टिप्पणियाँ

18

विद्युत चुंबकत्व तथा विद्युतधारा के चुंबकीय प्रभाव

पाठ 15 में आपने देखा कि आवेशित छड़ें कागज के छोटे-छोटे टुकड़ों को किस प्रकार आकर्षित करती हैं। आप चुंबकों से भी खेले होंगे। ये वे पदार्थ हैं जो छोटे-छोटे लोहे के टुकड़ों को आकर्षित करते हैं। क्या आपने विद्युत तथा चुंबकत्व के मध्य किसी संबंध के बारे में कभी सोचा है? इनके मध्य संबंध की खोज ऑर्स्टेड ने 1820 में की थी। अब हम निश्चित रूप से जानते हैं कि चुंबकत्व और विद्युत में घनिष्ठ संबंध है।

इस पाठ में आप चुंबकों के व्यवहार और उनके प्रयोगों तथा विद्युत धारा के चुंबकीय प्रभावों के बारे में जानेंगे। धारा का वहन करने वाले चालकों तथा चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेशों पर भी चर्चा की जाएगी। इन सिद्धांतों के आधार पर हम मोटरों जैसी विद्युत युक्तियों तथा ऐमीटर, वोल्टमीटर, गैल्वेनोमीटर जैसी मापन युक्तियों की कार्य पद्धति पर चर्चा करेंगे।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के पश्चात् आप:

- चुबंकीय क्षेत्र और उसके SI मात्रक को परिभाषित कर सकेंगे;
- पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयवों को सूचीबद्ध कर सकेंगे और उनके मध्य संबंध दर्शा पाएंगे;
- धारा के चुंबकीय प्रभाव तथा ऑर्स्टेड के प्रयोग का वर्णन कर सकेंगे;
- बायो-सावर्ट नियम की परिभाषा और उसके अनुप्रयोग की व्याख्या कर सकेंगे;
- ऐम्पियर परिपथयी नियम की व्याख्या कर सकेंगे और उसके अनुप्रयोगों का वर्णन कर पाएंगे;
- एकसमान विद्युत क्षेत्र एवं चुंबकीय क्षेत्र में आवेशित कण की गति का वर्णन कर सकेंगे;
- साइक्लोट्रॉन की रचना एवं कार्यविधि की व्याख्या कर सकेंगे;

- एक समान चुंबकीय क्षेत्र में स्थित धारा वाहक चालक द्वारा अनुभव किए गए बल के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कर सकेंगे;
- परस्पर समांतर स्थित दो अनंततः लंबे धारा वाहक चालकों के मध्य बल के लिए व्यंजक व्युत्पन्न कर पाएंगे; और
- गैलवेनोमीटर, ऐमीटर तथा वोल्टमीटर के कार्य सिद्धांत की व्याख्या कर सकेंगे।

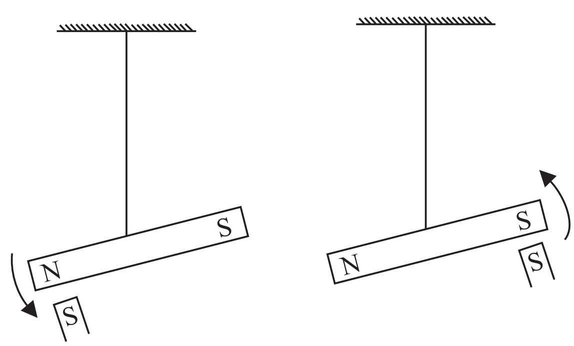
18.1 चुंबक और उनके गुणधर्म

चुंबकत्व की परिघटना 600 BC से ही युनानियों को ज्ञात थी। उन्होंने देखा कि मैग्नेटाइट (Fe_3O_4) कहलाने वाले, कुछ पत्थर; लोहे के टुकड़ों को आकर्षित करते हैं। प्रकृति में पाए जाने वाले मैग्नेटाइट के ये टुकड़े; प्राकृतिक चुंबक कहलाते हैं। प्राकृतिक चुंबक दुर्बल होते हैं परंतु लोहा, निकेल, कोबाल्ट जैसे पदार्थ प्रबल स्थायी चुंबकों में परिणित किए जा सकते हैं। सभी चुंबकों में चाहे वे प्राकृतिक हो या कृत्रिम, समान गुण होते हैं। आप चुम्बकों के मूलभूत गुणधर्मों से परिचित होंगे। पूर्णता की दृष्टि से हम यहां उनकी पुनरावृत्ति कर रहे हैं:

(i) **दैशिक गुणधर्म :** जब किसी लघु दंड चुंबक को उसके द्रव्यमान-केंद्र से स्वतंत्र रूप से इस प्रकार लटकाया जाता है कि वह ऊर्ध्व अक्ष के प्रति घूर्णन कर सके तो वह सदैव लगभग भौगोलिक उत्तर-दक्षिण दिशा में ठहरता है।

(ii) **आकर्षी गुणधर्म :** लोहा, निकैल तथा कोबाल्ट जैसे पदार्थों के छोटे-छोटे टुकड़ों को चुंबक आकर्षित करता है। आकर्षण-बल, चुंबक के सिरों के निकटस्थ बिंदुओं पर अधिकतम होता है। ये बिंदु चुंबक के ध्रुव कहलाते हैं। स्वतंत्र रूप से लटके हुए चुंबक में वह ध्रुव जो भौगोलिक उत्तर की ओर दिष्ट होता है, **उत्तरी ध्रुव** और जो ध्रुव भौगोलिक दक्षिण की ओर दिष्ट होता है वह **दक्षिणी ध्रुव** कहलाता है। क्या ये दैक्षिक और आकर्षी गुणधर्म यह नहीं बताते कि हमारी पृथ्वी भी चुंबक की तरह कार्य करती है? वास्तव में ऐसा ही है।

(iii) दो चुंबकों में विपरीत ध्रुव परस्पर आकर्षित तथा समान ध्रुव परस्पर प्रतिकर्षित होते हैं (चित्र 18.1)।



चित्र. 18.1 : दो-चुंबकों के विपरीत ध्रुव परस्पर आकर्षित तथा समान ध्रुव परस्पर प्रतिकर्षित करते हैं।

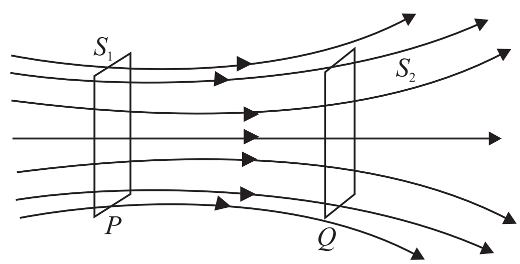
(iv) चुंबक के ध्रुवों को अलग नहीं किया जा सकता, अर्थात चुंबकीय क्षेत्र प्रदान करने वाला सरलतम नमूना एक चुंबकीय द्वि-ध्रुव होता है।

(v) जब किसी चुंबक को लोहे के टुकड़े के समीप लाया जाता है तो लोहे के टुकड़े का समीपस्थ सिरा विपरीत ध्रुवता ग्रहण कर लेता है और सुदूर सिरे की ध्रुवता वही रहती है। यह परिघटना **चुंबकीय प्रेरण** कहलाती है।

18.1.1 चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं

चुंबकों के मध्य अथवा किसी चुंबक और लोहे के टुकड़े के मध्य अन्योन्य क्रियाएं मूलतः सुदूर क्रिया निरुपित करती है। इसे चुंबकीय क्षेत्र के पदों में समझा जा सकता है। क्षेत्र की दिशा और परिमाण को स्पष्ट रूप से देखने की अत्यंत सुविधाजनक विधि, क्षेत्र रेखाओं को खींचना है:

- किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र सदिश **B** की दिशा, उस बिंदु पर क्षेत्र-रेखा की स्पर्श रेखा द्वारा व्यक्त की जाती है।
- रेखाओं के अनुलंब स्थित किसी पृष्ठ के इकाई क्षेत्रफल से होकर गुजरने वाली रेखाओं की संख्या, उस क्षेत्र में चुंबकीय क्षेत्र की प्रबलता के आनुपातिक होती हैं। अतः वह चुंबकीय क्षेत्र **B** प्रबल होगा जहां कि क्षेत्र रेखाएं परस्पर समीप हैं और जहां ये रेखाएं दूर-दूर हैं वहां क्षेत्र दुर्बल होगा।



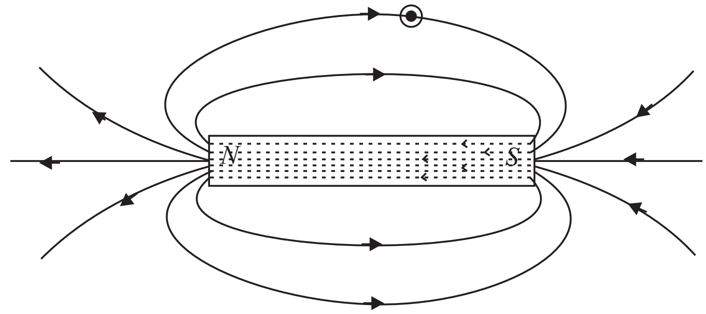
चित्र 18.2: दो समांतर पृष्ठों से होकर गुजरने वाली चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं

चित्र 18.2 में कुछ क्षेत्र रेखाएं दर्शाई गई हैं जो समांतर पृष्ठ S_1 और S_2 से होकर गुजर रही हैं। S_1 का पृष्ठ क्षेत्रफल वही है जो S_2 का पृष्ठ क्षेत्रफल है। परंतु S_2 से होकर गुजरने वाली रेखाओं की तुलना में S_1 से होकर गुजरने वाली रेखाओं की संख्या अधिक है। अतः S_1 से होकर प्रति इकाई गुजरने वाली रेखाओं की संख्या, S_2 से होकर प्रति इकाई गुजरने वाली रेखाओं की संख्या से अधिक है। इस प्रकार हम कह सकते हैं कि Q के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र की तुलना में, P के चारों ओर का चुंबकीय क्षेत्र प्रबल है।

- चुंबक के बाहर, क्षेत्र रेखाएं उत्तरी ध्रुव से दक्षिणी ध्रुव की ओर तथा चुंबक के अंदर ये रेखाएं दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव की ओर गमन करती हुई संवृत वक्र बनाती हैं। (चित्र 18.3)

टिप्पणियाँ

- दो चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं कभी भी परस्पर नहीं काटती।



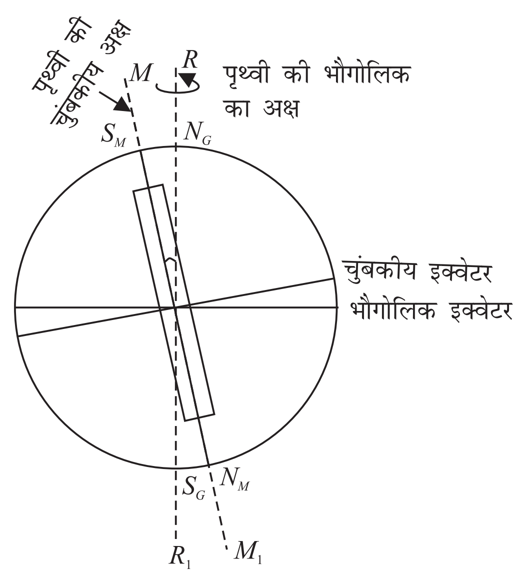
चित्र. 18.3 : दंड चुंबक की चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं

पाठगत प्रश्न 18.1

1. आपको एक चुंबक दिया हुआ है। आप उसके उत्तरी ध्रुव का कैसे पता लगाएंगे?
2. आपको समान दिखने वाले दो लोह दंड दिए हुए हैं। इनमें एक चुंबक है। केवल इन्हीं दो का प्रयोग करके आप कैसे पता लगाएंगे कि इनमें से चुंबक कौन सा है?
3. आपके पास एक धागा और दो दंड चुंबक हैं। इन दोनों चुंबकों की ध्रुवताओं को ज्ञात करने की एक विधि का वर्णन कीजिए।

पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र

चुंबकों के दैशिक गुणधर्म की व्याख्या यह मान कर की जा सकती है कि पृथ्वी एक चुंबक की तरह व्यवहार करती है; अर्थात यह मान सकते हैं कि पृथ्वी के अंदर एक विशाल दंड चुंबक स्थित है। इस चुंबक का दक्षिणी ध्रुव भौगोलिक उत्तरी ध्रुव के निकट और चुंबकीय उत्तरी ध्रुव भौगोलिक दक्षिणी ध्रुव के निकट है। पृथ्वी की घूर्णन-अक्ष RR_1 तथा पृथ्वी की चुंबकीय अक्ष MM_1 है।



चित्र. 18.4 : पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र

क्रियाकलाप 18.1

चुंबकीय सुई के साथ प्रयोग कीजिए। (आप वास्तव में ऐसे ग्लोब के साथ भी प्रयोग कर सकते हैं जिसकी घूर्णन अक्ष के अनुदिश, दंड चुंबक स्थित हो तथा जिसका उत्तरी ध्रुव, दक्षिण की ओर रखा हो। सुई को स्वतंत्र रूप से इस प्रकार लटकाइए कि यह क्षैतिज और ऊर्ध्वसमतलों में घूर्णन कर सके। यदि सुई पृथ्वी के पृष्ठ के विषुवत वृत के समीप होगी तो यह क्षैतिज समतल में ठहर जाएगी। अब इस सुई को उत्तरी गोलार्ध में स्थित स्थानों पर ले जाया जाता है। जैसे-जैसे हम भौगोलिक उत्तरी ध्रुव की ओर जाते हैं चुम्बकीय सुई ऊर्ध्व समतल में घूम जाती है और उसका उत्तरी ध्रुव पृथ्वी की ओर झुक जाता है। अंत में कैनेडा में में हडसन खाड़ी के समीपस्थ किसी बिंदु पर सुई का उत्तरी ध्रुव ऊर्ध्वतः नीचे की दिशा में होगा। उत्तर से 6^{o} पूर्व की ओर यह स्थान, पृथ्वी के चुंबक का दक्षिणी ध्रुव माना जाता है। यह स्थान पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी ध्रुव से लगभग 650 km दूर है। यदि हम उसी चुंबकीय सुई को दक्षिणी गोलार्ध के स्थानों पर ले जाए तो सुई का दक्षिणी ध्रुव नीचे की ओर झुक जाएगा यह स्थान भौगोलिक दक्षिण से 650 km पश्चिम की ओर दिष्ट होगा। यह बिंदु पृथ्वी के चुंबक का उत्तरी ध्रुव माना जा सकता है। **इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि पृथ्वी की चुंबकीय अक्ष, भौगोलिक अक्ष के संपाती नहीं है।**

पृथ्वी की चुंबकीय अक्ष का महत्वपूर्ण पहलू यह है कि यह स्थिर नहीं है। इसका परिमाण और दिशा, समय के साथ बदलता रहता है।

पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयव

पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का वर्णन करने के लिए तीन मापन योग्य राशियों का प्रयोग किया जाता है। ये पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयव कहलाते हैं:

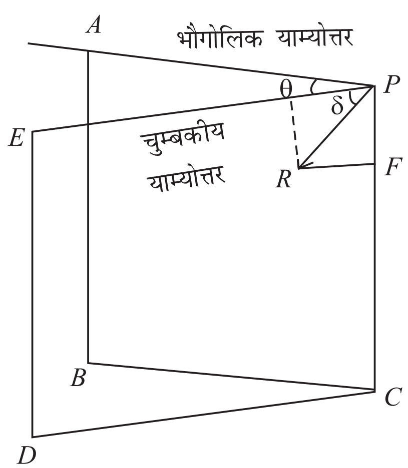
(a) आनति या नति (δ);

(b) दिक्‌पात (θ); तथा

(c) पृथ्वी के क्षेत्र का क्षैतिज घटक (B_M);

(a) आनति या नति

यदि आप चुंबकीय सुई को किसी स्थान पर स्वतंत्र रूप से लटकाएं तो आप देखेंगे कि सुई क्षैतिज समतल में नहीं ठहरती। यह पृथ्वी के क्षेत्र की परिणामी तीव्रता की ओर दिष्ट होगी।



चित्र 18.5: पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के अवयव

चित्र 18.5 में समतल *PCDE* दर्शाया गया है जो पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित बिंदु *P* पर चुंबकीय याम्योत्तर (अर्थात पृथ्वी के चुंबक के उत्तरी और दक्षिणी ध्रुवों से होकर गुजरने वाला ऊर्ध्व समतल)

है। उसी प्रकार *PABC* भौगोलिक याम्योत्तर (अर्थात भौगोलिक उत्तरी और दक्षिणी ध्रुवों से होकर गुजरने वाला ऊर्ध्व समतल) है। *PR*, बिंदु P पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण और दिशा निरूपित करता है। ध्यान दें कि *PR*, क्षैतिज दिशा के साथ δ कोण बनाता है। यह कोण पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित P पर आनति या नति कहलाता है। वह कोण जो पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र, चुबंकीय याम्योत्तर में क्षैतिज दिशा के साथ बनाता है नति या **आनति कहलाता** है।

(b) दिक्पात:

चित्र 18.5 का पुन: अवलोकन करें। समतल *PCDE* में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र सदिश *(PR)* शामिल है। समतलों *PCDE* तथा *PABC* के मध्य कोण; बिंदु P पर दिक्पात कहलाता है। यह कोण θ द्वारा दर्शाया गया है।

वह कोण जो चुंबकीय याम्योत्तर किसी स्थान पर भौगोलिक याम्योत्तर के साथ बनाता है, उस स्थान पर दिक्पात कहलाता है।

(c) क्षैतिज घटक:

चित्र 18.5 में बिंदु *P* पर *PR* परिणामी चुंबकीय क्षेत्र है। परिमाण और दिशा में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक *PH* के द्वारा और ऊर्ध्व घटक *PF* के द्वारा निरूपित किया गया है। मान लीजिए कि बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र B है। अब क्षैतिज घटक,

$$B_H = B\cos\delta \tag{18.1}$$

तथा ऊर्ध्व घटक,

$$B_V = B\sin\delta \tag{18.2}$$

समीकरणों (18.1) और (18.2) का वर्ग करके जोड़ने पर,

$$B_H^2 + B_V^2 = B^2\cos^2\delta + B^2\sin^2\delta = B^2 \tag{18.3}$$

समीकरण (18.2) को समीकरण (18.1)से विभाजित करने पर,

$$\frac{B_V}{B_H} = \tan\delta \tag{18.4}$$

18.2 विद्युत तथा चुंबकत्व: मौलिक संकल्पनाएं

आप जानते हैं कि चालक के सिरों के मध्य विभवांतर के कारण चालक में इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह से विद्युत धारा बनती है। चालक में प्रवाहित होने वाली धारा उसके आसपास के क्षेत्र में स्थित मुक्त चुंबकीय सुई पर बल लगाती है। चुंबकीय सुई एक चुंबक के द्वारा भी प्रभावित होती है अत: हम कहते हैं कि धारा वाहक चालक के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र B दृष्टिगत होता है। इस पाठ में बाद में आप इनके बारे में तथा चुंबकशीलता जैसे शब्दों के बारे में जानेंगे।

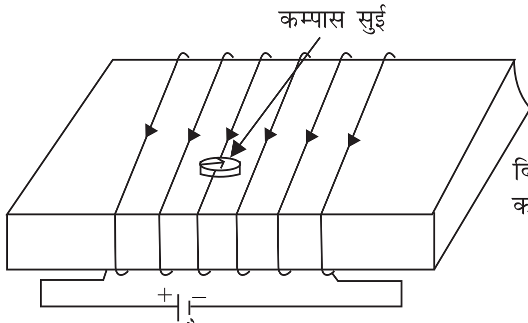
18.2.1 विद्युत धारा के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र

एक सरल प्रयोग कीजिए।

टिप्पणियाँ

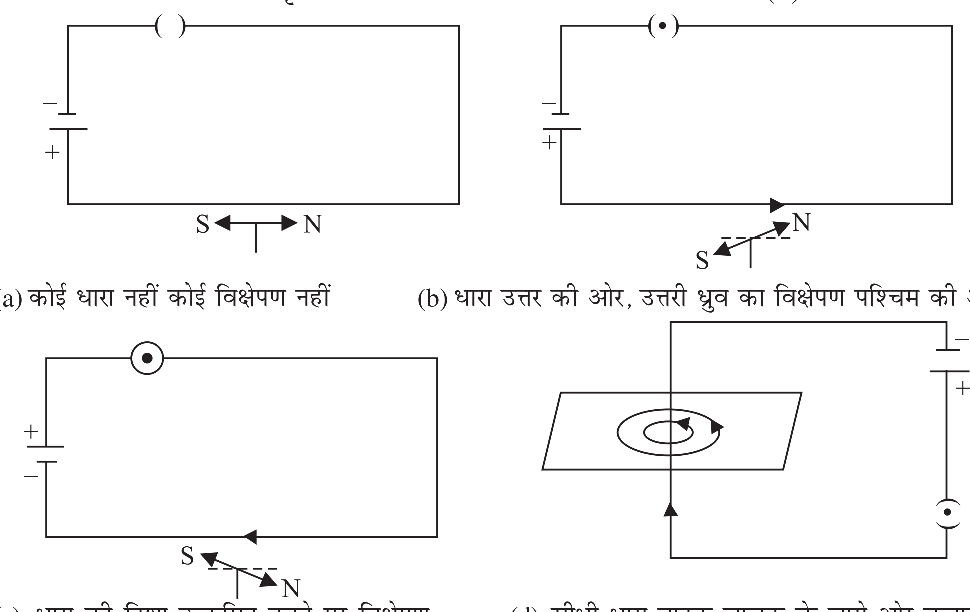
क्रियाकलाप 18.2

1.5 वोल्ट की एक बैटरी, लगभग 1 m लम्बा तार, कम्पास सुई (दिक्सूचक) और एक दियासलाई की डिब्बी लीजिए। इस डिब्बी के आधार पर तार के 60–65 लपेटें कुंडलित कीजिए। कुंडलनों के नीचे चित्र 18–6 में दर्शाए गए अनुसार कम्पास सुई को रख दीजिए। अब इस दियासलाई की डिब्बी को मेज पर इस प्रकार रखिए ताकि तार उत्तर–दक्षिण दिशा में रहे। तार के मुक्त सिरों को बैटरी से जोड़ दीजिए। देखिए अब सुई क्या करती है? आप देखेंगे कि सुई विक्षेप दर्शा रही है। इसका यह अर्थ हुआ कि कुंडली में और उसके चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र है। बैटरी के टर्मिनलों को बदलने पर विक्षेप, विपरीत दिशा में हो जाएगा। जब तार में कोई धारा नहीं होती तो कम्पास सुई उत्तर-दक्षिण दिशा दर्शाती है (देखिए चित्र 18.7a, b एवं c)



चित्र. 18.6 : विद्युत धारा के कारण चुंबकीय क्षेत्र का निदर्शन

जब कम्पास सुई को ऊर्ध्व धारा वाहक तार के समीप लाया जाता है तो चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं तार के चारों ओर सकेंद्री वृत के रूप में होती है जैसा कि चित्र 18.7 (d) में दर्शाया गया है।



(a) कोई धारा नहीं कोई विक्षेपण नहीं

(b) धारा उत्तर की ओर, उत्तरी ध्रुव का विक्षेपण पश्चिम की ओर

(c) धारा की दिशा उत्क्रमित करने पर विक्षेपण दिशा भी उत्क्रमित

(d) सीधी धारा वाहक चालक के चारो ओर वृत्ताकार क्षेत्र रेखाएं

चित्र. 18.7 : धारा वाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र

कापेनहगेन डेनमार्क में भौतिकी के प्रोफेसर हंस क्रिश्चियन ऑरस्टेड ने 1820 में इसी प्रकार के प्रयोगों द्वारा सिद्‌ध किया कि धारा वाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र होता है।

18.3 बायो-सावर्ट नियम

बायो–सावर्ट नियम चालक में धारा और आकाश में स्थित किसी बिंदु के चारों ओर परिणामी चुंबकीय क्षेत्र के मध्य मात्रात्मक संबंध व्यक्त करता है। धारा वाहक चालक का प्रत्येक भाग; बिंदु के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र में अपना योगदान देता है। इस प्रकार बिंदु पर B का नेटमान, चालक के अलग–अलग भागों का संयुक्त प्रभाव होता है। जैसा कि चित्र 18.8 में दर्शाया गया है कि किसी धारा वाहक चालक के कारण नेट चुंबकीय क्षेत्र, $\Delta\ell$ लम्बाई के प्रत्येक अत्यन्त सूक्ष्म अवयव से उत्पन्न योगदानों का सदिश योगफल होता है।

प्रयोग दर्शाते हैं कि किसी अवयव $\Delta\ell$ के कारण क्षेत्र B निम्नलिखित पर निर्भर करता है:–

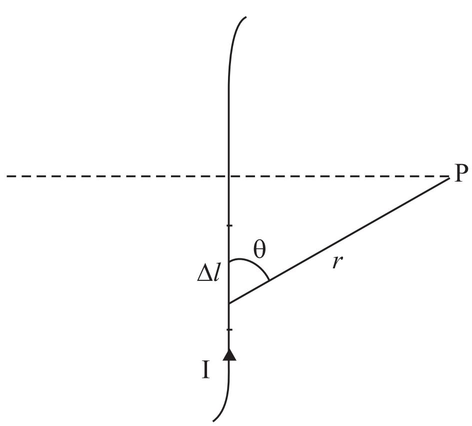
(a) चालक से होकर प्रवाहित धारा,, I के समानुपाती;
(b) अवयव की लम्बाई $\Delta\ell$ के समानुपाती;
(c) अवयव $\Delta\ell$ से प्रेक्षण बिंदु P तक की दूरी (r) के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है; और
(d) अवयव और अवयव को प्रेक्षण बिंदु से मिलाने वाली रेखा के मध्य कोण θ की sin के समानुपाती होता है।

इस प्रकार हम लिख सकते हैं:

$$|\Delta B_0| \;\alpha\; \frac{I\,\Delta\ell \sin\theta}{r^2}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\ell \sin\theta}{r^2} \qquad (18.5)$$

जब कि μ_0 निर्वात की पारगम्यता है। इसका मान $4\pi \times 10^{-7}$ WA^{-1}m^{-1} होता है। वायु की परगम्यता का मान भी लगभग μ_0 के बराबर होता है।

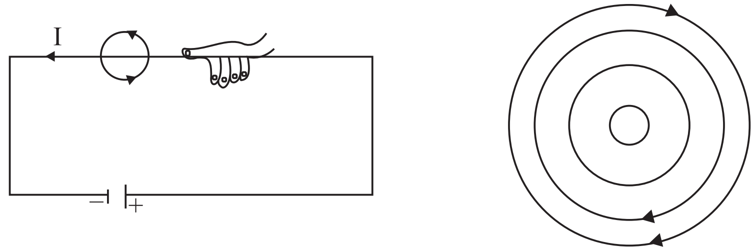


चित्र 18.8: धारा अवयव $\Delta\ell$ के कारण बिन्दु **P** पर चुम्बकीय क्षेत्र

यदि चालक को वायु के अतिरिक्त किसी अन्य माध्यम में रखा जाए तो क्षेत्र के मान में परिवर्तन हो जाता है और यह $|\mathbf{B}| = \mu|\mathbf{B_0}|$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है। यहां μ माध्यम की पारगम्यता है।

B की दिशा: किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र, सदिश राशि होती है। B की दिशा दक्षिण हस्त पकड़ नियम लागू करके ज्ञात की जा सकती है। इस नियम को लागू करने के लिए, कुछ सरल उदाहरणों में उत्पन्न क्षेत्र की दिशा पर विचार करना चाहिए। जैसा कि चित्र 18.9 (a) में दिखाया गया है तार को अपने सीधे हाथ से इस प्रकार

पकड़िए ताकि अंगूठा, धारा की दिशा में रहे। तब हाथ की मुड़ी हुई उंगलियां, चुंबकीय क्षेत्र की दिशा में दिष्ट होंगी। कागज पर चुंबकीय क्षेत्र निरुपित करने के लिए विचार कीजिए कि धारा, कागज के समतल में प्रवाहित हो रही है। तब दक्षिण हस्त नियम के अनुसार क्षेत्र-रेखाएं, कागज के समतल में होंगी। [चित्र 18.9 (b)]



(a) (b)

चित्र. 18.9 :चुंबकीय क्षेत्र की दिशा : (a) दक्षिण हस्त नियमः अंगूठा धारा की दिशा में है, क्षेत्र रेखाएं मुड़ी हुई उंगलियों की दिशा में हैं तथा (b) जब धारा कागज के समतल के लम्बवत् दिशा में होती है तो दक्षिण हस्त नियम के अनुसार, क्षेत्र रेखाएं, कागज के समतल में होंगी।

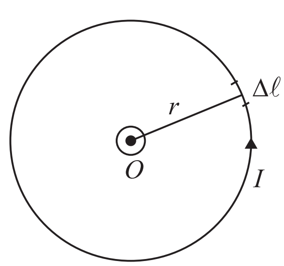
18.3.1 बायो-सावर्ट नियम के अनुप्रयोगः

अब आपको ज्ञात हो गया होगा कि बायो-सावर्ट नियम से चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण प्राप्त होता है। अब हम इस नियम का अनुप्रयोग, विभिन्न आकार के चालकों के चारों ओर क्षेत्र ज्ञात करने के लिए करेंगे। ध्यान दें कि चालक के विभिन्न खंडों से उत्पन्न निवल (नेट) क्षेत्र को परिकलित करने के लिए हमें प्रत्येक खंड से उत्पन्न क्षेत्र-योगदानों को जोड़ना होगा। हम पहले धारा वाहक वृत्ताकार कुंडली पर विचार करेंगे और उसके केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करेंगे।

(a) धारा वाहक वृत्ताकार कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र : चित्र 18.10 का अवलोकन कीजिए। इसमें धारा I के वहन करने वाली त्रिज्या r की वृत्ताकार कुंडली दर्शाई गई है। इसके केंन्द्र O पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करने के लिए, हम पहले इस वृत्ताकार कुंडली में धारा वाहक अल्प अवयव पर विचार करेंगे। धारा अवयव $\Delta \ell$ और r के मध्य कोण 90° है। हमें समीकरण (18.5) से पता है कि $\Delta\ell$ के कारण केंद्र O पर क्षेत्र निम्नलिखित होगा:

$$|\Delta \mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\Delta\ell}{r^2} \sin 90^\circ$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\Delta\ell}{r^2} \qquad (\text{as } \sin 90^\circ = 1)$$



चित्र. 18.10: धारा वाहक वृत्ताकार कुंडली

टिप्पणियाँ

$\Delta\mathbf{B}$ की दिशा, कुंडली के समतल के अभिलंब है। चूंकि वृत्ताकार कुंडली के प्रत्येक अवयव के कारण क्षेत्र एक ही दिशा में होगा, अतः लूप के केंद्र पर सभी योगदानों को जोड़कर परिणामी क्षेत्र प्राप्त किया जाता है। अतः

$$|\mathbf{B}| = \quad |\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}\ \Sigma\ \Delta\ell = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}\ .\ 2\pi r$$

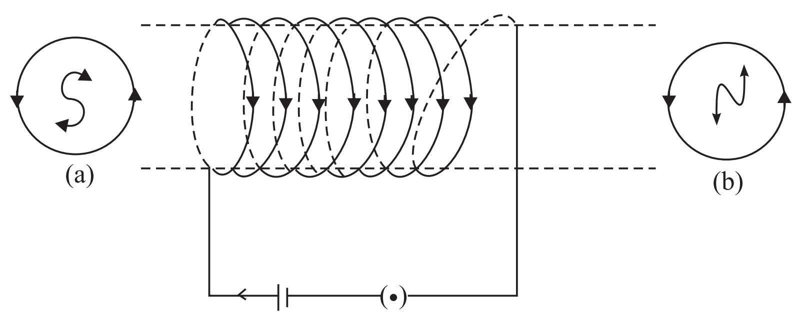
इस प्रकार r त्रिज्या की धारावाही कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र,

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{2r} I \qquad (18.6)$$

यदि कुंडली में तार के एक से अधिक पाश हो (मान लीजिए n लपेटे हैं) तो क्षेत्र निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जाएगा।

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0\, nI}{2r}$$

चित्र 18.7 में दिए गए नियम का प्रयोग कर आप नेट क्षेत्र की दिशा की जांच कर सकते हैं। आप कुंडली के किसी भी खंड में दक्षिण हस्त नियम का उपयोग कर वही परिणाम प्राप्त कर सकते हैं। धारावाहक कुंडली के कारण चुंबकीय क्षेत्र की दिशा के अभिनिर्धारण की एक अन्य सरल विधि तथाकथित छोर नियम है जो चित्र 18.11 (a, b) में दर्शाया गया है।



चित्र 18.11: चुंबकीय क्षेत्र की दिशा: छोर नियम

जब कोई प्रेक्षक किसी भी सिरे से वृत्ताकार कुंडली को देखता है तो उसे धारा दक्षिणावर्ती दिशा में प्रवाहित होती मालूम होती है और कुंडली का फलक, तुल्य चुंबक के दक्षिण ध्रुव की भांति आचरण करता है अर्थात् B की ओर दिष्ट होता है। इसके विपरीत यदि धारा वामावर्ती दिशा में प्रवाहित होती प्रतीत हो तो कुंडली का फलक तुल्य चुंबक के उत्तरी ध्रुव की भांति आचरण करता है, अर्थात क्षेत्र उस सिरे से बाहर की ओर दिष्ट होता है।

पाठगत प्रश्न 18.2

1. निम्नलिखित के द्वारा उत्पन्न क्षेत्र के बारे में आप क्या कहेंगे?

   (i) अचल इलेक्ट्रॉन?

   (ii) गतिमान इलेक्ट्रॉन

2. किसी चालक में इलेक्ट्रॉन तापीय ऊर्जा के कारण लगातार गतिमान रहते हैं। वे चुंबकत्व क्यों नहीं दर्शाते, जब तक उनके मध्य विभवांतर नहीं लगाया जाता?

3. किसी लंबे तार में धारा प्रवाहित हो रही है। पहले इसे एक लपेटे का वृत्ताकार रूप दिया गया है और फिर उसे अपेक्षाकृत कम त्रिज्या के दो लपेटों की कुंडली में परिणित किया गया है। क्या कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र में परिवर्तन होगा? यदि हाँ, तो कितना?

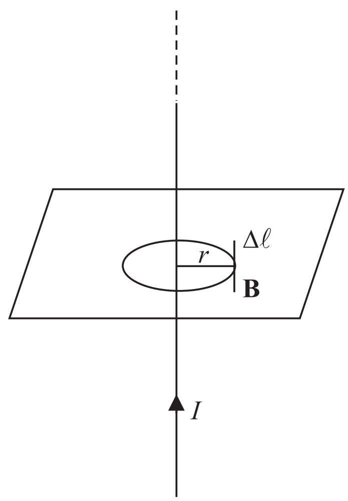
टिप्पणियाँ

18.4 ऐम्पियर का परिपथीय नियम

कुछ सरल परिस्थितियों में धारा वाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करने के लिए ऐम्पियर का परिपथीय नियम एक अन्य प्रभावशाली विधि है।

ऐम्पियर परिपथीय नियम के अनुसार किसी संवृत लूप के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र का रेखा-समाकल, कुल ध
रा I का μ_0 गुना होता है। गणितीयत: हम लिख सकते हैं कि,

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\ell = \mu_o I \quad (18.7)$$



चित्र. 18.12 : *ऐम्पियर का परिपथीय नियम*

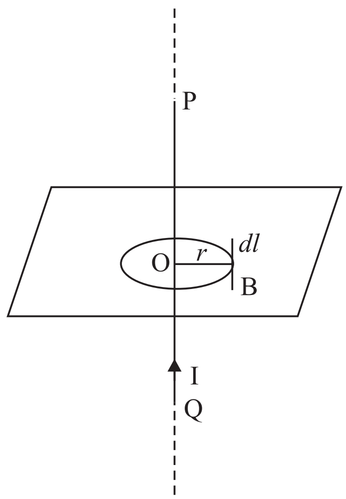
ध्यान दें कि यह मान, संवृत पाश के आमाप और आकार पर निर्भर नहीं करता।

एन्ड्रे मेरी ऐम्पियर
(1775 – 1836)

फ्रांसीसी भौतिकीविद्, गणितज्ञ एवं रसायनज्ञ ऐम्पियर एक प्रतिभाशाली बालक थे। उन्होंने 12 वर्ष की आयु में उन्नत गणित में प्रवीणता प्राप्त की। उनमें प्रायोगिक कौशल और सैद्धांतिक कुशाग्रता का अद्भुत मिश्रण था। ऐम्पियर ने यथार्थ प्रयोग किए और अपने परिणामों को वैद्युत गतिकी के सिद्धांत के रूप में प्रस्तुत किया जो विद्युत और उसके चुंबकीय प्रभावों का गणितीय संरूपण है। धारा के मात्रक को ऐम्पियर नाम उन्हीं के सम्मान में दिया गया है। वह अपने कार्य और विचारों में तल्लीय रहते थे और उन्होंने सम्मानों और पुरस्कारों की कभी परवाह नहीं की। एक बार वह सम्राट नैपोलियन के रात्रि भोज के निमंत्रण को भूल गये। उनके समाधि प्रस्तर पर लिखा है: ‘‘Tendun felix" (अंत में प्रसन्न) जिससे प्रतीत होता है कि उन्होंने अत्यंत श्रमसाध्य और परेशानी का जीवन व्यतीत किया। परंतु इससे उनकी सृजनात्मकता में कोई कमी नहीं आई।

18.4.1 ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुप्रयोग

अब हम दो सरल अवस्थाओं में चुंबकीय क्षेत्र प्राप्त करने के लिए ऐम्पियर के परिपथीय नियम का अनुप्रयोग करेंगे।



चित्र. 18.13: अनंत लम्बाई का धारा वाहक चालक

(a) अनंत लम्बाई के धारा वाहक चालक के कारण चुंबकीय क्षेत्र

चित्र 18.13 का अवलोकन करें। इसमें अनंत लम्बाई के धारा वाहक चालक POQ को दर्शाया गया है जो धारा I का वहन कर रहा है। चालक के चारो ओर चित्र में दर्शाए गए समतल में त्रिज्या r के वृत्ताकार लूप पर विचार कीजिए। तब,

$$\Sigma \mathbf{B}.d\ell = B\,2\pi r$$

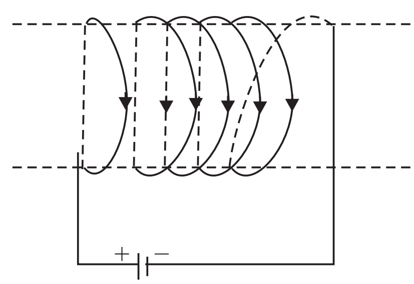
ऐम्पियर के परिपथीय नियम को लागू करने पर, हम लिख सकते हैं:

$$|\mathbf{B}|\; 2\pi r = \mu_o I$$

अथवा
$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad (18.8)$$

यह व्यंजक अनंत लम्बाई के धारा वाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र व्यक्त करता है। मोटरों, जेनरेटरों, खिलौनों, पंखा वाइन्डिगों, ट्रांसफार्मरों तथा वैद्युतचुंबकों आदि में परिनालिकाओं और टोरॉइडों का प्रचुरता से प्रयोग होता है। इनका उपयोग एक समान चुंबकीय क्षेत्र उपलब्ध कराने में होता है। जब हमें अधिक क्षेत्र की आवश्यकता होती है तो कुंडली के अंदर एक मृदु लोहा रख दिया जाता है।

(b) परिनालिका से उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र:



चित्र. 18.14 : परिनालिका

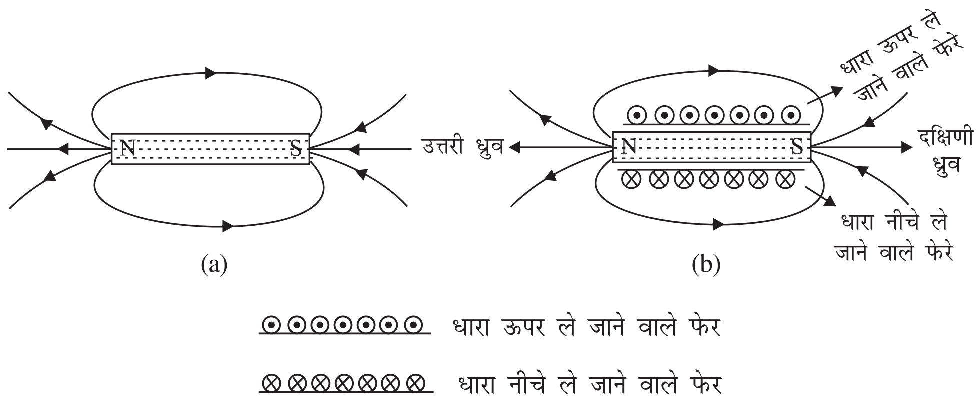
परिनालिका एक ऐसी सीधी कुंडली है जिसमें सार्व अक्ष पर एक सीधी रेखा में अनेक लूप व्यवस्थित रहते हैं जैसा कि चित्र 18.14 में दिखाया गया है। हम जानते हैं कि किसी तार से होकर प्रवाहित धारा I उसके चारो ओर एक चुंबकीय क्षेत्र स्थापित करती है। मान लीजिए कि किसी परिनालिका की लम्बाई ℓ और उसमें फेरों की संख्या N हैं। उसकी अक्ष के अनुदिश (चित्र 18. 14) परिनालिका के अंदर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित करने के लिए, हम इसे अत्यधिक त्रिज्या वाले टोरॉइडी परिनालिका का एक परिच्छेद मान सकते हैं। इस प्रकार

$$|\mathbf{B}| = \mu_o\, nI$$

क्षेत्र की दिशा परिनालिका की अक्ष के अनुदिश है। सीधी परिनालिका परिमित होती है। अत: $|\mathbf{B}| = \mu_o\, nI$, परिनालिका के अंदर उसके केंद्र के समीप होगा। अल्प त्रिज्या वाली परिनालिकाओं के लिए, सिरों पर, B का परिमाण इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0 nI}{2}$$

परिनालिका एक दंड चुंबक की भांति व्यवहार करती है और इसका चुंबकीय क्षेत्र चित्र 18.15 में दर्शाए अनुसार है।



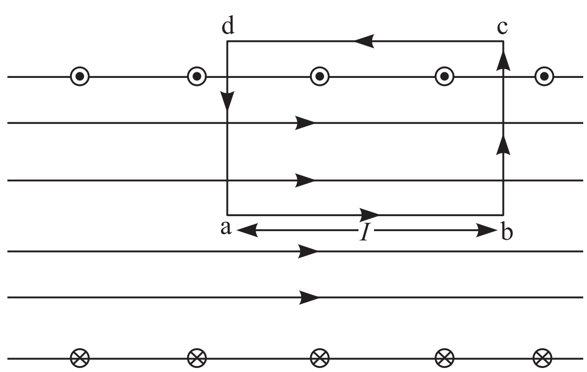
चित्र. 18.15: परिनालिका दंड चुंबक की भांति व्यवहार करती है : (a) दंड चुंबक द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र तथा; (b) धारा वाहक परिनालिका द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र

18.4.2 ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुप्रयोग

(b) ऋजुरेखीय परिनालिका में उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

परिनालिका एक सार्वत्रिक सरल रेखीय अक्ष के ऊपर अनेक वृत्ताकार फेरे लपेट कर बनाई गई कुण्डली होती हैं (देखें चित्र 18.16)। हम जानते हैं कि जब किसी चालक में धारा I प्रवाहित होती है तो इसके चारों ओर एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। माना कि परिनालिका की लम्बाई ℓ है और इसमें N फेरे हैं।

परिनालिका के अन्दर इसके मध्य में चुम्बकीय क्षेत्र एकसमान और अक्ष के समान्तर है। किन्तु परिनालिका के बाहर क्षेत्र इतना क्षीण है कि हम उसे नगण्य मान सकते हैं। ये कथन विशेषकर एक ऐसी परिनालिका के लिए सत्य कहे जाएंगे जिसकी लम्बाई उसके व्यास की तुलना में बहुत अधिक है। एक लम्बी परिनालिका के लिए, जिसके फेरे बहुत सटा सटाकर और एक समान रूप से लपेटे गए हैं, इसके अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र सभी जगह काफी हद तक एक समान है और बाहर शून्य है।



चित्र 18.16

हम एक आयताकार लूप $abcd$ लेते हैं जैसा कि चित्र 18.4.2 में दर्शाया गया है। पथ ab के अनुदिश चुम्बकीय क्षेत्र एक समान है। इसलिए, इस पथ के लिए $\mathbf{B} \cdot d\ell = B\ell$ पथ cd के अनुदिश क्षेत्र शून्य ले सकते हैं क्योंकि यह अत्यन्त क्षीण है। अत: इस पथ के अनुदिश $\mathbf{B} \cdot d\ell = 0$। दोनों छोटी भुजाएं bc एवं da $\mathbf{B} \cdot d\ell$ में योगदान नहीं करतीं क्योंकि या तो $\mathbf{B}$ शून्य है (परिनालिका के बाहर) या $d\ell$ के लम्बवत् (परिनालिका के अन्दर)।

यदि परिनालिका की प्रति लम्बाई इकाई में फेरों की संख्या n हो तो ℓ लम्बाई के आयताकार लूप में फेरों की संख्या $n\ell$ होगी। यदि परिनालिका के प्रत्येक लूप में धारा i हो तो लूप में से होकर पार जाने वाली कुल धारा $n\ell i$ होगी। ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुसार,

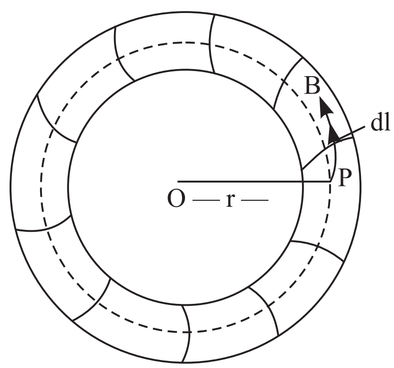
$$\sum \mathbf{B} \cdot d\ell = \mu_0 (nli)$$

अथवा $$B\ell = \mu_0 nli$$

अथवा $$B = \mu_0 ni$$

(c) किसी टोरोयड का चुम्बकीय क्षेत्र

टोरोयड मूलत: एक सिरा विहीन परिनालिका है और इसे एक ऋजुरेखीय परिनालिका को वृत्ताकार रूप में मोड़कर निर्मित किया जाता है।



चित्र 18.17

माना कि हम टोरोयड के अन्दर बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करना चाहते हैं जिसकी केन्द्र O से दूरी r है। बिन्दु P से होकर गुजरने वाला एक वृत्त खींचिए जो टोरोयड के साथ समकेन्द्रिक हो। हर जगह चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा इस वृत्त के हर बिन्दु पर स्पर्श रेखा द्वारा व्यक्त होगी तथा इसका परिमाण सभी बिन्दुओं पर समान होगा। इसलिए हम इसे ऐसे लिख सकते हैं:

$$\sum \mathbf{B} \cdot d\ell = \sum B d\ell = B \sum d\ell$$

परन्तु $\sum d\ell = 2\pi r$ = वृत्ताकार पथ की परिधि

इसलिए, $$\sum \mathbf{B} \cdot d\ell = 2\pi r B$$

यदि N फेरों की कुल संख्या तथा i टोरोयड के प्रत्येक फेरे में प्रवाहित होने वाली धारा हो तो वृत्तीय पथ से घिरे क्षेत्र के आर पार जाने वाली कुल धारा Ni होगी। अतः ऐम्पियर के परिपथीय नियम से

$$\sum \mathbf{B} \cdot d\ell = \mu_0 Ni$$

अथवा $$2\pi r B = \mu_0 Ni$$

अथवा $$B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi r}$$

18.4.3 विद्युत चुम्बक और उनकी प्रबलता को प्रभावित करने वाले कारक

हम देख चुके हैं कि एक धारावाही परिनालिका एक चुम्बक की भांति व्यवहार करती है जिसका एक सिरा, इसमें प्रवाहित होने वाली धारा के अनुरूप उत्तर-ध्रुव की भाँति व्यवहार करता और दूसरा सिरा दक्षिणी ध्रुव की भाँति। इस प्रकार के चुम्बकों की ध्रुवता का निर्धारण सिरों के नियम द्वारा किया जाता है और चुम्बकीय क्षेत्र की प्रबलता का सूत्र है:

$$|\mathbf{B}| = \mu_0 nI$$

जहाँ μ_0 मुक्त आकाश की प्रबलता है, n इकाई लम्बाई में फेरों की संख्या है तथा I परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा है।

स्पष्टतः परिनालिका तभी तक चुम्बक रहती है जब तक इसमें धारा प्रवाहित होती है। अतः एक धारावाही परिनालिका विद्युत चुम्बक कहलाती है।

इसकी प्रबलता निम्नलिखित कारकों पर निर्भर करती है:

(i) परिनालिका की प्रति इकाई लम्बाई में फेरों की संख्या; और

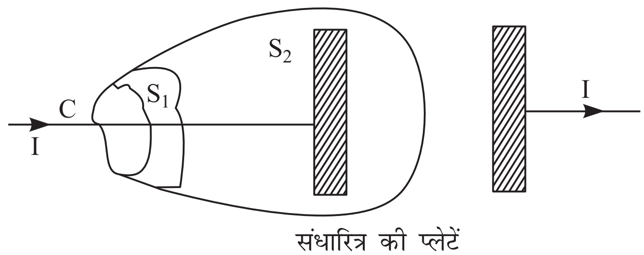
(ii) इसमें प्रवाहित होने वाली धारा

यह भी ध्यान दिया जाना चाहिए कि किसी विद्युत चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र की प्रबलता इसके अन्दर मृदु लौह क्रोड प्रविष्ट कराने से बढ़ जाती है।

18.4.4 विस्थापन धारा की संकल्पना

विस्थापन धारा की संकल्पना मैक्सवेल द्वारा प्रस्तावित की गई थी। जैसा कि हम जानते हैं चालन धारा चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। तथापि, मैक्सवेल के अनुसार, खाली स्थान में (जहाँ चालन धारा विद्यमान नहीं होती) चुम्बकीय क्षेत्र विस्थापन धारा के कारण उत्पन्न होता है, जिसमें चालन धारा की तरह आवेशों का प्रवाह नहीं होता।

एक सरल परिपथ पर विचार कीजिए जिसमें एक छोटा सा समान्तर प्लेट संधारित्र धारा I द्वारा आवेशित किया जा रहा है।



चित्र 18.18

परिरेखा C और पृष्ठ S_1 पर ऐम्पियर का परिपथीय नियम लागू करें तो हम पाते हैं–

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\ell = \mu_0 I$$

किन्तु यदि हम ऐम्पियर का परिपथीय नियम परिरेखा C और पृष्ठ S_2 पर लागू करें तो इस पृष्ठ के पार जाने वाली कोई धारा नहीं है इसलिए हमें प्राप्त होता है

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\ell = 0$$

उपर्युक्त दो समीकरणों में परस्पर विरोधाभास है। इस विरोधाभास को दूर करने के लिए मैक्सवेल ने माना कि संधारित्र की दोनों प्लेटों के बीच भी एक प्रकार की धारा का अस्तित्व होता है। उन्होने इस धारा को विस्थापन धारा कहा और दर्शाया कि यह धारा समय के साथ विद्युत क्षेत्र में होने वाले परिवर्तनों के कारण अस्तित्व में आती है।

विस्थापन धारा का एक सरल व्यञ्जक नीचे दिए अनुसार व्युत्पन्न किया जा सकता है। समान्तर प्लेट संधारित्र पर विचार कीजिए। माना कि संधारित्र की प्लेटों पर किसी क्षण t पर आवेश q है

संधारित्र के अन्दर विद्युत क्षेत्र होगा–

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

यहाँ A प्लेटों के पृष्ठ का क्षेत्रफल है। इसलिए संधारित्र से गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स है:

$$\phi_E = EA = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

तात्क्षणिक फ्लक्स के परिवर्तन की दर को लिखा जा सकता है

$$\frac{\Delta\phi_E}{\Delta t} = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{I}{\varepsilon_0}$$

अत:, हम लिख सकते हैं

$$\varepsilon_0 \frac{\Delta\phi_E}{\Delta t} = I$$

यह दर्शाता है कि बाँई ओर का व्यञ्जक धारा के समतुल्य है, जो हालांकि चालन धारा I के बराबर तो है लेकिन इससे भिन्न हैं क्योंकि यह मुक्त आवेशों की गति से संबद्ध नहीं है। इसे विस्थापन धारा कहा जाता है। चालन धारा I के विपरीत विस्थापन धारा तब उत्पन्न होती है जब विद्युत क्षेत्र और इसलिए वैद्युत फ्लक्स समय के साथ परिवर्तित होता है।

विस्थापन धारा को चालन धारा I में जोड़ कर, मैक्सवेल ने ऐम्पियर के परिपथी नियम को परिवर्द्धित किया और इसे निम्नलिखित रूप में व्यक्त किया:

$$\sum \mathbf{B}\cdot d\ell = \mu_0\left(I + \varepsilon_0 \frac{\Delta\phi_E}{\Delta t}\right)$$

ऐम्पियर के नियम का मैक्सेवेल द्वारा किया गया परिवर्द्धन बताता है कि चालन धारा के अतिरिक्त समय के साथ परिवर्तित होता विद्युत क्षेत्र भी चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न कर सकता है।

उदाहरण 18.1 : 50 cm लंबी किसी परिनालिका में कुंडलनों की तीन परते हैं और प्रत्येक परत में 250 फेरे हैं। सबसे निचली परत की त्रिज्या 2cm है। यदि इससे होकर प्रवाहित धारा 4.0 A हो तो **B** का परिमाण परिकलित कीजिए:

a) परिनालिका के केंद्र के समीप अक्ष पर और उसकी अक्ष के अनुदिश;

b) अक्ष पर सिरों के समीप; तथा

c) मध्य के समीप परिनालिका के बाहर

हल:

a) केंद्र पर या उसके समीप,

$$B = \mu_o nI = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{3\times 250}{0.5} \times 4 = 16\pi \times 1500 \times 10^{-7}\ \mathrm{T} = 24\pi \times 10^{-4}\ \mathrm{T}$$

b) सिरों पर,

$$B_{\text{सिरे}} = \frac{1}{2}\ B_{\text{केन्द्र}} = 12\pi \times 10^{-4}\ \mathrm{T}$$

c) परिनालिका के बाहर क्षेत्र शून्य होगा।

उदाहरण 18.2 12A के धारा वाहक लंबे सीधे-तार से वह दूरी परिकलित कीजिए जहां चुंबकीय क्षेत्र 3×10^{-5} T होगा।

हल :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad \Rightarrow r = \frac{\mu_0 I}{2\pi B}$$

$$\therefore \qquad r = \frac{2\times 10^{-7}\times 12}{3\times 10^{-5}} = 0.25\ \mathrm{m}$$

पाठगत प्रश्न 18.3

1. चुंबकीय क्षेत्र की बल रेखाओं को खींच कर हमें निम्नलिखित के बारे में जानकारी मिलती है:

   a) केवल क्षेत्र की दिशा

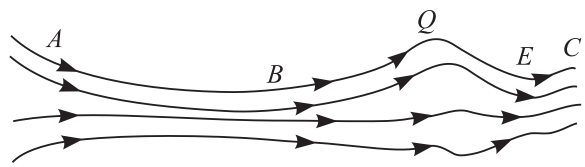
   b) केवल क्षेत्र का परिमाण

   c) क्षेत्र की दिशा तथा परिमाण दोनों;

   d) क्षेत्र का बल;

2. बायो-सावर्ट नियम और ऐम्पियर परिपथीय नियम में क्या समानता है?

3. किसी असमान चुंबकीय क्षेत्र की निम्नलिखित आरेखित बलरेखाओं में किस बिंदु पर क्षेत्र i) एकसमान? ii) सबसे दुर्बल? iii) सबसे प्रबल होगा?



चित्र. 18.19 : एक प्ररूपी चुंबकीय क्षेत्र

4. 10 cm लंबी किसी परिनालिका के अंदर 0.002T का चुंबकीय क्षेत्र स्थापित किया जाना है जबकि उससे होकर 3A की धारा प्रवाहित हो रही है। अपेक्षित फेरों की संख्या परिकलित कीजिए।

4. एम्पियर परिपथीय नियम का प्रयोग करके किसी टोरोयड के कारण चुम्बकीय क्षेत्र का व्यंजक प्राप्त कीजिए।

18.5 किसी चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेश पर बल

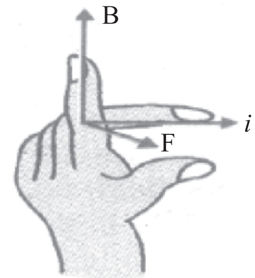
कोई आवेशित पिंड जब किसी चुंबकीय क्षेत्र में गति करता है तो वह बल का अनुभव करता है। गतिमान आवेश द्वारा अनुभव किया गया यह बल लोरेन्ट्स बल कहलाता है। चुंबकीय क्षेत्र **B** में वेग $\boldsymbol{v}$ से गतिमान, आवेश +q वाले किसी कण पर लोरेन्ट्स बल इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$\mathbf{F} = q\,(\boldsymbol{v} \times \mathbf{B}) \qquad (18.9)$$

$$|\mathbf{F}| = q\,v\,B \sin\theta \qquad (18.10)$$

जबकि θ , v और **B** की दिशाओं के मध्य कोण है। F की दिशा फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा दर्शाई जा सकती है। फ्लेमिंग वाम हस्त नियम के अनुसार यदि हम तर्जनी को ऊपर की ओर उठाए तथा वाम हस्त की मध्य उंगली और अँगूठे परस्पर समकोण बनाते हुए इस प्रकार

रखे कि तर्जनी, चुंबकीय क्षेत्र की दिशा की ओर और मध्य उँगली धन आवेशित कण की दिशा की ओर दिष्ट हों तो अंगूठा लोरेन्ट्स बल की ओर दिष्ट होगा। (चित्र. 18.20)।



चित्र 18.20: फ्लेमिंग का बाएं हाथ का नियम

ध्यान देने योग्य कुछ महत्वपूर्ण बिंदु:

1. **F** एक यांत्रिक बल है जिसके परिणामस्वरूप कर्ष (खिंचाव) और अपकर्ष (धक्का) उत्पन्न होता है।
2. बल की दिशा फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा व्यक्त की जाती है।
3. आवेश ऋणात्मक होने पर मध्य उँगली, गति की दिशा के विपरीत दिष्ट होगी।
5. यदि आवेश रुक जाता है तो बल तत्काल शून्य हो जाता है।
6. जब आवेश क्षेत्र B के अनुदिश गमन करते हैं तो बल शून्य हो जाता है।
7. जब आवेश, क्षेत्र के अनुलंब गति करते हैं तो बल अधिकतम होता है : $F = qvB$

18.5.1 एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में धारा वाहक चालक पर बल

लोरेन्ट्स बल की संकल्पना को एक समान चुंबकीय क्षेत्र B में रखे धारा वाहक चालकों पर भी आसानी से विस्तारित किया जा सकता है। मान लीजिए कि चुंबकीय क्षेत्र, कागज के समतल के समांतर है और धारा I का वहन करने वाला लम्बाई $\Delta\ell$ का चालक, क्षेत्र के अभिलंबवत् स्थित है। यह भी मान लीजिए कि धारा अपवाह वेग $\boldsymbol{v}_d$ के साथ नीचे की ओर प्रवाहित हो रही है। अत: धारा के लिए उत्तरदायी प्रत्येक मुक्त इलेक्ट्रॉन लोरेन्ट्स बल $\mathbf{F} = e\, \mathbf{v}_d . \mathbf{B}$ का अनुभव करता है।

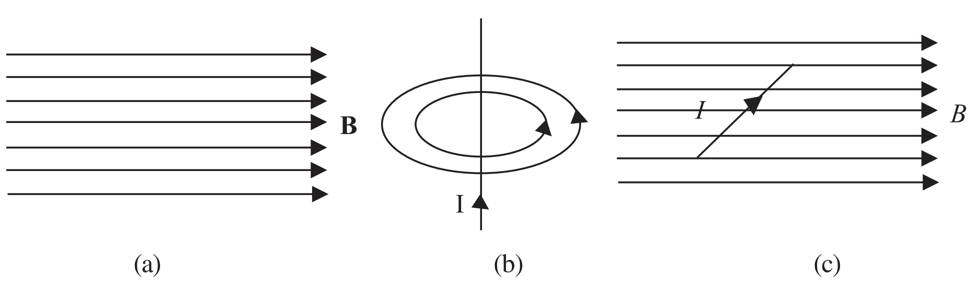
यदि चालक में N मुक्त इलेक्ट्रॉन हों तो इस पर निवल (नेट) बल होगा,

$$F = N e\, v_d B = nA\, \Delta\ell\, e v_d B \qquad (18.11)$$

जबकि n प्रति इकाई आयतन में मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या व्यक्त करता है। परंतु, $neAv_d = I$ है। अत:

$$F = I\, \Delta\ell\, B \qquad (18.12)$$

यदि चालक B के साथ कोण θ बनाता है तो $|\mathbf{F}| = I\, \Delta\ell\, B \sin\theta$



चित्र 18.21: (a) एक समान चुंबकीय क्षेत्र, (b) धारा वाहक प्रेरक के द्वारा तथा (c) धारा वाहक चालक पर बल

बल की दिशा को पुनः फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा व्यक्त किया जा सकता है।

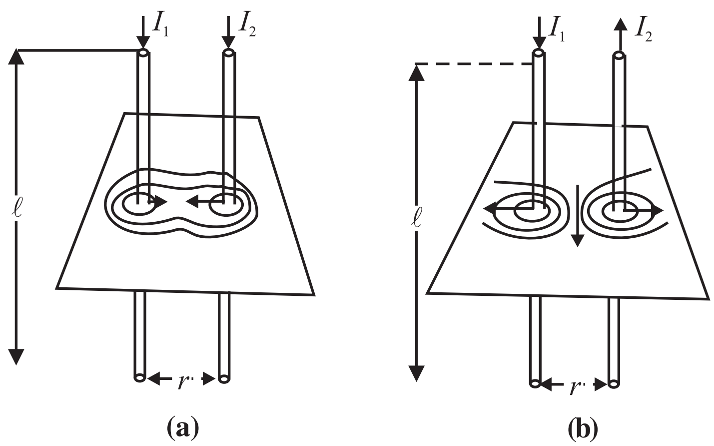
समीकरण (18.12) का प्रयोग, धारा वाहक चालक द्वारा अनुभव किए गए बल के पदों में चुंबकीय क्षेत्र के मात्रक को परिभाषित करने में किया जा सकता है। पदों को पुनः व्यवस्थित करने पर हम लिख सकते है:

$$B = \frac{F}{I\Delta\ell}$$

चूंकि F न्यूटन में, I ऐम्पियर में और $\Delta\ell$ मीटर में हैं अतः B का मात्रक $NA^{-1}\ m^{-1}$ होगा जो टेसला T कहलाता है।

18.5.2 दो समांतर धारा वाहक तारों के मध्य बल

अब आप जान गए हैं कि प्रत्येक धारा वाहक चालक के परिवेश में चुंबकीय क्षेत्र होता है। इसका यह अर्थ हुआ कि यह निकटवर्ती धारा वाहक चालक पर बल डालेगा। परस्पर समांतर स्थित दो धारा वाहक चालकों के मध्य बल, पारस्परिक होता है और इसकी प्रकृति चुंबकीय होती है। धारा वाहक चालक पर कोई नेट विद्युत आवेश नहीं होता अतः यह ऐसे दूसरे तार के साथ विद्युत अन्योन्यक्रिया नहीं कर सकता।



चित्र 18.22: धारा वाहक दो समांतर तारों के मध्य बल का प्रायोगिक निदर्शन

चित्र 18.22 में क्रमशः I_1 और I_2 धाराओं का वहन करने वाले दो समांतर तार दर्शाए गए हैं जो दूरी r से पृथकित हैं। एक तार से दूरी r पर चुंबकीय क्षेत्र $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$ होगा। इसी प्रकार दूसरे तार से दूरी r पर चुंबकीय क्षेत्र $B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$ होगा।

ये क्षेत्र, तारों की लम्बाई के अनुलंब हैं अतः दूसरे धारा वाहक चालक की लम्बाई l पर बल निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जाएगा:

$$F = B\,I\,\ell = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}\,I_2\,\ell$$

अथवा प्रति इकाई लम्बाई बल,= $\frac{\mu_0\,I_1\,I_2}{2\pi r}$

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} \text{ होगा} \qquad (18.13)$$

जब धारा एक ही दिशा में हों तो बल आकर्षी और धाराओं के विपरीत दिशा में होने पर ये बल प्रतिकर्षी होते हैं। समीकरण (18.13) का प्रयोग धारा के मात्रक को परिभाषित करने में किया जा सकता है। यदि

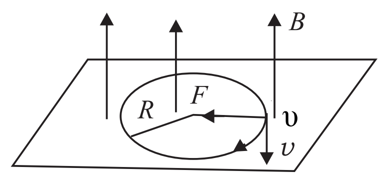
If $I_1 = I_2 = 1\text{A},\ l = 1\text{m}$ तथा $r = 1\text{m}$, हो तो

$$\text{F} = \frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7}\,\text{N}$$

इस प्रकार यदि दो तार समान धारा का वहन कर रहे हों और वे निर्वात अथवा वायु में 1 m की दूरी पर रखे जाएं और वे 2×10^{-7} Nm^{-1} के पारस्परिक बल का अनुभव करें तो प्रत्येक तार में प्रवाहित धारा एक ऐम्पियर होगी।

18.5.3 एकसमान क्षेत्र में आवेशित कण की गति

अब हम ऐसी विभिन्न परिस्थितियों के बारे में सोच सकते हैं जिनमें कोई गतिमान आवेशित कण अथवा धारा वाहक चालक, किसी चुंबकीय क्षेत्र में लोरेन्ट्स बल का अनुभव करे। किसी पिंड पर बल द्वारा किया गया कार्य, गति की दिशा के अनुलंब होता है तो कहा जाएगा कि कोई कार्य नहीं हुआ है। अत: कण की चाल υ और उसकी गतिज ऊर्जा उतनी ही बनी रहेगी जितनी क्षेत्र में गति करते समय थी यद्यपि उसका विक्षेपण हो गया है। इसके विपरीत क्षेत्र में आवेशित कण की चाल और ऊर्जा, कण पर क्षेत्र द्वारा बल के कारण सदैव प्रभावित होगी। कोई आवेशित कण चुंबकीय क्षेत्र के अनुलंब गति करते समय वर्तुल पथ का अनुसरण करता है (चित्र 18.23)। क्योंकि यह प्रत्येक स्थिति में गति की दिशा से समकोण पर बल का अनुभव करता है। हमें ज्ञात है कि चुंबकीय बल $q\upsilon B$ कण को अभिकेंद्री बल $(m\upsilon^2/R)$ प्रदान करता है जिसके कारण वह वृत्त में गति करता रहता है। अत: हम लिख सकते हैं कि,



चित्र 18.23: एक समान चुंबकीय क्षेत्र में आवेशित कण का पथ

$$q\,\upsilon\,B = \frac{m\upsilon^2}{R}$$

पुन: व्यवस्थित करने पर,

$$R = \frac{m\upsilon}{q\,B} \qquad (18.14)$$

किसी एक समान चुंबकीय क्षेत्र में आवेशित कण द्वारा अनुरेखित पथ की त्रिज्या, इसके संवेग (mv) के अनुक्रमानुपाती और उसके आवेश तथा चुंबकीय क्षेत्र के व्युत्क्रमानुपाती होती है। इसका यह अर्थ हुआ कि संवेग जितना अधिक होगा, वृत्त उतना ही बड़ा होगा और क्षेत्र जितना अधिक प्रबल होगा वृत्त उतना ही छोटा होगा। वर्तुल पथ में कण के घूर्णन का आवर्तकाल निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जा सकता है:

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon} = \frac{2\pi\, m}{Bq} \qquad (18.14\text{ a})$$

ध्यान दें कि आवर्तकाल कण के वेग और कक्षा की त्रिज्या पर निर्भर नहीं करता। इसका यह अर्थ हुआ कि कण यदि एक बार चुंबकीय क्षेत्र में हो तो वह उतनी ही त्रिज्या के वृत के अनुदिश चक्कर लगाता रहेगा। यदि $m, B, q,$ अपरिवर्ती रहें तो υ और R में परिवर्तन होने पर भी आवर्तकाल परिवर्तित नहीं होता। अब विचार कीजिए कि निम्नलिखित अवस्थाओं में R और T का क्या होगा: a) क्षेत्र B को प्रबल कर दिया जाए; b) क्षेत्र B को दुर्बल कर दिया जाए; c) क्षेत्र B का अस्तित्व न हो; d) B की दिशा परिवर्तित कर दी जाए; e) चुंबकीय क्षेत्र में कण, उच्चतर चाल से प्रवेश करें; f) B के साथ कोण बनाता हुआ कण प्रवेश करें; तथा g) आवेशित कण पर आवेश समाप्त हो जाए।

18.5.4 एकसमान विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों में आवेशित कण की गति

(a) विद्युत क्षेत्र में गति

किसी एक समान विद्युत क्षेत्र में E में q आवेश युक्त कण पर लगने वाला बल,

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$$

अत:, इस बल के प्रभाव से यह आवेशित कण त्वरित होगा। इस त्वरण का मान होगा,

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m} = \frac{q\mathbf{E}}{m}$$

यह त्वरण बल की दिशा में होगा। यदि आवेश धनात्मक है तो इसका त्वरण क्षेत्र की दिशा में होगा और यदि आवेश ऋणात्मक है तो त्वरण क्षेत्र की विपरीत दिशा में होगा। गति के समीकरणों के उपयोग द्वारा आवेशित कण के वेग तथा विस्थापन का परिकलन किया जा सकता है:

$$v = u + \left(\frac{qE}{m}\right)t$$

$$s = ut + \frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m}\right)t^2$$

जहाँ t समय को निर्दिष्ट करता है।

(b) चुम्बकीय क्षेत्र में गति

अनुच्छेद 18.5.3 (पृष्ठ 104, पुस्तक 2) के अनुसार किसी चुम्बकीय क्षेत्र में आवेशित कण पर लगने वाले बल का मान होता है

$$F = qBv\sin\theta$$

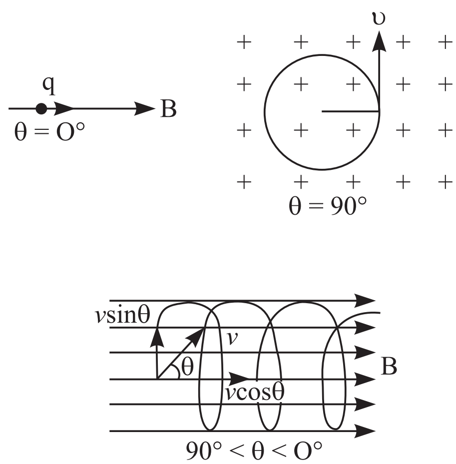
जहाँ θ, वेग तथा चुम्बकीय क्षेत्र के बीच का कोण है।

यदि $\theta = 0$, तो $F = 0$ और आवेशित कण सरल रेखा के अनुदिश किसी स्थिर चालसे गमन करेगा।

यदि $\theta = 90°$, तो F का मान अधिकतम होगा और इस बल की दिशा, फ्लेमिंग के वाम हस्त नियम के अनुसार उस समतल के लम्बवत् होगी जिसमें **v** एवं **B** विद्यमान है, तथा आवेशित कण एक वृत्ताकार पथ में स्थिर चाल तथा आवृत्ति से घूर्णन करेगा।

यदि $\theta \neq 0° \neq 90°$, तो कण का वेग क्षेत्र की लम्बवत् दिशा में $v\sin\theta$ तथा क्षेत्र की समान्तर दिशा में $v\cos\theta$ होगा। अत: कण सर्पिल पथ में गति करेगा।

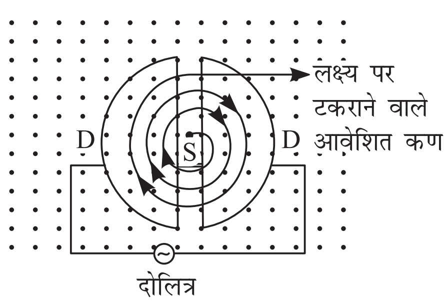
उपरोक्त विवेचन से हमें यह ज्ञात होता है कि, चुम्बकीय क्षेत्र किसी गतिमान आवेश की चाल में परिवर्तन नहीं करता, यह केवल कण की गति की दिशा में परिवर्तन करता है।



चित्र 18.24

18.5.5 साइक्लोट्रॉन

साइक्लोट्रॉन, ई. ओ. लॉरैन्स द्वारा 1929 में आविष्कृत एक ऐसी युक्ति है जिसका उपयोग आवेशित कणों (जैसे प्रोटॉन, ड्यूट्रॉन या एल्फा कणों) को त्वरित करने के लिये किया जाता है। इसमें धातु की दो अर्धवृत्ताकार खोखली डिस्क DD होती हैं। इनका आकार अंग्रेजी के अक्षर 'D' से मिलता जुलता है, इसलिए इन्हें 'डी' कहा जाता है। इनके बीच में कुछ रिक्त स्थान होता है, जिससे ये एक–दूसरे से पृथक्कृत रहती हैं। इन 'डी' को एक वायुरिक्त कक्ष में रखा जाता है।



चित्र 18.25

'डी' के तल की लम्बवत् दिशा में एक विद्युत चुम्बक द्वारा (जिसके ध्रुव सपाट होते हैं) चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न किया जाता है (आरेख में यह पृष्ठ से बाहर की ओर दर्शाया गया है)। एक दोलित्र के द्वारा दो 'डी' के बीच में द्रुत दोलनी विभवान्तर आरोपित किया जाता है। इससे दोनों 'डी' के बीच के रिक्त स्थान में एक दोलनी विद्युत क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है।

दो 'डी' के बीच के रिक्त स्थान में q आवेश युक्त m द्रव्यमान के एक कण पर विचार कीजिए। विद्युत क्षेत्र के कारण यह कण किसी एक 'डी' की ओर त्वरित होता है। 'डी के भीतर यह कण अर्ध वृत्ताकार पथ में दक्षिणावर्त दिशा में एक स्थिर चाल से गति करता है। यदि दोलित्र की आवृत्ति, आवेशित कण के परिक्रमण की आवृति के बराबर हो तो, यह कण दो 'डी' के बीच रिक्त स्थान में उस क्षण पहुँचेगा जब विद्युत क्षेत्र की दिशा के उलट जाने के कारण सामने वाला 'डी' ऋणात्मक हो जाता है।

आवेशित कण के परिक्रमण की आवृति समीकण 18.14a के अनुसार,

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi R} = \frac{Bq}{2\pi m}$$

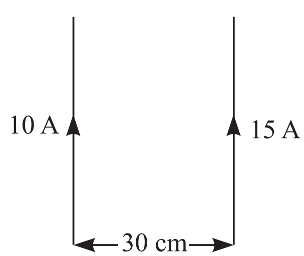
जहाँ, B चुम्बकीय क्षेत्र है।

इसे साइक्लोट्रॉन आवृत्ति भी कहा जाता है और ν_c से निर्दिष्ट किया जाता है। जब $\nu_c = \nu_o =$ दोलित्र की आवृति, तो कण रिक्त स्थान में उस क्षण पहुँचता है जब सामने वाले 'डी' के विभव का चिन्ह उल्टा हो जाता है। इस स्थिति को साइक्लोट्रॉन अनुनाद स्थिति कहा जाता है। इस के कारण, कण ऊर्जा प्राप्त करता है जिससे यह और अधिक त्रिज्या के वृत्त में गति करने लगता है। ऊर्जा में इस वृद्धि को अनेक बार दोहराया जा सकता है।

इस प्रकार, कण की ऊर्जा तथा उसके पथ (मार्ग) की त्रिज्या लगातार बढ़ती जाती है। किन्तु, इस पथ की अधिकतम त्रिज्या 'डी की त्रिज्या R के द्वारा परिसीमित होती है। उच्च ऊर्जा के आवेशित कण अन्ततः 'डी' में बने द्वार से बाहर निकल आते हैं।

उदाहरण 18.3 : चित्र 18.21 का अवलोकन कर, धारा 10A तथा 15A, का वहन करने वाले तारों के मध्य बल परिकलित कीजिए यदि इन तारों की लम्बाई 5m है। इस बल की प्रकृति कैसी होगी?

हल : जब दो लंबे समांतर तारों में एक ही दिशा में धारा प्रवाहित हो तो तार परस्पर आकर्षित होते हैं और आकर्षण बल निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जाएगा।



चित्र 18.26

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{2\times10^{-7}\times10\times15}{3} = 10^{-4}\ \text{N m}^{-1}$$

$$\therefore\ F = 5\times10^{-4}\ \text{N}$$

बल की प्रकृति आकर्षी है।

उदाहरण 18.4 : 3×10^7 m s^{-1} के वेग से कोई इलेक्ट्रॉन अपने अनुलंब, 0.2 T, के एक समान चुंबकीय क्षेत्र में वर्तुल पथ तय करता है। इस पथ की त्रिज्या परिकलित कीजिए।

हल :

हमें ज्ञात है कि, $$R = \frac{mv}{Bq}$$

यहां, $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $v = 3 \times 10^7$ m s^{-1} तथा $B = 0.2$ T. अतः

$$R = \frac{9 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^7}{0.2 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 0.85 \times 10^{-3}$$

$$= 8.5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

पाठगत प्रश्न 18.4

1. प्रोटॉनों की कोई धारा इलेक्ट्रॉनों की धारा के समांतर परंतु विपरीत दिशा में गति कर रही है। इनके मध्य बल की प्रकृति कैसी है?
2. विद्युत तथा चुंबकीय क्षेत्र दोनों किसी इलेक्ट्रॉन को विक्षेपित करते हैं। इनमें क्या अंतर है?
3. कोई पिंड किसी ऊर्ध्व स्प्रिंग से लटका है। यदि इस स्प्रिंग से होकर धारा प्रवाहित की जाए तो पिंड की स्थिति पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
4. साइक्लोट्रॉन किस प्रकार आवेशित कणों को त्वरित करता है?

18.6 द्विध्रुव के रूप में धारा पाश

आपको ध्यान होगा कि कुंडली के केंद्र पर क्षेत्र समीकरण (18.6) के द्वारा निम्नलिखित प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

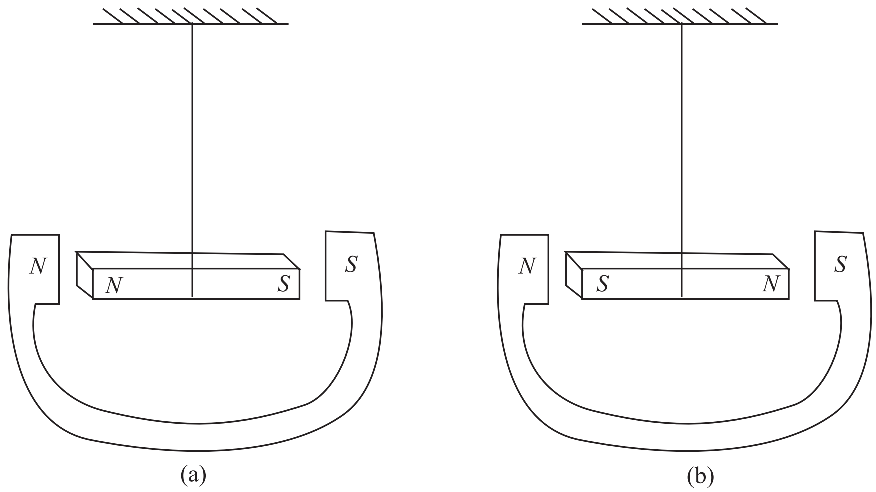
अंश और हर को $2\pi r^2$, से गुणा करने पर हम इसे इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$B = \frac{\mu_0 \, 2I \, . \pi r^2}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 \, 2\, I \, A}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M}{r^3}$$

जबकि A कुंडली का क्षेत्रफल तथा M चुंबकीय आघूर्ण है। यह दर्शाता है कि धारा का वहन करने वाली कुंडली, एक चुंबकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करती है जिसमें उत्तर व दक्षिण ध्रुव हैं। पाश का एक फलक उत्तर ध्रुव और दूसरा फलक दक्षिण ध्रुव की भांति व्यवहार करता है। आइए, एक सरल क्रिया कलाप करें:

क्रियाकलाप 18.3

दंड चुंबक को किसी अश्वनाल चुंबक के ध्रुव-खंडों के मध्य, धागे द्वारा लटकाइए जैसा कि चित्र 18.27 के द्वारा दर्शाया गया है।



चित्र. 18.27 : अश्व नाल चुंबक के मध्य निलंबित दंड चुंबक

यदि दंड चुंबक को चित्र 18.27 (a) में दर्शाए गए अनुसार थोड़ा सा अलग-बगल विस्थापित किया जाए तो क्या होगा? चूंकि सदृश ध्रुव, प्रतिकर्षित होते हैं अत: दंड चुंबक एक बलाघूर्ण का अनुभव करेगा और 180° के कोण से घूमकर चित्र 18.27 में दर्शाए अनुसार संरेखित हो जाएगा। चूंकि धारा पाश एक चुंबक की भांति व्यवहार करता है अत: यह बाह्य क्षेत्र में उसी प्रकार संरेखित हो जाएगा। आप स्थिर वैद्युतिकी के अध्याय में निम्नलिखित समीकरणों का अध्ययन कर चुके हैं। किसी द्विध्रुव से उसकी अक्ष पर स्थित सुदूर बिंदु पर विद्युत क्षेत्र इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{2\mathbf{P}}{x^3} \qquad (18.15\ b)$$

धारा वाहक कुंडली के कारण चुंबकीय क्षेत्र,

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\,\mathrm{NIA}}{x^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{M}}{x^3} \qquad (18.15\ c)$$

जबकि **M** चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण है।

इन व्यंजकों की तुलना से हमें निम्नलिखित अनुरुपताएं प्राप्त होती हैं:

- धारा लूप एक चुंबकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करता है जिसका चुंबकीय आघूर्ण निम्नलिखित है:

$$\mathbf{M} = \mathrm{NIA} \qquad (18.15\ (d)$$

- चुंबकीय द्विध्रुव के ध्रुवों की भांति धारा पाश के दोनों पार्श्वों को अलग-अलग नहीं किया जा सकता।

- एक समान चुंबकीय क्षेत्र में कोई चुंबकीय द्विध्रुव किसी एकसमान विद्युत क्षेत्र में विद्युत द्विध्रुव की भांति ही व्यवहार करता है।
- चुंबकीय द्विध्रुव में द्विध्रुव की भांति ही चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र होता है।

इस प्रकार, किसी अक्षीय बिंदु पर चुंबकीय द्विध्रुव के कारण उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र, निम्नलिखित व्यंजक के द्वारा व्यक्त किया जाएगा:

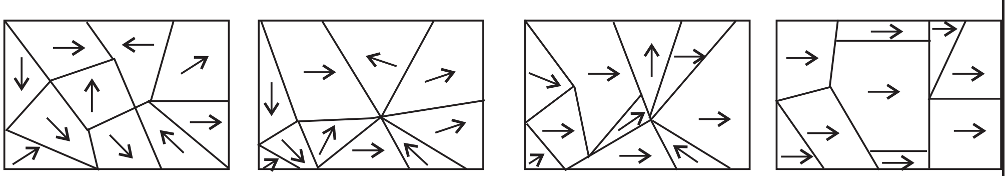
$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{2\mathbf{M}}{x^3} \tag{18.16}$$

जबकि किसी मध्यवर्ती बिंदु पर क्षेत्र निम्नलिखित होगा:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{\mathbf{M}}{x^3} \tag{18.17}$$

द्रव्य में चुंबकत्व

चुंबकीय क्षेत्र में सामग्री के व्यवहार के आधार पर हम उन्हें मोटे तौर पर तीन संवर्गो में विभाजित कर सकते हैं: (i) **प्रति चुंबकीय** पदार्थ में चुंबक द्वारा क्षीण प्रतिकर्षण होता है; (ii) **अनुचुंबकीय पदार्थ** में चुंबक द्वारा क्षीण आकर्षण होता है; (iii) **लोह चुंबकीय पदार्थ**, चुंबक द्वारा प्रबल रूप से आकर्षित होते हैं। लोह, निकैल और कोबाल्ट जैसे पदार्थ लोह चुंबकीय कहलाते हैं। अब हम पदार्थ के लोह चुंबकीय, व्यवहार के बारे में विस्तार से अध्ययन करेंगे। लोह चुंबकीय पदार्थ दुर्बल चुंबकीय क्षेत्र में रखे जाने पर भी चुंबक बन जाते हैं। क्योंकि उनके परमाणु, स्थायी चुंबकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करते हैं। इन परमाणु द्विध्रुवों की प्रवृत्ति किसी बाह्य क्षेत्र में परस्पर समांतर संरेखित होने की होती है। ये द्विध्रुव परस्पर स्वतंत्र नहीं होते। प्रत्येक द्विध्रुव अपने परिवेशी द्विध्रुव की उपस्थिति का अनुभव करता है। इस अन्योन्य क्रिया की सही व्याख्या केवल क्वांटम यांत्रिकी के आधार पर की जा सकती है। हालांकि, निम्नलिखित विवरण के आधार पर लोह चुंबकीय पदार्थ में छोटे-छोटे क्षेत्र होते हैं जो डोमेन कहलाते हैं। किसी डोमेन में सभी चुंबकीय द्विध्रुव संरेखित रहते हैं और डोमेनों का चुम्बकत्व अधिकतम होता है। परंतु डोमेन यादृच्छिकत: अभिविन्यस्त रहते हैं। परिणाम स्वरूप किसी प्रतिदर्श का कुल चुंबकीय आघूर्ण शून्य होता है। जब हम बाह्य चुंबकीय क्षेत्र लगाते हैं तो ये डोमेन थोड़ा सा घूर्णन कर स्वंय, क्षेत्र की दिशा में संरेखित हो जाते हैं जिससे परिणामी चुंबकीय आघूर्ण प्राप्त होता है। यह प्रक्रम नीचे चित्र 18.28 में दर्शाए गए सरल आरेख द्वारा आसानी से समझा जा सकता है।



B = 0 (a) | **B** > 0 (b) | **B** >> 0 (c) | **B** >>> 0 (d)

चित्र 18.28 : लोह चुंबकीय पदार्थ में डोमेन

टिप्पणियाँ

चित्र 18.28 (a) में दस डोमेन दर्शाए गए हैं। सरलता को ध्यान में रखकर हम एक द्विविमीय उदाहरण लेते हैं। सभी डोमेन इस प्रकार दिष्ट हैं कि प्रतिदर्श का कुल चुंबकन शून्य है। आकृति 18.28 (b) में बाह्य चुंबकीय क्षेत्र लागू करने के बाद की स्थिति दर्शाई गई है। डोमेनों की परिसीमाएं (डोमेन की दीवारें) इस प्रकार पुनर्गठित हो जाती हैं कि क्षेत्र की दिशा में चुंबकीय आघूर्ण वाले डोमेन का आमाप, अन्य डोमेन दीवारों की कीमत पर बड़ा हो जाता है। बाह्य क्षेत्र की प्रबलता बढ़ाने पर, अनुकूल डोमेनों के आमाप में वृद्धि हो जाती है और डोमेन के अभिविन्यास में किंचित परिवर्तन हो जाता जिसके फलस्वरूप अधिक चुंबकन हो जाता चित्र [18.28 (c)] है। अति प्रबल अनुप्रयुक्त क्षेत्र के प्रभाव में लगभग समग्र आयतन, एकल डोमेन के रूप में व्यवहार करता है जिससे संतृप्त चुंबकन प्राप्त होता है। जब बाह्य क्षेत्र हटा लिया जाता है तो प्रतिदर्श में नेट चुंबकत्व बना रहता है। लोह चुंबकीय प्रतिदर्शों में डोमेनों को उच्च शक्ति सूक्ष्मदर्शी द्वारा आसानी से देखा जा सकता है।

जब लोह चुंबकीय पदार्थ के ताप में किसी नियत क्रांतिक मान से अधिक वृद्धि की जाती है तो पदार्थ अनुचुंबकीय बन जाता है। यह क्रांतिक ताप, क्यूरी ताप Te कहलाता है। सारणी 18.1 में लोह चुंबकीय पदार्थ और उनके क्यूरी ताप दिये गये हैं।

सारणी 18.1: लोह चुम्बकीय पदार्थ और उनके क्यूरी ताप

पदार्थ	क्यूरी ताप T_c (K)
लोहा	1043
निकेल	631
कोबाल्ट	1394
गैडोलिनियम	317
Fe_2O_3	893

उदाहरण 18.5 : चुंबकीय आघूर्ण का अल्पतम मान बोर मैग्नेटॉन $\mu_B = \dfrac{eh}{4\pi m}$ कहलाता है। यह एक मूल नियतांक है। इसका मान परिकलित कीजिए:

हल:

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m}$$

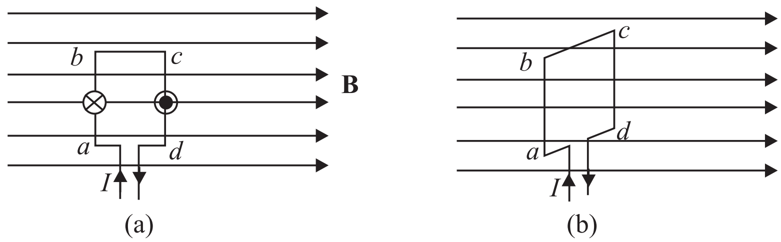
$$= \frac{(1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C})\times(6.6\times10^{-34}\,\mathrm{Js})}{4\times3.14\times(9\times10^{-31}\,\mathrm{kg})}$$

$$= 9.34\times10^{-24}\ \mathrm{J\,T^{-1}}$$

18.6.1 धारा लूप पर बल-आघूर्ण

धारा का वहन करने वाले तार के लूप को किसी एकसमान चुंबकीय क्षेत्र (**B**) में रखा गया है। यह किसी नेट बल का अनुभव नहीं करता। परंतु इस पर एक बल-आघूर्ण क्रिया करता है। इस बल-आघूर्ण की प्रवृत्ति पाश को घूर्णित कर इसके समतल को, क्षेत्र की दिशा के अनुलंब लाने की होती है। इसी सिद्धांत के आधार पर सभी विद्युत मोटर तथा मीटर आदि कार्य करते हैं।

हम आयताकार धारावाहक लूप की प्रत्येक भुजा पर बल की जांच करते हैं जहां समतल, एकसमान चुंबकीय क्षेत्र B के समांतर (चित्र 18.29 (a) है।



चित्र 18.29 : आयताकार लूप की भुजा पर बल ज़ब (a) पाश, क्षेत्र के समांतर है, और जब (b) कुंडली, क्षेत्र के अनुलंब है।

ad और *bc* भुजाएँ B के समांतर हैं। अत: उन पर कोई बल क्रिया नहीं करेगा। भुजाएं ab तथा cd हालांकि B के अनुलंब है अत: ये अधिकतम बल का अनुभव करेंगी। हम ab और cd पर बल की दिशा आसानी से ज्ञात कर सकते हैं।

वास्तव में, $|\mathbf{F}_{ab}|=|\mathbf{F}_{cd}|$ और ये विपरीत दिशाओं में क्रिया करते हैं। अत: लूप पर कोई नेट बल नहीं है। चूंकि $\mathbf{F}_{ab}$ और $\mathbf{F}_{cd}$ एक ही रेखा के अनुदिश क्रिया नहीं करते अत: वे लूप पर बल आघूर्ण डालते हैं इसी कारण वह घूम जाता है। यह बात चुंबकीय क्षेत्र में किसी भी आकार के धारा लूप पर लागू होती है।

यदि लूप का समतल चुंबकीय क्षेत्र के अनुलंब हो तो उस पर न तो कोई नेट बल और ना ही कोई बल आघूर्ण (देखिए चित्र 18.29 (b)) होगा।

$$\text{बल आघूर्ण} = \text{बल} \times \text{बल के मध्य लांबिक दूरी}$$

$$= B\,IL.\,b \sin\theta$$

चित्र 18.30 का अवलोकन करें जिसमें धारा *I* को वहन करने वाला लूप *PQRS* दर्शाया गया है। चुंबकीय क्षेत्र B और कुंडली *n* के समतल के अभिलंब के मध्य कोण θ है। तब, बल आघूर्ण,

$$\boldsymbol{\tau} = NBIL\,b \sin\theta$$

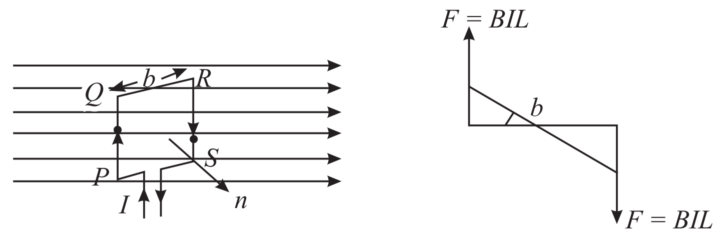
जबकि *N* कुंडली पर फेरों की संख्या है। हम पुन: निम्नलिखित रूप में लिख सकते है:

$$|\boldsymbol{\tau}| = NBI\,A \sin\theta \qquad (18.18)$$

जबकि *A*, कुंडली का क्षेत्रफल = *L x b*

$$|\boldsymbol{\tau}| = |\mathbf{B}|\,|\mathbf{M}|\,\sin\theta \qquad (18.19)$$

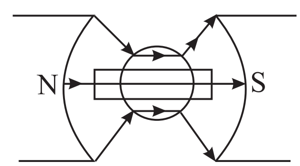
जबकि $\mathbf{M} = NIA$ है जो धारा वाहक कुंडली का चुंबकीय आघूर्ण कहलाता है। इस प्रकार हम देखते हैं कि बल-आघूर्ण *B,A,I,N* तथा θ पर निर्भर करता है।



चित्र 18.30 : धारावाहक पाश पर बल आघूर्ण

यदि चुंबकीय क्षेत्र में लूप का एक समान घूर्णन वांछनीय हो तो हमें अपरिवर्ती बल आघूर्ण चाहिए। यदि कुंडली का समतल सदैव चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश या समांतर हो बलयुग्म लगभग अपरिवर्ती होगा। ऐसा करने के लिए चुंबक के ध्रुवीय टुकड़ों की मोड़ कर और उसके केंद्र पर मृदु लोह क्रोड रखा जाता है ताकि त्रिज्य क्षेत्र प्राप्त हो।

लूप के अंदर स्थित मृदु लोह क्रोड से भी चुंबकीय क्षेत्र प्रबल और एक समान हो जाता है जिससे अधिक बल-आघूर्ण प्राप्त होता है (चित्र 18.30)।



चित्र 18.31: त्रिज्य क्षेत्र में किसी कुंडली पर अपरिवर्ती बल-आघूर्ण

18.6.1.1 चुम्बकीय द्विध्रुव

चुम्बकीय द्विध्रुव से तात्पर्य है

(i) तार की धारावाही वृत्ताकार कुण्डली, तथा

(ii) एक छोटा छड़ चुम्बक

किसी बिन्दु पर चुम्बकीय द्विध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र–

(i) द्विध्रुव की अक्ष पर इसके केन्द्र से r दूरी पर स्थित बिन्दु पर होगा:

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\mathbf{M}}{r^3}$$

(ii) द्विध्रुव की समद्विभाजक रेखा पर r दूरी पर स्थित किसी बिन्दु पर होगा:

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathbf{M}}{r^3}$$

इसका अर्थ है कि चुम्बकीय क्षेत्र की अक्ष के परित: बेलनाकार (सिलिंडिरिकल) सममिति है।

18.6.1.2 एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित चुम्बकीय द्विध्रुव पर बल-आघूर्ण

अनुभाग 18,6 में हम देख चुके हैं कि धारा पाश (लूप) चुम्बकीय द्विध्रुव की भाँति व्यवहार करता है। 18.6.1 में हमने यह भी देखा है कि किसी एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धारापाश पर एक बल-आघूर्ण लगता है जिसका मान होता है;

$$\tau = \mathbf{M} \times \mathbf{B}$$

$$\Rightarrow \qquad |\tau| = |\mathbf{M}| \times |\mathbf{B}| \sin\theta$$

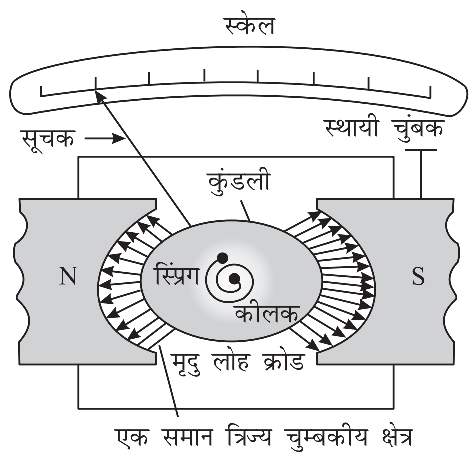
τ की दिशा उस समतल के अभिलम्बवत् होती है जिसमें **M** तथा **B** स्थित हैं, यह दिशा दक्षिण-हस्त स्क्रू नियम द्वारा ज्ञात की जा सकती है।

नोट कीजिये कि इन व्यंजकों में, $\mathbf{M} = NI\mathbf{A}$.

जहाँ **A** की दिशा दक्षिण हस्त नियम द्वारा ज्ञात की जाती है।

18.6.2 गैल्वेनोमीटर

अब तक आपने जो कुछ सीखा है इससे किसी ऐसे यंत्र के बारे में सोच सकते है जिससे किसी भी परिपथ में धारा का संसूचन किया जा सके। परिशुद्धत: ऐसी युक्ति गैल्वेनोमीटर कहलाती है जो इस सिद्धांत पर आधारित है कि धारा का वहन करने वाली कुंडली को जब चुंबकीय क्षेत्र में रखा जाता तो बल आघूर्ण का अनुभव करती है। गैल्वेनोमीटर में अचुंबकीय फ्रेम पर लपेटी हुई एक कुंडली होती है। इस कुंडली के अंदर एक मृदु लोहे का सिलिंडर रखा जाता है। इस व्यवस्था को ऐसे दो कीलकों पर आधार प्रदान किया जाता है जो सूचक युक्त स्प्रिंगों से जुड़े रहते हैं। इसे अश्वनाल चुंबक के ध्रुव टुकड़ों के मध्य रखा जाता है जो त्रिज्य क्षेत्र प्रदान करते है। चल कुंडली गैल्वेनोमीटर के कार्य सिद्धांत को समझने के लिए स्मरण करें कि जब किसी कुंडली से होकर धारा प्रवाहित होती है तो उस पर क्रिया करने वाले बल आघूर्ण के प्रभाव में वह घूम जाती है। स्प्रिंग से प्रत्यानयन बल और इस प्रकार प्रत्यानयन बल आघूर्ण स्थापित हो जाता है। यदि व्यावर्तन कोण (Angle of twist) α और k प्रति इकाई व्यावर्त प्रत्यानयन बलआघूर्ण हो, (जो व्यावर्तनी स्थिरांक कहलाता है,) तो



चित्र 18.32 : चल कुंडली गैल्वेनोमीटर

हम लिख सकते है; $NBIA \sin\theta = k\,\alpha$

चूंकि $\theta = 90^o$, $\sin\theta = 1$. अत:

$$NBIA = k\alpha$$

अथवा
$$\frac{INBA}{k} = \alpha \tag{18.20}$$

और
$$I = \frac{k\alpha}{INBA},$$

जबकि, $\frac{k}{INBA}$ गैल्वेनोमीटर स्थिरांक कहलाता है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि,

$$\alpha \propto I$$

अर्थात; गैलवेनोमीटर में उत्पन्न विक्षेपण उससे होकर प्रवाहित धारा के आनुपातिक होगा बशर्ते कि N, B A और k अपरिवर्ती हों। अनुपात α/I गैल्वेनोमीटर की सुग्राहिता कहलाता है। इसे, प्रति इकाई धारा से उत्पन्न कुंडली में विक्षेपण से परिभाषित किया जाता है। धारा जितनी प्रबल होगी बल आघूर्ण भी उतना ही प्रबल होगा और कुंडली अधिक घूमेगी। अत्यल्प (बहुत ही कम) (अर्थात $0.1\mu A$ कोटि) धारा को प्रति उत्तरित करने के लिए गैल्वेनोमीटर निर्मित किए जा सकते हैं।

गैल्वेनोमीटर की सुग्राहिता : अधिक सुग्राही गैल्वेनोंमीटर प्राप्त करने के लिए;

- N का मान अधिक होना चाहिए;
- B का मान अधिक, एकसमान और त्रिज्य होना चाहिए;
- कुंडली का क्षेत्रफल अधिक होना चाहिए; और
- व्यावर्तनी स्थिरांक अल्प होना चाहिए;

N और A के मान एक सीमा से अधिक नहीं बढ़ाए जा सकते। N और A के अधिक मानों से वैद्युतीय तथा जड़त्वीय प्रतिरोध और गैल्वेनोमीटर के आमाप में वृद्धि हो जाएगी। प्रबल अश्वनाल चुंबल का प्रयोग कर और कुंडली को मृदु लोह क्रोड पर आरोपित कर B के मान में वृद्धि की जा सकती है। क्वाट्र्ज और फॉस्फर ब्रान्ज जैसी सामग्री का प्रयोग कर α के मान में कमी की जा सकती है।

18.6.3 ऐमीटर तथा वोल्टमीटर

(a) ऐमीटर : ऐमीटर, समुचित ढंग से शंट किया गया गैल्वेनोमीटर होता है। इसका स्केल अंशांकित होता है जो परिपथ में धारा का मान दर्शाता है। किसी गैल्वेनोमीटर को ऐमीटर में परिणत करने के लिए अल्प प्रतिरोधी तार को गैल्वेनोमीटर के साथ पार्श्व-संयोजित किया जाता है। शंट का प्रतिरोध, ऐमीटर के परास पर निर्भर करता है और निम्नलिखित प्रकार से परिकलित किया जा सकता है:

मान लीजिए गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध G और गैल्वेनोमीटर में स्केल-विभाजनों की संख्या N है। k दक्षता अंक अथवा गैल्वेवोमीटर में एक स्केल विक्षेपण के लिए धारा है। गैल्वेनों मीटर के पूरे स्केल पर विक्षेपण उत्पन्न करने के लिए धारा $I_g = Nk$ होगी।

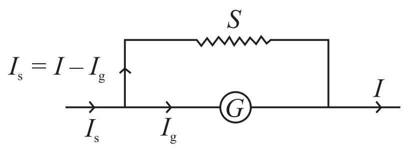
यदि गैल्वेनोमीटर द्वारा मापी जाने वाली अधिकतम धारा I है तो चित्र 18.28 के अनुसार बिंदुओं A और B के मध्य वोल्टता इस प्रकार व्यक्त की जाएगी।

$$V_{AB} = Ig\ G = (I - I_g)\ S$$

ताकि

$$S = \frac{Ig\ G}{I - Ig} \qquad (18.21)$$

जबकि S शंट प्रतिरोध है।



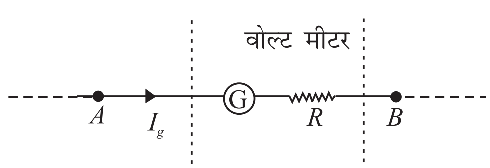
चित्र 18.33 : ऐमीटर के रूप में कार्य करने वाला शंट युक्त गैल्वेनोमीटर.

चूंकि G और S पार्श्व क्रम में संयोजित हैं अत: ऐमीटर का प्रभावी प्रतिरोध R इस प्रकार व्यक्त किया जाएगा: $R = \frac{GS}{G+S}$.

चूंकि शंट प्रतिरोध अल्प है अत: गैल्वेनोमीटर और शंट का संयुक्त प्रतिरोध बहुत कम होता है अत: गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध की तुलना में ऐमीटर का प्रतिरोध कम होता है। आदर्श ऐमीटर का प्रतिरोध लगभग नगण्य होता है। इसी कारण जब इसे किसी परिपथ में श्रेणीक्रम में संयोजित किया जाता है तो बिना किसी प्रेक्षणीय कमी के समग्र धारा इससे होकर प्रवाहित हो जाती है।

(b) वोल्टमीटर : वोल्टमीटर का प्रयोग किसी परिपथ में दो बिंदुओं के मध्य विभवांतर के मापन में किया जाता है। गैल्वेनोमीटर कुंडली के साथ उच्च प्रतिरोध को श्रेणी क्रम में संयोजित कर गैल्वेनोमीटर को वोल्टमीटर में परिणत किया जा सकता है जैसा कि चित्र 18.29 में दर्शाया गया है। प्रतिरोध का मान वोल्टमीटर के परास पर निर्भर करता है और निम्नलिखित प्रकार से परिकलित किया जा सकता है:

गैल्वेनोमीटर कुंडली के साथ उच्च प्रतिरोध R श्रेणी क्रम में संयोजित है:



चित्र 18.34 : वोल्टमीटर के रूप में गैल्वेनोमीटर

यदि AB के मध्य विभवान्तर V वोल्ट हो तो वोल्टमीटर का कुल प्रतिरोध G+R होगा। ओम नियम के अनुसार हम लिख सकते हैं;

$$I_g (G + R) = V$$

अथवा
$$G + R = \frac{V}{I_g}$$

⇒
$$R = \frac{V}{I_g} - G \qquad (18.22)$$

इसका यह अर्थ हुआ कि यदि गैल्वेनोमीटर की कुंडली के साथ प्रतिरोध R को श्रेणी क्रम में संयोजित कर दिया जाए तो यह वोल्टमीटर की भांति कार्य करेगा जिसका परास 0-V वोल्ट होगा।

अब गैल्वेनोमीटर की वही मापनी जो रूपान्तरण से पहले अधिकतम विभव $I_g \times G$ का मापन कर रही थी, वोल्टमीटर में रूपान्तरण के बाद विभव V का मापन करेगी। इसका तदनुसार अंशाकन किया जा सकता है। वोल्टमीटर का प्रतिरोध, गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध से अधिक होता है। वोल्टमीटर का प्रभावी प्रतिरोध इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है;

$$R_V = R + G$$

आदर्श वोल्टमीटर का प्रतिरोध अनंत होता है। परिपथ में जिन बिंदुओं के मध्य विभवपात का मापन करना हो इसे पार्श्व संयोजित किया जाता है। यह किसी धारा का **आहरण** नहीं करेगा। परंतु गैल्वेनोमीटर की कुंडली विक्षेपित होगी। ऐसा असंभव लगता है। जरा सोचिए;

उदाहरण 18.6 : 8.0 cm, त्रिज्या और 30 फेरों की कोई वृत्ताकार कुंडली 6.0 A की धारा का वहन कर रही है। यह कुंडली 1.0 T के एकसमान क्षैतिज चुंबकीय क्षेत्र में ऊर्ध्वाधरत: निलंबित है। क्षेत्र रेखाएं, कुंडली के अभिलंब के साथ 90° का कोण बनाती हैं। कुंडली को मुड़ने से रोकने के लिए लगाए गए प्रति बल-आघूर्ण के परिमाण को परिकलित कीजिए।

हल : यहां, $N = 30$, $I = 6.0$ A, $B = 1.0$ T,

$\theta = 90°$, $r = 8.0$ cm $= 8 \times 10^{-2}$ m

कुंडली का क्षेत्रफल $(A) = \pi r^2 = \frac{22}{7} \times (8 \times 10^{-2})^2 = 2.01 \times 10^{-2}$ m²

$$\text{बल आघूर्ण} = N I B A \sin\theta$$
$$= 30 \times 6 \times 1:0 \times (2.01 \times 10\text{–}\mathbf{2}) \times \sin 90°$$
$$= 30 \times 6 \times (2.01 \times 10^{-2})$$
$$= 3.61 \text{ N m}$$

उदाहरण 18.7 : 12.0 Ω प्रतिरोध की कुंडली युक्त कोई गैल्वेनोमीटर 2.5 mA की धारा पर पूरे स्केल पर विक्षेपण दर्शाता है। आप इसे

(a) 0 – 2A परास के ऐमीटर और ?

(b) 0 – 10 वोल्ट परास के वोल्टमीटर में कैसे रूपान्तरित करेंगे ?

हल : (a) यहां $G = 12.0\ \Omega,\ I_g = 2.5\ \text{mA} = 2.5 \times 10^{-3}\ \text{A}$,

तथा $I = 2\ \text{A},\ S = ?$

समीकरण (18.21) से हमें ज्ञात है,

$$S = \frac{I_g G}{I - I_g} = \frac{2.5 \times 10^{-3} \times 12}{2 - 2.5 \times 10^{-3}} = 15 \times 10^{-3}\ \Omega$$

अत:0–2V, पठन के ऐमीटर में गैल्वेनोमीटर को रूपान्तरित करने के लिए उसकी कुंडली के साथ

$15 \times 10^{-3}\ \Omega$ प्रतिरोध शंट को पार्श्व-संयोजित किया जाना चाहिए।

(b) वोल्टमीटर में रूपान्तरण के लिए मान लीजिए प्रतिरोध R को श्रेणी-संयोजित किया गया है।

तब $$R = \frac{V}{I_g} - G = \frac{10}{2.5 \times 10^{-3}} - 12 = 4000 - 12 = 3988\ \Omega$$

इस प्रकार गैल्वेनोमीटर को वोल्टमीटर में रुपान्तरित करने के लिए 3988 Ω के प्रतिरोध को श्रेणीक्रम में संयोजित किया जाना चाहिए।

पाठगत प्रश्न 18.5

1. त्रिज्य चुंबकीय क्षेत्र क्या होता है?

2. किसी चल कुंडली गैल्वेनोमीटर में मृदु लोह क्रोड का मुख्य कार्य क्या होता है?

3. ऐमीटर, वोल्टमीटर अथवा गैल्वेनोमीटर में से निम्नतम प्रतिरोध किसका होता है? व्याख्या कीजिए।

4. 20 Ω प्रतिरोध की कुंडली के गैल्वेनोमीटर में पूरे स्केल पर विक्षेपण के लिए 20 mA धारा की आवश्यकता है। इस गैल्वेनोमीटर से होकर 3A की अधिकतम धारा प्रवाहित करने के लिए, कितने प्रतिरोध को किस प्रकार संयोजित किया जाना चाहिए?

आपने क्या सीखा

- प्रत्येक चुंबक में दो ध्रुव होते हैं। इन्हें अलग नहीं किया जा सकता।
- चुंबकीय द्विध्रुव से तात्पर्य (i) ऐसा चुंबक है जिसका द्विध्रुव आघूर्ण $M = m\ell$ (ii) ऐसी ध
ारावाहक कुंडली जिसका द्विध्रुव आघूर्ण $\mathbf{M} = NI\mathbf{A}$ है।
- चुंबकीय द्विध्रुव के अक्ष पर चुंबकीय क्षेत्र, $\mathbf{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{2\mathbf{M}}{x^3}$ के द्वारा विषुवत रेखा पर चुंबकीय क्षेत्र, $\mathbf{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{2\mathbf{M}}{x^3}$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है।
- एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में चुंबकीय द्विध्रुव उसी प्रकार व्यवहार करता है जिस प्रकार एकसमान विद्युत क्षेत्र में विद्युत द्विध्रुव व्यवहार करता है अर्थात् यह किसी नेट बल का अनुभव न करके बल-आघूर्ण,

  $\tau = \mathbf{M} \times \mathbf{B}$ का अनुभव करता है।
- पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र तीन मूल राशियों के द्वारा पूर्णतः वर्णित किया जा सकता है जो पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के अवयव कहलाते हैं:
  – आनति कोण
  – दिक्पात कोण तथा
  – पृथ्वी के क्षेत्र का क्षैतिज घटक
- प्रत्येक धारा वाहक चालक अपने चारों ओर एक चुंबकीय क्षेत्र विकसित करता है। यह चुंबकीय क्षेत्र बायो-सावर्ट नियम के द्वारा व्यक्त किया जाता है;

$$|dB| = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{dl \sin\theta}{r^2}$$

- चुंबकीय क्षेत्र का मात्रक टेसला है।
- धारावाही सपाट कुंडली के केंद्र पर क्षेत्र, $|B| = \dfrac{\mu_0 I}{2r}$ के द्वारा व्यक्त किया जाता है। ऐम्पियर का परिपथीय नियम किसी चालक के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण व्यक्त करता है: $\oint \vec{\mathbf{B}} \, . \, d\mathbf{l} = \mu_0 I$
- गतिमान आवेश q पर लारेन्ट्ज बल $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{q}\,(\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B})$ होता है और इसकी दिशा फ्लेमिंग वाम हस्त नियम द्वारा दर्शाई जाती है।
- लम्बाई L और चुंबकीय क्षेत्र B में धारा I का वहन करने वाले तार पर यांत्रिक बल, $F = B\, I\, L$ होता है।

- धाराओं I_1 और I_2 का वहन करने वाले समांतर सीधे चालकों के मध्य प्रति इकाई पारस्परिक बल, $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$ होता है।
- किसी टोरोयड के कारण चुम्बकीय क्षेत्र, $B = \frac{\mu_0 \mathrm{N_i}}{2\pi r}$
- आवेशित कण एक वृत्ताकार पथ का अनुरेखण करता है जिसकी त्रिज्या $R = \frac{mv}{Bq}$ होती है।
- साइक्लोट्रॉन आवेशित कणों को तीव्र गति से त्वरित करने की एक युक्ति है।
- साइक्लोट्रॉन की आवृत्ति, $\nu_c = \frac{\mathrm{Bq}}{2\mathrm{m}\pi}$
- धारा लूप एक चुंबकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करता है।
- चुंबकीय क्षेत्र में स्थित कोई धारा वाहक कुंडली, बल आघूर्ण का अनुभव करती है जिसे निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त किया जाता है:

$$\begin{aligned}\tau &= NB\ IA\sin\theta \\ &= NBIA, (\text{if } \theta = 90^\circ)\end{aligned}$$

- गैल्वेनोमीटर का प्रयोग परिपथ में विद्युत धारा के संसूचन में होता है।
- ऐमीटर एक शंट युक्त गैल्वेनोमीटर होता है और वोल्टमीटर ऐसा गैल्वोनोमीटर होता है जिसमें उच्च प्रतिरोध श्रेणी क्रम में संयोजित रहता है। धारा, ऐमीटर के द्वारा और विभवांतर, वोल्टमीटर के द्वारा मापा जाता है।

पाठांत प्रश्न

1. सामग्री का एक छोटा टुकड़ा चुंबक के समीप लाया गया है। सामग्री के सामने 'हाँ' अथवा 'नहीं' लिखकर रिक्त स्थानों को भरकर निम्नलिखित सारणी को पूरा कीजिए:

सामग्री	प्रतिकर्षण		आकर्षण	
	दुर्बल	प्रबल	दुर्बल	प्रबल
प्रतिचुंबकीय				
अनुचुंबकीय				
लोह चुंबकीय				

2. आपको दो दंड चुंबकों को परस्पर एक साथ किसी डिब्बे में पैक करना है। इन्हें आप कैसे पैक करेंगे और क्यों?

N S अथवा N S
N S S N

टिप्पणियाँ

3. दो ध्रुवों के मध्य चुंबकीय बल 80 इकाई है। इन ध्रुवों के मध्य दूरी दुगनी कर दी गई है। अब इसके मध्य बल कितना होगा?

4. दंड चुंबक की लम्बाई 10 cm और उसकी अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 1.0 cm^2 है। चुम्बकन तीव्रता $I = 10^2$ A/m है। ध्रुव प्रबलता परिकलित कीजिए।

5. दो सर्वसम चुंबकों में एक के सिरे को दूसरे के सिरे के साथ मिलाकर एक सीधी रेखा में इस प्रकार रखा गया हैं कि दोनों के उत्तरीध्रुव आमने सामने हैं। बल रेखाएं खींचिए जबकि कोई अन्य क्षेत्र उपस्थित नहीं है।

6. वे बिंदु उदासीन बिंदु कहलाते हैं जहां चुंबक का चुंबकीय क्षेत्र, पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के बराबर और विपरीत होता है?

   (a) जब दंड चुंबक को चुंबकीय याम्योत्तर में इस प्रकार रखा जाता है कि उत्तरी ध्रुव उत्तर की ओर दिष्ट हो तो उदासीन बिंदुओं की स्थिति ज्ञात कीजिए।

   (b) जब दंड चुंबक को चुंबकीय याम्योत्तर में इस प्रकार रखा जाता है कि उत्तरी ध्रुव दक्षिण की ओर दिष्ट हो तो उदासीन बिंदुओं की स्थिति ज्ञात कीजिए।

7. यदि 10 cm लंबे दंड चुंबक को दो टुकड़ों में इस प्रकार काटा जाता है कि प्रत्येक टुकड़े की लम्बाई 5 cm हो तो पुराने दंड चुंबक की तुलना में नए दंड चुंबक की ध्रुव प्रबलता कैसी होगी?

8. किसी 10 cm लंबे दंड चुंबक की ध्रुव प्रबलता 10 A m है। दंड चुंबक के केंद्र से 30 cm की दूरी पर अक्ष पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए।

9. आप कैसे दर्शाएंगे कि धारावाहक चालक के चारो ओर चुंबकीय क्षेत्र होता है। किसी स्थान विशेष पर आप उसका परिमाण और दिशा कैसे ज्ञात करेंगे?

10. किसी चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेशित कण पर कोई बल क्रिया करता है परंतु इस बल से कण की चाल में कोई परिवर्तन नहीं होता। ऐसा क्यों है?

11. धारा का वहन करने वाले लंबे सीधे तार के समांतर गतिमान आवेशित कण, क्या किसी क्षण बल का अनुभव करता है?

12. किसी तार से होकर 10 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। यह 5T के चुंबकीय क्षेत्र के अनुलंब रखा गया है। इसकी 1/10 m लम्बाई पर बल परिकलित कीजिए।

13. एक लंबा सीधा तार 12 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित का कर रहा है। इस तार से 48 cm की दूरी पर चुंबकीय क्षेत्र की प्रबलता परिकलित कीजिए।

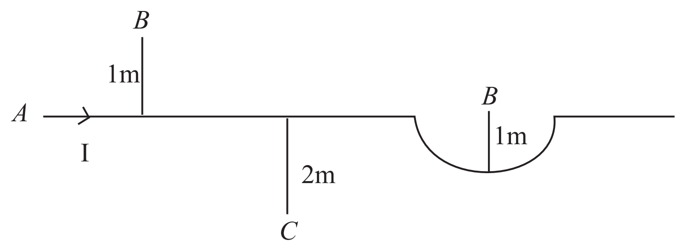
14. दो समांतर तार परस्पर 0.05m की दूरी पर स्थित हैं और प्रत्येक की लंबाई 3 m है। प्रत्येक तार में एक दिशा में 5A की धारा प्रवाहित हो रही है। तारों पर क्रिया करने वाला बल परिकलित कीजिए। इस बल की प्रकृति पर भी टिप्पणी दीजिए।

15. 50cm लंबी परिनालिका के केंन्द्र पर चुंबकीय क्षेत्र 4.0×10^{-2} NA^{-1} m^{-1} है जब उससे होकर 8.0A की धारा प्रवाहित होती है। परिनालिका में लपेटों की संख्या परिकलित कीजिए।

16. दो सर्वसम गैल्वेनोमीटर में से एक ऐमीटर में और दूसरा मिलीऐमीटर में परिणित किया गया है। इनमें किस के शंट का प्रतिरोध अधिक होगा?

टिप्पणियाँ

17. किसी गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध 20 ओम है और यह 0.005A की धारा पर पूरे स्केल का विक्षेपण देता है। 1 A की धारा को मापने के लिए इसे ऐमीटर में रुपान्तरित करने के लिए शंट का मान परिकलित कीजिए। ऐमीटर का प्रतिरोध क्या होगा?
18. कोई इलेक्ट्रॉन 5×10^{-11} त्रिज्या की वृत्ताकार कक्षा में 7.0×10^{15} परिक्रमण प्रति सेकंड की दर से गतिमान है। कक्षा के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र B परिकलित कीजिए।
19. 200 फेरों और 0.16m त्रिज्या की सपाट वृत्ताकार कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए जब कि यह 4.8 ऐम्पियर की धारा का वहन कर रही हो।
20. चित्र 18.30 का अवलोकन कर A, B और C पर चुंबकीय क्षेत्र परिकलित कीजिए।



चित्र. 18.35

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

18.1

1. धागे की सहायता से किसी चुंबक को उसके द्रव्यमान केंद्र से निलंबित कीजिए। इसे साम्य में आने दीजिए। भौगोलिक उत्तर की ओर दिप्ट करने वाला चुंबक का सिरा उसका उत्तरी ध्रुव कहलाता है।
2. दो दंडों के सिरों को पास-पास लाइए। यदि उनके मध्य आकर्षण होता है तो इनमें दंड चुंबक और दूसरी लोहे की दंड है। इनमें से एक दंड को मेज पर लिटाइए और उसकी लंबाई के अनुदिश दूसरे दंड को एक सिरे से दूसरे सिरे तक स्पर्श करते हुए ले जाइए। यदि एक समान बल का अनुभव हो तो हाथ में पकड़ा हुआ दंड, चुंबक होगा और मेज पर लिटाया गया दंड, लोह का टुकड़ा होगा। यदि एकसमान बल का अनुभव न हो तो स्थिति विपरीत होगी।
3. किसी एक दंड चुंबक को धागे से लटका कर हम उसका दक्षिणी ध्रुव ज्ञात कर सकते हैं। तब दूसरे चुंबक का सिरा जो पहले दंड द्वारा प्रतिकर्षित हुआ है उसका दक्षिणी ध्रुव होगा।

18.2

1. (i) विद्युत (ii) चुंबकीय तथा विद्युत
2. साम्य में कोई चालक उदासीन होता है अर्थात उस पर नेट विद्युत धारा नहीं होती। अपनी सादृच्छिक गति के कारण तापीय इलेक्ट्रॉनों में उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र रद्द हो जाता है।

3. पहले उदाहरण में तार की लम्बाई $l_1 = 2\,\pi r$ है। परंतु $l_2 = (2\pi\, r_2)2.$

   लेकिन $l_1 = l_2$

   $$\therefore \quad 2\pi r = 4\pi r_2 \quad \Rightarrow \quad r_2 = \frac{r}{2}$$

   का प्रयोग $|\mathrm{B}| = \dfrac{\mu_0\, n\mathrm{I}}{2r}$ का प्रयोग करके

   $$|\mathrm{B}_1| = \frac{\mu_0\,\mathrm{I}}{2r}, \qquad |\mathrm{B}_2| = \frac{\mu_0\,.2\,.\,\mathrm{I}}{2\times\frac{r}{2}} = \frac{\mu_0\,\mathrm{I}}{2r} = 4\,B$$

   अर्थात 2 फेरों वाली कुंडली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र, पहले उदाहरण में चुंबकीय क्षेत्र की अपेक्षा चार गुना प्रबल होगा।

18.3

1. c
2. दोनों नियम धारा वाहक चालकों के कारण चुंबकीय क्षेत्र विनिर्दिष्ट करते हैं।
3. (i) B, (ii) A, (iii) C.
4. $B = \mu_0 \dfrac{n}{\ell} I \Rightarrow 4\pi \times \dfrac{10^{-7} \times n}{0.1m} \times 3\mathrm{A} = 0.002$ अथवा $n = \dfrac{.0002 \times 10^{7}}{12\pi} = 50$ turns

18.4

1. बल की प्रकृति आकर्षी होगी क्योंकि प्रोटॉनों की धारा, विपरीत दिशा में इलेक्ट्रॉनों के तुल्य है।
2. किसी गतिमान आवेश पर चुंबकीय क्षेत्र द्वारा लगाया गया बल, आवेश की गति के अनुलंब होगा और आवेश पर बल द्वारा किया गया कार्य शून्य होगा। इस कारण आवेश की गतिज ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता। विद्युत क्षेत्र में विक्षेपण, क्षेत्र की दिशा में होता है। अतः क्षेत्र रेखाओं की दिशा में आवेश त्वरित हो जाता है।
3. स्प्रिंग के प्रत्येक फेरे में धारा की दिशा समान होती हैं चूंकि एक ही दिशा में पार्श्व धाराएं आकर्षण बल डालती हैं अतः फेरे समीप आ जाते हैं और पिंड ऊपर की ओर उठ जाता है चाहे स्प्रिंग में धारा की दिशा कोई भी हो।

18.5

1. त्रिज्य चुंबकीय क्षेत्र वह है जिसमें कुंडली का समतल, चुंबकीय क्षेत्र के समांतर होता है।
2. ऐसा करने से मृदु लोह क्रोड से होकर प्रबलता में वृद्धि हो जाती है जिससे गैल्वेनोमीटर की सुग्राहिता में भी वृद्धि हो जाती है।

3. ऐमीटर का प्रतिरोध निम्नतम जबकि वोल्टमीटर का प्रतिरोध अधिकतम होता है। ऐमीटर में निम्न प्रतिरोध गैल्वोनोमीटर की कुंडली के साथ पार्श्व संयोजित जबकि वोल्टमीटर में गैल्वेनोमीटर की कुंडली के साथ उच्च प्रतिरोध श्रेणी संयोजित रहता है।

4. निम्न प्रतिरोध R_s कुंडली के साथ पार्श्व क्रम में संयोजित होना चाहिए:

$$R_s = \frac{G\,I_g}{I - I_g} = \frac{20 \times 20 \times 10^{-3}}{3 - 20 \times 10^{-3}} = 0.13\ \Omega$$

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

1. 10^{-2} T m^{-1}

7. उतना ही

8. 2.3×10^{-6}T

12. 5 N

13. 5 μN

14. 10^{-4} N m^{-1} का आकर्षी बल

15. $\frac{625}{\pi}$ फेरे

17. 0.1Ω.

18. 4.48 πT

19. 1.2π mT

20. $B_A = 2 \times 10^{-7}$ T, $B_B = \pi \times 10^{-7}$ T तथा $B_C = 10^{-7}$ T.