अध्याय–8
चुम्बकत्व एवं चुम्बकीय पदार्थों के गुण
(Magnetism and Properties of Magnetic Substances)

पिछली कक्षाओं में हम चुम्बक के बारे में पढ़ चुके हैं। लोहा, कोबाल्ट या निकल आदि को आकर्षित करने के गुण को चुम्बकत्व तथा जो वस्तु इस गुण को प्रदर्शित करती है उसे चुम्बक कहते है। इस अध्याय में हम चुम्बकत्व से सम्बन्धित विभिन्न भौतिक राशियों के बारे में अध्ययन करेंगे। पृथ्वी भी एक प्राकृतिक चुम्बक है अतः पृथ्वी के चुम्बकत्व के बारे में एवं इसके विभिन्न अवयवों की जानकारी प्राप्त करेंगे। प्रत्येक पदार्थ भी चुम्बकत्व का कोई न कोई गुण प्रदर्शित करता है। अतः पदार्थों का चुम्बकीय गुणों के आधार पर वर्गीकरण करेंगे।

8.1 प्राकृतिक चुम्बक (Natural Magnets)

प्राचीन काल में ग्रीस में एशिया माइनर के मैग्नीशिया में एक ऐसे पदार्थ की खोज हुई जिसमें लोहे, कोबाल्ट और निकल को आकर्षित करने की क्षमता थी। इस धात्विक पदार्थ को उस स्थान के नाम पर मैग्नेटाइट तथा इस परिघटना को चुम्बकत्व कहा गया। इसे स्वतंत्रतापूर्वक लटकाने पर यह उत्तर–दक्षिण दिशा में संरेखित कर लेता था।अतः दिशा बताने के कारण इसे दिक्सूचक पत्थर भी कहा गया। मैग्नेटाइट एक प्राकृतिक चुम्बक है, यह लोहे का अयस्क Fe_3O_4 है।

सामान्यतः प्राकृतिक चुम्बक अनियमित आकार के होते हैं तथा इनका चुम्बकीय गुण भी बहुत कम होता है अतः इनका प्रायोगिक कार्यों में उपयोग नहीं करते।

8.2 कृत्रिम चुम्बक (Artificial Magnets)

वे चुम्बक जिन्हें कृत्रिम रूप से बनाया जाता है उन्हें कृत्रिम चुम्बक कहते हैं। जब किसी लोह चुम्बकीय पदार्थ को तीव्र चुम्बकीय क्षेत्र में रखते हैं या किसी लोहे की छड़ पर लम्बाई के अनुदिश चुम्बक रगड़ा जाए या धारावाही परिनालिका की अक्ष पर उसके अन्दर लोहे की छड़ रखी जाए तो यह चुम्बकित हो जाती है। इस प्रकार कृत्रिम चुम्बक कई प्रकार से बनाए जाते हैं। कृत्रिम चुम्बक दो प्रकार के हो सकते हैं, स्थाई तथा अस्थाई चुम्बक।

(i) स्थाई चुम्बक (Permanent Magnet)

ये अनिश्चित काल तक चुम्बकत्व प्रदर्शित करते हैं तथा इनका चुम्बकत्व आसानी से नष्ट नहीं किया जा सकता। ये कठोर स्टील, कोबाल्ट स्टील, टंगस्टन, मिश्र धातु ऐलनिको (Al+Ni+Co) या अन्य किसी लोह चुम्बकीय पदार्थ के बने होते हैं। इनमें चुम्बकत्व को नियंत्रित नहीं किया जा सकता।

(ii) अस्थाई चुम्बक (Temporary Magnet)

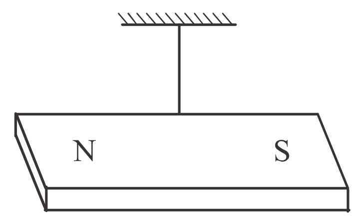
अस्थाई चुम्बक तब तक चुम्बकित रहते हैं तब तक चुम्बककारी बल उपस्थित रहता है। चुम्बककारी बल हटा लेने पर ये अपने चुम्बकीय गुण को समाप्त कर देते हैं इन्हें इच्छित आकार तथा इच्छित प्रबलता का बनाया जा सकता है। इनका उपयोग जनित्र, मोटर, विद्युत घंटी आदि में किया जाता है।

8.2.1 दण्ड चुम्बक के गुण (Properties of Bar Magnet)

एक छड़ या दण्डनुमा चुम्बक का सामान्य प्रयोजनों में उपयोग किया जाता है इस चुम्बक में मूलभूत गुण निम्नानुसार होते है:

(i) आकर्षण प्रकृति–दण्ड चुम्बक चुम्बकीय पदार्थों जैसे लोहा, इस्पात, कोबाल्ट, निकल आदि को अपनी ओर आकर्षित करता है। यह आकर्षण दण्ड चुम्बक के सिरों पर सबसे अधिक तथा मध्य में सबसे कम होता है। चुम्बक के दोनों सिरों पर स्थित वे बिन्दु जहाँ चुम्बकत्व का गुण अधिकतम होता है, चुम्बक के ध्रुव (Poles) कहलाते है।

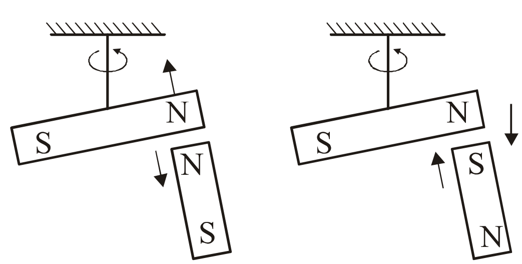
(ii) दिशा निर्देशन गुण–जब किसी दण्ड चुम्बक को इस प्रकार लटकाएँ कि वह क्षैतिज तल में स्वतंत्रतापूर्वक घूम सके तो वह एक निश्चित दिशा में ठहरता है। इसका एक सिरा भौगोलिक उत्तर की ओर तथा दूसरा सिरा भौगोलिक दक्षिण की ओर संरेखित होता है इन्हें क्रमशः उत्तरी ध्रुव (N-pole) तथा दक्षिण ध्रुव (S-pole) कहते हैं इन्हें क्रमशः N तथा S से प्रदर्शित करते हैं। (चित्र 8.1)



चित्र 8.1 दण्ड चुम्बक की दिशा निर्देशन गुण

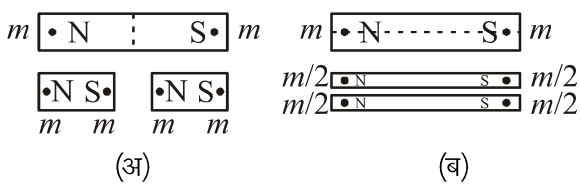
(iii) ध्रुवों की युग्म में उपस्थिति–चुम्बक के दोनों ध्रुव सदैव युग्म में रहते है, किसी एक चुम्बकीय ध्रुव को दूसरे ध्रुव से विलगित नहीं कर सकते। अर्थात् विलगित चुम्बकीय ध्रुव का अस्तित्व नहीं होता।

(iv) सजातीय ध्रुवों में प्रतिकर्षण तथा विजातीय ध्रुवों में आकर्षण–समान चुम्बकीय ध्रुव परस्पर प्रतिकर्षित तथा विजातीय चुम्बकीय ध्रुव परस्पर आकर्षित होते हैं।



चित्र 8.2 आकर्षण तथा प्रतिकर्षण प्रकृति

(v) ध्रुव प्रबलता समान – दण्ड चुम्बक के दोनों ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता समान होती है। यदि दण्ड चुम्बक को उसकी अक्ष के लम्बवत् दो समान भागों में विभक्त करें तो प्रत्येक भाग के ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता लगभग पहले के समान होगी परन्तु यदि उसकी अक्ष के अनुदिश दो समान भागों में विभक्त करें तो प्रत्येक भाग की ध्रुव प्रबलता मूल दण्ड चुम्बक की ध्रुव प्रबलता की आधी होगी।



चित्र 8.3 दण्ड चुम्बक की ध्रुव प्रबलता

(vi) चुम्बक और लोहे में विभेद का प्रतिकर्षण ही निश्चित परीक्षण है – किसी दण्ड चुम्बक का ध्रुव लोहे तथा अन्य दण्ड चुम्बक के विजातीय ध्रुव को आकर्षित करता है अतः लोहे तथा दण्ड चुम्बक में विभेद करने के लिए चुम्बक के एक सिरे के पास नमूने को लाने पर आकर्षण तथा दूसरे सिरे को नमूने के पास लाने पर प्रतिकर्षण हो, तो वह नमूना चुम्बक होगा।

(vii) चुम्बकीय प्रेरण – जब दण्ड चुम्बक के समीप किसी चुम्बकीय पदार्थ को लाते हैं तो प्रेरण द्वारा उस पदार्थ में चुम्बकत्व उत्पन्न हो जाता है। यह घटना चुम्बकीय प्रेरण कहलाती है। इस स्थिति में दण्ड चुंबक पास वाले सिरे में विपरीत ध्रुव उत्पन्न करता है।

(viii) विचुंबकन – दण्ड चुंबक को गरम करने, पीटने, टक्कर से या पृथ्वी सतह में लम्बे समय तक गाढ़ कर विचुंबकित किया जा सकता है।

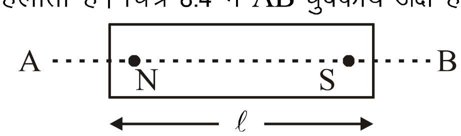
(ix) चुंबकीय पदार्थों का प्रतिकर्षण – कुछ पदार्थ दण्ड चुंबक द्वारा प्रतिकर्षित होते हैं जिन्हें प्रतिचुम्बकीय पदार्थ कहते है, जैसे – पानी, सोना, चांदी आदि।

8.2.2 चुम्बक से सम्बन्धित कतिपय परिभाषाएँ (Some Definations Related to Magnet)

(i) चुंबकीय ध्रुव तथा चुंबकीय अक्ष (Magnetic Poles and Magnetic Zxis)

किसी दण्ड चुंबक के सिरों के निकट वे बिंदु जहाँ चुंबकत्व अधिकतम होता है तथा चुंबकीय आकर्षण बलों की परिणामी बल की कार्यकारी रेखा गुजरती है चुंबकीय ध्रुव कहलाते हैं।

चुंबकीय ध्रुवों से गुजरने वाली काल्पनिक रेखा चुंबकीय अक्ष कहलाती है। चित्र 8.4 में AB चुंबकीय अक्ष है।



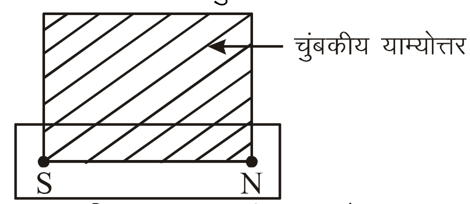
चित्र 8.4 चुंबकीय अक्ष और प्रभावी लंबाई

(ii) चुंबक की प्रभावी लंबाई (Effective Length of a Magnet)

चुंबक के दोनों ध्रुवों के मध्य की दूरी चुंबक की प्रभावी लंबाई कहलाती है यह ज्यामितीय लंबाई की लगभग 5/6 गुनी होती है इसकी दिशा $\vec{\ell}$ ध्रुव S से N की ओर होती है।

(iii) चुम्बकीय याम्योत्तर (Magnetic Meridian)

किसी स्थान पर स्वतंत्रता पूर्वक लटके हुए चुंबक या कीलकित चुंबकीय सुई की स्थिर अवस्था में चुम्बकीय अक्ष से गुजरने वाले काल्पनिक ऊर्ध्वाधर तल को चुंबकीय याम्योत्तर कहते है।



चित्र 8.5 चुंबकीय याम्योत्तर

(iv) ध्रुव प्रबलता (Pole Strength)

चुंबक के चुम्बकीय ध्रुव द्वारा चुम्बकीय पदार्थों को आकर्षित करने की क्षमता उसकी ध्रुव प्रबलता कहलाती है इसे m द्वारा प्रदर्शित करते हैं, इसका मात्रक Am होता है।

(v) चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य कार्यरत बल कूलॉम का नियम (Coulomb's Law for Force Between Magnetic Poles)

किन्ही दो चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य लगने वाला चुम्बकीय बल दोनों ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता m_1 और m_2 के गुणनफल के समानुपाती तथा उनके मध्य की दूरी r के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है तथा इस बल की दिशा दोनों चुम्बकीय ध्रुवों को मिलाने वाली रेखा के अनुदिश होती है। अर्थात्

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

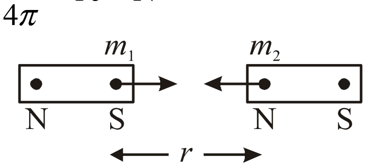
या $$F = k\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

SI मानकों में $$F = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \ldots (8.1)$$

यहाँ $k = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ Web/Am स्थिरांक है तथा $_0$ निर्वात् की चुम्बकीय पारगम्यता या चुम्बकशीलता है।

यदि $m_1 = m_2 = 1\,\text{A m}$, $r = 1\text{m}$ है तो

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}\ \text{N}$$



चित्र 8.6 ध्रुवों के मध्य बल

अर्थात् यदि दो समान परिमाण के चुम्बकीय ध्रुव परस्पर 1 मीटर दूरी पर स्थित हों और उनके मध्य 10^{-7} N का बल कार्यरत हो तो वे "चुम्बकीय ध्रुव इकाई ध्रुव" कहलाते हैं।

8.3 चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ या चुम्बकीय बल रेखाएँ (Magnetic Field Lines or Magnetic Lines of Force)

यदि किसी दण्ड चुम्बक के एक सिरे से दूसरे सिरे तक कम्पास सुई को ले जाया जाए तो सुई की दिशा लगातार बदलती रहती है। कम्पास सुई के चलने का मार्ग एक वक्र के रूप में होता है यह वक्र ही चुम्बकीय क्षेत्र रेखा कहलाती है। जब किसी चुम्बकीय क्षेत्र में काल्पनिक एकांक उत्तरी ध्रुव रखा जाए तो उस पर कार्यरत बल के कारण वह जिस वक्र के अनुदिश गति करेगा अर्थात् वह काल्पनिक बंद पथ जिसके अनुदिश स्वतंत्र एकांक उत्तरी ध्रुव चुम्बकीय बल के कारण गति करता है चुम्बकीय क्षेत्र रेखा कहलाती है।

चित्र 8.7 में दण्ड चुम्बक के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ प्रदर्शित की गई हैं।

गुण–

(i) ये काल्पनिक बंद वक्र के रूप में होती हैं।

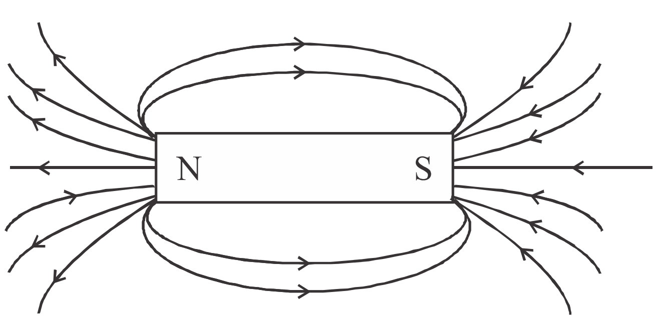
(ii) चुम्बक के बाहर इनकी दिशा उत्तरी ध्रुव (N) से दक्षिणी ध्रुव (S) की ओर जबकि चुम्बक के अंदर S से N की ओर होती है।

(iii) बंद वक्र के किसी बिंदु पर खींची गई स्पर्श रेखा उस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को प्रदर्शित करती है।

(iv) ये एक दूसरे को प्रतिच्छेद नहीं करतीं यदि किसी बिन्दु पर प्रतिच्छेद करतीं तो कटान बिन्दु पर दो स्पर्श रेखाएँ होतीं अर्थात् उस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दो दिशाएँ होतीं जोकि असंभव है।

(v) जहाँ क्षेत्र रेखाएँ सघन होती है वहाँ चुम्बकीय क्षेत्र प्रबल तथा विरल होने पर चुम्बकीय क्षेत्र दुर्बल होता है अतः चुम्बकीय ध्रुवों के समीप चुम्बकीय क्षेत्र प्रबल और चुम्बकीय ध्रुवों से दूर चुम्बकीय क्षेत्र दुर्बल होता है।

(vi) समान चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ परस्पर समांतर तथा समान दूरी पर होती है।



चित्र 8.7 चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ

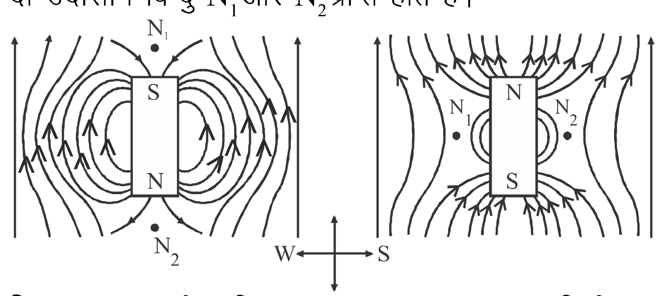
8.4 उदासीन बिन्दु (Neutral Point)

किसी समतल पर स्थित किसी दण्ड चुम्बक की चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र तथा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के परिणामी क्षेत्र के कारण ही वक्राकार प्राप्त होती है। चुम्बक के समीप चुम्बक का अपना क्षेत्र प्रबल होता है जहाँ पृथ्वी के क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र का प्रभाव नगण्य रहता है परन्तु चुम्बक से दूर चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र घटता जाता है अतः पृथ्वी के क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र का मान अपेक्षाकृत अधिक होता जाता है। इस प्रकार चुम्बक से कुछ दूर स्थित वे बिन्दु जहाँ पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र के बराबर और विपरीत दिशा में होता है वहाँ परिणामी क्षेत्र का मान शून्य हो जाता है, उदासीन बिन्दु कहलाते है।

यदि उदासीन बिन्दुओं पर दण्ड चुम्बक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र B तथा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक B_H है तो $B = B_H$ होगा। उदासीन बिन्दुओं की स्थिति चुम्बक की पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के सापेक्ष स्थिति पर निर्भर करती है।

(i) चुम्बक का दक्षिण ध्रुव भौगोलिक उत्तर की ओर है

इस स्थिति में क्षेत्र रेखाएँ चित्र 8.8 (अ) के अनुसार प्राप्त होती है। पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा सदैव दक्षिण से उत्तर की ओर होती है इस स्थिति में चुम्बक के लम्बवत् निरक्ष पर दोनों क्षेत्रों की दिशा समान होती है जबकि चुम्बकीय अक्ष पर दोनों ओर दो ऐसे बिन्दु प्राप्त होते हैं जहाँ क्षेत्र रेखाएँ नहीं पहुँचती है। अतः चुम्बक के दोनों ओर अक्षीय रेखा पर एक निश्चित दूरी पर दो उदासीन बिन्दु N_1 और N_2 प्राप्त होते हैं।



चित्र 8.8 उदासीन बिन्दु (अ) जब चुम्बक का दक्षिणी ध्रुव भौगोलिक उत्तर की ओर है (ब) जब चुंबक का उत्तरी ध्रुव भौगोलिक उत्तर की ओर है

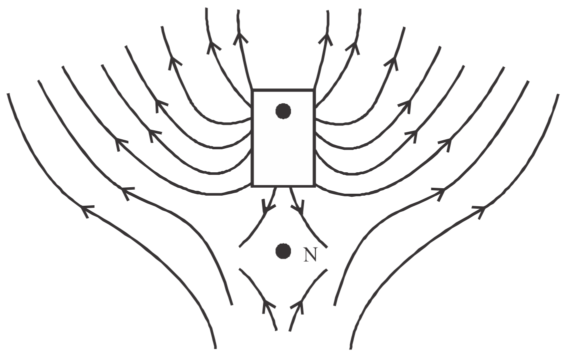
(ii) चुम्बक का उत्तरी ध्रुव भौगोलिक उत्तर की ओर है

इस स्थिति में क्षेत्र रेखाएँ चित्र 8.8 (ब) के अनुसार प्राप्त होती है। इस स्थिति में चुम्बकीय अक्ष पर दोनों चुम्बकीय क्षेत्रों की दिशा समान होती है अतः चुम्बक के लम्बवत् निरक्ष रेखा पर दोनों ओर दो बिन्दु प्राप्त होते हैं जहाँ क्षेत्र रेखाएँ नहीं पहुँचती। इस प्रकार निरक्ष रेखा पर चुम्बक के दोनों ओर दो उदासीन बिन्दु N_1 तथा N_2 प्राप्त होते है।

(iii) चुम्बक को ऊर्ध्वाधर रखने पर

चित्र 8.9 के अनुसार दण्ड चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को नीचे रखकर ऊर्ध्वाधर स्थिति में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ प्राप्त

होती है तो केवल एक उदासीन बिन्दु N प्राप्त होता है जिसकी स्थिति चुम्बक के उत्तरी ध्रुव से ठीक दक्षिण की ओर होती है।



चित्र 8.9 चुंबक उर्ध्वाधर रखने पर

यदि दक्षिणी ध्रुव को नीचे रखकर ऊर्ध्वाधर स्थिति में चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ प्राप्त करें तो भी एक उदासीन बिन्दु प्राप्त होता है जिसकी स्थिति चुम्बक के दक्षिणी ध्रुव से ठीक उत्तर की ओर होती है।

8.5 चुम्बकीय द्विध्रुव तथा चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण (Magnetic Dipole and Magnetic dipole Moment)

8.5.1 चुम्बकीय द्विध्रुव (Magnetic Dipole)

किसी दण्ड चुम्बक को बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर उस पर एक बल आघूर्ण कार्य करता है जिसके कारण वह अपनी माध्य स्थिति से घूमकर बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में संरेखित हो जाता है। ठीक इसी प्रकार चुम्बकीय दिक्सूची, धारावाही लूप, धारावाही परिनालिका भी व्यवहार करती है। अतः दण्ड चुम्बक, चुम्बकीय दिक्सूची धारावाही लूप, धारावाही परिनालिका का बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में व्यवहार, बाह्य वैद्युत क्षेत्र में वैद्युत द्विध्रुव की तरह होता है अतः ये सभी युक्तियाँ चुम्बकीय द्विध्रुव कहलाती है।

8.5.2 चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण (Magnetic Dipole Moment)

हम पढ़ चुके हैं कि A क्षेत्रफल की धारावाही कुण्डली में फेरों की संख्या N तथा धारा I प्रवाहित हो तो समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B में इसकी दिशा से θ कोण पर रखने पर उस पर कार्यरत बल आघूर्ण

$$\tau = NIAB\sin\theta \qquad \ldots(8.2)$$

विद्युत क्षेत्र E में क्षेत्र की दिशा से θ कोण पर स्थित विद्युत द्विध्रुव पर कार्यरत बल आघूर्ण

$$\tau = pE\sin\theta \qquad \ldots(8.3)$$

यहाँ p वैद्युत द्विध्रुव आघूर्ण है। समीकरण (8.2) व (8.3) की तुलना करने पर NIA वैद्युत द्विध्रुव आघूर्ण के तुल्य है। इसे चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण कहते हैं।

धारावाही कुण्डली का चुम्बकीय आघूर्ण

$$M = NIA$$

यह सदिश राशि होती है जिसकी दिशा $\vec{A}$ की दिशा अर्थात् धारावाही लूप के लम्बवत् उसकी अक्ष के अनुदिश होती है

$$\vec{M} = NI\vec{A} \qquad \ldots(8.4)$$

इसका मात्रक $A\,m^2$ होता है।

इस प्रकार

$$\tau = MB\sin\theta \qquad \ldots(8.5)$$

यदि B = 1 टेसला तथा $\theta = 90°$ हो तो $\tau = M$

अर्थात् एकांक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में किसी चुम्बकीय द्विध्रुव (दण्ड चुम्बक) की अक्ष को क्षेत्र के लम्बवत् रखने पर उस पर कार्यरत बल आघूर्ण चुम्बकीय आघूर्ण कहलाता है।

8.5.2 दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण (Magnetic Moment of Bar Magnetic)

किसी दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण उसके किसी एक चुम्बकीय ध्रुव की ध्रुव प्रबलता (m) और उसकी प्रभावी लम्बाई (चुम्बकीय लंबाई) के गुणनफल के बराबर होता है।

अर्थात् $M = m \times \ell \qquad \ldots(8.6)$

इस चुम्बकीय आघूर्ण की दिशा $\vec{\ell}$ अर्थात् S ध्रुव से N ध्रुव की ओर होती है।

(अ) यदि दण्ड चुम्बक को उसकी लम्बाई के लम्बवत् दो समान भागों में विभाजित कर दें तो प्रत्येक भाग की ध्रुव प्रबलता पूर्ववत रहेगी परन्तु लम्बाई आधी हो जाएगी। अतः प्रत्येक भाग का चुम्बकीय आघूर्ण (देखे चित्र 8.3अ)

$$M_1 = m \times \frac{\ell}{2} = \frac{m\ell}{2} = \frac{M}{2}$$

(ब) यदि दण्ड चुम्बक को उसकी अक्ष के अनुदिश दो समान भागों में विभाजित कर दें तो प्रत्येक भाग की ध्रुव प्रबलता पूर्व दण्ड चुम्बक से आधी हो जाएगी अतः प्रत्येक भाग का चुम्बकीय आघूर्ण (देखे चित्र 8.3ब)

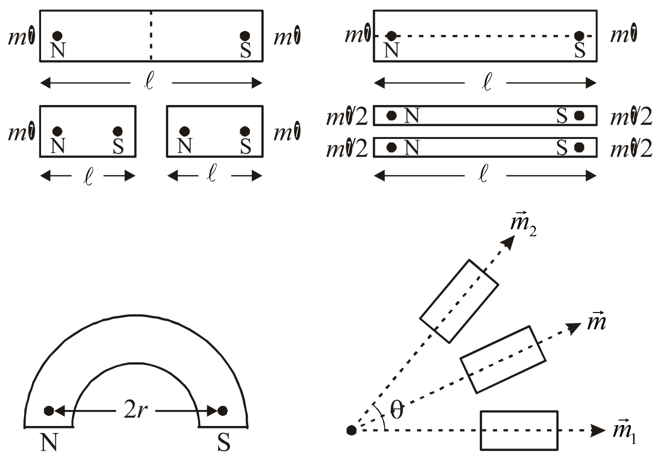
$$M_2 = \frac{m}{2} \times \ell = \frac{m\ell}{2} = \frac{M}{2}$$

(स) यदि ℓ लम्बाई के दण्ड चुम्बक को r त्रिज्या के अर्द्ध वृत्ताकार रूप में मोड़ दें तो चुम्बकीय आघूर्ण

$$M_3 = m \times 2r$$

$\because$ अर्द्ध वृत्त की परिधि $\pi r = \ell$

$$\therefore \quad M_3 = m \times \frac{2\ell}{\pi} = \frac{2M}{\pi}$$



चित्र 8.10 दण्ड चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण

(द) यदि दो दण्ड चुम्बकों के चुम्बकीय आघूर्ण $\vec{M}_1$ तथा $\vec{M}_2$ एक दूसरे से θ कोण पर हो तो परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण सदिश $\vec{M}$ का परिमाण

$$M = \sqrt{M_1^2 + 2M_1M_2\cos\theta + M_2^2} \quad \ldots(8.7)$$

8.5.2.2 कक्षीय इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय आघूर्ण (Magnetic Moment of Orbital Electron)

परमाणु में नाभिक के चारों ओर वृत्ताकार कक्षा में गतिशील इलेक्ट्रॉन धारावाही लूप के समान होता है अतः परमाणु की प्रत्येक कक्षा एक चुम्बकीय द्विध्रुव की तरह व्यवहार करती है।

चुम्बकीय आघूर्ण

$$M = NIA$$

$\because$ $N = 1$ तथा $A = \pi r^2$

तथा $I = \frac{e}{T}$

अतः $M = \frac{e}{T} \times \pi r^2$

यहाँ r वृत्ताकार कक्षा की त्रिज्या है।

$\because$ $T = \frac{2\pi}{\omega}$

अतः $$M = \frac{e}{2\pi/\omega} \times \pi r^2 = \frac{1}{2} e\omega r^2 \quad \ldots(8.8)$$

$\because$ कक्षीय वेग $v = r\omega$

अतः $$M = \frac{1}{2} evr \quad \ldots(8.9)$$

उदाहरण 8.1 5 cm प्रभावी लम्बाई के चुम्बक के ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता 40 Am है तो चुम्बक के चुम्बकीय आघूर्ण का मान ज्ञात करो।

हलः चुम्बकीय आघूर्ण $M = m \times \ell$

दिया है $m = 40\,\text{Am}$, $l = 5\,\text{cm} = 0.05\,\text{m}$

$$M = 0.05 \times 40 = 2\,\text{Am}^2$$

उदाहरण 8.2 एक धारावाही वृत्ताकार कुण्डली का चुम्बकीय आघूर्ण 5 A m² है यदि इसकी त्रिज्या आधी तथा धारा दुगनी कर दें तो चुम्बकीय आघूर्ण का मान मूल चुम्बकीय आघूर्ण का कितना गुणा हो जाएगा?

हलः पूर्व में $M = NI\pi r^2$

बाद में $M' = NI'\pi r'^2$

दिया है $r' = \frac{r}{2}$ तथा $I' = 2I$

अतः $$\frac{M'}{M} = \frac{N \times 2I \times (r/2)^2}{N \times I \times r^2} = \frac{1}{2}$$

अतः $$M' = \frac{M}{2}$$

उदाहरण 8.3 हाइड्रोजन परमाणु की प्रथम कक्षा में गति कर रहे इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करो?

$$\left(r = 0.53\,\text{Å},\ v = 2.2 \times 10^6\,\text{ms}^{-1}\right)$$

हलः $M = \frac{1}{2} evr$ (देखे समीकरण 8.9)

$$r = 0.53\,\text{Å}$$

$$r = 0.53 \times 10^{-10}\,\text{m}$$

$$v = 2.2 \times 10^6\,\text{m s}^{-1}$$

$$M = \frac{1}{2} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 2.2 \times 10^6 \times 0.53 \times 10^{-10}$$

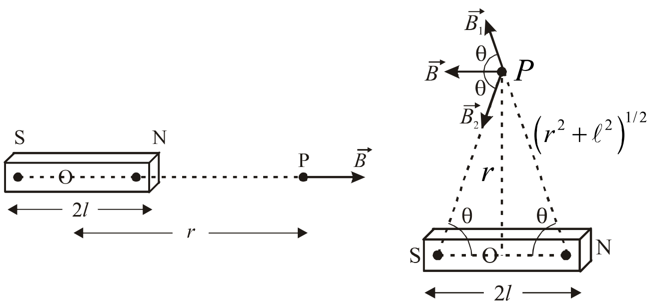
$$M = 0.93 \times 10^{-23}\,\text{Am}^2$$

8.6 चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (Intensity of Magnetic Field)

चुम्बकीय क्षेत्र में किसी अभीष्ट बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता उस बिन्दु पर रखे हुये एकांक प्राबल्यता के परीक्षण उत्तरी–ध्रुव द्वारा अनुभव किये जाने वाले बल के तुल्य होती है। यह सदिश राशि है, इसे $\vec{B}$ संकेत द्वारा व्यक्त करते हैं। इसका S.I. मात्रक टेसला या N / A m होता है।

8.6.1 दण्ड चुम्बक के अक्ष पर चुम्बकीय (Magnetic Field at Axial Point of Bar Magnet)

दण्ड चुम्बक $S\,N$ के प्रत्येक ध्रुव की प्रबलता m एवं प्रभावीकारी लम्बाई $2l$ है। चित्र 8.11 में दर्शाये अनुसार दण्ड चुम्बक के केन्द्र से r दूरी पर कोई अभीष्ट बिन्दु P स्थित हैं। अतः बिन्दु P पर उत्तरी ध्रुव N के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (B_1) होगी



चित्र 8.11 दण्ड चुम्बक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{(r-l)^2} \quad \text{(अक्ष के अनुदिश बाहर की ओर)} \qquad \ldots(8.9a)$$

इसी प्रकार दक्षिणी ध्रुव S के कारण बिन्दु P पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (B_2) होगी

$$B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{(-m)}{(r+l)^2} \quad \text{(अक्ष के अनुदिश अन्दर की ओर)} \qquad \ldots(8.9b)$$

$\therefore$ अतः दण्ड चुम्बक के कारण बिन्दु P पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की परिणामी तीव्रता $(\vec{B}) = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ यहाँ $\vec{B}_1$ तथा $\vec{B}_2$ एक ही रेखा पर इंगित हैं,

अतः
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{(r-l)^2} + \frac{\mu_0(-m)}{4\pi(r+l)^2}$$

$$= \frac{\mu_0 m}{4\pi}\left[\frac{1}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2}\right]$$

$$= \frac{\mu_0 m}{4\pi} \times \frac{m4rl}{(r^2-l^2)^2}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2Mr}{(r^2-l^2)^2} \quad [\because\ M = m\times 2l] \ldots(8.10)$$

लघु दण्ड चुम्बक के लिए $\ell <<< r$ है तो ℓ^2 एक नगण्य राशि होगी, तब चुम्बीय क्षेत्र की तीव्रता

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\times\frac{2M}{r^3} \qquad \ldots(8.11)$$

इसकी दिशा अक्ष के अनुदिश बाहर की ओर इंगित होगी।

8.6.2 दण्ड चुम्बक के निरक्ष पर चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field at Equilateral Point of Bar Magnet)

दण्ड चुम्बक SN के प्रत्येक ध्रुव की प्राबल्यता m एवं प्रभावी लम्बाई $2l$ है। चित्र 8.11ब में दर्शाये अनुसार दण्ड चुम्बक के केन्द्र O से निरक्षीय रेखा (equatorial line) पर r दूरी पर कोई बिन्दु P स्थित है। अतः बिन्दु P पर उत्तरी ध्रुव के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi}\times\frac{m}{(r^2+l^2)}$$

इसकी दिशा NP की ओर इंगित होगी।

इसी प्रकार बिन्दु P पर दक्षिणी ध्रुव के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi}\times\frac{m}{(r^2+l^2)}$$

इसकी दिशा PS की ओर इंगित होगी।

यदि सदिश $\vec{B}_1$ एवं $\vec{B}_2$ को चुम्बकीय अक्ष के समान्तर एवं लम्बवत् दिशाओं में वियोजित करें तो अक्ष के समान्तर घटक एक ही दिशा में होने के कारण जुड़ जाएँगें जबकि अक्ष के लम्बवत् घटक परस्पर विपरीत दिशा में होने के कारण एक–दूसरे को निरस्त कर देंगे। अतः बिन्दु P पर उत्पन्न परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ की दिशा, चुम्बकीय अक्ष के समान्तर होगी

$$\therefore \quad \vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

$$\therefore \quad B = B_1\cos\theta + B_2\cos\theta \qquad \text{(अक्ष के समान्तर)}$$

$$\therefore \quad B = 2B_1\cos\theta \qquad [\because B_1 = B_2]$$

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0\times 2m}{4\pi(r^2+l^2)}\times\cos\theta$$

(यहाँ $\cos\theta = \frac{\ell}{(r^2+l^2)^{1/2}}$)

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2ml}{(r^2+l^2)^{3/2}} \qquad \ldots(8.12a)$$

यदि M दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण है तथा लघु दण्ड चुम्बक के लिए $l <<< r$ हो तो l^2 एक नगण्य राशि होगी, तब चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3} \quad [\because \; M = m \times 2l] \qquad \ldots (8.12b)$$

अतः समीकरण 8.11 तथा समीकरण 8.12 से स्पष्ट है कि लघुदण्ड चुम्बक के लिए समान दूरी पर स्थित अक्षीय तथा निरक्षीय बिन्दुओं पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रताएँ 2:1 के अनुपात में होती हैं।

उपर्युक्त मान स्थिर वैद्युत अनुरूप के द्वारा भी प्राप्त होता है। जिस प्रकार वैद्युत द्विध्रुव के कारण उसकी अक्ष और निरक्ष पर वैद्युत क्षेत्र

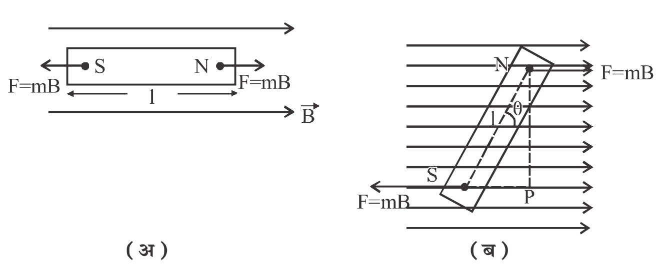
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi \in_0}\frac{2\vec{p}}{r^3} \qquad \ldots (8.13a)$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi \in_0}\frac{\vec{p}}{r^3} \qquad \ldots (8.13b)$$

यहां $\vec{p}$ को $\vec{m}$ से, $\frac{1}{\in_0}$ को μ_0 से तथा $\vec{E}$ को $\vec{B}$ से प्रतिस्थापित करे तो उपर्युक्त मान प्राप्त होते हैं।

8.7 एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में दण्ड चुम्बक पर बल आघूर्ण (Torque on a Bar Magnet in Uniform Magnetic Field)

चित्र 8.12 (अ) के अनुसार एक दण्ड चुम्बक जिसकी प्रभावी लम्बाई ℓ तथा ध्रुव प्रबलता m है, किसी समान चुम्बकीय क्षेत्र B में इस प्रकार लटका हुआ है कि वह क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है। इसके प्रत्येक ध्रुव पर एक बल $(F = mB)$ कार्य करता है, जो कि परस्पर समान परिमाण, विपरीत प्रकृति तथा चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर तथा प्रतिसमान्तर होता है। इसमें N ध्रुव पर बल चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में तथा S ध्रुव पर चुम्बकीय क्षेत्र की विपरीत दिशा में बल लगता है इनकी क्रिया रेखा एक ही है अतः परिणामी बल तथा बल आघूर्ण शून्य होता है।



चित्र 8.12 चुंबकीय क्षेत्र में ध्रुवों पर चुंबकीय बल

अब यदि चित्र 8.12 (ब) के अनुसार इसे साम्यावस्था से θ कोण पर विक्षेपित कर दिया जाए तो दोनों ध्रुवों पर लगने वाले बल mB संरेखित नहीं होने से बल आघूर्ण उत्पन्न करते हैं जो इसे घुमाकर चुम्बकीय क्षेत्र के समांतर लाने का प्रयास करते हैं।

अतः बल युग्म का आघूर्ण

$\tau =$ बल $\times$ बलों के मध्य की लम्बवत् दूरी

$\tau = mB \times NP$

या $\quad \tau = mB \times \ell \sin\theta$

या $\quad \tau = (m \times \ell) B \sin\theta$

या $\quad \tau = MB\sin\theta \qquad \ldots (8.14a)$

यहाँ M चुम्बकीय आघूर्ण $= m \times \ell$

या $\quad \vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B} \qquad \ldots (8.14b)$

विशेष स्थितियाँ

(i) जब दण्ड चुम्बक चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर $(\theta = 0)$ स्थित है तो [चित्र 8.12(स)]

$$\tau = MB\sin 0^0 = 0$$

(ii) जब दण्ड चुम्बक चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् $(\theta = 90^\circ)$ हो तो

$$\tau_{\max} = MB\sin 90^0 = MB$$

दण्ड चुम्बक की चुम्बकीय स्थितिज ऊर्जा

$$U_m = \int \tau(\theta) d\theta$$

$$= \int MB\sin\theta \, d\theta = -MB\cos\theta$$

या $\quad U_M = -\vec{M}.\vec{B} \qquad \ldots (8.15)$

स्थिति (i) $\theta = 0^\circ$ पर $(U_M)_{Min} = -MB$ (स्थायी साम्यावस्था)

(ii) $\theta = \pi$ पर $(U_M)_{Max} = MB$ (अस्थाई साम्यावस्था)

दण्ड चुम्बक को चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा से $d\theta$ कोण घुमाने में किया गया कार्य $dW = MB\sin\theta \, d\theta$

अतः θ कोण से घुमाने मे कुल कार्य

$$W = \int_0^\theta MB\sin\theta \, d\theta$$

$$W = MB[-\cos\theta]_0^\theta$$

$$= MB(\cos 0 - \cos\theta)$$

$$W = MB(1 - \cos\theta) \qquad \ldots (8.16)$$

उदाहरण 8.4 एक दण्ड चुम्बक की प्रभावी लम्बाई 10 cm तथा ध्रुव प्रबलता 25 Am है। इसे चुम्बकीय याम्योत्तर से 30° कोण पर विक्षेपित करने के लिए उत्पन्न बल आघूर्ण ज्ञात करो $(B_H = 0.4 \times 10^{-4}\text{T})$

हलः $\tau = MB_H \sin\theta$

दिया है $m = 25\,\text{Am},\ \ell = 0.1\text{m}, \theta = 30°$

$$\tau = m\ell B_H \sin\theta$$

$$= 25\times0.1\times0.4\times10^{-4}\times0.5$$

$$= 0.5 \times 10^{-4}\,\text{N m}$$

उदाहरण 8.5 एक दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण $5\,\text{A m}^2$ है, इसे एक $0.2\,\text{T}$ के चुम्बकीय क्षेत्र में रखा है। इसे चुम्बकीय क्षेत्र के सापेक्ष समांतर दिशा से प्रति समांतर दिशा तक घुमाने में किया गया कार्य तथा दोनों स्थितियों में स्थितिज ऊर्जा की गणना करो।

हलः दण्ड चुम्बक को θ_1 से θ_2 तक घुमाने में किया गया कार्य

$$W = MB(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

अतः $W = 5\times0.2(\cos 0^0 - \cos180^0)$

$$= 1.0\ (1 + 1) = 2\ \text{J}$$

इसी प्रकार

$$U_1 = -MB\cos\theta_1 = -MB\cos 0 = -MB$$

$$= -5\times0.2 = -1\text{J}$$

$$U_2 = -MB\cos180^0 = MB = 5\times0.2 = 1\text{J}$$

8.8 भू चुम्बकत्व (Earth's Magnetism)

पृथ्वी एक चुम्बक की तरह व्यवहार करती है पृथ्वी के चुम्बकत्व को भू चुम्बकत्व या पार्थिव चुम्बकत्व कहते हैं। पृथ्वी के चुम्बकीय व्यवहार की पुष्टि निम्नलिखित तथ्यों से होती है–

(i) स्वतंत्रतापूर्वक लटकाए हुए चुम्बक का सदैव उत्तर दक्षिण दिशा में ठहरना।

(ii) पृथ्वी में गाड़ने पर लोहे के टुकड़े का कुछ समय पश्चात् चुम्बक बनना।

(iii) किसी दण्ड चुम्बक की चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ खींचने पर उदासीन बिन्दुओं का प्राप्त होना।

पृथ्वी की सतह पर भिन्न–भिन्न स्थानों पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान भिन्न–भिन्न प्राप्त होता है जिसका मान $10^{-5}\,\text{T}$ की कोटि का होता है।

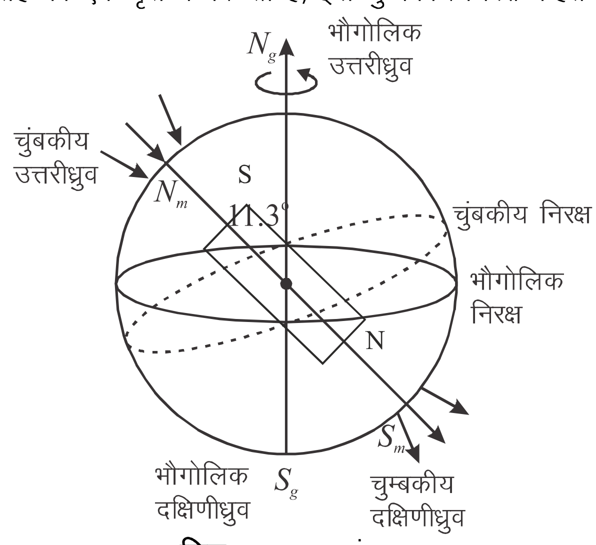
8.8.1 पृथ्वी के चुम्बकत्व का कारण (Cause of Earth's Magnetism)

पृथ्वी के चुम्बकत्व की उत्पत्ति एवं कारणों के बारे में कोई निश्चित सिद्धान्त नहीं है। इस संदर्भ में समय–समय पर विभिन्न सिद्धान्त प्रतिपादित किए हैं–

प्रारम्भ में यह सोचा गया कि पृथ्वी के गर्भ में एक शक्तिशाली चुम्बक उपस्थित है जो लगभग पृथ्वी के घूर्णन अक्ष के अनुदिश रखा है, परन्तु वास्तव में यह धारणा सम्भव नहीं है। भू–चुम्बकत्व के लिए सर्वाधिक सहमति का सिद्धान्त एलसिसर का माना जाता है। इसके अनुसार एलसिसर ने यह बताया कि पृथ्वी के भीतर उसकी केन्द्रीय क्रोड में अनेक चालक पिघली हुई अवस्था में उपस्थित रहते हैं जिनमें लोहा और निकल मुख्य हैं। पृथ्वी के अपनी अक्ष पर घूर्णन से उसकी अर्द्ध द्रव क्रोड में धीमी संवहन धाराएँ उत्पन्न होने से स्व उत्तेजित जनित्र की क्रिया होने से विद्युत धारा उत्पन्न होती है जिनसे पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है।

यदि किसी चुम्बकीय सुई को इस प्रकार लटकाएँ कि वह ऊर्ध्वाधर तल में स्वतंत्रता पूर्वक घूम सके। इसे पृथ्वी के तल पर उत्तरी गोलार्द्ध से दक्षिणी गोलार्द्ध की ओर ले जाएँ तो यह दो स्थानों पर पूर्णतः ऊर्ध्वाधर तथा दो स्थानों पर पूर्णतः क्षैतिज तथा अन्य स्थानों पर क्षैतिज से भिन्न–भिन्न कोण बनाती है।

जिन दो स्थानों पर चुम्बकीय सुई पूर्णतः ऊर्ध्वाधर हो जाती है उन्हें पृथ्वी के चुम्बकीय ध्रुव कहते हैं इन ध्रुवों को मिलाने वाली रेखा चुम्बकीय अक्ष कहलाती है। पृथ्वी के उत्तरी चुम्बकीय ध्रुव की स्थिति $79.74°N$ अक्षांश एवं $71.8°W$ देशांतर पर उत्तरी कनाडा में तथा चुम्बकीय दक्षिणी ध्रुव $79.74°S$ अक्षांश एवं $108.22°E$ देशांतर पर अंटार्कटिका में है। पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी ध्रुव पर चुम्बकीय सुई का सिरा पृथ्वी की ओर तथा भौगोलिक दक्षिणी ध्रुव पर चुम्बकीय सुई का दक्षिण सिरा पृथ्वी की ओर होता है अतः पृथ्वी के चुम्बक का उत्तरी ध्रुव दक्षिणी गोलार्द्ध में तथा दक्षिणी ध्रुव उत्तरी गोलार्द्ध में होना चाहिए। पृथ्वी के चुम्बकीय ध्रुवों की स्थिति धीरे–धीरे बदलती रहती है। पृथ्वी की चुम्बकीय अक्ष भौगोलिक अक्ष के संपाती नहीं होती बल्कि लगभग $11.3°$ कोण पर झुकी है। जिन स्थानों पर चुम्बकीय सुई पृथ्वी की सतह के समांतर या क्षैतिज रहती है उन स्थानों से गुजरने वाली तथा पृथ्वी की चुम्बकीय अक्ष के लम्बवत् तल पृथ्वी के गोले की सतह को एक वृत्त में काटता है, इसे चुम्बकीय निरक्ष कहते हैं।



चित्र 8.13 भू चुंबकत्व

8.8.2 भू चुम्बकत्व के अवयव (Elements of Earth's Magnetism)

किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की पूर्ण जानकारी प्राप्त करने हेतु तीन राशियों का जानना आवश्यक है। इन्हें भू चुम्बकत्व के अवयव कहते हैं। भू चुम्बकत्व के निम्न अवयव हैं

(i) दिक्पात का कोण

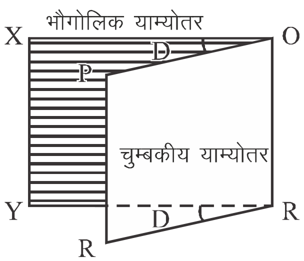
(ii) नति कोण

(iii) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक

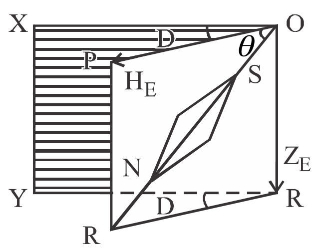
(i) दिक्पात का कोण (Angle of Declination)

किसी स्थान पर अपने गुरूत्व केन्द्र से स्वतंत्रतापूर्वक लटकी चुम्बकीय सुई की अक्ष से पारित ऊर्ध्वाधर तल को चुम्बकीय याम्योत्तर तथा भौगोलिक उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुवों को मिलाने वाली रेखा से गुजरने वाले ऊर्ध्वाधर तल को भौगोलिक याम्योत्तर कहते हैं।

किसी स्थान पर चुम्बकीय याम्योत्तर तथा भौगोलिक याम्योत्तर के मध्य के न्यून कोण D को दिक्पात का कोण कहते हैं।



चित्र 8.14 दिक्पात कोण



चित्र 8.15 नति कोण

भिन्न–भिन्न स्थानों पर दिक्पात का कोण मापकर संसार का नक्शा बनाया जाता है। उच्चतर अक्षांशों पर इसका मान अधिक तथा विषुवत् रेखा के पास कम होता है। दिक्पात कोण का मान दिल्ली में $0^o 41' E$ और मुंबई में $0^o 58' W$ है।

(ii) नमन या नति कोण (Angle of Dip)

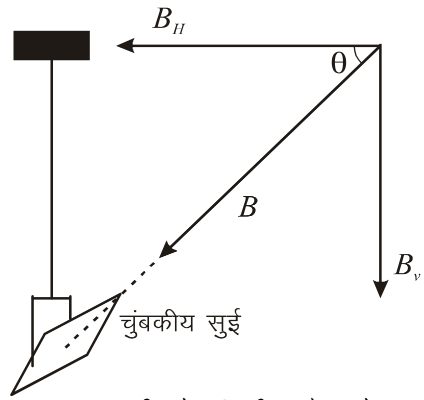
यदि किसी चुम्बकीय सुई को उसके गुरूत्व केन्द्र से स्वतंत्रता पूर्वक इस प्रकार लटकाया जाए कि वह ऊर्ध्वाधर तल में घूम सके तो वह चुम्बकीय याम्योत्तर में स्थिर होने पर क्षैतिज के साथ कुछ कोण बनाती है। इस स्थिति में चुम्बकीय सुई की चुम्बकीय अक्ष उस स्थान पर पृथ्वी के परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता की दिशा को प्रदर्शित करती है।

अतः चुम्बकीय याम्योत्तर में पृथ्वी के परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा तथा क्षैतिज दिशा के मध्य बनने वाले कोण θ को नति कोण कहते हैं।

पृथ्वी के चुम्बकीय ध्रुवों पर नति कोण 90^o तथा चुम्बकीय निरक्ष पर 0^o होती हैं। क्योंकि इन पर चुम्बकीय सुई क्रमशः ऊर्ध्वाधर और क्षैतिज हो जाती है।

(iii) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक (Horizontal Component of Earth's Magnetic Field)

पृथ्वी के चुम्बकीय ध्रुवों पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र ऊर्ध्वाधर में तथा चुम्बकीय निरक्ष पर क्षैतिज दिशा में होता है। अन्य स्थानों पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र, क्षैतिज से कुछ कोण (नति कोण) बनाता है। अतः पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र को किसी स्थान पर चित्र 8.16 के अनुसार दो घटकों में वियोजित कर सकते हैं।



चित्र 8.16 पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के घटक

माना भू चुम्बक के क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर घटक B_H एवं B_V हैं।

अतः $B_V = B\sin\theta$ . . . (8.17)

तथा क्षैतिज घटक $B_H = B\cos\theta$ . . . (8.18)

$$\vec{B} = \vec{B}_H + \vec{B}_v$$

$$B = \sqrt{B_H^2 + B_v^2 + 2B_H B_v \cos 90^o}$$

$$B = \sqrt{B_H^2 + B_v^2}$$

तथा $\tan\theta = \dfrac{B_v}{B_H}$

या $B_v = B_H \tan\theta$ . . . (8.19)

उदाहरण 8.6 किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक 0.25 G है तथा नति कोण 60^o है इस स्थान पर ऊर्ध्व घटक का मान ज्ञात करो। परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता भी ज्ञात करो।

हलः $B_v = B_H \tan\theta$

$$B_v = 0.25 \tan 60^o$$

$$= 0.25 \times \sqrt{3} = 0.25 \times 1.732 = 0.433\text{G}$$

$$B_H = B\cos\theta$$

$$B = \frac{B_H}{\cos\theta} = \frac{0.25}{\cos 60} = \frac{0.25}{0.5}$$

$$B = 0.50\text{G}$$

8.9 चुम्बकत्व एवं गाउस नियम (Magnetism and Gauss Law)

चुम्बकत्व में एकल चुम्बकीय ध्रुव का कोई अस्तित्व नहीं होता। चुम्बकत्व की उत्पत्ति का सूक्ष्मतम स्त्रोत धारावाही लूप या चुम्बकीय द्विध्रुव ही है अतः चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ सतत् तथा बंद वक्र के रूप में होती है।

यदि किसी बंद लूप की कल्पना की जाए जिसके द्वारा घिरा क्षेत्रफल S है तो इसके अल्पांश क्षेत्रफल सदिश $d\vec{S}$ से गुजरने वाला चुम्बकीय फलक्स

$$d\phi_B = \vec{B}\cdot d\vec{S}$$

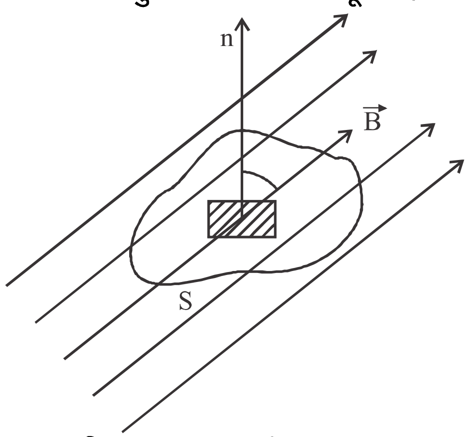
अतः इस बंद पृष्ठ से गुजरने वाला कुल फलक्स

$$\phi_B = \oint_S \vec{B}\cdot d\vec{S}$$

चूंकि इस बंद पृष्ठ से जितनी चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ बाहर निकलती हैं उतनी ही इसमें प्रवेश करती हैं अतः नेट क्षेत्र रेखाओं की संख्या शून्य होती।

अतः $$\phi_B = \oint_S \vec{B}\cdot d\vec{S} = 0 \qquad \text{. . . (8.20)}$$

इस नियम को ही चुम्बकत्व संबंधी गाउस का नियम कहते हैं। इस नियम के अनुसार **"किसी भी बंद पृष्ठ से गुजरने वाला नेट चुम्बकीय फलक्स शून्य होता है।"**



चित्र 8.17 चुम्बकीय फलक्स

8.10 पदार्थों का चुम्बकीय क्षेत्र में व्यवहार (Behaviour of Substances in Magnetic Field)

फैराडे ने बताया कि सभी पदार्थ, ठोस द्रव या गैस चुम्बकीय क्षेत्र से प्रभावित होते हैं। पदार्थों का चुम्बकीय क्षेत्र में व्यवहार समझने के लिए निम्न प्रयोग करते हैं–

एक परिनालिका में धारा प्रवाहित कर उसके अंदर प्रबल चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं जो उसकी अक्ष पर एकसमान होता है तथा सिरों पर कम होता है। यदि परिनालिका को ऊर्ध्वाधर रखकर उसके सिरे के समीप असमान चुम्बकीय क्षेत्र में परिनालिका के अंदर सुग्राही तुला से पदार्थ लटकाएँ तो

(i) कुछ पदार्थ जैसे कोबाल्ट, लोहा, निकल आदि प्रबल बल से परिनालिका के अंदर की ओर खिंचते हैं, अर्थात् कम चुम्बकीय क्षेत्र वाले भाग से अधिक चुम्बकीय क्षेत्र वाले भाग की ओर विस्थापित होते हैं।

(ii) कुछ पदार्थ जैसे एल्यूमिनियम आदि भी परिनालिका के अंदर की ओर खींचते है परन्तु यह बल दुर्बल होता है।

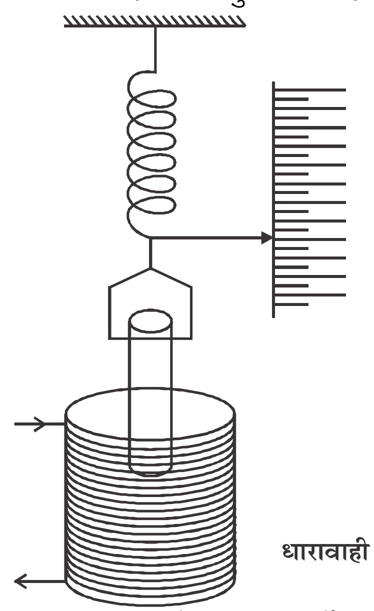
(iii) अधिकांश पदार्थ जैसे जिंक, विस्मिथ, सोना आदि पर बल की दिशा अधिक चुम्बकीय क्षेत्र वाले भाग से कम चुम्बकीय क्षेत्र वाले भाग की ओर होती है और यह बल भी दुर्बल होता है। ये प्रेक्षण चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा पर निर्भर नहीं करते हैं।

विभिन्न पदार्थों के उपर्युक्त वर्णित व्यवहार के आधार पर चुम्बकीय पदार्थ मुख्यतः तीन प्रकार के होते हैं–

(i) प्रथम प्रकार के पदार्थ लौह चुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।

(ii) दूसरे प्रकार के पदार्थ अनुचुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।

(iii) तीसरे प्रकार के पदार्थ प्रति चुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।



चित्र 8.18 परिनालिका के अंदर पदार्थों का व्यवहार

8.11 चुम्बकत्व में प्रयुक्त महत्वपूर्ण चुम्बकीय राशियाँ (Important Quantities used in Magnetism)

8.11.1. चुम्बकन की तीव्रता (Intentisty of Magnetisation)

जब किसी चुम्बकीय क्षेत्र के कारण परमाण्वीय द्विध्रुवों को आंशिक या पूर्ण संरेखन होने से पदार्थ के प्रत्येक सूक्ष्म आयतन में नैट चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न हो जाता है तो उस पदार्थ के एकांक आयतन में उत्पन्न नैट चुम्बकीय आघूर्ण को उस पदार्थ की चुम्बकन तीव्रता या चुम्बकन कहते हैं।

चुम्बकन तीव्रता $= I = \dfrac{M_{net}}{V}$ . . . (8.21)

यह सदिश राशि है जिसकी दिशा पदार्थ में उत्पन्न दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव की ओर होती है इसका मात्रक A/m तथा विमा $[M^0L^{-1}T^0A^1]$ होती है।

8.11.2. चुम्बकन क्षेत्र H (Magnetizing Field)

वह बाह्य क्षेत्र जिसमें किसी चुम्बकीय पदार्थ को उसके चुम्बकन के लिये रखा जाता है, चुम्बकन क्षेत्र कहलाता है। इसे चुम्बकीय तीव्रता भी कहते हैं। निर्वात के लिये

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0} \qquad \ldots (8.22)$$

चुम्बकन क्षेत्र एक सदिश राशि है इसका मात्रक Am^{-1} होता है। यह केवल बाह्य धाराओं पर निर्भर करता है।

8.11.3 चुम्बकीय प्रवृत्ति χ_m (Magnetic Susceptibility)

जब किसी चुम्बकीय पदार्थ को चुम्बकन क्षेत्र H में रखा जाता है तो वह चुम्बकित हो जाता है। अल्प चुम्बकन क्षेत्र में चुम्बकन की तीव्रता I, चुम्बकन क्षेत्र H के समानुपाती होता है।

अर्थात् $I \propto H$

या $$I = \chi_m H \qquad \ldots (8.23)$$

यहाँ χ_m स्थिरांक है जिसे चुम्बकीय प्रवृत्ति कहते है। यदि $H = 1\,Am^{-1}$ तो $\chi_m = I$ किसी पदार्थ में एकांक चुम्बकन क्षेत्र द्वारा प्रेरित चुम्बकन तीव्रता को उसकी चुम्बकीय प्रवृत्ति कहते हैं।

8.11.4 चुम्बकीय पारगम्यता (Magnetic Permeability)

किसी माध्यम में से चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं के गुजरने की क्षमता को उस माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता या चुम्बक शीलता कहते हैं। चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ तथा चुम्बकन क्षेत्र $\vec{H}$ के अनुपात को चुम्बकीय पारगम्यता कहते हैं। $\vec{B} = \mu\vec{H}$ निर्वात के लिए $\vec{B}_0 = \mu_0\vec{H}$

इसे μ द्वारा प्रदर्शित करते हैं। यदि निर्वात की चुम्बकीय पारगम्यता μ_0 है तो निर्वात के सापेक्ष किसी माध्यम की पारगम्यता को आपेक्षिक पारगम्यता μ_r कहते हैं

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \qquad \ldots (8.24)$$

8.12 विभिन्न चुम्बकीय राशियों में सम्बन्ध (Relation between Different Magnetic Quantities)

यदि किसी परिनालिका में धारा प्रवाहित की जाये तो परिनालिका की क्रोड में उत्पन्न किसी चुम्बकन क्षेत्र में रखे किसी पदार्थ में चुम्बकन हो जाने पर चुम्बकीय प्रेरण (B), में मुक्त धारा (चुम्बकन क्षेत्र) के कारण उत्पन्न चुम्बकीय प्रेरण B_0 तथा पदार्थ के चुम्बकन से उत्पन्न बद्ध धाराओं के कारण उत्पन्न चुम्बकीय प्रेरण B_1 के योग के तुल्य होता है।

अर्थात् $$B = B_0 + B_1 \qquad \ldots (8.25)$$

परन्तु पदार्थ के चुम्बकन के कारण उत्पन्न चुम्बकीय प्रेरण B_1, पदार्थ की चुम्बकन तीव्रता I के समानुपाती होता है अर्थात्

$$B_1 \propto I$$

$$\Rightarrow \quad B_1 = \mu_0 I$$

अतः $$B = \mu_0 H + \mu_0 I$$

$$B = \mu_0 (H + I) \qquad \ldots (8.26)$$

$$B = \mu_0 (H + \chi_m H) \qquad [\because I = \chi_m H]$$

$$\frac{B}{H} = \mu_0 (1 + \chi_m)$$

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m) \qquad \because \frac{\mu}{\mu_0} = \mu_r$$

$$\mu_r = (1 + \chi_m) \qquad \ldots (8.27)$$

समीकरण (8.26) से $$\frac{B}{\mu_0} - I = H \qquad \ldots (8.28)$$

उदाहरण 8.7 अनुचुम्बकीय पदार्थ क्रोमियम की चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान 2.7×10^{-4} है इसकी निरपेक्ष तथा आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता ज्ञात करो।

हल: $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$

दिया है $\chi_m = 2.7 \times 10^{-4}$

अतः $$\mu = 4\pi \times 10^{-7} (1 + 2.7 \times 10^{-4})$$
$$= 12.56 \times 1.00027 \times 10^{-7}$$
$$= 12.5634 \times 10^{-7}\, H/m$$

आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता

$$\mu_r = 1 + \chi_m$$
$$= 1 + 2.7 \times 10^{-4} = 1.00027$$

उदाहरण 8.8 अनुचुम्बकीय पदार्थ एल्यूमिनियम की चुम्बकीय प्रवृत्ति 2.3×10^{-5} है इसे $4 \times 10^5\, Am^{-1}$ के चुम्बकन क्षेत्र में रखा गया है तो पदार्थ के चुम्बकन का मान ज्ञात करो।

हल: चुम्बकन $I = \chi_m H$

दिया है $\chi_m = 2.3 \times 10^{-5}$ तथा $H = 4 \times 10^5\, A/m$

अतः $I = 2.3 \times 10^{-5} \times 4 \times 10^5 = 9.2\, A/m$

उदाहरण 8.9 एक l लम्बाई एवं 1 mm^2 अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल के लोहे के तार को किसी धारावाही परिनालिका की अक्ष पर रखते हैं जिसमें चुम्बकन क्षेत्र 4×10^3 A/m है तो तार का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करो।

(लोहे की चुम्बकशीलता $16\pi\times10^{-5}$ H/m)

हल: $\chi_m = \frac{I}{H} = \frac{M}{H\,V}$

अतः चुम्बकीय आघूर्ण $M = \chi_m HV$

दिया है $\ell = 1\text{m}$,

$A = 1\text{mm}^2 = 10^{-6}$ m

$H = 4\times10^3$ A/m, $\mu = 16\pi\times10^{-5}\ H/m$

अतः $V = A\ell = 10^{-6}\times1 = 10^{-6}\ \text{m}^3$

$$\chi_m = \frac{\mu}{\mu_0} - 1 = \frac{16\pi\times10^{-5}}{4\pi\times10^{-7}} - 1 = 400 - 1 = 399$$

$\therefore$ $M = \chi_m HV$

$= 399 \times 4 \times 10^3 \times 10^{-6} = 1.596$ A m^2

उदाहरण 8.10 एक 0.40 cm^2 अनुप्रस्थ काट के दण्ड चुम्बक को 4000 A m^{-1} के चुम्बकन क्षेत्र में रखा गया है यदि इस दण्ड चुम्बक से गुजरने वाले चुम्बकीय फ्लक्स का मान 5×10^{-5} Wb है तो चुम्बकीय प्रेरण, चुम्बकीय प्रवृत्ति तथा चुम्बकन की गणना करो।

हल: चुम्बकीय प्रेरण $B = \frac{\phi_B}{A}$

दिया है $\phi_B = 5\times10^{-5}$ Wb,

$A = 4\times10^{-5}\ \text{m}^2, H = 4000$ A/m

अतः $B = \frac{5\times10^{-5}}{4\times10^{-5}} = 1.25\ \text{Wb/m}^2$

चुम्बकीय पारगम्यता

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.25}{4000} = 0.3125\times10^{-3}$$

$= 3.125 \times 10^{-4}$ H/m

चुम्बकीय प्रवृत्ति

$$\chi_m = \mu_r - 1 = \frac{\mu}{\mu_0} - 1 = \frac{3.125\times10^{-4}}{4\times3.14\times10^{-7}} - 1$$

$1 = 248.8 - 1 = 247.8$

चुम्बकन तीव्रता

$$I = \chi_m H = 247.8\times4000 = 9.90\times10^5\ \text{A/m}$$

उदाहरण 8.11 5 cm × 1 cm × 0.5 cm की लोह चुम्बकीय पदार्थ की एक छड़ 10^4 A/m आकार के चुम्बकन क्षेत्र में रखी है। यदि उसमें चुम्बकीय आघूर्ण 10 A/m^2 उत्पन्न हो तो उसमें चुम्बकीय प्रेरण ज्ञात करो।

हल: $B = \mu_0\left(\frac{M}{V} + H\right)$

दिया है, $M = 10$ Am^2,

$V = 5 \times 1 \times 0.5 \times 10^{-6} = 2.5 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$

$H = 10^4$ A/m

$$B = 4\pi\times10^{-7}\left(\frac{10}{2.5\times10^{-6}} + 10^4\right)$$

$$= 12.56\times10^{-7}(4\times10^6 + 10^4) = 5.036\ \text{Wb/m}^2$$

8.13 चुम्बकीय पदार्थों का वर्गीकरण (Classification of Magnetic Material)

फैराडे ने अपने प्रयोगों के आधार पर बताया कि ब्रह्माण्ड के सभी पदार्थों में चुम्बकत्व के कुछ गुण पाए जाते है। विभिन्न पदार्थों को चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर वे चुम्बकित होते हैं। उनके चुम्बकीय गुणों के आधार पर पदार्थों को मुख्यतः तीन भागों में विभाजित किया गया है–

(i) प्रतिचुम्बकीय पदार्थ

(ii) अनुचुम्बकीय पदार्थ

(iii) लौहचुम्बकीय पदार्थ

8.13.1 प्रतिचुम्बकीय पदार्थ (Diamagnetic Substances)

ऐसे पदार्थ जो असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर अधिक तीव्रता से कम तीव्रता वाले भाग की ओर विस्थापित होते हैं अर्थात् चुम्बकीय क्षेत्र से प्रतिकर्षित होते है अथवा जो चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र की विपरीत दिशा में कुछ चुम्बकित हो जाते हैं, प्रतिचुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं। पदार्थों के इस गुण को प्रतिचुम्बकत्व कहते है।

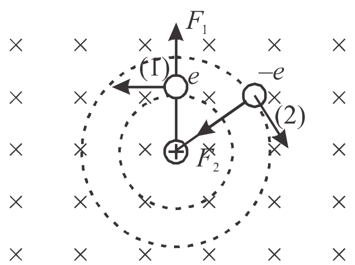
जैसे– Cu, Zn, Sb, Bi, Hg, H_2, N_2, Au, Ag हवा, पानी हीरा आदि।

प्रतिचुम्बकत्व की व्याख्या

इन पदार्थों के प्रतिचुम्बकत्व की व्याख्या इलेक्ट्रॉन सिद्धांत के आधार पर की जा सकती है। यह गुण उन पदार्थों में पाया जाता है जिनके परमाणुओं या अणुओं में इलेक्ट्रॉन युग्मित अवस्था में रहता है तथा प्रत्येक युग्म में एक इलेक्ट्रॉन का चक्रण दूसरे इलेक्ट्रॉन से विपरीत दिशा में होता है जिससे युग्म के इलेक्ट्रॉन एक दूसरे के चुम्बकीय आघूर्ण को निरस्त कर देते हैं अतः प्रत्येक परमाणु का परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है।

जब कोई बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र वृत्ताकार कक्षा के तल के

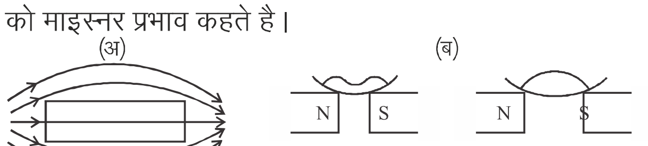
लम्बवत् दिशा में लगाया जाता है तो इलेक्ट्रॉन की गति प्रभावित होती है क्योंकि बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के कारण युग्म के दोनों इलेक्ट्रॉनों पर लगने वाले चुम्बकीय बल की दिशा विपरीत होती है। चित्र 8.19 के अनुसार इलेक्ट्रॉन (1) पर बल की दिशा और इलेक्ट्रॉन (2) पर बल की दिशा क्रमशः नाभिक से दूर तथा नाभिक की ओर होगी अतः अभिकेन्द्रीय बलों में परिवर्तन के कारण इनका कोणीय वेग क्रमशः कम और अधिक हो जाएगा।



चित्र 8.19 प्रतिचुंबकत्व की व्याख्या

इलेक्ट्रॉनों के कोणीय वेग घटने या बढ़ने से उनकी तुल्य धारा और इसके परिणामस्वरूप चुम्बकीय आघूर्ण भी परिवर्तित होगा जिससे प्रेरित चुम्बकीय आघूर्ण एक दूसरे को नष्ट नहीं कर पाते तथा परमाणु या पदार्थ में एक परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण प्रेरित हो जाता है जिसकी दिशा बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के विपरीत होता है अतः पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र की विपरीत दिशा में कुछ चुम्बकित हो जाते हैं।

प्रतिचुम्बकत्व प्रत्येक पदार्थ का गुण है परन्तु अधिकांश पदार्थों में यह इतना कम होता है कि अन्य चुम्बकीय गुणों का प्रभाव प्रेक्षित हो जाता है। अतिचालक पदार्थ सबसे अधिक असामान्य प्रतिचुम्बकीय पदार्थ है। ये ऐसी होती हैं, जिन्हें बहुत निम्न ताप पर ठंडा करने पर ये धातुएँ शून्य प्रतिरोध तथा पूर्ण प्रतिचुम्बकत्व प्रदर्शित करती हैं। चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ पूर्णतः इनके बाहर रहती हैं तथा $\chi_m = -1$ तथा $\mu_r = 0$ इस प्रभाव को माइस्नर प्रभाव कहते है।



चित्र 8.20 प्रतिचुंबकीय पदार्थों का व्यवहार

चित्र में दर्शाये अनुसार प्रतिचुम्बकीय पदार्थों का व्यवहार कांच की प्याली में प्रतिचुम्बकीय पदार्थ लेकर पास पास रखे ध्रुवों के मध्य रखा जाए तो द्रव बीच में दब जाता है तथा ध्रुवों के मध्य की दूरी बढ़ाने पर द्रव बीच में ऊपर उठ जाता है।

8.13.2 अनुचुम्बकीय पदार्थ (Paramagnetic Substances)

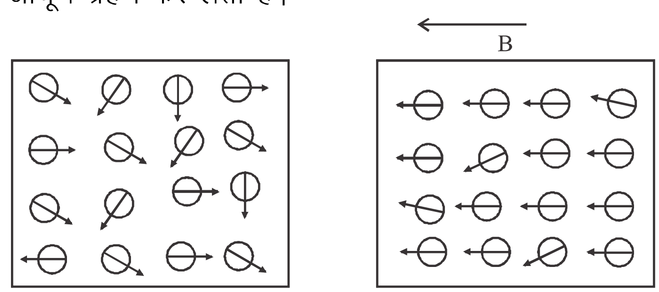
ऐसे पदार्थ जो असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर कम तीव्रता से अधिक तीव्रता वाले भाग की ओर अल्प विस्थापित होते हैं अर्थात् चुम्बकीय क्षेत्र से अल्प आकर्षित होते हैं, अनुचुम्बकीय पदार्थ कहलाते है ऐसे पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में कुछ चुम्बकित हो जाते हैं।

जैसे– Na, Ca, Al, $CuCl_2$, O_2 आदि

अनुचुम्बकीय की व्याख्या

यह गुण उन पदार्थों में पाया जाता है जिनके परमाणुओं या अणुओं में अयुग्मित इलेक्ट्रॉन होते है इस प्रकार इलेक्ट्रान के चक्रण होने से प्रत्येक परमाणु या अणु का स्थायी चुम्बकीय आघूर्ण होता है अर्थात् प्रत्येक परमाणु एक छोटे दण्ड चुम्बक की तरह व्यवहार करता है इन्हें परमाण्वीय चुम्बक कहते हैं। परन्तु बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में परमाणुओं की सतत् यादृच्छित तापीय गति के कारण परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है।

बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर प्रत्येक परमाण्वीय चुम्बक पर बल आघूर्ण लगता है जो इन्हें घुमाकर बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के समांतर लाने का प्रयास करता है जिससे प्रत्येक परमाणु की बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में संरेखित होने की प्रवृत्ति बढ़ जाती है और पदार्थ बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में चुम्बकीय आघूर्ण ग्रहण कर लेता है।



चित्र 8.21 अनुचुंबकत्व की व्याख्या

vuqpEcdh; inkFkZ dks pEcdh; {ks= esa j[kus ij blesa lsxqjusokyh pEcdh; {ks= j[kkvksa dh la[;k fuokZ dh rqyuk esa vf/kd gksrh gSa Fkk dk.k dh l;kyh esa vuqpEcdh; inkFkZ dks j[kdj ikl &ikl j[ks pEcdh; /kqzoksa ds e/; j[kus ij nzo chp esa Åij mB tkrk gS vkSj /kqzoksa ds nwjh j[kus ij ;g chp esa nc tkrk gSA

चित्र 8.22 अनुचुंबकीय पदार्थों का व्यवहार

प्रयोगात्मक रूप में किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ का चुम्बकन लगाए गए चुम्बकीय क्षेत्र B_0 के अनुक्रमानुपाती तथा परम ताप T के व्युत्क्रमानुपाती होता है

$$I \propto \frac{B_0}{T}$$

या $$I = C\frac{B_0}{T} \qquad \ldots (8.29)$$

यहाँ C क्यूरी नियतांक है।

समीकरण से $B_0 = \mu_0 H$

अतः $I = C\frac{\mu_0 H}{T}$

या $\frac{I}{H} = C\frac{\mu_0}{T}$

या $\chi_m = \frac{C\mu_0}{T}$ . . . (8.30)

इस नियम को क्यूरी का नियम कहते हैं।

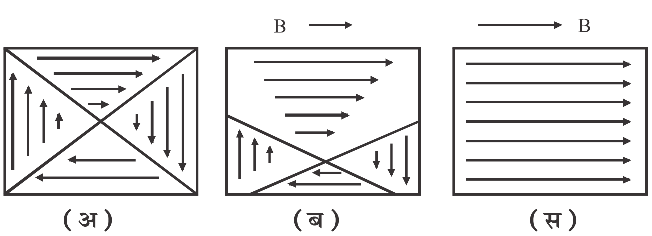
8.13.3 लोह चुम्बकीय पदार्थ (Ferromagnetic Substances)

ऐसे पदार्थ जो असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर कम तीव्रता से अधिक तीव्रता वाले भाग की ओर शीघ्रता से विस्थापित होते हैं अर्थात् चुम्बकीय क्षेत्र से प्रबल आकर्षित होते है, लोह चुम्बकीय पदार्थ कहलाते है। ये पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं,

जैसे– Fe, Co, Ni, Fe_3O_4 (मैग्नेटाइट) आदि।

लौह चुम्बकत्व की व्याख्या

लौह चुम्बकीय पदार्थ के परमाणुओं में भी अनुचुम्बकीय पदार्थ की तरह स्थाई चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण होता है। लौह चुम्बकत्व और अनुचुम्बकत्व में केवल तीव्रता का अंतर होता है। लौहचुम्बकीय पदार्थों के परमाणुओं में कुछ ऐसी जटिल अन्योन्य क्रियाएँ होती है जिनके कारण पदार्थ के भीतर परमाणुओं के असंख्य अतिसूक्ष्म आकार के प्रभावी क्षेत्र बन जाते हैं जिन्हें डोमेन कहते है। प्रत्येक डोमेन में परिणामी चुम्बकन होता है। डोमेन का आकार 1 mm है और एक डोमेन में लगभग 10^{11} परमाणु होते है। एक डोमेन से दूसरे डोमेन तक जाने पर चुम्बकन यादृच्छिक रूप से बदलता है। अतः विभिन्न डोमेन अनियमित रूप से इस प्रकार व्यवस्थित होते हैं कि उनका प्रत्येक दिशा में परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है। इसे चित्र 8.23 (अ) में दर्शाया गया है। इसी कारण प्रत्येक लोहे का टुकड़ा चुम्बक नहीं होता।



चित्र 8.23 लौह चुंबकीय पदार्थ

जब लौह चुम्बकीय पदार्थों को बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखते हैं तो पदार्थों का परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य नहीं होता। जब बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र दुर्बल होता है तो जो डोमेन बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के समांतर अभिविन्यासित होते हैं वे आकार में बढ़ जाते हैं और बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के प्रतिकूल अभिविन्यासित डोमेन का आकार घट जाता है। बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र हटा लेने पर डोमेन अपनी पूर्व स्थिति में आ जाते हैं अतः चुम्बकन की क्रिया उत्क्रमणीय होती है।

जब बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र प्रबल होता है तो डोमेन घूमकर इसकी दिशा में संरेखित होने का प्रयास करते हैं जिससे चुम्बकीय आघूर्ण के मान में वृद्धि हो जाती है। इस स्थिति में चुम्बकन की क्रिया अनुत्क्रमणीय होती है अर्थात् बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र हटा लेने पर भी डोमेन अपनी पूर्व स्थिति में नहीं लौटते बल्कि इनमें कुछ चुम्बकत्व शेष रह जाता है। (चित्र 8.23 ब)

अनुचुम्बकीय पदार्थ को चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर इसमें से गुजरने वाली चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की संख्या निर्वात् की तुलना में अत्यधिक होती है और काँच की प्याली में लौह चुम्बकीय पदार्थ रखकर इसे चुम्बकीय ध्रुवों (पास–पास रखे) के मध्य रखा जाए तो द्रव बीच में अधिक ऊपर उठ जाता है और ध्रुवों को दूर करने पर यह बीच में अधिक दब जाता है।

चित्र 8.24 लोह चुंबकीय पदार्थों का व्यवहार

8.14 क्यूरी नियम तथा क्यूरी ताप (Curie Law and Curie Temprature)

चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करता है। पियरे क्यूरी ने चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति पर ताप के प्रभावों का अध्ययन किया और बताया कि ''प्रति चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति ताप पर निर्भर नहीं करती जबकि अनुचुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति (χ_m) उसके परम ताप (T) के व्युत्क्रमानुपाती होती है।''

अर्थात् $\chi_m \propto \frac{1}{T}$

या $\chi_m = \frac{C}{T}$

लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति की ताप पर निर्भरता के लिए क्यूरी और वाइस ने नियम दिया जिसे क्यूरी–वाइस नियम कहते हैं। इसके अनुसार किसी परम ताप T पर लोह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान निम्न होता है

$$\chi_m = \frac{C}{T - Tc} \qquad \text{. . . (8.31)}$$

यहाँ T_C लौह चुम्बकीय पदार्थों का क्यूरी ताप है।

क्यूरी ताप

लौह चुम्बकीय पदार्थों को गर्म करने पर ऊष्मीय विक्षोभ के कारण डोमेन सरंचनाएँ नष्ट होने लगती हैं और ताप बढ़ने पर चुम्बकन का गुण धीरे–धीरे कम होता जाता है और वह अनुचुम्बकीय पदार्थ में बदल जाता है। जब पदार्थ को ठण्डा किया जाता है तो वह पुनः लौह चुम्बकीय हो जाता है।

अतः क्यूरी ताप वह ताप है जिस पर लोह चुम्बकीय पदार्थ अनुचुम्बकीय पदार्थ में बदल जाता है। अलग–अलग लौह चुम्बकीय पदार्थों के क्यूरी ताप अलग–अलग होते है।

क्यूरी ताप

लोहा	$T_C = 1043$ K
कोबाल्ट	$T_C = 1394$ K
निकल	$T_C = 631$ K
गैडोलिनियम	$T_C = 317$ K

उदाहरण 8.12 किसी लौह चुम्बकीय पदार्थ के लिए क्यूरी ताप $T_C = 300$ K है। यदि 420 K ताप पर इसकी चुम्बकीय प्रवृत्ति 0.4 है तो क्यूरी नियतांक का मान ज्ञात करो।

हलः चुम्बकीय प्रवृत्ति $\chi = \dfrac{C}{T - T_C}$

दिया है $\chi = 0.4,\ T_C = 300\,K$ तथा $T = 420$ K

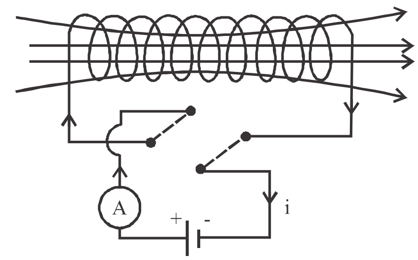
अतः $C = \chi(T - T_C)$

$= 0.4\,(420 - 300) = 0.4 \times 120 = 48$ K

8.15 चुम्बकीय शैथिल्य वक्र (Magnetic Hysteresis Curve)

किसी लौह चुम्बकीय पदार्थ के चुम्बकीय क्षेत्र B में चुम्बकीय तीव्रता H के साथ परिवर्तन वक्र को शैथिल्य वक्र कहते है यह एक बंद वक्र होता है इसे B–H वक्र भी कहते है। (चित्र 8.25)

शैथिल्य वक्र प्राप्त करने के लिए लौह चुम्बकीय पदार्थ लेते हैं जो प्रारम्भ में पूर्ण रूप से विचुम्बकित है इसको परिनालिका में रखकर परिनालिका में धारा i प्रवाहित करते हैं जिससे चुम्बकीय तीव्रता $H\left(= ni\right)$ उत्पन्न होती है तथा पदार्थ चुम्बकित होगा। धारा का मान बढ़ाने पर चुम्बकीय तीव्रता H का मान बढ़ने से पदार्थ का चुम्बकन B भी बढ़ता है। लौह चुम्बकीय पदार्थ में B–H वक्र एक सीधी रेखा नहीं होती B और H में वक्र बनाने पर यह चित्र 8.25 के अनुसार Oab वक्र के रूप में प्राप्त होता है। इसका कारण यह है कि पदार्थ में स्थित डोमेन तब तक पंक्तिबद्ध और विलीन होते रहते हैं जब तक कि उसके आगे B के मान में वृद्धि असंभव न हो जाए। अब यदि बिन्दु b के पश्चात् H का मान और बढ़ाएँ तो B में वृद्धि नहीं होगी, इस अवस्था को चुम्बकीय संतृप्ति कहते हैं।



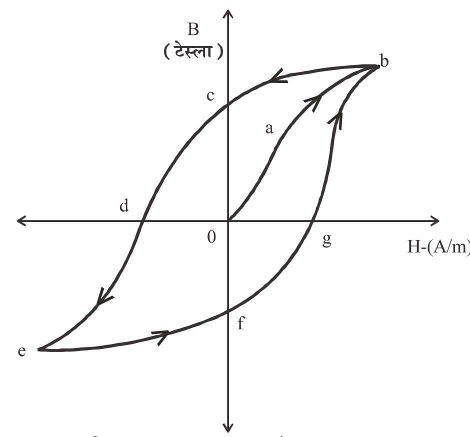
चित्र 8.25 (अ) एक परनालिका में लौह चुम्बकीय पदार्थ

अतः चुम्बकीय तीव्रता H का वह मान जिसके पश्चात् H के मान में वृद्धि करने पर B के मान में वृद्धि नहीं होती, चुम्बकीय संतृप्ति (magnetic Saturation) कहलाती है।

अब हम H को घटाकर पुनः शून्य पर ले आते हैं (यह चित्र में वक्र *bc* से दर्शाया गया है) तो B का मान घटकर शून्य नहीं होता बल्कि यह परिमिति मान OC शेष रह जाता है यह बताता है कि पदार्थ में चुम्बकीय तीव्रता घटाने पर भी उसमें कुछ चुम्बकत्व (चुम्बकीय क्षेत्र) उपस्थित हैं। इस शेष बचे हुए चुम्बकत्व को चुम्बकीय धारणशीलता या अवशेष चुम्बकत्व (Retentivity) कहते हैं। किसी चुम्बकीय पदार्थ में चुम्बकीय तीव्रता घटाने पर भी जो चुम्बकत्व शेष रह जाता है, अवशेष चुम्बकत्व कहलाता है तथा चुम्बकत्व के शेष रह जाने के गुण को चुम्बकीय धारणशीलता कहते हैं।

बाह्य चुम्बकनकारी क्षेत्र हटा लेने पर डोमेन पूर्णतः अनियमित विन्यास ग्रहण नहीं कर पाते अब परिनालिका में धारा की दिशा उलट देते हैं और धीरे–धीरे इसका मान बढ़ाते हैं। धारा की दिशा उलटने से चुम्बकीय तीव्रता H की दिशा भी विपरीत हो जाती है, इसे वक्र cd द्वारा दर्शाया गया है।विपरीत दिशा में H का मान बढ़ाने पर पदार्थ में चुम्बकत्व घटता है तथा H के एक परिमित मान od पर B का मान शून्य हो जाता है। H के इस मान को निग्रह क्षेत्र या निग्राहिता (Coercivity) कहते है।

चुम्बकीय तीव्रता H का ऋणात्मक दिशा में वह मान जो चुम्बकीय पदार्थ का B शून्य कर देता है, निग्रह क्षेत्र या निग्राहिता कहलाता है।

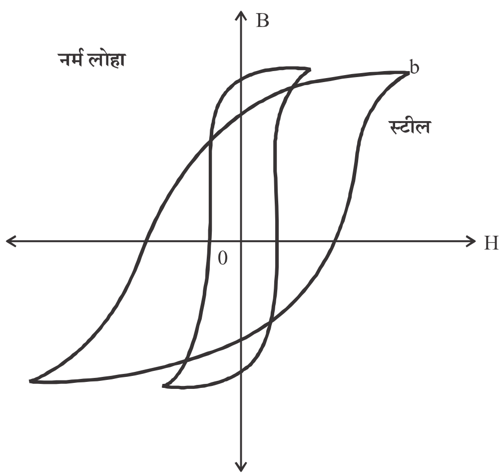


चित्र 8.25 (ब) शैथिल्य वक्र

प्रतिलोम धारा का मान बढ़ाते जाने पर H का मान विपरीत दिशा में बढ़ता जाता है जिससे पदार्थ विपरीत दिशा में चुम्बकित हो जाता हैं और एक बार पुनः संतृप्तता की स्थिति प्राप्त होती है। इसे वक्र de द्वारा दर्शाया गया है।

अब H का मान घटाकर शून्य करने पर पुनः B का मान शून्य नहीं होता यह of शेष रह जाता है जो अवशेष चुम्बकत्व है। इसे वक्र ef द्वारा दर्शाया गया है। अब H का मान प्रारम्भिक दिशा में बढ़ाने पर ऋणात्मक B का मान घटता है और H के og मान पर शून्य हो जाता है यहाँ og निग्रह क्षेत्र है। इसे वक्र fg द्वारा दर्शाया गया है।

चुम्बकीय तीव्रता H का मान अधिक बढ़ाने पर B का मान बढ़ता है और चुम्बकीय संतृप्त स्थिति b प्राप्त होती है इसे वक्र gb द्वारा दर्शाया है। इस प्रकार हमें शैथिल्य लूप bcdefgb प्राप्त होता है। चुम्बकीय पदार्थ के शैथिल्य लूप की सहायता से चुम्बकीय पदार्थ के व्यवहार और इसके चुम्बकीय गुणों की जानकारी प्राप्त की जा सकती है। चित्र 8.26 में नर्म लोहा (कोमल चुम्बकीय पदार्थ) और स्टील (कठोर चुम्बकीय पदार्थ) के लिए शैथिल्य वक्र दर्शाए गए हैं। इन वक्रों से स्पष्ट है कि



चित्र 8.26 नर्म लोहा और स्टील का B–H वक्र

1. H के किसी मान के लिए नर्म लोहे में चुम्बकीय क्षेत्र B का मान स्टील के मान से अधिक है अतः नर्म लोहे में H चुम्बकीय पारगम्यता भी अधिक होगी।
2. नर्म लोहे की धारणशीलता स्टील से अधिक होती है।
3. स्टील की निग्राहिता नर्म लोहे से अधिक होती है
4. H के किसी मान के लिए नर्म लोहे में चुम्बकन I का मान स्टील से अधिक होता है अतः $\chi_m = I/H$ से नर्म लोहे में चुम्बकीय प्रवृत्ति χ_m अधिक होगी।
8. नर्म लोहे के लिए B–H वक्र को क्षेत्रफल स्टील की तुलना में कम होता है अतः नर्म लोहे में शैथिल्य ह्रास स्टील की तुलना में कम होगा।

विद्युत चुम्बक के क्रोड के लिए ऐसा लौह चुम्बकीय पदार्थ उपयुक्त है जिसमें अल्प बाह्य धारा या चुम्बकीय तीव्रता से अधिक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो तथा चुम्बकीय तीव्रता हटाने पर चुम्बकीय क्षेत्र न्यूनतम हो जाए। इसमें शैथिल्य ह्रास भी न्यूनतम होना चाहिए अतः विद्युत चुम्बक बनाने हेतु उच्च चुम्बकीय क्षेत्र, अधिक धारणशीलता, कम निग्राहिता, कम शैथिल्य ह्रास, अधिक चुम्बकीय पारगम्यता का पदार्थ उपयुक्त है।

B–H वक्र से स्पष्ट है कि B का मान सदैव H के मान से पीछे रहता है तथा H क दिए गए मान के लिए B का कोई अद्वितीय मान नहीं होता। चुम्बकीय पदार्थों के इस व्यवहार को शैथिल्यता कहते हैं। इसका मुख्य कारण लौह चुम्बकीय पदार्थों में डोमेनों का चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में संरेखित होना है।

8.15.1 शैथिल्य ह्रास (Hysteresis loss)

चुम्बकन के एक पूर्ण चक्र में चुम्बकन के समय प्रत्येक बार पदार्थ ऊर्जा ग्रहण करता है और विचुम्बकन के समय ऊर्जा मुक्त करता है परन्तु चुम्बकन के समय ग्रहण की गई ऊर्जा विचुम्बकन के समय पूर्ण रूप से मुक्त नहीं होती बल्कि विचुम्बकन के लिए अतिरिक्त ऊर्जा देनी पड़ती है अतः चुम्बकन के पूर्ण चक्र में ऊर्जा का हानि होती है।

B–H शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल प्रति एकांक आयतन में प्रति चक्र ऊर्जा ह्रास को व्यक्त करता हैं प्रति सैकण्ड ऊर्जा ह्रास
= पदार्थ का आयतन × B – H वक्र का क्षेत्रफल × आवृत्ति

$$Q = V A n \qquad \ldots (8.32)$$

विद्युत चुम्बक बनाने के लिए नर्म लोहे की छड़ पर विद्युतरूद्ध तांबे के तार को समानरूप से लपेट कर विद्युत धारा प्रवाहित करते हैं। विद्युत चुम्बक का उपयोग टेलीफोन, विद्युत घण्टी, वैद्युत मोटर, डायनेमो, तार संचार, मिश्रण में से चुम्बकीय पदार्थों को पृथक करने आदि में किया जाता है।

स्थाई चुम्बक बनाने के लिए ऐसे लौह चुम्बकीय पदार्थ उपयुक्त होते हैं जिनकी धारणशीलता तथा निग्राहिता उच्च हो, क्यूरी ताप तथा संतृप्ति चुम्बकशीलता उच्च हो। इसमें चुम्बक का चुम्बकत्व अवांछित चुम्बकीय क्षेत्रों तथा यांत्रिकी विक्षोमों या ताप परिवर्तनों के प्रभाव से कम नहीं होने पाता क्योंकि इन चुम्बकों का बार–बार चुम्बकन विचुम्बकन नहीं किया जाता अतः इनमें शैथिल्य ह्रास का कोई महत्व नहीं होता। अतः इसके लिए स्टील या मिश्र धातु ऐलनिको (Al + Ni + Co) अधिक उपयुक्त होगी इनमें क्रिस्टलीय व्यवस्था इतनी दृढ़ होती है कि इसके डोमेन एक बार व्यवस्थित होने के पश्चात् आसानी से अव्यवस्थित नहीं हो पाते जिसेस इनका विचुम्बकन आसानी से नहीं होता।

इनका उपयोग गैल्वानोमीटर, अमीटर, वोल्टमीटर, लाउडस्पीकर आदि में किया जाता है। ट्रांसफार्मर की क्रोड बनाने के लिए ऐसे लौह चुम्बकीय पदार्थ उपयुक्त होते हैं जिनकी पारगम्यता अत्यधिक तथा शैथिल्य ह्रास बहुत कम हो इनकी चुम्बक शीलता अधिक हो जिससे कम चुम्बकीय तीव्रता से अधिक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो इसके लिए मिश्र धातु परमेलॉय उपयुक्त है। इसी प्रकार ट्रांसफार्मर स्टील (नर्म लोहे में 4% सिलिकॉन), म्यूमेटल (Fe+Cu+Ni+Mn) भी क्रोड के लिए उपयुक्त है।

महत्वपूर्ण बिन्दु (Important Points)

1. चुम्बकीय पदार्थों में दिशा निर्देशन, आकर्षण का गुण पाया जाता है तथा चुम्बकीय ध्रुव विलगित नहीं किए जा सकते।
2. चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ काल्पनिक बंद वक्र होती हैं जिनके किसी बिन्दु पर खींची गई स्पर्श रेखा चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा व्यक्त करती हैं।
3. किन्हीं दो चुम्बकों के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र में किन्हीं बिन्दुओं या स्थान पर कोई चुम्बकीय क्षेत्र रेखा उपस्थित नहीं होती उन बिन्दुओं को उदासीन बिन्दु कहते है।
4. चुम्बकीय आघूर्ण M का मान चुम्बकीय द्विध्रुवों पर निम्न है:
   दण्ड चुम्बक के लिए M = ध्रुव प्रबलता × प्रभावी लम्बाई, धारावाही लूप के लिए M = NIA
   परिक्रमी इलेक्ट्रॉन के लिए $M = \frac{1}{2}\ evr = \frac{1}{2}\ e\omega r^2$
5. चुम्बकीय क्षेत्र B में M चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण वाले दण्ड चुम्बक को रखने पर कुल बल शून्य
   बल आघूर्ण $\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$
   स्थितिज ऊर्जा $U = -\vec{M} \cdot \vec{B}$
   θ कोण से घुमाने में किया गया कार्य $W = MB(1-\cos\theta)$
6. पृथ्वी की चुम्बकीय अक्ष भौगोलिक अक्ष के संपाती नहीं होतीं बल्कि $11.3°$ का कोण बनाती है।
7. पृथ्वी के चुम्बकत्व की जानकारी देने के लिए जिन राशियों की आवश्यकता होती है उन्हें भूचुम्बकत्व के अवयव कहते है। ये तीन प्रकार के होते हैं चुम्बकीय दिक्पात, नति कोण तथा चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक
8. चुम्बकत्व सम्बन्धी गाउस नियम के अनुसार किसी बंद पृष्ठ में से गुजरने वाला कुल चुम्बकीय फ्लक्स शून्य होता है।
   $$\phi_B = \int_S \vec{B}.d\vec{s} = 0$$
9. माना कोई पदार्थ बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}_0$ में रखा है तो चुम्बकन क्षेत्र या चुम्बकीय तीव्रता $\vec{H} = \vec{B}_0 / \mu_0$ पदार्थ की चुम्बकन तीव्रता $\vec{I}$ इसका एकांक आयतन में द्विध्रुव आघूर्ण है अतः $I = M/V$
10. चुम्बकीय पदार्थ के लिए चुम्बकीय प्रवृत्ति
    $$\chi_m = \frac{M}{H}$$
11. चुम्बकीय प्रवृत्ति χ_m, चुम्बकीय पारगम्यता μ_0 (निर्वात), आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता में सम्बन्ध
    $$\mu = \mu_0(1+\chi_m)$$
    $$\mu = \mu_0\mu_r \text{ अतः } \mu_r = 1+\chi_m$$
12. चुम्बकीय व्यवहार के आधार पर पदार्थों को तीन भागों में बाँटा गया है– प्रति चुम्बकीय, अनुचुम्बकीय तथा लोह चुम्बकीय प्रतिचुम्बकीय पदार्थ शक्तिशाली चुम्बक के सिरों से प्रतिकर्षित, अनुचुम्बकीय अल्प आकर्षित तथा लोह चुम्बकीय प्रबल आकर्षित होते हैं।
13. प्रतिचुम्बकत्व का गुण परमाणु में इलेक्ट्रॉन की कक्षीय गति, अनुचुबकत्व का गुण इलेक्ट्रॉन की कक्षीय तथा चक्रण गति तथा लौह चुम्बकत्व का गुण डोमेनों के कारण होता है।
14. शैथिल्य वक्र या B–H वक्र से पदार्थ के चुम्बकीय गुणों का अध्ययन किया जाता है तथा विभिन्न युक्तियाँ बनाने में इसका उपयोग किया जाता है।
15. प्रतिचुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति ताप पर निर्भर नहीं करती जबकि अनुचुम्बकीय पदार्थों मे
    $$\chi_m \propto 1/T \text{ (क्यूरी का नियम)}$$
    लौह चुम्बकीय पदार्थ में
    $$\chi_m \propto \frac{1}{T-T_C} \text{ (क्यूरी वाइस का नियम)}$$
    यहाँ T_C क्यूरी ताप है।

अभ्यासार्थ प्रश्न

बहुचयनात्मक प्रश्न

1. यदि दो एकांक प्रबलता के चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य की दूरी 1 m है तो इनके मध्य लगने वाले बल का मान होगा–

(अ) $4\pi \times 10^{-7}$ N (ब) 4π N

(स) 10^{-7} N (द) $\frac{4\pi}{10^{-7}} N$

2. अतिचालक पदार्थों के लिए चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान है

(अ) +1 (ब) –1

(स) शून्य (द) अनंत

3. मुक्त आकाश की चुम्बकीय प्रवृत्ति होती है

(अ) +1 (ब) –1

(स) शून्य (द) अनंत

4. चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान ऋणात्मक एवं अल्प होता है

(अ) लौह चुम्बकीय पदार्थों के लिए

(ब) अनुचुम्बकीय पदार्थों के लिए

(स) प्रति चुम्बकीय पदार्थों के लिए

(द) उपर्युक्त सभी

5. किसी पदार्थ की आपेक्षिक पारगम्यता 1.00001 है तो पदार्थ होगा–

(अ) लौह चुम्बकीय (ब) अनुचुम्बकीय

(स) प्रति चुम्बकीय (द) कोई नहीं

6. चुम्बकीय आघूर्ण का मात्रक है–

(अ) Wb (ब) Wb / m^2

(स) A / m (द) $A m^2$

7. $Wb \times A / m$ बराबर होता है

(अ) J (ब) N

(स) H (द) W

8. चुम्बकीय क्षेत्र निम्न में से किससे अन्योन्य क्रिया नहीं करता–

(अ) चुम्बक से (ब) त्वरित चुम्बक से

(स) स्थिर आवेक्ष से (द) चल विद्युत आवेश से

9. प्रतिचुम्बकत्व का कारण है–

(अ) इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय गति

(ब) इलेक्ट्रॉनों की चक्रण गति

(स) युग्मित इलेक्ट्रॉन

(द) इनमें से कोई नहीं

10. प्रतिचुम्बकीय पदार्थों का चुम्बकीय आघूर्ण होता है–

(अ) अनन्त (ब) शून्य

(स) $100 \, A \, m^2$ (द) कोई नहीं

11. लौह चुम्बकीय पदार्थों की आपेक्षिक पारगम्यता μ_r का मान होता है–

(अ) $\mu_r > 1$ (ब) $\mu_r >> 1$

(स) $\mu_r = 1$ (द) $\mu_r = 0$

12. पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्वाधर घटक शून्य होता है–

(अ) चुम्बकीय ध्रुव पर (ब) भौगोलिक ध्रुव पर

(स) चुम्बकीय याम्योत्तर पर (द) कोई नहीं

13. किसी पदार्थ के शैथिल्य पाश का क्षेत्रफल प्रदर्शित करता है

(अ) पदार्थ को इकाई चक्र में चुम्बकित करने पर ऊर्जा हानि

(ब) पदार्थ के इकाई आयतन को इकाई चक्र में चुम्बकित करने पर ऊर्जा हानि

(स) पदार्थ के इकाई आयतन को चुम्बकित करने पर ऊर्जा हानि

(द) पदार्थ को चुम्बकित करने पर ऊर्जा हानि

14. स्थाई चुम्बक बनाने के लिए स्टील का उपयोग करते हैं क्योंकि–

(अ) ऊर्जा का ह्रास कम होता है

(ब) स्टील का घनत्व अधिक है

(स) स्टील के लिए अवशेष चुम्बकत्व अधिक है

(द) साधारण बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र से चुम्बकत्व नष्ट नहीं होता

15. क्यूरी ताप पर लौह चुम्बकीय पदार्थ हो जाता है–

(अ) अनुचुम्बकीय (ब) प्रति चुम्बकीय

(स) अनुचुम्बकीय (द) अधिक लौह चुम्बकीय

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. एक चुम्बकीय सुई जो ऊर्ध्वाधर तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है यदि भू–चुम्बकीय उत्तर या दक्षिण ध्रुव पर रखी है तो यह किस दिशा में संकेत करेगी?
2. चुम्बकीय पदार्थ के प्रकार का नाम लिखो, जिसका व्यवहार साधारण ताप में परिवर्तन पर निर्भर नहीं करता।
3. चुम्बकीय विषुवत रेखा से ध्रुवों की ओर जाने परनति कोण में किस प्रकार परिवर्तन होता है।
4. एक पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृत्ति –0.085 है, यह किस प्रकार का चुम्बकीय पदार्थ है?
5. धारणशीलता किसे कहते है?
6. अनुचुम्बकीय पदार्थों के दो उदाहरण दीजिए।
7. चुम्बकीय याम्योत्तर किसे कहते हैं?
8. पृथ्वी पर नति कोण के मान 0^o और 90^o कहाँ होते है?

9. माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता तथा चुम्बकीय प्रवृत्ति में सम्बन्ध लिखो।
10. ध्रुव सामर्थ्य का मात्रक लिखो।
11. उस स्थान पर नति कोण कितना होगा जहाँ पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के ऊर्ध्वाधर घटक तथा क्षैतिज घटक का अनुपात $\frac{1}{\sqrt{3}}$ है?
12. चुम्बकीय शैथिल्य क्या है?
13. छड़ चुम्बक के मध्य बिन्दु से अक्षीय तथा निरक्षीय स्थिति में समान दूरी पर स्थित बिन्दुओं पर चुम्बकीय क्षेत्र के मानों में क्या अनुपात होगा?
14. उस स्थान पर नति कोण का मान क्या होगा जहाँ पर पृथ्वी के क्षैतिज तथा ऊर्ध्वाधर घटक समान हैं?
15. किसी दण्ड चुम्बक को उसकी लम्बाई के अनुदिश दो समान भागों में काट दिया जाए तो उसके चुम्बकीय आघूर्ण में क्या परिवर्तन होगा?

लघूत्तरात्मक प्रश्न

1. एक दण्ड चुम्बक किसी एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में इस प्रकार रखी है कि इसका चुम्बकीय आघूर्ण, $\vec{B}$ की दिशा से θ कोण बनाता है तो स्थितिज ऊर्जा के लिए व्यंजक ज्ञात करो।
2. अनुचुम्बकीय तथा प्रतिचुम्बकीय पदार्थे की छड़ों की किस प्रकार पहचान करेंगे?
3. किसी दण्ड चुम्बक के लिए दो उदासीन बिन्दु क्यों प्राप्त होते हैं? क्या एक उदासीन बिन्दु भी प्राप्त हो सकता है, कैसे?
4. विद्युत चुम्बक बनाने में नर्म लोहे का उपयोग क्यों किया जाता है?
5. एक दण्ड चुम्बक एक समान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ के समांतर स्थित है इसका चुम्बकीय आघूर्ण $\vec{M}$ है। इसके चुम्बकीय आघूर्ण को चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् करने में कितना कार्य करना पड़ेगा?
6. दिक्पात का कोण तथा नति कोण को परिभाषित करो।
7. क्यूरी वाइस नियम लिखो तथा लोहे के लिए क्यूरी ताप का मान लिखो।
8. चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की चार विशेषताएँ लिखो।
9. असमान चुम्बकीय क्षेत्र में प्रति चुम्बकीय, अनुचुम्बकीय तथा लौह चुम्बकीय पदार्थों का व्यवहार कैसा होता है?
10. चुम्बकत्व में गाउस का नियम क्या है? यह क्या प्रदर्शित करता है।
11. चुम्बकीय रेखाएँ बंद वक्र बनाती हैं? क्यों?
12. दण्ड चुम्बक और धारावाही परिनालिका के चुम्बकीय क्षेत्रों की तुलना करो।
13. पृथ्वी के चुम्बकत्व का क्या कारण है? लिखो।
14. शैथिल्य वक्र के क्या उपयोग हैं?
15. एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में θ कोण पर स्थित दण्ड चुम्बक पर बल आघूर्ण का व्यंजक ज्ञात करो। यह कब अधिकतम होता है।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. भू–चुम्बकत्व के अवयव कौन–कौनसे हैं? इनकी परिभाषा दीजिए इनको एक नामांकित आरेख में दर्शाइए।
2. चुम्बकीय शैथिल्य वक्र से क्या आशय है? शैथिल्य वक्र बनाकर इसकी मुख्य विशेषताओं को परिभाषित करो।
3. प्रतिचुम्बकीय पदार्थों की व्याख्या करते हुए इनके गुणों की विवेचना करो तथा प्रतिचुम्बकीय और अनुचुम्बकीय पदार्थों के गुणों में पाँच अंतर लिखो।
4. क्यूरी ताप किसे कहते है? प्रतिचुम्बकीय, अनुचुम्बकीय तथा लोह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति ताप पर किस प्रकार निर्भर करती है, समझाइये तथा आवश्यक नियम भी लिखिए।
5. विद्युत चुम्बक और स्थाई चुम्बक बनाने के लिए आवश्यक लौह चुम्बकीय पदार्थों की विशेषताएँ लिखिए, इनके उपयोग भी लिखो।

उत्तरमाला (बहुचयनात्मक प्रश्न)

1 (स)	2 (ब)	3 (स)	4 (स)	5 (ब)	6 (द)
7 (ब)	8 (स)	9 (अ)	10 (ब)	11 (ब)	12 (द)
13 (ब)	14 (द)	15 (स)			

आंकिक प्रश्न

1. एक दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण 200 $A\times m^2$ है, इसे 0.86 T वाले एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में लटकाया गया है, इसे क्षेत्र में 60^o कोण से विक्षेपित करने के लिए आवश्यक बल आघूर्ण ज्ञात करो।

$(86\sqrt{3}\ N\times m)$

2. किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकत्व का क्षैतिज घटक $B_H = 0.5\times10^{-4}\ Wb/m^2$ है तथा नति कोण 45^o है तो ऊर्ध्व घटक का मान क्या होगा?

$(5\times10^{-5}\ Wb/m^2)$

3. 1 cm^2 अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल की एक लौह चुम्बकीय पदार्थ की छड़ 200 orested के चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर 3000 G का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। पदार्थ की आपेक्षिक चुम्बकशीलता एवं चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान ज्ञात करो।

(15 तथा 14)

4. लोहे के किसी नमूने के लिए निम्न संबंध है

$$\mu = \left[\frac{0.4}{H} + 12\times10^{-4}\right]\text{H/m}$$

H का वह मान ज्ञात करो जो 1 T का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करे।

(500 A / m)

5. 2×10^3 A / m का चुम्बकंन क्षेत्र एक लोहे की छड़ में 8π T का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है तो छड़ की आपेक्षिक पारगम्यता ज्ञात करो।

(10^4)

6. 30 cm^3 आयतन के चुम्बकीय पदार्थ को 5 orested चुम्बकंन क्षेत्र में रखा गया है इससे उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण 6 A / m^2 हो तो चुम्बकीय प्रेरण का मान ज्ञात करो।

(0.2517 T)

7. लौह चुम्बकीय पदार्थ के नमूने का द्रव्यमान 0.6 kg तथा घनत्व 7.8×10^3 kg / m^3 है। यदि 50 Hz आवृत्ति वाले प्रत्यावर्ती चुम्बकन क्षेत्र में शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल 0.722 m^2 हो तो प्रति सेकण्ड शैथिल्य हानि ज्ञात करो।

$(2.777 \times 10^{-3}$ J)

8. एक लौह चुम्बकीय पदार्थ के लिए क्यूरी ताप 300 K है यदि 450 K ताप पर पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृत्ति 0.6 हो तो इसके लिए क्यूरी नियतांक ज्ञात करो।

(90 K)

9. एक अनुचुम्बकीय पदार्थ के लिए 120 K पर चुम्बकीय प्रवृत्ति 0.60 है तो इस पदार्थ के लिए 27 ^{o}C पर चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान ज्ञात करो।

(0.24)

10. 4 cm^2 अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल की लोहे की छड़ 10^3 A / m के चुम्बकन क्षेत्र के समांतर है यदि इसमें से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स 4×10^{-4} Web है तो पदार्थ की पारगम्यता, आपेक्षिक पारगम्यता तथा चुम्बकीय प्रवृत्ति ज्ञात करो।

$(10^{-3}$ Web / A × m, 796, 795)

11. एक वृत्ताकार कुण्डली की त्रिज्या 0.05 m तथा फेरों की संख्या 100 है। इसमें 0.1 A धारा बह रही है तो इसे 1.5 T वाले बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् इसकी अक्ष के सापेक्ष 180^o घुमाने में कितना कार्य करना पडेगा? कुण्डली का तल प्रारम्भ में क्षेत्र के लम्बवत् है।

(0.236 J)

12. एक कुण्डली ℓ भुजा के एक समबाहु त्रिभुज के रूप में है तथा B चुम्बकीय क्षेत्र में लटकी है। $\vec{B}$ कुण्डली के तल में है। यदि कुण्डली में I धारा प्रवाहित करने पर बल आघूर्ण τ लगे तो त्रिभुज की भुजा ज्ञात करो।

$$\left(2\frac{\tau}{\sqrt{3}Bl}\right)^{\frac{1}{2}}$$