19

चुम्बकत्व

(Magnetism)

19.1 भूमिका

कुछ पदार्थ (प्रकृति में पाये जाने वाले अथवा कृत्रिम रूप से बनाये गये) ऐसे हैं जो लोहे के टुकड़ों को अपनी ओर आकर्षित करते हैं और इनका हमारे दैनिक जीवन में महत्वपूर्ण उपयोग है। उदाहरण के लिए, बड़े चुम्बक भारी बोझ उठाने में प्रयुक्त किये जाते हैं, छोटे चुम्बक एमीटर, वोल्टमीटर, ट्रान्सफॉर्मर, मोटर, लाउड स्पीकर इत्यादि उपकरणों में प्रयुक्त किये जाते हैं, चुम्बकीय टेप ध्वनि अभिलेखन; टी.वी. अभिलेखन, कम्प्यूटर इत्यादि में प्रयुक्त किये जाते हैं, अति उच्च तीव्रता के चुम्बकीय क्षेत्र नामिकीय संलयन के शोध कार्य में प्रयुक्त किये जा रहे हैं।

यूनानियों को ईसा से लगभग 600 वर्ष पूर्व चुम्बकत्व की परिघटना की जानकारी थी। उन्होंने पाया कि कुछ पत्थर जो मैग्नेटाइट (Fe_3O_4) कहलाते हैं, लोहे के टुकड़ों को आकर्षित करते हैं। सन् 1819 में जब हैम ओर्स्टेड ने चुम्बकत्व एवं वैद्युत धारा के बीच सम्बन्ध को खोजा तब से हम चुम्बकत्व को एक पृथक बल के रूप में नहीं मानते हैं। यह वैद्युत धारा के प्रभावों में से एक है।

इस पाठ में आप चुम्बकीय बलों के नियमों, वृहत् चुम्बक की भांति पृथ्वी के व्यवहार और विभिन्न प्रकार के चुम्बकीय पदार्थों का ज्ञान प्राप्त करेंगे।

19.2 उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के बाद आप :

- *चुम्बकीय द्विध्रुव की भांति धारा लूप की व्याख्या कर सकेंगे;*
- *द्विध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र का दो विमाओं में वर्णन कर सकेंगे;*
- *चुम्बकीय क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की परिभाषा दे पायेंगे;*

- *वैद्युत धारा के चुम्बकीय प्रभाव के बारे में जान सकेंगे;*
- *चुम्बकीय क्षेत्रों में पदार्थों के व्यवहार के आधार पर उनका वर्गीकरण कर सकेंगे; तथा*
- *एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकीय द्विध्रुव के व्यवहार का वर्णन कर सकेंगे।*

19.3 चुम्बकीय द्विध्रुव की भांति धारा लूप (Current Loop as a Magnetic Dipole)

आप स्थिर विद्युतिकी के पाठ में निम्न समीकरणों का अध्ययन कर चुके हैं। द्विध्रुव की अक्ष पर दूर स्थित किसी बिन्दु पर द्विध्रुव के कारण वैद्युत क्षेत्र

$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{2\boldsymbol{p}}{x^3} \qquad (19.1)$$

यदि द्विध्रुव एक समान वैद्युत क्षेत्र $\boldsymbol{E}$ में रखा हो तो उस पर लगने वाला **बल–आघूर्ण**

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

अथवा $\tau = \boldsymbol{pE}\sin\theta$ (19.2)

वैद्युत धारा के चुम्बकीय प्रभावों का अध्ययन करते समय आप यह पढ़ चुके हैं कि किसी धारावाही वृत्ताकार कुंडली के केन्द्र से गुजरने वाली तथा उसके तल के लम्बवत् रेखा पर स्थित किसी बिन्दु पर उसके कारण चुम्बकीय क्षेत्र $\boldsymbol{B}$ निम्न समीकरण के द्वारा दिया जाता है :

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{NIA}{x^3}\hat{\boldsymbol{n}} = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{2\vec{\boldsymbol{M}}}{x^3}$$

जहां $\boldsymbol{M}$ चुम्कबीय द्विध्रुव आघूर्ण है।

यदि यह द्विध्रुव एक समान चुम्बकीय क्षेत्र $\boldsymbol{B}$ में रखा हो तो उस पर लगने वाला बल–आघूर्ण

$$\vec{\tau} = \boldsymbol{M} \times \boldsymbol{B}$$

अथवा $|\vec{\tau}| = |\boldsymbol{M}|\ |\boldsymbol{B}|\sin\theta$ (19.4)

इन समीकरणों में प्रतीकों के सामान्य प्रचलित अर्थ हैं। अब आप वैद्युत द्विध्रुव के लिए समीकरणों (19.1) तथा (19.2) की तुलना धारा लूप के लिए समीकरणों (19.3) तथा (19.4) से करिये। आप इनमें समानता पायेंगे, अन्तर यह है कि वैद्युत क्षेत्र समीकरण में सिथरांक $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ है जबकि चुम्बकीय क्षेत्र समीकरण में स्थिरांक $\frac{\mu_0}{4\pi}$ है।

तुलना से हमें निम्न निष्कर्ष प्राप्त होते हैं :

(i) *धारा लूप एक चुम्बकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करता है जिसका द्विध्रुव आघूर्ण निम्न होता है:*

$$\boldsymbol{M} = N I \boldsymbol{A} \tag{19.5}$$

(ii) *चुम्बकीय द्विध्रुव के दो ध्रुव धारा लूप के दो फलक होते हैं अतः ये अलग–अलग नहीं किये जा सकते हैं।*

(iii) *एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकीय द्विध्रुव उसी भांति व्यवहार करता है जिस भांति एक समान वैद्युत क्षेत्र में वैद्युत द्विध्रुव करता है।*

(iv) *किसी चुम्बकीय द्विध्रुव के चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र उसी भांति ही विद्यमान रहता है जिस भांति किसी वैद्युत द्विध्रुव के चारों ओर वैद्युत क्षेत्र होता है।*

इस प्रकार किसी चुम्बकीय द्विध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

(a) अक्षीय बिन्दु पर

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\boldsymbol{M}}{x^3} \tag{19.6}$$

(b) निरक्षीय बिन्दु पर

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\boldsymbol{M}}{x^3} \tag{19.7}$$

19.3.1 चुम्बक तथा उनके गुण (Magnets and their Properties)

प्राकृतिक चुम्बक दुर्बल (weak) होते हैं लेकिन आयरन, निकिल, कोबाल्ट जैसे पदार्थों को प्रबल (strong) स्थायी चुम्बकों में बदला जा सकता है। प्राकृतिक तथा कृत्रिम सभी चुम्बकों के गुण समान होते हैं। चुम्बकों के कुछ गुण निम्नलिखित हैं :

(i) **दिशात्मक गुण:** जब किसी छोटे दण्ड चुम्बक को उसके द्रव्यमान-केन्द्र पर स्वतंत्रतापूर्वक लटकाया जाता है, जिससे कि वह ऊर्ध्वाधर अक्ष के परितः घूम सके, तब वह सदैव लगभग भौगोलिक उत्तार–दक्षिण दिशा में ठहरता है।

(ii) **आकर्षणात्मक गुण:** चुम्बक लोहा, निकिल, कोबाल्ट जैसे लौह चुम्बकीय पदार्थों को आकर्षित करता है। चुम्बक के सिरों के निकट दो बिन्दुओं पर आकर्षण बल अधिकतम होता है। ये बिन्दु चुम्बक के ध्रुव कहलाते हैं। स्वतंत्रतापूर्वक लटके हुए चुम्बक में, वह ध्रुव जो भौगोलिक उत्तर की ओर रहता है उत्तरी ध्रुव (north pole) कहलाता है और वह ध्रुव जो दक्षिण की ओर रहता है दक्षिणी ध्रुव (south pole) कहलाता है।

(iii) दो चुम्बकों के विजातीय ध्रुव (unlike poles) एक–दूसरे को आकर्षित करते हैं और सजातीय ध्रुव (like poles) एक–दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं।

(iv) किसी चुम्बक के दो ध्रुवों को अलग–अलग नहीं किया जा सकता, अर्थात् चुम्बकीय ध्रुव सदैव जोड़े में ही विद्यमान रहते हैं।

(v) दो चुम्बकीय ध्रुवों के बीच लगने वाला बल व्युत्क्रम वर्ग नियम का पालन करता है।

अर्थात् $$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad (19.8)$$

जहां m_1 तथा m_2 दो ध्रुवों की सामर्थ्य हैं और r दो ध्रुवों के बीच की दूरी है।

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ वेबर–एम्पियर$^{-1}$ मीटर$^{-1}$

(vi) प्रेरण किसी चुम्बक द्वारा लोहे के टुकड़े के आकर्षण को आगे बढ़ाता है।

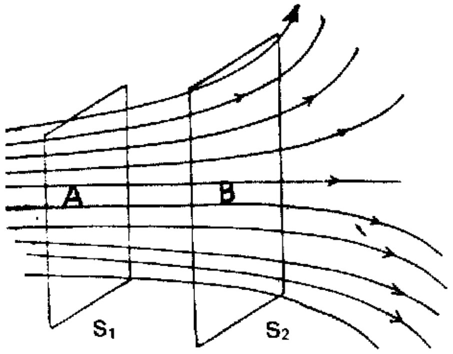
(vii) किसी चुम्बक एवं लोहे के टुकड़े के बीच पहिचान करने के लिए प्रतिकर्षण ही पूर्ण रूप से निश्चित परीक्षण है।

19.3.2 चुम्बकीय क्षेत्र रेखायें (Magnetic Field Lines)

हम चुम्बकीय क्षेत्र के परिमाण एवं दिशा को पहले ही परिभाषित कर चुके हैं। किसी क्षेत्र के परिमाण एवं दिशा को देखने की एक सुविधापूर्ण विधि क्षेत्र रेखाओं का खींचना है। ये रेखायें चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में होती हैं और हमें निम्न प्रकार से चुम्बकीय क्षेत्र के बारे में बताती हैं।

1. किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र वेक्टर $\boldsymbol{B}$ की दिशा उस बिन्दु पर क्षेत्र रेखा पर खींची गयी स्पर्श रेखा होती है।

2. क्षेत्र रेखाओं के लम्बवत् किसी पृष्ठ के एकांक क्षेत्रफल से गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की संख्या उस क्षेत्र में चुम्बकीय क्षेत्र की सामर्थ्य के अनुक्रमानुपाती होती है। जहां क्षेत्र रेखायें एक–दूसरे के पास होती हैं वहां $\boldsymbol{B}$ का मान अधिक होता है और जहां वे एक–दूसरे से दूर होती हैं वहां $\boldsymbol{B}$ का मान कम होता है।



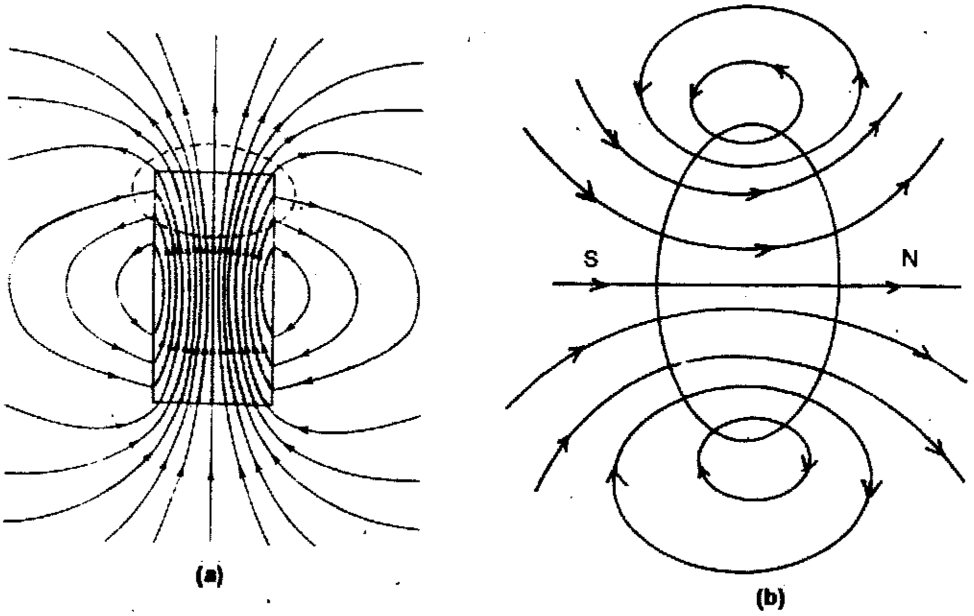
चित्र 19.1: *दो समान्तर पृष्ठों से गुजरने वाली चुम्बकीय क्षेत्र रेखायें।*

3. क्षेत्र रेखायें बन्द वक्र होती हैं। ये सदैव उत्तरी ध्रुव से प्रारम्भ होती हैं तथा दक्षिणी ध्रुव से होते हुए उत्तरी ध्रुव पर ही समाप्त होती हैं।

चित्र 19.1 में दो समान्तर पृष्ठों S_1 तथा S_2 से गुजरने वाली क्षेत्र रेखाओं की एक निश्चित संख्या को दिखाया गया है। S_1 का पृष्ठ क्षेत्रफल S_2 के पृष्ठ क्षेत्रफल से कम है और दोनों पृष्ठों से क्षेत्र रेखाओं की समान संख्या गुजरती है। अतः S_1 से प्रति एकांक क्षेत्रफल गुजरने वाली रेखाओं की संख्या S_2 से प्रति एकांक क्षेत्रफल गुजरने वाली रेखाओं की संख्या से अधिक हैं। अतः हम कह सकते हैं कि A के चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र B के चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र से अधिक प्रबल है।

19.3.3 धारावाही परिनालिका से किसी चुम्बक की तुल्यता (Equivalence of a Magnet to current Carrying Solenoid)

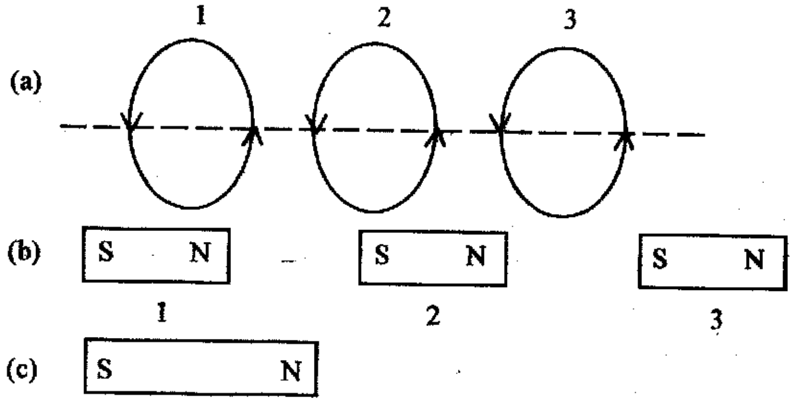
किसी दण्ड चुम्बक की क्षेत्र रेखायें चित्र 19.2(a) में तथा किसी धारा लूप की क्षेत्र रेखायें चित्र 19.2(b) में दर्शाई गयी हैं। दोनों के बीच समानता यह बताती है कि किसी दण्ड चुम्बक को ऐसे अनेक धारा लूपों से मिलकर बना माना जा सकता है जो एक ही उमयनिष्ठ अक्ष के परितः एक–दूसरे के समीप आस–पास रखे हों।



चित्र 19.2: *(a) दण्ड चुम्बक (b) धारावाही कुंडली की क्षेत्र रेखायें।*

यह व्यवस्था चित्र 19.3 में दिखायी रीति के अनुसार ऐसी अनेक छोटे चुम्बकों के तुल्य है जो एक ही सरल रेखा के अनुदिश व्यवस्थित होते हैं।

दो सिरों पर स्थित दो चुम्बकों के सिवाय सभी चुम्बकों के उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुव एक–दूसरे के प्रभाव को निरस्त कर देते हैं। अतः परिणामस्वरूप एक ही दण्ड चुम्बक प्राप्त होती है जैसा कि चित्र 19.3(c) में दर्शाया गया है। आप विगत पाठ में पढ़ चुके हैं कि एक–दूसरे के समीप पास–पास रखे लूपों की व्यवस्था एक परिनालिका के तुल्य होती है।



चित्र 19.3: *(a) तीन समान्तर सम–अक्षीय लूप जिनमें समान धारा प्रवाहित हो रही है, (b) तीन लूपों के समतुलय छोटे दण्ड चुम्बक, (c) यदि तीनों दण्ड चुम्बक एक ही सरल रेखा के अनुदिश एक–दूसरे के समीप पास–पास हो तो परिणामस्वरूप एक ही दण्ड चुम्बक प्राप्त होगी।*

इस प्रकार हम देखते हैं कि किसी चुम्बक को एक चुम्बकीय द्विध्रुव के रूप में भी माना जा सकता है। चुम्बक का द्विध्रुव आघूर्ण

$$\boldsymbol{M} = ml \qquad (19.9)$$

जहां m = ध्रुव सामर्थ्य तथा l = चुम्बक की प्रभावी लम्बाई।

पाठगत प्रश्न 19.1

1. *आपको एक दण्ड चुम्बक दी गई है। आप इसके उत्तरी ध्रुव वाले सिरे को कैसे ज्ञात करेंगे?*

   ....

2. *आपको तीन समान आयताकार छड़ें दी गई हैं। छड़ A एक दण्ड चुम्बक है, छड़ B लोहे की है और छड C अचुम्बकीय पदार्थ जैसे लकड़ी की है। आप प्रत्येक छड़ को कैसे पहिचानेंगे? (छड़ों के द्रव्यमान पर विचार मत कीजिए)।*

   ....

3. *आपको दो सर्वसम दण्ड चुम्बक दिये गये हैं। प्रयोग करने के लिए आपको केवल 50 सेमी लम्बा एक धागा एक अतिरिक्त वस्तु के रूप में प्राप्त है। आप प्रत्येक चुम्बक के दक्षिणी ध्रुव को कैसे चिन्हित करेंगे?*

   ....

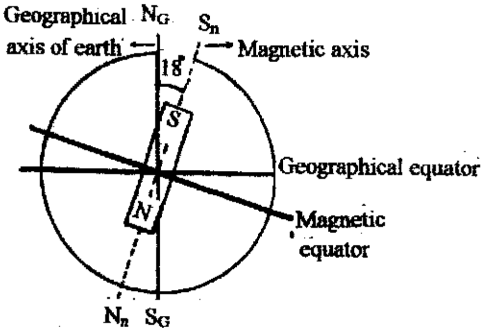
4. *20 सेमी लम्बाई तथा 10 सेमी चौड़ाई की एक आयताकार कुंडली में 0.5 एम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। 10 सेमी लम्बाई के उस दण्ड चुम्बक की ध्रुव सामर्थ्य क्या होगी जिसका चुम्बकीय आघूर्ण कुंडली के चुम्बकीय आघूर्ण के बराबर है?*

   ....

19.4 भू-चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field of the Earth)

पृथ्वी से सम्बन्धित चुम्बकीय गुणों की विवेचना करने से पहले हम पृथ्वी से सम्बन्धित कुछ तथ्यों एवं परिभाषाओं को संक्षेप में बतायेंगे। हम मानते हैं कि पृथ्वी एक गोला है और यह अपनी अक्ष के परित: घूर्णन करती है और यह अक्ष गोले का एक व्यास होती है। इस व्यास का एक सिरा *भौगोलिक उत्तरी* ध्रुव कहलाता है और दूसरा सिरा *भौगोलिक दक्षिणी* ध्रुव कहलाता है। हम इस उत्तर–दक्षिण अक्ष के लम्बवत् एक तल की कल्पना करते हैं जो पृथ्वी के केन्द्र से होकर गुजरता है। यह तल गोलीय पृथ्वी के पृष्ठ को एक वृत्त के रूप में काटता है। पृथ्वी के पृष्ठ पर खींची गई यह काल्पनिक वृत्तीय रेखा, भूमध्यरेखा या विषुवत् रेखा या *निरक्षीय रेखा* (equator) कहलाती है। भूमध्यरेखीय तल पृथ्वी को दो *गोलार्धों* (या अर्धगोलों) में बाँटता है। (i) उत्तरी गोलार्ध (ii) दक्षिणी गोलार्ध।

भूमध्यरेखा के समान्तर वृत्ताकार रेखायें *अक्षांश* (latitudes) कहलाती हैं जो 0° पर भूमध्यरेखा के सापेक्ष कोण $\theta°$ के पदों में मापा जाता है। अक्षांश $\theta°$ उत्तर अथवा $\theta°$ दक्षिण होता है। पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित किसी बिन्दु P तथा पृथ्वी के घूर्णन अक्ष से गुजरने वाला तल बिन्दु P पर *भौगोलिक याम्योत्तर* (geographical meridian) कहलाता है। इसी प्रकार पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित किसी बिन्दु P तथा पृथ्वी की चुम्बकीय अक्ष अर्थात् पृथ्वी के चुम्बकीय ध्रुवों से गुजरने वाला तल बिन्दु P पर *चुम्बकीय याम्योत्तर* (magnetic meridian) कहलाता है।



चित्र 19.4 : *पृथ्वी की चुम्बकीय क्षेत्र रेखायें।*

चुम्बकों का दिशात्मक गुण तभी सम्भव है यदि पृथ्वी के अन्दर एक दूसरी चुम्बक हो और उस चुम्बक का दक्षिणी ध्रुव भौगोलिक उत्तरी ध्रुव के निकट हो। अत: हम निश्चय के साथ कह सकते हैं कि विशाल पृथ्वी इस प्रकार व्यवहार करती है मानो कि एक बड़ी दण्ड चुम्बक उसके अन्दर रखी हो। यह प्रतीकात्मक तस्वीर चित्र 19.4 में दिखाई गयी है।

पृथ्वी की चुम्बक का दक्षिणी ध्रुव भौगोलिक उत्तरी ध्रुव के निकट होता है और चुम्बकीय उत्तरी ध्रुव भौगोलिक दक्षिणी ध्रुव के निकट होता है। RR' पृथ्वी की घूर्णन अक्ष है और MM' पृथ्वी की चुम्बकीय अक्ष है।

अब हम एक चुम्बकीय सुई या एक दिक्सूचक सुई (compass needle) की सहायता से एक कल्पित प्रयोग को सम्पन्न करेंगे (आप प्रयोग को वास्तव में सम्पन्न कर सकते हैं)। सुई इस प्रकार स्वतंत्रतापूर्वक लटकी हुई है कि वह क्षैतिज तथा ऊर्ध्वाधर दोनों तलों में

घूम सकती है। यदि सुई पृथ्वी के पृष्ठ पर भूमध्यरेखा के निकट है तो यह क्षैतिज तल में ठहरती है। माना कि इस सुई को उत्तरी गोलार्ध में विभिन्न स्थानों पर ले जाया जाता है। अब सुई ऊर्ध्वाधर तल में घूमती है और जैसे-जैसे हम भौगोलिक उत्तरी ध्रुव की ओर बढ़ते हैं, सुई का उत्तरी ध्रुव पृथ्वी की ओर झुकता जाता है। अन्त में कनाडा में हडसन खाड़ी के निकट एक बिन्दु पर सुई का उत्तरी ध्रुव ऊर्ध्वाधरत: नीचे की ओर हो जाता है। यह स्थान जो सन् 1832 में निर्धारित किया गया, पृथ्वी की चुम्बक का दक्षिणी ध्रुव माना जाता है। यह स्थान पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी ध्रुव से लगभग 2100 किमी की दूरी पर है। यदि हम इसी चुम्बकीय सुई को दक्षिणी गोलार्ध में विभिन्न स्थानों पर ले जायें तो सुई का दक्षिणी ध्रुव नीचे की ओर झुकता है और भौगोलिक दक्षिण के पूर्व में 2100 किमी दूर एक बिन्दु पर ऊर्ध्वाधरत: नीचे की ओर हो जाता है। इस बिन्दु को पृथ्वी की चुम्बक का उत्तरी ध्रुव माना जा सकता है। इससे हम यह निष्कर्ष निकालते हैं कि ***पृथ्वी का चुम्बकीय अक्ष उसके भौगोलिक अक्ष के संपाती नहीं होता है।***

पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के बारे में एक महत्वपूर्ण बात यह है कि पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र नियत नहीं रहता है। इसके परिमाण एवं दिशा दोनों समय के साथ बदलते रहते हैं। क्षेत्र की दिशा का परिवर्तन पृथ्वी के इतिहास में अनेक बार हो चुका है। ज्वालामुखी क्रिया के दौरान मिलने वाली चट्टानों के अध्ययन द्वारा इसका प्रमाण प्राप्त हुआ है। ऐसा विश्वास किया जाता है कि अन्तिम परिवर्तन लगभग 10,000 वर्ष पहले हुआ है। पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का सिद्धान्त आज भी ठीक तरह से समझा नहीं जा सका है।

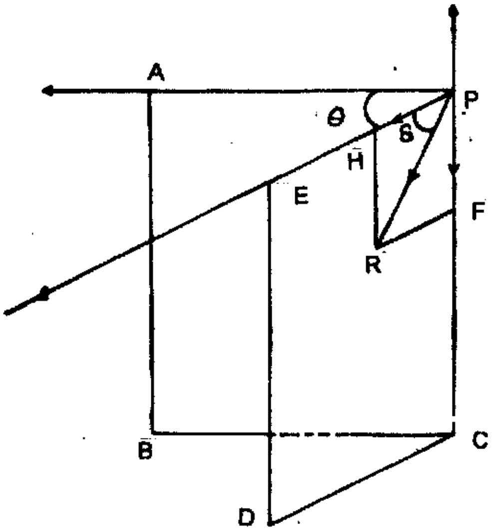
19.4.1 पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का अवयव (Elements of the Earth's Magnetic Field)

पिछले अनुच्छेद में हमने पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के कुछ प्राचलों (parameters) की केवल गुणात्मक विवेचना की है जो एक स्थान से दूसरे स्थान तक बदलते हैं। अब हम उन सभी प्राचलों का वर्णन करेंगे जो पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित किसी बिन्दु पर क्षेत्र को पूर्णतयानिर्धारित करते हैं। ये प्राचल सामान्यत: पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के अवयव कहलाते हैं। ये प्राचल निम्नलिखित हैं :

(a) आनति (Inclination)
(b) दिक्पात (Declination)
(c) पृथ्वी के क्षेत्र का क्षैतिज घटक (Horizontal component of the earth's field)

(a) आनति या नति (Inclination or Dip):

किसी स्थान पर स्वतंत्रतापूर्वक लटकी हुई चुम्बकीय सुई क्षैतिज तल में नहीं ठहरती है। यह पृथ्वी के क्षेत्र की परिणामी तीव्रता की दिशा में ठहरती है।



चित्र 19.5: *भू-चुम्बकीय क्षेत्र के अवयव*

चित्र 19.5 में एक समतल PCDE दिखाया गया है जो पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित बिन्दु P पर चुम्बकीय याम्योत्तर है और PABC भौगोलिक याम्योत्तर है PR बिन्दु P पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के परिमाण एवं दिशा को प्रदर्शित करता है। PR क्षैतिज दिशा से δ कोण बनाता है। यह कोण δ पृथ्वी के पृष्ठ पर स्थित बिन्दु P पर *आनति* या *नति* कहलाता है। उत्तरी गोलार्ध में सुई का N ध्रुव नीचे की ओर झुकेगा तथा दक्षिणी गोलार्ध में S ध्रुव नीचे की ओर झुकेगा।

वह कोण जो पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र तथा चुम्बकीय याम्योत्तर में क्षैतिज दिशा के बीच बनता है, नति या आनति कोण कहलाता है।

(b) दिक्पात (Declination)

चित्र 19.5 में हमने दो ऊर्ध्वाधर तल दिखाये हैं (i) तल PABC भौगोलिक याम्योत्तर है (ii) तल PCDE चुम्बकीय याम्योत्तर है। यह वह तल है जिसमें पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र वेक्टर **(PR)** पर स्थित है। तल PCDE तथा PABC के बीच का कोण बिन्दु P पर *दिक्पात* कहलाता है। चित्र 19.5 में यह कोण से दिखाया गया है।

वह कोण जो किसी स्थान पर चुम्बकीय याम्योत्तर तथा भौगोलिक याम्योत्तर के बीच बनता है, उस स्थान पर दिक्पात का कोण कहलाता है।

(c) क्षैतिज घटक (Horizontal component)

यह चुम्बकीय याम्योत्तर में पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक है। चित्र 19.5 में **PR** बिन्दु P पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र है। **PH** पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक तथा **PF** ऊर्ध्वाधर घटक को परिमाण एवं दिशा में प्रदर्शित करता है। माना कि बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र **B** है। तब क्षैतिज घटक

$$B_H = B\cos\delta \qquad (19.10)$$

तथा ऊर्ध्वाधर घटक

$$B_V = B\sin\delta \qquad (19.11)$$

$$B_H^2 + B_V^2 = B^2$$

अथवा $B = \sqrt{B_H^2 + B_V^2}$ (19.12)

अब $B = \dfrac{B_H}{\cos\delta}$

तथा $\dfrac{B_V}{B_H} = \tan\delta$ (19.3)

उदाहरण 19.1: *किसी स्थान पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र 45 माइक्रो टेसला है। नति कोण 60 डिग्री है। विभिन्न प्राचलों की गणना कीजिए।*

हल: B = 45 माइक्रो टेसला = 45×10^{-6} टेसला

$\delta = 60^\circ$, $\theta = 30^\circ$

$B_H = B\cos\delta = 45 \times 10^{-6}\cos 60^\circ = 45 \times \frac{1}{2} \times 10^{-6}$ टेसला

= 22.5 माइक्रो टेसला

$B_V = B\sin\delta = 45 \times 10^{-6}\sin 60^\circ = 45 \times 10^{-6} \times \frac{\sqrt{3}}{2}$

= 39 माइक्रो टेसला

पाठगत प्रश्न 19.2

1. *यदि आप आस्ट्रेलिया के मेलबॉर्न में चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं का एक नक्शा बनायें तो क्या रेखायें भूमि के अन्दर जाती प्रतीत होंगी अथवा भूमि से बाहर आती प्रतीत होंगी?*

....

2. *एक दण्ड चुम्बक को ड्राइंग बोर्ड पर ऊर्ध्वाधरत: रखा जाता है और चुम्बकीय क्षेत्र रेखायें खींची जाती हैं। कितने उदासीन बिन्दु प्राप्त होंगे?*

....

3. *नति कोण का मान कहां अधिक होगा, देहली में या बीजिंग में?*

....

4. *किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक उसके ऊर्ध्वाधर घटक का 3/2 गुना है। उस स्थान पर नति कोण का मान क्या है?*

....

19.5 पदार्थ में चुम्बकत्व (Magnetism in Matter)

आप वैद्युत धारा के चुम्बकीय प्रभावों का अध्ययन कर चुके हैं। आपने यह भी देखा है कि एक धारावाही कुंडली चुम्बकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करती है जिसे जब स्वतंत्रतापूर्वक लटकाया जाता है तब वह एक विशिष्ट दिशा में ठहरती है। आप इससे भी अवगत हैं कि किसी तार में इलेक्ट्रॉनों की गति से वैद्युत धारा स्थापित होती है। सभी ठोस परमाणुओं एवं अणुओं से मिलकर बने होते हैं तथा प्रत्येक परमाणु में नाभिक के चारों ओर परिक्रमण करते हुए अनेक इलेक्ट्रॉन होते हैं। एक साथ सम्बन्ध बैठाने पर ये सभी जानकारियां संकेत करती हैं कि ये कुछ निश्चित पदार्थों में दुर्बल/प्रबल चुम्बकत्व का मूल हो सकती हैं। किसी पदार्थ में चुम्बकीय क्षेत्र की सामर्थ्य के आधार पर हम पदार्थों को मुख्य रूप से तीन वर्गों में बांटते हैं (i) प्रतिचुम्बकीय (ii) अनुचुम्बकीय, और (iii) लोहचुम्बकीय पदार्थ। हम इस पाठ के अगले भाग में इन बिन्दुओं में कुछ की विस्तार में विवेचना करेंगे।

19.5.1 परमाणु का चुम्बकीय आघूर्ण (Magnetic Moment of Atom)

हम एक परमाणु के सरल मॉडल से शुरू करते हैं। किसी परमाणु में एक भारी नाभिक होती है जिसके परित: इलेक्ट्रॉन वृत्ताकार कक्षाओं में गति करते हैं। माना कि कक्षा की त्रिज्या R है तथा किसी इलेक्ट्रॉन की कक्षीय चाल v है। कक्षा में एक चक्कर पूरा करने के लिए इलेक्ट्रॉन का आवर्त काल

$$T = \frac{2\pi R}{v} \tag{19.14}$$

अत: कोई इलेक्ट्रॉन प्रति सेकेंड $\frac{v}{2\pi R}$ चक्कर पूरे करता है।

माना कि इलेक्ट्रॉन की इस गति के कारण प्रभावी धारा I है।

$$I = \frac{ev}{2\pi R} \tag{19.15}$$

कक्षा का क्षेत्रफल अथवा धारा लूप का क्षेत्रफल $A = \pi R^2$

चुम्बकीय आघूर्ण

$$\mu = IA = \frac{ev\pi R^2}{2\pi R} = \frac{evR}{2} \tag{19.16}$$

$$\mu = \frac{evR}{2} \times \frac{m}{m} = \left(\frac{e}{2m}\right) L \tag{19.17}$$

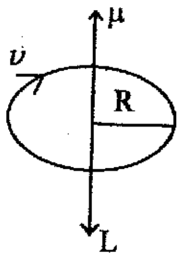
जहां m इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान है और L इसका कोणीय संवेग ($L=mvR$) संवेग है।

इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय आघूर्ण उसके कोणीय संवेग का $\frac{e}{2m}$ गुना है।

यदि हम इलेक्ट्रॉन पर आवेश की प्रकृति पर विचार करें, तब

$$\mu = -\left(\frac{e}{2m}\right) L \tag{19.18}$$

चुम्बकीय आघूर्ण वेक्टर कोणीय संवेग वेक्टर के सदैव विपरीत् होता है और दोनों वेक्टर कक्षा के तल के लम्बवत् होते हैं, जैसा कि चित्र 19.6 में दिखाया गया है।



चित्र 19.6: इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय आघूर्ण

कक्षीय गति के साथ–साथ इलेक्ट्रॉन की प्रचक्रण गति (spin motion) भी होती है। इलेक्ट्रॉन की प्रचक्रण गति भी एक चुम्बकीय आघूर्ण की स्थापना करती है जिसके परिमाण की कोटि वही होती है जो कक्षीय चुम्बकीय आघूर्ण की होती है।

किसी परमाणु में अनेक इलेक्ट्रॉन होते हैं, और प्रत्येक इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय आघूर्ण होता है। परमाणु का कुल चुम्बकीय आघूर्ण सभी इलेक्ट्रॉनों के चुम्बकीय आघूर्णों के वेक्टर योग के बराबर होता है। यदि हम ऐसे परमाणुओं की कल्पना करें जिनमें इलेक्ट्रॉनों का चुम्बकीय आघूर्ण स्पेस में इस प्रकार अभिविन्यस्त (oriented) हो कि सभी चुम्बकीय आघूर्णों का कुल योग शून्य हो जाये, तो ऐसे परमाणुओं का स्वयं का अपना कोई चुम्बकीय आघूर्ण नहीं होगा। किन्तु ऐसे परमाणु भी हो सकते हैं जिनमें सभी इलेक्ट्रॉनों का कुल चुम्बकीय आघूर्ण शून्य नहीं हो। ऐसे परमाणुओं का अपना आंतरिक चुम्बकीय आघूर्ण होगा। आगे की विवेचनाओं में हम इन परिणामों का उपयोग करेंगे।

19.5.2 पदार्थों के चुम्बकीय गुण (Magnetic Properties of Materials)

चुम्बकन (Magnetization) : यदि आप एक चुम्बक लें तो आप पायेंगे कि यह कुछ बल लगाकर लोहे के टुकड़े को आकर्षित करती है। यदि आप एक दूसरी चुम्बक लें तो आप देख सकते हैं कि यह अधिक बल लगाकर उसी लोहे के टुकड़े को आकर्षित करती है। किसी पदार्थ की चुम्बकीय अवस्था का वर्णन एक राशि द्वारा किया जाता है जो चुम्बकन I कहलाती है। यह एक सदिश राशि (vector quantity) है। इसका परिमाण प्रति एकांक आयतन चुम्बकीय आघूर्ण के बराबर होता है।

$$|\vec{I}| = \frac{\text{चुम्बकीय आघूर्ण}}{\text{पदार्थ का आयतन}} \tag{19.19}$$

आप परिनालिका के चुम्बकीय क्षेत्र का पहले से अध्ययन कर चुके हैं। माना कि क्रोड क्षेत्र में परिनालिका द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र $\boldsymbol{B}_0$ है। यह क्षेत्र परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा के कारण उत्पन्न होता है। अब क्रोड को चुम्बकीय पदार्थ से भर दिया जाता है। अब उसी बिन्दु पर कुल चुम्बकीय $\boldsymbol{B}$ क्षेत्र होगा।

$$\boldsymbol{B} = \boldsymbol{B}_0 + \boldsymbol{B}_m \tag{19.20}$$

जहां $\boldsymbol{B}_m$ चुम्बकीय पदार्थ के द्वारा उत्पन्न क्षेत्र है और इसे निम्न प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है :

$$\boldsymbol{B}_m = \mu_0 \boldsymbol{I}$$

$$\boldsymbol{B} = \boldsymbol{B}_0 + \mu_0 \boldsymbol{I}$$

$$\frac{\boldsymbol{B}}{\mu_0} = \frac{\boldsymbol{B}_0}{\mu_0} + \boldsymbol{I}$$

$$\left(\frac{\boldsymbol{B}}{\mu_0} - \boldsymbol{I}\right) = \frac{\boldsymbol{B}_0}{\mu_0} = H \tag{19.21}$$

अथवा $\boldsymbol{B}_0 = \mu_0 H$ तथा $H = \dfrac{\boldsymbol{B}}{\mu_0} - \boldsymbol{I}$

$$\therefore \quad B = \mu_0 (H + I) \tag{19.22}$$

***H* चुम्बकीय क्षेत्र की सामर्थ्य** कहलाता है। H तथा I दोनों को ऐम्पियर प्रति मीटर (A/m) में मापा जाता है।

(b) **चुम्बकीय प्रवृत्ति (Magnetic Susceptibility) :** बहुत से चुम्बकीय पदार्थों के लिए, चुम्बकन I चुम्बकीय क्षेत्र की सामर्थ्य H के अनुक्रमानुपाती होता है।

$$I \alpha H$$

अथवा $I = \chi H$

$$\chi = \frac{I}{H} \tag{19.23}$$

चूंकि I तथा H की विभाएं समान हैं अत: राशि χ विमाहीन है। यह *चुम्बकीय प्रवृत्ति* कहलाती है। ***प्रति एकांक क्षेत्र सामर्थ्य चुम्बकन को चुम्बकीय प्रवृत्ति कहते हैं।***

पुन: $\boldsymbol{B} = \mu_0 (H + I)$

$= \mu_0 (H + \chi H)$

$= \mu_0 (1 + \chi) H$

$$= K_m H \tag{19.24}$$

जहां $K_m = \mu_0 (1 + \chi)$ चुम्बकीय पदार्थ की *चुम्बकशीलता* (permeability) कहलाता है। χ तथा K_m के मानों के आधार पर पदार्थ को विभिन्न समूहों में रखा जाता है। तालिका 19.1 में विभिन्न समूह दिये गये हैं।

वर्ग	प्रवृत्ति (χ)	चुम्बकशीलता
प्रतिचुम्बकीय	<0	$K_m < \mu^o$
अनुचुम्बकीय	>0	$K_m > \mu^o$
लोहचुम्बकीय	>>0 लेकिन I तथा H के बीच कोई रैखिक सम्बन्ध नहीं होता	$K_m >> \mu^o$

19.5.3 अनुचुम्बकत्व (Paramagnetism)

अनुचुम्बकीय पदार्थ वे पदार्थ हैं जिनकी चुम्बकीय प्रवृत्ति बहुत कम लेकिन धनात्मक होती ($0 < \chi << 1$) है। हम अनेक इलेक्ट्रॉनों वाले एक परमाणु पर विचार करते हैं। यदि सभी

इलेक्ट्रॉनों के चुम्बकीय आघूर्णों का वेक्टर योग निरस्त नहीं होता है तो परमाणु से बद्ध स्थायी द्विध्रुव आघूर्ण होता है। ठोस में प्रत्येक परमाणु का चुम्बकीय आघूर्ण अनियमित रूप से अभिविन्यस्त होता है। अतः ठोस टुकड़े का कोई परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण नहीं होता है। जब हम ऐसे पदार्थ को बाह्य क्षेत्र में रखते हैं, द्विध्रुवों पर एक बल आघूर्ण कार्य करता है और उन्हें आरोपित क्षेत्र की दिशा के अनुदिश अभिविन्यस्त करने का प्रयत्न करता है। पदार्थ का ताप द्विध्रुवों को पूर्ण रूप से क्रम में व्यवस्थित होने से रोकता है। अब आरोपित क्षेत्र की दिशा में परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण होता है। आप कह सकते हैं I कि का मान अब शून्येतर (non zero) होता है और H तथा I की दिशाएं समान्तर होती हैं। इससे चुम्बकीय प्रवृत्ति का शून्येतर मान प्राप्त होता है।

प्रायोगिक रूप से हम पाते हैं कि किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ का चुम्बकन I आरोपित क्षेत्र के अनुक्रमानुपाती तथा परमताप T के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

$$I = C \cdot \frac{\mathbf{B}}{T} \qquad (19.25)$$

यह ***क्यूरी का नियम*** (Curie's Law) है तथा C ***क्यूरी स्थिरांक*** है। यह समझा जा सकता है कि ताप के बढ़ने पर चुम्बकन क्यों घटता है। ताप के बढ़ने पर द्विध्रुवों की अव्यवस्था या अनियमित व्यवस्था बढ़ती है और इस प्रकार I का मान घटता है।

अनुचुम्बकीय पदार्थों में परमाणु द्विध्रुव एक–दूसरे से अन्योन्यक्रिया नहीं करते हैं। एक द्विध्रुव को दूरे द्विध्रुव की उपस्थिति का आभास नहीं होता है। ये सब स्वतंत्र होते हैं। ये केवल बाह्य क्षेत्र से अन्योन्यक्रिया करते हैं। क्रोमियम, मैग्नेसियम अनुचुम्बकीय पदार्थों के उदाहरण हैं। बाह्य क्षेत्र में रखने पर अनुचुम्बकीय पदार्थ अधिक प्रबल क्षेत्र की ओर आकर्षित होता है।

19.5.4 प्रतिचुम्बकत्व (Diamagnetism)

प्रतिचुम्बकीय पदार्थों के परमाणुओं का स्थायी चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण नहीं होता है। प्रेरित चुम्बकन की दिशा सदैव आरोपित क्षेत्र के विपरीत होती है, (I सदैव आरोपित क्षेत्र H के विपरीत होता है)। अत: चुम्बकीय प्रवृत्ति सदैव ऋणात्मक होती है।

सूक्ष्मस्तरीय दृष्टि से आप निम्नलिखित उदाहरण की सहायता से इस चुम्बकत्व को जान सकते हैं।

हम किसी परमाणु की एक कक्षा पर विचार करते हैं जिसमें दो इलेक्ट्रॉन हैं। इन इलेक्ट्रॉनों के प्रचक्रण विपरीत हैं। ये इलेक्ट्रॉन कक्षा में समान कक्षीय चाल से लेकिन विपरीत दिशा में गति करते हैं क्योंकि इनके प्रचक्रण विपरीत हैं। एक इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय आघूर्ण दूसरे इलेक्ट्रॉन के चुम्बकीय आघूर्ण के बराबर तथा विपरीत है। अत: परमाणु का कुल चुम्बकीय आघूर्ण शून्य है। माना कि अब हम बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र $\mathbf{B}$ आरोपित करते हैं। इलेक्ट्रॉनों पर अब स्थिरवैद्युत अभिकेन्द्र बल के साथ–साथ एक बल ($e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$)लगेगा। चुम्बकीय क्षेत्र के कारण लगने वाला यह अतिरिक्त बल एक इलेक्ट्रॉन की कक्षीय चाल को बढ़ायेगा तथा दूसरे इलेक्ट्रॉन की कक्षीय चाल को घटायेगा। चुम्बकीय आघूर्ण कक्षीय चाल के अनुक्रमानुपाती होता है। (समीकरण 19.16)।

एक इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय आधूर्ण दूसरे इलेक्ट्रॉन के चुम्बकीय आधूर्ण से अधिक हो जायेगा जिससे परमाणु का नेट चुम्बकीय आधूर्ण होगा। यह प्रेरित चुम्बकीय आधूर्ण है तथा दिशा में सदैव आरोपित क्षेत्र के विपरीत होता है।

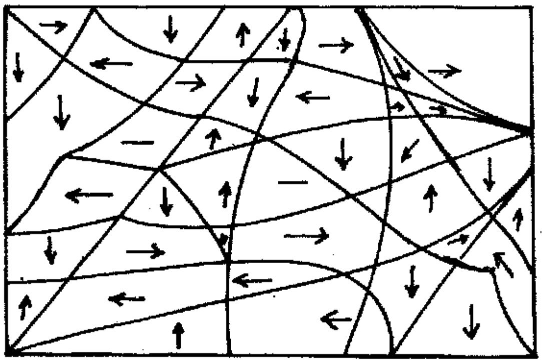
यह प्रतिचुम्बकीय लक्षण है। आप आसानी से समझ सकते हैं कि इस प्रकार का प्रेरित चुम्बकत्व सभी पदार्थों का सार्वत्रिक गुण है। यद्यपि यह प्रभाव पदार्थों में विद्यमान स्थायी चुम्बकीय आधूर्ण की तुलना में बहुत कम हो सकता है। बिस्मथ, तांबा और रजत प्रतिचुम्बकीय पदार्थों के उदाहरण हैं। असमान चुम्बकीय क्षेत्र में प्रतिचुम्बकीय पदार्थ कम प्रबल क्षेत्र की ओर आकर्षित होते हैं।

19.5.5 लोहचुम्बकत्व (Ferromagnetism)

दुर्बल चुम्बकन क्षेत्र में भी रखने पर लोहचुम्बकीय पदार्थ कुछ न कुछ स्थायी चुम्बकीय द्विध्रुव आघुर्ण प्रप्त कर लेते हैं। दुर्बल बाध्य क्षेत्र में भी परमाणु द्विध्रुव एक–दूसरे के समान्तर संरेखित होने को प्रवृत्त होते हैं। द्विध्रुव एक दूसरे से स्वतंत्र नहीं होते हैं। कोई भी द्विध्रुव अपनी निकटतम द्विध्रुव की उपस्थिति को दृढ़ता से महसूस करता है। इस अन्योन्याक्रिया की सही व्याख्या केवल क्वान्टम यांत्रिकी के आधार पर की जा सकती है।

हम लोहचुम्बकीय लक्षण को गुणात्मक रूप से निम्नलिखित पंक्तियों के सहारे समझ सकते हैं।

किसी लोहचुम्बकीय पदार्थ में सूक्ष्म क्षेत्र होते हैं जिन्हें ***डोमेन*** (domains) कहते हैं। किसी डोमेन में सभी चुम्बकीय द्विध्रुव पूर्णरूप से संरेखित होते हैं। डोमेनों का चुम्बकन अधिकतम होता है। लेकिन डोमेन अनियमित रूप से अभिविन्यस्त होते हैं। अत: नमूने (sample) का कुल चुम्बकीय आधूर्ण शून्य होता है। जब हम बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र लगाते हैं, डोमेन थोड़े से घूम जाते हैं और वे क्षेत्र की दिशा में संरेखित हो जाते हैं जिससे परिणामी चुम्बकीय आधूर्ण उत्पन्न हो जाता है।

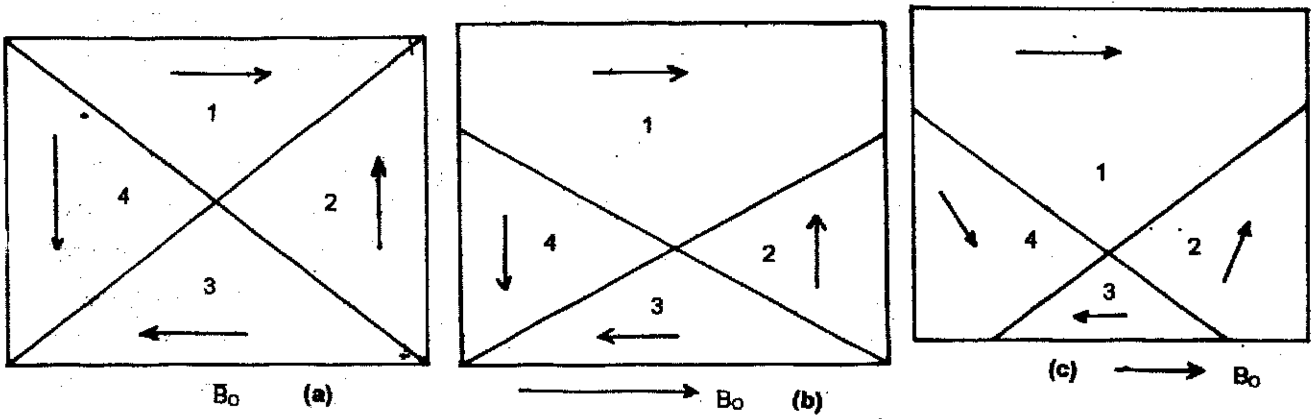


चित्र 19.7: *लोहचुम्बकीय पदार्थ में डोमेन*

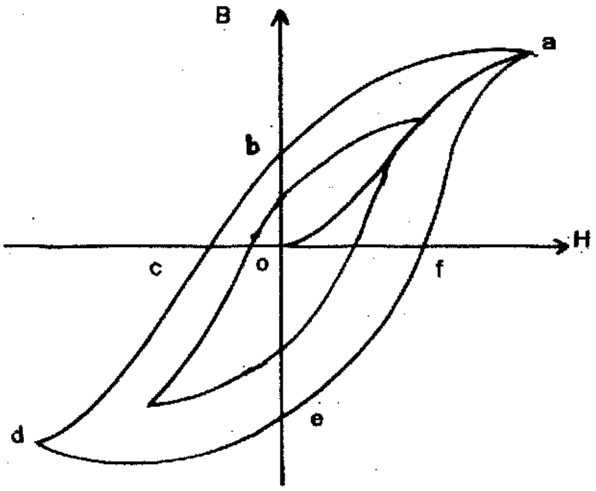
इस क्रिया को चित्र 19.7 में दिखाये सरल आरेख की सहायता से आसानी से समझा जा सकता है।

चित्र 19.8(a) में चार डोमेन दिखाये गये हैं। सरलता की दृष्टि से हम द्विविभीय उदाहरण प्रस्तुत करते हैं। चारों डोमेन आकार में बराबर हैं और इस प्रकार दिष्ट हैं कि नमूने का कुल चुम्बकन शून्य है। चित्र 19.8(b) में बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के लगाने के बाद की स्थिति दिखाई गई है। डोमेन की परिसीमायें (डोमेन दीवार) इस प्रकार से विस्थापित हो गई हैं कि क्षेत्र की दिशा में चुम्बकीय आधूर्ण वाले डोमेन का आकार अन्य डोमेनों की कीमत पर बढ़ गया है। चुम्बकीय क्षेत्र की सामर्थ्य बढ़ाने पर अनुकूल डोमेनों (favourable domains) का केवल आकार ही नहीं बढ़ता है, लेकिन डोमेनों का अभिविन्यास भी थोड़ा–सा बदल

जाता है जिससे अधिक चुम्बकन प्राप्त होता है, चित्र 19.8(c)। बहुत प्रबल आरोपित क्षेत्र के प्रभाव में लगभग सम्पूर्ण आयतन एक ही डोमेन की भांति व्यवहार करता है जिससे संतृप्त (saturated) चुम्बकन उत्पन्न होता है। जब बाह्य क्षेत्र को हटा दिया जाता है, नमूने में नेट चुम्बकन शेष रह जाता है। उच्च क्षमता के सूक्ष्मदर्शी की सहायता से लोहचुम्बकीय नमूने में डोमेन आसानी से देखे जा सकते हैं। यह एक परिकल्पित मॉडल नहीं है, यह एक वास्तविकता है।



ओरोपित क्षेत्र *H* के फलन के रूप में चुम्बकीय क्षेत्र ***B*** को मापने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था की जा सकती है। टोराइडी कुंडली (toroidal coil) में धारा प्रवाहित करके क्षेत्र को उत्पन्न किया जाता है।



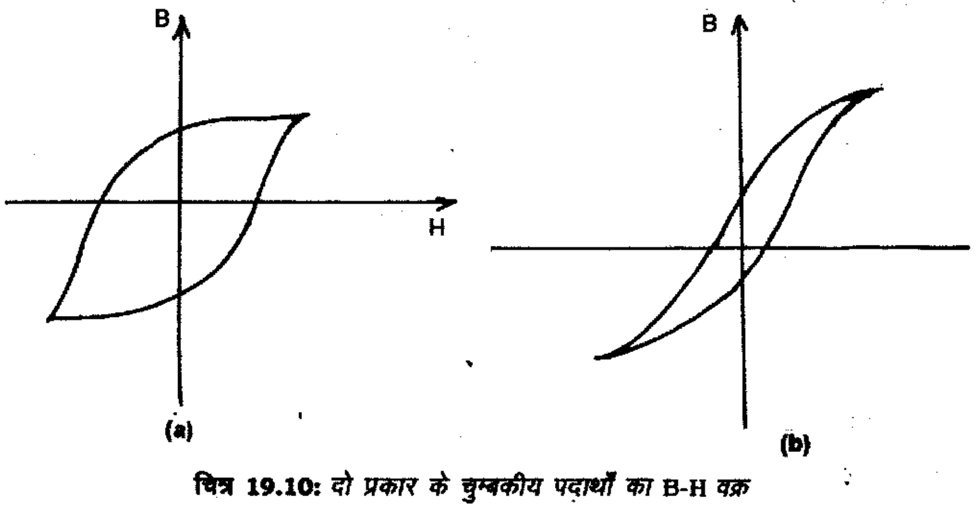
चित्र 19.9: B-H वक्र

चित्र 19.9 में B-H वक्र दिखाया गया है। बिन्दु 'O' पर आरोपित क्षेत्र शून्य है, नमूने में भी कुल क्षेत्र शून्य है। नमूने में डोमेन अनियमित रूप से व्यवस्थित है। *H* को बढ़ाने पर ***B*** क्षेत्र भी बढ़ता है लेकिन रैखिकत: नहीं बढ़ता है जैसा कि वक्र से स्पष्ट है। डोमेन

आरोपित क्षेत्र की दिशा में और अधिक संरेखित होते जाते हैं। बिन्दु 'a' संतृप्ति (saturation) की अवस्था के संगत है जबकि लगभग सभी डोमेन क्षेत्र के साथ संरेखित हो जाते हैं और *H* को बढ़ाने पर भी ***B*** में कोई परिवर्तन नहीं होता है। *H* को धीरे-धीरे घटाकर और आरोपित क्षेत्र की दिशा को व्युत्क्रमित करके चुम्बकीय क्षेत्र को ***B*** शून्य पर लाया जाता है। वक्र से आप देख सकते हैं कि जब *H* शून्य हो जाता है तब ***B*** भी शून्य नहीं होता है। (बिन्दु b)। बिन्दु c के संगत ***B*** को शून्य करने के लिये ***H*** की दिशा को व्युत्क्रमित करना पड़ता है। चुम्बकीय क्षेत्र 'ob' को *स्थायी चुम्बकन* (permanent magnetization) कहते हैं। व्युत्क्रम दिशा में आरोपित क्षेत्र ***H*** का मान (वक्र में OC) जो ***B*** को शून्य करता है, नमूने की *निग्राहिता* (coercivity) कहलाता है। व्युत्क्रम दिशा में ***H*** को पुन: बढ़ाने पर नमूना बिन्दु 'd' एक संतृप्ति बिन्दु पर आ जाता है। ***H*** के मान को ध ीरे-- धीरे घटाने पर और फिर दिशा को पुन: व्युत्क्रमित करने पर और फिर ***H*** को बढ़ाने पर नमूना पुनः बिन्दु 'a' पर आ जाता है।

H के बहुत छोटे मानों के सिवाय B-H वक्र अपने पथ को फिर से अनुरेखित नहीं करता है जैसा कि चित्र......... में दिखाया गया है। B-H वक्र से घिरा हुआ एक परिमित क्षेत्रफल सदैव विद्यमान रहता है। लोहचुम्बकीय पदार्थ द्वारा प्रदर्शित इस प्रकार का व्यवहार *चुम्बकीय शैथिल्य* (magnetic hysteresis) कहलाता है। B-H वक्र को लोहचुम्बकीय पदार्थ का शैथिल्य वक्र कहते हैं। यह दिखाया जा सकता है कि शैथिल्य वक्र का क्षेत्रफल पदार्थ को शैथिल्य चक्र से होकर ले जाने के लिए आवश्यक ऊर्जा (ऊर्जा क्षय) के बराबर होता है।

लोहचुम्बकीय पदार्थ का B-H वक्र विशिष्ट प्रयोजन के लिए पदार्थों के चयन में बहुत उपयोगी है।



चित्र 19.10: *दो प्रकार के चुम्बकीय पदार्थों का B-H वक्र*

चित्र 19.10(a) में दिखाये गये B-H वक्र वाला पदार्थ स्थायी चुम्बक बनाने के लिए उपयुक्त होता है। ऐसे पदार्थ *कठोर लोहचुम्बकीय पदार्थ* कहलाते हैं। कुछ युक्तियों में धारा की दिशा आवृत्ति के साथ बदलती है। इसका एक बहुत सामान्य उदाहरण ट्रान्सफार्मर है। ट्रांसफार्मर की क्रोड *नर्म लोहचुम्बकीय पदार्थ* की होती है जिसका B-H वक्र बहुत दुबला

(thin) होता है जैसा कि चित्र 19.10(b) में दिखाया गया है। शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल कम होता है जो यह बताता है कि प्रति चक्र ऊर्जा क्षय बहुत कम होता है।

जब लोहचुम्बकीय पदार्थ का ताप एक निश्चित क्रांतिक मान से अधिक हो जाता है, पदार्थ अनुचुम्बकीय हो जाता है। यह क्रांतिक ताप *क्यूरी ताप* T_C कहलाता है।

क्यूरी ताप T_C से नीचे ताप पर पदार्थ लोहचुम्बकीय होता है और T_C से ऊपर ताप पर यह अनुचुम्बकीय हो जाता है। उच्चतर तापों पर ऊष्मीय ऊर्जा द्विध्रुवों को अनियमित व्यवस्थित करने के लिए पर्याप्त रूप से अधिक होती है जिससे पदार्थ अनुचुम्बकीय हो जाता है।

लोहा, निकिल तथा कोबाल्ट लोहचुम्बकीय पदार्थों के उदाहरण हैं। कुछ अन्य पदार्थ भी हैं जो प्रति लोहचुम्बकीय (anti ferrromagnetic) तथा लघु लोहचुम्बकीय (ferrimagnetic) कहलाते हैं। उनकी व्याख्या इस पुस्तक की सीमा के बाहर है।

तालिका 19.2: लोहचुम्बकीय पदार्थ और उनके क्यूरी ताप

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

उदाहरण 19.2: *20 सेमी माध्य त्रिज्या तथा 630 फेरों वाली एक टोराइडी परिनालिका में स्टील पाउडर भरा हुआ है जिसकी चुम्बकीय प्रवृत्ति 100 है। यदि कुंडली में धारा 3 एम्पियर हो तो* ***B*** *की गणना कीजिए।*

हल :

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$H = nI = \frac{630 \times 3}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}} = \frac{63 \times 3 \times 100}{4 \times \pi}$$

$$= \frac{63 \times 75}{\pi} \text{ एम्पियर – टर्न/मीटर}$$

$$B = K_m H = \mu_0 (1 \times \chi) H = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 101 \times 63 \times 75}{\pi}$$

$$= 10^{-7} \times 404 \times 63 \times 75 \text{ टेसला} = 191 \text{ मिली टेसला}$$

उदाहरण 19.3: *चुम्बकीय आघूर्ण का न्यूनतम मान बोर मैगनेटॉन $\mu_B = \frac{eh}{2\pi m}$ कहलाता है। यह एक मूल स्थिरांक है। इसके मान की गणना कीजिए।*

हल:

$$\mu_B = \frac{eh}{2\pi m} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 6.6 \times 10^{-34}}{2 \times \pi \times 9.1 \times 10^{-31}}$$

$= 9.2 \times 10^{-24}$ जूल/टेसला

पाठगत प्रश्न 19.3

1. *मानो कि कोई व्यक्ति यह सिद्धान्त प्रस्तुत करता है कि पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र उसकी पिघली हुई लोहे की क्रोड के स्थायी चुम्बकन के कारण है। क्या आप इस सिद्धान्त को स्वीकार करेंगे? अपने उत्तर का कारण दीजिए।*

   ....

2. *(a) विद्युत्–चुम्बक (b) स्थायी चुम्बक बनाने के लिए किस प्रकार के पदार्थ प्रयुक्त किये जाते हैं?*

   ....

3. *प्रतिचुम्बकीय, अनुचुम्बकीय, लोहचुम्बकीय पदार्थों में से प्रत्येक का एक उदाहरण दीजिए।*

   ....

4. *हाइड्रोजन परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन 0.53Å त्रिज्या की एक कक्षा में 2.3×10^6 मीटर–सेकेंड$^{-1}$ की चाल से गति कर रहा है। हाइड्रोजन परमाणु के चुम्बकीय आघूर्ण की गणना कीजिए।*

   ....

5. *प्रतिचुम्बकीय, अनुचुम्बकीय, लोहचुम्बकीय पदार्थों के बीच अन्तर का एक बिन्दु दीजिए।*

   ....

19.6 आपने क्या सीखा

- चुम्बकें प्राकृतिक अथवा कृत्रिम और अस्थायी अथवा स्थायी हो सकती हैं।
- प्रत्येक चुम्बक के दो ध्रुव होते हैं। किसी चुम्बक के दो ध्रुवों को अलग–अलग नहीं किया जा सकता।

- पद चुम्बकीय द्विध्रुव यह अर्थ प्रकट करता है (i) द्विध्रुव आघूर्ण $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{ml}$ वाला एक चुम्बक, अथवा (ii) द्विध्रुव आघूर्ण $\boldsymbol{M} = NI\boldsymbol{A}$ वाली एक धारावाही कुंडली।

- चुम्बकीय द्विध्रुव की अक्ष पर चुम्बकीय क्षेत्र $\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\boldsymbol{M}}{x^3}$ द्वारा और निरक्षीय रेखा पर $\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\boldsymbol{M}}{x^3}$ द्वारा दिया जाता है।

- एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में कोई चुम्बकीय द्विध्रुव उसी भांति व्यवहार करता है जिस भांति एक समान वैद्युत क्षेत्र में कोई वैद्युत द्विध्रुव करता है, अर्थात् यह कोई नेट बल का अनुभव नहीं करता है लेकिन एक बल–आघूर्ण $\tau = \boldsymbol{M} \times \boldsymbol{B}$ का अनुभव करता है। पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र होता है जिसका पूर्णरूप से वर्णन तीन आधारभूत राशियों के पदों में किया जा सकता है। ये राशियां भू-चुम्बकीय क्षेत्र के अवयव **(elements)** कहलाती हैं। ये राशियां हैं :

  (i) आनति कोण (या नति कोण)
  (ii) दिक्पात का कोण
  (iii) भू–चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक।

- चुम्बकीय क्षेत्रों में पदार्थों के व्यवहार के आधार पर उनको मुख्य रूप से तीन वर्गों में बांटा जा सकता है।

  (i) प्रतिचुम्बकीय पदार्थ जैसे बिस्मथ, तांबा, रजत जो चुम्बकों द्वारा अल्पशक्ति से प्रतिकर्षित होते हैं।

  (ii) अनुचुम्बकीय पदार्थ जैसे क्रोमियम, मैग्नेशियम जो चुम्बकों द्वारा अल्पशक्ति से आकर्षित होते हैं।

  (iii) लोहचुम्बकीय पदार्थ जैसे लोहा, निकिल, कोबाल्ट जो चुम्बकों द्वारा प्रबल रूप से आकर्षित होते हैं।

- क्यूरी के नियमानुसार, किसी पदार्थ की चुम्बकन की तीव्रता

  $$I = \frac{CB}{T}$$

  जहां C = क्यूरी स्थिरांक, T = केल्विन मापक्रम में पदार्थ का ताप

  तथा $\boldsymbol{B}$ पदार्थ में नेट चुम्बकीय क्षेत्र।

- पदार्थों के चुम्बकीय व्यवहार की व्याख्या चुम्बकीय आघूर्णों के पदों में की जा सकती है जो परमाणुओं में इलेक्ट्रॉनों की गति के कारण विकसित होता है।

- किसी पदार्थ के चुम्बकीय व्यवहार का वर्णन करने में प्रयुक्त राशियां हैं : चुम्बकीय प्रवृत्ति, चुम्बकशीलता और चुम्बकन।

19.7 पाठांत प्रश्न

1. किसी पदार्थ का एक छोटा टुकड़ा एक चुम्बक के समीप लाया जाता है। हां या नहीं लिखकर रिक्त स्थान को भरकर निम्न की पूर्ति कीजिए।

पदार्थ	प्रतिकर्षण	आकर्षण	
		दुर्बल	प्रबल
प्रतिचुम्बकीय			
अनुचुम्बकीय			
लोहचुम्बकीय			

2. आपको एक बॉक्स में दो एक समान दण्ड चुम्बकों को एक साथ पास–पास रखना है। आप किस प्रकार रखेंगे और क्यों?

N	S
N	S

अथवा

N	S
S	N

3. दो ध्रुवों के बीच चुम्बकीय बल 80 मात्रक है। ध्रुवों के बीच की दूरी को दुगुना कर दिया जाता है। उनके बीच बल का मान क्या होगा?

4. उत्तरी गोलार्ध में किसी स्थान पर नति कोण 40° है। यदि आप भूमध्य रेखा से बहुत दूर किसी स्थान तक गति करें तो नति कोण का मान किस प्रकार बदलेगा?

5. किसी दण्ड चुम्बक की लम्बाई 10 सेमी है और अनुप्रस्थ परिच्छेद का क्षेत्रफल 1.0 सेमी^{2} है। चुम्बकन $I = 10^2$ एम्पियर/मीटर है। ध्रुव सामर्थ्य की गणना कीजिए।

6. दो सर्वसम (identical) दण्ड चुम्बकों के सिरों को मिलाकर उत्तरी ध्रुवों को आमने सामने करके उनको एक ही रेखा पर रखा जाता है। बल रेखायें खींचिए। कोई अन्य क्षेत्र मौजूद नहीं है।

7. वे बिन्दु, जहां किसी चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र भू–चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के बराबर और विपरीत होता है, उदासीन बिन्दु (neutral points) कहलाते हैं।

   (a) उदासीन बिन्दुओं को निर्धारित कीजिए जब किसी दण्ड चुम्बक को उसके उत्तरी ध्रुव को उत्तरी दिशा में करके चुम्बकीय याम्योत्तर में रखा जाता है।

   (b) उदासीन बिन्दुओं को निर्धारित कीजिए जब किसी दण्ड चुम्बक को उसके उत्तरी ध्रुव को दक्षिण दिशा में करके चुम्बकीय याम्योत्तर में रखा जाता है।

8. यदि 10 सेमी लम्बी एक दण्ड चुम्बक को 5 सेमी लम्बाई के दो बराबर टुकड़ों में काटा जाये तो पहली चुम्बक की तुलना में नई दण्ड चुम्बक की ध्रुव सामर्थ्य क्या होगी?

9. 10 सेमी लम्बी एक दण्ड चुम्बक की ध्रुव सामर्थ्य 10 एम्पियर मीटर है। दण्ड चुम्बक के मध्य बिन्दु से 30 सेमी दूर अक्ष पर स्थित एक बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात कीजिए।

प्रश्नों के उत्तर मिलाइए

पाठगत प्रश्न 19.1

1. चुम्बक के द्रव्यमान–केन्द्र से धागे को बांधकर, धागे की सहायता से चुम्बक को लटकाइये। इसे साम्य स्थिति में ठहरने दीजिये। चुम्बक का जो सिरा भौगोलिक उत्तर दिशा की ओर होगा, वह उसका उत्तरी ध्रुव वाला सिरा होगा।

2. किन्हीं दो छड़ों के सिरों को एक साथ पास–पास लाइये। यदि उनके बीच आकर्षण होता है तो उनमें से एक छड़ चुम्बक होगी तथा दूसरी छड़ लोहचुम्बकीय पदार्थ की होगी। अब इनमें से एक छड़ को मेज पर रख दीजिये और दूसरी छड़ से इसकी लम्बाई के अनुदिश थपथपाइये। यदि एक समान बल का अनुभव होता है तो हाथ में पकड़ी गई छड़ चुम्बक होगी और मेज पर रखी हुई छड़ लोहचुम्बकीय पदार्थ की बनी होगी। यदि असमान बल का अनुभव होता है तो स्थिति इसके विपरीत होगी।

   यदि दो छड़ों के बीच कोई आकर्षण नहीं होता है तो तीसरी छड़ चुम्बक होगी। चुम्बक के द्वारा आकर्षित होने वाली छड़ लोहचुम्बकीय होगी और चुम्बक के द्वारा आकर्षित न होने वाली छड़ अचुम्बकीय होगी।

3. दण्ड चुम्बकों में किसी एक को धागे से लटकाकर उसका दक्षिणी ध्रुव ज्ञात कीजिए। दूसरी चुम्बक का जो सिरा पहली चुम्बक के दक्षिणी सिरे से प्रतिकर्षित होगा, वह उसका दक्षिणी ध्रुव होगा।

4. $IA = ml \rightarrow 0.5 \times 0.2 \times 0.1 = m \times 0.1$

   $\rightarrow m = 0.10$ एम्पियर मीटर।

पाठगत प्रश्न 19.2

1. क्षेत्र रेखायें भूमि से बाहर आती प्रतीत होंगी क्योंकि पृथ्वी के क्षेत्र का चुम्बकीय उत्तरी ध्रुव उस स्थान के पास है और क्षेत्र रेखायें उत्तरी ध्रुव से बाहर निकलती हैं।

2. केवल एक उदासीन बिन्दु प्राप्त होगा।

3. बीजिंग में, क्योंकि यह ध्रुव के अधिक निकट है।

4. $B_H = \frac{\sqrt{3}}{2} B_V$

   $$B\cos\theta = \frac{\sqrt{3}}{2}\, B\sin\theta$$

$$\tan\theta = \frac{2}{\sqrt{3}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{2}{\sqrt{3}} = 34^\circ\ 35'$$

पाठगत प्रश्न 19.3

1. नहीं, क्यों कि लोहे के लिए क्युरी ताप 770°C है तथा क्रोड पर ताप इससे बहुत अधिक होता है जिस पर कोई चुम्बकत्व नहीं रह सकता है।

2. (a) कम धारण क्षमता तथा अधिक चुम्बक-शीलता वाला नर्म लोहा अथवा अन्य पदार्थ।

   (b) कम धारण क्षमता तथा अधिक चुम्बक-शीलता वाला कार्बन स्टील अथवा अन्य पदार्थ।

3. प्रतिचुम्बक पदार्थ – सिल्वर

   अनु चुम्बक पदार्थ – क्रोमियम

   लोह चुम्बक पदार्थ – लोहा

4. $M = IA = ne\pi r^2 = \frac{ve}{2\pi r}\pi r^2 = \frac{ver}{2} = 10^{-3}\ \mathrm{Am^2}$