अध्याय 5

चुंबकत्व एवं द्रव्य



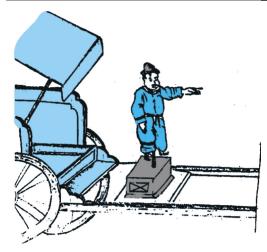
5.1 भूमिका

चुंबकीय परिघटना प्रकृति में सार्वभौमिक है। विशाल दूरस्थ गैलेक्सियाँ, अतिसूक्ष्म अदृश्य परमाणु, मनुष्य और जानवर, सबमें भाँति-भाँति के स्रोतों से उत्पन्न भाँति-भाँति के चुंबकीय क्षेत्र व्याप्त हैं। भू-चुंबकत्व, मानवीय विकास से भी पूर्व से अस्तित्व में है। 'चुंबक' शब्द यूनान के एक द्वीप मैग्नेशिया के नाम से व्युत्पन्न है, जहाँ बहुत पहले 600 ईसा पूर्व चुंबकीय अयस्कों के भंडार मिले थे। इस द्वीप के गड़िरयों ने शिकायत की कि उनके लकड़ी के जूते (जिनमें कीलें लगी हुई थीं), कई बार जमीन से चिपक जाते थे। लोहे की टोपी चढ़ी उनकी लाठी भी इसी प्रकार प्रभावित होती थीं। चुंबकों के इस आकर्षित करने वाले गुण ने उनका घूमना-फिरना दूभर बना दिया था।

चुंबकों का दैशिक गुण भी प्राचीन काल से ज्ञात था। चुंबक का एक पतला लंबा टुकड़ा, स्वतंत्रतापूर्वक लटकाए जाने पर, हमेशा उत्तर-दक्षिण दिशा के अनुदिश ठहरता था। ऐसा ही व्यवहार तब भी देखने में आता था जब इसको एक कॉर्क के ऊपर रख कर, उसको ठहरे हुए पानी में तैराया जाता था। प्राकृतिक रूप से पाए जाने वाले लोहे के एक अयस्क मैंग्नेटाइट का एक नाम लोडस्टोन है, जिसका अर्थ है लीडिंग स्टोन अर्थात मार्गदर्शक पत्थर। इस गुण के तकनीकी उपयोग का श्रेय आमतौर पर चीनियों को दिया जाता है। 400 ईसा पूर्व की चीनी पाठ्यपुस्तकों में नौकायन में दिशा ज्ञान के लिए चुंबकीय सुइयों के उपयोग का ज़िक्र है। गोबी रेगिस्तान को पार करने वाले काफ़िले भी चुंबकीय सुइयों का उपयोग करते थे।

एक चीनी आख्यान में, लगभग 4000 वर्ष पुरानी, सम्राट ह्वेंग-ती की विजय गाथा है, जिसमें उसको अपने शिल्पकारों (जिन्हें आज की भाषा में आप इंजीनियर कहते हैं) के कारण विजय प्राप्त

भौतिकी



चित्र 5.1 रथ पर स्थापित प्रतिमा का हाथ हमेशा दक्षिण की ओर संकेत करता है। यह एक कलाकार द्वारा बनाया गया आरेख है, जिसमें एक प्राचीनतम ज्ञात कंपास दिखाया गया है, जो हजारों साल पुराना है।

हुई थी। इन 'इंजीनियरों' ने एक रथ बनाया जिस पर उन्होंने चुंबक की बनी हुई एक प्रतिमा लगाई, जिसका एक हाथ बाहर फैला हुआ था। चित्र 5.1 में इस रथ का एक चित्रकार द्वारा दिया गया विवरण है। रथ पर लगी हुई प्रतिमा इस तरह घूम जाती थी कि उसकी अँगुली हमेशा दक्षिण की ओर संकेत करे। इस रथ के सहारे, घने कोहरे में ह्वेंग-ती की फ़ौजें दुश्मन के पीछे पहुँच गई और आक्रमण कर उन्हें हरा दिया।

पिछले अध्याय में हमने सीखा कि गतिशील आवेश या विद्युत धारा चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। यह खोज जो उन्नीसवीं शताब्दी के पूर्वार्द्ध में की गई थी, इसका श्रेय ऑस्टेंड, ऐम्पियर, बायो एवं सावर्ट तथा अन्य कुछ लोगों को दिया जाता है।

प्रस्तुत अध्याय में हम चुंबकत्व पर एक स्वतंत्र विषय के रूप में दृष्टि डालेंगे।

चुंबकत्व संबंधी कुछ आम विचार इस प्रकार हैं-

- (i) पृथ्वी एक चुंबक की भाँति व्यवहार करती है जिसका चुंबकीय क्षेत्र लगभग भौगोलिक दक्षिण से उत्तर की ओर संकेत करता है।
- (ii) जब एक छड़ चुंबक को स्वतंत्रतापूर्वक लटकाया या शांत पानी पर तैराया जाता है तो यह उत्तर-दक्षिण दिशा में ठहरता है। इसका वह सिरा जो भौगोलिक उत्तर की ओर संकेत करता है, उत्तरी ध्रुव और जो भौगोलिक दक्षिण की ओर संकेत करता है, चुंबक का दिक्षणी ध्रुव कहलाता है।
- (iii) दो पृथक-पृथक चुंबकों के दो उत्तरी ध्रुव (या दो दक्षिणी ध्रुव) जब पास-पास लाए जाते हैं तो वे एक-दूसरे को विकर्षित करते हैं। इसके विपरीत, एक चुंबक के उत्तर और दूसरे के दक्षिण ध्रुव एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं।
- (iv) किसी चुंबक के उत्तर और दक्षिण ध्रुवों को अलग-अलग नहीं किया जा सकता। यदि किसी छड़ चुंबक को दो भागों में विभाजित किया जाए तो हमें दो छोटे अलग-अलग छड़ चुंबक मिल जाएँगे, जिनका चुंबकत्व क्षीण होगा। वैद्युत आवेशों की तरह, विलगित चुंबकीय उत्तरी तथा दिक्षणी ध्रुवों जिन्हें चुंबकीय एकध्रुव कहते हैं, का अस्तित्व नहीं है।
- (v) लौह और इसकी मिश्र-धातुओं से चुंबक बनाने संभव हैं।

इस अध्याय में हम एक छड़ चुंबक और एक बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में इसके व्यवहार के वर्णन से प्रारंभ करेंगे। हम चुंबकत्व संबंधी गाउस का नियम बताएँगे। इसके बाद पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का विवरण देंगे। उसके बाद यह बताएँगे कि चुंबकीय गुणों के आधार पर पदार्थों का वर्गीकरण कैसे किया जाता है और फिर अनुचुंबकत्व, प्रतिचुंबकत्व तथा लौह-चुंबकत्व का वर्णन करेंगे और अंत में वैद्युत-चुंबक एवं स्थायी चुंबकों पर एक अनुभाग के साथ इसका समापन करेंगे।

5.2 छड़ चुंबक

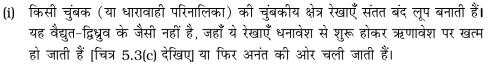
प्रसिद्ध भौतिक विज्ञानी अल्बर्ट आइंसटीन के अति प्रारंभिक बचपन की स्मृतियों में से एक उस चुंबक से जुड़ी थी, जो उन्हें उनके एक संबंधी ने भेंट किया था। आइंसटीन उससे चमत्कृत हो गए थे और उससे खेलते हुए कभी थकते नहीं थे। उनको आश्चर्य होता था कि कैसे एक चुंबक उन कीलों और पिनों को अपनी ओर खींच लेती थी, जो उससे दूर रखे थे और किसी स्प्रिंग या धागे द्वारा उससे जुड़े भी नहीं थे।

चुंबकत्व एवं द्रव्य

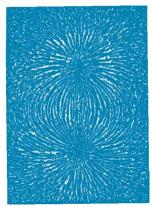
हम अपने अध्ययन की शुरुआत लौह रेतन से करते हैं जो एक छोटे छड़ चुंबक के ऊपर रखी गई काँच की शीट पर छिड़का गया है। लौह रेतन की यह व्यवस्था चित्र 5.2 में दर्शायी गई है। लौह रेतन के पैटर्न यह इंगित करते हैं कि चुंबक के दो ध्रुव होते हैं, वैसे ही जैसे वैद्युत द्विध्रुव के धनात्मक एवं ऋणात्मक आवेश। जैसा कि पहले भूमिका में बताया जा चुका है, एक ध्रुव को उत्तर और दूसरे को दिक्षण ध्रुव कहते हैं। जब छड़ चुंबक को स्वतंत्रतापूर्वक लटकाया जाता है तो ये ध्रुव क्रमश: लगभग भौगोलिक उत्तरी एवं दिक्षणी ध्रुवों की ओर संकेत करते हैं। लौह रेतन का इसी से मिलता-जुलता पैटर्न एक धारावाही परिनालिका के इर्द-गिर्द भी बनता है।

5.2.1 चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ

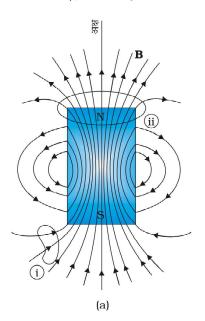
लौह रेतन के बने पैटनों के आधार पर हम चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ खींच सकते हैं। चित्र 5.3 में यह छड़ चुंबक और धारावाही परिनालिका, दोनों के लिए दर्शाया गया है। तुलना के लिए अध्याय एक चित्र 1.17(d) देखिए। विद्युत द्विध्रुव की वैद्युत बल रेखाएँ चित्र 5.3(c) में भी दर्शायी गई हैं। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ, चुंबकीय क्षेत्र का दृश्य और अंतर्दृष्टिपरक प्रस्तुतीकरण हैं। इनके गुण हैं:

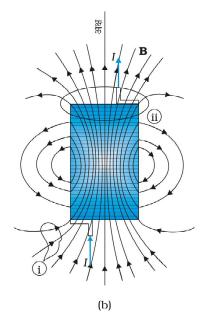


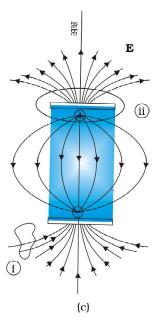
(ii) क्षेत्र रेखा के किसी बिंदु पर खींची गई स्पर्श रेखा उस बिंदु पर परिणामी चुंबकीय क्षेत्र **B** की दिशा बताती है।



चित्र 5.2 एक छड़ चुंबक के इर्द-गिर्द लौह रेतन की व्यवस्था। यह पैटर्न चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं की अनुकृति है। ये इंगित करते हैं कि छड़ चुंबक एक चुंबकीय द्विध्रुव है।







चित्र 5.3 क्षेत्र रेखाएँ (a) एक छड़ चुंबक की (b) एक सीमित आकार वाली धारावाही परिनालिका की, और (c) एक वैद्युत द्विध्रुव की। बहुत अधिक दूरी पर तीनों रेखा समुच्चय एक से हैं। ① एवं ① अंकित वक्र, बंद गाउसीय पृष्ठ हैं।

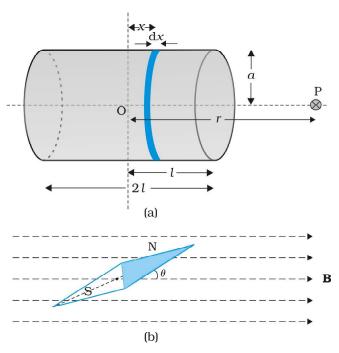
कुछ पाठ्यपुस्तकों में चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं को चुंबकीय बल रेखाएँ कहा गया है। इस नामावली से बचना उचित होगा क्योंिक यह भ्रामक है। स्थिरवैद्युत के विपरीत चुंबकत्व में क्षेत्र रेखाएँ (गितमान) आवेश पर बल की दिशा की सूचक नहीं हैं।

- (iii) क्षेत्र के लंबवत रखे गए तल के प्रति इकाई क्षेत्रफल से जितनी अधिक क्षेत्र रेखाएँ गुजरती हैं, उतना ही अधिक उस स्थान पर चुंबकीय क्षेत्र **B** का परिमाण होता है। चित्र 5.3 (a) में, क्षेत्र (ii) के आसपास **B** का परिमाण क्षेत्र (i) की तुलना में अधिक है।
- (iv) चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ एक-दूसरे को काटती नहीं हैं। ऐसा इसलिए है क्योंकि इस स्थिति में कटान बिंदू पर चुंबकीय क्षेत्र की दिशा एक ही नहीं रह जाती।

आप चाहें तो कई तरह से चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ आलेखित कर सकते हैं। एक तरीका यह है कि भिन्न-भिन्न जगहों पर एक छोटी चुंबकीय कंपास सुई रिखए और इसके दिक्विन्यास को अंकित कीजिए। इस तरह आप चुंबक के आस-पास विभिन्न बिंदुओं पर चुंबकीय क्षेत्र की दिशा जान सकेंगे।

5.2.2 छड़ चुंबक का एक धारावाही परिनालिका की तरह व्यवहार

पिछले अध्याय में हमने यह समझाया है कि किस प्रकार एक धारा लूप एक चुंबकीय द्विध्रुव की तरह व्यवहार करता है (अनुभाग 4.10 देखिए)। हमने ऐम्पियर की इस परिकल्पना का जिक्र भी



चित्र 5.4 (a) एक सीमित परिनालिका के अक्षीय क्षेत्र का परिकलन, तािक इसकी छड़ चुंबक से साम्यता प्रदर्शित की जा सके। (b) एक समान चुंबकीय क्षेत्र **B** में रखी हुई चुंबकीय सूई। यह प्रबंध चुंबकीय क्षेत्र **B** अथवा चुंबकीय आधूर्ण **m** का आकलन करने में सहायक है।

किया था कि सभी चुंबकीय परिघटनाओं को परिवाही धाराओं के प्रभावों के रूप में समझाया जा सकता है। याद कीजिए कि किसी धारावाही लूप से जुड़े चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण \mathbf{m} की परिभाषा $\mathbf{m} = NI\mathbf{A}$ से दी जाती है, जहाँ N लूप में फेरों की संख्या, I धारा एवं \mathbf{A} क्षेत्रफल-सदिश है [समीकरण (4.30) देखिए]।

एक छड़ चुंबक की चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं की, एक धारावाही परिनालिका की चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं से साम्यता यह सुझाती है कि जैसे परिनालिका बहुत-सी परिवाही धाराओं का योग है वैसे ही छड़ चुंबक भी बहुत-सी परिसंचारी धाराओं का योग हो सकता है। एक छड़ चुंबक के दो बराबर टुकड़े करना वैसा ही है जैसे एक परिनालिका को काटना। जिससे हमें दो छोटी परिनालिकाएँ मिल जाती हैं जिनके चुंबकीय क्षेत्र अपेक्षाकृत क्षीण होते हैं। क्षेत्र रेखाएँ संतत बनी रहती हैं, एक सिरे से बाहर निकलती हैं और दूसरे सिरे से अंदर प्रवेश करती हैं। एक छोटी चुंबकीय कंपास सुई को एक छड़ चुंबक एवं एक धारावाही सीमित परिनालिका के पास एक जगह से दूसरी जगह ले जाकर यह देखा जा सकता है कि दोनों के लिए चुंबकीय सुई में विक्षेपण एक जैसा है और इस तरह इस साम्यता का परीक्षण आसानी से किया जा सकता है।

इस साम्यता को और अधिक सुदृढ़ करने के लिए हम चित्र 5.4 (a) में दर्शायी गई सीमित परिनालिका के

अक्षीय क्षेत्र की गणना करते हैं। हम यह प्रदर्शित करेंगे कि बहुत अधिक दूरी पर यह अक्षीय क्षेत्र छड़ चुंबक के अक्षीय क्षेत्र जैसा ही है।

माना कि चित्र 5.4 (a) में दर्शायी गई धारावाही परिनालिका की प्रति इकाई लंबाई में n फेरे हैं और इसकी त्रिज्या 'a' है। माना इसकी लंबाई 2l है। परिनालिका के केंद्र से r दूरी पर (बिंदु P) हम अक्षीय क्षेत्र ज्ञात कर सकते हैं। यह करने के लिए, परिनालिका का एक छोटा वृत्ताकार अंश dx मोटाई का लेते हैं जो इसके केंद्र से x दूरी पर है। इसमें ndx फेरे हैं। माना कि परिनालिका में I धारा प्रवाहित हो रही है। पिछले अध्याय के अनुभाग 4.6 में हमने एक वृत्ताकार लूप के अक्ष

पर चुंबकीय क्षेत्र की गणना की थी। समीकरण (4.17) के अनुसार, वृत्ताकार अंश के कारण बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण

$$dB = \frac{\mu_0 n \, dx \, I \, a^2}{2[(r-x)^2 + a^2]^{\frac{3}{2}}}$$

कुल क्षेत्र का परिमाण प्राप्त करने के लिए ऐसे सभी अंशों के योगदान जोड़ने होंगे। दूसरे शब्दों $\dot{x} = -l$ से $\dot{x} = +l$ तक समाकलन करना होगा।

$$B = \frac{\mu_0 n I \alpha^2}{2} \int_{-l}^{l} \frac{dx}{[(r-x)^2 + \alpha^2]^{3/2}}$$

यह समाकलन त्रिकोणिमतीय प्रतिस्थापन द्वारा किया जा सकता है। किंतु, हमारा उद्देश्य पूरा करने के लिए ऐसा करना आवश्यक नहीं है। ध्यान दें कि x का परास -l से +l तक है। धारावाही पिरनालिका के बहुत दूर स्थित अक्षीय बिंदु के लिए r>>a एवं r>>l। तब भिन्न में हर का लगभग मान हो जाएगा :

$$\begin{aligned} & [(r-x)^2 + a^2]^{\frac{3}{2}} \approx r^3 \\ & \text{ wit } B = \frac{\mu_0 \, n \, I \, a^2}{2 \, r^3} \int_{-l}^{l} dx \\ & = \frac{\mu_0 \, n \, I}{2} \, \frac{2 \, l \, a^2}{r^3} \end{aligned} \tag{5.1}$$

ध्यान दीजिए कि धारावाही परिनालिका के चुंबकीय आघूर्ण का परिमाण $m=n\left(2l\right)I\left(\pi\alpha^{2}\right)$ [अर्थात कुल फेरों की संख्या \times धारा \times अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल]। अत:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m}{r^3} \tag{5.2}$$

यही समीकरण छड़ चुंबक की अक्ष पर दूर स्थित बिंदु के लिए भी है जिसे कोई भी प्रयोगात्मक विधि से प्राप्त कर सकता है। इस प्रकार, छड़ चुंबक और धारावाही परिनालिका एक जैसे चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं। अत: एक छड़ चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण, उतना ही चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने वाली समतुल्य धारावाही परिनालिका के चुंबकीय आघूर्ण के बराबर है।

कुछ पाठ्यपुस्तकें 2l लंबाई के एक छड़ चुंबक के उत्तर ध्रुव के लिए एक चुंबकीय आवेश $+q_m$ एवं दक्षिण (इसे ध्रुव शक्ति कहते हैं) ध्रुव के लिए $-q_m$ नियत करके इसका चुंबकीय आघूर्ण $+q_m(2l)$ नियत करती हैं। r दूरी पर q_m के कारण क्षेत्र की तीव्रता $\mu_0 q_m / 4\pi r^2$ होगी और तब अक्षीय एवं अनुप्रस्थ दोनों स्थितियों में इस छड़ चुंबक के कारण चुंबकीय क्षेत्र उसी प्रकार ज्ञात किया जा सकता है जैसा कि वैद्युत द्विध्रुव के लिए किया गया था (देखिए अध्याय 1)। यह तरीका सरल भी है और आकर्षक भी। v एत्ं, v चंबकीय एकध्रुवों का अस्तित्व तो होता नहीं, इसिलए, हमने इस प्रस्तुति-विधि का उपयोग नहीं किया है।

5.2.3 एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में द्विध्रुव

लौह रेतन (iron filling) से बने पैटर्न अर्थात चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ हमें चुंबकीय क्षेत्र $\bf B$ का एक सिन्तकट मान बताते हैं। प्राय: हमें $\bf B$ का सही-सही मान जानने की आवश्यकता होती है। इसके लिए हम एक पतली चुंबकीय सुई का, जिसका चुंबकीय आघूर्ण $\bf m$ एवं जड़त्वाघूर्ण $\bf I$ ज्ञात हों, इस चुंबकीय क्षेत्र में दोलन कराते हैं। यह व्यवस्था चित्र $\bf 5.4$ (b) में दर्शायी गई है।

चुंबकीय सुई पर बलआघुर्ण [समीकरण (4.29) देखिए]

$$\tau = \mathbf{m} \times \mathbf{B} \tag{5.3}$$

जिसका परिमाण $\tau = mB \sin \theta$

यहाँ τ प्रत्यानयन आघूर्ण है तथा कोण θ , \mathbf{m} और \mathbf{B} के बीच का कोण है।

अतः, संतुलनावस्था में / $\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mB\sin\theta$

 $mB\sin\theta$ के साथ ऋणात्मक चिह्न यह निर्दिष्ट करता है कि प्रत्यानयन आघूर्ण विस्थापनकारी आघूर्ण के विपरीत दिशा में है। रेडियन में बहुत छोटे कोण के लिए हम $\sin \theta \approx \theta$ लेते हैं। अतः,

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} \approx -mB\theta$$

अथवा
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{mB}{I}\theta$$

यह सरल आवर्त गति दर्शाता है, जिसके लिए, कोणीय आवृत्ति का वर्ग $\omega^2 = mB/I$ तथा दोलन काल है.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{mB}} \tag{5.4}$$

अथवा
$$B = \frac{4\pi^2 \, \mathrm{I}}{m \, T^2}$$
 (5.5)

चुंबकीय स्थितिज ऊर्जा के लिए व्यंजक प्राप्त करने के लिए हम उसी विधि का अनुसरण कर सकते हैं जो हमने वैद्युत स्थितिज ऊर्जा का व्यंजक प्राप्त करने के लिए अपनायी थी। किसी चुंबकीय द्विध्नुव की चुंबकीय स्थितिज ऊर्जा U_m इस प्रकार है

$$U_{m} = \int \tau(\theta) d\theta$$
$$= \int mB \sin\theta \ d\theta = -mB \cos\theta$$
$$= -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B}$$
(5.6)

इस बात को हमने पहले भी काफी जोर देकर कहा था कि स्थितिज ऊर्जा का शून्य हम अपनी सुविधानुसार निर्धारित कर सकते हैं। समाकलन नियंताक को शून्य लेने का अर्थ है कि हमने स्थितिज ऊर्जा का शून्य θ = 90° पर, अर्थात उस स्थिति को ले लिया है जिस पर सुई क्षेत्र के लंबवत है। समीकरण (5.6) यह दर्शाती है कि न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा (= -mB) (अर्थात सर्वाधिक स्थायी अवस्था) θ = 0° पर होती है एवं अधिकतम स्थितिज ऊर्जा (= +mB) (अर्थात अधिकतम अस्थायी अवस्था) θ = 180° पर होती है।

उदाहरण 5.1 चित्र 5.4 (b) में, चुंबकीय सुई का चुंबकीय आघूर्ण 6.7×10^{-2} A m² और जड़त्वाघूर्ण $t = 7.5 \times 10^{-6}$ kg m² है। यह 6.70 s में 10 पूरे दोलन करती है। चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण क्या है?

हल दोलनकाल

$$T = \frac{6.70}{10} = 0.67 \,\mathrm{s}$$

समीकरण (5.5) से प्राप्त होता है

$$B = \frac{4\pi^2 I}{mT^2}$$

$$= \frac{4 \times (3.14)^2 \times 7.5 \times 10^{-6}}{6.7 \times 10^{-2} \times (0.67)^2}$$
$$= 0.01 \text{ T}$$

उदाहरण 5.2

उदाहरण 5.2 एक छोटे छड़ चुंबक को जब 800~G के बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में इस तरह रखा जाता है कि इसकी अक्ष क्षेत्र से 30° का कोण बनाए, तो यह 0.016~N~m का बलआघूर्ण अनुभव करता है। (a) चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण कितना है? (b) सर्वाधिक स्थायी स्थिति से सर्वाधिक अस्थायी स्थिति तक इसको घुमाने में कितना कार्य करना पड़ेगा? (c) छड़ चुंबक को यदि एक परिनालिका से प्रतिस्थापित कर दें जिसमें $1000~\dot{v}$ रे हों, जिसके अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल $2\times 10^{-4}~m^2$ हो और जिसका चुंबकीय आघूर्ण उतना ही हो जितना छड़ चुंबक का है, तो परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा ज्ञात कीजिए।

हल

(a) समीकरण (5.3) के अनुसार $\tau = m \, B \sin \, \theta, \, \theta = 30^{\circ}, \,$ इसलिए $\sin \theta = 1/2$ अत:, $0.016 = m \times (800 \times 10^{-4} \, \text{T}) \times (1/2)$

 $m = 160 \times 2/800 = 0.40 \text{ A m}^2$

(b) समीकरण (5.6) के अनुसार सर्वाधिक स्थायी स्थिति तब है जब θ = 0° एवं सर्वाधिक अस्थायी स्थिति तब है जब θ =180°

$$W = U_m(\theta = 180^\circ) - U_m(\theta = 0^\circ)$$

= 2 m B = 2 × 0.40 × 800 × 10⁻⁴ = 0.064 J

(c) समीकरण (4.30) के अनुसार $m_{_S}$ = NIA भाग (a) में हमने ज्ञात किया है कि $m_{_S}$ = 0.40 A ${
m m}^2$ 0.40 = $1000 \times I \times 2 \times 10^{-4}$

 $I = 0.40 \times 10^4 / (1000 \times 2) = 2A$

उदाहरण 5.3

- (a) क्या होता है जबिक एक चुंबक को दो खंडों में विभाजित करते हैं (i) इसकी लंबाई के लंबवत (ii) लंबाई के अनुदिश?
- (b) एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में रखी गई किसी चुंबकीय सुई पर बल आघूर्ण तो प्रभावी होता है पर इस पर कोई परिणामी बल नहीं लगता। तथापि, एक छड़ चुंबक के पास रखी लोहे की कील पर बल आघूर्ण के साथ-साथ परिणामी बल भी लगता है। क्यों?
- (c) क्या प्रत्येक चुंबकीय विन्यास का एक उत्तरी और एक दक्षिणी ध्रुव होना आवश्यक है? एक टोरॉयड के चुंबकीय क्षेत्र के संबंध में इस विषय में अपनी टिप्पणी दीजिए।
- (d) दो एक जैसी दिखाई पड़ने वाली छड़ें A एवं B दी गई हैं जिनमें कोई एक निश्चित रूप से चुंबकीय है, यह ज्ञात है (पर, कौन सी यह ज्ञात नहीं है)। आप यह कैसे सुनिश्चित करेंगे कि दोनों छड़ें चुंबिकत हैं या केवल एक? और यदि केवल एक छड़ चुंबिकत है तो यह कैसे पता लगाएँगे कि वह कौन सी है। [आपको छड़ों A एवं B के अतिरिक्त अन्य कोई चीज प्रयोग नहीं करनी है।]

हल

- (a) दोनों ही प्रकरणों में आपको दो चुंबक प्राप्त होते हैं जिनमें से प्रत्येक में एक उत्तरी और एक दक्षिणी ध्रव होता है।
- (b) यदि क्षेत्र एकसमान हों केवल तभी चुंबक पर कोई बल नहीं लगता। परंतु छड़ चुंबक के कारण कील पर असमान क्षेत्र आरोपित होता है जिसके कारण कील में चुंबकीय आघूर्ण प्रेरित होता है। अत: इस पर परिणामी बल भी लगता है और बल आघूर्ण भी। परिणामी बल आकर्षण बल होता है, क्योंकि कील में प्रेरित दक्षिण ध्रुव (माना) इसमें प्रेरित उत्तरी ध्रुव की अपेक्षा चुंबक के अधिक निकट होता है।
- (c) आवश्यक नहीं है। यह तभी सत्य होगा जब चुंबकीय क्षेत्र के म्रोत का परिणामी चुंबकीय आघूर्ण शून्य नहीं होगा। टोरॉयड या अनंत लंबाई की परिनालिका के लिए ऐसा नहीं होता।
- (d) चुंबकों के अलग-अलग सिरों को एक-दूसरे के पास लाने की कोशिश कीजिए। यदि किसी स्थिति में प्रतिकर्षण बल का अनुभव हो तो दोनों छड़ें चुंबिकत हैं। यदि हमेशा आकर्षण बल

उदाहरण 5.3

ही लगे तो उनमें से एक छड़ चुंबिकत नहीं है। यह देखने के लिए कि कौन-सी छड़ चुंबिकत है, एक छड़ A मान लीजिए और इसका एक सिरा नीचे कीजिए; पहले दूसरी छड़ B के सिरे के पास लाइए और फिर बीच में। अगर आप पाएँ कि B के बीच में छड A आकर्षण बल अनुभव नहीं करती तो B चुंबिकत है। और यदि आप पाएँ कि सिरे पर और बीच में आकर्षण बल बराबर है, तो छड़ A चुंबकित है।

5.2.4 स्थिरवैद्युत अनुरूप

समीकरणों (5.2), (5.3) एवं (5.4) के संगत विद्युत द्विध्रुव के समीकरणों (अध्याय 1 देखिए) से तुलना करने पर हम इस परिणाम पर पहुँचते हैं कि m चुंबकीय आघूर्ण वाले छड चुंबक का चुंबकीय क्षेत्र, इससे बहुत दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर ज्ञात करने के लिए, हमें द्विध्रुव आघूर्णों वाले विद्युत द्विध्रुव के कारण उत्पन्न विद्युत क्षेत्र के समीकरण में, केवल निम्नलिखित प्रतिस्थापन करने होंगे-

$$\mathbf{E} \to \mathbf{B}, \ \mathbf{p} \to \mathbf{m}, \ \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \to \frac{\mu_0}{4\pi}$$

विशेषत:, r दूरी (r>> l के लिए, जहाँ l चुंबक की लंबाई है)पर एक छड़ चुंबक का विषुवतीय चुंबकीय क्षेत्र

$$\mathbf{B}_E = -\frac{\mu_0 \mathbf{m}}{4 \pi r^3} \tag{5.7}$$

इसी प्रकार, r दूरी (r >> l के लिए) पर एक छड़ चुंबक का अक्षीय चुंबकीय क्षेत्र

$$\mathbf{B}_{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\mathbf{m}}{r^3} \tag{5.8}$$

समीकरण (5.8), समीकरण (5.2) का सदिश रूप है। सारणी 5.1 विद्युत एवं चुंबकीय द्विध्रुवों के मध्य समानता दर्शाती है।

सारणी 5.1 द्विध्वों की सादृश्यता

	स्थिर वैद्युत	चुंबकीय	
£	$1/arepsilon_0$	μ_0	
द्विधुव आघूर्ण	p	m	
विषुवतीय क्षेत्र	$-\mathbf{p}/4\piarepsilon_0 r^3 \ 2\mathbf{p}/4\piarepsilon_0 r^3$	$-\mu_0^{}$ m / $4\pi r^3$	
अक्षीय क्षेत्र		$\mu_0^{}$ $2\mathbf{m}$ / 4π r^3	
बाह्य क्षेत्र—बल आघूर्ण	p×E	m × B	
बाह्य क्षेत्र–स्थितिज ऊर्जा	$-\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$	– m ∙B	

उदाहरण 5.4

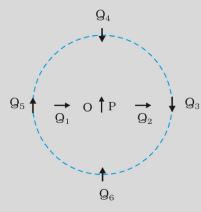
उदाहरण 5.4 5 cm लंबाई के छड़ चुंबक के केंद्र से 50 cm की दूरी पर स्थित बिंदु पर, विषुवतीय एवं अक्षीय स्थितियों के लिए चुंबकीय क्षेत्र का परिकलन कीजिए। छड़ चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण 0.40 A m², जैसा कि उदाहरण 5.2 में है। हल समीकरण (5.7) के अनुसार,

$$B_E = \frac{\mu_0 m}{4 \pi r^3} = \frac{10^{-7} \times 0.4}{\left(0.5\right)^3} = \frac{10^{-7} \times 0.4}{0.125} = 3.2 \times 10^{-7} \text{ T}$$

समीकरण (5.8) के अनुसार, $B_A = \frac{\mu_0 2m}{4\pi r^3} = 6.4 \times 10^{-7} \text{ T}$

उदाहरण 5.5 चित्र 5.5 में O बिंदु पर रखी गई एक छोटी चुंबकीय सुई P दिखाई गई है। तीर इसके चुंबकीय आघूर्ण की दिशा दर्शाता है। अन्य तीर, दूसरी समरूप चुंबकीय सुई Q की विभिन्न स्थितियों (एवं चुंबकीय आघूर्ण के दिक्विन्यासों) को प्रदर्शित करते हैं।

- (a) किस विन्यास में यह निकाय संतुलन में नहीं होगा?
- (b) किस विन्यास में निकाय (i) स्थायी (ii) अस्थायी संतुलन में होंगे?
- (c) दिखाए गए सभी विन्यासों में किसमें न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा है?



चित्र 5.5

हल

किसी विन्यास की स्थितिज ऊर्जा, एक चुंबकीय द्विध्रुव (माना Q) की, दूसरे चुंबकीय द्विध्रुव (माना P) के चुंबकीय क्षेत्र के कारण उत्पन्न स्थितिज ऊर्जा है। आप समीकरण (5.7) एवं (5.8) द्वारा व्यक्त निम्निखित परिणाम प्रयोग में ला सकते हैं—

$$\mathbf{B}_{\mathrm{P}} = -\frac{\mu_{\mathrm{0}}}{4\pi} \frac{\mathbf{m}_{\mathrm{P}}}{r^{3}}$$
 (लंब समद्विभाजक पर)

$$\mathbf{B}_{\rm P} = \frac{\mu_0 2}{4\pi} \frac{\mathbf{m}_{\rm P}}{r^3}$$
 (अक्ष पर)

जहाँ **m**, द्विधुव P का चुंबकीय आघूर्ण है।

संतुलन तब स्थायी होगा जब \mathbf{m}_{Q} एवं \mathbf{B}_{P} एक-दूसरे के समांतर होंगी और संतुलन अस्थायी तब होगा जब वे प्रतिसमांतर होंगी।

उदाहरणार्थ, विन्यास Q_3 में, जिसके लिए Q द्विध्रुव P के लंब समद्विभाजक के अनुदिश है, Q का चुंबकीय आघूर्ण, स्थिति 3 में, चुंबकीय क्षेत्र के समांतर है, अतः Q_3 स्थायी है इस प्रकार,

- (a) PQ₁ एवं PQ₂
- (b) (i) PQ₃, PQ₆ (स्थायी); (ii) PQ₅, PQ₄ (अस्थायी)
- (c) PQ_6

5.3 चुंबकत्व एवं गाउस नियम

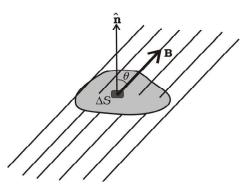
अध्याय 1 में हमने स्थिरवैद्युत के लिए गाउस के नियम का अध्ययन किया था। चित्र 5.3 (c) में हम देखते हैं कि (j द्वारा अंकित बंद गाउसीय सतह से क्षेत्र रेखाओं की जितनी संख्या बाहर आती है, उतनी ही इसके अंदर प्रवेश करती है। इस बात की इस तथ्य से संगति बैठती है कि सतह द्वारा परिवेष्ठित कुल आवेश का परिमाण शून्य है। किंतु, उसी चित्र में, बंद सतह (j) जो किसी धनावेश को घेरती है, के लिए परिणामी निर्गत फ्लक्स होता है।

भौतिकी



कार्ल फ्रेन्ड्रिक गाउस (1777 – 1855) वे एक विलक्षण बाल-प्रतिभा थे। गणित, भौतिकी, अभियांत्रिकी, खगोलशास्त्र और यहाँ तक कि भू-सर्वेक्षण में भी उनको प्रकृति की अनुपम देन थी। संख्याओं के गुण उनको लुभाते थे और उनके कार्य में उनके बाद आने वाले जमाने के प्रमुख गणितीय विकास का पूर्वाभास होता है। 1833 में विल्हेम वेलसर के साथ मिलकर उन्होंने पहला विद्युतीय टेलिग्राफ बनाया। वक्र-पृष्ठों से संबंधित उनके गणितीय सिद्धांत ने बाद में रीमन द्वारा किए गए कार्य की आधारशिला रखी।

यह स्थिति उन चुंबकीय क्षेत्रों के लिए पूर्णत: भिन्न है, जो संतत हैं और बंद लूप बनाते हैं। चित्र 5.3 (a) या 5.3 (b) में ① या ⑥ द्वारा अंकित गाउसीय सतहों का निरीक्षण कीजिए। आप पाएँगे कि सतह से बाहर आने वाली बल रेखाओं की संख्या इसके अंदर प्रवेश करने वाली संख्या के बराबर है। दोनों ही सतहों के लिए कुल चुंबकीय फ्लक्स शून्य है और यह बात किसी भी बंद सतह के लिए सत्य है।



चित्र 5.6

किसी बंद सतह S का एक छोटा सिदश क्षेत्रफल अवयव ΔS लीजिए। जैसा कि चित्र 5.6 में दर्शाया गया है। ΔS से गुजरने वाला चुंबकीय फ्लक्स $\Delta \phi_{\rm B} = {\bf B} . \Delta S$ है, जहाँ ${\bf B} , \Delta S$ पर चुंबकीय क्षेत्र है। हम S को कई छोटे-छोटे अवयवों में बाँट लेते हैं और उनमें से प्रत्येक से गुजरने वाले फ्लक्सों के मान अलग-अलग निकालते हैं। तब, कुल फ्लक्स $\phi_{\rm B}$ का मान है,

$$\phi_B = \sum_{A \in \mathcal{A}} \Delta \phi_B = \sum_{A \in \mathcal{A}} \mathbf{B} \cdot \Delta \mathbf{S} = 0$$
 (5.9)

जहाँ 'सभी' का अर्थ है सभी क्षेत्रफल अवयव $\Delta \mathbf{S}$ । इसकी तुलना वैद्युतस्थितिकी के गाउस के नियम से कीजिए। जहाँ एक बंद सतह से गुजरने वाला वैद्युत फ्लक्स

$$\sum \mathbf{E} \cdot \Delta \mathbf{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

जहाँ q बंद सतह द्वारा परिबद्ध आवेश है।

चुंबकत्व एवं स्थिरवैद्युतिकी के गाउस नियमों के बीच का अंतर इसी तथ्य की अभिव्यक्ति है कि *पृथक्कृत चुंबकीय ध्रुवों (जिन्हें एकध्रुव भी कहते हैं) का अस्तित्व नहीं होता।* **B** का कोई उद्गम या अभिगम नहीं होता है। सरलतम चुंबकीय अवयव एक द्विध्रुव या धारा लूप है। सभी चुंबकीय परिघटनाएँ एक धारा लूप एवं/या द्विध्रुव व्यवस्था के रूप में समझायी जा सकती हैं।

चुंबकत्व के लिए गाउस का नियम है-

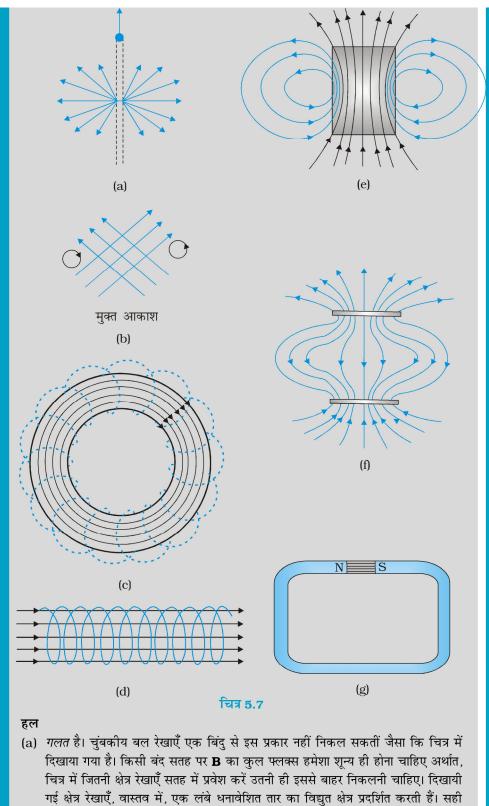
दर्शायी गई हैं। बताइए, वे कौन से चित्र हैं?

किसी भी बंद सतह से गुज़रने वाला कुल चुंबकीय फ्लक्स हमेशा शून्य होता है।

उदाहरण 5.6

उदाहरण 5.6 नीचे दिए गए चित्रों में से कई में चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ गलत दर्शायी गई हैं [चित्रों में मोटी रेखाएँ]। पहचानिए कि उनमें गलती क्या है? इनमें से कुछ में वैद्युत क्षेत्र रेखाएँ ठीक-ठीक

चुंबकत्व एवं द्रव्य



चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ जैसा अध्याय 4 में बताया गया है, सीधे तार को चारों ओर से घेरने वाले

वृत्तों के रूप में हैं।

- (b) गलत है। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ (विद्युत क्षेत्र रेखाओं की तरह ही) कभी भी एक-दूसरे को काट नहीं सकतीं। क्योंकि, अन्यथा कटान बिंदु पर क्षेत्र की दिशा संदिग्ध हो जाएगी। चित्र में एक गलती और भी है। स्थिर-चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ मुक्त आकाश में कभी भी बंद वक्र नहीं बना सकतीं। स्थिर-चुंबकीय क्षेत्र रेखा के बंद लूप को निश्चित रूप से एक ऐसे प्रदेश को घेरना चाहिए जिसमें से होकर धारा प्रवाहित हो रही हो [इसके विपरीत वैद्युत क्षेत्र रेखाएँ कभी भी बंद लूप नहीं बना सकतीं, न तो मुक्त आकाश में और न ही तब जब लूप आवेश को घेरते हैं।]
- (c) ठीक है। चुंबकीय रेखाएँ पूर्णत: एक टोरॉइड में समाहित हैं। यहाँ चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं द्वारा बंद लूप बनाने में कोई त्रुटि नहीं है, क्योंकि प्रत्येक लूप एक ऐसे क्षेत्र को घेरता है जिसमें से होकर धारा गुजरती है। ध्यान दीजिए कि चित्र में स्पष्टता लाने के लिए ही टोरॉइड के अंदर मात्र कुछ क्षेत्र रेखाएँ दिखायी गई हैं। तथ्य यह है कि टोरॉइड के फेरों के अंदर के संपूर्ण भाग में चुंबकीय क्षेत्र मौजूद रहता है।
- (d) गलत है। परिनालिका की क्षेत्र रेखाएँ, इसके सिरों पर और इसके बाहर पूर्णत: सीधी और सिमटी हुई नहीं हो सकती हैं। ऐसा होने से ऐम्पियर का नियम भंग होता है। ये रेखाएँ सिरों पर विक्रत हो जानी चाहिए और इनको अंत में मिल कर बंद पाश बनाने चाहिए।
- (e) सही है। एक छड़ चुंबक के अंदर एवं बाहर दोनों ओर चुंबकीय क्षेत्र होता है। अंदर क्षेत्र की दिशा पर अच्छी तरह ध्यान दीजिए। सभी क्षेत्र रेखाएँ उत्तर ध्रुव से नहीं निकलतीं (और न ही दिक्षण ध्रुव पर समाप्त होती हैं)। N-ध्रुव एवं S-ध्रुव के चारों तरफ क्षेत्र के कारण कुल फ्लक्स शून्य होता है।
- (f) गलत है। संभावना यही है कि ये क्षेत्र रेखाएँ चुंबकीय क्षेत्र प्रदर्शित नहीं करतीं। ऊपरी भाग को देखिए। सभी क्षेत्र रेखाएँ छायित प्लेट से निकलती जान पड़ती हैं। इस प्लेट को घेरने वाली सतह से गुजरने वाले क्षेत्र का कुल फ्लक्स शून्य नहीं है। चुंबकीय क्षेत्र के संदर्भ में ऐसा होना संभव नहीं है। दिखायी गई क्षेत्र रेखाएँ, वास्तव में, धनावेशित ऊपरी प्लेट एवं ऋणावेशित निचली प्लेट के बीच स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाएँ हैं। [चित्र 5.7(e) एवं (f)] के बीच के अंतर को ध्यानपूर्वक ग्रहण करना चाहिए।
- (g) गलत है। दो ध्रुवों के बीच चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ, सिरों पर, ठीक सरल रेखाएँ नहीं हो सकतीं। रेखाओं में कुछ फैलाव अवश्यम्भावी है अन्यथा, ऐम्पियर का नियम भंग होता है। यह बात वैद्युत क्षेत्र रेखाओं के लिए भी लागू होती है।

ब्दाहरण 5.6

उदाहरण 5.7

- (a) चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ (हर बिंदु पर) वह दिशा बताती हैं जिसमें (उस बिंदु पर रखी) चुंबकीय सुई संकेत करती है। क्या चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ प्रत्येक बिंदु पर गतिमान आवेशित कण पर आरोपित बल रेखाएँ भी हैं?
- (b) एक टोरॉइड में तो चुंबकीय क्षेत्र पूर्णत: क्रोड के अंदर सीमित रहता है, पर परिनालिका में ऐसा नहीं होता। क्यों?
- (c) यदि चुंबकीय एकल ध्रुवों का अस्तित्व होता तो चुंबकत्व संबंधी गाउस का नियम क्या रूप ग्रहण करता?
- (d) क्या कोई छड़ चुंबक अपने क्षेत्र की वजह से अपने ऊपर बल आघूर्ण आरोपित करती है? क्या किसी धारावाही तार का एक अवयव उसी तार के दूसरे अवयव पर बल आरोपित करता है।
- (e) गतिमान आवेशों के कारण चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होते हैं। क्या कोई ऐसी प्रणाली है जिसका चुंबकीय आघूर्ण होगा, यद्यपि उसका नेट आवेश शून्य है?

हल

- (a) refi। चुंबकीय बल सदैव **B** के लंबवत होता है (क्योंकि चुंबकीय बल = $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ अत: **B** की क्षेत्र रेखाओं को बल रेखाएँ कहना भ्रामक वक्तव्य है।
- (b) यदि क्षेत्र रेखाएँ सिर्फ सीधी परिनालिका के दो सिरों के बीच सीमित होतीं तो प्रत्येक सिरे के अनुप्रस्थ काट से गुज़रने वाला फ्लक्स शून्य न होता। लेकिन, क्षेत्र **B** का किसी बंद सतह से गुज़रने वाला फ्लक्स तो सदैव शून्य ही होता है। टोरॉइड के विषय में यह समस्या ही खड़ी नहीं होती क्योंकि इसके कोई सिरे नहीं होते।
- (c) चुंबकत्व संबंधी गाउस का नियम यह कहता है कि क्षेत्र ${f B}$ के कारण, किसी बंद सतह से गुज़रने वाला कुल फ्लक्स सदैव शून्य होता है। किसी बंद सतह S के लिए $\int_S {f B} \cdot {
 m d} {f s} = 0$ यदि एकल ध्रुवों का अस्तित्व होता तो (स्थिरवैद्युतिकी के गाउस नियम के अनुरूप) समीकरण के दायीं ओर सतह S से घिरे एकल ध्रुवों (चुंबकीय आवेशों) q_m का योग आता। अर्थात समीकरण का रूप होता

 $\int_S \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\mathbf{s} = \mu_0 q_m$ जहाँ q_m , S से घिरा चुंबकीय आवेश (एकल ध्रुव) है।

- (d) नहीं। तार के अल्पांश द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र के कारण इसके स्वयं के ऊपर कोई बल या बल आधूर्ण नहीं लगता। लेकिन इसके कारण उसी तार के दूसरे अल्पांश पर बल (या बल आधूर्ण) लगता है। (सीधे तार के विशेष मामले में, यह बल शून्य ही होता है)।
- (e) हाँ। संपूर्ण व्यवस्था को देखें तो सभी आवेशों का औसत शून्य हो सकता है। फिर भी, यह हो सकता है कि विभिन्न धारा लूपों के कारण उत्पन्न चुंबकीय आघूणों का औसत शून्य न हो। हमारे समक्ष अनुचुंबकीय पदार्थों के संदर्भ में ऐसे कई उदाहरण आएँगे जहाँ परमाणुओं का आवेश शून्य है लेकिन उनका द्विधूव-आघूर्ण शून्य नहीं है।

5.4 भू-चुंबकत्व

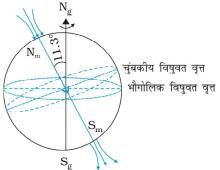
हमने पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का जिक्र पहले भी किया है। पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता, इसकी सतह पर, भिन्न स्थानों पर भिन्न होती है, पर इसका मान $10^{-5}\,T$ की कोटि का होता है।

पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का कारण क्या है, यह बहुत स्पष्ट नहीं है। प्रारंभ में यह सोचा गया कि पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र इसके अंदर बहुत गहराई में रखे एक विशाल चुंबक के कारण है जो लगभग पृथ्वी के घूर्णन अक्ष के अनुदिश रखा है। परंतु, यह सरलीकृत चित्र निश्चित रूप से सही नहीं है। अब यह माना जाता है कि पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र इसके बाह्य क्रोड के धात्विक तरलों (जो अधिकांशत: पिघला लोहा एवं निकिल है) की संवाहक गित के कारण उत्पन्न विद्युत धाराओं के पिरणामस्वरूप अस्तित्व में आता है। इसको डायनेमो प्रभाव कहा जाता है।

पृथ्वी की चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ, पृथ्वी के केंद्र पर रखे (काल्पिनक) चुंबकीय द्विध्रुव के जैसी ही होती हैं। इस द्विध्रुव की अक्ष पृथ्वी के घूर्णन अक्ष के संपाती नहीं होती है, बिल्क वर्तमान में यह इससे लगभग 11.3° पर झुकी हुई है। इस दृष्टि से देखें तो चुंबकीय ध्रुव वहाँ अवस्थित है जहाँ चुंबकीय बल रेखाएँ पृथ्वी में प्रवेश करती हैं अथवा इससे बाहर निकलती हैं। पृथ्वी के उत्तरी चुंबकीय ध्रुव की स्थिति 79.74° N अक्षांश एवं 71.8° W देशांतर पर है। यह स्थान उत्तरी कनाडा में है। चुंबकीय दक्षिणी ध्रुव अंटार्किटका में, 79.74° S अक्षांश एवं 108.22° E देशांतर पर है।

वह ध्रुव जो पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी ध्रुव के निकट है उत्तरी चुंबकीय ध्रुव कहलाता है। इसी प्रकार पृथ्वी के भौगोलिक दक्षिण ध्रुव के निकट स्थित ध्रुव *दक्षिणी चुंबकीय ध्रुव* कहलाता

भौतिकी



चित्र 5.8 पृथ्वी, एक विशाल चुंबकीय द्विभ्रव की भाँति।

5.8

है। ध्रुवों के नामकरण के संबंध में कुछ संभ्रम हैं। यदि आप पृथ्वी की चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं को देखें (चित्र 5.8), तो छड़ चुंबक के विपरीत क्षेत्र रेखाएँ उत्तरी चुंबकीय ध्रुव (N_m) से पृथ्वी के अंदर प्रवेश करती हैं और दक्षिणी चुंबकीय ध्रुव (S_m) से बाहर आती हैं। यह परिपाटी इसिलए शुरू हुई क्योंकि चुंबकीय उत्तर वह दिशा थी जिसमें चुंबकीय सुई का उत्तरी सिरा संकेत करता था; चुंबक के ध्रुव को उत्तरी ध्रुव इसिलए कहा गया क्योंकि यह उत्तर दिशा का ज्ञान कराने में सहायक था। इस प्रकार, वास्तव में, उत्तरी चुंबकीय ध्रुव पृथ्वी के अंदर के छड़ चुंबक के दक्षिणी ध्रुव की तरह व्यवहार करता है एवं दिक्षणी चुंबकीय ध्रुव इस छड चुंबक के उत्तरी ध्रुव की तरह।

उदाहरण 5.8 विषुवत रेखा पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण लगभग 0.4 G है। पृथ्वी के चुंबक के द्विधुव आघूर्ण की गणना कीजिए।

हल समीकरण (5.7) के अनुसार विषुवतीय चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण,

$$B_E = \frac{\mu_0 m}{4 \pi r^3}$$

दिया है: $B_{\rm E} \sim 0.4~{
m G} = 4 \times 10^{-5} \,{
m T},~r$ यहाँ पृथ्वी की त्रिज्या है, $6.4 \times 10^6~{
m m}$ अतः

$$m = \frac{4 \times 10^{-5} \times (6.4 \times 10^{6})^{3}}{\mu_{0} / 4\pi} = 4 \times 10^{2} \times (6.4 \times 10^{6})^{3} \quad (\mu_{0} / 4\pi = 10^{-7})$$
$$= 1.05 \times 10^{23} \text{ A m}^{2}$$

यह मान भू-चुंबकत्व संबंधी पुस्तकों में दिए गए मान $8 \times 10^{22} \, \mathrm{A \ m^2}$ के बहुत निकट है।

5.4.1 चुंबकीय दिक्पात एवं नित

यथार्थ उत्तर हिंहिति N

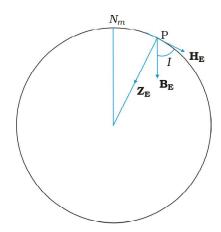
चित्र 5.9 क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र चुंबकीय सुई, चुंबकीय उत्तर-दक्षिण दिशा में इंगित करती है।

पृथ्वी की सतह पर कोई बिंदु लीजिए। इस बिंदु से गुजरने वाला देशांतर वृत्त भौगोलिक उत्तर-दक्षिण दिशा निर्दिष्ट करता है जिसकी उत्तरी ध्रुव की ओर जाने वाली रेखा यथार्थ उत्तर की ओर इंगित करती है। देशांतर वृत्त एवं पृथ्वी के घूर्णन अक्ष में से गुजरने वाला ऊर्ध्वाधर तल भौगोलिक याम्योत्तर कहलाता है। इसी प्रकार आप किसी स्थान विशेष पर चुंबकीय याम्योत्तर भी उस स्थान और चुंबकीय उत्तरी एवं दक्षिणी ध्रुवों को मिल जाने वाली काल्पनिक रेखा से गुजरने वाले ऊर्ध्वाधर तल के रूप में परिभाषित कर सकते हैं। यह तल भी पृथ्वी की सतह को देशांतर जैसे ही एक वृत्त में काटेगा। एक चुंबकीय सुई जो क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है, तब चुंबकीय याम्योत्तर में रहेगी और इसका उत्तरी ध्रुव पृथ्वी के चुंबकीय उत्तरी ध्रुव की ओर संकेत करेगा। चूँिक चुंबकीय ध्रुवों को मिलाने वाली रेखा, पृथ्वी के भौगोलिक अक्ष की तुलना में किसी कोण पर झुकी रहती है, किसी स्थान पर चुंबकीय याम्योत्तर, भौगोलिक याम्योत्तर से एक कोण बनाती है। यही वह कोण है जो यथार्थ भौगोलिक उत्तर एवं चुंबकीय सुई द्वारा इंगित उत्तर के बीच बनता है। इस कोण को चुंबकीय दिक्पात अथवा केवल दिक्पात कहते हैं (चित्र 5.9)।

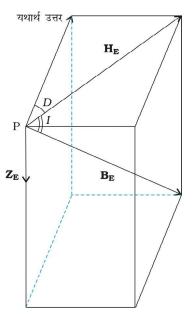
दिक्पात उच्चतर अक्षांशों पर अधिक एवं विषुवत रेखा के पास कम होता है, भारत में दिक्पात का मान कम है, यह दिल्ली में 0°41' E एवं मुंबई में $0^{\circ}58'$ W है। अतः दोनों ही स्थानों पर चुंबकीय सुई काफ़ी हद तक सही उत्तर दिशा दर्शाती है।

एक अन्य महत्वपूर्ण राशि भी है जिसमें आपकी रुचि हो सकती है। यदि कोई चुंबकीय सुई, एक क्षैतिज अक्ष पर इस प्रकार पूर्ण संतुलन में हो कि चुंबकीय याम्योत्तर के तल में घूम सके तो यह सुई क्षैतिज से एक कोण बनाएगी (चित्र 5.10)। यह 7.10। यह 7.10। यह जमन कोण (या आनित) कहलाता है। अत: आनित वह कोण है जो पृथ्वी का कुल चुंबकीय क्षेत्र 7.100 मुथ्वी की सतह से बनाता है। चित्र 7.101 पृथ्वी की सतह के किसी बिंदु 7.102 पर चुंबकीय याम्योत्तर तल दर्शाता है। यह तल पृथ्वी

से गुजरने वाला एक खंड है। बिंदु P पर कुल चुंबकीय क्षेत्र को हम एक क्षैतिज अवयव \mathbf{H}_{E} एवं एक ऊर्ध्वाधर अवयव \mathbf{Z}_{E} में वियोजित कर सकते हैं। \mathbf{B}_{E} , \mathbf{H}_{E} से जो कोण बनाता है वही नमन कोण I है।



चित्र 5.10 दर्शाया गया वृत्त, पृथ्वी से गुजरने वाला चुंबकीय याम्योत्तर का खंड है। \mathbf{B}_{E} एवं क्षैतिज अवयव \mathbf{H}_{E} के बीच बना कोण आनित है।



चित्र ${f 5.11}$ पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र ${f B}_{\!\scriptscriptstyle E}$, एवं इसके क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर अवयव ${f H}_{\!\scriptscriptstyle E}$ एवं ${f Z}_{\!\scriptscriptstyle E}$ । दिक्पात कोण D एवं नमन कोण I भी दर्शाए गए हैं।

अधिकतर उत्तरी गोलार्ध में नमन वृत्त की सुई का उत्तरी ध्रुव नीचे की ओर झुकता है। इसी प्रकार अधिकांश दक्षिणी गोलार्ध में नमन सुई का दक्षिणी ध्रुव नीचे झुकता है।

पृथ्वी की सतह पर स्थित किसी बुंद पर चुंबकीय क्षेत्र को पूरी तरह निर्दिष्ट करने के लिए हमें तीन राशियों का विवरण देना होता है, ये हैं- दिक्पात कोण D, आनित या नमन कोण I एवं पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज अवयव $H_{\rm E}$ । ये पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के घटक कहलाते हैं। यहाँ ऊर्ध्वाधर घटक,

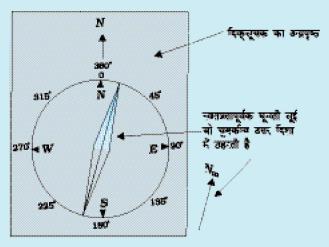
$$Z_{\!\scriptscriptstyle E} = B_{\!\scriptscriptstyle E} \sin\!I$$
 क्षैतिज घटक,
$$[5.10(a)] \label{eq:HE} H_{\!\scriptscriptstyle E} = B_{\!\scriptscriptstyle E} \cos\!I \qquad \qquad [5.10(b)]$$

जिससे हमें प्राप्त होता है

$$tan I = \frac{Z_E}{H_E}$$
 [5.10(c)]

धुवों पर हमारी चुंबकीय सुई को क्या हो जाता है?

चुंबकीय दिक्सूचक में एक चुंबकीय सुई एक धुरी पर स्वतंत्रतापूर्वक घूम सकती है। जब दिकसूचक को समतल में रखा जाता है तो इसकी चुंबकीय सुई उस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज अवयव की दिशा में ठहरती है। पृथ्वी पर कुछ स्थानों पर चुंबकीय खिनजों के भंडार पाए जाते हैं जिनके कारण दिक्सूचक सुई चुंबकीय याम्योत्तर से हट जाती है। किसी स्थान पर दिक्पात का ज्ञान, हमें उस स्थान पर दिक्सूचक सुई के मान में संशोधन कर यथार्थ उत्तर दिशा जानने में सहायता करता है



अत: चुंबकीय सुई को ध्रुव पर ले जाने का परिणाम क्या होगा? ध्रुव पर, या तो चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ ऊर्ध्वाधरत: अभिसरित होंगी या अपसरित होंगी इससे क्षेतिज घटक का मान उपेक्षणीय होगा। यदि सुई केवल क्षेतिज तल में ही घूमने के लिए स्वतंत्र होगी तो यह किसी भी दिशा में संकेत कर सकती है और इस कारण दिक्सूचक के रूप में इसकी कोई उपयोगिता नहीं रह जाएगी। इस स्थिति में जिस वस्तु की हमें आवश्यकता है वह है नमनदर्शी सुई जो एक ऐसी दिक्सूचक सुई है जिसको पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र से युक्त ऊर्ध्वाधर तल में घूमने के लिए धुरी पर रखा गया है। तब इस दिक्सूचक की सुई वह कोण दर्शाती है जो चुंबकीय क्षेत्र ऊर्ध्वाधर से बनाता है। चुंबकीय ध्रुवों पर यह सुई सीधे नीचे की ओर इंगित करती है।

उदाहरण 5.9 किसी स्थान के चुंबकीय याम्योत्तर में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज अवयव 0.26 G है एवं नमन कोण 60° है। इस स्थान पर पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र क्या है?

हल

यह दिया गया है कि $H_{\!\scriptscriptstyle E}$ = 0.26 G , चित्र 5.11 से हम पाते हैं कि –

$$\cos 60^0 = \frac{H_E}{B_E}$$

$$B_E = \frac{H_E}{\cos 60^{\circ}}$$

$$=\frac{0.26}{(1/2)}=0.52\,\mathrm{G}$$

पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र

यह नहीं मानना चाहिए कि पृथ्वी के अंदर गहराई में कोई विशाल छड़ चुंबक रखा है जो पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के लिए उत्तरदायी है। यद्यपि पृथ्वी के अंदर लोहे के प्रचुर भंडार हैं तथापि इसकी संभावना बहुत ही कम है कि लोहे का कोई विशाल ठोस खंड चुंबकीय उत्तरी ध्रुव से चुंबकीय दक्षिणी ध्रुव तक फैला हो। पृथ्वी का क्रोड बहुत गर्म तथा पिघली हुई अवस्था में है तथा लोहे एवं निकिल के आयन पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के लिए उत्तरदायी हैं। यह परिकल्पना संभावित जान पड़ती है। चंद्रमा जिसमें कोई द्रवीभूत क्रोड नहीं है, इसका कोई चुंबकीय क्षेत्र भी नहीं है। शुक्र ग्रह जिसकी घूर्णन गित अत्यंत मंद है इसका चुंबकीय क्षेत्र भी बहुत क्षीण है, जबिक बृहस्पित, जिसकी घूर्णन गित ग्रहों में सर्वाधिक है, इसका चुंबकीय क्षेत्र भी पर्याप्त शिक्तशाली है। किंतु, इन परिवाही धाराओं की उत्पत्ति के सही कारण और उनको बनाए रखने के लिए आवश्यक ऊर्जा आदि को बहुत अच्छी तरह से समझा नहीं जा सका है। ये ऐसे प्रश्न हैं जो सतत शोध के लिए एक महत्वपूर्ण क्षेत्र प्रदान करते हैं।

स्थान परिवर्तन के साथ पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र में होने वाले परिवर्तन भी अध्ययन का रोचक विषय है। सूर्य से उत्सर्जित होने वाले आवेशित कण एक प्रवाह के रूप में पृथ्वी की ओर आते हैं जिसे सौर पवन कहा जाता है। इन कणों की गित पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र से प्रभावित होती है और ये स्वयं पृथ्वी की चुंबकीय क्षेत्र व्यवस्था में बदलाव ला देते हैं। ध्रुवों के निकट पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की संरचना अन्य भागों से बिलकुल अलग होती है।

समय के साथ पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र में होने वाले परिवर्तन भी कोई कम लुभावने नहीं हैं। इनमें अल्पकालिक परिवर्तन भी शामिल हैं जो शताब्दियों में नजर आने लगते हैं और दीर्घकालीन परिवर्तन भी जो लाखों वर्षों के दीर्घकाल में दृष्टिगत होते हैं। ज्ञात म्रोतों के अनुसार, 1580 ई. से 1820 ई. के बीच के 240 वर्षों के समय काल में लंदन में चुंबकीय दिक्पात के मान में 3.5° का अंतर रिकार्ड किया गया, जिससे यह संकेत मिलता है कि पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र समय के साथ परिवर्तित होता है। यह पाया गया है कि 10 लाख वर्षों में पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र की दिशा उलट जाती है। असिताश्म (Basalt) में लोहा होता है और असिताश्म ज्वालामुखी विस्फोट में बाहर निकलता है। जब यह ठंडा होकर ठोस में बदलता है तो इसके अंदर के छोटे-छोटे लौह-चुंबक चुंबकीय क्षेत्र की दिशा के समांतर समरेखित हो जाते हैं। ऐसे चुंबकीय क्षेत्र की दिशा अतित में कई बार उलट चुकी है।

5.5 चुंबकीकरण एवं चुंबकीय तीव्रता

पृथ्वी तत्वों एवं यौगिकों की विस्मयकारी विभिन्नताओं से भरपूर है। इसके अतिरिक्त, हम नए-नए मिश्रधातु, यौगिक, यहाँ तक कि तत्व भी संश्लेषित करते जा रहे हैं। आप इन सब पदार्थों को चुंबकीय गुणों के आधार पर वर्गीकृत करना चाहेंगे। प्रस्तुत अनुभाग में हम ऐसे कुछ पदों की परिभाषा देंगे और उनके बारे में समझाएँगे जो इस वर्गीकरण में हमारी सहायता करेंगे।

हम यह देख चुके हैं कि परमाणु में परिक्रमण करते इलेक्ट्रॉन का एक चुंबकीय आघूर्ण होता है। पदार्थ के किसी बड़े टुकड़े में ये चुंबकीय आघूर्ण सिदश रूप से समाकलित होकर शून्येतर परिणामी चुंबकीय आघूर्ण प्रदान कर सकते हैं। किसी दिए गए नमूने का चुंबकन **M** हम इस प्रकार उत्पन्न हुए प्रति इकाई आयतन परिणामी चुंबकीय आघूर्ण के रूप में परिभाषित कर सकते हैं,

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{m}_{\frac{1}{2}}}{V} \tag{5.11}$$

M एक सदिश राशि है जिसका विमीय सूत्र L^{-1} A एवं मात्रक A m^{-1} है। एक लंबी परिनालिका लीजिए जिसकी प्रति इकाई लंबाई में n फेरे हों, और जिसमें I धारा प्रवाहित हो रही हो। इस परिनालिका के अंदर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण है,

$$\mathbf{B}_0 = \mu_0 \ nI \tag{5.12}$$

यदि परिनालिका के अंदर शून्येतर चुंबकन का कोई पदार्थ भरा हो तो यहाँ क्षेत्र ${\bf B}_0$ से अधिक होगा। परिनालिका के अंदर परिणामी क्षेत्र ${\bf B}$ को लिख सकते हैं

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_{\mathrm{m}} \tag{5.13}$$

जहाँ ${\bf B}_{\rm m}$ क्रोड के पदार्थ द्वारा प्रदत्त क्षेत्र है। यह पाया गया है कि यह अतिरिक्त क्षेत्र ${\bf B}_{\rm m}$ पदार्थ के चुंबकन ${\bf M}$ के अनुक्रमानुपाती होता है और इसको हम निम्नवत व्यक्त कर सकते हैं

$$\mathbf{B}_{\mathbf{m}} = \mu_0 \mathbf{M} \tag{5.14}$$

जहाँ μ_0 वही नियंताक है (निर्वात की पारगम्यता) जो बायो-सावर्ट के नियम में उपयोग किया गया था।

सुविधा के लिए हम एक अन्य सदिश क्षेत्र **H** की बात करते हैं जिसे चुंबकीय तीव्रता कहा जाता है और जिसको निम्नलिखित समीकरण द्वारा परिभाषित किया जाता है

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{M} \tag{5.15}$$

जहाँ **H** की विमाएँ वहीं हैं जो **M** की और इसका मात्रक भी A m⁻¹ ही है। इस प्रकार कुल चुंबकीय क्षेत्र **B** को लिख सकते हैं

$$\mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{H} + \mathbf{M} \right) \tag{5.16}$$

उपरोक्त विवरण में आए पदों को व्युत्पन्न करने में हमने जिस पद्धित का प्रयोग किया है उसको दोहराते हैं। पिरनालिका के अंदर के कुल चुंबकीय क्षेत्र को हमने दो अलग–अलग योगदानों के रूप में प्रस्तुत किया— पहला बाह्य कारक, जैसे कि पिरनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा का योगदान। यह **H** द्वारा व्यक्त किया गया है; और दूसरा चुंबकीय पदार्थ की विशेष प्रकृति के कारण अर्थात **M**। बाद वाली राशि (**M**) बाह्य कारकों द्वारा प्रभावित की जा सकती है। यह प्रभाव गणितीय रूप में इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं:

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H} \tag{5.17}$$

जहाँ χ एक विमाविहीन राशि है और इसे चुंबकीय प्रवृत्ति कहते हैं। यह किसी चुंबकीय पदार्थ पर बाह्य चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव का माप है। सारणी 5.2 में कुछ तत्वों की चुंबकीय प्रवृत्ति को सूचीबद्ध किया गया है। हम देखते हैं कि χ बहुत छोटे पिरमाण वाली राशि है। कुछ पदार्थों के लिए इसका मान छोटा और धनात्मक है जिन्हें अनुचुंबकीय पदार्थ कहते हैं। कुछ पदार्थों के लिए इसका मान छोटा एवं ऋणात्मक है जिन्हें प्रतिचुंबकीय पदार्थ कहते हैं। प्रतिचुंबकीय पदार्थों में **M** एवं **H** विपरीत दिशाओं में होते हैं। समीकरण (5.16) एवं (5.17) से हम पाते हैं,

$$\mathbf{B} = \mu_0 (1 + \chi) \mathbf{H} \tag{5.18}$$

 $= \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$

$$= \mu \mathbf{H} \tag{5.19}$$

जहाँ, $\mu_r = (1 + \chi)$ एक विमाविहीन राशि है जिसे हम पदार्थ की आपेक्षिक चुंबकशीलता या 'आपेक्ष चुंबकीय पारगम्यता' कहते हैं। यह स्थिरवैद्युतिकी के परावैद्युतांक के समतुल्य राशि है। पदार्थ की चुंबकशीलता μ है और इसकी विमाएँ तथा मात्रक वहीं हैं जो μ_0 के हैं।

$$\mu = \mu_0 \mu_r = \mu_0 (1 + \chi)$$

 χ , μ_r एवं μ में तीन राशियाँ परस्पर संबंधित हैं। यदि इनमें से किसी एक का मान ज्ञात हो तो बाकी दोनों के मान ज्ञात किए जा सकते हैं।

सारणी 5.2 300 K पर कुछ तत्वों की चुंबकीय प्रवृत्ति

बिस्मथ	1.66×10^{-5}	ऐलुमिनियम	2.3×10^{5}
ताँबा	9.8×10^{-6}	कैल्शियम	1.9×10^{-5}
हीरा	2.2×10^{-5}	क्रोमियम	2.7×10^{-4}
सोना	3.6×10^{-5}	लिथियम	2.1×10^{5}
सीसा	1.7×10^{-5}	मैग्नीशियम	1.2×10^{-5}
पारा	2.9×10^{-5}	नियोबियम	2.6×10^{5}
नाइट्रोजन (STP)	5.0×10^{9}	ऑक्सीजन (STP)	2.1×10^{-6}
चाँदी	2.6×10^{5}	प्लैटिनम	2.9×10^{-4}
सिलिकन	4.2×10^{-6}	टंगस्टन	6.8×10^{5}

उदाहरण 5.10 एक परिनालिका के क्रोड में भरे पदार्थ की आपेक्षिक चुंबकशीलता 400 है। परिनालिका के विद्युतीय रूप से पृथक्कृत फेरों में 2A की धारा प्रवाहित हो रही है। यदि इसकी प्रति 1m लंबाई में फेरों की संख्या 1000 है तो (a) H, (b) M, (c) B एवं (d) चुंबककारी धारा I_m की गणना की जिए।

हल

- (a) क्षेत्र H क्रोड के पदार्थ पर निर्भर करता है और इसके लिए सूत्र है $H = nI = 1000 \times 2.0 = 2 \times 10^3 \text{ A/m}$
- (b) चुंबकीय क्षेत्र B के लिए सूत्र है

$$B = \mu_r \mu_0 H$$

= 400 × 4\pi ×10^{-7} (N/A^2) × 2 × 10^3 (A/m)
= 1.0 T

(c) चुंबकन

$$\begin{split} M &= (B\!\!-\mu_0\ H)/\ \mu_0 \\ &= (\mu_r\,\mu_0\ H\!\!-\!\!\mu_0\ H)/\mu_0 = (\mu_r-1)H = 399\times H \\ &\cong 8\times 10^5\ \text{A/m} \end{split}$$

(d) चुंबकन धारा I_M वह अतिरिक्त धारा है जो क्रोड की अनुपस्थिति में परिनालिका के फेरों में प्रवाहित किए जाने पर इसके अंदर उतना ही क्षेत्र B उत्पन्न करेगी जितना क्रोड की उपस्थिति में होता। अत: $B=\mu_r\,n_0\,(I+I_M)$ लेने पर I=2 A, B=1 T हमें प्राप्त होता है $I_M=794$ A

5.6 पदार्थों के चुंबकीय गुण

पिछले अनुभाग में वर्णित विचार हमें पदार्थों को प्रतिचुंबकीय, अनुचुंबकीय एवं लोहचुंबकीय श्रेणियों में वर्गीकृत करने में सहायता प्रदान करते हैं। चुंबकीय प्रवृत्ति χ की दृष्टि से देखें तो कोई पदार्थ प्रतिचुंबकीय है यदि इसके लिए χ ऋणात्मक है, अनुचुंबकीय होगा यदि χ धनात्मक एवं अल्प मान