निर्गत रेखाओं की संख्या के समान है।

**1.17** (a)  $0.07$   $\mu$  C      (b) नहीं, केवल यह कि वर्ग के भीतर नेट आवेश शून्य है।

**1.18**  $2.2 \times 10^5$  N m<sup>2</sup>/C

**1.19**  $1.9 \times 10^5$  N m<sup>2</sup>/C

**1.20** (a)  $-10^3$  N m<sup>2</sup>/C क्योंकि दोनों प्रकरणों में परिवद्ध आवेश समान है।

(b)  $-8.8$  nC

**1.21**  $-6.67$  nC

**1.22** (a)  $1.45 \times 10^{-3}$  C      (b)  $1.6 \times 10^8$  Nm<sup>2</sup>/C

**1.23**  $10$   $\mu$ C/m

**1.24** (a) शून्य      (b) शून्य      (c)  $1.9$  N/C

**1.25**  $9.81 \times 10^{-4}$  mm

- 1.26** केवल (c) सही है; शेष स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ निरूपित नहीं कर सकते। (a) गलत होने का कारण यह है कि क्षेत्र रेखाएँ चालक के अभिलंबवत होनी चाहिए। (b) गलत होने का कारण यह है कि क्षेत्र रेखाएँ ऋणावेश से आरंभ नहीं हो सकतीं, (d) गलत होने का कारण यह है कि क्षेत्र रेखाएँ एक-दूसरे को नहीं काट सकतीं, (e) गलत होने कारण यह है स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ बंद लूप नहीं बना सकती हैं।
- 1.27** यह बल ऋणात्मक - $\hat{z}$  दिशा में  $10^{-2} \text{ N}$  है अर्थात् यह घटते विद्युत क्षेत्र की दिशा में है। आप यह मिलान कर सकते हैं कि यह द्विध्रुव की घटती स्थितिज ऊर्जा की दिशा भी है। बल आघूर्ण शून्य है।
- 1.28** (a) संकेत : ऐसा गाउसीय पृष्ठ चुनिए जो पूर्णतः चालक पर हो और कोटर को परिबद्ध करें।  
 (b) गाउस नियम (a) जैसे पृष्ठों के लिए यह दर्शाता है कि  $q$  को चालक के भीतर पृष्ठ पर  $-q$  आवेश प्रेरित करना चाहिए।  
 (c) उपकरण को पूर्णतः धात्विक पृष्ठ से परिबद्ध कीजिए।
- 1.29** संकेत : छिद्र भरे चालक पर विचार कीजिए। तब इसके ठीक बाहर क्षेत्र  $(\sigma / \epsilon_0) \hat{n}$  है तथा भीतर शून्य है। इस क्षेत्र का अवलोकन इस प्रकार कीजिए जैसे कि यह भरे हुए छिद्र के कारण क्षेत्र तथा शेष आवेशित चालक के कारण क्षेत्र का अध्यारोपण है। चालक के भीतर ये दोनों क्षेत्र समान तथा विपरीत हैं। बाहर ये दोनों क्षेत्र परिमाण एवं दिशा दोनों में समान हैं। अतः चालक के शेष भाग द्वारा क्षेत्र  $\left( \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \right) \hat{n}$  है।
- 1.31** p : uud; n :udd
- 1.32** (a) संकेत : इसे खंडन द्वारा सिद्ध कीजिए। मान लीजिए संतुलन स्थायी है: तब परीक्षण आवेश को किसी भी दिशा में थोड़ा विस्थापित करने पर वह शून्य विक्षेप की स्थिति की दिशा में प्रत्यानयन बल का अनुभव करेगा, अर्थात्, शून्य विक्षेप की स्थिति के निकट सभी क्षेत्र रेखाएँ शून्य विक्षेप स्थिति की दिशा में अंतर्मुखी निर्दिष्ट होंगी। अर्थात् शून्य विक्षेप स्थिति के चारों ओर बंद पृष्ठ से होकर किसी विद्युत क्षेत्र का नेट अंतर्मुखी फ्लक्स से गुजरेगा। परंतु गाउस नियम के अनुसार किसी विद्युत क्षेत्र का ऐसे पृष्ठ से होकर गुजरने वाला फ्लक्स जिससे कोई आवेश परिबद्ध नहीं है, शून्य होता है। अतः यह संतुलन स्थायी नहीं हो सकता।  
 (b) दो आवेशों को मिलाने वाली रेखा का मध्य बिंदु शून्य विक्षेप बिंदु है। परीक्षण आवेश को इस रेखा के अनुदिश इस बिंदु से थोड़ा विस्थापित कीजिए। प्रत्यानयन बल उत्पन्न होगा। परंतु इसे रेखा के अभिलंबवत स्थापित कीजिए आप यह पाएँगे कि नेट बल इसे शून्य विक्षेप बिंदु से दूर ले जाता है। याद रखिए, संतुलन के स्थायित्व को सभी दिशाओं में प्रत्यानयन बल चाहिए।
- 1.34** 1.6 cm

## अध्याय 2

- 2.1** 10 cm, 40 cm धनावेश से दूर ऋणावेश की ओर।
- 2.2**  $2.7 \times 10^6 \text{ V}$
- 2.3** (a) AB के अभिलंबवत एवं इसके मध्य बिंदु से होकर जाने वाले तल के प्रत्येक बिंदु पर विभव शून्य है।  
 (b) तल के अभिलंब AB दिशा में

## भौतिकी

- 2.4** (a) शून्य  
 (b)  $10^5 \text{ N C}^{-1}$   
 (c)  $4.4 \times 10^4 \text{ N C}^{-1}$
- 2.5** 96 pF
- 2.6** (a) 3 pF  
 (b) 40 V
- 2.7** (a) 9 pF  
 (b)  $2 \times 10^{-10} \text{ C}, 3 \times 10^{-10} \text{ C}, 4 \times 10^{-10} \text{ C}$
- 2.8** 18 pF,  $1.8 \times 10^{-9} \text{ C}$
- 2.9** (a)  $V = 100 \text{ V}, C = 108 \text{ pF}, Q = 1.08 \times 10^{-8} \text{ C}$   
 (b)  $Q = 1.8 \times 10^{-9} \text{ C}, C = 108 \text{ pF}, V = 16.6 \text{ V}$
- 2.10**  $1.5 \times 10^{-8} \text{ J}$
- 2.11**  $6 \times 10^{-6} \text{ J}$
- 2.12** 1.2 J; बिंदु R उत्तर के अप्रासंगिक है।
- 2.13** विभव  $= 4q/(\sqrt{3}\pi \epsilon_0 b)$ ; क्षेत्र शून्य है जैसा कि सममिति से अपेक्षित है।
- 2.14** (a)  $2.4 \times 10^5 \text{ V}; 4.0 \times 10^5 \text{ V m}^{-1}$  आवेश  $2.5 \mu\text{C}$  से  $1.5 \mu\text{C}$  तक  
 (b)  $2.0 \times 10^5 \text{ V}; 6.6 \times 10^5 \text{ V m}^{-1}$  आवेश  $2.5 \mu\text{C}$  से  $1.5 \mu\text{C}$  को मिलाने वाली रेखा से लगभग  $69^\circ$  के कोण की दिशा में।
- 2.15** (a)  $-q/(4\pi r_1^2), (Q+q)/(4\pi r_2^2)$   
 (b) कोटर को घेरने वाले आंतरिक पृष्ठ (जिस पर कोई आवेश नहीं है) पर गाउडस के नियम से नेट आवेश शून्य होना चाहिए। यादृच्छिक (स्वेच्छ) आकृति वाले कोटर के लिए यह पर्याप्त नहीं है कि यह दावा किया जाए कि उसके अंदर विद्युत क्षेत्र शून्य होना चाहिए। कोटर पर ऋण एवं धन आवेश हो सकते हैं जिससे कुल आवेश शून्य हो। इस संभावना को समाप्त करने के लिए, एक बंद लूप लें जिसका एक भाग क्षेत्र-रेखाओं के अनुदिश कोटर में हो और शेष भाग चालक के भीतर। चूँकि चालक के अंदर विद्युत क्षेत्र शून्य है, यह बंद लूप पर एक परीक्षण आवेश को ले जाने में विद्युत क्षेत्र द्वारा किया गया नेट कार्य देता है। हम यह जानते हैं कि किसी स्थिरवैद्युत क्षेत्र के लिए यह असंभव है। अतः कोटर के भीतर क्षेत्र रेखाएँ नहीं हैं (अर्थात् कोई क्षेत्र नहीं), और चाहे उसकी कैसी भी आकृति हो चालक के भीतरी पृष्ठ पर कोई आवेश नहीं होगा।
- 2.17**  $\lambda/(2\pi \epsilon_0 r)$ , जहाँ बेलनों के समाक्ष से बिंदु की दूरी  $r$  है। क्षेत्र अक्ष के अभिलंब त्रिज्यीय है।
- 2.18** (a) -27.2 eV  
 (b) 13.6 eV  
 (c) -13.6 eV, 13.6 eV; ध्यान दें कि पहली स्थिति में हाइड्रोजन परमाणु की कुल ऊर्जा शून्य है।
- 2.19** -19.2 eV; स्थितिज ऊर्जा का शून्य अनंत पर लिया गया है।
- 2.20** पहले से दूसरे के विद्युत क्षेत्र का अनुपात  $(b/a)$  है। चपटे भाग की तुलना एक बड़ी त्रिज्या वाले गोले के किसी भाग से कर सकते हैं और नुकीले भाग को एक कम त्रिज्या वाले गोले के किसी भाग से।
- 2.21** (a) द्विध्रुव के अक्ष पर विभव  $(\pm 1/4 \pi \epsilon_0) p/(x^2 - a^2)$  है, यहाँ  $p = 2qa$  द्विध्रुव आधूर्ण का परिमाण है, + चिह्न उस समय जब बिंदु  $q$  के समीप है तथा - चिह्न वहाँ, जहाँ बिंदु  $-q$  के समीप है। अक्ष के अभिलंबवत्  $(x, y, 0)$  बिंदु पर विभव शून्य है।

- (b)  $r$  पर निर्भरता  $1/r^2$  के प्रकार की है।  
 (c) शून्य; नहीं, क्योंकि दो बिंदुओं के बीच स्थिरवैद्युत क्षेत्र द्वारा किया गया कार्य बिंदुओं के मिलाने वाले मार्ग से स्वतंत्र है अर्थात् पथ पर निर्भर नहीं करता।
- 2.22** अधिक  $r$  के लिए, चतुर्ध्रुवी विभव  $1/r^3$  की भाँति, द्विध्रुव का विभव  $1/r^2$  की भाँति तथा एकल ध्रुव का विभव  $1/r$  की भाँति बदलता है।
- 2.23**  $1 \mu\text{F}$  वाले 18 संधारित्रों को 6 समांतर पंक्तियों में व्यवस्थित किया गया है, प्रत्येक पंक्ति में 3 संधारित्र श्रेणीक्रम में लगे हैं।
- 2.24**  $1130 \text{ km}^2$
- 2.25** तुल्य धारिता  $= \frac{200}{3} \text{ pF}$   
 $Q_1 = 10^{-8} \text{ C}, V_1 = 100 \text{ V}; Q_2 = Q_3 = 10^{-8} \text{ C}$   
 $V_2 = V_3 = 50 \text{ V}$   
 $Q_4 = 2.55 \times 10^{-8} \text{ C}, V_4 = 200 \text{ V}$
- 2.26** (a)  $2.55 \times 10^{-6} \text{ J}$   
 (b)  $u = 0.113 \text{ J m}^{-3}, u = (\frac{1}{2}) \epsilon_0 E^2$
- 2.27**  $2.67 \times 10^{-2} \text{ J}$
- 2.28** संकेत : मान लीजिए कि पट्टिकाओं की दूरी,  $\Delta x$  से बढ़ा दी जाती है। किया गया कार्य (बाह्य साधन द्वारा)  $= F \Delta x$ । यह संधारित्र की स्थितिज ऊर्जा को  $ua\Delta x$  से बढ़ाने के काम आ जाता है, यहाँ  $u$  ऊर्जा घनत्व है। अतः  $F = ua$ , जो  $u = (\frac{1}{2}) \epsilon_0 E^2$  का उपयोग करके  $(1/2) QE$  के बराबर है। बल सूत्र में  $1/2$  घटक का भौतिक मूल इस तथ्य में निहित है कि चालक के ठीक बाहर क्षेत्र  $E$  है तथा भीतर यह शून्य है। अतः बल में माध्य मान  $E/2$  का योगदान होता है।
- 2.30** (a)  $5.5 \times 10^{-9} \text{ F}$   
 (b)  $4.5 \times 10^2 \text{ V}$   
 (c)  $1.3 \times 10^{-11} \text{ F}$
- 2.31** (a) नहीं, क्योंकि गोलों पर आवेश वितरण समान नहीं है।  
 (b) नहीं  
 (c) आवश्यक नहीं (केवल तभी सत्य है जब क्षेत्र रेखा, सरल रेखा हो)। सामान्यतः क्षेत्र रेखाएँ त्वरण की दिशा बताती हैं, न कि बेग की।  
 (d) शून्य, पूर्ण कक्षा की आकृति कुछ भी हो, कोई अंतर नहीं पड़ता।  
 (e) नहीं, विभव सतत है।  
 (f) एक एकल चालक एक संधारित्र है जिसकी दूसरी पट्टिका अनंत पर है।  
 (g) पानी के एक अणु में स्थायी द्विध्रुव आधूर्ण होता है। फिर भी, पराविद्युत नियतांक का विस्तृत वर्णन सूक्ष्म सिद्धांत पर आधारित है जो इस पुस्तक के क्षेत्र से बाहर है।
- 2.32**  $1.2 \times 10^{-10} \text{ F}, 2.9 \times 10^4 \text{ V}$
- 2.33**  $19 \text{ cm}^2$
- 2.34** (a) पृष्ठ  $x-y$  तल के समांतर  
 (b) वैसा ही जैसा (a) में, सिवाय इसके कि निश्चित विभवांतर वाले तल आपस में, जब क्षेत्र बढ़ता है, पास आ जाते हैं।  
 (c) संकेंद्री गोले, केंद्र मूल बिंदु पर।  
 (d) ग्रिड (जाल) के समीप समय-समय पर बदलती आकृति जो शनै:-शनै: ग्रिड से बहुत दूर समांतर समतलों में बदल जाती है।

## भौतिकी

**2.35** 30 cm

**2.36** संकेत : गोले और खोल (कोश) के बीच क्षेत्र का, गाउस नियम से, केवल  $q_1$  द्वारा ही निर्धारण होता है। अतः गोले और खोल के बीच विभवांतर  $q_2$  से स्वतंत्र है। यदि  $q_1$  धनात्मक है तो यह विभवांतर सदैव धनात्मक होगा।

- 2.37**
- (a) हमारा शरीर तथा पृथ्वी समविभव पृष्ठ बनाते हैं। जैसे ही हम बाहर निकलते हैं, वायु का मूल समविभव पृष्ठ बदल जाता है और हमारा सिर तथा पृथ्वी का विभव समान रहता है।
  - (b) हाँ, वायुमंडल में अपरिवर्ती विसर्जन धारा धीरे-धीरे ऐलुमिनियम की चादर को आवेशित करके, उस सीमा तक इसके विभव को बढ़ाती है जो संधारित्र (जो चादर, स्लेब और पृथ्वी-सतह से बना है) की धारिता के ऊपर निर्भर है।
  - (c) सारे संसार में वायुमंडल लगातार तड़ित-झंझा तथा तड़ित से आवेशित होता रहता है और साधारण मौसम के क्षेत्रों से होकर विसर्जित होता है। दोनों विरोधी धाराएँ, औसतन, साम्यावस्था में होती हैं।
  - (d) तड़ित में प्रकाश ऊर्जा अंतर्निहित है और संलग्न गर्जन में ऊर्जा तथा ध्वनि ऊर्जा है।

## अध्याय 3

**3.1** 30 A

**3.2**  $17 \Omega$ , 8.5 V

**3.3** (a)  $6\Omega$

(b) 2 V, 4 V, 6 V

**3.4** (a)  $(20/19) \Omega$

(b) 10 A, 5 A, 4 A; 19 A

**3.5**  $1027^\circ\text{C}$

**3.6**  $2.0 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$

**3.7**  $0.0039^\circ\text{C}^{-1}$

**3.8**  $867^\circ\text{C}$

**3.9** शाखा AB में धारा  $(4/17)$  A;

शाखा AD में धारा =  $(6/17)$  A;

शाखा BC में धारा  $(6/17)$  A;

शाखा BD में धारा =  $(-2/17)$  A;

शाखा CD में धारा  $(-4/17)$  A; तथा परिपथ में कुल धारा =  $(10/17)$  A

**3.10** (a)  $X = 8.2 \Omega$  संबंधन के प्रतिरोध को न्यूनतम करने हेतु, जिसका परिकलन सेतु-सूत्र में नहीं किया गया है।

(b) A से 60.5 cm की दूरी पर।

(c) गैल्वेनोमीटर कोई धारा नहीं दर्शाएगा।

**3.11** 11.5 V श्रेणीक्रम में संयोजित प्रतिरोधक बाह्य स्रोत से ली गई धारा को सीमित करता है। इसकी अनुपस्थिति में धारा घातक रूप से बढ़ जाएगी।

**3.12** 2.25 V

**3.13**  $2.7 \times 10^4$  s (7.5 h)

**3.14** पृथ्वी की त्रिज्या  $6.37 \times 10^6$  m लीजिए और पृथ्वी का कुल आवेश प्राप्त कीजिए। समय = 283 s प्राप्त करने हेतु धारा से इसे विभाजित कीजिए। अब भी यह विधि आपको केवल अनुमान ही देगी। यह पूर्णतया सही नहीं है। क्यों?

**3.15** (a) 1.4 A, 11.9 V

(b) 0.005 A, असंभव, क्योंकि मोटर स्टार्टर को कुछ सेकंडों के लिए बहुत अधिक धारा ( $\sim 100$  A) की आवश्यकता होती है।

**3.16** कॉपर का ऐलुमिनियम के द्रव्यमान (अथवा भार) से अनुपात  $(1.72/2.63) \times (8.9/2.7) \approx 2.21$  चूँकि ऐलुमिनियम हल्का है, अतः अधिक लंबाई पर लगे केबलों के लिए इसे अधिक पसंद किया जाता है।

**3.17** ओम का नियम उच्च यथार्थता तक लागू होता है। मिश्रातु मैंगनिन की प्रतिरोधकता ताप से लगभग अप्रभावित रहती है।

- 3.18** (a) केवल धारा (क्योंकि यह स्थायी है, ऐसा दिया गया है) अन्य सभी राशियाँ अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल के व्युक्तमानुपाती हैं।  
 (b) नहीं, अन-ओमी (non-ohmic) अवयवों के उदाहरण : निर्वात डायोड, अर्धचालक डायोड  
 (c) क्योंकि स्रोत से ली गई अधिकतम धारा =  $\varepsilon/r$   
 (d) यदि आंतरिक प्रतिरोध बहुत अधिक नहीं है और परिपथ में (दुर्घटनावश) लघु परिपथन हो जाता है तो ली गई धारा सुरक्षा सीमा से अधिक हो जाएगी।

**3.19** (a) अधिक                    (b) कम                    (c) लगभग अप्रभावित रहती है                    (d)  $10^{22}$

- 3.20** (a) (i) श्रेणीक्रम में                    (ii) सभी पार्श्वक्रम में;  $n^2$   
 (b) (i)  $1\Omega$  और  $2\Omega$  को पार्श्वक्रम में और इस संयोजन को  $3\Omega$  के साथ श्रेणीक्रम में संबद्ध कीजिए। (ii)  $2\Omega$  और  $3\Omega$  के पार्श्व संयोजन को  $1\Omega$  के साथ श्रेणीक्रम में संबद्ध कीजिए। (iii) सभी श्रेणीक्रम में (iv) सभी पार्श्व क्रम में।  
 (c) (i)  $(16/3)\Omega$  (ii)  $5R$

**3.21** संकेत : मान लीजिए कि अनंत नेटवर्क का तुल्य प्रतिरोध  $X$  है। स्पष्टतया  $2 + X/(X+1) = X$  जिसके अनुसार  $X = (1 + \sqrt{3})\Omega$  अतः धारा =  $3.7\text{ A}$  है।

- 3.22** (a)  $\varepsilon = 1.25\text{ V}$   
 (b) जब चल संपर्क संतुलन बिंदु से दूर है तो गैल्वनोमीटर में धारा कम करने हेतु  
 (c) नहीं  
 (d) नहीं, यदि पोर्टेंशियोमीटर के चालक सेल का विद्युत वाहक बल  $\varepsilon$  से अधिक हो तो तार AB पर संतुलन बिंदु प्राप्त नहीं होगा।  
 (e) परिपथ दिए गए रूप में अनुपयुक्त होगा, क्योंकि संतुलन बिंदु (जब  $\varepsilon$  कुछ mV की कोटि का) सिरे A के काफी समीप होगा और मापन में प्रतिशत त्रुटि बहुत अधिक होगी। तार AB के श्रेणीक्रम में उपयुक्त प्रतिरोधक  $R$  को संयोजित करके परिपथ को रूपांतरित कर दिया गया है जिससे कि AB के आर-पार विभवपात, मापित विद्युतवाहक बल से केवल थोड़ा-सा ही अधिक होगा। तब संतुलन बिंदु तार की ओर अधिक लंबाई पर होगा और प्रतिशत त्रुटि काफ़ी कम होगी।

**3.23**  $1.7\Omega$

#### अध्याय 4

**4.1**  $\pi \times 10^{-4}\text{ T} \approx 3.1 \times 10^{-4}\text{ T}$

**4.2**  $3.5 \times 10^{-5}\text{ T}$

**4.3**  $4 \times 10^{-6}\text{ T}$  ऊर्ध्वाधरतः ऊपर की ओर

**4.4**  $1.2 \times 10^{-5}\text{ T}$  दक्षिण की ओर

## भौतिकी

**4.5**  $0.6 \text{ N m}^{-1}$

**4.6**  $8.1 \times 10^{-2} \text{ N}$ ; बल की दिशा फ्लेमिंग के बाएँ हाथ के नियम द्वारा दी जाती है।

**4.7**  $2 \times 10^{-5} \text{ N}$ ; आकर्षण बल, A के लंबवत B की ओर।

**4.8**  $8\pi \times 10^{-3} \text{ T} \approx 2.5 \times 10^{-2} \text{ T}$

**4.9**  $0.96 \text{ N m}$

**4.10** (a) 1.4 (b) 1

**4.11** 4.2 cm

**4.12** 18 MHz

**4.13** (a)  $3.1 \text{ Nm}$  (b) नहीं, उत्तर नहीं बदलता क्योंकि सूत्र ( $\tau = NIA \times B$ ) किसी भी आकार के समतल लूप के लिए सही है।

**4.14**  $5\pi \times 10^{-4} \text{ T} = 1.6 \times 10^{-3} \text{ T}$  पश्चिम की ओर

**4.15** लंबाई लगभग 50 cm, त्रिज्या लगभग 4 cm, फेरों की संख्या लगभग 400, धारा लगभग  $10 \text{ A}$ । ये विवरण एकमात्र मान नहीं हैं। कुछ सीमाओं में इनमें समायोजन संभव है।

**4.16** कुंडलियों के बीच में मध्य बिंदु के आस-पास  $2d$  लंबाई के एक छोटे से क्षेत्र में

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_0 I R^2 N}{2} \times \left[ \left\{ \left( \frac{R}{2} + d \right)^2 + R^2 \right\}^{-3/2} + \left\{ \left( \frac{R}{2} - d \right)^2 + R^2 \right\}^{-3/2} \right] \\ &\approx \frac{\mu_0 I R^2 N}{2} \times \left( \frac{5R^2}{4} \right)^{-3/2} \times \left[ \left( 1 + \frac{4d}{5R} \right)^{-3/2} + \left( 1 - \frac{4d}{5R} \right)^{-3/2} \right] \\ &\approx \frac{\mu_0 I R^2 N}{2R^3} \times \left( \frac{4}{5} \right)^{3/2} \times \left[ 1 - \frac{6d}{5R} + 1 + \frac{6d}{5R} \right] \end{aligned}$$

ऊपर दिए गए दूसरे एवं तीसरे चरण में जिन पदों में  $d^2/R^2$  या  $d/R$  की उच्चतर घातें शामिल थीं उनको छोड़ दिया गया है (क्योंकि  $\frac{d}{R} \ll 1$ ) जो पद  $d/R$  में एकरेखीय हैं, निरस्त हो जाते हैं। अतः एक छोटे क्षेत्र में एकसमान क्षेत्र  $B$  होगा—

$$B = \left( \frac{4}{5} \right)^{3/2} \frac{\mu_0 I N}{R} \approx 0.72 \frac{\mu_0 I N}{R}$$

**4.17** संकेत : वृत्तालिका के लिए  $B$  का सूत्र वही है जो परितालिका के लिए  $B = \mu_0 n I$ । प्रश्नानुसार

$n = \frac{N}{2\pi r}$ । क्षेत्र केवल घेरों से घिरे हुए क्रोड के अंदर शून्य नहीं है। (a) शून्य

(b)  $3.0 \times 10^{-2} \text{ T}$  तथा (c) शून्य। ध्यान दीजिए कि क्षेत्र में, टोरोइड की अनुप्रस्थ काट पर अंदर से बाहर आने पर थोड़ा परिवर्तन होता है क्योंकि  $r$  का मान बदलता है। उत्तर (b) औसत त्रिज्या  $r = 25.5 \text{ cm}$  के संगत मान है।

**4.18** (a) आर्थिक वेग  $\mathbf{v}$  या तो  $\mathbf{B}$  के समांतर है या प्रतिसमांतर।

(b) हाँ, क्योंकि चुंबकीय बल  $\mathbf{v}$  की दिशा तो बदल सकता है इसका परिमाण नहीं बदल सकता।

(c)  $\mathbf{B}$  को ऊर्ध्वधरतः नीचे की दिशा में होना चाहिए।

**4.19** (a)  $\mathbf{B}$  के लंबवत  $1.0 \text{ mm}$  त्रिज्या का वृत्ताकार पथ।

(b)  $0.5 \text{ mm}$  का कुंडलीदार पथ जिसमें  $2.3 \times 10^7 \text{ m s}^{-1}$  का वेग का अवयव क्षेत्र की दिशा में हो।

**4.20** ड्यूटीरियम आयनों या ड्यूट्रॉन्स— उत्तर एकमेव उत्तर नहीं है क्योंकि केवल कण के आवेश एवं द्रव्यमान का अनुपात ही ज्ञात किया गया है। अन्य संभावित उत्तर  $\text{He}^{++}, \text{Li}^{+++}$  आदि हैं।

**4.21** (a) एक क्षैतिज चुंबकीय क्षेत्र जिसका परिमाण  $0.26 \text{ T}$  है और जो चालक के लंबवत इस दिशा में लगा है कि फ्लेमिंग का बाँह हाथ का नियम चुंबकीय बल ऊर्ध्वाधरतः ऊपर की ओर बताए।

(b)  $1.176 \text{ N}$

**4.22**  $1.2 \text{ N m}^{-1}$ ; प्रतिकर्षण बल। टिप्पणी : तार पर कुल बल  $1.2 \times 0.7 = 0.84 \text{ N}$  प्राप्त करना

केवल सन्निकटतः सही है, क्योंकि, सूत्र  $F = \frac{\mu_0}{2\pi r} I_1 I_2$  जो प्रति इकाई लंबाई पर लगने वाले

बल के लिए दिया गया है, केवल अनंत लंबाई के चालकों के लिए ही मान्य है।

**4.23** (a)  $2.1 \text{ N}$  ऊर्ध्वाधरतः नीचे की ओर।

(b)  $2.1 \text{ N}$  ऊर्ध्वाधरतः नीचे की ओर (धारा और **B** की दिशा के बीच किसी भी कोण के लिए सत्य  $l \sin \theta$  नियत है  $= 20 \text{ cm}$ )।

(c)  $1.68 \text{ N}$  ऊर्ध्वाधरतः नीचे की ओर।

**4.24** प्रयोग करें  $\tau = IA \times \mathbf{B}$  एवं  $\mathbf{F} = I(\mathbf{l} \times \mathbf{B})$

(a)  $1.8 \times 10^{-2} \text{ N m}$ ,  $-y$  दिशा के अनुदिश

(b) वही जो (a) में है

(c)  $1.8 \times 10^{-2} \text{ N m}$ ,  $-x$  दिशा के अनुदिश

(d)  $1.8 \times 10^{-2} \text{ N m}$ ,  $+x$  दिशा से  $240^\circ$  का कोण बनाते हुए

(e) शून्य

(f) शून्य

बल प्रत्येक स्थिति में शून्य है। स्थिति (e) स्थायी संतुलन और स्थिति (f) अस्थायी संतुलन दर्शाती है।

**4.25** (a) शून्य (b) शून्य (c) प्रत्येक इलेक्ट्रॉन पर बल है  $evB = IB/(nA) = 5 \times 10^{-25} \text{ N}$   
टिप्पणी : उत्तर (c) केवल चुंबकीय बल सूचित करता है।

**4.26**  $108 \text{ A}$

**4.27** श्रेणीक्रम में प्रतिरोध  $= 5988 \Omega$

**4.28** शंट प्रतिरोध  $= 10 \text{ m}\Omega$

## अध्याय 5

**5.1** (a) चुंबकीय दिक्पात, नति-कोण, पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक।

(b) ब्रिटेन में अधिक है (लगभग  $70^\circ$ ), क्योंकि ब्रिटेन चुंबकीय दक्षिण ध्रुव के निकट है।

(c) पृथ्वी की चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ **B** सतह से बाहर आती हूई प्रतीत होंगी।

(d) चुंबकीय सुई क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है जबकि पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की दिशा चुंबकीय ध्रुवों पर ठीक ऊर्ध्वाधर है। अतः यहाँ सुई किसी भी दिशा में संकेत कर सकती है।

(e) **m** चुंबकीय आघूर्ण वाले द्विध्रुव के लंब समद्विभाजक पर क्षेत्र **B** के लिए सूत्र

$$\mathbf{B}_E = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\mathbf{m}}{r^3} \text{ का प्रयोग कीजिए।}$$

$m = 8 \times 10^{22} \text{ J T}^{-1}$ ,  $r = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$  खड़ने पर आपको प्राप्त होगा  $B = 0.3 \text{ G}$   
जो पृथ्वी पर प्रेक्षित क्षेत्र के परिमाण की कोटि का है।

(f) क्यों नहीं? पृथ्वी का क्षेत्र, केवल द्विध्रुव क्षेत्र के लगभग है। स्थानीय N-S ध्रुव उत्पन्न हो सकते हैं, जैसे कि चुंबकित खनिज भंडारों के कारण।

## भौतिकी

- 5.2** (a) हाँ, यह समय के साथ बदलता है। स्पष्ट दिखाई पड़ने वाले अंतर के लिए समय-अंतराल कुछ सौ वर्ष है। लेकिन कुछ वर्षों के छोटे पैमाने पर भी इसमें होने वाले परिवर्तन पूर्णतः उपेक्षणीय नहीं हैं।  
 (b) क्योंकि पिघला हुआ लोहा (जो कि क्रोड के उच्च ताप पर लोहे की प्रावस्था है) लौह चुंबकीय नहीं है।  
 (c) एक संभावना पृथ्वी के अंतरगंग में रेडियो सक्रियता है। लेकिन वास्तविकता की जानकारी किसी को नहीं है। इस प्रश्न पर एक उचित दृष्टिकोण बनाने के लिए आपको भू-चुंबकत्व पर कोई अच्छी आधुनिक पाठ्यपुस्तक पढ़नी चाहिए।  
 (d) कुछ चट्टानें जब ठोस रूप ग्रहण करती हैं तो पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का एक धुँधला-सा अभिलेखन उनमें हो जाता है। चट्टानों में निहित इन चुंबकन अभिलेखों के विश्लेषण से हमें भू-चुंबकीय इतिहास संबंधी निष्कर्ष प्राप्त होते हैं।  
 (e) बहुत अधिक दूरी पर (पृथ्वी के आयनमंडल में) आयनों की गति के कारण उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र से पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र में परिवर्तन हो जाते हैं। आयनमंडल भू बाह्य विचलनों, जैसे कि सौर-पवन आदि के प्रति अत्यंत संवेदनशील है।  
 (f) व्यंजक  $R = \frac{mv}{eB}$  के अनुसार, एक अत्यंत क्षीण चुंबकीय क्षेत्र आवेशित कणों को बहुत अधिक त्रिज्या वाली वृत्ताकार कक्षा पर ले जाता है। अल्प दूरी के लिए, इतनी बड़ी त्रिज्या वाली वृत्तीय कक्षा के लिए विक्षेपण, संभव है कि ध्यान देने योग्य न हो, परंतु अति विशाल अंतरातारकीय दूरियों के लिए आवेशित कणों (जैसे - ब्रह्मांड किरणें) के पथ को महत्वपूर्ण ढंग से प्रभावित कर सकता है।
- 5.3**  $0.36 \text{ J T}^{-1}$
- 5.4** (a)  $\mathbf{m}, \mathbf{B}$  के समांतर है।  $U = -mB = -4.8 \times 10^{-2} \text{ J}$ ; स्थायी  
 (b)  $\mathbf{m}, \mathbf{B}$  के प्रतिसमांतर है।  $U = +mB = +4.8 \times 10^{-2} \text{ J}$ ; अस्थायी
- 5.5**  $0.60 \text{ J T}^{-1}$  परिनालिका की अक्ष के अनुदिश, दिशा धारा-प्रवाह की दिशा पर निर्भर।
- 5.6**  $7.5 \times 10^{-2} \text{ J}$
- 5.7** (a) (i)  $0.33 \text{ J}$  (ii)  $0.66 \text{ J}$   
 (b) (i)  $0.33 \text{ J}$  परिमाण का बल आधूर्ण जो चुंबकीय आधूर्ण सदिश को  $\mathbf{B}$  के अनुदिश लाने की प्रवृत्ति रखता है। (ii) शून्य।
- 5.8** (a)  $1.28 \text{ A m}^2$  अक्ष के अनुदिश, दिशा धारा की दिशा पर निर्भर, जिसे दाएँ हाथ के पेंच के नियम द्वारा ज्ञात कर सकते हैं।  
 (b) एक समान चुंबकीय क्षेत्र में बल शून्य है; बल आधूर्ण =  $0.048 \text{ Nm}$  जिसकी दिशा ऐसी है कि यह परिनालिका की अक्ष को (अर्थात् चुंबकीय आधूर्ण सदिश को)  $\mathbf{B}$  के अनुदिश लाने की कोशिश करता है।
- 5.9**  $I = mB/(4\pi^2 v^2)$ :  $m = NIA$  को प्रयोग करने पर प्राप्त होगा  $I = 1.2 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$
- 5.10**  $0.35 \text{ sec } 22^\circ = 0.38 \text{ G}$
- 5.11** पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र भौगोलिक याम्योत्तर से पश्चिम की ओर  $12^\circ$  का कोण बनाते हुए एक ऊर्ध्वाधर तल में, थैतिज (चुंबकीय दक्षिण से चुंबकीय उत्तर की ओर) से ऊपर की ओर  $60^\circ$  का कोण बनाता है। इसका परिमाण  $0.32 \text{ G}$  है।
- 5.12** (i)  $0.96 \text{ G}$ , S-N दिशा के अनुदिश।  
 (ii)  $0.48 \text{ G}$ , N-S दिशा के अनुदिश।
- 5.13**  $0.54 \text{ G}$  पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की दिशा में।
- 5.14**  $14 \times 2^{1/3} = 11.1 \text{ cm}$  की दूरी पर लंब समद्विभाजक पर।

- 5.15** (a)  $(\mu_0 m)/(4 \pi r^3) = 0.42 \times 10^{-4}$  जिससे  $r = 5.0 \text{ cm}$  प्राप्त होता है।  
 (b)  $(2\mu_0 m)/(4 \pi r_1^3) = 0.42 \times 10^{-4}$  अर्थात्  $r_1 = 2^{1/3} r = 6.3 \text{ cm}$
- 5.16** (a) निम्न तापों पर, यादृच्छिक तापीय गति कम होने के कारण द्विध्रुवों के चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश समायोजन को भंग करने वाली प्रवृत्ति कम हो जाती है।  
 (b) प्रतिचुंबकीय पदार्थ के नमूने में, प्रेरित चुंबकीय आघूर्ण, हमेशा चुंबककारी क्षेत्र की विपरीत दिशा में होता है, चाहे इसके अंदर परमाणुओं की गति कैसी भी हो।  
 (c) जरा सा कम, क्योंकि बिस्मथ प्रतिचुंबकीय पदार्थ है।  
 (d) नहीं। जैसा कि चुंबकन वक्र से स्पष्ट है। चुंबकन वक्र के ढलान से यह भी स्पष्ट है कि निम्न शक्ति वाले क्षेत्रों के लिए  $\mu$  का मान अधिक है।  
 (e) (अत्यंत व्यावहारिक अनुप्रयोग वाले) इस महत्वपूर्ण तथ्य का प्रमाण, दो माध्यमों को अलग करने वाले अंतःपृष्ठ पर, चुंबकीय क्षेत्रों (**B** एवं **H**) की सीमा शर्तों पर आधारित है। जब एक माध्यम के लिए  $\mu \gg 1$ , तो क्षेत्र रेखाएँ इस माध्यम पर लंबवत मिलती हैं। इससे अधिक विस्तृत व्याख्या इस पुस्तक के विषय-क्षेत्र से बाहर है।  
 (f) हाँ। दो भिन्न पदार्थों के परमाणु द्विध्रुवों की शक्ति में मामूली अंतर की बात छोड़ दें, तो संतुप्त चुंबकन की अवस्था में एक अनुचुंबकीय पदार्थ का चुंबकन उसी कोटि का होगा। लेकिन, सच बात यह है कि संतुप्त चुंबकन के लिए, अव्यावहारिक रूप से उच्च चुंबककारी क्षेत्रों की आवश्यकता होगी।
- 5.17** (b) कार्बन स्टील का टुकड़ा। क्योंकि प्रति चक्र उत्पन्न ऊष्मा शैथिल्य पाश के क्षेत्रफल के अनुक्रमानुपाती है।  
 (c) किसी लौह चुंबक का चुंबकन चुंबककारी क्षेत्र का एकमानी फलन नहीं है। एक विशिष्ट क्षेत्र के लिए इसका मान चुंबकन के इतिहास पर भी निर्भर करता है (अर्थात् कितने चुंबकन चक्रों से गुजर चुका है, आदि)। दूसरे शब्दों में कहें तो चुंबकन का मान, चुंबकन चक्रों की स्मृति का अभिलेख है। यदि हर चक्र को सूचना बिट (information bits) के संगत बना दें तो शैथिल्य लूप प्रदर्शित करने वाली ऐसी व्यवस्था सूचना संग्रह करने वाली युक्ति की तरह कार्य करेगी।  
 (d) सिरेमिक (विशेष रूप से संसाधित बेरियम लौह ऑक्साइड) जिन्हें फैराइट्स भी कहते हैं।  
 (e) उस क्षेत्र को नर्म लोहे के छल्लों से घेर कर। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ छल्लों में समाहित हो जाएँगी और इनसे धिरा हुआ क्षेत्र चुंबकीय क्षेत्र से मुक्त रहेगा। लेकिन यह सन्निकट परिरक्षण ही होगा। वैसा पूर्ण परिरक्षण नहीं, जैसा किसी विवर को एक चालक से घेर कर बाह्य विद्युत क्षेत्र से परिरक्षित करने में होता है।
- 5.18** केबल के समांतर ऊपर की ओर 1.5 cm की दूरी पर
- 5.19** केबल के नीचे
- $$R_h = 0.39 \cos 35^\circ - 0.2$$
- $$= 0.12 \text{ G}$$
- $$R_v = 0.39 \sin 35^\circ = 0.22 \text{ G}$$
- $$R = \sqrt{R_h^2 + R_v^2} = 0.25 \text{ G}$$
- $$\theta = \tan^{-1} \frac{R_v}{R_h} = 62^\circ$$
- केबल के ऊपर
- $$R_h = 0.39 \cos 35^\circ + 0.2$$
- $$= 0.52 \text{ G}$$

$$R_v = 0.224 \text{ G}$$

$$R = 0.57 \text{ G}, \theta \approx 23^\circ$$

**5.20** (a)  $B_h = (\mu_0 IN / 2r) \cos 45^\circ = 0.39 \text{ G}$

(b) पूर्व से पश्चिम अर्थात् सुई अपनी मूल दिशा को उलट लेगी।

**5.21** दूसरे क्षेत्र का परिमाण

$$\begin{aligned} &= \frac{1.2 \times 10^{-2} \times \sin 15^\circ}{\sin 45^\circ} \\ &= 4.4 \times 10^{-3} \text{ T} \end{aligned}$$

**5.22**  $R = \frac{meV}{eB}$

$$\begin{aligned} &= \frac{\sqrt{2m_e \times \text{गतिज ऊर्जा}}}{eB} \\ &= 11.3 \text{ m} \end{aligned}$$

ऊपर अथवा नीचे विक्षेपण  $= R(1 - \cos\theta)$  यहाँ  $\sin\theta = 0.3/11.3$ । अतः विक्षेपण  $\approx 4 \text{ mm}$  होगा।

**5.23** प्रारंभ में, कुल द्विध्रुव आघूर्ण

$$\begin{aligned} &= 0.15 \times 1.5 \times 10^{-23} \times 2.0 \times 10^{24} \\ &= 4.5 \text{ J T}^{-1} \end{aligned}$$

अंतिम द्विध्रुव आघूर्ण प्राप्त करने के लिए क्यूरी के नियम  $m \propto B/T$  से

$$\begin{aligned} &= 4.5 \times (0.98/0.84) \times (4.2/2.8) \\ &= 7.9 \text{ J T}^{-1} \end{aligned}$$

**5.24**  $B = \frac{\mu_r \mu_0 NI}{2\pi R}$  यहाँ  $\mu_r$  (आपेक्षिक पारगम्यता), सूत्र का उपयोग करने पर प्राप्त होगा  
 $B = 4.48 \text{ T}$

**5.25** दोनों में से संबंध  $\mu_l = -(e/2m) I$  चिरसम्मत भौतिकी के अनुसार है। यह  $\mu_l$  एवं  $I$  की परिभाषाएँ प्रयुक्त करके आसानी से व्युत्पन्न किया जा सकता है।

$$\mu_l = IA = (e/T)\pi r^2$$

$$l = mwr = m \frac{2\pi r^2}{T}$$

यहाँ  $r$  वृत्ताकार कक्षा की त्रिज्या है जिस पर  $m$  द्रव्यमान एवं  $(-e)$  आवेश का इलेक्ट्रॉन  $T$  समय में एक परिक्रमण पूरा करता है।

स्पष्टतः  $\mu_l/l = e/2m$

क्योंकि इलेक्ट्रॉन पर ऋणात्मक आवेश है,  $\mu$  एवं  $I$  प्रतिसमांतर हैं और दोनों कक्षा के तल के लंबवत हैं। अतः  $\mu_l = -(e/2m)I$

ध्यान दें कि  $\mu_l/I$  के विपरीत  $\mu_s/S$  का मान  $e/m$  है अर्थात् चिरसम्मत आधार पर प्राप्त मान का दोगुना। यह बाद वाला निष्कर्ष (जिसकी प्रयोगात्मक पुष्टि हो चुकी है) आधुनिक क्वांटम सिद्धांत की एक विशिष्ट उपलब्धि है और इसको चिरसम्मत सिद्धांतों के आधार पर व्युत्पन्न नहीं किया जा सकता।

## अध्याय 6

- 6.1** (a) qrpq के अनुदिश  
 (b) prq के अनुदिश, yzx के अनुदिश  
 (c) yzx के अनुदिश  
 (d) zyx के अनुदिश  
 (e) xry के अनुदिश  
 (f) कोई प्रेरित धारा नहीं क्योंकि क्षेत्र रेखाएँ लूप तल में स्थित हैं।

- 6.2** (a) adcd के अनुदिश (आकार परिवर्तन के समय पृष्ठ से गुज़रने वाला फ्लक्स बढ़ता है, अतः प्रेरित धारा, निरोधी फ्लक्स उत्पन्न करती है।)

- (b) a'd'c'b' के अनुदिश (इस प्रक्रम में फ्लक्स घटता है)

- 6.3**  $7.5 \times 10^{-6} \text{ V}$

- 6.4** (a)  $2.4 \times 10^{-4} \text{ V}$ , जो 2 s तक बना रहेगा।

- (b)  $0.6 \times 10^{-4} \text{ V}$ , जो 8 s तक बना रहेगा।

- 6.5** 100 V

- 6.6** लूप के प्रत्येक फेरे से गुज़रने वाला फ्लक्स =  $\pi r^2 B \cos(\omega t)$

$$\varepsilon = -N \omega \pi r^2 B \sin(\omega t)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{अधिकतम}} &= -N \omega \pi r^2 B \\ &= 20 \times 50 \times \pi \times 64 \times 10^{-4} \times 3.0 \times 10^{-2} = 0.603 \text{ V} \end{aligned}$$

$\varepsilon_{\text{शौरात}}$  का मान पूर्ण चक्र में शून्य है।

$$I_{\text{अधिकतम}} = 0.0603 \text{ A}$$

$$P_{\text{ओसत}} = \frac{1}{2} \varepsilon_{\text{अधिकतम}} I_{\text{अधिकतम}} = 0.018 \text{ W}$$

प्रेरित धारा कुंडली पर एक बलयुग्म आरोपित करती है जो कुंडली के धूमने का विरोध करता है। अतः एक बाह्य कारक (रोटर) द्वारा कुंडली पर बलयुग्म लगाना होगा जो प्रेरित धारा द्वारा आरोपित बलयुग्म को निष्फल करते हुए कुंडली को एकसमान गति से घुमाए (अर्थात्) कार्य करे। अतः वह शक्ति जिसका कुंडली में क्षय ऊष्मा के रूप में हो रहा है, उसका स्रोत बाह्य कारक 'रोटर' है।

- 6.7** (a)  $1.5 \times 10^{-3} \text{ V}$ , (b) पश्चिम से पूर्व की ओर (c) पूर्वी सिरा

- 6.8** 4H

- 6.9** 30 Wb

- 6.10** **B** का ऊर्ध्वाधर घटक

$$= 5.0 \times 10^{-4} \sin 30^\circ$$

$$= 2.5 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$\varepsilon = Blv$$

$$\varepsilon = 2.5 \times 10^{-4} \times 25 \times 500$$

$$= 3.125 \text{ V}$$

प्रेरित विद्युत वाहक बल 3.1 V (सार्थक अंकों का उपयोग करके)

इस उत्तर हेतु पंखों की दिशा महत्वहीन है (जब तक वह क्षैतिज है)

- 6.11** प्रेरित विद्युत वाहक बल =  $8 \times 2 \times 10^{-4} \times 0.02 = 3.2 \times 10^{-5} \text{ V}$

$$\text{प्रेरित धारा} = 2 \times 10^{-5} \text{ A}$$

## भौतिकी

$$\text{शक्ति हास} = 6.4 \times 10^{-10} \text{ W}$$

इस शक्ति का स्रोत समय के साथ चुंबकीय क्षेत्र में परिवर्तन करने वाला बाह्य कारक है।

**6.12** समय पर निर्भर  $B$  के कारण फ्लक्स में परिवर्तन की दर

$$= 144 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 10^{-3} \text{ T s}^{-1}$$

$$= 1.44 \times 10^{-5} \text{ Wb s}^{-1}$$

लूप के असमान  $B$  में गतिमान होने के कारण फ्लक्स में परिवर्तन की दर

$$= 144 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 10^{-3} \text{ T cm}^{-1} \times 8 \text{ cm s}^{-1}$$

$$= 11.52 \times 10^{-5} \text{ Wb s}^{-1}$$

क्योंकि दोनों ही धनात्मक  $z$ -दिशा के अनुदिश फ्लक्स को कम करते हैं, अतः दोनों के प्रधाव जुड़ जाते हैं। अतः प्रेरित विद्युत वाहक बल =  $12.96 \times 10^{-5}$  V; प्रेरित धारा =  $2.88 \times 10^{-2}$  A। प्रेरित धारा की दिशा वह होगी जो लूप में से धनात्मक  $z$ -दिशा के फ्लक्स को बढ़ाए। यदि किसी प्रेक्षक हेतु लूप दाहिनी ओर गतिमान है तो लूप में धारा घड़ी की सुई के घूमने की दिशा के विपरीत होगी। समस्या का सुसंगत हल प्राप्त करने हेतु विधि निम्न है:

$$\Phi(t) = \int_0^a aB(x, t) dx$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = a \int_0^a dx \frac{dB(x, t)}{dt}$$

$$\frac{dB}{dt} = \frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial B}{\partial x} \frac{dx}{dt}$$

$$= \left[ \frac{\partial B}{\partial t} + v \frac{\partial B}{\partial x} \right]$$

अतः

$$\frac{d\Phi}{dt} = a \int_0^a dx \left[ \frac{\partial B(x, t)}{\partial t} + v \frac{\partial B(x, t)}{\partial x} \right]$$

$$= A \left[ \frac{\partial B}{\partial t} + v \frac{\partial B}{\partial x} \right]$$

$$\text{यहाँ } A = a^2$$

हल का अंतिम पद,  $\left( \frac{\partial B}{\partial t} \right), \left( \frac{\partial B}{\partial x} \right)$  तथा  $v$  के मान अचर होने के कारण मान्य हैं। उपरोक्त

औपचारिक हल यदि समझ में न आए (क्योंकि इसे प्राप्त करने हेतु कलन (Calculus) का समुचित ज्ञान आवश्यक है), तो भी यह तथ्य ध्यान में रखना पर्याप्त है कि फ्लक्स में परिवर्तन लूप की गति एवं चुंबकीय क्षेत्र का समय के साथ परिवर्तन दोनों ही कारण संभव हैं।

**6.13**  $Q = \int_{t_i}^{t_f} I dt$

$$= \frac{1}{R} \int_{t_i}^{t_f} \varepsilon dt$$

$$= -\frac{N}{R} \int_{\Phi_i}^{\Phi_f} d\Phi$$

$$= \frac{N}{R} (\Phi_f - \Phi_i)$$

$N = 25$ ,  $R = 0.50 \Omega$  तथा  $Q = 7.5 \times 10^{-3} C$  के लिए

$\Phi_f = 0$ ,  $A = 2.0 \times 10^{-4} m^2$ ,  $\Phi_i = 1.5 \times 10^{-4} Wb$

$B = \Phi_i / A = 0.75 T$

- 6.14** (a)  $|\epsilon| = vBl = 0.12 \times 0.50 \times 0.15 = 9.0 \text{ mV}$ ;

P सिरा धनात्मक तथा Q सिरा ऋणात्मक होगा।

(b) हाँ, जब K बंद हो। धारा के सतत प्रवाह के कारण आवेश का आधिक्य होता है।

(c) छड़ के सिरों पर विपरीत चिह्न युक्त आवेश आधिक्य के कारण स्थापित विद्युत क्षेत्र द्वारा चुंबकीय बल निरस्त हो जाता है।

(d) अवमंदन बल =  $IBl$

$$= \frac{9 \text{ mV}}{9 \text{ m}\Omega} \times 0.5 \text{ T} \times 0.15 \text{ m}$$

$$= 75 \times 10^{-3} \text{ N}$$

(e) बाह्य कारक द्वारा उक्त अवमंदन बल के विरुद्ध छड़ को  $12 \text{ cm s}^{-1}$  की एकसमान गति से चलाने हेतु शक्ति का व्यय

$$= 75 \times 10^{-3} \times 12 \times 10^{-2} = 9.0 \times 10^{-3} \text{ W}$$

कुंजी K खुली हो तो कोई शक्ति खर्च नहीं होगी।

(f)  $I^2R = 1 \times 1 \times 9 \times 10^{-3} = 9.0 \times 10^{-3} \text{ W}$

प्रयुक्त शक्ति का स्रोत बाह्य कारक है जिसका परिकलन ऊपर किया गया है।

(g) शून्य; छड़ अपनी गति के अंतर्गत क्षेत्र रेखाओं (field lines) को नहीं काटती। (ज्ञात रहे कि PQ की लंबाई दो पटरियों के मध्य दूरी के बराबर मानी गई है।)

**6.15**  $B = \frac{\mu_0 NI}{l}$

(परिनालिका के अंदर तथा सिरों से दूर)

$$\Phi = \frac{\mu_0 NI}{l} A$$

संपूर्ण फ्लक्स बंधता =  $N\Phi$

$$= \frac{\mu_0 N^2 A}{l} I$$

(सिरों के पास B में होनेवाले परिवर्तनों की उपेक्षा की गई है)

$$|\epsilon| = \frac{d}{dt} (N\Phi)$$

$$|\epsilon_{av}| = \frac{\text{फ्लक्स में कुल परिवर्तन}}{\text{कुल समय}}$$

$$|\varepsilon_{av}| = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 25 \times 10^{-4}}{0.3 \times 10^{-3}} \times (500)^2 \times 2.5 \\ = 6.5 \text{ V}$$

**6.16**  $M = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{x}\right)$   
 $\varepsilon = 1.7 \times 10^{-5} \text{ V}$

**6.17**  $-\frac{B\pi a^2 \lambda}{MR} \hat{\mathbf{k}}$

## अध्याय 7

**7.1** (a) 2.20 A  
(b) 484 W

**7.2** (a)  $\frac{300}{\sqrt{2}} = 212.1 \text{ V}$

(b)  $10\sqrt{2} = 14.1 \text{ A}$

**7.3** 15.9 A

**7.4** 2.49 A

**7.5** प्रत्येक अवस्था में शून्य।

**7.6** 125 s<sup>-1</sup>; 25

**7.7**  $1.1 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$

**7.8** 0.6 J, बाद में भी समान रहेगा।

**7.9** 2,000 W

**7.10**  $v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$ , i.e.,  $C = \frac{1}{4\pi^2 v^2 L}$

$L = 200 \mu\text{H}$ , हेतु  $v = 1200 \text{ kHz}$ ,  $C = 87.9 \text{ pF}$

$L = 200 \mu\text{H}$ , हेतु  $v = 800 \text{ kHz}$ ,  $C = 197.8 \text{ pF}$

परिवर्ती संधारित्र की धारिता का परिसर लगभग 88 pF से 198 pF होना चाहिए।

**7.11** (a) 50 rad s<sup>-1</sup>

(b) 40 Ω, 8.1 A

(c)  $V_{Lrms} = 1437.5 \text{ V}$ ,  $V_{Crms} = 1437.5 \text{ V}$ ,  $V_{Rrms} = 230 \text{ V}$

$$V_{L,Crms} = I_{rms} \left( \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} \right) = 0$$

**7.12** (a) 1.0 J. हाँ,  $L$  और  $C$  में सचित ऊर्जाओं का योग संरक्षित है यदि  $R = 0$ ।

(b)  $\omega = 10^3 \text{ rad s}^{-1}$ ,  $v = 159 \text{ Hz}$

(c)  $q = q_0 \cos \omega t$

(i)  $t = 0, \frac{T}{2}, T, \frac{3T}{2}, \dots$  पर संचित ऊर्जा पूर्णतया वैद्युत ऊर्जा है।

(ii)  $t = \frac{T}{4}, \frac{3T}{4}, \frac{5T}{4}, \dots$ , यहाँ  $T = \frac{1}{\nu} = 6.3 \text{ ms}$  पर संचित ऊर्जा पूर्णतया चुंबकीय है (अर्थात् वैद्युत ऊर्जा शून्य है)

(d)  $t = \frac{T}{8}, \frac{3T}{8}, \frac{5T}{8}, \dots$ , पर क्योंकि  $q = q_0 \cos \frac{\omega T}{8} = q_0 \cos \frac{\pi}{4} = \frac{q_0}{\sqrt{2}}$ । अतः

$$\text{वैद्युत ऊर्जा} = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} \left( \frac{q_0^2}{2C} \right) \text{ जो कुल ऊर्जा की आधी है।}$$

(e) अंततः  $R, LC$  दोलनों को अवर्मित कर देता है। अंततः कुल प्रारंभिक ऊर्जा ( $= 1.0 \text{ J}$ ) ऊर्जा के रूप में क्षयित हो जाती है।

**7.13**  $LR$  परिपथ हेतु, यदि  $V = V_0 \sin \omega t$

$$I = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t - \phi), \text{ यहाँ } \tan \phi = (\omega L / R).$$

(a)  $I_0 = 1.82 \text{ A}$

(b)  $t = 0$ , पर  $V$  अधिकतम है तथा  $t = (\phi / \omega)$  पर  $I$  अधिकतम है।

$$\text{अब, } \tan \phi = \frac{2\pi\nu L}{R} = 1.571 \quad \text{अथवा } \phi \approx 57.5^\circ$$

$$\text{अतः काल-पश्चाता} = \frac{57.5\pi}{180} \times \frac{1}{2\pi \times 50} = 3.2 \text{ ms}$$

**7.14** (a)  $I_0 = 1.1 \times 10^{-2} \text{ A}$

(b)  $\tan \phi = 100\pi, \phi, \pi/2$  के समीप है।

$I_0$  निम्न आवृत्ति अवस्था (अभ्यास 7.13) की अपेक्षा काफी कम है जो यह दर्शाता है कि उच्च आवृत्ति पर  $L$  खुले परिपथ की तरह कार्य करता है। किसी दिष्टकारी परिपथ में (स्थायी अवस्था के पश्चात)  $\omega = 0$ , यहाँ  $L$  एक शुद्ध चालक की भाँति कार्य करता है।

**7.15**  $RC$ -परिपथ हेतु, यदि  $V = V_0 \sin \omega t$  हो तो

$$I = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}} \sin(\omega t + \phi) \quad \text{यहाँ } \tan \phi = \frac{1}{\omega CR}$$

(a)  $I_C = 3.23 \text{ A}$

(b)  $\phi = 33.5^\circ$

$$\text{अतः काल-पश्चाता} = \frac{\phi}{\omega} = 1.55 \text{ ms}$$

**7.16** (a)  $I_C = 3.88 \text{ A}$

(b)  $\phi \approx 0.2$  उच्च आवृत्ति पर यह लगभग शून्य है। अतः उच्च आवृत्ति पर  $C$ , चालक की भाँति कार्य करता है। दिष्टकारी परिपथ हेतु स्थायी अवस्था के पश्चात  $\omega = 0$  और  $C$  एक खुले परिपथ की भाँति कार्य करता है।

**7.17** समांतर  $LCR$  परिपथ की प्रभावी प्रतिबाधा इस प्रकार दी जाती है

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right)^2}$$

जो  $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  पर न्यूनतम है।

अतः  $|Z|, \omega = \omega_0$  पर अधिकतम है और कुल धारा आयाम न्यूनतम है।

शाखा  $R$  में,  $I_{Rrms} = 5.75 \text{ A}$

शाखा  $L$  में,  $I_{Lrms} = 0.92 \text{ A}$

शाखा  $C$  में,  $I_{Crms} = 0.92 \text{ A}$

ध्यान दीजिए : कुल धारा  $I_{rms} = 5.75 \text{ A}$ , क्योंकि  $L$  और  $C$  शाखा में धारा एँ  $180^\circ$  विपरीत कला में हैं और चक्र के प्रत्येक क्षण पर इनका योग शून्य है।

**7.18** (a)  $V = V_0 \sin \omega t$  हेतु

$$I = \frac{V_0}{\left| \omega L - \frac{1}{\omega C} \right|} \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right); \quad \text{यदि } R = 0$$

यहाँ '-' चिह्न लेते हैं यदि  $\omega L > 1/\omega C$ , और '+' चिह्न लेते हैं यदि  $\omega L < 1/\omega C$

$I_0 = 11.6 \text{ A}, I_{rms} = 8.24 \text{ A}$

(b)  $V_{Lrms} = 207 \text{ V}, V_{Crms} = 437 \text{ V}$

[ध्यान दीजिए :  $437 \text{ V} - 207 \text{ V} = 230 \text{ V}$  अनुप्रयुक्त rms वोल्टता के बराबर होना चाहिए।  $L$  और  $C$  के सिरों पर वोल्टता  $180^\circ$  विपरीत कला में होने के कारण व्यवकलित हो जाती है]।

(c)  $L$  में धारा  $I$  चाहे कुछ भी हो, वास्तविक वोल्टता धारा से  $\pi/2$  अग्र है। अतः  $C$  द्वारा उपभुक्त माध्य शक्ति शून्य है।

(d)  $C$  हेतु वोल्टता धारा से  $\pi/2$  पश्च है। पुनः  $C$  द्वारा उपभुक्त माध्य शक्ति शून्य है।

(e) कुल उपभुक्त माध्य शक्ति शून्य है।

**7.19**  $I_{rms} = 7.26 \text{ A}$

प्रतिरोध  $R$  द्वारा उपभुक्त शक्ति  $R = I_{rms}^2 R = 791 \text{ W}$

$L$  द्वारा उपभुक्त शक्ति =  $C$  द्वारा उपभुक्त शक्ति = 0

कुल उपभुक्त शक्ति = 791 W

**7.20** (a)  $\omega_0 = 4167 \text{ rad s}^{-1}; \nu_0 = 663 \text{ Hz}$

$I_0^{max} = 14.1 \text{ A}$

(b)  $\bar{P} = (1/2) I_0^2 R$  जो उसी आवृत्ति (663 Hz) पर अधिकतम है जिसके लिए  $I_C$  अधिकतम है।  $\bar{P}_{max} = (1/2)(I_{max})^2 R = 2300 \text{ W}$

(c)  $\omega = \omega_0 \pm \Delta\omega$  पर (सन्निकटन अच्छा है यदि  $(R/2L) \ll \omega_0$ )

$\Delta\omega = R/2L = 95.8 \text{ rad s}^{-1}; \Delta\nu = \Delta\omega/2\pi = 15.2 \text{ Hz}$

$v = 648 \text{ Hz}$  और  $678 \text{ Hz}$  पर शिखर शक्ति, उपभुक्त शक्ति की आधी है। इन आवृत्तियों पर धारा आयाम  $I_0^{max}$  का  $(1/\sqrt{2})$  गुना है अर्थात् धारा आयाम (शिखर शक्ति बिंदुओं के आधे पर)  $10 \text{ A}$  है।

(d)  $Q = 21.7$

**7.21**  $\omega_0 = 111 \text{ rad s}^{-1}$ ;  $Q = 45$  का मान दोगुना करने के लिए  $\omega_0$  परिवर्तित किए बिना  $R$  को  $3.7 \Omega$  तक कम कीजिए।

**7.22** (a) हाँ। यह rms वोल्टता के लिए सत्य नहीं है क्योंकि विभिन्न अवयवों के सिरों पर वोल्टता समान कला में नहीं हो सकती है। उदाहरणार्थ, अभ्यास 7.18 का उत्तर देखिए।

(b) जब परिपथ खंडित किया जाता है तो उच्च प्रेरित धारा संधारित्र को आवेशित करने हेतु प्रयुक्त की जाती है जो चिनगारी (स्पार्क) का परिवर्जन करती है, इत्यादि।

(c) दिष्ट धारा हेतु,  $L$  की प्रतिबाधा उपेक्षणीय है और  $C$  की बहुत अधिक (अनंत) है, अतः दिष्ट धारा संकेत  $C$  के सिरे पर होती है। उच्च आवृत्ति प्रत्यावर्ती धारा के लिए,  $L$  की प्रतिबाधा उच्च है और  $C$  की बहुत कम। अतः प्रत्यावर्ती धारा संकेत  $L$  के सिरे पर होता है।

(d) स्थायी अवस्था दिष्ट धारा हेतु  $L$  का कोई प्रभाव नहीं है चाहे इसे लौह-क्रोड के प्रयोग से क्यों न बढ़ाया जाए। प्रत्यावर्ती धारा हेतु, लैंप चोक की अतिरिक्त प्रतिबाधा के कारण धूमिल दिखाई पड़ेगा। यहाँ लौह-क्रोड के निवेशन से चोक की प्रतिबाधा में वृद्धि होगी जिसके कारण बल्ब और अधिक धूमिल हो जाएगा।

(e) शक्ति का क्षय किए बिना एक चोक कुंडली द्यूब के परितः वोल्टेज को कम करता है। प्रतिरोधक ऊष्मा के रूप में शक्ति का क्षय करता है।

**7.23** 400

**7.24** जलवैद्युत शक्ति =  $h\rho g \times A \times v = h\rho g \beta$

यहाँ  $\beta = Av$  प्रवाह है (किसी अनुप्रस्थ परिच्छेद के पार प्रवाहित जल का आयतन प्रति सेकंड)।

उपलब्ध विद्युत शक्ति =  $0.6 \times 300 \times 10^3 \times 9.8 \times 100 \text{ W}$

$$= 176 \text{ MW}$$

**7.25** लाइन प्रतिरोध =  $30 \times 0.5 = 15 \Omega$

$$\text{लाइन में rms धारा} = \frac{800 \times 1000 \text{ W}}{4000 \text{ V}} = 200 \text{ A}$$

(a) लाइन में विद्युत क्षय =  $(200 \text{ A})^2 \times 15 \Omega = 600 \text{ kW}$

(b) संयंत्र द्वारा विद्युत प्रदाय =  $800 \text{ kW} + 600 \text{ kW} = 1400 \text{ kW}$

(c) लाइन में विभवपात =  $200 \text{ A} \times 15 \Omega = 3000 \text{ V}$

संयंत्र में उच्चायी ट्रांसफार्मर  $440 \text{ V} - 7000 \text{ V}$  है।

$$\text{7.26 धारा} = \frac{800 \times 1000 \text{ W}}{40,000 \text{ V}} = 20 \text{ A}$$

(a) लाइन शक्ति क्षय =  $(20 \text{ A})^2 \times 15 \Omega = 6 \text{ kW}$

(b) संयंत्र द्वारा विद्युत प्रदाय =  $800 \text{ kW} + 6 \text{ kW} = 806 \text{ kW}$

(c) लाइन में विभवपात =  $20 \text{ A} \times 15 \Omega = 300 \text{ V}$

संयंत्र में उच्चायी ट्रांसफार्मर  $440 \text{ V} - 40,300 \text{ V}$  है। यह स्पष्ट है कि उच्च वोल्टता संचरण द्वारा प्रतिशत शक्ति क्षय बहुत कम हो जाता है। अध्याय 7.25 में, यह शक्ति क्षय  $(600/1400) \times 100 = 43\%$  है। इस अभ्यास में यह केवल  $(6/806) \times 100 = 0.74\%$  है।

## अध्याय 8

**8.1** (a)  $C = \epsilon_0 A / d = 80.1 \text{ pF}$

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{0.15}{80.1 \times 10^{-12}} = 1.87 \times 10^9 \text{ V s}^{-1}$$

(b)  $i_d = \epsilon_0 \frac{d}{dt} \Phi_E$ . अब, यदि सिरों की त्रुटियों की उपेक्षा कर दें तो संधारित्र की प्लेटों के बीच  $\Phi_E = EA$

$$\text{इसलिए } i_d = \epsilon_0 A \frac{d\Phi_E}{dt}$$

$$\therefore E = \frac{Q}{\epsilon_0 A}. \quad \therefore \frac{dE}{dt} = \frac{i}{\epsilon_0 A}, \text{ इसे प्रयोग करने पर } i_d = i = 0.15 \text{ A}$$

(c) जी हाँ, बशर्ते धारा से हमारा आशय चालन एवं विस्थापन धाराओं का योग हो।

**8.2** (a)  $I_{rms} = V_{rms} \omega C = 6.9 \mu\text{A}$

(b) हाँ; अभ्यास 8.1 (b) की व्युत्पत्ति तब भी सही होगी जब  $i$  समय के साथ दोलन कर रही हो।

(c) सूत्र  $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{r}{R^2} i_d$

प्रभावी रहता है तब भी जब  $i_d$  (और इसलिए B) समय के साथ दोलन करता है। सूत्र दर्शाता है कि वे कला में दोलन करते हैं। चूँकि  $i_d = i$ , अतः

$$B_0 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{r}{R^2} i_0, \text{ जहाँ } B_0 \text{ एवं } i_0 \text{ क्रमशः दोलित चुंबकीय क्षेत्र एवं धारा के आयाम हैं।}$$

$$i_0 = \sqrt{2} I_{rms} = 9.76 \mu\text{A}; r = 3 \text{ cm एवं } R = 6 \text{ cm, } B_0 = 1.63 \times 10^{-11} \text{ T}$$

**8.3** निर्वात में सभी विद्युत चुंबकीय तरंगों की चाल समान होती है :  $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

**8.4**  $\mathbf{E}$  और  $\mathbf{B}$  in  $x-y$  समतल में हैं और परस्पर लंबवत् हैं,  $10 \text{ m}$

**8.5** तरंगदैर्घ्य बैंड :  $40 \text{ m} - 25 \text{ m}$ .

**8.6**  $10^9 \text{ Hz}$

**8.7**  $153 \text{ N/C}$

**8.8** (a)  $400 \text{ nT}, 3.14 \times 10^8 \text{ rad/s}, 1.05 \text{ rad/m}, 6.00 \text{ m}$

(b)  $\mathbf{E} = 120 \text{ N/C} \sin (1.05 \text{ rad/m})x - (3.14 \times 10^8 \text{ rad/s})t \hat{\mathbf{j}}$

$\mathbf{B} = 400 \text{ nT} \sin (1.05 \text{ rad/m})x - (3.14 \times 10^8 \text{ rad/s})t \hat{\mathbf{k}}$

**8.9** फ़ोटॉन ऊर्जा (for  $\lambda = 1 \text{ m}$ )

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 1.24 \times 10^{-6} \text{ eV}$$

वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम के चित्र में अन्य तरंगदैर्घ्यों हेतु फोटॉन ऊर्जा 10 की घातों के सन्निकट गुणा करके प्राप्त की जा सकती है। किसी स्रोत द्वारा उत्सर्जित फोटॉन की ऊर्जा, स्रोत के सुसंगत ऊर्जा स्तरों का अंतराल इंगित करती है। उदाहरणार्थ, फोटॉन ऊर्जा  $= 1.24 \times 10^6 \text{ eV} = 1.24 \text{ MeV}$  के संगत तरंगदैर्घ्य  $\lambda = 10^{-12} \text{ m}$  है। यह इंगित करती है कि नाभिकीय ऊर्जा स्तरों में (जिन स्तरों के मध्य संक्रमण  $\gamma$ -किरण उत्सर्जन करता है) प्रतिरूपतः लगभग 1 MeV का ऊर्जा अंतराल है। इसी प्रकार, दृश्य तरंगदैर्घ्य  $\lambda = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$  के संगत फोटॉन ऊर्जा  $= 2.5 \text{ eV}$  है। यह दर्शाता है कि ऊर्जा स्तरों (जिन स्तरों के मध्य संक्रमण दृश्य विकिरण देता है) के मध्य प्रतिरूपतः कुछ eV का अंतराल है।

- 8.10** (a)  $\lambda = (c/v) = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$   
 (b)  $B_0 = (E_0/c) = 1.6 \times 10^{-7} \text{ T}$   
 (c)  $\mathbf{E}$  क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व,  $u_E = (1/2)\epsilon_0 E^2$   
 $\mathbf{B}$  क्षेत्र में ऊर्जा घनत्व,  $u_B = (1/2\mu_0)B^2$

$$E = cB \text{ और } c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \text{ के प्रयोग से, } u_E = u_B$$

- 8.11** (a)  $-\hat{\mathbf{j}}$ , (b) 3.5 m, (c) 86 MHz, (d) 100 nT,  
 (e)  $\{(100 \text{ nT}) \cos[(1.8 \text{ rad/m})y + (5.4 \times 10^6 \text{ rad/s})t]\} \hat{\mathbf{k}}$

- 8.12** (a)  $0.4 \text{ W/m}^2$ , (b)  $0.004 \text{ W/m}^2$

- 8.13** ताप  $T$  का पिंड, तरंगदैर्घ्य का एक सतत स्पेक्ट्रम उत्पन्न करता है। किसी के लिए विकिरण की अधिकतम तीव्रता के संगत तरंगदैर्घ्य बीन के नियम अनुसार दी गई है  $\lambda_m = 0.29 \text{ cm K/T}$ ,  $\lambda_m = 10^{-6} \text{ m}$ ,  $T = 2900 \text{ K}$  के लिए। अन्य तरंगदैर्घ्यों के संगत ताप भी प्राप्त किए जा सकते हैं। ये संख्याएँ वैद्युतचुंबकीय स्पेक्ट्रम के विभिन्न भागों में विकिरणों की प्राप्ति हेतु ताप परिसर के विषय में बताती हैं। अतः दृश्य विकिरण की प्राप्ति हेतु, मान लीजिए  $\lambda = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$ , तो स्रोत का तापमान लगभग 6000 K होना चाहिए। ध्यान दीजिए कि निम्नतर ताप भी इस तरंगदैर्घ्य को उत्पन्न करेगा परंतु उसकी तीव्रता अधिकतम नहीं होगी।

- 8.14** (a) रेडियो (लघु तरंगदैर्घ्य सिरा)  
 (b) रेडियो (लघु तरंगदैर्घ्य सिरा)  
 (c) सूक्ष्म तरंग  
 (d) दृश्य विकिरण (पीला)  
 (e) X-किरण (अथवा सॉफ्ट  $\gamma$ -किरण) क्षेत्र

- 8.15** (a) आयनमंडल इन बैंडों की तरंगें परावर्तित करता है।  
 (b) दूरदर्शन संकेत आयनमंडल द्वारा समुचित रूप से परावर्तित नहीं होते हैं (पाठ्यपुस्तक देखिए)। अतः परावर्तन उपग्रहों द्वारा किया जाता है।  
 (c) वायुमंडल X-किरणों को अवशोषित करता है जबकि दृश्य और रेडियो तरंगें इसे वेध सकती हैं।  
 (d) यह सूर्य से उत्सर्जित परावर्तनी विकिरणों को अवशोषित कर लेता है और पृथ्वी के पृष्ठ पर पहुँचने से रोकता है और जीवन को नष्ट होने से बचाता है।  
 (e) वायुमंडल के ग्रीन हाउस प्रभाव की अनुपस्थिति के कारण पृथ्वी का ताप कम होगा।  
 (f) नाभिकीय विश्व युद्ध द्वारा उत्पन्न मेघ शायद आकाश के बड़े भाग को ढक लेंगे और विश्व के बहुत से हिस्सों में सौर प्रकाश नहीं पहुँचने देंगे। इसके कारण शीतकाल प्रारंभ हो जाएगा।

## पारिभाषिक शब्दावली

अंतः बिंदु	End points	असंतत	Discontinuous
अंतरातारकीय	Interstellar	असांतत्य	Discontinuity
अंतरिक्ष विकिरण	Cosmic radiation	आंतरिक प्रतिरोध	Internal resistance
अंशाकन	Calibration	आनति	Inclination
अग्र दिशा	Forward direction	आनुभविक	Empirical
अतिचालक	Super conducting	आयन मंडल	Ionosphere
अधोमुखी	Downward	आयनी क्रिस्टल	Ionic crystal
अध्यारोपण का सिद्धांत	Principal of Superposition	आवेश	Charge
अर्धचालक	Semiconductor	आवेश घनत्व	Charge density
अनन्त	Infinite	उच्चायी ट्रांसफॉर्मर	Step-up transformer
अनुक्रमानुपाती	Directly proportional	उपरिमुखी	Upward
अनुचुंबकत्व	Paramagnetism	उपांत प्रभाव	Fringing of the field
अनुदासित	Unneutralised	उपार्जित	Acquired
अनुदिश	Along	उभयनिष्ठ विभवांतर	Common potential
अनुदैर्घ्य	Longitudinal	ऐठन नियतांक	Torsional constant
अनुनाद	Resonance	ऐमीटर	Ammeter
अनुनाद की तीक्ष्णता	Sharpness of Resonance	ओम का नियम	Ohm's law
अनुनादी आवृत्ति	Resonant frequency	कंपनिक चाल	Vibrational speed
अनुप्रयुक्त	Applied	कलासमंजक (फेजर्स)	Phasors
अनुप्रस्थ	Transverse	काल अंतराल	Time interval
अनुप्रस्थ-काट	Cross-section	किरखोफ नियम	Kirchhoff's rule
अनुरूप	Analogous	कुंडलन	Winding
अन्योन्य प्रेरण	Mutual induction	कुंडलिनी	Helical
अपचायी ट्रांसफॉर्मर	Step-down transformer	क्वांटमीकरण	Quantisation
अपवाह	Drift	क्षयित	Dissipation
अभिकल्पना	Design	गतिज विद्युत वाहक बल	Motional electromotive force
अभिकेंद्र बल	Centripetal force	गतिशीलता	Mobility
अभिगृहीत	Postulate	गाउस नियम	Gauss' law
अभिधारणा	Assumption	गाउसीय पृष्ठ	Gaussian surface
अवमंदित दोलन	Damped Oscillation	गुणता कारक	Quality factor
		गुणात्मक रूप में	Qualitatively
		गैल्वेनोमीटर (धारामापी)	Galvanometer

## पारिभाषिक शब्दावली

घर्षण	Friction	निष्पत्ति	Result
घूर्ण चुंबकीय अनुपात	Gyromagnetic ratio	नेटवर्क	Network
चक्रीय कोणीय संवेग	Spin angular momentum	नैज	Intrinsic
चालक	Conductor	पतली गोलीय कोष्ठिका	Thin spherical shell
चालकता	Conductivity	परावैद्युत	Dielectric
चालन धारा	Conduction current	परावैद्युत सामर्थ्य	Dielectric strength
चुंबकत्वावशेष	Remanence	परावैद्युतांक	Permittivity
चुंबकशीलता	Magnetic permeability	परिघटना	Phenomenon
चुंबकीय एकध्रुव	Magnetic monopole	परिनालिका	Solenoid
चुंबकीय तीव्रता	Magnetic intensity	परिपथिकी	Circuitry
चुंबकीय द्विध्रुव	Magnetic dipole	परिपथीय नियम	Circuital law
चुंबकीय प्रवृत्ति	Magnetic susceptibility	परिबद्ध	Bounding
चुंबकीय फ्लक्स	Magnetic flux	परिमाणात्मक	Qualitative
जड़त्व आघूर्ण	Moment of inertia	परिमित	Finite
जनित्र	Generator	परिस्थित	Confinement
जॉकी	Jockey	पश्च दिशा	Backward direction
ज्यावक्रीय	Sinusoidal	पारगम्यता	Permeability
तड़ित	Lightning	पार्श्व संयोजन	Parallel connection
तात्क्षणिक	Instantaneously	पाश/लूप	Loop
ताप प्रवणता	Temperature gradient	पाश नियम	Loop rule
तापीय चाल	Thermal speed	पोटेंशियोमीटर	Potentiometer
तुल्य प्रतिरोध	Equivalent resistance	प्रणोदित दोलन	Forced Oscillation
तुल्य प्रतिरोधक	Equivalent resistor	प्रतिचुंबकत्व	Diamagnetism
त्वरण	Acceleration	प्रतिबाधा	Impedance
दिक्कपात	Declination	प्रतिरोध	Resistance
दोलन	Oscillation	प्रतिरोधकता	Resistivity
द्विगमी कुंजी	Two way key	प्रत्यानयन आघूर्ण	Restoring torque
द्वितीयक कुंडली	Secondary coil	प्रत्यावर्ती धारा	Alternating current
द्विध्रुव आघूर्ण	Dipole moment	प्रवर्धन	Propagation
धारणशीलता	Retentivity	प्रवर्धित	Amplification
धारा नियंत्रक	Rheostate	प्राचलों	Surfaces
धारामापी/गैल्वेनोमीटर	Galvanometer	प्राथमिक कुंडली	Primary coil
धारिता	Capacitance	प्रेरक	Inductor
ध्रुवता	Polarity	प्रेरकीय प्रतिघात	Inductive reactance
ध्रुवण	Polarisation	प्रेरण	Induction
ध्रुवांतर/त्रिज्य सदिश	Radius vector	प्लग कुंजी	Plug key
ध्रुवीय अणु	Polar molecule	फ्लक्स-क्षरण	Flux-leakage
नति	Dip	फ्लक्स-बंधता/फ्लक्स-ग्रंथिका	Flux-linkage
नमन कोण	Angle of dip	बैंड विस्तार	Bandwidth
निरक्षीय समतल	Equatorial plane	भँवर धारा	Eddy current
निर्वात	Vacuum	भू-चुंबकत्व	Earth's magnetism

## भौतिकी

मानक प्रतिरोध	Standard resistors	विवर्तन	Diffraction
मिश्रातु	Alloy	विस्थापन धारा	Displacement current
मीटर सेतु	Meter bridge	वैद्युत चतुर्ध्रुवी	Electric quadrupole
मूल	Basic	वैद्युत प्रवृत्ति	Electric susceptibility
योग्यता स्थिरांक	Additive constant	वैद्युत विस्थापन	Electric displacement
यादृच्छिक	Arbitrary/Random	वोल्टता अनुमतांक	Voltage rating
याम्योत्तर	Meridian	वोल्टमीटर	Voltmeter
रेडियोएक्टिव	Radioactive	व्युत्क्रम-वर्ग	Inverse-square
रैखिक समदैशिक परावैद्युत	Linear isotropic dielectrics	व्युत्क्रमानुपाती	Inversely proportional
लघुगणकीय पैमाना	Logarithmic scale	ह्लीटस्टोन सेतु	Wheatstone bridge
लघु लौह चुंबकीय	Ferrimagnetic	शक्ति गुणांक	Power factor
लौह चुंबकत्व	Ferromagnetism	शिल्प तथ्य	Artefact
वर्ण कोड	Colour code	शून्य विक्षेप	Zero deflection
वाटहीन धारा	Wattless current	शैथिल्य	Hysteresis
विक्षेप	Deflection	श्रेणी संयोजन	Series connection
विक्षुब्ध	Disturb	संकल्पना	Concept
विद्युत अपघटन	Electrolysis	संघटन	Collision
विद्युत अपघटनी विलयन	Electrolytic solution	संचायक बैटरी	Storage battery
विद्युत अपघटनी सेल	Electrolytic cell	संतुलन प्रतिबंध	Balance condition
विद्युत अपघट्य	Electrolyte	संतुलन बिंदु	Balance point
विद्युत चुंबकीय	Electromagnetic	संधारित्र	Capacitor
विद्युत चुंबकीय अवमंदन	Electromagnetic damping	संधारित्र प्रतिघात	Capacitive reactance
विद्युत चुंबकीय तरंगे	Electromagnetic waves	संधि नियम	Junction rule
विद्युत चुंबकीय परिघटना	Electromagnetic phenomenon	संभरण	Supply
विद्युत चुंबकीय प्रेरण	Electromagnetic induction	संयोजी तार	Connecting wire
विद्युतदर्शी	Electroscope	संरक्षण	Conservation
विद्युत द्विध्रुव	Electric dipole	सनिकटन	Approximation
विद्युतधारा घनत्व	Electric current density	सममिति	Symmetry
विद्युतरोधी	Insulator	समविभव पृष्ठ	Equipotential surface
विद्युतशीलता	Permitivity	समस्वरण	Tuning
विभव प्रवणता	Potential gradient	समांतर पट्टिका संधारित्र	Parallel plate capacitor
विभवात	Potential drop	समोर्जी	Mono-energetic
विभवमापी (पोर्टेशियोमीटर)	Potentiometer	सार्वांत्रिक	Universal
विभवांतर	Potential difference	स्थिरवैद्युत अनुरूप	Electrostatic analog
विभ्रांति काल	Relaxation time	स्थिरवैद्युत परिरक्षण	Electrostatic shielding
		स्थिरवैद्युत विभव	Electrostatic potential
		सौर पवन	Solar wind
		स्पैक्ट्रम	Spectrum
		स्व-प्रेरण	Self-Induction