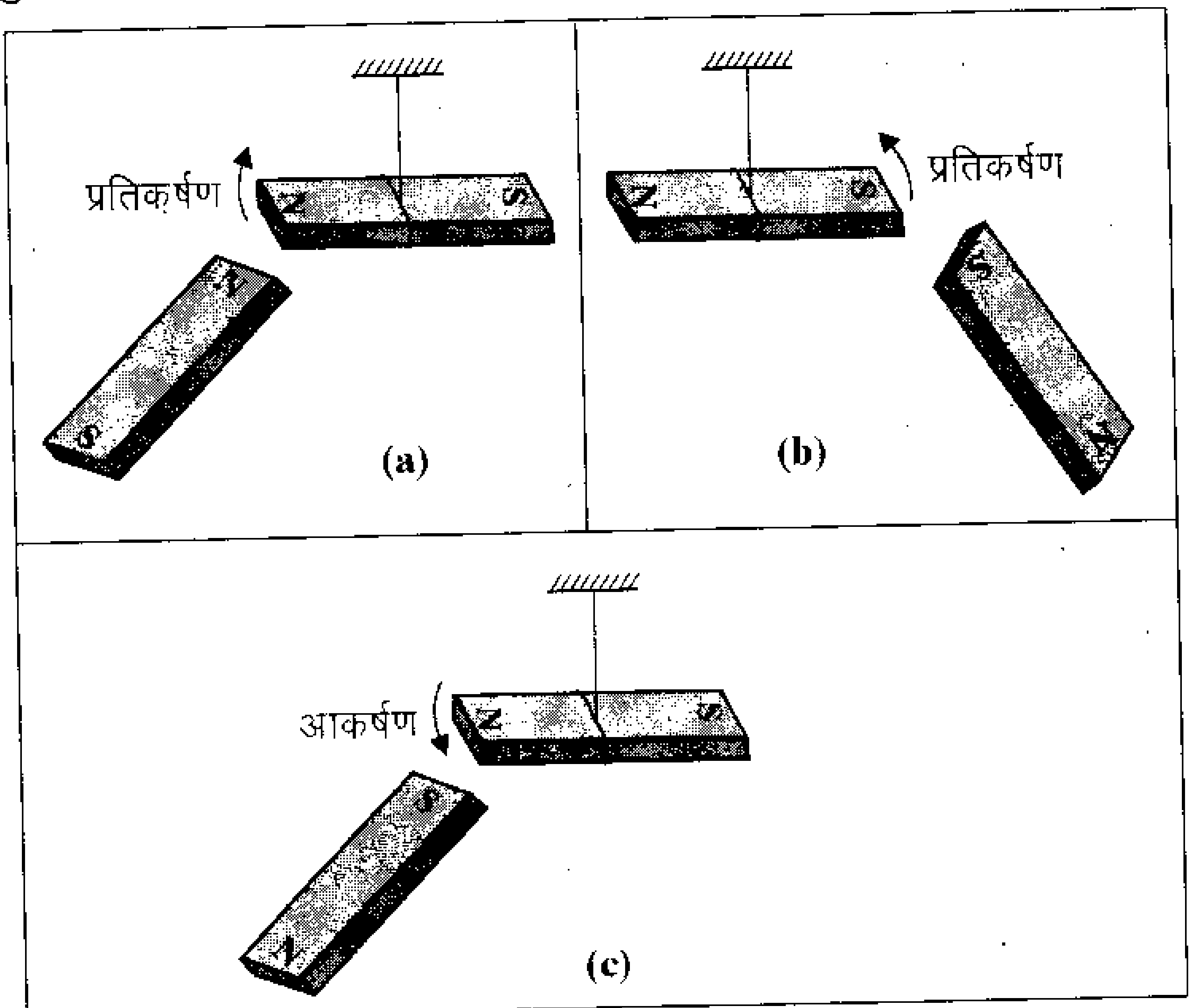
चुम्बकत्व एवं चुम्बकीय प

MAGNETISM AND PROPERTII MAGNETIC SUBSTANCES

8.1 प्राकृतिक चुम्बक (Natural Magnet)

प्राचीन काल में एशिया माइनर (Asia Minor) के मैग्नेशिया (Magnesia) नामक स्थान [यह स्थान अब पश्चिमी टर्की का भाग है और अब इसका नाम मनीसा (Manisa) है पर एक ऐसा अयस्क प्राप्त किया गया जो लौहे, निकिल, कोबाल्ट इत्यादि के टुकड़ों को आकर्षित करने का गुण रखता था। इस अयस्क को, खोज के स्थान के नाम पर मैग्नेटाइट (magnetite) कहा गया। इस प्राकृतिक अयस्क का रासायनिक सूत्र 'Fe_3O_4' था। इसे **'प्राकृतिक चुम्बक'** कहते हैं। यह लौहयुक्त वस्तुओं को अपनी ओर आकर्षित करता है। इसके लौहयुक्त वस्तुओं को अपनी ओर आकर्षित करने के गुण को चुम्बकत्व (Magnetism) कहते हैं। बाद में चीनवासियों (Chinese) ने यह पता लगाया कि जब इस अयस्क को, जिसे वे लोड स्टोन (Lode Stone) कहते थे, स्वतन्त्रतापूर्वक लटकाया जाता था, तो वह सदैव उत्तर दक्षिण दिशा में ठहरता था। वास्तव में लोड स्टोन का तात्पर्य है–अग्रग पत्थर (Leading Stone) जो उसके दिशात्मक गुण को प्रदर्शित करता है। यात्री दिशा ज्ञात करने के लिए इस पत्थर का उपयोग किया करते थे। प्राकृतिक चुम्बक को उसके मुक्त ...

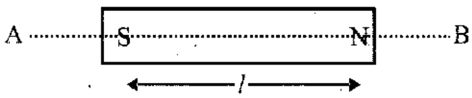
(iii) विजातीय ध्रुवों में आकर्षण तथा सजातीय ध्रुवों में प्रतिकर्षण (Unlike poles attract and like poles repel)– यदि हम एक चुम्बक को लटका दें तथा एक दूसरे चुम्बक के N ध्रुव को लटके हुये चुम्बक के N ध्रुव के समीप लायें तब यह उससे प्रतिकर्षित होता है (चित्र a)। इसी प्रकार S ध्रुव को लटके हुये चुम्बक के S ध्रुव के समीप लाने पर भी यह उससे प्रतिकर्षित होता है (चित्र b)। परन्तु जब S ध्रुव लटके हुये चुम्बक के N ध्रुव के समीप लाया जाता है तब यह उससे आकर्षित होता है (चित्र c)। इससे यह स्पष्ट होता है कि चुम्बक के विजातीय ध्रुव (उत्तरी-दक्षिणी) एक दूसरे को आकर्षित करते हैं जबकि सजातीय ध्रुव (उत्तरी-उत्तरी अथवा दक्षिणी-दक्षिणी) एक दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं।



चित्र 8.1

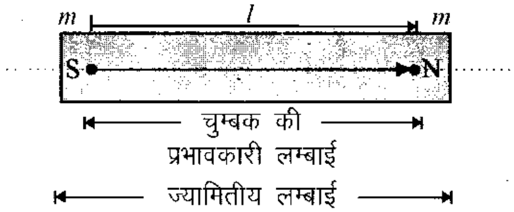
क्रिया रेखा गुजरती है, चुम्बकीय ध्रुव कहलाते हैं।

चुम्बक के दोनों ध्रुवों को मिलाने वाली काल्पनिक रेखा चुम्बकीय अक्ष कहलाती है। चित्र में AB चुम्बकीय अक्ष है।

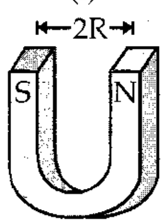


चित्र 8.8 (i)

(ii) चुम्बक की प्रभावकारी लम्बाई (Effective length of a magnet)–चुम्बक के दोनों ध्रुवों के मध्य की दूरी को चुम्बक की प्रभावकारी लम्बाई कहते हैं। यह लम्बाई दोनों ध्रुवों को मिलाने वाली काल्पनिक रेखा अर्थात् चुम्बकीय अक्ष के अनुदिश मापी जाती है। चुम्बक की प्रभावकारी लम्बाई सदैव ज्यामितीय लम्बाई से कम होती है। यह ज्यामितीय लम्बाई की लगभग 5/6 गुनी होती है। यह एक सदिश लम्बाई है जिसकी दिशा S ध्रुव से N की ओर होती है तथा $\vec{l}$ द्वारा व्यक्त की जाती है।



(i)



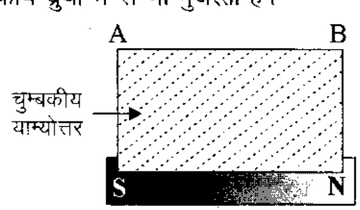
$L_e = 2R$

तथा $L_g = \pi R$

चित्र 8.8 (ii)

(iii) चुम्बकीय याम्योत्तर (Magnetic meridian)–किसी स्थान पर चुम्बकीय याम्योत्तर वह काल्पनिक ऊर्ध्वाधर तल है जो कि स्वतन्त्रतापूर्वक लटके हुए चुम्बक या कीलकित चुम्बकीय सुई की स्थिर अवस्था में उसके चुम्बकीय अक्ष में से गुजरता है। चित्र में तल ABNSA चुम्बकीय याम्योत्तर है।

यह उस स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा भी प्रदर्शित करता है तथा उसके चुम्बकीय ध्रुवों में से भी गुजरता है।



चित्र 8.9

(vi) चुम्बकीय ध्रुव प्रबलता (Magnetic pole strength)– चुम्बक के किसी ध्रुव द्वारा चुम्बकीय पदार्थों को अपनी ओर आकर्षित करने की सामर्थ्य को उसकी चुम्बकीय ध्रुव प्रबलता कहते हैं । यह एकांक तीव्रता के चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकीय ध्रुव पर कार्यरत बल के बराबर होती है। यदि ध्रुव प्रबलता को m से व्यक्त करें तब

$$m = \frac{F}{B}$$

अतः B परिमाण के चुम्बकीय क्षेत्र में m ध्रुव प्रबलता वाले उत्तरी ध्रुव पर

$$\Rightarrow \quad F = mB \quad .....(1)$$

इस बल की दिशा क्षेत्र B की दिशा में होती है। परन्तु दक्षिणी ध्रुव होने पर लगने वाले बल की दिशा B की दिशा के विपरीत होती है।

ध्रुव प्रबलता का मात्रक $\frac{\text{न्यूटन}}{\text{टेसला}}$ या एम्पियर–मीटर होता है। यह एक अदिश राशि है तथा इसकी विमायें $[M^0L^1T^0A^1]$ है। **उत्तरी ध्रुव की ध्रुव प्रबलता $+m$ तथा दक्षिणी ध्रुव की ध्रुव प्रबलता $-m$ होती है।**

(v) चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य कार्यरत बल (कूलॉम का नियम) (Coulomb's Law for force between magnetic poles)– यह नियम कूलॅाम ने दिया जिससे यह कूलॉम का चुम्बकीय बल नियम कहलाता है। इस नियमानुसार 'दो चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य लगने वाला आकर्षण अथवा प्रतिकर्षण बल ध्रुवों की प्रबलता के गुणनफल के समानुपाती तथा उनके मध्य की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

यदि दो चुम्बकीय ध्रुवों की प्रबलताएँ m_1 व m_2 तथा उनके मध्य की दूरी r हो तो उनके मध्य लगने वाला बल

$$F \propto m_1m_2$$

तथा $$F \propto \frac{1}{r^2}$$

जिससे $$F \propto \frac{m_1m_2}{r^2} \quad ....(1)$$

$$\Rightarrow \quad F = \frac{K\, m_1m_2}{r^2} \quad .....(2)$$

जहाँ K चुम्बकीय बल नियतांक है।

S I पद्धति में $K = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \frac{\text{न्यूटन}}{\text{एम्पियर}^2}$ अथवा $\frac{\text{वेबर}}{\text{एम्पियर} \times \text{मी.}}$ होता है ।

μ_0 निर्वात की चुम्बकीय पारगम्यता कहलाती है, इसका मान $4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{हेनरी}}{\text{मीटर}}$ अथवा $\frac{\text{बेबर}}{\text{एम्पियर} \times \text{मी.}}$ होता है।

$$\therefore \quad F = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) \frac{m_1m_2}{r^2} \quad .....(3)$$

C.G.S. पद्धति में K=1 होता है।

यह कूलॉम का चुम्बकीय बल का नियम कहलाता है।

इकाई ध्रुव (Unit pole)–

समीकरण (3) में यदि

$$m_1 = m_2 = 1$$

तथा $r = 1$ मीटर हो तो

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

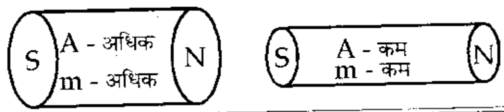
इसका सदिश रूप $$\vec{F} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m_1m_2}{r^2}\hat{r} \quad .....(4)$$

दो से अधिक ध्रुवों के लिए परिणामी चुम्बकीय बल का मान अध्यारोपण के सिद्धान्त से ज्ञात करते हैं।

अर्थात् ऐसे दो सजातीय तथा समान परिमाण के ध्रुव जिन्हें निर्वात में 1 मीटर दूरी पर रखने पर उनके मध्य 10^{-7} न्यूटन का प्रतिकर्षण बल कार्यरत हो, इकाई ध्रुव कहलाते हैं।

महत्त्वपूर्ण तथ्य

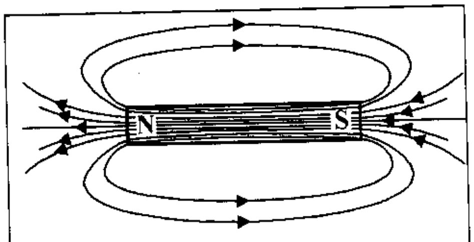
चुम्बकीय ध्रुव प्रबलता चुम्बक के पदार्थ की प्रकृति तथा इसके अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल पर निर्भर करती है, लम्बाई पर नहीं।



8.3 चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ या चुम्बकीय बल रेखाएँ (The magnetic field lines)

चुम्बकीय बल रेखाएँ (Magnetic lines of force)

चुम्बकीय बल रेखाएँ काल्पनिक रेखाएँ होती हैं जो चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को व्यक्त करती है। जब किसी चुम्बकीय क्षेत्र में एकांक उत्तरी ध्रुव रखा जाए तब उस पर कार्यरत बल के कारण वह जिस रेखा के अनुदिश गतिमान होगा वह काल्पनिक रेखा बल रेखा होती है अर्थात् **वह काल्पनिक बन्द पथ जिसके अनुदिश स्वतंत्र एकांक उत्तरी ध्रुव चुम्बकीय बल के कारण गति करता है चुम्बकीय बल रेखा कहलाती है।** चुम्बकीय बल रेखा के किसी बिन्दु पर खींची गयी स्पर्श रेखा उस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को व्यक्त करती है। चुम्बकीय बल रेखाएँ लौहे के बुरादे अथवा चुम्बकीय सुई की सहायता से खींची जा सकती हैं।



चित्र 8.10

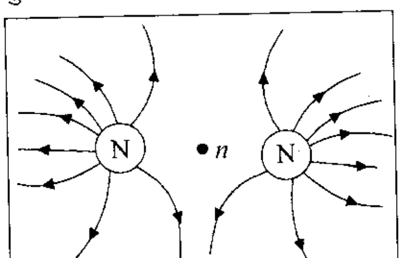
चित्र में छड़ चुम्बक से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की बल रेखायें दिखायी गयी हैं।

चुम्बकीय बल रेखाओं के गुणधर्म निम्न प्रकार हैं–

(i) चुम्बकीय बल रेखायें बन्द वक्र के रूप में होती हैं।

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

(iii) ये एक दूसरे को नहीं काटती हैं यदि ये एक दूसरे को काटती तो कटान बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र के दो मान होते जो असंभव है।



चित्र 8.11

(iv) जहाँ बल क्षेत्र प्रबल होता है वहाँ बल रेखायें पास-पास होती हैं अर्थात् बल-रेखाओं का घनत्व अधिक होता है। क्षीण क्षेत्र में बल रेखायें दूर-दूर होती हैं।

(v) ये चुम्बक के दक्षिणी ध्रुव में किसी भी कोण पर प्रवेश कर सकती है तथा किसी भी कोण पर उत्तरी ध्रुव से बाहर आ सकती है।

(vi) यदि किन्हीं दो चुम्बकों के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित किन्हीं बिन्दुओं (या स्थान) पर कोई चुम्बकीय बल रेखा उपस्थित नहीं हो तो उन बिन्दुओं (या स्थान) पर परिणामी बल शून्य होगा। ऐसे बिन्दुओं को **उदासीन बिन्दु (Neutral Points)** कहते हैं। चित्र में n उदासीन बिन्दु है।

8.4 उदासीन बिन्दु (Neutral Point)

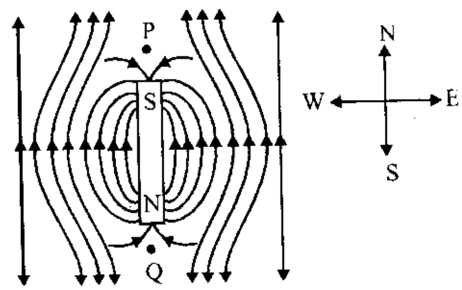
किसी चुम्बक की बल रेखायें खींचने पर प्राप्त वक्र चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र तथा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के परिणामी क्षेत्र को प्रदर्शित करते हैं। चुम्बक के समीप उसके चुम्बकीय क्षेत्र का प्रभाव अधिक तथा पृथ्वी के क्षेत्र का प्रभाव कम होता है, जबकि चुम्बक से दूर जाने पर पृथ्वी के क्षेत्र का प्रभाव अधिक होता जाता है तथा चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र का प्रभाव कम होता जाता है। चुम्बक से कुछ दूर स्थित वे बिन्दु जहाँ पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र, चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र के बराबर तथा विपरीत दिशा में होता है, जिससे परिणामी क्षेत्र का मान शून्य हो जाता है, उदासीन बिन्दु (Neutral Points) कहलाते हैं। इनमें से होकर कोई बल रेखा नहीं गुजरती है।

माना कि उदासीन बिन्दु पर चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र B तथा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक B_H है, तब

$$B = B_H$$

उदासीन बिन्दुओं की स्थिति चुम्बक की पृथ्वी के क्षेत्र की दिशा के सापेक्ष स्थिति पर निर्भर करती है।

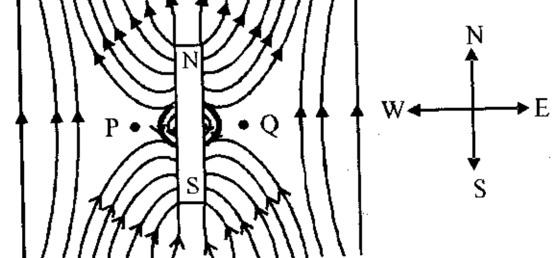
(i) चुम्बक का दक्षिणी ध्रुव पृथ्वी के उत्तरी ध्रुव की ओर रखने पर बल रेखायें– इस स्थिति में बल रेखायें चित्रानुसार प्राप्त होती है।



चित्र 8.12

पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा सदैव दक्षिण से उत्तर की ओ होती है। इस स्थिति में चुम्बक के लम्बवत् निरक्षीय अक्ष पर दोनों क्षेत्रों क दिशा समान होती है जबकि चुम्बकीय अक्ष पर दोनों ओर दो ऐसे बिन्दु प्रा होते हैं, जहाँ बल रेखायें नहीं पहुँचती है। अत: चुम्बक के दोनों ओर अक्षी रेखा पर एक निश्चित दूरी पर दो उदासीन बिन्दु P तथा Q प्राप्त होते हैं।

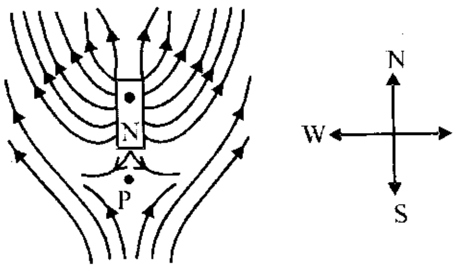
(ii) चुम्बक का उत्तरी ध्रुव के उत्तरी ध्रुव की ओर रखने पर ब रेखायें–इस स्थिति में बल रेखायें चित्रानुसार प्राप्त होती है। इस स्थिति चुम्बकीय अक्ष पर दोनों क्षेत्रों की दिशा समान होती है, जबकि चुम्बक व लम्बवत् निरक्षीय अक्ष पर दोनों ओर दो ऐसे बिन्दु प्राप्त होते हैं जहाँ ब रेखायें नहीं पहुँचती है। अत: चुम्बक के दोनों ओर निरक्षीय रेखा पर ए निश्चित दूरी पर दो उदासीन बिन्दु P तथा Q प्राप्त होते हैं।



चित्र 8.13

(iii) चुम्बक को ऊर्ध्वाधर स्थिति में रखने पर बल रेखायें– चित्रानुसार एक चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को नीचे रखकर उसे ऊर्ध्वाधर स्थिति में रखा गया है। इस स्थिति में बल रेखायें खींचने पर केवल एक ही उदासीन बिन्दु P प्राप्त होता है, जिसकी स्थिति चुम्बक के उत्तरी ध्रुव से ठीक दक्षिण की ओर होती है।

यदि दक्षिणी ध्रुव को नीचे रखा जाये तब भी केवल एक ही उदासीन बिन्दु प्राप्त होता है, जिसकी स्थिति चुम्बक के दक्षिणी ध्रुव से ठीक उत्तर की ओर होती है।



चित्र 8.14

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

8.5.1. चुम्बकीय द्विध्रुव (Magnetic Dipole) :

चुम्बकीय द्विध्रुव में दो विजातीय ध्रुव होते हैं जिनकी ध्रुव प्रबलता समान होती है तथा एक सीमित दूरी पर स्थित होते हैं। छड़ चुम्बक, धारा लूप, चुम्बकीय सुई आदि चुम्बकीय द्विध्रुव के उदाहरण हैं। वे सभी संरचनाएँ जिन्हें बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में व्यवस्थित होने की प्रवृत्ति होती है चुम्बकीय द्विध्रुव की भांति व्यवहार करती है।

8.5.2. चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण (Magnetic Dipole Moment) :

यदि किसी N फेरों तथा A क्षेत्रफल की कुण्डली में i धारा प्रवाहित की जाती है तब कुण्डली के तल का अभिलम्ब चुम्बकीय क्षेत्र से α कोण पर स्थित होने पर बल आघूर्ण

$$\tau = NiAB\sin\alpha \qquad ...(1)$$

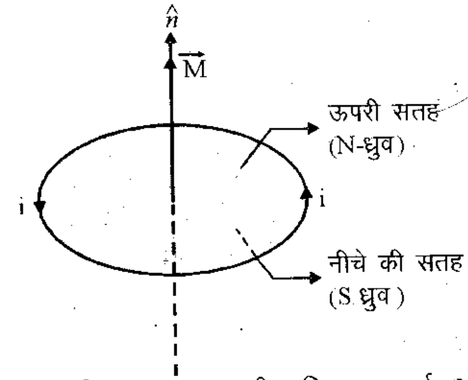
विद्युत क्षेत्र में क्षेत्र की दिशा से α कोण पर स्थित द्विध्रुव पर कार्यरत बल आघूर्ण

$$\tau = pE\sin\alpha \qquad ...(2)$$

समी. (1) व (2) की तुलना करने पर NiA का मान विद्युत द्विध्रुव आघूर्ण p के तुल्य है। इसे चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण कहते हैं।

धारावाही लूप चुम्बकीय द्विध्रुव के रूप में (Current carrying loop as a Magnetic dipole)

माना कि चित्रानुसार एक समतल धारावाही लूप है जिसके ऊपरी सतह पर देखने पर धारा वामावर्त (anti-clockwise) दिशा में प्रवाहित होती दिखायी देती है तब यह तल उत्तरी ध्रुव (N) की भांति कार्य करेगा। जबकि नीचे की सतह पर देखने पर धारा दक्षिणावर्त (clockwsie) दिशा में प्रवाहित होती दिखायी देती है तब यह तल दक्षिणी ध्रुव (S) की भांति कार्य करेगा। इस प्रकार एक धारावाही लूप चुम्बकीय द्विध्रुव के समान व्यवहार करता है जिसमें दो समान तथा विजातीय चुम्बकीय ध्रुव (N व S) होते हैं।



चित्र 8.15

धारावाही लूप का चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण (M) –

(i) लूप से प्रवाहित धारा (i) की प्रबलता तथा

(ii) लूप द्वारा परिबद्ध क्षेत्रफल (A) के समानुपाती होता है।

अर्थात् $M \propto i$

तथा $M \propto A$

$\therefore$ $M \propto iA$

या $M = KiA$ .....(1)

जहाँ K समानुपाती नियतांक है।

यदि एकांक लूप के एकांक क्षेत्रफल से प्रवाहित एकांक धारा के लिए एकांक चुम्बकीय आघूर्ण परिभाषित किया जाये तब

$$1 = K \times 1 \times 1 \quad \Rightarrow K = 1$$

तब $M = iA$ .....(2)

इस प्रकार **चुम्बकीय आघूर्ण M परिपथ में प्रवाहित धारा i तथा परिपथ के प्रभावी क्षेत्रफल A के गुणनफल के बराबर होता है। यह तुल्यता, एम्पियर की तुल्यता प्रमेय (Equivalence Theorem) कहलाती है।**

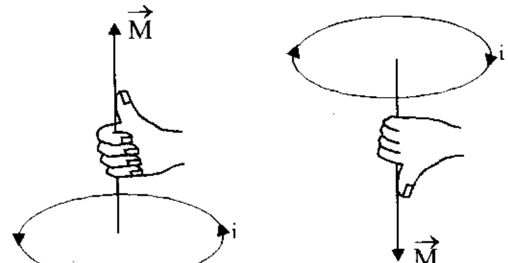
N फेरों के लिए $M = NiA$ .....(3)

सदिश संकेतन में $\vec{M} = NiA\hat{n}$ .....(4)

यहाँ $\hat{n}$ एकांक सदिश है जिसकी दिशा धारावाही लूप के तल के लम्बवत् दाहिने हाथ के नियम से दी जाती है।

यदि दाहिने हाथ की अंगुलियाँ धारा की दिशा में रखें तो अंगूठा $\vec{M}$ दिशा को व्यक्त करता है। इसे चित्रानुसार स्पष्ट किया जा सकता है।

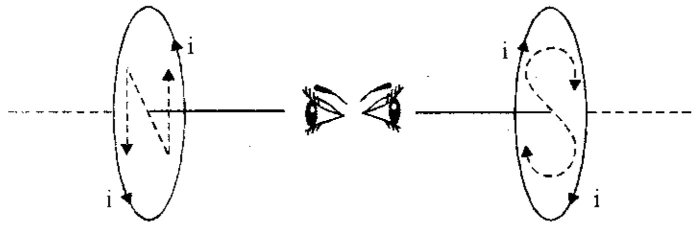
M का मात्रक = एम्पियर × मीटर^2



चित्र 8.16

किसी वृत्ताकार कुण्डली में बहने वाली धारा की दिशा से चुम्बकीय ध्रुवों की पहचान इस प्रकार कर सकते हैं–

चित्र में ऊर्ध्वाधर रखी एक ही धारावाही वृत्ताकार कुण्डली की दो अलग-अलग स्थितियाँ दर्शाई गई हैं। कुण्डली को जब दायीं ओर से देखा जाता है (अ) तो धारा की दिशा वामावर्ती (anticlockwise) दिशा में होती है। कुण्डली का यह तल उत्तरी ध्रुव की भांति कार्य करता है। जब कुण्डली को बांयी ओर से देखा जाता है चित्र (ब) तो धारा की दिशा दक्षिणावर्ती (anticlockwise) दिशा में होती है। कुण्डली का यह तल (चित्र अ में दिखाये गये तल के बिल्कुल विपरीत) दक्षिणी ध्रुव की भांति कार्य करता है।



चित्र 8.17

नोट– (i) यदि कुण्डली की त्रिज्या r व फेरों की संख्या N हो तो धारावाही कुण्डली का चुम्बकीय आघूर्ण

$$M = NiA$$
$$M = Ni\pi r^2$$

8.5.2.1 छड़ चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण (Magnetic Moment of a Bar Magnet)

चुम्बक की ध्रुव प्रबलता तथा उसकी प्रभावकारी लम्बाई के गुणनफल को चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण कहते हैं। यह एक सदिश राशि है तथा $\vec{M}$ द्वारा प्रदर्शित की जाती है। इसकी दिशा S ध्रुव से N ध्रुव की ओर होती है।

इस प्रकार $$\vec{M} = m(\vec{l}) \quad .....(1)$$

चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण का S.I. मात्रक एम्पियर × मी.^{2} होता है।

यदि चुम्बक को लम्बाई के लम्बवत् तथा लम्बाई के अनुदिश काटा जाये तब दोनों स्थितियों में दो चुम्बक प्राप्त होंगे जिनमें उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुव विद्यमान होंगे।

महत्वपूर्ण–(i) यदि किसी छड़ चुम्बक को लम्बाई के अनुदिश को बराबर भागों में काट देने से उसके टुकड़े के दोनों ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता आधी हो जाती है। (अर्थात् $m' = m/2$)। अतः इनमें से प्रत्येक टुकड़े का चुम्बकीय आघूर्ण $M' = m'l$

या $$M' = \frac{m}{2}\, l = ml/2 \text{ अर्थात् } M' = \frac{M}{2}$$

(ii) यदि छड़ चुम्बक को उसकी लम्बाई के लम्बवत् दो समान भागों में काट दिया जाए तो उसके प्रत्येक टुकड़े के दोनों ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता वही रहेगी परन्तु लम्बाई आधी हो जाएगी। अतः प्रत्येक टुकड़े का चुम्बकीय आघूर्ण :

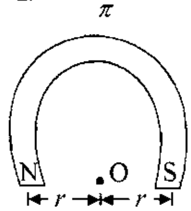
$$M' = m.l/2 \qquad \text{अतः } M' = M/2$$

(iii) यदि किसी l लम्बाई के छड़ चुम्बक को r त्रिज्या के अर्द्ध-वृत्ताकार रूप में मोड़ दिया जाए, तो चुम्बकीय आघूर्ण :

$$M' = m.d = m\,.\,2r$$

∵ अर्द्ध-वृत्ताकार भाग की परिधि $\pi r = l$

∴ $$2r = 2\frac{l}{\pi}$$



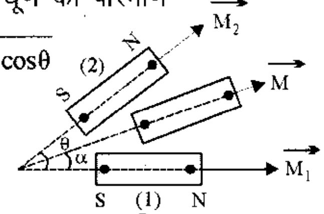
चित्र 8.18

$$M' = m \times \frac{2l}{\pi}$$

अतः $$M' = 2ml/\pi = \frac{2M}{\pi}$$

(iv) यदि दो चुम्बकों के चुम्बकीय आघूर्ण $\vec{M_1}$ तथा $\vec{M_2}$ एक–दूसरे से θ कोण पर हों तो सदिश योग की गणितीय विधि द्वारा इस निकाय के परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण का परिमाण

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + 2M_1M_2\cos\theta}$$

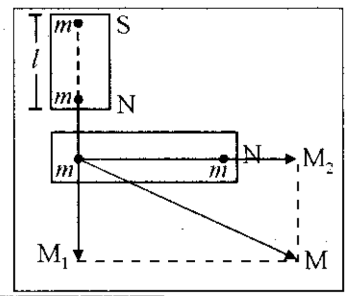


चित्र 8.19

यदि $\vec{M}$ तथा $\vec{M_1}$ के बीच कोण α हो तो

$$\tan\alpha = \frac{M_2\sin\theta}{M_1 + M_2\cos\theta}$$

(v) यदि कोई दो छड़ चुम्बक चित्र के अनुसार परस्पर लम्बवत् हों तो परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण



चित्र 8.20

$$\vec{M} = \vec{M_1} + \vec{M_2}$$
$$|\vec{M}| = |\vec{M_1} + \vec{M_2}|$$

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + 2M_1M_2\cos 90^\circ}$$

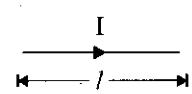
या $$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

यदि $M_1 = M_2$ हो तो $M = \sqrt{2}M_1$

महत्वपूर्ण तथ्य

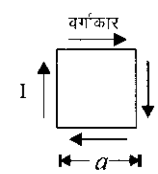
(i) एक निश्चित लम्बाई के सरल रेखीय धारावाही तार को चित्र में दिखाये अनुसार विभिन्न आकृतियों में मोड़ने पर प्रत्येक स्थिति में चुम्बकीय आघूर्ण

रेखीय



(i)

वर्गाकार



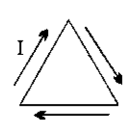
(ii)

$l = 4a$

$A = a^2$

$$M = Ia^2 = \frac{Il^2}{16}$$

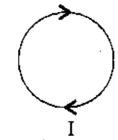
समबाहु त्रिभुजाकार



(iii)

$l = 3a$

वृत्त



(iv)

$l = 2\pi r$

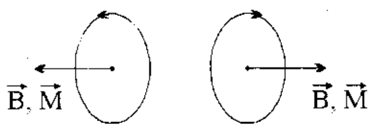
$A = \frac{\sqrt{3}}{4}a^2$ $\qquad A = \pi r^2$

$M = I\left(\frac{\sqrt{3}}{4}a^2\right)$ $\qquad M = I(\pi r^2)$

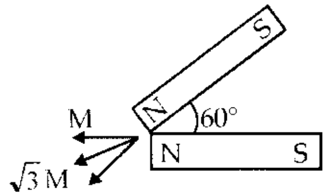
$= \frac{\sqrt{3}Il^2}{36}$ $\qquad = \frac{Il^2}{4\pi} \leftarrow$ अधिकतम

विशेष: **(1)** किसी दिये गये परिमाप के लिये वृत्त का क्षेत्रफल अधिकतम होता है। अत: इसका चुम्बकीय आघूर्ण भी अधिकतम होगा।

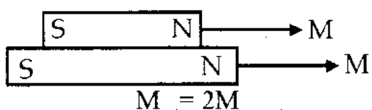
(2) किसी भी लूप या कुण्डली के लिये $\vec{B}$ तथा $\vec{M}$ सदैव समान्तर होते हैं।



(ii) **दो छड़ चुम्बकों का संयोजन:**

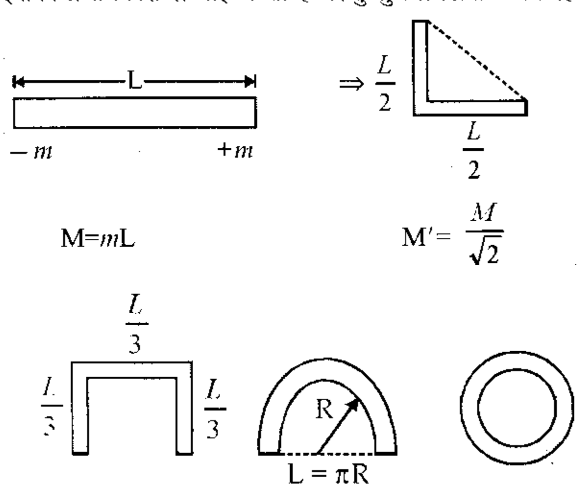


(i)



(ii)

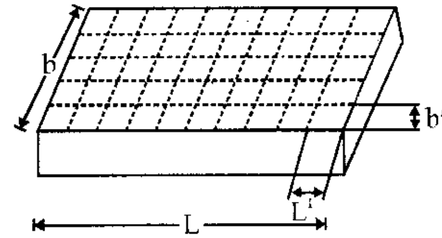
(iii) यदि M चुम्बकीय आघूर्ण वाले एक चुम्बकीय तार को किसी अन्य रूप में मोड़ दिया जाये तो इसका चुम्बकीय आघूर्ण घटता है क्योंकि ऐसा करने से इसकी प्रभावकारी लम्बाई घटती है परन्तु ध्रुव प्रबलता नियत रहती है।



$M' = \frac{M}{3}$ $\qquad M' = \frac{2M}{\pi}$ $\qquad M' = 0$

टोराइड का चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है।

(iv) **छड़ चुम्बक का काटना**– मानाकि एक आयताकार छड़ चुम्बक की लम्बाई चौड़ाई एवं द्रव्यमान क्रमश: L, b एवं ω है। यदि इसे लम्बाई के लम्बवत् एवं अनुदिश एकसाथ चित्रानुसार n समान भागों में काटें तब



प्रत्येक भाग की लम्बाई $L' = \frac{L}{\sqrt{n}}$, प्रत्येक भाग की चौड़ाई $b' = \frac{b}{\sqrt{n}}$,

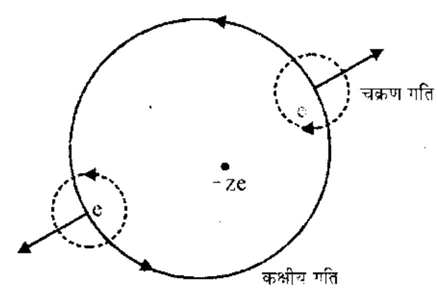
प्रत्येक भाग का द्रव्यमान $\omega' = \frac{\omega}{n}$, प्रत्येक भाग की ध्रुव सामर्थ्य $m' = \frac{m}{\sqrt{n}}$

प्रत्येक भाग चुम्बकीय आघूर्ण $M' = m'L' = \frac{m}{\sqrt{n}} \times \frac{L}{\sqrt{n}} = \frac{M}{n}$ यदि प्रारंभ में केन्द्र से गुजरने वाले एवं लम्बाई के लम्बवत् अक्ष के सापेक्ष चुम्बक का जड़त्व आघूर्ण $\mathfrak{I} = \omega\left(\frac{L^2+b^2}{12}\right)$ है तब चुम्बक के प्रत्येक कटे हुये भाग का जड़त्व आघूर्ण $\mathfrak{I}' = \frac{\mathfrak{I}}{n^2}$

विशेष: छोटे छड़ चुम्बक के लिए $b = 0$ अत: $L' = \frac{L}{n}$, $\omega' = \frac{\omega}{n}$, $m' = m$, $M' = \frac{M}{n}$ एवं $\mathfrak{I}' = \frac{\mathfrak{I}}{n^3}$

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

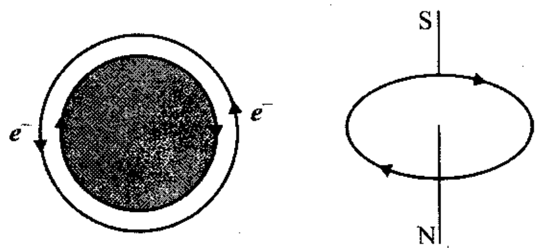
हम जानते हैं कि प्रत्येक पदार्थ परमाणुओं से मिलकर बना होता है। प्रत्येक परमाणु के मध्य भाग में एक नाभिक होता है जिसमें परमाणु का लगभग समस्त द्रव्यमान तथा धनावेश केन्द्रित रहता है। नाभिक के चारों ओर इलेक्ट्रॉन विभिन्न कक्षाओं में परिक्रमण करते है। इसे इलेक्ट्रॉन की कक्षीय गति (Orbital motion) कहते हैं। कक्षीय गति के साथ साथ इलेक्ट्रॉन अपनी धुरी पर भी घूमता है। इसे इलेक्ट्रॉन की चक्रण गति (spin motion) कहते हैं। इस प्रकार इलेक्ट्रॉन की गति पृथ्वी की सूर्य के परित कक्षीय गति तथा अपनी धुरी के परित: चक्रण गति के तुल्य होती है इलेक्ट्रॉन की इन्हीं गतियों के कारण परमाणु में चुम्बकत्व उत्पन्न होता है



चित्र: 8.21

परिक्रमण अथवा चक्रण करता इलेक्ट्रॉन धारा लूप की तरह व्यवहा

करता है जिसका एक निश्चित द्विध्रुव आघूर्ण होता है। जब इलेक्ट्रॉन वामावर्ती (anti-clock wise) परिभ्रमण करता है, धारा की दिशा दक्षिणावर्ती (clock wise) होती है। इसलिए इलेक्ट्रॉन लूप की ऊपरी सतह दक्षिणी ध्रुव (S) तथा नीचे की सतह उत्तरी ध्रुव (N) की तरह व्यवहार करती है। इस प्रकार परमाणु चुम्बकीय द्विध्रुव के रूप में व्यवहार करता है।



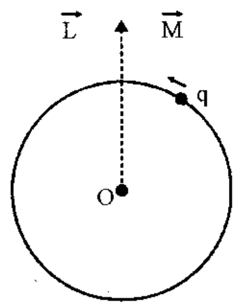
चित्र 8.22

धारावाही लूप या कुण्डली के चुम्बकीय आघूर्ण की व्याख्या–

यदि किसी धारा लूप का क्षेत्रफल A है, उसमें फेरों की संख्या N तथा उसमें I धारा प्रवाहित हो रही हो तो धारा लूप के समतुल्य चुम्बकीय द्विध्रुव का चुम्बकीय आघूर्ण

$$M = I \times NA = NIA$$

इस प्रकार परमाणु में इलेक्ट्रॉन के परिक्रमण तथा चक्रण दोनों ही गतियों के कारण चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न होता है। परन्तु परमाणु के चुम्बकीय आघूर्ण का अधिकांश भाग इलेक्ट्रॉन की चक्रण गति के कारण उत्पन्न होता है। परिक्रमण गति का चुम्बकीय आघूर्ण में योगदान बहुत कम होता है। माना कि q आवेश, एक समान कोणीय वेग ω (या रेखीय चाल v) से r त्रिज्या के वृत्ताकार पथ पर परिक्रमण कर रहा है। (चित्र)



चित्र: 8.23

अत: कक्षा में उत्पन्न वृत्तीय धारा

$$I = \frac{\text{आवेश}}{\text{समय}} = \frac{q}{T}$$

जहाँ T = गति का आवर्तकाल है।

लेकिन $T = \frac{2\pi}{\omega}$ तथा $\omega = \frac{v}{r}$

$$\therefore \quad T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$\text{अत:} \quad I = \frac{q}{(2\pi r/v)} = \frac{qv}{2\pi r}$$

इस प्रकार परिक्रमण करता हुआ आवेश एक धारा लूप की भाँति व्यवहार करता है जिसका क्षेत्रफल $A = \pi r^2$ है। इस धारा लूप को एक चुम्बकीय द्विध्रुव के तुल्य माना जा सकता है जिसका चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण

$$M = (\text{लूप में धारा}) \times (\text{लूप का प्रभावी क्षेत्रफल})$$
$$= I \times A$$
$$= \left(\frac{qv}{2\pi r}\right) \times (\pi r^2)$$
$$= \frac{qvr}{2} \quad \ldots(1)$$

यदि आवेशित कण का द्रव्यमान m है तो आवेश का परिक्रमण अक्ष के परित: कोणीय संवेग

$$\vec{L} = m\,\vec{r} \times \vec{v}$$

$$\Rightarrow \quad |\vec{L}| = mvr \quad \ldots(2)$$

समी. (1) व (2) से

$$M = \frac{qvr}{2m} \times m = \frac{q}{2m} L$$

सदिश रूप में $\vec{M} = \frac{q}{2m}\vec{L}$ ...(3)

समीकरण (3) आवेशित कण के कोणीय संवेग तथा चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण में सम्बन्ध व्यक्त करता है। धनावेश के लिए द्विध्रुव आघूर्ण तथा कोणीय संवेग दोनों की दिशाएँ समान होती है, जबकि ऋणावेश के लिए द्विध्रुव आघूर्ण की दिशा, कोणीय संवेग की दिशा के विपरीत होती है।

समीकरण (3) में राशि $\frac{q}{2m}$ आवेशित कण के द्विध्रुव आघूर्ण की उसके कोणीय संवेग से निष्पत्ति व्यक्त करती हैं। इसे **जाइरो-चुम्बकीय अनुपात** (gyro-magnetic ratio) कहते हैं।

स्थिति- परमाणु में इलेक्ट्रॉन की कक्षीय गति से उत्पन्न द्विध्रुव आघूर्ण की गणना:

इलेक्ट्रॉन पर आवेश q = – e

जहाँ e (इलेक्ट्रॉनिक आवेश) = 1.6×10^{-19} कूलॉम

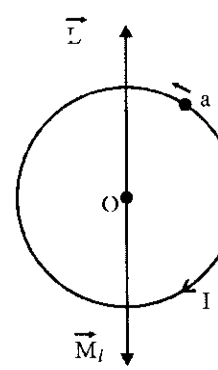
तथा इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान $m = m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ किग्रा.

अत: इलेक्ट्रॉन की कक्षीय गति से उत्पन्न द्विध्रुव आघूर्ण

$$M_l = \left(\frac{-e}{2m_e}\right) L$$

जहाँ L कक्षीय कोणीय संवेग है।

यहाँ ऋणात्मक चिन्ह यह दर्शाता है कि कक्षीय गति के कारण द्विध्रुव आघूर्ण M_l की दिशा, कक्षीय कोणीय संवेग L की दिशा के विपरीत होती है। (चित्र)



चित्र: 8.24

बोर की क्वाण्टम परिकल्पना के अनुसार, कक्षीय कोणीय संवेग L का मान

$\frac{h}{2\pi}$ का पूर्ण गुणक होता है अर्थात् $L = \frac{nh}{2\pi}$

जहाँ n पूर्ण गुणक (1, 2, 3............)

तथा h प्लांक नियतांक है।

$h = 6.6 \times 10^{-34}$ जूल × सेकण्ड

∴ इलेक्ट्रॉन के कक्षीय द्विध्रुव आघूर्ण का परिमाण

$$M_l = \left(\frac{e}{2m_e}\right) \times \frac{nh}{2\pi}$$

$$\Rightarrow \quad M_l = n\left(\frac{eh}{4\pi m_e}\right)$$

यदि $\frac{eh}{4\pi m_e} = \mu_B$ माना जाये तो

$$M_l = n\mu_B \quad ....(4)$$

यहाँ μ_B **बोर मैग्नेटॉन** (Bohr magneton) कहलाता है। इस प्रकार कक्षीय गति के कारण इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण, बोर मैग्नेटॉन का पूर्ण गुणक होता है। स्पष्ट है कि बोर मैग्नेटॉन, परमाण्वीय चुम्बकीय आघूर्ण का सुविधाजनक मात्रक है।

$$1\mu_B \text{ (बोर मैग्नेटॉन)} = \frac{eh}{4\pi m_e}$$

$$= \frac{(1.6\times10^{-19})\times(6.6\times10^{-34})}{4\times3.14\times(9.1\times10^{-31})}$$

$= 9.2 \times 10^{-24}$ एम्पियर-मी^{2}

उदा.1. 5 cm प्रभावी लम्बाई के चुम्बक के ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता 40 Am है, तो चुम्बक के चुम्बकीय आघूर्ण का मान ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.1

हल– दिया गया है–

$l = 5$ सेमी. = 0.05 मी.

$m = 40$ एम्पियर × मीटर

∴ चुम्बकीय आघूर्ण $M = ml$

$M = 40 \times 0.05$

= 2 एम्पियर × मीटर^2

उदा.2. एक धारावाही वृत्ताकार कुण्डली का चुम्बकीय आघूर्ण 5 Am² है, यदि इसकी त्रिज्या आधी तथा धारा दुगुनी कर दें, तो चुम्बकीय आघूर्ण का मान मूल चुम्बकीय आघूर्ण का कितना गुना हो जाएगा?

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.2

हल– दिया गया है–

$M = 5$ एम्पियर × मीटर^2

$r' = \frac{r}{2},$

$i' = 2i$

$M' = ?$

$\because \quad M = NiA = Ni\pi r^2$

$M' = Ni'\pi r'^2$

$$= N.2i.\pi\left(\frac{r}{2}\right)^2 = \frac{Ni\pi r^2}{2}$$

$$\therefore \quad \frac{M'}{M} = \frac{Ni\pi r^2}{2Ni\pi r^2} = \frac{1}{2}$$

$$M' = \frac{M}{2} = \frac{5}{2}$$

= 2.5 एम्पियर × मीटर^2

अत: इस स्थिति में चुम्बकीय आघूर्ण मूल चुम्बकीय आघूर्ण का $\frac{1}{2}$ गुना हो जाएगा।

उदा.3. हाइड्रोजन परमाणु की प्रथम कक्षा में गति कर रहे इलेक्ट्रॉन का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात कीजिए। ($r = 0.53$ Å, $v = 2.2 \times 10^6$ ms^{-1})

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.3

हल– ∵ चुम्बकीय आघूर्ण

$$M = \frac{evr}{2}$$

$$M = \frac{1.6\times10^{-19}\times2.2\times10^6\times0.53\times10^{-10}}{2}$$

$M = 9.3 \times 10^{-24}$ एम्पियर × मीटर^2

उदा.4. एक चुम्बकीय तार (Magnetised wire) की लम्बाई 8 सेमी. तथा चुम्बकीय आघूर्ण 80×10^{-3} जूल/टेसला है। इसकी ध्रुव सामर्थ्य (प्रबलता) क्या है ? यदि तार को अर्धवृत्ताकार आकार में मोड़ दिया जाये तो इसका चुम्बकीय आघूर्ण क्या हो जायेगा ?

हल– (i) चुम्बकीय आघूर्ण $M = m\ (l)$

जहाँ m = ध्रुव प्रबलता तथा l = लम्बाई है।

दिया है– $M = 80 \times 10^{-3}$ जूल/टेसला, $l = 8 \times 10^{-2}$ मीटर

अतः ध्रुव प्रबलता $m = \frac{M}{l} = \frac{80\times10^{-3}}{8\times10^{-2}} = 1$ एम्पियर × मीटर

(ii) तार को अर्धवृत्ताकार मोड़ने पर ध्रुवों के मध्य दूरी = $2r$

$$\frac{2\pi r}{2} = l$$

$$r = \frac{l}{\pi}$$

यहाँ $r = \frac{8\times10^{-2}}{\pi}$ मीटर

अतः नया चुम्बकीय आघूर्ण

$M' = m\ (2r)$

$= 1 \times 2 \times \frac{8\times10^{-2}}{\pi} = \frac{16}{\pi}\times10^{-2}$ एम्पियर × मीटर^2

उदा.5. 2L लम्बाई के एक छड़ चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण M है। इसे केन्द्र से 60° पर मोड़ दिया जाए तो इस व्यवस्था के चुम्बकीय आघूर्ण की गणना करो।

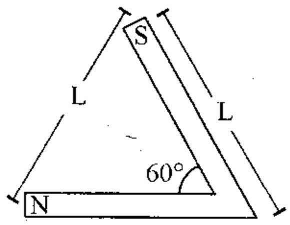
हल– यह एक समबाहु त्रिभुज (Equilateral triangle) है जिसकी प्रत्येक भुजा की लम्बाई समान होगी, जो कि L है।

∵ अतः चुम्बकीय आघूर्ण $M' = mL$

∵ प्रारम्भिक अवस्था में

$M = m.\ 2L.$

अतः $M' = M/2$



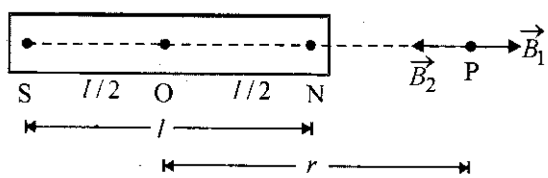
चित्र 8.25

8.6 चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (Intensity of Magnetic field)

चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता उस बिन्दु पर स्थित एकांक ध्रुव प्रबलता के परीक्षण उत्तरी ध्रुव द्वारा अनुभव किए गए बल के बराबर होती है। यह एक सदिश राशि है, जिसे $\vec{B}$ द्वारा व्यक्त किया जाता है। इसका SI मात्रक $\frac{\text{न्यूटन}}{\text{एम्पियर} \times \text{मीटर}}$ होता है, जिसे टेसला कहते हैं।

8.6.1. छड़ चुम्बक की अक्षीय रेखा पर स्थित बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field at a Point on Axial line due to a Bar Magnet)

यदि किसी छड़ चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण M हो तो इसकी अक्षीय रेखा पर इसके मध्य बिन्दु से r दूरी पर निर्वात/वायु में स्थित किसी बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान निम्न प्रकार ज्ञात कर सकते हैं–



चित्र 8.26

यदि चुम्बक के ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता m है तो उत्तरी ध्रुव के कारण बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m \times 1}{NP^2}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{(r - l/2)^2} \quad \text{[NP दिशा में]}$$

इसी प्रकार दक्षिणी ध्रुव के कारण बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m \times 1}{SP^2}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{(r + l/2)^2} \quad \text{[PS दिशा में]}$$

∴ छड़ चुम्बक के कारण बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = B_1 - B_2 \quad \because \; B_1 > B_2$$

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

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

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

$$= \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) m \, \frac{2rl}{(r^2 - l^2/4)^2}$$

∵ चुम्बकीय आघूर्ण $M = m \times l$

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2Mr}{(r^2 - l^2/4)^2} \quad .....(1)$$

यदि चुम्बक की लम्बाई बहुत कम हो तो $l^2 << r^2$ जिससे l^2 को r^2 की तुलना में नगण्य मानने पर

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2Mr}{r^4}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2M}{r^3} \quad .....(2)$$

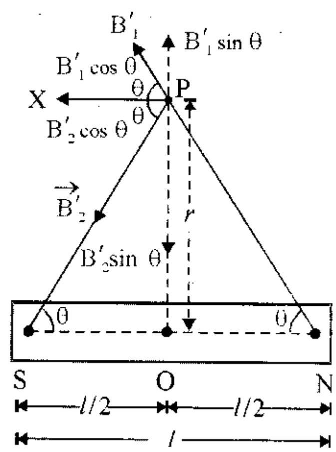
सदिश रुप में

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\vec{M}}{r^3}$$

चुम्बकीय क्षेत्र B की दिशा चुम्बकीय अक्ष के समान्तर दक्षिणी ध्रुव S से उत्तरी ध्रुव N की ओर दिष्ट होती है।

8.6.2. छड़ चुम्बक की निरक्षीय रेखा पर स्थित बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field at a Point on Equatorial line due to a Bar Magnet)

छड़ चुम्बक के कारण इसकी निरक्षीय रेखा पर चुम्बक के केन्द्र से r दूरी पर निर्वात/वायु में स्थित किसी बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान निम्न प्रकार ज्ञात कर सकते हैं–



चित्र 8.27

यदि चुम्बक के ध्रुवों की ध्रुव प्रबलता m है तो उत्तरी ध्रुव के कारण बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B'_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m \times 1}{NP^2}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{(r^2 + l^2/4)} \quad \text{[NP दिशा में]}$$

इसी प्रकार दक्षिणी ध्रुव के कारण बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B'_2 = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{m\times 1}{SP^2}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{m}{(r^2+l^2/4)} \quad \text{[PS दिशा में]}$$

अतः दोनों ध्रुवों के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का परिमाण समान होगा परन्तु दिशा भिन्न-भिन्न होगी अर्थात्

$$B'_1 = B'_2 = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{m}{(r^2+l^2/4)}$$

यदि चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}'_1$ व $\vec{B}'_2$ को घटकों के रूप में वियोजित करें तो अक्ष के समान्तर घटक एक ही दिशा में होने से जुड़ जायेंगे जबकि अक्ष के लम्बवत् घटक विपरीत दिशाओं में होने से परस्पर निरस्त हो जायेंगे।

अतः बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र अक्ष के समान्तर दिशा में होगा अर्थात्

$$B' = B'_1\cos\theta + B'_2\cos\theta \quad \text{[PX दिशा में]}$$

$$= 2B'_1\cos\theta$$

चित्र से $\cos\theta = \frac{l/2}{(r^2+l^2/4)^{1/2}}$

$$B' = 2\cdot\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{m}{(r^2+l^2/4)}\cdot\frac{l/2}{(r^2+l^2/4)^{1/2}}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{m\times l}{(r^2+l^2/4)^{3/2}}$$

$\because$ द्विध्रुव आघूर्ण $M = m\times l$

$$B' = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{M}{\left(r^2+l^2\right)^{3/2}} \quad .....(3)$$

यदि चुम्बक की लम्बाई बहुत कम हो तो $l^2 << r^2$ जिससे l^2 को r^2 की तुलना में नगण्य मानने पर

तब $$B' = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{M}{r^3} \quad .....(4)$$

सदिश रुप में

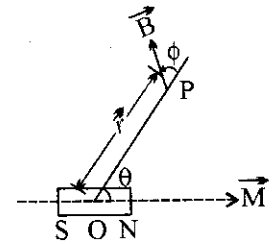
$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{\vec{M}}{r^3}$$

P बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र B′ की दिशा चुम्बक की अक्ष के समान्तर, P से X की ओर दिष्ट होती है अर्थात M की दिशा के विपरीत होती है।

अतः समीकरण (2) तथा समीकरण (4) से स्पष्ट है कि लघु दण्ड चुम्बक के लिए समान दूरी पर स्थित अक्षीय तथा निरक्षीय बिन्दुओं पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रताएँ 2 : 1 में होती है।

विशेष-छोटे छड़ चुम्बक के कारण चुम्बक की अक्ष से θ कोण की दिशा में, चुम्बक के मध्य बिन्दु से r दूरी पर निर्वात (अथवा वायु) में स्थित बिन्दु P पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$$



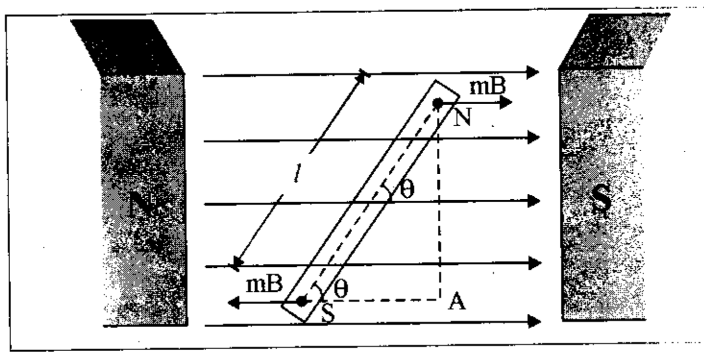
चित्र 8.28

तथा $\tan\phi = \frac{1}{2}\tan\theta$

बिन्दु P की अक्षीय स्थिति के लिए $\theta = 0°$ तथा निरक्षीय स्थिति के लिए $\theta = 90°$ होता है।

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

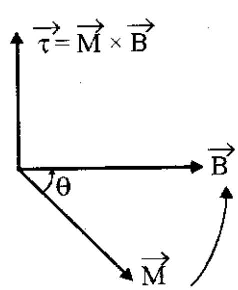
माना एक छड़ चुम्बक जिसकी प्रभावकारी लम्बाई l तथा ध्रुव प्रबलता m है किसी एक समान चुम्बकीय क्षेत्र B में इस प्रकार लटका हुआ है कि वह क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है। प्रत्येक ध्रुव पर एक बल कार्य करता है जिसका परिमाण mB होता है। ये बल समानान्तर परन्तु विपरीत दिशा में होते हैं तथा एक बल युग्म (Couple) बनाते हैं। सन्तुलन की स्थिति में चुम्बक सदैव चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में स्थिर रहता है क्योंकि दोनों बल समान परिमाण व विपरीत दिशा में होते हैं जिनकी क्रिया रेखा एक ही होती है। इस प्रकार परिणामी बल तथा बल आघूर्ण शून्य होता है।



चित्र 8.29

अब यदि इस स्थिति से चुम्बक को चित्रानुसार θ कोण से विक्षेपित किया जाये तो चुम्बक के दोनों ध्रुवों पर लगने वाले बल mB एक रेखा में संरेखित नहीं होने के कारण एक बल युग्म उत्पन्न करते हैं। यह बल युग्म प्रत्यानयन बल युग्म (Restoring couple) कहलाता है।

अतः बल युग्म का आघूर्ण



चित्र 8.30

τ = बल × बलों की क्रिया रेखाओं के बीच लम्बवत् दूरी

$\tau = mB \times NA$

$= mB \times l \sin\theta$

$= m(l) B \sin\theta$

$= MB \sin\theta$

$\therefore \quad \tau = MB\sin\theta \quad$ .....(1)

जहाँ $M = m(l)$ चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण या चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण है।

सदिश संकेतन में

$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B} \quad$ .....(2)

$\vec{\tau}$ की दिशा $\vec{M}$ तथा $\vec{B}$ के तल के लम्बवत् होती है।

चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण (Magnetic dipole moment)

यदि चुम्बकीय द्विध्रुव की अक्ष चुम्बकीय क्षेत्र B के लम्बवत् हो ($\theta = 90°$ अथवा $\sin\theta = 1$) तो इस पर लगने वाला बल आघूर्ण अधिकतम होगा अर्थात्

$$\tau_{max} = MB \qquad \therefore \; M = \frac{\tau_{max}}{B}$$

जब $B = 1$ हो तो $M = \tau_{max}$

अर्थात् किसी चुम्बकीय द्विध्रुव का चुम्बकीय आघूर्ण वह बल आघूर्ण है जो इस द्विध्रुव को एकांक तथा एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् रखने पर द्विध्रुव पर लगता है।

चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण एक सदिश राशि है जिसकी दिशा द्विध्रुव के अक्ष के अनुदिश होती है।

समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकीय द्विध्रुव को घुमाने में किया गया कार्य (Work done in rotating a magnetic dipole in a uniform magnetic field)

माना कि M चुम्बकीय आघूर्ण का एक छड़ चुम्बक B तीव्रता के एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र से θ कोण पर स्थित है।

चुम्बक पर कार्यरत प्रत्यानयन बल युग्म का आघूर्ण

$$\tau = MB\sin\theta$$

अतः चुम्बक को अल्पकोण dθ घुमाने में किया गया कार्य

$$dW = \tau d\theta = MB\sin\theta d\theta$$

इस प्रकार चुम्बक को θ_1 स्थिति से θ_2 स्थिति तक घुमाने में किया गया कार्य

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} MB\sin\theta d\theta = MB\int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta$$

$$= MB[-\cos\theta]_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$= -MB[\cos\theta_2 - \cos\theta_1]$$

$$W = MB[\cos\theta_1 - \cos\theta_2]$$

स्थिति(i) साम्यावस्था ($\theta_1 = 0°$) से θ कोण तक घुमाने में किया गया कार्य

$W = MB(\cos 0° - \cos\theta)$

$W = MB(1 - \cos\theta)$

स्थिति (ii) साम्यावस्था ($\theta_1 = 0°$) से 90° कोण तक घुमाने में किया गया कार्य

$W = MB(\cos 0° - \cos 90°)$

$W = MB$

एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकीय द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा (Potential energy of a magnetic dipole in a uniform magnetic field)

किसी छड़-चुम्बक की स्थितिज ऊर्जा उसे किसी मानक स्थिति (शून्य स्थितिज ऊर्जा) से वर्तमान स्थिति तक घुमाने में किये गये कार्य के बराबर होती है।

माना कि M चुम्बकीय आघूर्ण का एक छड़ चुम्बक B तीव्रता के एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र से θ कोण पर स्थित है। चुम्बक पर कार्यरत प्रत्यानयन बल युग्म का आघूर्ण

$$\tau = MB\sin\theta$$

अतः चुम्बक को अल्प कोण dθ घुमाने में किया गया कार्य

$$dW = \tau d\theta = MB\sin\theta d\theta$$

स्थितिज ऊर्जा ज्ञात करने के लिए मानक स्थिति 90° पर ली जाती है जो कि क्षेत्र के लम्बवत् दिशा में है।

अतः 90° से θ कोण तक द्विध्रुव को घुमाने में किया गया कार्य द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा के बराबर होता है। अतः द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा

$$U = \int_{90°}^{\theta} dW = \int_{90°}^{\theta} \tau d\theta = \int_{90°}^{\theta} MB\sin\theta d\theta$$

$$= MB\int_{90°}^{\theta} \sin\theta d\theta$$

$$= MB[-\cos\theta]_{90°}^{\theta}$$

$$= -MB(\cos\theta - \cos 90°)$$

$$U = -MB\cos\theta$$

$$U = -\vec{M}.\vec{B}$$

स्थिति I– यदि $\theta = 0°$ हो तो

$U = -MB\cos 0° = -MB$ जो कि न्यूनतम है। इस स्थिति में छड़ चुम्बक स्थायी संतुलन में होता है।

स्थिति I– यदि $\theta = 90°$

$U = -MB\cos 90° = 0$

इस स्थिति में स्थितिज ऊर्जा शून्य है। यही कारण है कि स्थिति $\theta = \frac{\pi}{2} = 90°$ को मानक स्थिति माना जाता है।

स्थिति III– यदि $\theta = 180°$

$U = -MB\cos 180° = MB$ जो कि अधिकतम है। इस स्थिति में चुम्बक अस्थायी सन्तुलन में होता है।

महत्त्वपूर्ण तथ्य

1. **समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकीय द्विध्रुव के दोलन (Oscillations of a magnetic dipole in a uniform magnetic field)**

जब किसी समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में किसी चुम्बकीय द्विध्रुव (छड़ चुम्बक) को क्षेत्र से θ कोण पर रखा जाता है तब द्विध्रुव पर बल आघूर्ण

$$\tau = MB\sin\theta \qquad ....(1)$$

जहाँ M छड़ चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण तथा B चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता है।

इस बल आघूर्ण के कारण घूर्णन के लिए स्वतन्त्र द्विध्रुव साम्यावस्था से विक्षेपित करके छोड़ने पर कोणीय सरल आवर्त गति करता है।

यदि छड़ चुम्बक का जड़त्व आघूर्ण $\mathfrak{I}$ हो तो छड़ चुम्बक का विस्थापनकारी आघूर्ण

$$\tau = \mathfrak{I}\alpha = \mathfrak{I}\frac{d^2\theta}{dt^2} \qquad ....(2)$$

∴ साम्यावस्था में

समी. (1) व (2) से-

$$\mathfrak{I}\frac{d^2\theta}{dt^2} = -MB\sin\theta$$

यहाँ ऋणात्मक चिन्ह यह दर्शाता है कि प्रत्यानयन बल युग्म का आघूर्ण, विस्थापनकारी आघूर्ण के विपरीत दिशा में है।

अल्प कोणीय विस्थापन के लिए

$$\sin\theta \approx \theta$$

$$\therefore \quad \mathfrak{I}\frac{d^2\theta}{dt^2} \approx -MB\theta$$

$$\Rightarrow \quad \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{MB}{\mathfrak{I}}\theta \qquad ....(3)$$

यदि $\frac{MB}{\mathfrak{I}} = \omega^2$ हो तो

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega^2\theta$$

$$\Rightarrow \quad \frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0 \qquad ....(4)$$

समीकरण (4) सरल आवर्त गति के समीकरण को व्यक्त करता है जिसके लिए कोणीय आवृत्ति

$$\omega = \sqrt{\frac{MB}{\mathfrak{I}}}$$

अतः आवर्त काल

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{\mathfrak{I}}{MB}} \qquad ....(5)$$

व

$$B = \frac{4\pi^2\mathfrak{I}}{MT^2} \qquad ....(6)$$

2. **स्थिर वैद्युत अनुरूप (The electrostatic analog)**

नीचे तालिका में चुम्बकीय द्विध्रुव तथा विद्युत द्विध्रुव में समानताएँ प्रदर्शित की गई है—

राशि	विद्युत द्विध्रुव	चुम्बकीय द्विध्रुव
1. द्विध्रुव आघूर्ण	$p = q \times l$ (ऋणात्मक आवेश से धनात्मक आवेश की ओर)	$M = m \times l$ (दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव की ओर)
2. अक्षीय स्थिति में क्षेत्र की तीव्रता	$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2p}{r^3}$ (विद्युत द्विध्रुव आघूर्ण के समान्तर)	$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{2M}{r^3}$ (चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण के समान्तर)
3. निरक्षीय स्थिति में क्षेत्र की तीव्रता	$E = \frac{1}{4\pi\in_0}\frac{p}{r^3}$ विद्युत द्विध्रुव आघूर्ण की विपरीत दिशा में	$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{M}{r^3}$ (चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण की विपरीत दिशा में)
4. बाह्य एकसमान क्षेत्र में बल आघूर्ण	$\tau = pE\sin\theta$	$\tau = MB\sin\theta$
5. बाह्य एक समान क्षेत्र में क्षेत्र की दिशा से θ कोण पर स्थितिज ऊर्जा	$U = -pE\cos\theta$	$U = -MB\cos\theta$

उदा.6. एक दण्ड चुम्बक की प्रभावी लम्बाई 10 सेमी. तथा ध्रुव प्रबलता 25 Am है। इसे चुम्बकीय याम्योत्तर से 30° कोण पर विक्षेपित करने के लिए उत्पन्न बल आघूर्ण ज्ञात कीजिए। ($B_H = 0.4 \times 10^{-4}$T)

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.4

हल– दिया गया है–

$l = 10$ cm = 0.1 m.

m = 25 एम्पियर × मीटर

$\theta = 30^\circ$,

$B_H = 0.4 \times 10^{-4}$ T

∵ चुम्बकीय आघूर्ण $M = ml$

$M = 25 \times 0.1$

= 2.5 एम्पियर × मीटर

∴ बल आघूर्ण $\tau = MB\sin\theta$

$\tau = 2.5 \times 0.4 \times 10^{-4} \sin 30^\circ$

$\tau = 0.5 \times 10^{-4}$ न्यूटन × मीटर

उदा.7. 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 फेरे हों, जिसके अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल 2×10^{-4} m² हो और जिसका चुंबकीय आघूर्ण उतना ही हो जितना छड़ चुंबक का है, तो परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा ज्ञात कीजिए।

हल– दिया है– B = 800 गाउस = 800×10^{-4} टेसला

$\theta = 30^\circ$, $\tau = 0.016$ न्यूटन-मी.

(a) $\tau = MB\sin\theta$ से

$$M = \frac{\tau}{B\sin\theta} = \frac{0.016}{(800\times10^{-4})\sin 30^\circ}$$

$$= \frac{0.016\times10^4}{800\times ½} = \frac{160}{400} = 0.40 \text{ एम्पियर-मी}^2$$

(b) सर्वाधिक स्थायी अवस्था $\theta_1 = 0^\circ$ से सर्वाधिक अस्थायी अवस्था $\theta_2 = 180^\circ$ तक घुमाने में कार्य

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau d\theta = -MB(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)$$

$$W = -0.40\times800\times10^{-4}(\cos180^\circ - \cos0^\circ)$$

$$= 0.40 \times 800 \times 2 \times 10^{-4}$$

$$W = 640\times10^{-4} \text{ जूल} = 0.064 \text{ जूल}$$

(c) छड़ चुम्बक को परिनालिका से प्रतिस्थापित करने पर–

परिनालिका में फेरे $N = 1000$,

अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल $A = 2 \times 10^{-4}$ मी^{2}

$M = 0.40$ एम्पियर-मी^{2}

अत: $M = NIA$ से धारा

$$I = \frac{M}{NA} = \frac{0.40}{1000\times2\times10^{-4}} = \frac{4}{2} = 2 \text{ एम्पियर}$$

उदा.8. एक दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण 5Am² है, इसे एक 0.2T के चुम्बकीय क्षेत्र में रखा है। इसे चुम्बकीय क्षेत्र के सापेक्ष समान्तर दिशा से प्रति समान्तर दिशा तक घुमाने में किया गया कार्य तथा दोनों स्थितियों में स्थितिज ऊर्जा की गणना कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.5

हल–दिया गया है–

$M = 5$ एम्पियर × मीटर^2

$B = 0.2$ टेसला

$\theta_1 = 0^\circ$

$\theta_2 = 180^\circ$

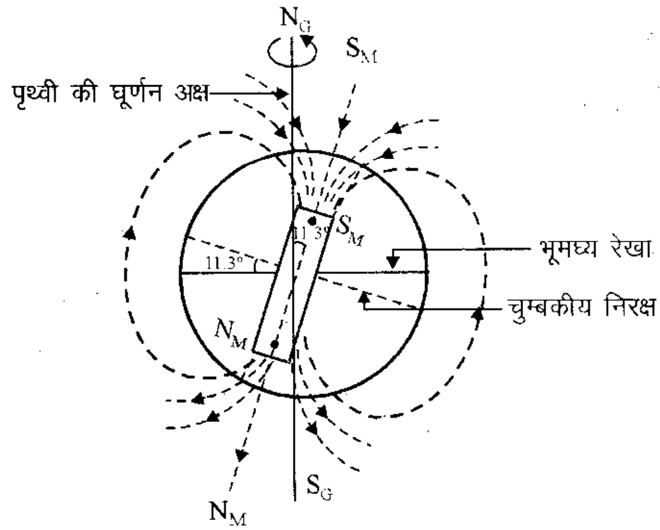
दण्ड चुम्बक को θ_1 से θ_2 कोण तक घुमाने में किया गया कार्य

$$W = MB(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$
$$= 5 \times 0.2(\cos0^\circ - \cos180^\circ)$$
$$= 1(1 + 1) = 2 \text{ जूल}$$
$$U_1 = -MB\cos\theta_1$$
$$= -5 \times 0.2\cos0^\circ$$
$$= -1 \text{ जूल}$$
$$U_2 = -MB\cos\theta_2$$
$$= -5 \times 0.2\cos180^\circ$$
$$= 1 \text{ जूल}$$

8.8 भू-चुम्बकत्व अथवा पार्थिव-चुम्बकत्व (Earth's magnetism)

पृथ्वी भी एक चुम्बक की भाँति व्यवहार करती है जिसका दक्षिणी ध्रुव (S_M) भौगोलिक उत्तरी ध्रुव (N_G) की ओर तथा उत्तरी ध्रुव (N_M) भौगोलिक दक्षिणी ध्रुव (S_G) की ओर प्रतीत होता है। इसकी पुष्टि निम्न तथ्यों से होती है–

(i)यदि किसी चुम्बकीय सुई को इस प्रकार लटकाया जाये कि वह क्षैतिज तल में घूमने के लिये स्वतंत्र रहे तब उसका उत्तरी ध्रुव सदैव उत्तर दिशा की ओर तथा दक्षिणी ध्रुव दक्षिण दिशा की ओर आकर ठह जाता है।



चित्र 8.31

(ii) किसी चुम्बक की बल रेखायें खींचने पर उदासीन बिन्दु प्रा होते हैं जहाँ चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र से निरस हो जाता है। यह पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति को दर्शाता है

यदि किसी चुम्बकीय सुई को इस प्रकार लटकाया जाये कि व ऊर्ध्वाधर तल में स्वतंत्रतापूर्वक घूम सके। तब इसको पृथ्वी के एक ध्रु से दूसरे ध्रुव तक ले जाने पर यह दो स्थानों पर पूर्णतः ऊर्ध्वाधर त दो स्थानों पर पूर्णतः क्षैतिज हो जाती है जबकि अन्य स्थानों पर क्षैति से विभिन्न कोण बनाती हुई लटकती है।

जिन दो स्थानों पर चुम्बकीय सुई पूर्णतः ऊर्ध्वाधर हो जाती है, उ स्थानों को पृथ्वी के 'चुम्बकीय ध्रुव' कहते हैं। ये ध्रुव भौगोलि ध्रुवों से कुछ हटकर होते हैं। पृथ्वी की चुम्बकीय अक्ष उसकी घूर्णन अ से 11.3° का कोण बनाती है। जिन स्थानों पर सुई क्षैतिज रहती है उ स्थानों को मिलाने वाली रेखा पृथ्वी की चुम्बकीय निरक्ष (Magnet equator) कहलाती है। पृथ्वी का चुम्बकीय दक्षिणी ध्रुव कनाडा में भौगोलि उत्तरी ध्रुव से लगभग 1000 मील की दूरी पर 70.75° उत्तरी अक्षांश तथा 9 पश्चिमी देशान्तर पर तथा चुम्बकीय उत्तरी ध्रुव दक्षिणी गोलार्द्ध में 73° दक्षि अक्षांश तथा 155° पूर्वी देशान्तर पर स्थित है। प्रयोगों द्वारा पाया गया है कि इ ध्रुवों की स्थिति सदैव एक नहीं रहती अपितु धीरे-धीरे बदलती रहती है।

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

सर्वप्रथम सन् 1600 ई. में सर विलियम गिलबर्ट ने विचार प्रस्तुत कि कि पृथ्वी के गर्भ में एक शक्तिशाली चुम्बक है। परन्तु वास्तव में पृथ्वी के भी इस प्रकार के किसी चुम्बक का होना संभव नहीं हैं, क्योंकि पृथ्वी के अन्दर त इतना अधिक है कि वहाँ चुम्बक में चुम्बकत्व रह ही नहीं सकता। इसके पश्च भू-चुम्बकत्व के सम्बन्ध में अनेक मत प्रस्तुत किए गए जैसे–

1. पृथ्वी का चुम्बकत्व, पृथ्वी की बाह्य सतह के निकट पृथ्वी के चारों ओ बहने वाली विद्युत धाराओं के कारण है। ये विद्युत धारायें सूर्य के का उत्पन्न होती है। भूमध्य रेखा के पास के क्षेत्रों से गरम हवायें उठकर उ एवं दक्षिणी ध्रुवों की ओर जाती हुई विद्युतमय हो जाती है। यहीं धार पृथ्वी के बाह्य पृष्ठ के निकट उपस्थित लौह चुम्बकीय पदार्थों को चुम्बवि कर देती हैं।

2. भूचुम्बकत्व के सम्बन्ध में एक मत यही भी है कि सूर्य एवं अन्तरिक्ष से आने वाली उच्च ऊर्जा की किरणें वायुमण्डल के ऊपरी सतहों पर स्थित परमाणुओं से टकराकर उन्हें आयनित कर देती हैं परिणामतः वायुमण्डल में गैसें आयनित अवस्था में रहती हैं। जिनमें पृथ्वी के अपने अक्ष के सापेक्ष घूर्णन के कारण प्रबल विद्युत धारायें उत्पन्न होती हैं। इन्हीं विद्युत धाराओं के कारण पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है।

3. भूचुम्बकत्व के सम्बन्ध में एक मत 1939 में एल. सिसर द्वारा व्यक्त किया गया था। इसके अनुसार पृथ्वी के भीतर उसके केन्द्रीय क्रोड में अनेक चालक पदार्थ पिघली हुई अवस्था में उपस्थित रहते हैं। जिनमें लोहा एवं निकल प्रमुख हैं। पृथ्वी के अपने अक्ष के सापेक्ष घूर्णन के कारण उसके अर्द्ध द्रव क्रोड में धीमी संवहन धारायें उत्पन्न होती हैं। जिससे उसके भीतर एक स्व उत्तेजित जनित्र कार्य करने लगता है तथा विद्युत धारा उत्पन्न होती है। इन्हीं उत्पन्न विद्युत धाराओं के कारण पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है।

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

भू–चुम्बकत्व के तीन अवयव है–

(1) दिक्पात का कोण

(2) नति (अथवा नमन) कोण

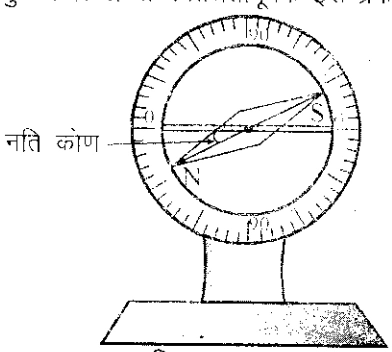
(3) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक

(1) दिक्पात का कोण (Angle of Declination)–किसी स्थान पर अपने गुरुत्व–केन्द्र से स्वतंत्रतापूर्वक लटकी चुम्बकीय सुई की अक्ष से गुजरने वाले ऊर्ध्वाधर तल को 'चुम्बकीय याम्योत्तर' (magnetic meridian) कहते हैं। किसी स्थान पर पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुवों को मिलाने वाली रेखा में से गुजरने वाले ऊर्ध्वाधर तल को 'भौगोलिक याम्योत्तर' (geographical meridian) कहते हैं।

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

दिक्पात का कोण भिन्न- भिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होता है। भौगोलिक अंश के पूर्व की ओर स्थित किसी स्थान पर दिक्पात ϕ° W के रूप में व्यक्त होगा।

(2) नति (अथवा नमन) कोण (Angle of dip)–यदि किसी चुम्बकीय सुई को उसके गुरुत्व–केन्द्र से स्वतंत्रतापूर्वक इस प्रकार लटका



चित्र 8.32

दिया जाये ताकि वह ऊर्ध्वाधर तल में घूम सके तब चुम्बकीय सन्तुलन में स्थिर होने पर चुम्बकीय सुई क्षैतिज दिशा से कुछ झुक जाती है। सुई की चुम्बकीय अक्ष पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को व्यक्त करती है। इस प्रकार **किसी स्थान पर पृथ्वी के परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा तथा क्षैतिज दिशा के मध्य बने कोण को उस स्थान का नमन कोण कहते हैं।**

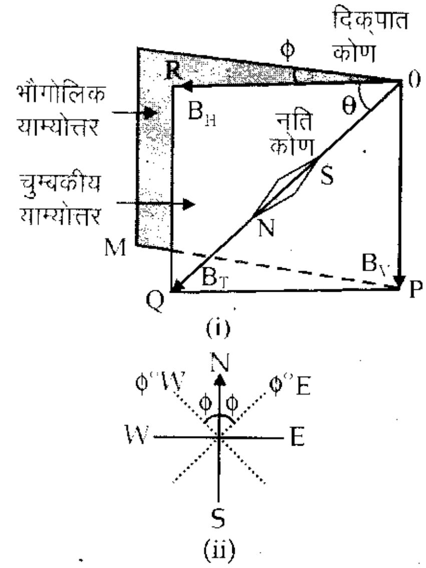
विषुवत रेखा (चुम्बकीय निरक्ष) पर नति कोण 0° तथा चुम्बकीय ध्रुवों पर 90° होता है क्योंकि इन स्थानों पर चुम्बकीय सुई क्रमशः पृथ्वी तल के समान्तर तथा लम्बवत् स्थिर होती है।

(3) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक (Horizontal Component of Earth's field)–

किसी स्थान पर चुम्बकीय सुई चुम्बकीय याम्योत्तर में रखने पर जिस दिशा को व्यक्त करती है वह पृथ्वी के परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र B_T की दिशा होती है।

परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र B_T के क्षैतिज घटक को भू–चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक B_H कहते हैं तथा ऊर्ध्व घटक को भू–चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्व घटक B_V कहते हैं।

चित्र की ज्यामिती से



चित्र 8.33

ΔORQ से $\qquad \frac{OR}{OQ} = \frac{B_H}{B_T} = \cos\theta$

$$\Rightarrow \quad B_H = B_T \cos\theta \qquad .....(1)$$

इसी प्रकार

$$\frac{RQ}{OQ} = \frac{B_V}{B_T} = \sin\theta$$

$$\Rightarrow \quad B_V = B_T \sin\theta \qquad .....(2)$$

समी॰ (2) में समी॰ (1) का भाग देने पर

$$\frac{B_V}{B_H} = \tan\theta \qquad .....(3)$$

समी॰ (1) व समी॰ (2) का वर्ग कर जोड़ने पर

$$B_H^2 + B_V^2 = B_T^2$$

$$\Rightarrow \quad B_T = \sqrt{B_H^2 + B_V^2} \qquad .....(4)$$

महत्वपूर्ण तथ्य

चुम्बकीय निरक्ष पर $\theta = 0^\circ$

जिससे $B_H = B_T$ तथा $B_V = 0$

जबकि ध्रुवों पर $\theta = 90^\circ$

जिससे $B_H = 0$ तथा $B_V = B_T$

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1. चुम्बकीय द्विध्रुव का एक उदाहरण दीजिए।

प्र.2. l लम्बाई के एक स्टील के तार का चुम्बकीय आघूर्ण M है। इसे एक अर्द्धवृत्ताकार चाप में मोड़ा जाता है। नए चुम्बकीय आघूर्ण का मान लिखिए।

प्र.3. एक छोटे छड़ चुम्बक की अक्षीय तथा निरक्षीय स्थितियों में चुम्बकीय क्षेत्रों की निष्पत्ति का मान लिखिए।

प्र.4. एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B में चुम्बकीय याम्योत्तर में रखे M चुम्बकीय आघूर्ण के चुम्बक को 180° घुमाने में कितना कार्य करना होगा?

प्र.5. l लम्बाई के धारावाही चालक में I धारा प्रवाहित हो रही है। उसे N फेरों के वृत्ताकार रूप में मोड़ने पर नवीन चुम्बकीय आघूर्ण का मान लिखिए।

प्र.6. एक चुम्बकीय स्टील के तार की लम्बाई l है तथा उसका चुम्बकीय आघूर्ण M है। इसे L आकार में मोड़ दिया जाता है जिसकी दोनों भुजाएँ समान है। नवीन चुम्बकीय आघूर्ण का मान लिखिए।

प्र.7. वायु में स्थित m मात्रक के एक पृथक् ध्रुव से x दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान लिखिए।

प्र.8. एक धारावाही लघु कुण्डली लघु चुम्बक की तरह व्यवहार करती है। यदि कुण्डली का क्षेत्रफल A तथा चुम्बकीय आघूर्ण का मान M हो तो कुण्डली में प्रवाहित धारा का मान कितना होगा?

प्र.9. यदि भू–चुम्बकत्व का कारण पृथ्वी के भीतर एक बड़े धारा लूप का होना है, तो इसकी स्थिति तथा इसमें धारा प्रवाह की दिशा क्या होगी?

प्र.10. किस स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्वाधर घटक शून्य होता है?

प्र.11. चुम्बकीय याम्योत्तर के लम्बवत् तल में किसी नति सुई की स्थिति किस प्रकार होगी?

प्र.12. पृथ्वी के तल पर क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र वाले बिन्दुओं को मिलाने वाली रेखा का नाम लिखिए।

प्र.13. समदिक्पाती (Isogonic) रेखाएँ किसे कहते हैं?

प्र.14. एक प्राकृतिक चुम्बक का उदाहरण दीजिए।

प्र.15. अस्थाई चुम्बक के उपयोग लिखिए।

प्र.16. चुम्बक के कोई चार उदाहरण दीजिए।

प्र.17. चुम्बक के ध्रुवों का निर्धारण किस प्रकार किया जाता है?

प्र.18. चुम्बक तथा लोहे में विभेद करने का विश्वसनीय परीक्षण क्या है?

प्र.19. B परिमाण के चुम्बकीय क्षेत्र में m ध्रुव प्रबलता वाले उत्तरी ध्रुव पर बल का मान लिखिए।

प्र.20. ध्रुव प्रबलता का मात्रक लिखिए।

प्र.21. उत्तरी ध्रुव की ध्रुव प्रबलता तथा दक्षिणी ध्रुव की प्रबलता लिखिए।

प्र.22. चुम्बक की ज्यामितीय लम्बाई तथा प्रभावकारी लम्बाई में क्या सम्बन्ध होता है?

प्र.23. चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण का SI मात्रक लिखिए।

प्र.24. चुम्बकत्व में गाउस नियम का सूत्र लिखिए।

प्र.25. पृथ्वी के भौगोलिक तथा चुम्बकीय ध्रुवों की स्थिति बताइए।

प्र.26. पृथ्वी के चुम्बकीय ध्रुवों पर चुम्बकीय सुई की स्थिति किस प्रकार होती है?

उत्तरमाला

1. धारावाही लूप। **2.** $\frac{2M}{\pi}$ **3.** 2 : 1

4. 2MB **5.** $\frac{l^2 I}{4\pi N}$ **6.** $\frac{M}{\sqrt{2}}$

7. $\frac{m}{x^2}$ **8.** $\frac{M}{A}$

9. धारा लूप का तल पूर्व–पश्चिम (अर्थात् भूमध्य रेखीय तल) में होना चाहिए तथा इसमें धारा प्रवाह की दिशा भौगोलिक उत्तर की ओर देखने पर दक्षिणावर्त होनी चाहिए, जिससे भौगोलिक उत्तर में चुम्बकीय दक्षिणी ध्रुव हो सके।

10. चुम्बकीय निरक्ष पर। **11.** ऊर्ध्वाधर स्थिति होगी।

12. चुम्बकीय निरक्ष।

13. वे रेखाएँ जिनके लिए रेखा के सभी स्थानों पर दिक्पात समान होता है, समदिक्पाती रेखाएँ कहते हैं।

14. मैग्नेटाइट (Fe_3O_4)

15. अस्थाई चुम्बक का उपयोग मुख्यत: जनित्र, मोटर, विद्युत घंटी आदि में किया जाता है।

16. छड़ चुम्बक, नाल चुम्बक, चुम्बकीय सुई, वलय चुम्बक।

17. चुम्बक का वह ध्रुव जो स्वतन्त्रतापूर्वक लटकाने पर सदैव उत्तर की ओर रहता है, उत्तरी ध्रुव कहलाता है तथा जो ध्रुव सदैव दक्षिण की ओर रहता है, दक्षिणी ध्रुव कहलाता है।

18. प्रतिकर्षण बल **19.** F = mB **20.** न्यूटन/टेसला

21. उत्तरी ध्रुव की ध्रुव प्रबलता +m तथा दक्षिणी ध्रुव की ध्रुव प्रबलता –m होती है।

22. चुम्बक की प्रभावकारी लम्बाई $= \frac{5}{6}$ चुम्बक की ज्यामितीय लम्बाई

23. एम्पियर × मीटर^2

24. बन्द पृष्ठ के लिए $\oint_S \vec{B}.d\vec{S} = 0$

25. पृथ्वी का चुम्बकीय दक्षिणी ध्रुव (S_M), भौगोलिक उत्तरी ध्रुव (N_G) की ओर तथा चुम्बकीय उत्तरी ध्रुव (N_M), भौगोलिक दक्षिणी ध्रुव (S_G) की ओर होता है।

26. पृथ्वी के चुम्बकीय ध्रुवों पर चुम्बकीय सुई पूर्णत: ऊर्ध्वाधर हो जाती है।

उदा. 9. किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक 0.25 G है तथा नति कोण 60° है। इस स्थान पर ऊर्ध्व घटक का मान ज्ञात कीजिए। परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता भी ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.6

हल– दिया गया है–

$$B_H = 0.25 \text{ गॉस}$$
$$\theta = 60^\circ$$
$$B_V = ?$$
$$B = ?$$
$$\because \quad B_H = B\cos\theta$$
$$\Rightarrow \quad B = \frac{B_H}{\cos\theta} = \frac{0.25}{\cos 60^\circ}$$
$$B = 0.50 \text{ G}$$
$$\because \quad B^2 = B_H^2 + B_V^2$$

$$\Rightarrow \quad B_V = \sqrt{B^2 - B_H^2}$$

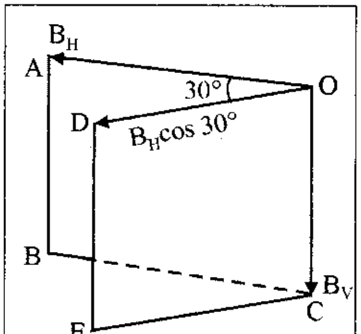
$$B_V = \sqrt{(0.50)^2 - (0.25)^2}$$

$$= 0.433 \text{ G}$$

उदा.10. चुम्बकीय याम्योत्तर से 30° के कोण पर एक चुम्बक को लटकाने पर यह क्षैतिज से 45° का कोण बनाता है। वास्तविक नति कोण का मान क्या होगा ?

हल– माना कि वास्तविक नति कोण θ है तो

$$\tan\theta = \frac{B_V}{B_H}$$



चित्र 8.34

जब चुम्बक चुम्बकीय याम्योत्तर से 30° के कोण पर स्थित तल में लटकायी जाती है तो इस तल में B_H का घटक $B_H \cos 30°$ कार्यरत होगा।

यदि इस तल में आभासी नति कोण (क्षैतिज से झुकाव कोण θ) हो तो

$$\tan\theta' = \frac{B_V}{B_H \cos 30°}$$

या $$\tan 45° = \frac{B_V}{B_H \cos 30°}$$

या $$\frac{B_V}{B_H} = \tan 45° \cos 30°$$

$$= 1 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

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

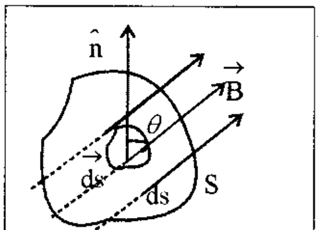
या $$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

8.9 चुम्बकत्व तथा गाउस नियम (Magnetism and Gauss's Law)

चुम्बकत्व में गाउस के नियमानुसार किसी पृष्ठ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान सदैव शून्य होता है। यदि किसी पृष्ठ S को अनेक छोटे-छोटे अवयवों में विभाजित किया जाए, जिनका क्षेत्र ΔS है तब चुम्बकीय फ्लक्स का कुल परिमाण

$$\phi_B = \Sigma \vec{B}.\Delta\vec{S} = 0$$

$$\int_S \vec{B}.d\vec{S} = 0$$



चित्र: 8.35

उपरोक्त योगफल को समाकलन के रूप में प्रतिस्थापित किया जा सकता है, अर्थात्

इस प्रकार किसी पृष्ठ के भीतर प्रवेश करने वाली चुम्बकीय बल रेखाओं की संख्या उस पृष्ठ से निर्गत चुम्बकीय बल रेखाओं की संख्या के बराबर होती है। यह नियम खुले तथा बन्द दोनों प्रकार के पृष्ठों के लिए सत्य है। बन्द पृष्ठ के लिए

$$\oint_S \vec{B}.d\vec{S} = 0$$

इस नियम के अनुसार एक अकेले चुम्बकीय ध्रुव का कोई अस्तित्व नहीं होता है।

स्थिर विद्युतिकी में गाउस के नियमनुसार विद्युत फ्लक्स

$$\phi_E = \Sigma \vec{E}.\Delta\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

यहाँ q पृष्ठ S द्वारा परिबद्ध आवेश, E विद्युत क्षेत्र तथा ε_0 निर्वात की विद्युतशीलता है।

इस नियम की चुम्बकत्व में गाउस के नियम से तुलना करने पर स्पष्ट होता है कि एकल $\vec{B}$ का कोई उद्‌गम या अभिगम नहीं होता है। सरलतम चुम्बकीय अवयव एक द्विध्रुव या धारा लूप है। जबकि स्थिर विद्युतिकी में क्षेत्र का स्रोत, आवेश होते हैं।

महत्वपूर्ण तथ्य

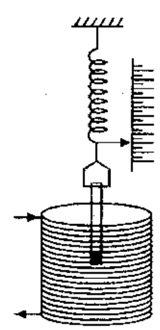
भू-चुम्बकीय अवयवों का महत्व–किसी स्थान पर दिक्‌पात का कोण उस स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के तल को व्यक्त करता है। नति कोण उस तल में चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को व्यक्त करता है। यदि नति कोण θ तथा भू–चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक B_H ज्ञात हो तो परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण व दिशा ज्ञात की जा सकती है।

इस प्रकार दिक्‌पात का कोण ϕ, नति कोण θ तथा क्षैतिज घटक B_H किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का पूर्ण ज्ञान कराते हैं। इसी कारण इन्हें 'भू–चुम्बकीय अवयव' कहते हैं।

भू-चुम्बकीय अवयवों में परिवर्तन-भू–चुम्बकीय अवयवों के मान केवल एक स्थान से दूसरे स्थान पर ही नहीं, बल्कि किसी एक स्थान पर भी समय के साथ–साथ नियमित अथवा अनियमित रूप से परिवर्तित होते रहते हैं। इन अवयवों में दीर्घकालिक, वार्षिक तथा दैनिक परिवर्तन होते रहते हैं। समय के साथ भू–चुम्बकीय अवयवों के मान अधिकतम व न्यूनतम होते रहते हैं। कभी–कभी इन अवयवों के मानों में अचानक परिवर्तन हो जाता है। उन्हें चुम्बकीय प्रक्षोभ (magnetic storms) कहते हैं। भू–चुम्बकत्व का उपयुक्त कारण पता नहीं होने से इन अवयवों की परिवर्तनशीलता का कारण अभी तक स्पष्ट नहीं हो पाया है।

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

पदार्थों के चुम्बकीय क्षेत्र में व्यवहार को समझने के लिए निम्न प्रयोग किया जा सकता है–



चित्र 8.36

चित्रानुसार एक परिनालिका में धारा प्रवाहित कर परिनालिका के भीतर एक प्रबल चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं। अब किसी पदार्थ के नमूने को एक सुग्राही तुला से लटकाकर परिनालिका के भीतर धीरे–धीरे प्रवेश कराते हैं। इस प्रयोग में तीन प्रकार की स्थितियाँ संभव है–

(1) जब पदार्थ का नमूना परिनालिका के भीतर ले जाने पर अल्प विस्थापन से प्रतिकर्षित होता है, तब ऐसे पदार्थ प्रतिचुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं। यह विस्थापन बहुत ही अल्प होता है, जिसे सुग्राही तुला से ज्ञात कर सकते हैं।

(2) जब पदार्थ का नमूना परिनालिका के भीतर ले जाने पर अल्प विस्थापन से आकर्षित होता है, तब ऐसे पदार्थ अनुचुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।

(3) जब पदार्थ का नमूना परिनालिका के भीतर ले जाने पर प्रबल आकर्षित होता है, तब ऐसे पदार्थ लौह चुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।

अब यदि परिनालिका में प्रवाहित धारा की दिशा विपरीत की जाती है, तब इन पदार्थों के व्यवहार पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है अर्थात् इन पदार्थों का बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में व्यवहार चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा पर निर्भर नहीं करता है।

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

8.11.1. चुम्बकन तीव्रता (Intensity of Magnetisation) ($\vec{I}$)

जब किसी चुम्बकीय क्षेत्र के कारण परमाण्वीय द्विध्रुवों का आंशिक अथवा पूर्णतया संरेखन हो जाता है तो पदार्थ के प्रत्येक सूक्ष्म आयतन में एक नैट चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न हो जाता है तब उस **पदार्थ के एकांक आयतन में उत्पन्न नैट चुम्बकीय आघूर्ण के मान को उस पदार्थ की चुम्बकन तीव्रता कहते हैं।**

यदि पदार्थ के आयतन V में उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण का मान $\vec{M}$ हो तो

$$\vec{I} = \frac{\text{पदार्थ में उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण}}{\text{पदार्थ का आयतन}} = \frac{\vec{M}}{V} \qquad .....(1)$$

यदि A = पदार्थ का काट क्षेत्रफल जबकि पदार्थ का आकार आयताकार हो

l = पदार्थ की प्रभावी चुम्बकीय लम्बाई

m = चुम्बकीय ध्रुव प्रबलता

∴ समी॰ (1) से

$$I = \frac{m \times l}{A \times l} = \frac{m}{A} \qquad .....(2)$$

अर्थात् पदार्थ के एकांक क्षेत्रफल में उत्पन्न ध्रुव प्रबलता के मान को चुम्बकन तीव्रता कहते हैं।

$$\because \quad I = \frac{\text{चुम्बकीय आघूर्ण}}{\text{आयतन}}$$

$$= \frac{\text{एम्पियर} \times \text{मी.}^2}{\text{मी.}^3} = \frac{\text{एम्पियर}}{\text{मी.}}$$

∴ चुम्बकन तीव्रता का मात्रक $\frac{\text{एम्पियर}}{\text{मीटर}}$ होता है।

यह एक सदिश राशि है जिसकी दिशा पदार्थ में उत्पन्न दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव की ओर होती है।

किसी पदार्थ में उत्पन्न चुम्बकन तीव्रता का मान उस पदार्थ की प्रकृति एवं ताप पर निर्भर करता है।

8.11.2 चुम्बकन क्षेत्र (Magnetizing field) ($\vec{H}$)

निर्वात में उत्पन्न चुम्बकीय प्रेरण ($\vec{B}$) **का वह भाग जो कि** वास्तविक बाह्य धाराओं के कारण **होता है चुम्बकन क्षेत्र कहलाता है।** यदि निर्वात में चुम्बकीय प्रेरण $\vec{B}_0$ तथा निर्वात की चुम्बकीय पारगम्यता μ_0 है तो $\vec{B}_0$ तथा μ_0 का अनुपात चुम्बकन क्षेत्र होता है।

$$\text{अर्थात् चुम्बकन क्षेत्र } \vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$$

चुम्बकन क्षेत्र $\vec{H}$ एक सदिश राशि है जिसकी दिशा ($\vec{B}$) की दिशा में होती है। इसका मान बाह्य मुक्त धारा तथा धारावाही चालक की ज्यामिति पर निर्भर करता है।

इसका S. I. मात्रक $\frac{\text{एम्पियर}}{\text{मीटर}} = \frac{\text{न्यूटन}}{\text{मी.} \times \text{टेसला}} = \frac{\text{न्यूटन}}{\text{वेबर}} = \frac{\text{जूल}}{\text{मी.}^2 \times \text{टेसला}} = \frac{\text{जूल}}{\text{मी.} \times \text{वेबर}}$ तथा C G S मात्रक **ओरस्टेड** होता है।

1 ओरस्टेड $= \frac{10^3}{4\pi} = 80 \frac{\text{एम्पियर}}{\text{मी.}}$ होता है।

उदाहरण के लिए जब किसी परिनालिका का क्रोड लौह चुम्बकीय होता है तब उसके फेरों में धारा के कारण क्रोड भी चुम्बकित हो जाता है। इस स्थिति में परिनालिका के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के दो स्त्रोत होते हैं–(1) धारा तथा (2) क्रोड चुम्बक। परिनालिका (या टोरॉइड) की एकांक लम्बाई में घेरों की संख्या यदि n हो तो एकांक लम्बाई में कुल धारा (I + ni) होगी। अतः L लम्बाई के बन्द पथ द्वारा परिबद्ध कुल धारा (I + ni) होगी तथा इस बन्द पथ पर एम्पियर नियम से

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 (I + ni)L \qquad .....(1)$$

$$\because \quad \vec{B} \parallel \vec{dl} \quad \therefore \quad \vec{B} \cdot \vec{dl} = B\, dl \cos 0 = B\, dl$$

$$\therefore \quad B\int dl = \mu_0 (I + ni)L.$$

$$BL = \mu_0 (I + ni)L$$

$$(B/\mu_0) - I = ni \qquad .....(2)$$

राशि $(B/\mu_0) - I$ को परिभाषा से चुम्बकन क्षेत्र (Magnetising field) कहते हैं।

अर्थात् $\quad (B/\mu_0) - I = H \qquad .....(3)$

इस प्रकार $\quad H = ni \qquad .....(4)$

अर्थात् समीकरण (4) के अनुसार **चुम्बकन क्षेत्र H, परिनालिका की इकाई लम्बाई में उपस्थित ऐम्पियर-फेरों (ni) के बराबर होता है।** यदि परिनालिका में निर्वात अथवा हवा है तो I = 0 होगा। अतः

$B = \mu H$

अन्यथा $\quad B = \mu_0 (H + I)$

या $\quad B = \mu H$

जहाँ $\quad \mu = \mu_0 (1 + I/H)$

उपरोक्त से स्पष्ट है कि **H केवल तार में धारा (मुक्त धारा, Free Current) से ही सम्बद्ध है जबकि B मुक्त धारा तथा बद्ध धारा दोनों से।**

8.11.3 चुम्बकीय प्रवृत्ति (Magnetic susceptibility) (χ_m)

जब कोई चुम्बकीय पदार्थ किसी चुम्बकन क्षेत्र $\vec{H}$ में रखा जाता है तब वह चुम्बकित हो जाता है तथा उसमें चुम्बकीय आघूर्ण प्रेरित हो जाता है।

अल्प चुम्बकन क्षेत्र H में पदार्थ की चुम्बकन तीव्रता I चुम्बकन क्षेत्र H के समानुपाती होती है अर्थात्

$$I \propto H$$

$\Rightarrow$ $I = \chi_m H$ जहाँ χ_m चुम्बकीय प्रवृत्ति है।

$$\Rightarrow \quad \chi_m = \frac{I}{H} \quad .....(1)$$

अर्थात् किसी पदार्थ में चुम्बकन तीव्रता (I) तथा चुम्बकन क्षेत्र H के अनुपात को चुम्बकीय प्रवृत्ति (χ_m) कहते हैं। यह एक विमाहीन अदिश राशि है।

8.11.4. चुम्बकीय पारगम्यता (Magnetic permeability)–

(A) निरपेक्ष (माध्यम की) चुम्बकीय पारगम्यता-किसी माध्यम में से चुम्बकीय बल रेखाओं के गुजरने की क्षमता को उस माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता (चुम्बकशीलता) कहते हैं।

इसे मात्रात्मक रूप से निम्न पदों में व्यक्त कर सकते हैं–

(i) यदि निर्वात् की चुम्बकीय पारगम्यता μ_0 व आपेक्षिक पारगम्यता μ_r हो तब माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता–

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

अर्थात् निर्वात् एवं आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यताओं का गुणनफल माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता के बराबर होता है। माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता को निरपेक्ष चुम्बकीय पारगम्यता भी कहते हैं।

(ii) किसी माध्यम में चुम्बकीय प्रेरण तथा चुम्बकन क्षेत्र H का अनुपात निरपेक्ष चुम्बकीय पारगम्यता के बराबर होता है

अर्थात् $\mu = \dfrac{B}{H}$ $\dfrac{\text{हेनरी}}{\text{मीटर}}$ या $\dfrac{\text{वेबर}}{\text{एम्पियर} \times \text{मीटर}}$

(iii) μ का मान सदैव धनात्मक होता है तथा अलग-अलग पदार्थों के लिए अलग-अलग होता है।

(iv) μ का मान निर्वात् की चुम्बकीय पारगम्यता μ_0 से कम हो सकता है। (जैसे प्रति चुम्बकीय पदार्थों के लिए)।

नोट–μ चुम्बकीय पदार्थ का अभिलाक्षणिक गुण है जो पदार्थ में चुम्बकन क्षेत्र के प्रवर्धन को व्यक्त करता है। इसका मान चुम्बकन क्षेत्र (H) व पदार्थ के ताप (T) पर निर्भर करता है।

(v) यदि निर्वात में उत्पन्न चुम्बकीय प्रेरण का मान B_0 तथा निर्वात की चुम्बकीय पारगम्यता μ_0 हो तो

$$\mu_0 = \frac{B_0}{H}$$

(B) आपेक्षिक पारगम्यता–वह सीमा जिस तक चुम्बकीय क्षेत्र किसी पदार्थ में प्रवेश कर सकता है उस पदार्थ की आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता कहलाती है। यदि संबंध $\mu = \mu_0 \mu_r$ पर विचार करें तो

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

अतः माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता एवं निर्वात की चुम्बकीय पारगम्यता के अनुपात को आपेक्षिक पारगम्यता कहते हैं।

यदि माध्यम में चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व B एवं निर्वात् में B_0 हो तो आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता

$$\mu_r = \frac{B}{B_0}$$

उपरोक्त सम्बन्धों से स्पष्ट होता है कि μ_r एक मात्रकहीन एवं विमाहीन राशि है। यह एक धनात्मक राशि है।

नोट–विभिन्न पदार्थों के लिए μ_r का मान निम्नानुसार होता है–

(i) प्रतिचुम्बकीय पदार्थों के लिए $\mu_r < 1$

(ii) अनुचुम्बकीय पदार्थों के लिए $\mu_r > 1$

(iii) लौह चुम्बकीय पदार्थों के लिए $\mu_r >> 1$

8.12 विभिन्न चुम्बकीय राशियों में संबंध (Relation between different Magnetic Quantities)

जब किसी परिनालिका की कुण्डली में धारा प्रवाहित की जाती है तब परिनालिका में प्रवाहित धारा(मुक्त धारा) के कारण चुम्बकीय क्षेत्र B_0 उत्पन्न होता है। यदि परिनालिका को किसी चुम्बकीय पदार्थ पर लपेटा जाये तब पदार्थ के चुम्बकन से उत्पन्न बद्ध धाराओं (bound currents) के कारण चुम्बकीय क्षेत्र B_1 उत्पन्न हो जाता है।

अतः कुल चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = B_0 + B_1$$

चुम्बकन से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र (B_1), चुम्बकन तीव्रता (I) के समानुपाती होता है अर्थात्

$$B_1 = \mu_0 I \text{ तथा } B_0 = \mu_0 H$$

$$\therefore \quad B = \mu_0 H + \mu_0 I$$

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

$$= \mu_0 H \left(1 + \frac{I}{H}\right) = \mu_0 H (1 + \chi_m)$$

जहाँ $\dfrac{I}{H} = \chi_m$ चुम्बकीय प्रवृत्ति है।

$$\because \quad B = \mu H$$

$$\therefore \quad \mu H = \mu_0 H (1 + \chi_m)$$

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m) \quad .....(1)$$

$$\because \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\therefore \quad \mu_r = (1 + \chi_m) \quad .....(2)$$

उदा.11. अनुचुम्बकीय पदार्थ क्रोमियम की चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान 2.7 × 10⁻⁴ है। इसकी निरपेक्ष तथा आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता ज्ञात कीजिए। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.7

हल–दिया गया है–

$$\chi_m = 2.7 \times 10^{-4}$$

$\because$ निरपेक्ष चुम्बकीय पारगम्यता

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} (1 + 2.7 \times 10^{-4})$$

$$= 12.56 \times 10^{-7} \times 1.00027$$

$$= 12.56 \times 10^{-7} \frac{\text{वेबर}}{\text{एम्पियर} \times \text{मीटर}}$$

आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता

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

उदा.12. अनुचुम्बकीय पदार्थ एल्युमिनियम की चुम्बकीय प्रवृत्ति 2.3×10^{-5} है। इसे 4×10^5 Am^{-1} के चुम्बकन क्षेत्र में रखा गया है, तो पदार्थ के चुम्बकन का मान ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.8

हल—दिया गया है–

$$\chi_m = 2.3 \times 10^{-5}$$
$$H = 4 \times 10^5 \text{ A/m}$$

∵ चुम्बकन $I = \chi_m H = 2.3 \times 10^{-5} \times 4 \times 10^5$

$$I = 9.2 \frac{\text{एम्पियर}}{\text{मीटर}}$$

उदा.13. 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) I, (c) B एवं (d) चुंबककारी धारा I_m की गणना कीजिए।

हल- दिया है- $\mu_r = 400$, i = 2 एम्पियर, n = 1000 प्रति मीटर

(a) $H = ni = 1000 \times 2 = 2000 = 2 \times 10^3$ एम्पियर/मीटर

(b) $B = \mu H = \mu_0 \mu_r H = 4\pi \times 10^{-7} \times 400 \times 2 \times 10^3 = 1.0048$ टेसला

(c) चुम्बकन तीव्रता

$$I = \frac{B}{\mu_0} - H = \mu_r H - H = (\mu_r - 1)H$$

$= 399 \times 2 \times 10^3 = 798 \times 10^3$ एम्पियर/मी.

(d) चुम्बकन धारा i_m वह अतिरिक्त धारा है जो क्रोड की अनुपस्थिति में परिनालिका के फेरों में प्रवाहित करने पर, इसके अन्दर उतना ही क्षेत्र उत्पन्न करे जितना क्रोड की उपस्थिति में होता है अतः

$$B = \mu_0 n(i + i_m)$$

$$i_m = \frac{B}{\mu_0 n} - i$$

∵ i = 2 एम्पियर

B = 1 टेसला

$$\therefore \quad i_m = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7} \times 1000} - 2$$

$= 796 - 2$

$= 794$ एम्पियर

उदा.14. एक 1 m लम्बाई एवं 1 mm^2 अनुप्रस्थ काट क्षेत्र 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 कीजिए। (लोहे की चुम्बकशीलता $16\pi \times 10^{-5}$ H/m)

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.9

हल— दिया गया है–

$$l = 1 \text{ m},$$
$$A = 1 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$
$$H = 4 \times 10^3 \text{ A/m}$$
$$\mu = 16\pi \times 10^{-5} \text{ H/m}$$
$$M = ?$$

∵ $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$

⇒ $1 + \chi_m = \dfrac{\mu}{\mu_0}$

⇒ $\chi_m = \dfrac{\mu}{\mu_0} - 1$

$$= \frac{16\pi \times 10^{-5}}{4\pi \times 10^{-7}} - 1 = 400 - 1 = 399$$

∵ $I = \chi_m H$

$$\frac{M}{V} = \frac{M}{Al} = \chi_m H$$

$$M = \chi_m HAl = 399 \times 4 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} \times 1 = 1.596 \text{ Am}^2$$

उदा.15. एक 0.40 cm^2 अनुप्रस्थ काट के दण्ड चुम्बक को 4000 Am^{-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 कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.10

हल— दिया गया है–

$$A = 0.40 \text{ cm}^2 = 0.40 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$
$$H = 4000 \text{ A/m}$$
$$\phi = 5 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

चुम्बकीय प्रेरण $B = \dfrac{\phi}{A} = \dfrac{5 \times 10^{-5}}{0.40 \times 10^{-4}} = 1.25 \dfrac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$

चुम्बकीय पारगम्यता $\mu = \dfrac{B}{H} = \dfrac{1.25}{4000} = 3.125 \times 10^{-4} \dfrac{\text{हेनरी}}{\text{मीटर}}$

चुम्बकीय प्रवृत्ति $\chi_m = \mu_r - 1 = \dfrac{\mu}{\mu_0} - 1$

$$\chi_m = \frac{3.125 \times 10^{-4}}{4 \times 3.14 \times 10^{-7}} - 1 = 248.8 - 1 = 247.8$$

चुम्बकन तीव्रता $I = \chi_m H$

$= 247.8 \times 4000$

$= 9.90 \times 10^5$ A/m

उदा.16. 5cm × 1 cm × 0.5 cm की लौह चुम्बकीय पदार्थ की छड़ 10^4 A/m आकार के चुम्बकन क्षेत्र में रखी है। यदि उसमें चुम्बकीय आघूर्ण 10 Am^2 उत्पन्न हो, तो उसमें चुम्बकीय प्रेरण ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.11

हल– दिया गया है–

आयतन $V = 5 \times 1 \times 0.5\ cm^3$

$= 2.5 \times 10^{-6}\ m^3$

$H = 10^4$ A/m

$M = 10\ Am^2$

$B = ?$

$$\because \quad B = \mu_0 (I + H)$$

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

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

$$= 12.56 \times 10^{-7} (4 \times 10^6 + 10^4)$$

$$= 5.036 \ \frac{\text{वेबर}}{\text{मीटर}^2}$$

8.13 चुम्बकीय पदार्थों का वर्गीकरण (Classification of Magnetic Material)

सन् 1846 में फैराडे ने चुम्बकीय पदार्थों को चुम्बकीय क्षेत्र में उनके चुम्बकीय व्यवहारों के आधार पर तीन भागों में वर्गीकृत किया —

(1) प्रति चुम्बकीय पदार्थ

(2) अनुचुम्बकीय पदार्थ तथा

(3) लौह चुम्बकीय पदार्थ

चुम्बकत्व का परमाणवीय मॉडल (Atomic Model of Magnetism)

पदार्थ के चुम्बकत्व की व्याख्या परमाण्वीय मॉडल के आधार पर की जा सकती है। हम जानते हैं कि पदार्थ परमाणुओं (atoms) से मिलकर बना है। प्रत्येक के परमाणु केन्द्र पर एक धनावेशित नाभिक होता है जिसके चारों ओर विभिन्न कक्षाओं में इलेक्ट्रॉन परिक्रमण करते हैं। चूँकि इलेक्ट्रॉन पर (ऋण) आवेश होता है, अतः परिक्रमण करता हुआ इलेक्ट्रॉन एक धारा-लूप अथवा चुम्बकीय द्विध्रुव की भाँति व्यवहार करता है जिस कारण इसमें चुम्बकीय आघूर्ण होता है। इलेक्ट्रॉन कक्षीय परिक्रमण के अतिरिक्त अपनी धुरी पर भी घूमता है जिसे 'चक्रण' (spin) कहते हैं। इलेक्ट्रॉन के कक्षीय परिक्रमण तथा चक्रण दोनों ही के कारण चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न होता है। परन्तु चुम्बकीय आघूर्ण का अधिकांश भाग इलेक्ट्रॉन के चक्रण से उत्पन्न होता है। अक्षीय परिक्रमण का योगदान बहुत कम होता है।

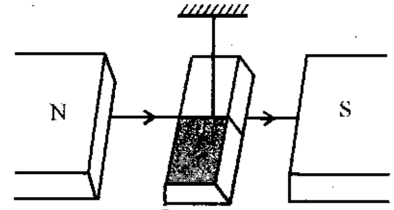
(1) प्रति चुम्बकीय पदार्थ (Diamagnetic Substances)

कुछ पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र के विपरीत दिशा में मन्द चुम्बकित हो जाते हैं। ऐसे पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र से प्रतिकर्षित होते है अर्थात् इन पदार्थों पर अधिक चुम्बकीय क्षेत्र से कम चुम्बकीय क्षेत्र की ओर बल लगता है। इन्हें प्रति चुम्बकीय पदार्थ कहते हैं तथा इन पदार्थों का यह गुण प्रति चुम्बकत्व (diamagnetism) कहलाता है।

उदाहरण–जस्ता (Zn), ताँबा (Cu), चांदी (Ag), सोना (Au), नमक (Nacl), जल (H_2O), पारा (Hg), नाइट्रोजन (N_2), हाइड्रोजन (H_2), आदि प्रति चुम्बकीय पदार्थ हैं।

इन पदार्थों में निम्नलिखित गुण पाये जाते हैं–

(i) जब किसी प्रति चुम्बकीय पदार्थ की छड़ को चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतन्त्रता पूर्वक लटकाया जाता है तब छड़ घूमकर चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् हो जाती है।



चित्र 8.37

(ii) असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर ये पदार्थ अधिक तीव्रता वाले स्थानों से कम तीव्रता वाले स्थानों की ओर विस्थापित होते हैं। यदि काँच की प्याली में प्रतिचुम्बकीय पदार्थ लेकर उसे समीप स्थित चुम्बकीय ध्रुवों पर रखा जाये तब बीच में चुम्बकीय क्षेत्र प्रबल होने के कारण द्रव बीच में से दब जाता है [चित्र (अ)] यदि प्याली को दूर स्थित चुम्बकीय ध्रुवों पर रखा जाये तब ध्रुवों के समीप चुम्बकीय क्षेत्र प्रबल होने के कारण द्रव बीच में ऊपर उठ जाता है [चित्र (ब)]।

(अ) **(ब)**

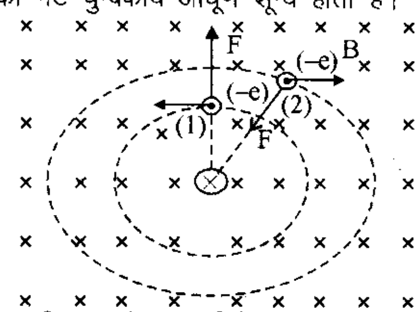
चित्र 8.38

(iii) जब प्रति चुम्बकीय पदार्थ को चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तब उसमें से होकर गुजरने वाली चुम्बकीय बल रेखाओं की संख्या निर्वात की तुलना में कम हो जाती है।

चित्र 8.39

प्रति-चुम्बकत्व (Diamagnetism) की व्याख्या–

प्रतिचुम्बकत्व का गुण प्रायः उन पदार्थों में पाया जाता है जिनके परमाणुओं अथवा अणुओं में इलेक्ट्रॉनों की संख्या सम (even) होती है, तथा दो-दो इलेक्ट्रॉन मिलकर युग्म (pair) बना लेते हैं। प्रत्येक युग्म में एक इलेक्ट्रॉन का चक्रण दूसरे इलेक्ट्रॉन के चक्रण से विपरीत दिशा में होता है। अतः युग्म के इलेक्ट्रॉन एक दूसरे के चुम्बकीय आघूर्ण को पूर्णतः निरस्त (cancel) कर देते हैं। इस प्रकार प्रति-चुम्बकीय पदार्थ के परमाणु का नैट चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है।



चित्र 8.40

जब प्रति-चुम्बकीय पदार्थ किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो क्षेत्र, पदार्थ के परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनों की गतियों को परिवर्तित कर देता है। प्रत्येक युग्म का एक इलेक्ट्रॉन धीमा हो

जाता है जबकि दूसरा त्वरित हो जाता है। अतः अब युग्म के इलेक्ट्रॉन एक दूसरे के चुम्बकीय आघूर्ण को निरस्त नहीं करते। इस प्रकार परमाणु में चुम्बकीय आघूर्ण 'प्रेरित' हो जाता है जिसकी दिशा बाह्य क्षेत्र की दिशा के विपरीत होती है। अतः पदार्थ बाह्य क्षेत्र की विपरीत दिशा में चुम्बकित हो जाता है। यदि पदार्थ का ताप बदल जाये तो उसके प्रति–चुम्बकत्व के गुण पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

8.13.2 अनुचुम्बकीय पदार्थ (Paramagnetic substances)

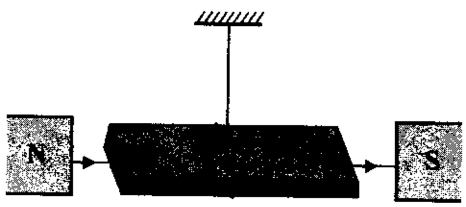
कुछ पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में मन्द चुम्बकित हो जाते हैं। ऐसे पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र से आकर्षित होते हैं अर्थात् इन पदार्थों पर कम चुम्बकीय क्षेत्र से अधिक चुम्बकीय क्षेत्र की ओर बल लगता है। इन्हें 'अनुचुम्बकीय पदार्थ' कहते हैं तथा इन पदार्थों का यह गुण अनुचुम्बकत्व (Paramagnetism) कहलाता है।

उदाहरण–

सोडियम (Na), ऐलुमिनियम (Al), मैंगनीज (Mn), कॉपर क्लोराइड ($CuCl_2$), ऑक्सीजन (O_2) आदि अनुचुम्बकीय पदार्थ हैं।

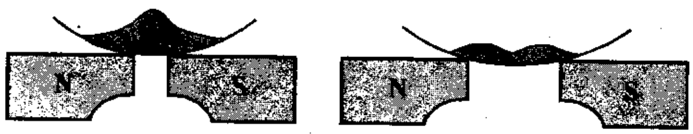
इन पदार्थों में निम्नलिखित गुण पाये जाते हैं–

(i) जब किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ की छड़ को चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतन्त्रता पूर्वक लटकाया जाता है तब छड़ घूमकर चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर हो जाती है।



चित्र 8.41

(ii) असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर ये पदार्थ कम तीव्रता वाले स्थानों से अधिक तीव्रता वाले स्थानों की ओर विस्थापित होते हैं। यदि काँच की प्याली में प्रतिचुम्बकीय पदार्थ लेकर उसे समीप स्थित चुम्बकीय ध्रुवों पर रखा जाये तब बीच में चुम्बकीय क्षेत्र प्रबल होने के कारण द्रव बीच में से ऊपर उठ जाता है [चित्र (अ)] यदि प्याली को दूर स्थित चुम्बकीय ध्रुवों पर रखा जाये तब ध्रुवों के समीप चुम्बकीय क्षेत्र प्रबल होने के कारण द्रव बीच में दबकर किनारों की ओर उठ जाता है [चित्र (ब)]।



(अ) (ब)

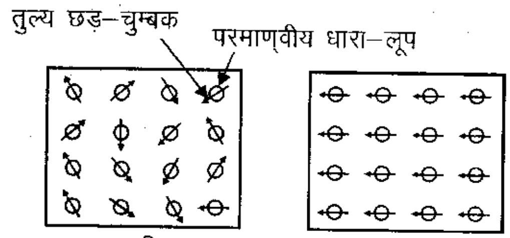
चित्र 8.42

(iii) जब अनुचुम्बकीय, पदार्थ को चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तब उसमें से होकर गुजरने वाली चुम्बकीय बल रेखाओं की संख्या निर्वात की तुलना में अधिक होती है।

चित्र 8.43

अनुचुम्बकत्व (Paramagnetism) की व्याख्या– अनुचुम्बकत्व का गुण उन पदार्थों में पाया जाता हैं जिनके परमाणुओं अथवा अणुओं में कुछ ऐसे आधिक्य (excess) इलेक्ट्रॉन होते हैं जिनका चक्रण एक ही दिशा में होता है। अतः अनुचुम्बकीय पदार्थ के परमाणु में स्थायी चुम्बकीय आघूर्ण होता है तथा वह एक नन्हें छड़–चुम्बक (tiny bar–magnet) के समान व्यवहार करता है जिसे परमाणवीय-चुम्बक' (atomic magnet) कहते हैं। परन्तु फिर भी अनुचुम्बकीय पदार्थ किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में कोई चुम्बकीय प्रभाव नहीं दिखाते। इसका कारण यह है कि इनके परमाणवीय–चुम्बक अनियमित रूप से अभिविन्यस्त (randomly oriented) रहते हैं (चित्र अ) जिससे कि पूरे पदार्थ का परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य ही रहता है।

जब अनुचुम्बकीय पदार्थ को किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखते हैं। तो प्रत्येक परमाणवीय चुम्बक पर बल-आघूर्ण लगता है जो चुम्बक को घुमाकर क्षेत्र की दिशा में करने का प्रयत्न करता है। अतः पदार्थ के परमाणु क्षेत्र की दिशा में संरेखित (aligned) हो जाते हैं (चित्र ब)। इस प्रकार पूरा पदार्थ क्षेत्र की दिशा में चुम्बकीय आघूर्ण ग्रहण कर लेता है अर्थात् क्षेत्र की दिशा में चुम्बकित हो जाता है।



अचुम्बकित (अ) चुम्बकित (ब)

चित्र 8.44

पदार्थ के परमाणुओं में ऊष्मीय विक्षोभ (thermal agitation) भी होता है। यदि पदार्थ कोई गैस है तो इसके परमाणु अनियमित गति करते रहते हैं और यदि ठोस है तो परमाणु कम्पन करते रहते हैं। यह विक्षोभ परमाणुओं के चुम्बकीय संरेखण को अव्यवस्थित करता है। अतः साधारणतः अनुचुम्बकीय पदार्थों में चुम्बकन बहुत कम हो पाता है। बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र बढ़ाने पर तथा ताप घटाने पर चुम्बकन बढ़ जाता है।

प्रयोगों के आधार पर यह प्राप्त होता है, कि किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ का चुम्बकन आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र B_0 के समानुपाती तथा परम ताप T के व्युत्क्रमानुपाती होता है

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

$$\Rightarrow \quad I = C\frac{B_0}{T}$$

यहाँ C क्यूरी नियतांक है।

$$\because \quad B_0 = \mu_0 H$$

$$\therefore \quad I = C.\frac{\mu_0 H}{T}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{I}{H} = C\frac{\mu_0}{T}$$

$$\Rightarrow \quad \chi_m = C\frac{\mu_0}{T} \quad \ldots(1)$$

$$\Rightarrow \quad \chi_m \propto \frac{1}{T} \quad \ldots(2)$$

इस प्रकार किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृत्ति उसके परमताप की व्युत्क्रमानुपाती होती है। इस नियम को क्यूरी का नियम कहते हैं।

8.13.3 लौह चुम्बकीय पदार्थ (Ferromagnetic substances)

कुछ पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं। ऐसे पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा तीव्र बल से आकर्षित होते हैं। इन्हें 'लौह चुम्बकीय पदार्थ' कहते हैं तथा इन पदार्थों का यह गुण लौह चुम्बकत्व (Ferromagnetism) कहलाता है।

उदाहरण– लौहा (Fe), निकिल (Ni), कोबाल्ट (Co), मैग्नेटाइट (Fe_3O_4) आदि लौह चुम्बकीय पदार्थ हैं।

इन पदार्थों में निम्नलिखित गुण पाये जाते हैं–

(i) जब किसी लौह चुम्बकीय पदार्थ की छड़ को चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतन्त्रता पूर्वक लटकाया जाता है तब छड़ घूमकर शीघ्रता से चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में आ जाती है।

(ii) असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर ये पदार्थ कम तीव्रता वाले स्थानों से अधिक तीव्रता वाले स्थानों की तरफ प्रबल रूप से विस्थापित होते हैं।

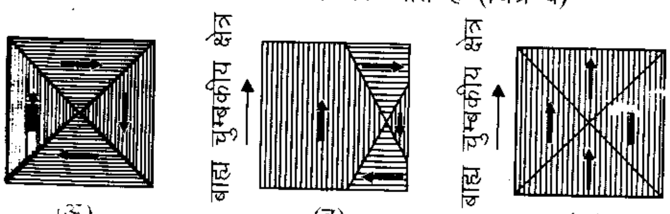
(iii) लौह चुम्बकीय पदार्थ की छड़ चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर अस्थायी रूप से चुम्बकित हो जाती है। लौह चुम्बकीय पदार्थों में अनुचुम्बकीय पदार्थों के सभी गुण प्रबल तीव्रता से पाये जाते हैं।

लौहचुम्बकत्व (Ferromagnetism) की व्याख्या–

लौहचुम्बकत्व तथा अनुचुम्बकत्व में केवल तीव्रता का अन्तर होता है। लौहचुम्बकीय पदार्थ वास्तव में ऐसे अनुचुम्बकीय पदार्थ हैं जिनका बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकन बहुत तीव्र होता है। अनुचुम्बकीय पदार्थों की भाँति लौहचुम्बकीय पदार्थों का भी प्रत्येक परमाणु एक चुम्बक होता है जिसमें कुछ स्थायी चुम्बकीय आघूर्ण होता है। परन्तु लौहचुम्बकीय पदार्थों के परमाणुओं में कुछ ऐसी जटिल अन्योन्य क्रियायें होती हैं जिनके कारण पदार्थ के भीतर परमाणुओं के असंख्य, अतिसूक्ष्म आकार के प्रभावी क्षेत्र बन जाते हैं जिन्हें 'डोमेन (domains) कहते हैं। प्रत्येक डोमेन में 10^{17} से 10^{21} तक परमाणु होते हैं जिनकी चुम्बकीय अक्ष एक ही दिशा में संरेखित (aligned) होती हैं। (परन्तु पड़ौसी डोमेन के परमाणुओं से भिन्न दिशा में)। इस प्रकार प्रत्येक डोमेन, बिना किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के ही चुम्बकीय संतृप्ति (magnetic saturation) की अवस्था में रहता है, अर्थात् एक तीव्र चुम्बक होता है। परन्तु पदार्थ की सामान्य अवस्था में विभिन्न डोमेन अनियमित ढंग से इस प्रकार बिखरे रहते हैं कि उनका किसी भी दिशा में परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य ही रहता है। (यही कारण है कि लौहे का प्रत्येक टुकड़ा चुम्बक नहीं होता।) चित्र (अ) में लौहे की चार डोमेनें व उनके चुम्बकीय आघूर्णों की सम्भावित दिशायें दिखाई गई हैं।

जब पदार्थ को किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखते हैं तो पदार्थ का परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण अर्थात् चुम्बकन दो विभिन्न प्रकार से बढ़ सकता है–

(1) डोमेन की परिसीमाओं के विस्थापन द्वारा अर्थात् जो डोमेन बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के अनुकूल अभिविन्यरत (favourably oriented) रहते हैं वे आकार में बढ़ जाते हैं तथा जो बाह्य क्षेत्र के प्रतिकूल अभिविन्यस्त रहते हैं वे आकार में घट जाते हैं (चित्र ब)



चित्र 8.45

(2) डोमेनों के घूर्णन के द्वारा अर्थात् डोमेन घूमने लगते हैं जिससे उनके चुम्बकीय आघूर्णों की दिशायें बहुत कुछ बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में ही हो जाती हैं। (चित्र स)

जब बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र दुर्बल होता है तो पदार्थ का चुम्बकन अधिकतर डोमेनों की परिसीमाओं के विस्थापनों द्वारा होता है, परन्तु प्रबल क्षेत्रों में चुम्बकन अधिकतर डोमेनों के घूर्णन के द्वारा होता है। बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र को हटा लेने पर पदार्थ पूर्णतः विचुम्बकित नहीं हो जाता बल्कि उसमें कुछ न कुछ चुम्बकत्व शेष रह जाता है।

क्यूरी का नियम तथा क्यूरी ताप (Curie's law and curie temperature)

प्रति चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति ताप पर निर्भर नहीं करती है। जबकि अनुचुम्बकीय तथा लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति ताप पर निर्भर करती है। क्यूरी के नियमानुसार **अनुचुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति (χ_m) उसके परमताप (T) के व्युत्क्रमानुपाती होती है अर्थात्**

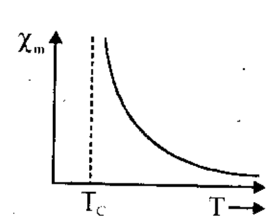
$$\chi_m \propto \frac{1}{T}$$

$$\Rightarrow \quad \chi_m = \frac{C}{T} \quad .....(1)$$

जहाँ C क्यूरी नियतांक कहलाता है।

लौह चुम्बकीय पदार्थों में चुम्बकन ताप पर निर्भर करता है। यह परम शून्य ताप 0 K पर अधिकतम होता है तथा ताप बढ़ने पर घटता जाता है।

जब किसी लौह चुम्बकीय पदार्थ को गर्म किया जाता है तब एक निश्चित ताप पर पदार्थ का लौह चुम्बकत्व का गुण समाप्त हो जाता है तथा पदार्थ अनुचुम्बकीय हो जाता है। जब पदार्थ को ठण्डा किया जाता है तब वह पुनः लौह चुम्बकीय हो जाता है। **वह ताप जिसके नीचे पदार्थ लौह चुम्बकीय तथा जिसके ऊपर अनुचुम्बकीय होता है पदार्थ का क्यूरी ताप कहलाता है।** उदाहरण के लिए लौह का क्यूरी ताप 770°C तथा निकिल के लिए 358°C होता है।



चित्र 8.46

लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति की ताप पर निर्भरता क्यूरी–वाइस के नियम द्वारा दी जाती है जिसके अनुसार

$$\chi_m = \frac{C}{T - T_C} \quad .....(2)$$

जहाँ T_C क्यूरी ताप (Curie temperature) है।

क्यूरी–वाइस नियम के अनुसार $\chi_m - T$ वक्र को चित्र में दर्शाया गया है–

कुछ लौह चुम्बकीय पदार्थों के क्यूरी ताप–

पदार्थ का नाम	क्यूरी ताप T_C(K)
लोहा	1043 K
कोबाल्ट	1394 K
निकिल	631 K
गैडोलिनियम	317 K

उदा.17. 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 कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 8.12**

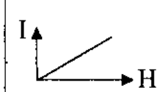
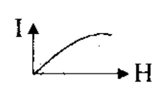
हल– दिया गया है–

$T_C = 300K,$
$T = 420\ K,$
$\chi_m = 0.4,$
$C = ?$

$$\because \quad \chi_m = \frac{C}{T - T_C}$$

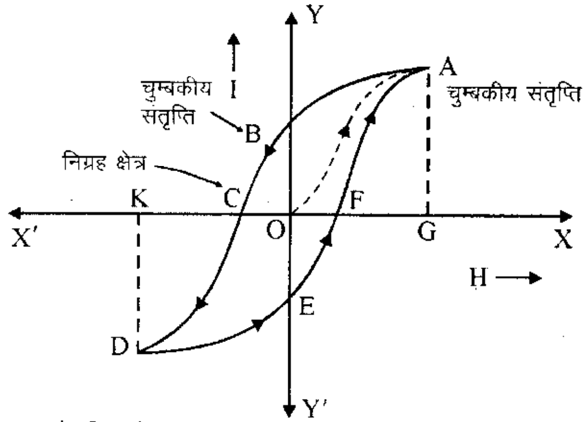
$$\Rightarrow \quad C = \chi_m (T - T_C)$$
$$= 0.4\,(420 - 300)$$
$$= 48\ K$$

महत्त्वपूर्ण तथ्य विभिन्न पदार्थों के चुम्बकीय गुणों का तुलनात्मक अध्ययन (Comparative Study of magnetic properties of different materials)

क्र. सं.	गुण	प्रति-चुम्बकीय पदार्थ	अनुचुम्बकीय पदार्थ	लौह-चुम्बकीय पदार्थ
1.	चुम्बकीय क्षेत्र में व्यवहार	चुम्बकीय क्षेत्र की विपरीत दिशा में थोड़े चुम्बकित होते हैं।	चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में थोड़े चुम्बकित होते हैं।	चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में प्रबल चुम्बकित होते हैं।
2.	चुम्बकीय प्रेरण (B)	$B < B_0$, पदार्थ में चुम्बकीय बल रेखाओं की संख्या कम हो जाती है।	$B \approx B_0$ संख्या कुछ बढ़ जाती है।	$B >> B_0$ संख्या बहुत अधिक बढ़ जाती है।
3.	चुम्बकन तीव्रता (I)	I का मान अल्प तथा चुम्बकन क्षेत्र की दिशा के विपरीत होता है।	I का मान अल्प तथा चुम्बकन क्षेत्र की दिशा में होता है।	I का मान अत्यधिक तथा चुम्बकन क्षेत्र की दिशा में होता है।
4.	चुम्बकीय आघूर्ण (M)	M का मान बहुत कम लगभग शून्य होता है, तथा H के विपरीत दिशा में होता है।	M का मान अल्प तथा H की दिशा में होता है।	M का मान अत्यधिक तथा H की दिशा में होता है।
5.	आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता (μ_r)	μ_r धनात्मक तथा अल्प, मान 1 से कम होता है अर्थात् $\mu_r < 1$	μ_r धनात्मक तथा मान 1 से अधिक होता है अर्थात् $\mu_r > 1$.	μ_r धनात्मक तथा मान 1 से अत्यधिक होता है अर्थात् $\mu_r >> 1$.
6.	चुम्बकीय प्रवृत्ति (χ_m)	(χ_m) ऋणात्मक तथा अत्यल्प होता है।	(χ_m) धनात्मक तथा अल्प होता है।	(χ_m)धनात्मक तथा अत्यधिक होता है
7.	चुम्बकीय प्रवृत्ति की H पर निर्भरता	निर्भर नहीं करती है।	निर्भर नहीं करती है।	निर्भर करती है।
8.	चुम्बकीय प्रवृत्ति की ताप पर निर्भरता	ताप पर निर्भर नहीं करती है।	ताप पर निर्भर करती है। ताप के बढ़ने पर $(\chi)_m$ का मान कम होता है। ताप पर निर्भरता क्यूरी के नियमानुसार होती है अर्थात् $\chi_m \propto \frac{1}{T}$ या $\chi_m = \frac{C}{T}$	ताप पर निर्भर करती है। ताप के बढ़ाने पर $(\chi)_m$ का मान कम होता है। ताप पर निर्भरता क्यूरी-वाइस के नियमानुसार होती है अर्थात् $\chi_m = \frac{C}{T - T_C}$
9.	चुम्बक के ध्रुव के पास ले जाने पर	अल्प प्रतिकर्षित होते हैं।	अल्प आकर्षित होते हैं।	प्रबल आकर्षित होते हैं।
10.	असमान चुम्बकीय क्षेत्र में व्यवहार	अधिक से कम तीव्रता के चुम्ब-कीय क्षेत्र की ओर विस्थापित होते हैं अर्थात् प्रतिकर्षित।	कम से अधिक तीव्रता के चुम्ब-कीय क्षेत्र की ओर अल्प विस्था-पित होते हैं। अर्थात् आकर्षित।	कम से अधिक तीव्रता के चुम्बकीय क्षेत्र की ओर प्रबलविस्थापित होते हैं। अर्थात् प्रबल आकर्षित।
11.	चुम्बकत्व का निर्माण	इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय गति	इलेक्ट्रॉनों की चक्रण व कक्षीय गति	डोमेनों का निर्माण
12.	I-H वक्र			
13.	पदार्थों का परस्पर परिवर्तन (क्यूरी ताप)	परिवर्तित नहीं होते हैं।	ताप बढ़ने पर, क्यूरी ताप पर [illegible]चुम्बकीय पदार्थों में बदल जाते हैं।	ताप बढ़ने पर, क्यूरी ताप पर अनुचुम्बकीय पदार्थों में बदल जाते हैं।
14.	चुम्बकत्व के गुण का कारण	प्रतिचुम्बकत्व का गुण उन पदार्थों में पाया है जिनके परमाणुओं में कक्षीय इलेक्ट्रॉनों की संख्या सम हो।	अनुचम्बकत्व का गुण उन पदार्थों में पाया जाता है जिनके परमाणुओं में ऐसे इलेक्ट्रॉनों की अधिकता होती है जिनके चक्रण की दिशा समान हो।	लोह-चुम्बक का गुण सामान्यतः उन पदार्थों में पाया जाता है जिनके परमाणुओं के आन्तरिक कोश अपूर्ण हों। ये वे अनुचुम्बकीय पदार्थ हैं जो बाहरी चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं
15.	उदाहरण	Sb, Bi, Zn, Cu, Hg, He, H_2, N_2 हवा, पानी, सोना (Au), चाँदी (Ag), हीरा आदि।	Mn, Na, Al, $CuCl_2$, O_2, Pt, क्राउन काँच निकल व आयरन के लवणों के घोल	Fe, Co, Ni, मेगनेटाइट (Fe_3O_4), Gd

8.14 चुम्बकीय शैथिल्य वक्र (Magnetic Hysteresis Curve)

जब किसी चुम्बकीय पदार्थ को चुम्बकित करने के लिए उसके चारों ओर एक कुण्डली लपेट कर उसमें विद्युत धारा प्रवाहित की जाती है तब धारा में वृद्धि करने पर चुम्बकन क्षेत्र H के मान में वृद्धि होती



चित्र 8.47

है जिससे चुम्बकन तीव्रता I का मान भी बढ़ता है यदि I व H के मानों में ग्राफ खींचा जाये तब वह चित्रानुसार OA वक्र जैसा प्राप्त होता है। बिन्दु A के पश्चात् यदि H का मान और बढ़ाया जाये तब I का मान और अधिक नहीं बढ़ता है। यह अवस्था चुम्बकीय संतृप्ति (Magnetic saturation) कहलाती है।

अब यदि H का मान क्रमशः घटाया जाये तब I का मान भी घटता जाता है परन्तु वक्र AO की पुनरावृत्ति प्राप्त नहीं होती है बल्कि I का मान वक्र AB के अनुसार घटता है तथा H का मान शून्य होने पर भी I का मान शून्य नहीं होता बल्कि इसका एक परिमित मान होता है। चित्रानुसार यह OB द्वारा प्रदर्शित है।

अब यदि धारा की दिशा विपरीत कर H की दिशा विपरीत कर दी जाये तब क्रमशः विपरीत दिशा में H का मान बढ़ाने पर I का मान कम होता जाता है तथा H के एक परिमित मान पर I का मान शून्य हो जाता है। चित्रानुसार यह वक्र BC द्वारा व्यक्त है।

यदि H के मान को विपरीत दिशा में और बढ़ाया जाये तब विपरीत दिशा में I का मान वक्र CD अनुसार बढ़ता है तथा D बिन्दु पर संतृप्तावस्था प्राप्त होती है।

अब यदि H का विपरीत मान घटाकर शून्य किया जाये तब वक्र की पुनरावृत्ति नहीं होती है बल्कि वक्र DE प्राप्त होता है (यहाँ OB = OE) इसी प्रकार H के मान में वृद्धि करने पर H के OF मान पर I शून्य हो जाती है तथा H का मान और अधिक बढ़ाने पर I बिन्दु A पर संतृप्तावस्था को प्राप्त कर लेती है यह भाग EFA द्वारा प्रदर्शित किया गया है

शैथिल्य पाश (Hystersis loop)

किसी चुम्बकीय पदार्थ के लिए चुम्बकन क्षेत्र H तथा चुम्बकन तीव्रता I के मध्य खींचा गया अभिलाक्षणिक बन्द वक्र शैथिल्य पाश (लूप) कहलाता है।

धारणशीलता या अवशेष चुम्बकत्व (Retentivity or Residual magnetism)

वह चुम्बकन तीव्रता जो चुम्बकीय पदार्थ में चुम्बकन क्षेत्र हटाने के पश्चात् भी शेष रह जाती है उसे धारण शीलता या अवशेष चुम्बकत्व कहते हैं। चित्र में इसे O B द्वारा व्यक्त किया गया है।

निग्राहिता (Coercivity)

विपरीत दिशा में चुम्बकन क्षेत्र में H का वह मान जो चुम्बकीय पदार्थ में चुम्बकन तीव्रता I को शून्य कर देता है निग्रह बल (Coercive force) कहलाता है तथा यह पदार्थ की निग्राहिता (Coercivity) का मापक होता है। चित्र में इसे OC द्वारा व्यक्त किया गया है।

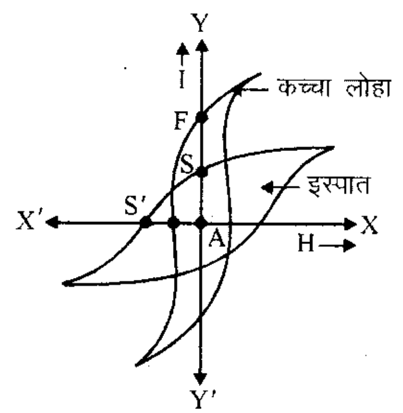
चुम्बकीय संतृप्ति–

चुम्बकन क्षेत्र (H) का वह मान जिसके पश्चात् H के मान में वृद्धि करने पर चुम्बकन तीव्रता (I) के मान में वृद्धि नहीं होती चुम्बकीय संतृप्ति कहलाता है।

शैथिल्यता (Hysteresis)–पदार्थों में चुम्बकन के चुम्बकन क्षेत्र (H) से पीछे रह जाने की प्रक्रिया को शैथिल्यता कहते हैं। इसका मुख्य कारण लौह चुम्बकीय पदार्थों में डोमेनों का चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में संरक्षित होना है।

वे चुम्बकीय पदार्थ जिनके लिए निग्राहिता का मान अधिक है, चुम्बकीय रूप से कठोर पदार्थ होते हैं तथा जिनके लिए निग्राहिता का मान कम होता है चुम्बकीय रूप से कोमल होते हैं।

कोमल चुम्बकीय पदार्थो का शैथिल्य पाश संकरा (Narrow hysteresis loop) जबकि कठोर का चौड़ा (Broad) होता है। अतः कोमल चुम्बकीय पदार्थों में शैथिल्य ह्रास कम होता है। इसी प्रकार कोमल चुम्बकीय पदार्थों का अवशेष चुम्बकत्व अधिक होता है जबकि कठोर का कम। उदाहरण के लिए कच्चा लोहा एक कोमल चुम्बकीय पदार्थ है जबकि स्टील एक कठोर। इनका तुलनात्मक I-H वक्र चित्र में दिया है



चित्र 8.48/

शैथिल्य पाश का महत्व (Importance of hysteresis loop) – I-H वक्रों की सहायता से पदार्थों के चुम्बकीय गुणों का अध्ययन किया जा सकता है। वक्र के आधार पर निम्न निष्कर्ष प्राप्त होते हैं–

(1) H के किसी मान के लिए कच्चे लौहे में चुम्बकीय प्रेरण (B) का मान स्टील के B से अधिक होता है अतः कच्चे लौहे में μ का मान भी अधिक होगा क्योंकि $B = \mu H$।

(2) H के किसी मान के लिए कच्चे लौहे में चुम्बकन I का मान स्टील के I से अधिक होता है अतः कच्चे लौहे के लिए चुम्बकीय प्रवृति χ_m भी अधिक होगा क्योंकि $\chi_m = I/H$

(3) कच्चे लौहे की निग्राहिता (AF'), स्टील की निग्राहिता (AS') से कम होती हैं।

(4) कच्चे लौहे की धारणशीलता (अवशेष चुम्बकत्व), स्टील की धारणशीलता से अधिक होती है।

(5) कच्चे लौहे का चुम्बकन व विचुम्बकन सरलता से होता है जबकि स्टील में कठिनाई से होते हैं।

(6) कच्चे लौहे के लिए I-H वक्र का क्षेत्रफल, स्टील की तुलना में कम होता है। अतः चुम्बकन के एक पूर्ण चक्र के लिए कच्चे लौहे में ऊर्जा का ह्रास स्टील की तुलना में कम होता है।

8.14.1 शैथिल्य ह्रास (Hysteresis Loss)

जब लौहचुम्बकीय पदार्थ, चुम्बकन के एक पूर्ण चक्र से गुजरता है तो इसमें ऊर्जा की हानि होती है अर्थात् इस पदार्थ को चुम्बकन के समय दी गयी ऊर्जा का मान, चुम्बकन क्षेत्र हटाने पर (विचुम्बन) उससे प्राप्त ऊर्जा से कुछ अधिक होता है। ऊर्जा की इस हानि को **शैथिल्य ह्रास (Hysteresis loss)** कहते हैं।

B-H शैथिल्य पाश (loop) का क्षेत्रफल, चुम्बकन के एक पूर्ण चक्र में पदार्थ के इकाई आयतन पर किये गये कार्य अथवा ऊर्जा क्षय के बराबर होता है। अतः प्रति सेकण्ड ऊर्जा की हानि

= पदार्थ का आयतन × (B – H) वक्र का क्षेत्रफल × आवृत्ति

$Q = VAn$ जहाँ $A = BH$

अतः प्रति सेकण्ड उत्पन्न ऊष्मा $H = Q/J$

या $H = VAn / J$ कैलोरी

विमीय विधि द्वारा सूत्र की सत्यता–

प्रति सेकण्ड उर्जा Q का विमीय सूत्र–

$$\frac{M^1L^2T^{-2}}{T^1} = [M^1L^2T^{-3}] \qquad ...(1)$$

आयतन V का विमीय सूत्र = $[L^3]$.

B–H वक्र के क्षेत्रफल A का विमीय सूत्र $BH = \frac{F}{m} \times \frac{I}{L}$

$$= \left[\frac{M^1L^1T^{-2}}{A^1L^1}\right]\left[\frac{A^1}{L^1}\right] = \left[M^1L^{-1}T^{-2}\right]$$

आवृत्ति n का विमीय सूत्र = $[T^{-1}]$

∴ VAn का विमीय सूत्र = $L^3 M^1L^{-1}T^{-2}T^{-1} = [M^1L^2T^{-3}]$

समीकरण (1) व (2) से स्पष्ट है कि दोनों पक्षों का विमीय सूत्र समान होने से दिया गया समीकरण सही है।

स्थायी चुम्बक (Permanent magnet)

स्थायी चुम्बक बनाने के लिए पदार्थ में निम्न गुण होने चाहिए––

(i) धारणशीलता कम होनी चाहिए जिससे चुम्बक प्रबल चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न कर सके। I – H वक्र का क्षेत्रफल अधिक है।

(ii) निग्राहिता का मान अधिक होना चाहिए जिससे बाह्य क्षेत्र प्रबल होने पर चुम्बकन समाप्त नहीं हो। इसके लिए इस्पात अधिक उपयुक्त होता है। स्थायी चुम्बक बनाने के लिए विशेष मिश्र धातु जैसे एलनिको (Al – Ni – Co) अधिक श्रेष्ठ होता है।

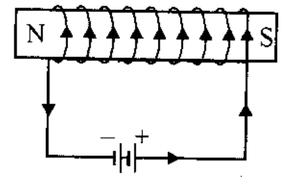
उपयोग–टेलीफोन, वोल्टमीटर, अमीटर, धारामापी, दिक् सूचक, लाउडस्पीकर आदि में।

विद्युत चुम्बक (Electromagnet)

विद्युत चुम्बक के क्रोड के लिए ऐसे पदार्थों का चयन करते हैं जिसमें अल्प चुम्बकन क्षेत्र से अधिक चुम्बकीय प्रेरण उत्पन्न हो, और शैथिल्य हानि नगण्य तथा जिनकी पारगम्यता अधिक हो इसके लिए कच्चालोहा एवं परमेलॉय मिश्रधातु अधिक उपयुक्त रहते हैं, क्योंकि इनका चुम्बकन एवं विचुम्बकन सुगम है। विद्युत चुम्बक बनाने के लिए अधिक धारणशीलता (अवशेष चुम्बकत्व) तथा कम निग्राहिता, I–H वक्र का क्षेत्रफल कम, शैथिल्य हानि कम, उच्च चुम्बकीय प्रेरण व उच्च चुम्बकीय पारगम्यता का पदार्थ होना चाहिये। जैसे कच्चा लोहा, परमेलॉय।

विद्युत धारा के चुम्बकीय प्रभाव का उपयोग विद्युत–चुम्बक है। एक धारावाही परिनालिका छड़-चुम्बक के समान व्यवहार करती है। यदि हम इस परिनालिका के भीतर नर्म लौहे की एक छड़ रख दें तो परिनालिका का चुम्बकत्व सैंकड़ों गुना बढ़ जाता है तब इस परिनालिका को 'विद्युत चुम्बक' कहते हैं। यह एक अस्थायी चुम्बक है।

विद्युत चुम्बक बनाने के लिए नर्म लौहे की एक सीधी छड़ लेकर उस पर ताँबे के विद्युतरोधी तार के बहुत से फेरे पास-पास लपेट देते हैं। तार की इस परिनालिका में विद्युत धारा प्रवाहित करने पर उसके भीतर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। इससे लौहे की छड़ के डोमेन घूमने लगते हैं और इस प्रकार संरेखित हो जाते हैं कि



चित्र 8.49

उनके चुम्बकन की दिशा परिनालिका की धारा के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में हो जाती है। यह छड़ एक चुम्बक बन जाती है। छड़ के जिस सिरे की ओर से देखने पर परिनालिका में धारा की दिशा वामावर्त्त है वह सिरा उत्तरी ध्रुव N तथा दूसरा सिरा दक्षिणी ध्रुव S होता है। परिनालिका में धारा बन्द कर देने से छड़ लगभग पूर्णतः विचुम्बकित हो जाती है।

विद्युत चुम्बकों के उपयोग–

(1) बड़े-बड़े विद्युत चुम्बक फैक्टरियों में चलनशील क्रेनों के द्वारा लौहे के बड़े–बड़े यन्त्रों व गट्ठों को एक स्थान से दूसरे स्थान पर स्थानान्तरित करने के काम आते हैं।

(2) ये अस्पतालों में आँख तथा शरीर के किसी भाग से लौहे के छर्रे निकालने के काम आते हैं।

(3) ये बिजली की घण्टी, तार–संचार, ट्रांसफार्मर तथा डायनमों की क्रोड (core), बनाने के काम आते हैं।

ट्रांसफॉर्मर तथा डायनेमो के क्रोड (Core of transformer and dynamo)

क्रोड बनाने के लिए ऐसे लौहचुम्बकीय पदार्थ उपयुक्त होते हैं जिनका शैथिल्य पाश छोटा हो जिससे कि शैथिल्य हानि कम हो अन्यथा लपेटे गये विद्युतरूद्ध ताम्बे के तार ऊष्मा से गरम होकर टूट जायेंगे। इसी प्रकार इनकी चुम्बकशीलता अधिक हो ताकि कम चुम्बकन क्षेत्र पर भी पदार्थ में चुम्बकीय प्रेरण अधिक हो। इनकी निग्राहिता अल्प तथा विशिष्ट प्रतिरोध उच्च होना चाहिए। अतः इन्हें बनाने के लिए सामान्यतः नरम लौहे का उपयोग करते हैं।

इसी प्रकार नरम लौहे में 4% सिलिकॉन मिलाकर **ट्रासफॉर्मर स्टील** बनाया जाता है जिसकी प्रारम्भिक चुम्बकशीलता उच्च होती है तथा ट्रांसफॉर्मर कोर के लिए आदर्श हैं। इसी प्रकार लौहा व निकल की मिश्र धातु लेते हैं जिसे कि **परमेलॉय** (Permalloy) कहते हैं तथा इसकी भी प्रारम्भिक चुम्बकशीलता उच्च होती है। लौहा, निकल, ताँबा व मैंग्नीज (Fe + Ni + Cu + Mn) से बनी मिश्र धातु भी लेते है जिसे कि **म्यूमेटल**

(Mumetal) कहते हैं तथा यह नरम लौहे कि तुलना में अधिक उपयुक्त हैं।

चुम्बकीय टेप

टेपरिकार्डर में चुम्बकीय टेप के लिए वह पदार्थ उपयुक्त है जिसमें अवशेष चुम्बकत्व अधिक हो निग्राहिता अल्प हो, जिससे कि उस पर रिकार्ड किया गया संकेत इच्छानुसार सरलता से बदला जा सके। इसके लिए नरम लोहा उपयुक्त है।

उदा.18. किसी पदार्थ के शैथिल्य पाश का क्षेत्रफल 250 जूल के तुल्य है। पदार्थ के 10 किग्रा. के 50 Hz की आवृत्ति से चुम्बकित करने में एक घण्टे में ऊर्जा हानि का मान क्या होगा यदि पदार्थ का घनत्व 7.5 ग्राम/सेमी.^{3} हो ?

हल– शैथिल्य-पाश का क्षेत्रफल एकांक आयतन में प्रति चक्र ऊर्जा का ह्रास निरूपित करता है।

$$\text{पदार्थ का आयतन } V = \frac{\text{द्रव्यमान}}{\text{घनत्व}}$$

$$= \frac{10}{7.5\times10^3} \text{ मी.}^3$$

एक सेकण्ड में चक्रों की संख्या = 50

$\therefore$ पदार्थ में प्रति घण्टे में ऊर्जा हानि $Q = VnAt$

$$= \frac{10}{7.5\times10^3}\times50\times250\times3600$$

$$= 6\times10^4 \text{ जूल}$$

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1. लौहचुम्बकीय पदार्थ में सभी डोमेनों का परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण कितना होता है?

प्र.2. यदि किसी पदार्थ की आपेक्षिक चुम्बकशीलता 0.9999 है तब इसकी प्रकृति चुम्बकीय गुणधर्मों के आधार पर किस प्रकार की होगी?

प्र.3. ट्रांसफॉर्मर की क्रोड बनाने के लिए कौनसा पदार्थ प्रयुक्त करते हैं तथा क्यों?

प्र.4. वह ताप, जिस पर लौहचुम्बकत्व समाप्त हो जाता है तथा पदार्थ अनुचुम्बकीय हो जाता है, क्या कहलाता है?

प्र.5. वे पदार्थ जिनमें अणुओं के चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होते हैं, क्या कहलाते हैं?

प्र.6. चुम्बकीय पदार्थ की कठोरता का मापक लिखिए।

प्र.7. अनुचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृत्ति χ, उसके परम ताप T पर किस प्रकार निर्भर करती है? ग्राफ खींचकर समझाइए।

प्र.8. N_1 N_2 तथा N_3 सुइयाँ क्रमशः लौहचुम्बकीय, अनुचुम्बकीय तथा प्रतिचुम्बकीय पदार्थ से बनी है। इन सुइयों के समीप एक चुम्बक को लाए जाने पर वह किस प्रकार अपना प्रभाव दर्शाएगा?

प्र.9. चुम्बकन तीव्रता का सूत्र लिखिए।

प्र.10. चुम्बकन तीव्रता का SI मात्रक लिखिए।

प्र.11. चुम्बकन तीव्रता का मान किन राशियों पर निर्भर करता है?

प्र.12. चुम्बकन क्षेत्र का CGS मात्रक लिखिए।

प्र.13. किसी परिनालिका में चुम्बकन क्षेत्र H, प्रवाहित धारा i से किस प्रकार सम्बन्धित होता है?

प्र.14. चुम्बकन क्षेत्र का SI मात्रक लिखिए।

प्र.15. यदि माध्यम में चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व B तथा निर्वात् में B_0 है तब आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता का मान लिखिए।

प्र.16. प्रतिचुम्बकीय, अनुचुम्बकीय तथा लौह चुम्बकीय पदार्थों के लिए μ_r का मान लिखिए।

प्र.17. चुम्बकीय प्रवृत्ति का सूत्र लिखिए।

प्र.18. आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता तथा चुम्बकीय प्रवृत्ति में सम्बन्ध सूत्र लिखिए।

प्र.19. प्रति चुम्बकीय पदार्थ के कोई दो उदाहरण लिखिए।

प्र.20. लौह चुम्बकीय पदार्थ के कोई दो उदाहरण लिखिए।

प्र.21. लोहे का क्यूरी ताप लिखिए।

प्र.22. स्थायी चुम्बक बनाने के लिए प्रयुक्त मिश्र धातु का नाम लिखिए।

प्र.23. स्थायी चुम्बक के उपयोग लिखिए।

प्र.24. विद्युत चुम्बक बनाने के लिए प्रयुक्त पदार्थ लिखिए।

प्र.25. म्यूमेटल से क्या तात्पर्य है?

प्र.26. चुम्बकीय क्षेत्र का मात्रक लिखो।

प्र.27. चुम्बकीय आघूर्ण M एवं चुम्बकीय फ्लक्स ϕ के मात्रक लिखो।

प्र.28. चुम्बकीय आघूर्ण (M) की परिभाषा दो।

प्र.29. कथन सत्य है कि असत्य "पृथ्वी पर सम्पूर्ण क्षेत्र की तीव्रता पृथ्वी के तल पर समान होती है।"

प्र.30. चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ किसे कहते हैं ?

प्र.31. एक छड़ चुम्बक को किस प्रकार रखने पर उदासीन बिन्दु निरक्ष पर एवं अक्ष पर प्राप्त होगा ?

प्र.32. चुम्बकीय ध्रुव की परिभाषा दो।

प्र.33. चुम्बकीय अक्ष किसे कहते हैं ?

प्र.34. उदासीन बिन्दु की परिभाषा लिखो।

प्र.35. पृथ्वी एक बहुत बड़ी चुम्बकीय द्विध्रुव है, पृथ्वी के उत्तरी गोलार्द्ध में द्विध्रुव का कौन–सा ध्रुव है ?

प्र.36. नति कोण का अधिकतम मान क्या है ? यह किन–किन स्थानों पर होता है ?

प्र.37. चुम्बकीय आघूर्ण सदिश है अथवा अदिश ?

प्र.38. छड़ चुम्बक को बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र B में रखने पर उस पर कितना नेट बल लगता है ? बल आघूर्ण कितना ?

प्र.39. पृथ्वी एक बहुत बड़ा चुम्बकीय द्विध्रुव है। (i) पृथ्वी के उत्तरी गोलार्द्ध में द्विध्रुव का कौनसा ध्रुव है ? (ii) उत्तरी गोलार्द्ध में पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की बल–रेखायें किस ओर को दिष्ट होती हैं– पृथ्वी तल की ओर अथवा पृथ्वी से परे ?

प्र.40. यदि यह माना जाये कि भू–चुम्बकत्व का कारण पृथ्वी के गर्भ में एक बहुत बड़े धारा–लूप का होना है तो इस धारा लूप का तल किस प्रकार स्थित होगा तथा इसमें धारा की दिशा क्या होगी ?

प्र.41. धारावाही आयताकार कुण्डली को जब एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतंत्रतापूर्वक लटकाया जाता है तो उसके ऊपर कोई नेट बल कार्य नहीं करता। यह बात सत्य है अथवा असत्य ?

प्र.42. चार तार, जिनमें से प्रत्येक की लम्बाई 1 मीटर है, को क्रमशः वर्गाकार, आयताकार, त्रिभुजाकार तथा वृत्ताकार लूपों में मोड़कर, एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में लटकाये जाते हैं। यदि प्रत्येक लूप में एक ही धारा प्रवाहित करें तो किस लूप पर बल–युग्म सबसे अधिक लगेगा ?

प्र.43. एक धारावाही लूप को चुम्बकीय द्विध्रुव क्यों माना जाता है ?

प्र.44. चुम्बकीय क्षेत्र B, चुम्बकन क्षेत्र H एवं माध्यम की पारगम्यता μ के बीच सम्बन्ध लिखो।

प्र.45. आपेक्षिक चुम्बकशीलता से आपका क्या अभिप्राय है ?

प्र.46. सूत्र रूप में क्यूरी के नियम को व्यक्त करो।

प्र.47. चुम्बकन क्षेत्र किन–किन बातों पर निर्भर करता है? कुण्डली का उदाहरण देकर समझाओ।

प्र.48. स्थायी चुम्बक बनाने के लिए कच्चा लौहा अधिक उपयोगी है या स्टील?

प्र.49. क्यूरी ताप किसे कहते हैं ?

प्र.50. चुम्बकीय प्रवृत्ति एवं आपेक्षिक पारगम्यता μ_r का मात्रक लिखो।

प्र.51. चुम्बकीय क्षेत्र B, चुम्बकन क्षेत्र H तथा चुम्बकन तीव्रता I के सम्बन्ध दर्शाने वाला सूत्र लिखो।

प्र.52. प्रतिचुम्बकीय पदार्थ किसे कहते हैं ? उदाहरण दो।

प्र.53. अनुचुम्बकीय पदार्थ किसे कहते हैं ? उदाहरण दो

प्र.54. लौह–चुम्बकीय पदार्थ किसे कहते हैं ? उदाहरण दो।

प्र.55. लौह–चुम्बकीय पदार्थ की व्याख्या किस सिद्धान्त पर की जाती है ?

प्र.56. दो लोहे की छड़ आकृति में एकसमान हैं परन्तु एक चुम्बक है व दूसरी नहीं। इस छड़ों को बिना लटकाये अथवा कोई अन्य उपकरण उपयोग करे कैसे पहचानेंगे?

प्र.57. कमरे के ताप पर लोहे का टुकड़ा स्वतः एक प्रबल चुम्बक क्यों नहीं होता है?

प्र.58. प्रति चुम्बकीय पदार्थ की प्रवृत्ति χ ताप पर निर्भर क्यों नहीं होती?

प्र.59. B – H तथा I– H वक्रों में क्या अन्तर होता है?

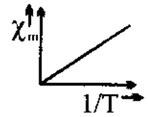
प्र.60. एक चुम्बक किसी अचुम्बकित लोहे की वस्तु को क्यों आकर्षित करता है?

प्र.61. लौह–चुम्बकीय व अनु–चुम्बकीय पदार्थों का गुणात्मक व्यवहार एक समान होता है। उन्हें किस प्रकार विभेदित करेंगे?

प्र.62. एक चोक कुण्डली में पटलित (laminated) लौह क्रोड क्यों होता है ?

उत्तरमाला

1. शून्य
2. प्रतिचुम्बकीय।
3. नर्म लोहा, क्योंकि नर्म लोहे की चुम्बकनशीलता अधिक, शैथिल्य हानि कम, धारणशीलता अधिक तथा निग्राहिता कम होती है।
4. क्यूरी ताप।
5. प्रतिचुम्बकीय पदार्थ।
6. निग्राहिता।
7. $\chi_m \propto \dfrac{1}{T}$,



8. चुम्बक N_1 को प्रबलतः, N_2 को अल्पतः आकर्षित करेगा तथा N_3 को अल्पतः प्रतिकर्षित करेगा।
9. **चुम्बकन तीव्रता** $I = \dfrac{M}{V} = \dfrac{m}{A}$
10. $\dfrac{\text{एम्पियर}}{\text{मीटर}}$
11. चुम्बकन तीव्रता का मान पदार्थ की प्रकृति तथा ताप पर निर्भर करता है।
12. ओरस्टेड
13. $H = ni$
    जहाँ n = परिनालिका के एकांक लम्बाई में फेरों की संख्या है।
14. $\dfrac{\text{एम्पियर}}{\text{मीटर}}$
15. $\mu_r = \dfrac{B}{B_0}$
16. प्रतिचुम्बकीय पदार्थों के लिए $\mu_r < 1$
    अनुचुम्बकीय पदार्थों के लिए $\mu_r > 1$
    लौह चुम्बकीय पदार्थों के लिए $\mu_r >> 1$
17. $\chi_m = \dfrac{I}{H}$
18. $\mu_r = 1 + \chi_m$
19. जस्ता (Zn), तांबा (Cu)
20. लोहा (Fe), निकिल (Ni)
21. 770°C
22. एलनिको (Al – Ni–Co)
23. स्थायी चुम्बक का उपयोग टेलीफोन, वोल्टमीटर, अमीटर, धारामापी, दिक्सूचक, लाउडस्पीकर आदि में होता है।
24. कच्चा लोहा, परमेलॉय।
25. यह लोहा, निकल, तांबा व मैंगनीज (Fe + Ni + Cu + Mn) से बनी मिश्र धातु है।
26. $\dfrac{\text{वेबर}}{\text{मीटर}^2}$ = टेसला
27. M का मात्रक–एम्पियर × मीटर^2
    फलक्स ϕ का मात्रक–वेबर।
28. किसी चुम्बक या चुम्बकीय द्विध्रुव (धारावाही लूप) का चुम्बकीय आघूर्ण M उस प्रत्यानयन बलयुग्म आघूर्ण को कहते हैं, जो चुम्बक पर एकांक समरूपी चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बरूप रखने पर आरोपित होता है।

29. असत्य।

30. यदि एकांक उत्तरी ध्रुव किसी चुम्बकीय क्षेत्र में घूमने फिरने के लिए स्वतंत्र हो, तो वह जिस कल्पित वक्र में घूमेगा, उसे चुम्बकीय बल रेखा कहते हैं।

31. (i) चुम्बकीय याम्योत्तर में चुम्बक का उत्तरी ध्रुव उत्तर की ओर रखने पर उदासीन बिन्दु निरक्ष पर प्राप्त होता है।

(ii) चुम्बकीय याम्योत्तर में चुम्बक का दक्षिणी ध्रुव उत्तर की ओर रखने पर उदासीन बिन्दु अक्ष पर बनता है।

32. चुम्बक के सिरों के निकट के वे बिन्दु जहाँ आकर्षण बल अधिक हों, और जिनमें से होकर चुम्बकीय आकर्षण बलों के परिणामी बल की कार्य रेखा सदैव गुजरती हो, चुम्बकीय ध्रुव कहलाते हैं। गणना के लिए उत्तरी ध्रुव को धनात्मक तथा दक्षिणी ध्रुव को ऋणात्मक लेते हैं।

33. चुम्बक के दोनों ध्रुवों को मिलाने वाली काल्पनिक रेखा को चुम्बकीय अक्ष कहते हैं।

34. किसी बिन्दु पर एक से अधिक चुम्बकीय क्षेत्र इस तरह आरोपित हों कि वे एक-दूसरे को निरस्त कर दें उसे उदासीन बिन्दु कहते हैं।

35. दक्षिणी ध्रुव।

36. 90° पृथ्वी के चुम्बकीय उत्तरी व दक्षिणी ध्रुवों पर।

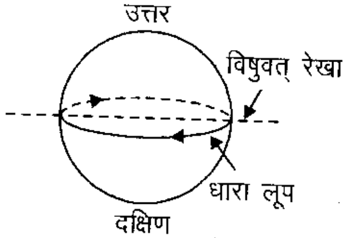
37. सदिश।

38. नेट बल शून्य

बल आघूर्ण $= MB \sin\theta$.

39. (i) दक्षिणी ध्रुव, (ii) पृथ्वी तल की ओर

40.



चित्र से स्पष्ट है कि धारा–लूप पूर्व–पश्चिम तल में (अर्थात् लगभग विषुवत् तल में) होना चाहिए और उत्तर की ओर से देखने पर लूप में धारा की दिशा दक्षिणावर्त होनी चाहिए ताकि लूप का उत्तरी तल दक्षिणी ध्रुव की भांति कार्य करे।

41. सत्य, इस स्थिति में कुण्डली पर बल नहीं बल्कि बल-युग्म लगता है।

42. चुम्बकीय क्षेत्र में लटकाने पर धारा लूप पर लगने वाले बल–युग्म का आघूर्ण (τ) लूप के क्षेत्रफल के अनुक्रमानुपाती होता है। चूंकि एक निश्चित परिमाप के लिये वृत्त का क्षेत्रफल सर्वाधिक होता है, अतः वृत्तीय लूप पर ही सबसे अधिक बल-युग्म लगेगा।

43. धारावाही लूप का व्यवहार एक चुम्बकीय द्विध्रुव की भांति होता है अर्थात् इसको एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर इस पर एक परिणामी बलयुग्म का आघूर्ण कार्य करता है।

44. $\mu = \dfrac{B}{H}$

45. पदार्थ (माध्यम) की चुम्बकशीलता μ तथा निर्वात् की चुम्बकशीलता μ_0 के अनुपात को पदार्थ की आपेक्षिक चुम्बकशीलता कहते हैं।

46. $\chi_m = \dfrac{C}{T}$, जहाँ C नियतांक एवं T परम ताप है।

47. बाह्य धारा व कुण्डली की ज्यामिति पर।

48. स्टील।

49. जिस ताप से अधिक ताप पर लौह–चुम्बकीय पदार्थ अनुचुम्बकीय की तरह व्यवहार करता है, क्यूरी ताप कहलाता है।

50. χ_m एवं μ_r दोनों का कोई मात्रक नहीं है ये शुद्ध संख्याएँ हैं।

51. $B = \mu_0 (H + I)$

52. वे पदार्थ जो चुम्बकीय क्षेत्र से प्रतिकर्षित होते हैं अर्थात् जिन पदार्थों पर बल, अधिक चुम्बकीय क्षेत्र से कम चुम्बकीय क्षेत्र की ओर लगता है ऐसे पदार्थों को प्रति–चुम्बकीय पदार्थ कहते हैं।

53. वे पदार्थ जो चुम्बकीय क्षेत्र से आकर्षित होते हैं अर्थात् जिन पदार्थों पर बल कम चुम्बकीय क्षेत्र से अधिक चुम्बकीय क्षेत्र की ओर लगता है उन्हें अनुचुम्बकीय पदार्थ कहते हैं।

54. वे पदार्थ जो तीव्र बल से चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा आकर्षित होते हैं उन्हें लौह–चुम्बकीय पदार्थ कहते हैं।

उदाहरण–लौहा, निकिल, कोबाल्ट आदि।

55. डोमेन सिद्धान्त के आधार पर।

56. एक छड़ के सिरे को दूसरी की लम्बाई के अनुदिश सरकाने पर, यदि हर जगह समान आकर्षण है तो सरकाई जाने वाली छड़ चुम्बक है। लोहे की छड़ को चुम्बक पर सरकाने पर ध्रुवों के निकट अधिक आकर्षण होगा व केन्द्र में आकर्षण नहीं होगा।

57. लोहे के टुकड़े में डोमेनों के आघूर्ण यादृच्छिक रूप से विभिन्न दिशाओं में होते हैं, जिसके कारण परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण का मान शून्य होता है।

58. प्रति चुम्बकत्व चुम्बकीय क्षेत्र के द्वारा प्रेरण से उत्पन्न होता है जिस पर ताप का प्रभाव नहीं होता।

59. (a) B–H वक्र का क्षेत्रफल I–H वक्र के क्षेत्रफल का μ_0 गुना होता है।

(b) संतृप्त अवस्था में I – H वक्र H अक्ष के समान्तर होता है। अर्थात् I का मान नियत हो जाता है, जबकि B–H वक्र μ_0 प्रवणता की सरल रेखा बन जाती है।

(c) B – H वक्र से हमें μ प्राप्त होता है जबकि I – H वक्र से χ_m का मान प्राप्त होता है।

60. चुम्बकीय प्रेरण से लोहे की वस्तु में चुम्बक के ध्रुव के विपरीत प्रकृति का ध्रुव उत्पन्न हो जाता है।

61. प्रवृत्ति की ताप पर निर्भरता के द्वारा, अनु–चुम्बकीय पदार्थ के लिए $\chi \propto \dfrac{1}{T}$ व लौह–चुम्बकीय पदार्थ के लिए $\chi \propto \dfrac{1}{T - T_C}$

62. लोहे के क्रोड में चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन से भंवर धाराएँ (eddy currents) उत्पन्न हो जाती हैं। इन धाराओं के कारण क्रोड गर्म हो जाता है तथा ऊष्मा के रूप में ऊर्जा का क्षय होता है। पटलित करने पर पटलों के मध्य विद्युतरोधी पदार्थ के कारण प्रतिरोध बढ़ जाता है व भंवर धाराओं की प्रबलता कम हो जाती है और ऊष्मा के रूप में क्षय कम हो जाता है।

विविध उदाहरण

Basic Level

उदा.19. कोई दो समान प्रकृति के चुम्बकीय क्षेत्र जिनकी ध्रुव प्रबलता क्रमशः 16 A-*m* हैं हवा में परस्पर 1.2 *cm* दूरी पर स्थित हैं। इन दोनों के ध्रुवों को मिलाने वाली रेखा पर इकाई ध्रुव प्रबलता को

कहाँ रखें कि उस पर उत्पन्न परिणामी बल शून्य हो।

हल– $m_1 = 16$ A-m, $m_2 = 64$ A-m, $r = 1.2\ m$, F = 0

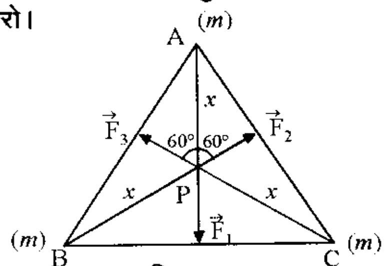
माना कि 16 A-m के ध्रुव से x दूरी पर स्थित इकाई ध्रुव पर दोनों ध्रुवों के कारण उत्पन्न चुम्बकीय बल बराबर व विपरीत हैं अर्थात् परिणामी चुम्बकीय बल शून्य है।

$$\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{16\times1}{x^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{64\times1}{(1.2-x)^2}$$

या $4x^2 = (1.2-x)^2$

या $2x = 1.2 - x \quad \therefore\ x = 0.4\ m$

उदा.20. 10 A-m ध्रुव प्रबलता के तीन एकसमान उत्तरी ध्रुव 20 cm भुजा के किसी समबाहु त्रिभुज के तीनों कोनों पर स्थित हैं। इसके केन्द्रक पर स्थित इकाई उत्तरी ध्रुव पर परिणामी चुम्बकीय बल की गणना करो।



चित्र 8.50

हल– $m_1 = m_2 = m_3 = m = 10$ A-m,

माना कि AP = BP = CP = x

यहाँ केन्द्रक पर चित्र के अनुसार चुम्बकीय बल कार्य करेंगे, जहाँ F_1 व F_2 के BC के समान्तर घटक एक दूसरे को निरस्त कर देंगे क्योंकि वे बराबर परन्तु विपरीत दिशा में हैं। BC के लम्बवत् इनके घटक एक ही दिशा में हैं अतः इनका परिणामी मान

$$F_{23} = 2\times\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m\times1}{x^2}\times\cos60^\circ$$

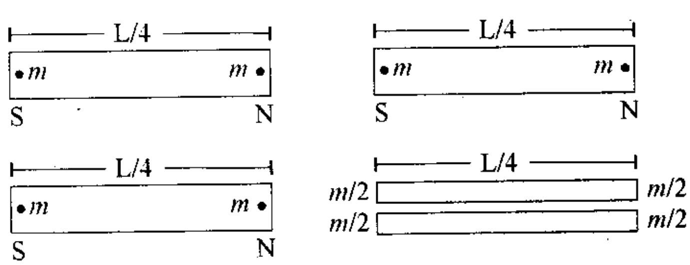
या $$F_{23} = 2\times\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{x^2}\times\frac{1}{2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{x^2} \quad ...(1)$$

इसी प्रकार $$F_1 = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m\times1}{x^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{x^2} \quad ...(2)$$

यहाँ F_1 व F_{23} बराबर व विपरीत हैं अतः P पर परिणामी चुम्बकीय बल शून्य होगा।

उदा.21. L प्रभावकारी लम्बाई व m ध्रुव प्रबलता का एक छड़ चुम्बक है। इसे लम्बाई के लम्बवत् चार समान भागों में काट दिया जाता है। अब किसी एक भाग को चौड़ाई के लम्बवत् काट दें तो इस प्रकार कटे किसी एक भाग के चुम्बकीय आघूर्ण की गणना करो।

हल–



चित्र 8.51

काटने के बाद

चित्र से, $M' = \left(\frac{m}{2}\right)\left(\frac{L}{4}\right) = \frac{mL}{8} = \frac{M}{8}$, अर्थात् $\frac{1}{8}$ हो जाएगा

उदा.22. 10 cm व्यास की दो संकेन्द्रीय वृत्ताकार कुण्डलियों जिनके तल परस्पर लम्बवत् है में $\sqrt{2}$ A की धारा है। इस निकाय के परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण की गणना करो।

हल– $\vec{M} = \vec{M_1} + \vec{M_2}$ $\qquad |\vec{M}| = |\vec{M_1} + \vec{M_2}|$

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \sqrt{2M_1^2}$$

$= \sqrt{2}M_1 \qquad \because M_1 = IA = I\pi r^2$

$= \sqrt{2}\ I\pi r^2 = \sqrt{2}\times\sqrt{2}\times3.14\times(0.5)^2$

$= 1.57\times10^{-2}\ A-m^2$

उदा.23. विषुवत रेखा पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण लगभग 0.4G है। पृथ्वी के चुंबक के द्विध्रुव आघूर्ण की गणना कीजिए।

हल– दिया है– $B_{\text{निरक्ष}} = 0.4$ गाउस $= 4\times10^{-5}$ टेसला,

पृथ्वी की त्रिज्या $r = 6.4\times10^6$ मी.

$$\because \quad B_{\text{निरक्ष}} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{M}{r^3} \Rightarrow M = \frac{4\pi}{\mu_0}\times B_{\text{निरक्ष}}\times r^3$$

अतः $$M = \frac{4\times10^{-5}\times(6.4\times10^6)^3}{10^{-7}} = 1.05\times10^{23} \text{ एम्पियर-मी}^2$$

उदा. 24. 5cm लंबाई के छड़ चुंबक के केंद्र से 50cm 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 है।

हल– दिया है– $r = 50$ सेमी $= 50\times10^{-2}$ मी., $M = 0.40$ एम्पियर-मी^{2}

$l = 5$ सेमी.

$\because \quad l << r$ अतः

$$B_{\text{अक्ष}} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{2M}{r^3} = \frac{2\times10^{-7}\times0.40}{(0.5)^3}$$

$$= \frac{8\times10^{-8}}{1.25\times10^{-1}} = 6.4\times10^{-7} \text{ टेसला}$$

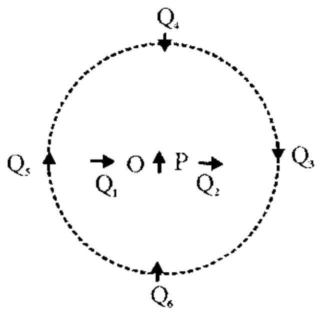
$$B_{\text{निरक्ष}} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{M}{r^3} = \frac{B_{\text{अक्ष}}}{2} = \frac{6.4\times10^{-7}}{2} = 3.2\times10^{-7} \text{ टेसला}$$

उदा.25. चित्र 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 के 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: 5.52

हल- दो चुम्बकीय द्विध्रुवों के निकाय की स्थितिज ऊर्जा, एक चुम्बकीय द्विध्रुव के चुम्बकीय क्षेत्र में, दूसरे चुम्बकीय द्विध्रुव की स्थिति पर निर्भर करती है।

किसी चुम्बकीय द्विध्रुव (माना P) के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रताएँ

$$(B_p)_{निरक्ष} = -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3} \quad तथा (B_p)_{अक्ष} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3}$$

जब इस चुम्बकीय क्षेत्र में दूसरे चुम्बकीय द्विध्रुव Q को इस प्रकार रखा जाता है कि B_p एवं M_Q परस्पर समान्तर है तो निकाय की स्थितिज ऊर्जा न्यूनतम होगी तथा निकाय स्थायी संतुलन में होगा, ये स्थितियाँ Q_3 एवं Q_6 पर हैं जबकि जब Q को इस प्रकार रखा जायेगा कि B_p एवं M_Q परस्पर प्रति समान्तर हो तो निकाय की स्थितिज ऊर्जा अधिकतम होगी तथा निकाय में अस्थायी संतुलन में होगा। ये स्थिति Q_5 एवं Q_4 पर हैं अत:

(i) PQ_1 एवं PQ_2 स्थिति में निकाय असंतुलन में होगा।

(ii) PQ_3 एवं PQ_6 स्थिति में निकाय स्थायी संतुलन में होगा।

(iii) PQ_4 एवं PQ_5 स्थिति में निकाय अस्थायी संतुलन में होगा।

(iv) दिए गए सभी विन्यासों में न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा PQ_6 विन्यास में होगी।

उदा.26. **(a) क्या होता है जबकि**

(i) 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?

(ii) क्या प्रत्येक चुंबकीय विन्यास का एक उत्तरी और एक दक्षिणी ध्रुव होना आवश्यक है? एक टोरॉइड के चुंबकीय क्षेत्र के संबंध में इस विषय में अपनी टिप्पणी दीजिए।

(iii) 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 चुंबकित हैं या केवल एक? और यदि केवल एक छड़ चुंबकित 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-

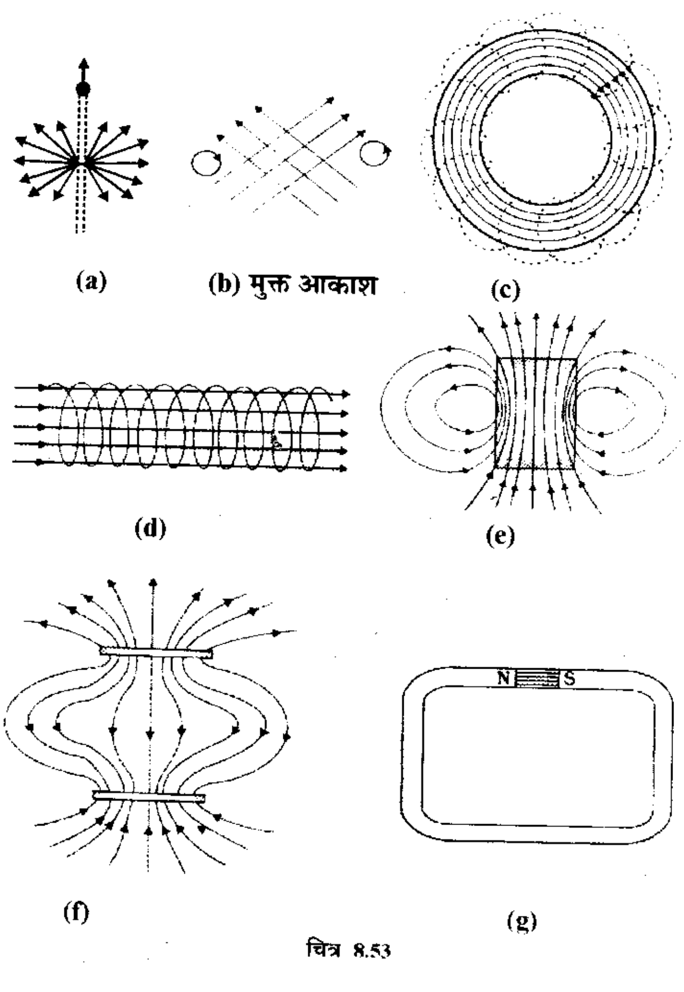
(i) छड़ चुम्बक पर एकसमान क्षेत्र में कोई बल कार्य नहीं करता। परंतु छड़ चुम्बक के पास स्थित लोहे की कील में चुम्बकीय प्रेरण के कारण परस्पर विपरीत ध्रुव एक-दूसरे के अधिक निकट होते हैं तथा नेट आकर्षण बल कार्य करता है। साथ ही कील पर छड़ चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र असमान आरोपित होता है फलत: परिणामी बल एवं बलाघूर्ण दोनों कार्य करते हैं।

(ii) नहीं, यह आवश्यक नहीं है, ऐसा तभी होता है जबकि चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करने वाले स्रोत का परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य न हो। टोरॉइड एवं अनन्त लम्बाई की परिनालिका के लिए ऐसा नहीं होता।

(iii) (1) चुम्बकत्व के परीक्षण का विश्वसनीय आधार प्रतिकर्षण है, यदि दोनों छड़ों के अलग-अलग सिरों को बारी-बारी से एक दूसरे के निकट लाने पर किसी स्थिति में इनके मध्य प्रतिकर्षण बल का अनुभव हो तो निश्चित रूप से दोनों छड़ें चुम्बक हैं तथा यदि प्रत्येक स्थिति में केवल आकर्षण बल का अनुभव हो तो उनमें से एक छड़ चुम्बकित नहीं है।

(2) यह पहचान करने के लिए कि इनमें से कौन सी छड़ चुम्बकित हैं तथा कौनसी सामान्य, हम इनमें से किसी एक छड़ को स्थिर रखकर दूसरी छड़ को इसके चारों ओर घुमाते हैं, यदि पूरे चक्र में सिरों पर तथा बीच में बल बराबर कार्य करे तो घुमायी जाने वाली छड़ चुम्बकित हैं एवं स्थिर छड़ चुम्बकित नहीं है। जबकि यदि सिरों पर बल अधिक तथा मध्य में बल कम कार्य करें तो स्थिर छड़ चुम्बकित है एवं घुमायी जाने वाली छड़ चुम्बकित नहीं है।

उदा.27. **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 दर्शायी गई हैं। बताइए, वे कौन से चित्र हैं?**



चित्र 8.53

हल-(a) चुम्बकीय बल रेखाएँ, एक बिन्दु से इस प्रकार नहीं निकल सकती, साथ ही किसी बन्द सतह पर कुल चुम्बकीय फ्लक्स सदैव शून्य ही होना चाहिए अर्थात् उसमें जितनी चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ प्रवेश करे उतनी ही बाहर निकलनी चाहिए। सीधे धारावाही चालक तार की चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ तार के चारों ओर सकेन्द्रीय वृत्तों के रूप में होती हैं। अत: चित्र में प्रदर्शित चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ गलत हैं।

वास्तव में ये रेखाएँ लम्बे धनावेशित तार के विद्युत क्षेत्र को व्यक्त करती हैं।

(b) चित्र में चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ परस्पर काट रही है जो कि असंभव है, इसके अतिरिक्त चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ, बन्द लूप का निर्माण उसी क्षेत्र के चारों ओर करती हैं जिसमें से होकर धारा प्रवाहित हो रही हो, ये मुक्त आकाश में बन्द लूप का निर्माण नहीं करती। अत: चित्र में प्रदर्शित चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ गलत हैं।

(c) चित्र में एक टोरॉइड में समाहित चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ प्रदर्शित की गई हैं जो कि पूर्णत: सही हैं।

(d) चित्र में परिनालिका की चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ प्रदर्शित की गई हैं परन्तु परिनालिका के सिरों पर इन्हें वक्रित होना चाहिए तथा अन्त में मिलकर बन्द लूप का निर्माण करना चाहिए, अन्यथा एम्पियर के नियम का पालन नहीं होगा, जबकि चित्र में इन्हें बिल्कुल सीधी दिखाया गया है, अत: चित्र में प्रदर्शित चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ गलत हैं।

(e) चित्र में एक छड़ चुम्बक के बाहर एवं अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं का सही निरुपण किया गया है अत: चित्र में प्रदर्शित क्षेत्र रेखाएँ सही हैं।

(f) चित्र में प्रदर्शित क्षेत्र रेखाएँ (ऊपर एवं नीचे की ओर), ऊपरी प्लेट से निकलती हुई प्रदर्शित की गई हैं फलत: ऊपरी प्लेट को घेरने वाली सतह से निर्गत कुल फ्लक्स शून्य नहीं होगा अत: ये क्षेत्र रेखाएँ, चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं को प्रदर्शित नहीं करती। वास्तव में ये ऊपरी प्लेट धनावेशित तथा निचली प्लेट ऋणावेशित के मध्य स्थिर विद्युत बल रेखाएँ हैं।

(g) यह चित्र भी गलत है। दो चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य, सिरों पर चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ, सीधी रेखा नहीं हो सकती, इनमें कुछ फैलाव निश्चित रूप से होगा।

उदा.28.(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) नहीं, आवेशित कण पर बल $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ सदैव चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् होता है।

(b) क्योंकि चुम्बकीय क्षेत्र का किसी बन्द सतह से गुजरने वाला फ्लक्स सदैव शून्य होता है। यदि परिनालिका की क्षेत्र रेखाएँ केवल एक सिरे से दूसरे सिरे के मध्य सीमित होती तो ये बन्द लूपों का निर्माण नहीं करती तथा सिरों के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल से गुजरने वाला फ्लक्स शून्य नहीं होता। टोरॉइड में कोई सिरा स्थित नहीं होता तथा इसके अन्दर स्थित चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ बन्द लूपों का निर्माण कर लेती है।

(c) यदि एकल चुम्बकीय ध्रुव का अस्तित्व होता तो किसी बन्द सतह से गुजरने वाला चुम्बकीय फ्लक्स सदैव शून्य नहीं होता वरन् यह बन्द सतह द्वारा परिबद्ध कुल चुम्बकीय आवेश (ध्रुव प्राबल्य) के समानुपाती होता अर्थात् किसी बन्द सतह S के लिए गाउस नियम

$\int_S \vec{B}.d\vec{S} = \mu_0 \Sigma m = \mu_0 \Sigma q_m$ के रूप में होता न कि $\int_S \vec{B}.d\vec{S} = 0$

यहाँ $\Sigma m = \Sigma q_m$ सतह S द्वारा परिबद्ध चुम्बकीय आवेश है।

(d) नहीं, छड़ चुम्बक के कारण तथा धारावाही अल्पांश के कारण स्वयं पर. बल एवं बलाघूर्ण नहीं लगता परंतु धारावाही तार के एक अल्पांश के कारण दूसरे अल्पांशों पर बल एवं बलाघूर्ण कार्य कर सकता है यदि तार सीधा नहीं है। तार के सीधा होने पर एक अल्पांश के कारण अन्य अल्पांश स्थितियों पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र शून्य होता है तथा कोई बल कार्य नहीं करता।

(e) हाँ संभव है जैसे अनुचुम्बकीय पदार्थों में परमाणुओं का नेट आवेश शून्य है परंतु धारा लूपों के चुम्बकीय आघूर्णों का औसत शून्य नहीं होता।

उदा.29. एक 0.075 *kg* द्रव्यमान वाले चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण 8×10^{-7} A-m^2 है। चुम्बक के पदार्थ का घनत्व 7500 kg/m^3 है तो उसका चुम्बकन ज्ञात करो।

हल- $m = 0.075\ kg$, कुल चुम्बकीय आघूर्ण $M = 8\times10^{-7}$ A–m^2

$\rho = 7500\ kg/m^3$

$\because$ चुम्बकन $I = M/V$ $\because$ घनत्व $\rho = m/V$

$\therefore\ V = m/\rho$

अत: $I = \dfrac{M}{m/\rho} = \dfrac{M}{m}\rho = \dfrac{8\times10^{-7}}{.075}\times 7500$

$= 8 \times 10^{-2}$ A/m

उदा.30. लौह-चुम्बकीय पदार्थ की एक रोलेंड रिंग पर लिपटे तारों की संख्या 10^3 प्रति मी है। कुण्डली से 2.0 एम्पियर की धारा प्रवाहित करने पर उसके अन्दर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र 10 वेबर/मी^{2} है। यदि $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ वेबर/एम्पियर-मीटर है तो

(i) चुम्बकन बल

(ii) चुम्बकन तीव्रता तथा

(iii) पदार्थ की आपेक्षिक पारगम्यता μ_r की गणना कीजिये।

हल– प्रश्नानुसार,

$n = 10^3$ प्रति मी., $i = 2.0$ एम्पियर

$B = 10$ वेबर/मी^{2} तथा

$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ हेनरी/मी.

रोलेंड रिंग (टोरॉइड) में $B = \mu ni$

$\therefore\ \mu = \dfrac{B}{ni} = \dfrac{10}{10^3 \times 2} = 5 \times 10^{-3}$ हेनरी/मी

अत: आपेक्षिक पारगम्यता

$\mu_r = \dfrac{\mu}{\mu_o} = \dfrac{5\times10^{-3}}{4\pi\times10^{-7}} = 3.978 \times 10^3$

चुम्बकन बल $H = \dfrac{B}{\mu} = ni = 10^3 \times 2 = 2 \times 10^3$ एम्पियर/मी

चुम्बकीय प्रवृत्ति $\chi_m = \dfrac{I}{H} = (\mu_r - 1) = (3978 - 1) = 3977$

$\therefore$ चुम्बकन तीव्रता $I = \chi_m H$

$= 3977 \times 2 \times 10^3 = 7.954 \times 10^6$ एम्पियर/मी

उदा.31. एक 4000 एम्पियर/मी का चुम्बकन क्षेत्र एक लोहे की छड़ में 25×10^{-6} वेबर का चुम्बकीय फ्लक्स उत्पन्न करता है। यदि छड़ का अनुप्रस्थ काट 0.25 सेमी^{2} हो, तो लोहे की पारगम्यता और छड़ की चुम्बकन तीव्रता ज्ञात कीजिये।

हल– $H = 4000$ एम्पियर/मी,

$\phi = 25 \times 10^{-6}$ वेबर

$A = 0.25$ सेमी^{2} $= 0.25 \times 10^{-4}$ मी^{2}

फ्लक्स घनत्व– $B = \dfrac{\phi}{A} = \dfrac{25 \times 10^{-6}}{0.25 \times 10^{-4}} = 1$ वेबर/मी^{2}

$\therefore \quad \mu = \dfrac{B}{H} = \dfrac{1}{4000} = 2.5 \times 10^{-4}$ वेबर/एम्पियर–मी

$$I = \frac{B}{\mu_o} - H$$

$$= \frac{1}{12.57 \times 10^{-7}} - 4000$$

$= 7.916 \times 10^5$ एम्पियर/मी

उदा.32. 2×10^3 एम्पियर/मी का चुम्बकीय क्षेत्र एक लोहे की छड़ में 6.28×10^{-4} वेबर का चुम्बकीय फ्लक्स उत्पन्न करता है। छड़ का काट क्षेत्र 2×10^{-5} मी.^{2} है। छड़ की आपेक्षिक पारगम्यता तथा चुम्बकन तीव्रता ज्ञात कीजिये।

हल– प्रश्नानुसार, $H = 2 \times 10^3$ एम्पियर/मी.,

$\phi = 6.28 \times 10^{-4}$ वेबर,

$A = 2 \times 10^{-5}$ मी^{2}

$\therefore$ फ्लक्स घनत्व $B = \dfrac{\phi}{A} = \dfrac{6.28 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-5}} = 31.4$ वेबर/मी^{2}

पारगम्यता $\mu = \dfrac{B}{H}$ तथा

आपेक्षिक पारगम्यता $\mu_r = \dfrac{\mu}{\mu_o}$

$$\therefore \quad \mu_r = \frac{B}{\mu_o H} = \frac{31.4}{12.57 \times 10^{-7} \times 2 \times 10^3} = 1.25 \times 10^4$$

चुम्बकन तीव्रता $I = \dfrac{B}{\mu_o} - H$ [क्योंकि $B = \mu_o (H + I)$]

$$= \frac{31.4}{4\pi \times 10^{-7}} - 2 \times 10^3$$

$= 2.5 \times 10^7 - 2 \times 10^3$

$= (25000 - 2) \times 10^3$

$= 24998 \times 10^3 = 2.5 \times 10^7$ एम्पियर/मी

उदा.33. एक छड़ चुम्बक को एक समान चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् रखा गया है। यदि चुम्बक को घुमाने पर उसका बल आघूर्ण पूर्व का आधा रह जाता है तब इसे कितने कोण से घुमाया गया है?

हल– $\because$ बल आघूर्ण $\tau = MB \sin\theta$

$\Rightarrow \quad \tau \propto \sin\theta$

$$\Rightarrow \quad \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\tau}{\tau/2} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta_2}$$

$$\Rightarrow \quad \sin\theta_2 = \frac{1}{2} = \sin 30^\circ$$

$\Rightarrow \quad \theta_2 = 30^\circ$

अतः घूर्णन कोण $= 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

उदा.34. एक छोटा चुम्बक जिसका चुम्बकीय आघूर्ण 6.75 एम्पियर×मी^{2} है। इसके अक्ष पर उदासीन बिन्दु प्राप्त होता है यदि पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का क्षैतिज घटक 5×10^{-5} वेबर/मी^{2} है तब उदासीन बिन्दु की दूरी ज्ञात कीजिए।

हल– उदासीन बिन्दु की स्थिति पर चुम्बक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण = पृथ्वी के कारण चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण

$$\Rightarrow \quad \frac{\mu_0 M}{2\pi r^3} = 5 \times 10^{-5}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 6.75}{2\pi \times r^3} = 5 \times 10^{-5}$$

$\Rightarrow \quad r = 0.3$ मीटर

उदा.35. नर्म लौहे के लिए प्रति चक्र प्रति एकांक आयतन शैथिल्य ह्रास 10^3 जूल है। लौहे का घनत्व 7.5 ग्राम/सेमी.^{3} है तथा उसकी विशिष्ट ऊष्मा 100 कैलोरी/किग्रा. °C है। यदि लौहे के प्रतिदर्श को 50 Hz के प्रत्यावर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा गया हो तो प्रति मिनट उसके ताप में वृद्धि कितनी होगी ?

हल– $Q = VnAt = ms\Delta\theta J$

जहाँ $\Delta\theta$ ताप में वृद्धि तथा J ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक है।

$$\Rightarrow \quad \frac{m}{d} nAt = ms\Delta\theta J$$

$$\Rightarrow \quad \Delta\theta = \frac{nAt}{sJd}$$

$$= \frac{50 \times 10^3 \times 60}{100 \times 4.2 \times 7.5 \times 10^3} = 0.95^\circ C$$

उदा.36. लौह चुम्बकीय पदार्थ के नमूने का द्रव्यमान 0.6 किग्रा तथा घनत्व 7.8×10^3 किग्रा/मी^{3} है। यदि 50 Hz आवृति वाले प्रत्यावर्ती चुम्बकन क्षेत्र में शैथिल्य पाश का क्षेत्रफल 0.65 m^2 हो तो प्रति सेकण्ड शैथिल्य हानि की गणना करो।

हल– $Q = VAnt \quad \because V = \dfrac{M}{\rho},\ t = 1$ सेकण्ड

$$= \frac{0.6}{7.8 \times 10^3} \times 0.65 \times 50 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ J}$$

$= \dfrac{2.5 \times 10^{-3}}{4.28}$ कैलोरी

$= 0.598 \times 10^{-3}$ कैलोरी

Advance Level

उदा.37. लोहे की एक छड़ (5 सेमी × 1 सेमी × 1 सेमी) में एक परमाणु का चुम्बकीय आघूर्ण 1.8×10^{-23} एम्पियर-मीटर^2 है। छड़ का

चुम्बकीय संतृप्ति की अवस्था में चुम्बकीय आघूर्ण कितना होगा ? छड़ को 15,000 गाउस के बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र के लम्बवत् रखने के लिये कितना बल-आघूर्ण लगाना होगा ? लोहे का घनत्व = 7.8 ग्राम/सेमी^{3}, परमाणु-भार = 56 तथा आवोगाद्रो संख्या = 6.02×10^{23}, 1 गाउस = 10^{-4} न्यूटन/(एम्पियर-मीटर)।

हल– लोहे की छड़ का द्रव्यमान = (आयतन × घनत्व)

= 5 × 7.8 = 39 ग्राम

आवोगाद्रो के नियमानुसार, 56 ग्राम लोहे में 6.02×10^{23} परमाणु हैं। अतः छड़ (39 ग्राम) में परमाणुओं की संख्या

$$= \frac{(6.02 \times 10^{23}) \times 39}{56} = 4.19 \times 10^{23}$$

चूंकि एक परमाणु का चुम्बकीय आघूर्ण 1.8×10^{-23} एम्पियर-मी^{2} है, अतः चुम्बकीय सृंतप्ति की अवस्था में छड़ का चुम्बकीय आघूर्ण

M= $(1.8 \times 10^{-23}) \times (4.19 \times 10^{23}) = 7.54$ एम्पियर-मीटर^2

बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र B के लम्बवत् रखने पर बल–आघूर्ण

$\tau = MB = 7.54 \times (15000 \times 10^{-4}) = 11.3$ न्यूटन-मीटर

उदा.38. लोहे के परमाणु का चुम्बकीय आघूर्ण 1.8×10^{-23} एम्पियर-मी^{2} होता है। 5 सेमी लम्बी तथा 1 वर्ग सेमी काट-क्षेत्र की लोहे की छड़ का संतृप्ति चुम्बकीय आघूर्ण क्या होगा? लोहे का परमाणु भार 56 तथा घनत्व 7.6 ग्राम/सेमी^{3} है।

हल– संतृप्ति अवस्था में सभी परमाणुओं के चुम्बकीय आघूर्णों का चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में संरेखण होगा अतः यदि N परमाणु है व प्रत्येक का चुम्बकीय आघूर्ण M' है, तो छड़ का चुम्बकीय आघूर्ण

M = NM'

छड़ का आयतन = 5 ×1 = 5 सेमी^{3}

∴ छड़ का द्रव्यमान = 5 × 7.6 = 38 ग्राम

लोहे के 56 ग्राम में परमाणुओं की संख्या

= 6.02×10^{23} (आवोगाद्रो संख्या)

∴ 38 ग्राम में परमाणुओं की संख्या $N = \frac{6.02 \times 10^{23}}{56} \times 38$

$= 4.085 \times 10^{23}$

$M = 4.085 \times 10^{23} \times 1.8 \times 10^{-23}$

= 7.353 एम्पियर–मी.^{2}

पाठ्यपुस्तक के प्रश्न-उत्तर

वस्तुनिष्ठ 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 प्रवृति 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 × 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) अचुम्बकीय (ब) प्रति चुम्बकीय

(स) अनुचुम्बकीय (द) अधिक लौह चुम्बकीय

उत्तरमाला

1.(स)	2.(ब)	3.(स)	[illegible]	[illegible]
6.(द)	7.(ब)	8.(स)	[illegible]	[illegible]
11.(ब)	12.(द)	13.(ब)	[illegible]	[illegible]

हल एवं संकेत (वस्तुनिष्ठ प्रश्न)

1.(स) $F = \frac{\mu_0 m_1 m_2}{4\pi r^2}$

$F = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1}{4\pi \times 1^2}$

$= 10^{-7}$ N

2.(ब) $\chi_m = \mu_r - 1$

(अतिचालक पदार्थों के लिए $\mu_r = 0$)

या $\chi_m = 0 - 1$

या $\chi_m = -1$

3.(स) $\chi_m = \mu_r - 1$

(मुक्त आकाश के लिए $\mu_r = 1$)

∴ $\chi_m = 1 - 1$

$\chi_m = 0$

4.(स)

5.(ब) $\mu_r = 1.00001$

या $\mu_r > 1$, अनुचुम्बकीय पदार्थ

6.(द) ∵ M = I.A.

= एम्पियर × मीटर^2

= Am^2

7.(ब) $Wb \times \frac{A}{m} = \frac{Wb}{m^2} \times A \times m$

= चुम्बकीय क्षेत्र का मात्रक × ध्रुव प्रबलता का मात्रक

= बल का मात्रक

= न्यूटन (N)

8.(स) ∵ स्थिर आवेश किसी भी प्रकार का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न नहीं करता है।

9.(अ) ∵ प्रतिचुम्बकीय का गुण आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र और इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय गति की अन्योन्य क्रिया द्वारा उत्पन्न होता है।

10.(ब)

11.(ब) लौह चुम्बकीय पदार्थों के लिए, $\mu_r >> 1$

12.(द)

13.(ब)

14.([illegible])

15.([illegible])

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

प्र.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?

उत्तर– चुम्बकीय सुई उर्ध्वाधर दिशा में संकेत करेगी, क्योंकि भूचुम्बकीय ध्रुवों पर नतिकोण का मान 90° होता है।

प्र.2. चुम्बकीय पदार्थ के प्रकार का नाम लिखो, जिसका व्यवहार साधारण ताप में परिवर्तन पर निर्भर नहीं करता।

उत्तर– प्रतिचुम्बकीय पदार्थ

प्र.3. चुम्बकीय विषुवत रेखा से ध्रुवों की ओर जाने पर नति कोण में किस प्रकार परिवर्तन होता है?

उत्तर– चुम्बकीय विषुवत रेखा से ध्रुवों की ओर जाने पर नतिकोण का मान 0° से 90° तक बढ़ता है।

प्र.4. एक पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृत्ति **–0.085** है, यह किस प्रकार का चुम्बकीय पदार्थ है?

उत्तर– चुम्बकीय प्रवृत्ति $\chi_m = -0.085$ जो ऋणात्मक एवं बहुत कम है, अत: वह पदार्थ प्रतिचुम्बकीय पदार्थ है।

प्र.5. धारणशीलता किसे कहते है?

उत्तर– पदार्थ में चुम्बकन क्षेत्र हटाने के बाद चुम्बकत्व के शेष रह जाने के गुण को धारणशीलता (Retentivity) कहते हैं।

प्र.6. अनुचुम्बकीय पदार्थों के दो उदाहरण दीजिए।

उत्तर– एल्युमिनियम, क्रोमियम।

प्र.7. चुम्बकीय याम्योत्तर किसे कहते हैं?

उत्तर– चुम्बकीय याम्योत्तर वह काल्पनिक ऊर्ध्वाधर तल है, जो स्वतंत्रतापूर्वक लटके हुए चुम्बक या कीलकित चुम्बकीय सुई की ठहरी हुई अवस्था में उसकी अक्ष से गुजरता है। इस तल के समान्तर खींचे जा सकने वाले अन्य तल भी चुम्बकीय याम्योत्तर कहलाते हैं।

प्र.8. पृथ्वी पर नति कोण के मान **0°** और **90°** कहाँ होते है?

उत्तर– नतिकोण का मान 0° भूचुम्बकीय विषुवत रेखा पर तथा 90° भूचुम्बकीय ध्रुवों पर होता है।

प्र.9. माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता तथा चुम्बकीय प्रवृत्ति में सम्बन्ध लिखो।

उत्तर– $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$

जहाँ, μ माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता, μ_0 निर्वात की चुम्बकीय पारगम्यता तथा χ_m माध्यम की चुम्बकीय प्रवृत्ति है।

प्र.10. ध्रुव सामर्थ्य का मात्रक लिखो।

उत्तर– ध्रुव सामर्थ्य का मात्रक : एम्पियर मीटर (Am)

प्र.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?

उत्तर– $\frac{B_V}{B_H} = \frac{1}{\sqrt{3}}$

या $\frac{B\sin\theta}{B\cos\theta} = \frac{1}{\sqrt{3}}$

$\Rightarrow \tan\theta = \frac{1}{\sqrt{3}} = \tan 30°$

∴ नति कोण $\theta = 30°$

प्र.12. चुम्बकीय शैथिल्य क्या है?

उत्तर–लौह चुम्बकीय पदार्थों के लिए चुम्बकन तीव्रता (I) के चुम्बकन क्षेत्र (H) से पीछे रह जाने की प्रवृत्ति चुम्बकीय शैथिल्य कहलाती है।

प्र.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?

उत्तर–

$$\frac{B_a}{B_e} = \frac{\frac{\mu_0.2M}{4\pi r^3}}{\frac{\mu_0.M}{4\pi r^3}} = \frac{2}{1}$$

या $B_a : B_e = 2 : 1$

प्र.14. उस स्थान पर नति कोण का मान क्या होगा जहाँ पर पृथ्वी के क्षैतिज तथा ऊर्ध्वाधर घटक समान हैं?

उत्तर–नतिकोण 45° होगा

क्योंकि $B_V = B_H$

$\Rightarrow$ $B\sin\theta = B\cos\theta$

$\tan\theta = 1 = \tan 45°$

$\therefore$ $\theta = 45°$

प्र.15. किसी दण्ड चुम्बक को उसकी लम्बाई के अनुदिश दो समान भागों में काट दिया जाए तो उसके चुम्बकीय आघूर्ण में क्या परिवर्तन होगा?

उत्तर–जब किसी दण्ड चुम्बक को उसकी लम्बाई के अनुदिश दो समान भागों में काट दिया जाए तो उसका चुम्बकीय आघूर्ण आधा रह जायेगा।

$\because$ $M' = \frac{m}{2} \times L$

या $M' = \frac{M}{2}$

लघुत्तरात्मक प्रश्न–

प्र.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।

उत्तर– अनुच्छेद 8.7 पर देखें।

प्र.2. अनुचुम्बकीय तथा प्रतिचुम्बकीय पदार्थों की छड़ों की किस प्रकार पहचान करेंगे?

उत्तर– जब अनुचुम्बकीय पदार्थ एवं प्रति चुम्बकीय पदार्थ की दो छड़ों की परस्पर पहचान करनी हो, तो दोनों छड़ों को चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतंत्रतापूर्वक लटकाते हैं। अनुचुम्बकीय पदार्थ की छड़ चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में आने का प्रयास करती है, जबकि प्रतिचुम्बकीय पदार्थ की छड़ चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् होने का प्रयास करती है। इसी अन्तर के आधार पर उनकी पहचान की जा सकती है।

प्र.3. किसी दण्ड चुम्बक के लिए दो उदासीन बिन्दु क्यों प्राप्त होते हैं? क्या एक उदासीन बिन्दु भी प्राप्त हो सकता है, कैसे?

उत्तर– जब कोई दण्ड चुम्बक पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में स्थापित किया जाता है, तो उसके चारों ओर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र में कुछ ऐसे बिन्दु प्राप्त होते हैं, जहाँ पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक, उस चुम्बक द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के साथ संतुलित होकर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र का मान शून्य बना देता है, ऐसे बिन्दु उदासीन बिन्दु कहलाते हैं। इन बिन्दुओं (या स्थान) पर कोई चुम्बकीय बल रेखा उपस्थित नहीं होती है। जब चुम्बक को चुम्बकीय याम्योत्तर की दिशा में इस प्रकार रखते हैं, कि क्षैतिज तल में उसका दक्षिणी ध्रुव चुम्बकीय उत्तर दिशा की ओर हो, तो उसकी अक्ष पर चुम्बक के मध्य से दोनों ओर ऐसे दो उदासीन बिन्दु समान दूरी पर प्राप्त होते हैं, किन्तु जब चुम्बक को चुम्बकीय याम्योत्तर की दिशा में इस प्रकार रखते हैं, कि क्षैतिज तल में उसका उत्तरी ध्रुव चुम्बकीय उत्तर दिशा की ओर हो, तो उसकी निरक्ष रेखा पर चुम्बक के मध्य से दोनों ओर समान दूरी पर दो उदासीन बिन्दु प्राप्त होते हैं। अत: जब भी दण्ड चुम्बक क्षैतिज तल में किसी भी स्थिति में होगा उसके मध्य बिन्दु से दोनों ओर सममिति से दो उदासीन बिन्दु अवश्य प्राप्त होंगे। हाँ, केवल एक उदासीन बिन्दु भी किसी दण्ड चुम्बक से प्राप्त किया जा सकता है, उसके लिए चुम्बक को क्षैतिज तल पर ऊर्ध्वाधर खड़ा किया जाता है। पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र दक्षिण से उत्तर दिशा की ओर होता है, जबकि चुम्बक के एकल ध्रुव का चुम्बकीय क्षेत्र त्रिज्यीय होता है, अत: यदि चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को तल पर टिकाकर ऊर्ध्वाधर खड़ा करें, तब दोनों के चुम्बकीय क्षेत्र केवल एक बिन्दु पर संतुलित होंगे जो चुम्बक के दक्षिण दिशा में होगा। अत: केवल यही एक बिन्दु उदासीन बिन्दु होगा।

प्र.4. विद्युत चुम्बक बनाने में नर्म लोहे का उपयोग क्यों किया जाता है?

उत्तर–विद्युत चुम्बक बनाने के लिए अधिक धारणशीलता, कम निग्राहिता, उच्च चुम्बकीय पारगम्यता, कम शैथिल्य हानि (शैथिल्य वक्र का क्षेत्रफल कम) एवं उच्च चुम्बकीय प्रेरण युक्त क्रोड़ पदार्थ होना चाहिए, जिसके लिए नर्म लोहा, ये सभी गुण रखने के कारण, उपयोग में लिया जाता है।

प्र.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?

उत्तर–प्रश्नानुसार एक दण्ड चुम्बक एक समान चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर स्थित है एवं इसका चुम्बकीय आघूर्ण $\vec{M}$ है। अत: कार्यकारी बल आघूर्ण $\tau = MB\sin\theta$ के अधीन $d\theta$ घुमाने के लिए सम्पन्न कार्य

$$dW = \tau d\theta$$
$$dW = MB\sin\theta d\theta$$

चुम्बकीय आघूर्ण को चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् करने के लिए दण्ड चुम्बक को $\theta = 0°$ से $\theta = 90°$ तक घुमाना होगा, तब कुल सम्पन्न कार्य

$$W = \int_{0°}^{90°} MB\sin\theta.d\theta$$

या $W = MB[-\cos\theta]_{0^\circ}^{90^\circ}$

या $W = -MB[\cos 90^\circ - \cos 0^\circ]$

या $W = -MB[0 - 1]$

या $W = +MB$

प्र.6. दिक्पात का कोण तथा नति कोण को परिभाषित करो।

उत्तर–दिकपात का कोण : किसी स्थान पर भौगोलिक याम्योत्तर तथा चुम्बकीय याम्योत्तर के बीच बनने वाला न्यूनकोण दिकपात कोण कहलाता है।

नतिकोण : किसी स्थान पर जब किसी चुम्बक को चुम्बकीय याम्योत्तर के तल में लाकर, उसके गुरुत्व केन्द्र से स्वतंत्रतापूर्वक लटका दिया जाता है या कीलकित कर दिया जाता है, तो वह चुम्बक सीधा क्षैतिज तल में न ठहरकर क्षैतिज से कुछ झुकाव कोण पर ठहरता है। यही झुकाव कोण उस स्थान पर नति कोण कहलाता है।

प्र.7. क्यूरी वाइस नियम लिखो तथा लोहे के लिए क्यूरी ताप का मान लिखो।

उत्तर–क्यूरी वाइस नियम–क्यूरी ताप से अधिक ताप पर लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति $(T - T_C)$ के व्युत्क्रमानुपाती होती है, अर्थात्

$$\chi_m \propto \frac{1}{(T - T_C)}$$

या
$$\chi_m = \frac{C}{(T - T_C)}$$

यहाँ C क्यूरी नियतांक तथा T_C क्यूरी ताप है।

लोहे के लिये क्यूरी ताप का मान 770°C है।

प्र.8. चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की चार विशेषताएँ लिखो।

उत्तर– अनुच्छेद 8.3 पर देखें।

प्र.9. असमान चुम्बकीय क्षेत्र में प्रति चुम्बकीय, अनुचुम्बकीय तथा लौह चुम्बकीय पदार्थों का व्यवहार कैसा होता है?

उत्तर–प्रतिचुम्बकीय पदार्थ–जब इन पदार्थों को असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है, तो ये पदार्थ अधिक से कम चुम्बकीय क्षेत्र की ओर थोड़े से विस्थापित होते हैं।

अनुचुम्बकीय पदार्थ–जब इन पदार्थों को असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है, तो ये पदार्थ कम से अधिक चुम्बकीय क्षेत्र की ओर थोड़े से आकर्षित होते हैं।

लौह चुम्बकीय पदार्थ–जब इन पदार्थों को असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है, तो ये पदार्थ कम से अधिक चुम्बकीय क्षेत्र की ओर अत्यधिक आकर्षित होते हैं।

प्र.10. चुम्बकत्व में गाउस का नियम क्या है? यह क्या प्रदर्शित करता है?

उत्तर– चुम्बकत्व में गॉउस के नियम के अनुसार किसी भी बन्द पृष्ठ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स का मान सदैव शून्य होता है, अर्थात्

$$\phi = \oint_S \vec{B}.\vec{dS} = 0$$

यह नियम यह प्रदर्शित करता है, कि एकल चुम्बकीय ध्रुव का कोई अस्तित्व नहीं होता। चुम्बकीय ध्रुव सदैव उत्तरी (धनात्मक) व दक्षिण (ऋणात्मक) ध्रुवों के युग्मों के युग्मों के रूप में होते हैं, अर्थात् सरलतम व सूक्ष्मतम चुम्बकीय अवयव भी एक द्विध्रुव या धारा लूप होता है।

अत: चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ बंद वक्र के रूप में होती है। प्रत्येक बन्द पृष्ठ में जितनी क्षेत्र रेखाएँ प्रवेश करती है। उतनी ही निर्गत होती है।

प्र.11. चुम्बकीय रेखाएँ बंद वक्र बनाती हैं? क्यों?

उत्तर– चुम्बक के बाहर चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ उत्तरी ध्रुव (N) से दक्षिणी ध्रुव (S) की ओर होती है, जबकि चुम्बक के अंदर ये दक्षिणी ध्रुव (S) से उत्तरी ध्रुव (N) की ओर होती है। इस प्रकार ये बन्द वक्र बनाती है।

चुम्बकत्व में गॉउस के नियम से यह स्पष्ट होता है, कि चुम्बकीय ध्रुव सदैव उत्तरी ध्रुव व दक्षिणी ध्रुव के युग्म के रूप में होते हैं अर्थात् सरलतम व सूक्ष्मतम चुम्बकीय अवयव भी एक द्विध्रुव या धारा लूप होता है। इसके कारण चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ बन्द वक्र के रूप में होती है।

प्र.12. दण्ड चुम्बक और धारावाही परिनालिका के चुम्बकीय क्षेत्रों की तुलना करो।

उत्तर– दण्ड चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र के लिए–

1. दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र चुम्बक के ध्रुवों पर अधिक प्रबल और मध्य में अत्यधिक क्षीण होता है।

2. दण्ड चुम्बक के सिरों की ध्रुवता नियत रहने से चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा ध्रुवता के अनुसार नियत रहती है।

3. दण्ड चुम्बक का चुम्बकत्व स्थायी होने के कारण चुम्बकीय क्षेत्र किसी एक स्थिति में परिमाण व दिशा में नियत बना रहता है।

धारावाही परिनालिका के चुम्बकीय क्षेत्र के लिए–

1. धारावाही परिनालिका के अंदर प्रत्येक बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता समान होती है, केवल सिरों के समीप मान में अल्प कमी होती है।

2. धारावाही परिनालिका में स्थापित चुम्बकीय क्षेत्र के लिए दोनों सिरों पर उत्पन्न ध्रुवता धारा प्रवाह की दिशा पर निर्भर करती है। धारा की दिशा विपरीत करने पर ध्रुवता विपरीत हो जाती है।

3. परिनालिका का चुम्बकत्व अस्थायी होता है, जो धारा के मान व दिशा में परिवर्तन के साथ चुम्बकीय क्षेत्र के परिमाण व दिशा में भी परिवर्तन लाता है।

प्र.13. पृथ्वी के चुम्बकत्व का क्या कारण है? लिखो।

उत्तर– अनुच्छेद 8.8.1 पर देखें।

प्र.14. शैथिल्य वक्र के क्या उपयोग हैं?

उत्तर–शैथिल्य वक्र के उपयोग–1. शैथिल्य वक्र से लौह चुम्बकीय पदार्थ की धारणशीलता, निग्राहिता, चुम्बकीय संतृप्तता एवं शैथिल्य पाश के क्षेत्रफल की जानकारी मिलती है, जिससे विशेष उपयोगों के लिए उपयुक्त पदार्थों का चयन किया जाता है। जैसे–स्थायी चुम्बक के लिए : उच्च निग्राहिता एवं अल्प धारणशीलता, विद्युत चुम्बक के क्रोड के लिए : निम्न निग्राहिता, अत्यधिक धारणशीलता एवं अत्यधिक चुम्बकीय प्रेरण तथा ट्रांसफॉर्मर, डायनेमों तथा टेपरिकॉर्डर

के लिए : अधिक चुम्बकीय पारगम्यता, कम निग्राहिता तथा कम शैथिल्य हानि आदि तथ्य ध्यान में रखे जाते हैं।

2. शैथिल्य वक्र का ढ़ाल पदार्थ की किसी स्थिति के लिए चुम्बकीय प्रवृत्ति दर्शाता है, अतः शैथिल्य वक्र से चुम्बकीय प्रवृत्ति की जानकारी मिलती है।

3. शैथिल्य वक्र के क्षेत्रफल से शैथिल्य हानि की जानकारी मिलती है, जिसे कम करने के लिए ही अनेक मिश्र धातु बनाकर उन पर परीक्षण किये जाते रहे हैं।

4. कोमल व कठोर पदार्थ के चुम्बकीय गुणों का विभेदन किया जाता है।

प्र.15. एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में θ कोण पर स्थित दण्ड चुम्बक पर बल आघूर्ण का व्यंजक ज्ञात करो। यह कब अधिकतम होता है?

उत्तर– अनुच्छेद 8.7 पर देखें।

जब $\vec{M}$ व $\vec{B}$ के मध्य कोण $\theta = 90^\circ$ अर्थात् दण्ड चुम्बक चुम्बकीय क्षेत्र B के लम्बवत् होगा, तब

$$\tau = MB\sin 90^\circ$$

या $$\tau = MB = \tau_{max}$$

इस स्थिति में दण्ड चुम्बक पर अधिकतम बल आघूर्ण कार्यकारी होगा।

निबंधात्मक प्रश्न

1. भू–चुम्बकत्व के अवयव कौन–कौनसे हैं? इनकी परिभाषा दीजिए इनको एक नामांकित आरेख में दर्शाइए।

उत्तर– अनुच्छेद 8.8.2 पर देखें।

2. चुम्बकीय शैथिल्य वक्र से क्या आशय है? शैथिल्य वक्र बनाकर इसकी मुख्य विशेषताओं को परिभाषित करो।

उत्तर– अनुच्छेद 8.15 पर देखें।

3. प्रतिचुम्बकीय पदार्थों की व्याख्या करते हुए इनके गुणों की विवेचना करो तथा प्रतिचुम्बकीय और अनुचुम्बकीय पदार्थों के गुणों में पाँच अंतर लिखो।

उत्तर– अनुच्छेद 8.13.1 तथा 8.13.2 पर देखें।

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।

उत्तर– अनुच्छेद 8.14 पर देखें।

5. विद्युत चुम्बक और स्थाई चुम्बक बनाने के लिए आवश्यक लौह चुम्बकीय पदाथा की विशेषताएँ लिखिए, इनके उपयोग भी लिखो।

उत्तर– अनुच्छेद 8.15.1 पर देखें।

आंकिक प्रश्न–

प्र.1. एक दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण **200 A×m²** है, इसे **0.86 T** वाले एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में लटकाया गया है, इसे क्षेत्र में **60°** कोण से विक्षेपित करने के लिए आवश्यक बल आघूर्ण ज्ञात करो।

हल– $\because$ $M = 200\ A\times m^2$

$B = 0.86\ T$

$\theta = 60^\circ$

$\tau = ?$

$$\tau = MB\sin\theta$$

$$= 200 \times 0.86 \sin 60^\circ$$

$$= 200 \times 0.86 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$= 86\sqrt{3}\ N \times m$$

प्र.2. किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकत्व का क्षैतिज घटक $B_H = 0.5 \times 10^{-4}\ Wb/m^2$ है तथा नति कोण **45°** है तो ऊर्ध्व घटक का मान क्या होगा?

हल– $\because$ $B_H = 0.5 \times 10^{-4}\ Wb/m^2$

$\theta = 45^\circ$

$B_V = ?$

$$\because \quad \frac{B_V}{B_H} = \tan\theta$$

$$\therefore \quad B_V = B_H \tan\theta$$

या $B_V = 0.5 \times 10^{-4} \tan 45^\circ$

या $B_V = 0.5 \times 10^{-4} \times 1$

या $B_V = 5 \times 10^{-5}\ Wb/m^2$

प्र.3. **1 cm²** अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल की एक लौह चुम्बकीय पदार्थ की छड़ **200** ओरस्टेड के चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर **3000 G** का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। पदार्थ की चुम्बकशीलता एवं चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान ज्ञात करो।

हल– $\because$ B = 3000 गाउस = 3000×10^{-4} टेसला

H = 200 ओरस्टेड = $200 \times \frac{10^3}{4\pi}$ एम्पियर/मीटर

$$\because \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{3000 \times 10^{-4} \times 4\pi}{4\pi \times 10^{-7} \times 200 \times 10^3}$$

$$= 15$$

$$\because \quad \chi = \mu_r - 1 = 15 - 1 = 14$$

प्र.4. लोहे के किसी नमूने के लिए निम्न संबंध है

$$\mu = \left[\frac{0.4}{H} + 12 \times 10^{-4}\right] H/m$$

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

हल– $B = 1\ Wb/m^2$, $\quad \mu = \left(\frac{0.4}{H} + 12 \times 10^{-4}\right)$

$$\mu = \left(\frac{0.4 + 12 \times 10^{-4} H}{H}\right)$$

या $\mu H = 0.4 + 12 \times 10^{-4} H$

$\because$ $B = \mu H$, $\quad B = 0.4 + 12 \times 10^{-4} H$

$$\frac{B-0.4}{12\times10^{-4}} = H \quad \text{या} \quad H = \frac{1-0.4}{12\times10^{-4}} = 500\, A/m$$

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

हल– ∵ $H = 2\times10^3$ A/m

$B = 8\pi T$

$\mu_r = ?$

∵ $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ किन्तु $\mu = \frac{B}{H}$

∴ $\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$

$$\mu_r = \frac{8\pi}{4\pi\times10^{-7}\times2\times10^3}$$

या $\mu_r = 10^4$

प्र.6. **30 cm³** आयतन के चुम्बकीय पदार्थ को **5** ओरस्टेड चुम्बकीय क्षेत्र में रखा गया है इससे उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण **6 A / m²** हो तो चुम्बकीय प्रेरण का मान ज्ञात करो।

हल– $V = 30\, cm^3 = 30\times10^{-6}\, m^3$

H = 5 ओरस्टेड ∵ 1 ओरस्टेड = 80 A/m

अतः $H = 5\times80$ A/m $= 400\frac{A}{m}$

$M = 6\, Am^2$, $B = ?$

∵ $B = \mu_0(I + H)$ ∵ $I = M/V$

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

$$= 4\pi\times10^{-7}\left(\frac{6}{30\times10^{-6}}+400\right)$$

$= 12.56\times10^{-7}(2\times10^5 + 400)$

$= 0.25$ T

प्र.7. लौह चुम्बकीय पदार्थ के नमूने का द्रव्यमान **0.6 kg** तथा घनत्व **7.8×10³ kg / m³** है। यदि **50 Hz** आवृत्ति वाले प्रत्यावर्ती चुम्बकन क्षेत्र में शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल **0.722 m²** हो तो प्रति सेकण्ड शैथिल्य हानि ज्ञात करो।

हल– ∵ $M = 0.6$ kg

$\rho = 7.8\times10^3\, kg/m^3$

$n = 50$ Hz

$A = 0.722\, m^2$

$Q = ?$

आयतन $V = \frac{M}{\rho} = \frac{0.6}{7.8\times10^3}$

या $V = 7.69\times10^{-5}\, m^3$

$Q = V.A.n$

$Q = 7.69\times10^{-5}\times0.722\times50$

$Q = 277.69\times10^{-5}$

$Q = 2.777\times10^{-3}$ J

प्र.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।

हल– $T_C = 300$ K

$T = 450$ K

$\chi_m = 0.6$

$C = ?$

∵ $\chi_m = \frac{C}{T-T_C}$

∴ $C = \chi_m(T-T_C)$

$= 0.6\,(450-300)$

$= 0.6\times150$

$= 90$ K

प्र.9. एक अनुचुम्बकीय पदार्थ के लिए **120 K** पर चुम्बकीय प्रवृत्ति **0.60** है तो इस पदार्थ के लिए **27 °C** पर चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान ज्ञात करो।

हल– ∵ $T_1 = 120$ K

$T_2 = (27+273) = 300$ K

$\chi_{m_1} = 0.60$

$\chi_{m_2} = ?$

∵ $\chi_{m_1} = \frac{C}{T_1}$

तथा $\chi_{m_2} = \frac{C}{T_2}$

∴ $\frac{\chi_{m_2}}{\chi_{m_1}} = \frac{T_1}{T_2}$

∴ $\chi_{m_2} = \frac{T_1}{T_2}\times\chi_{m_1}$

$= \frac{120}{300}\times0.60$

$\chi_{m_2} = 0.24$

प्र.10. **4 cm²** अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल की लोहे की छड़ **10³ 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।

हल– ∵ $A = 4\, cm^2 = 4\times10^{-4}\, m^2$

$H = 10^3$ A/m

$\phi = 4\times10^{-4}$ Wb

$\mu = ?$

$\mu_r = ?$

$\chi_m = ?$

∵ $\phi = B.A.$

∴ $B = \frac{\phi}{A} = \frac{4\times10^{-4}}{4\times10^{-4}}$ Wb/m²

$$B = 1 \text{ Wb/m}^2$$

$$\therefore \quad \mu = \frac{B}{H} = \frac{1}{10^3}$$

$$= 10^{-3} \text{ Wb/A}\times\text{m}$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{10^{-3}}{4\pi\times10^{-7}}$$

or $$\mu_r = \frac{10^4}{4\times3.14} = \frac{10^4}{12.56}$$

or $$\mu_r = 796$$

$$\chi_m = (\mu_r - 1)$$

$$\chi_m = 796 - 1$$

$$\chi_m = 795$$

प्र.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°** घुमाने में कितना कार्य करना पडेगा? कुण्डली का तल प्रारम्भ में क्षेत्र के लम्बवत् है।

हल–

$$r = 0.05 \text{ m}$$
$$N = 100$$
$$I = 0.1A$$
$$B = 1.5 \text{ T}$$
$$\theta = 180^\circ$$

अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल,

$$A = \pi r^2 = \frac{22}{7}\times0.5\times.05$$

$$A = \frac{22}{7}\times25\times10^{-4}$$

$$A = \frac{550}{7}\times10^{-4}\text{m}^2$$

$\therefore$ चुम्बकीय आघूर्ण $M = NIA$

$$= 100\times0.1\times\frac{550}{7}\times10^{-4}\text{ Am}^2$$

$$= \frac{550}{7}\times10^{-3}\text{Am}^2$$

$$W = \int_{\theta=0^\circ}^{\theta=180^\circ} MB\sin\theta.d\theta$$

$$W = -MB[\cos\theta]_{\theta=0^\circ}^{\theta=180^\circ}$$

$$W = -MB\ [\cos 180^\circ - \cos0^\circ]$$

$$W = -MB[-1-1]$$

$$W = +2MB$$

$$W = 2\times\frac{550}{7}\times10^{-3}\times1.5$$

$$W = \frac{1650}{7}\times10^{-3}$$

$$= 235.7\times10^{-3}\text{ J}$$

$$W = 0.2357 \text{ J}$$

$$W = 0.236 \text{ J}$$

प्र.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।

हल– समबाहु त्रिभुज की प्रत्येक भुजा l = ?

चुम्बकीय क्षेत्र = B, $\theta = 90^\circ$ (तल चुम्बकीय क्षेत्र में)

विद्युत धारा = I

समबाहु त्रिभुज का क्षेत्रफल

$$A = \frac{\sqrt{3}}{4}l^2$$

$\because$ चुम्बकीय आघूर्ण $$M = IA = I\times\frac{\sqrt{3}}{4}l^2$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{4}Il^2$$

$\therefore$ बल आघूर्ण $$\tau = MB\sin\theta$$

या $$\tau = \frac{\sqrt{3}}{4}Il^2B\sin 90^\circ$$

या $$\tau = \frac{\sqrt{3}}{4}Il^2B(1)$$

या $$l^2 = \frac{4\tau}{\sqrt{3}BI}$$

या $$l = 2\left[\frac{\tau}{\sqrt{3}BI}\right]^{1/2}$$

(यही सिद्ध करना था)

अन्य महत्त्वपूर्ण प्रश्न

महत्त्वपूर्ण वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. एक छोटे चुम्बक के कारण r दूरी पर उसकी अक्षीय एवं निरक्षीय स्थिति में स्थित बिन्दुओं पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रताओं का अनुपात होगा–
   (अ) 1 : 2 (ब) 2 : 1 (स) 1 : 4 (द) 4 : 1
2. ताँबा कैसा पदार्थ है ?
   (अ) प्रतिचुम्बकीय (ब) अनुचुम्बकीय
   (स) लौह चुम्बकीय (द) अचुम्बकीय।
3. चुम्बकीय पदार्थों का वह व्यवहार जिसके फलस्वरूप चुम्बकीय प्रेरण B चुम्बकन क्षेत्र H से पीछे रहता है, कहलाता है–
   (अ) चुम्बकीय प्रवृत्ति (ब) चुम्बकीय शैथिल्य
   (स) निग्राहिता (द) धारणशीलता।
4. विपरीत दिशा में चुम्बकन क्षेत्र H का यह मान जिस पर चुम्बकीय प्रेरण B का मान शून्य हो जाता है, कहलाता है–

(अ) शैथिल्य ह्रास (ब) धारणशीलता
(स) निग्राहिता (द) चुम्बकशीलता।

5. अनुचुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति χ एवं परम ताप T में सम्बन्ध है–

(अ) $\chi \propto \frac{1}{T}$ (ब) $\chi \propto T$
(स) $\chi \propto \frac{1}{T^2}$ (द) $\chi \propto T^2$

6. अल्प चुम्बकन क्षेत्र (H) के लिए चुम्बकन M किस प्रकार निर्भर करता है–

(अ) $M \propto H$ (ब) $M \propto 1/H^2$ (स) $M \propto 1/H$ (द) $M \propto H^2$

7. चुम्बकीय संतृप्त अवस्था में B-H वक्र का ढाल होता है–

(अ) शून्य (ब) अनन्त (स) μ_0 (द) $1/\mu_0$

8. निम्न में सही संबंध है–

(अ) $\frac{B}{\mu_0}+M=H$ (ब) $\frac{B}{\mu_0}-M=H$
(स) $\frac{B}{\mu_0}+H=-M$ (द) $\frac{B}{\mu_0}+H=-M$

9. किसी पदार्थ की पारगम्यता के लिए सही समीकरण है–

(अ) $\mu=\frac{1}{\mu}$ (ब) $\mu=\frac{M}{V}$ (स) $\mu=\frac{B}{H}$ (द) $\mu=\frac{M}{H}$

हल एवं संकेत

1. **(ब)** $B_a=\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{2M}{r^3}$, $B_e=\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{M}{r^3}$
2. **(अ)** 3. **(ब)** 4. **(स)**
5. **(अ)** 6. **(अ)** 7. **(अ)**
8. **(ब)** $\frac{B}{\mu_0}-M=H$, $B=B_0+B_1$ से
9. **(स)**

लघूत्तरात्मक प्रश्न

प्र.1. एक धारावाही परिनालिका के भीतर उसके अक्ष पर स्थित नर्म लोहे की छड़ चुम्बकित हो जाती है, क्यों ?

उत्तर–नर्म लोहा लौह चुम्बकीय पदार्थ है जिसमें प्रत्येक परमाणु का चुम्बकीय आघूर्ण होता है। ये परमाण्वीय चुम्बक डोमेन की रचना करते हैं। धारावाही परिनालिका में उसी अक्ष के अनुदिश चुम्बकीय क्षेत्र होता है। इस क्षेत्र के प्रभाव से लोहे की छड़ के डोमेन घूमकर संरेखित हो जाते हैं तथा उनके चुम्बक की दिशा, परिनालिका में प्रवाहित धारा के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में हो जाती है। इस प्रकार नर्म लोहे की छड़ चुम्बकित हो जाती है।

प्र.2. एक चुम्बकीय द्विध्रुव चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में रखा जाता है। द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा बताइये। यदि इसे उस स्थिति से 180° घुमाया जाये तो कितना कार्य करना पड़ेगा ?

उत्तर–यदि द्विध्रुव की अक्ष चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा से θ कोण बनाती हो तो द्विध्रुव वर्ग की स्थितिज ऊर्जा, $U=-MB\cos\theta$. परन्तु प्रश्नानुसार $\theta=0$, अतः $U=-MB$ घुमाने में द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा

$$U'=-MB\cos 180°=MB$$

अतः द्विध्रुव को 180° घुमाने में किया गया कार्य

$$W=U'-U$$
$$=MB-(-MB)=2MB$$

प्र.3. परमाण्वीय मॉडल के आधार पर समझाइये कि कुछ पदार्थों के परमाणुओं में चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है।

उत्तर–जिन पदार्थों के परमाणुओं में इलेक्ट्रॉनों की संख्या सम होती है तथा दो-दो इलेक्ट्रॉन मिलकर जोड़े बनाते हैं, उनमें चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है क्योंकि प्रत्येक जोड़े में इलेक्ट्रॉन का चक्रण दूसरे इलेक्ट्रानों के चक्रण की विपरीत दिशा में होता है जिससे वे एक दूसरे के चुम्बकीय आघूर्णों को पूर्णतः निरस्त कर देते हैं।

प्र.4. स्थायी चुम्बक स्टील के बनाये जाते हैं तथा ट्रांसफॉर्मर की क्रोड कच्चे लोहे की बनायी जाती है, क्यों ?

उत्तर–स्थायी चुम्बक स्टील के बनाये जाते हैं, क्योंकि स्टील के डोमेन दृढ़ता से व्यवस्थित होते हैं तथा एक बार संरेखित हो जाने पर मामूली प्रक्षोभ से अव्यवस्थित नहीं होते हैं। ट्रॉसफार्मर के क्रोड में अस्थायी चुम्बकत्व की आवश्यकता होती है। अतः वे कच्चे लोहे के बनाये जाते हैं तथा जब तक धारा प्रवाहित होती है उनमें चुम्बकत्व रहता है क्योंकि नर्म लोहे के डोमेन आसानी से संरेखित हो जाते हैं तथा आसानी से अव्यवस्थित हो जाते हैं।

प्र.5. एक अचुम्बकित लोहे की कील एक छड़ चुम्बक की ओर आकर्षित होती है। इस आकर्षण बल की उत्पत्ति का क्या कारण है ? कील को गतिज ऊर्जा कहां से मिलती है ?

उत्तर–लोहे की कील छड़ चुम्बक के निकट लाने पर प्रेरण द्वारा चुम्बकीय द्विध्रुव बन जाती है। अर्थात् लोहे की कील धारा लूप के तुल्य है। इसमें धारा इस प्रकार बहती है कि चुम्बक के निकट वाला सिरा विपरीत ध्रुव बने अर्थात् चुम्बक के तुल्य धारा लूप में एवं कारण आकर्षण बल उत्पन्न होता है। कील को गतिज ऊर्जा चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र में संचित चुम्बकीय स्थितिज ऊर्जा के कारण प्राप्त होती है।

प्र.6. पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के विषय में निम्न प्रश्नों के उत्तर दो-

(a) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र को व्यक्त करने के तीन स्वतन्त्र राशियों के नाम लिखो। जो सामान्य तथा पृथ्वी के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए आवश्यक है।

(b) यदि कम्पास सूई को उत्तरी अथवा दक्षिणी ध्रुव पर रख दिया जाये तो इसकी दिशा क्या होगी ?

उत्तर–(a) किसी स्थान पर चुम्बकीय क्षेत्र के पूर्ण ज्ञान के लिए जिन तीन स्वतन्त्र राशियों का उपयोग करते हैं वह है–(I) चुम्बकीय दिक्पात ϕ (II) चुम्बकीय नमन कोण (θ) (III) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक B_H

(b) ध्रुवों पर चुम्बकीय क्षेत्र ऊर्ध्वाधर होता है क्योंकि कम्पास सुई क्षैतिज तल में घुमने के लिए स्वतन्त्र होती है। अतः इसकी कोई भी दिशा हो सकती है।

प्र.7. चुम्बकीय क्षेत्र का मान स्थान परिवर्तन के साथ परिवर्तित होता जाता है। क्या यह समय के साथ भी परिवर्तित होता है ? यदि हाँ, तो वह समय सारणी क्या है ?

उत्तर–हाँ, पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र समय के साथ परिवर्तित होता है। जैसे प्रतिदिन, परिवर्तन, वार्षिक परिवर्तन, असमायिक परिवर्तन

जैसे चुम्बकीय तूफान। इसके परिवर्तन की समय सारणी स्केल कुल सौ वर्ष होता है।

प्र.8. आप कैसे पहचानोगे कि चुम्बकीय क्षेत्र पृथ्वी अथवा धारावाही चालक के कारण है ?

उत्तर–इसकी पहचान किसी छोटी चुम्बकीय सुई से करते हैं। यदि कम्पास की सूई उस स्थान पर उत्तर व दक्षिण दिशा में ठहरती है तो उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र पृथ्वी के कारण है।

यदि चुम्बकीय सुई अन्य किसी दिशा में विक्षेपित होती है और धारा प्रवाहन बन्द करने पर पुनः N – S दिशा में स्थिर होती है तो चुम्बकीय क्षेत्र धारावाही चालक के कारण है।

प्र.9. क्या छड़ द्वारा चुम्बकत्व प्राप्त करने पर इसकी लम्बाई परिवर्तित हो जाती है ?

उत्तर–हाँ, चुम्बकत्व प्राप्त करने पर सभी परमाणुओं के घूर्णन तल समान्तर हो जाते हैं। अतः चुम्बकन की दिशा में छड़ की लम्बाई बढ़ जाती है। इस प्रभाव का उपयोग अल्ट्रासोनिक तरंगें उत्पन्न करने में करते हैं।

प्र.10. चुम्बकीय आवरण से क्या तात्पर्य है ?

उत्तर–किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र से किसी क्षेत्र को बचाना या अलग-अलग रखना ही चुम्बकीय आवरण (Magnetic Shielding or Screening) कहलाता है। अति चालक पूर्णतया चुम्बकीय आवरण का कार्य करते हैं क्योंकि अति चालक से होकर कोई बल रेखा नहीं गुजर सकती है।

प्र.11. यदि एक चुम्बक को बोर्ड पर ऊर्ध्वाधर रखा जाये तो कितने उदासीन बिन्दु प्राप्त होंगे ?

उत्तर–केवल एक उदासीन बिन्दु प्राप्त होगा। इसका कारण है कि पृथ्वी का चुम्बकीय ध्रुव का क्षेत्र बोर्ड पर त्रिज्य बाहर की ओर है। चुम्बक के ध्रुव के दक्षिण की ओर किसी भी बिन्दु पर, पृथ्वी और कुछ से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र एक दूसरे को निरस्त कर देंगे जिससे उदासीन बिन्दु प्राप्त होगा।

प्र.12. जब चुम्बक को लोहे की कीलों के समीप लाते हैं तो यह इससे चिपक जाते हैं तथा घूर्णन भी करने लगते हैं, क्यों ?

उत्तर–साधारण तथा चुम्बक से उत्पन्न क्षेत्र असमान चुम्बकीय क्षेत्र होता है। अतः यह बल तथा बल आघूर्ण दोनों ही लोहे की कीलों पर आरोपित करता है। अतः कीलों चिपकने से पहले स्थानान्तरीय तथा घूर्णन दोनों प्रकार की गतियाँ करती है। जब प्रेरण से कीलों के विपरीत ध्रुव उत्पन्न हो जाते हैं तो यह चिपक जाती है।

प्र.13. क्या किसी चुम्बकीय पदार्थ में अधिकतम चुम्बकत्व लोह चुम्बकीय पदार्थ की परास का हो सकता है ?

उत्तर–हाँ, किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ में चुम्बकत्व का अधिकतम मान लोह चुम्बकीय पदार्थ के बराबर हो सकता है। संतृप्त अवस्था प्राप्त करने के लिए अति उच्च क्षेत्र की आवश्यकता होती है, जो व्यवहारिक रूप में प्राप्त करना कठिन होता है।

प्र.14. आवेशों के गतिशील अवस्था में होने पर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है ? क्या किसी निकाय में चुम्बकीय आघूर्ण हो सकता है जब कि इसमें परिणामी आवेश का मान शून्य हो ?

उत्तर–हाँ, किसी निकाय में परिणामी आवेश शून्य होने पर भी चुम्बकीय आघूर्ण हो सकता है। उदाहरण के लिए अनुचुम्बकीय व लोह चुम्बकीय पदार्थों के प्रत्येक परमाणु में चुम्बकीय आघूर्ण होता है, जब कि प्रत्येक परमाणु विद्युत उदासीन होता है। इसी प्रकार न्यूट्रॉन पर कोई आवेश नहीं होता, जब कि न्यूट्रॉन का चुम्बकीय आघूर्ण होता है।

प्र.15. कैसेट प्लेयर या कम्प्यूटर में प्रोग्राम संग्रहण के लिए किस प्रकार का लोह चुम्बकीय पदार्थ कोटिंग के लिए प्रयुक्त करते हैं ?

उत्तर–फैराइट (Ferrites) अधिकांशतया निमन फैराइट ($MnFe_2O_4$, $COFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$ इत्यादि) का उपयोग किया जाता है।

प्र.16. किसी क्षेत्र को चुम्बकीय क्षेत्र से बचाने का उपाय बताइये ?

उत्तर–उस क्षेत्र को कच्चे लोहे के वलय से ढक दिया जाये तो चुम्बकीय रेखाएं वलय में ही रह जायेंगी और वह क्षेत्र चुम्बकीय क्षेत्र से मुक्त रहेगा।

प्र.17. स्थायी चुम्बक बनाने के लिए एलनिको मिश्र धातु (Alnico) का उपयोग ही क्यों करते हैं ?

उत्तर–इसका कारण है कि एलनिको की निग्राहिता बहुत अधिक होती है तथा धारणशीलता कम होती है। इसका एक ही अवगुण है, यह भंगुर (Brittle) होता है।

प्र.18. एक लोहे की छड़ को 1000° C तक गर्म किया जाता है तथा चुम्बकीय क्षेत्र सहित स्थान में इसे ठण्डा किया जाता है। क्या इसमें चुम्बकत्व गुण रहेगा ?

उत्तर–नहीं, इसमें चुम्बकत्व का गुण नहीं रहेगा। लौहे के लिए क्यूरी ताप 770° C इस ताप पर यह अनुचुम्बकीय पदार्थ में परिवर्तित हो जायेगा तथा ताप के कारण इसका चुम्बकीय गुण नष्ट हो जायेगा। अतः चुम्बकीय क्षेत्र रहित स्थान में इसे ठण्डा करने पर चुम्बकत्व का गुण नहीं रहेगा।

प्र.19. इकाई ध्रुव की परिभाषा लिखिये।

उत्तर–दो समान सामर्थ्य के चुम्बकीय ध्रुव हवा में परस्पर 1 मीटर की दूरी पर रखे होने पर यदि ये 10^{-7} न्यूटन का चुम्बकीय बल अनुभव करते हैं तो उनमें से प्रत्येक ध्रुव इकाई ध्रुव होता है। इसका मात्रक ऐम्पियर × मीटर है।

प्र.20. किसी B–H वक्र के लिये शैथिल्य ह्रास ज्ञात करने का सूत्र लिखिये।

उत्तर–शैथिल्य ह्रास = (B–H) वक्र का क्षेत्रफल × पदार्थ की आयतन प्रवृत्ति।

प्र.21. स्थायी चुम्बक बनाने के लिये इस्पात का उपयोग करते हैं। क्यों ?

उत्तर–चूँकि इस्पात की निग्राहिता एवं धारणशीलता अधिक है। यही कारण है कि इसका उपयोग स्थाई चुम्बक बनाने में किया जाता है।

प्र.22. भू-चुम्बकत्व संबंध में एलसिसर के मत की विवेचना कीजिये।

उत्तर–भू-चुम्बकत्व के संबंध में एक मत 1939 में एलसिसर द्वारा व्यक्त किया गया था। इसके अनुसार पृथ्वी के भीतर उसकी केन्द्रीय क्रोड (Central Core) में अनेक चालक पदार्थ पिघली हुयी अवस्था में उपस्थित हैं। इनमें पिघला लोहा तथा निकल भी पर्याप्त मात्रा में हैं। पृथ्वी के अपनी अक्ष के परितः घूमने से उसकी अर्द्ध-द्रव क्रोड में धीमी संवहन धारायें पैदा हो जाती हैं। इससे पृथ्वी के भीतर एक स्व-उत्तेजित (Self-exciting) डायनेमो की क्रिया होने

लगती है। अतः पृथ्वी के अन्दर वैद्युत-धारा तथा इस कारण चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। भू-चुम्बकीय क्षेत्र का मुख्य अंश इसी कारण से उत्पन्न माना जाता है।

प्र.23. चुम्बकीय फ्लक्स व चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व में सदिश संबंध लिखकर इनके मात्रक लिखो।

उत्तर– चुम्बकीय फ्लक्स $(\phi_B) = \vec{B} \cdot \vec{A}$

यहाँ पर $\vec{B}$ चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व है, उसे चुम्बकीय प्रेरण भी कहते हैं।

SI पद्धति में इसका मात्रक वेबर होता है या टेसला। CGS पद्धति में इसका मात्रक मैक्सवेल होता है।

प्र.24. चुम्बकीय क्षेत्र स्थित छड़ चुम्बक के ध्रुवों पर कार्यरत बल का मान व दिशा लिखो।

उत्तर– जब किसी छड़ चुम्बक को चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतन्त्रापूर्वक लटकाया जाता है या कीलकित किया जाता है तो स्थिर अवस्था में इसके दोनों ध्रुवों पर एक बल कार्य करता है। इस बल की दिशा चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर होती है। इस बल की दिशा चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर होती है, परन्तु ध्रुव N पर चुम्बकीय क्षेत्र की ओर जबकि ध्रुव S पर चुम्बकीय क्षेत्र के विपरीत दिशा में होती है। इस बल का मान $\vec{F} = m\vec{B}$ होता है। अतः m का मात्रक न्यूटन/टेसला होगा।

प्र.25. चुम्बकीय पारगम्यता क्या है? मात्रक लिखो।

उत्तर– चुम्बकीय पारगम्यता – किसी माध्यम में से चुम्बकीय बल रेखाओं के गुजरने की क्षमता को उस माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता (चुम्बकशीलता) कहते हैं। इसको μ द्वारा प्रदर्शित करते हैं। यह निम्न समीकरण से परिभाषित है।

$$\vec{B} = \mu\vec{H}$$

निर्वात के सापेक्ष किसी माध्यम की पारगम्यता को आपेक्षिक पारगम्यता μ_r कहते हैं अथवा

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$$

यह मात्रक रहित होती है।

आंकिक प्रश्न

प्र.1. एक परिनालिका में पास-पास लपेटे गए 800 फेरे हैं, तथा इसका अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल $2.5 \times 10^{-4}\ m^2$ है और इसमें 3.0 A धारा प्रवाहित हो रही है। समझाइए कि किस अर्थ में यह परिनालिका एक छड़ चुंबक की तरह व्यवहार करती है? इसके साथ जुड़ा हुआ चुंबकीय आघूर्ण कितना है?

हल- फेरे N = 800. $A = 2.5 \times 10^{-4}$ मी^{2}, i = 3 एम्पियर

परिनालिका का चुम्बकीय आघूर्ण $M = NiA = 800 \times 3 \times 2.5 \times 10^{-4}$

या $M = 0.6$ जूल/टेसला

यह परिनालिका की अक्ष के अनुदिश होता है, इस प्रकार धारावाही परिनालिका एक छड़ चुम्बक की भांति व्यवहार करती है।

प्र.2. एक छड़ चुंबक जिसका चुंबकीय आघूर्ण $1.5\ JT^{-1}$ है, 0.22 T के एक एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के अनुदिश रखा है।

(a) एक बाह्य बल आघूर्ण कितना कार्य करेगा यदि यह चुंबक को चुंबकीय क्षेत्र के (i) लंबवत् (ii) विपरीत दिशा में संरेखित करने के लिए घुमा दे।

(b) स्थिति (i) एवं (ii) में चुंबक पर कितना बल आघूर्ण होगा

हल- दिया है–M = 1.5 जूल/टेसला, B = 0.22 टेसला, $\theta_1 = 0°$

(a) **(i) $\theta_2 = 90°$**

अतः $W = -MB(\cos\theta_2 - \cos\theta_1) = -1.5 \times 0.22(\cos 90° - \cos 0°)$

$= 0.33$ जूल

(ii) $\theta_2 = 180°$

अतः $W = -MB(\cos\theta_2 - \cos\theta_1) = -1.5 \times 0.22(\cos 180° - \cos 0°)$

$= 0.66$ जूल

(b) (i) $\tau = MB\sin\theta = 1.5 \times 0.22 \sin 90° = 0.33$ न्यूटन-मी.

(ii) $\tau = MB\sin\theta = 1.5 \times 0.22 \sin\pi = 0$ न्यूटन-मी.

प्र.3. एक परिनालिका जिसमें पास-पास 2000 फेरे लपेटे गए हैं तथा जिसके अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल $1.6 \times 10^{-4}\ m^2$ है और जिसमें 4.0 A की धारा प्रवाहित हो रही है, इसके केंद्र से इस प्रकार लटकायी गई है कि यह एक क्षैतिज तल में घूम सके।

(a) परिनालिका के चुंबकीय आघूर्ण का मान क्या है?

(b) परिनालिका पर लगने वाला बल एवं बल आघूर्ण क्या है, यदि इस पर, इसकी अक्ष से 30° का कोण बनाता हुआ 7.5×10^{-2} T का एकसमान क्षैतिज चुंबकीय क्षेत्र लगाया जाए?

हल– N = 2000, $A = 1.6 \times 10^{-4}$ मी^{2}, i = 4 एम्पियर

(a) $M = NiA = 2000 \times 4 \times 1.6 \times 10^{-4} = 1.28$ जूल/टेसला

(b) $B = 7.5 \times 10^{-2}$ टेसला, $\theta = 30°$

नेट बल = 0

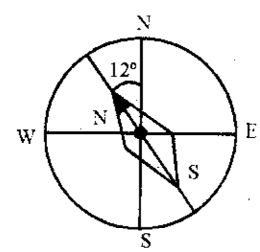
तथा बलाघूर्ण $\tau = MB\sin\theta = 1.28 \times 7.5 \times 10^{-2} \sin 30°$

$\tau = 4.8 \times 10^{-2}$ न्यूटन-मी.

प्र. 4. दक्षिण अफ्रीका में किसी स्थान पर एक चुंबकीय सुई भौगोलिक उत्तर से 12° पश्चिम की ओर संकेत करती है। चुंबकीय याम्योत्तर में संरेखित नति-वृत्त की चुंबकीय सुई का उत्तरी ध्रुव क्षैतिज से 60° उत्तर की ओर संकेत करता है। पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज अवयव मापने पर 0.16 G पाया जाता है। इस स्थान पर पृथ्वी के क्षेत्र का परिमाण और दिशा बताइए।

हल– दिया है– दिक्पात कोण $\phi = 12°$ पश्चिम, नमन कोण $\theta = 60°$

$B_H = 0.16$ गाउस



चित्र: 5.54

पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण

$$B = \frac{B_H}{\cos\theta} = \frac{0.16}{\cos 60°} = \frac{0.16}{1/2}$$

या $B = 0.32$ गाउस

तथा यह भौगोलिक याम्योत्तर से पश्चिम की ओर 12° का कोण बनाते हुए क्षैतिज से 60° का कोण बनाते हुए ऊर्ध्व तल में ऊपर की ओर दिष्ट होगा।

प्र.5. किसी छोटे छड़ चुंबक का चुंबकीय आघूर्ण $0.48\ JT^{-1}$ है।

चुंबक के केंद्र से 10 cm की दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर इसके चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण एवं दिशा बताइए यदि यह बिंदु (i) चुंबक के अक्ष पर स्थित हो (ii) चुंबक के अभिलंब समद्विभाजक पर स्थित हो।

हल- दिया है-M = 0.48 जूल/टेसला, r = 10 सेमी = 0.1 मी.

(i) $B_{अक्ष} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3} = 10^{-7}\times\frac{2\times0.48}{(0.1)^3} = 0.96\times10^{-4}$ टेसला

तथा इसकी दिशा छड़ चुम्बक के S से N की ओर होगी।

(ii) $B_{निरक्ष} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3} = 10^{-7}\times\frac{0.48}{(0.1)^3} = 0.48\times10^{-4}$ टेसला

इसकी दिशा छड़ चुम्बक के N से S की ओर होगी।

प्र.6. **क्षैतिज तल में रखे एक छोटे छड़ चुंबक का अक्ष, चुंबकीय उत्तर-दक्षिण दिशा के अनुदिश है। संतुलन बिंदु चुंबक के अक्ष पर, इसके केंद्र से 14 cm दूर स्थित है। इस स्थान पर पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र 0.36 G एवं नति कोण शून्य है। चुंबक के अभिलंब समद्विभाजक पर इसके केंद्र से उतनी ही दूर (14 cm) स्थित किसी बिंदु पर परिणामी चुंबकीय क्षेत्र क्या होगा?**

हल- दिया है- $B_H = 0.36$ गाउस

चूँकि उदासीन बिन्दु अक्ष पर r = 14 सेमी. दूरी पर स्थित है।

अत: $B_{अक्ष} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3} = B_H$

ठीक r दूरी पर निरक्ष पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_{निरक्ष} = \frac{B_{अक्ष}}{2} = \frac{B_H}{2}$$

निरक्ष पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र एवं छड़ चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र समान दिशा में होंगे अत:

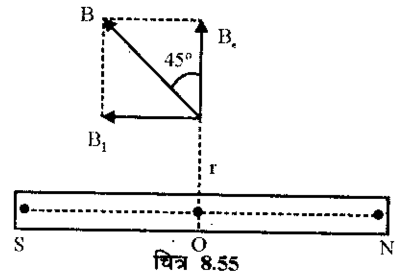
$$B_{कुल} = B_H + B_{निरक्ष} = B_H + \frac{B_H}{2} = \frac{3}{2}B_H$$

$$= \frac{3}{2}\times0.36 = 0.54 \text{ गाउस}$$

प्र.7. **एक छोटा छड़ चुंबक जिसका चुंबकीय आघूर्ण 5.25×10^{-2} JT^{-1} है, इस प्रकार रखा है कि इसका अक्ष पृथ्वी के क्षेत्र की दिशा के लंबवत् है। चुंबक के केंद्र से कितनी दूरी पर, परिणामी क्षेत्र पृथ्वी के क्षेत्र की दिशा से 45° का कोण बनाएगा, यदि हम (a) अभिलंब समद्विभाजक पर देखें, (b) अक्ष पर देखें। इस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण 0.42 G है। प्रयुक्त दूरियों की तुलना में चुंबक की लंबाई की उपेक्षा कर सकते हैं।**

हल- दिया है- $M = 5.25\times10^{-2}$ जूल/टेसला, $B_e = 0.42$ गाउस

(i) **अभिलम्ब समद्विभाजक पर (निरक्ष रेखा पर)**— माना निरक्ष रेखा पर केन्द्र O से r दूरी पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र B_e एवं छड़ चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र B_1 का परिणामी B पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के साथ 45° बनाता है तब इस स्थिति पर



चित्र 8.55

$|B_1| = |B_e|$

या $\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3} = 0.42\times10^{-4}$

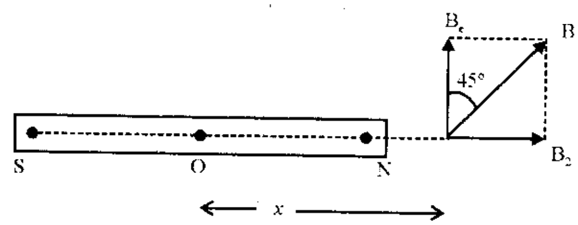
या $r^3 = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{0.42\times10^{-4}} = 10^{-7}\times\frac{5.25\times10^{-2}}{0.42\times10^{-4}}$

या $r^3 = 12.5\times10^{-5}$ या $r = 5\times10^{-2}$ मी. = 5 सेमी.

(ii) **अक्ष रेखा पर**— माना अक्ष रेखा पर केन्द्र O से x दूरी पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र एवं छड़ चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र B_2 का परिणामी B, पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के साथ 45° कोण बनाता है तब इस स्थिति पर

$|B_2| = B_e$

$\Rightarrow \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{x^3} = 0.42\times10^{-4}$



चित्र 8.56

$\Rightarrow x^3 = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{0.42\times10^{-4}}$

या $x^3 = 10^{-7}\times\frac{2\times5.25\times10^{-2}}{0.42\times10^{-4}} = 250\times10^{-6}$

या $x = 6.3\times10^{-2}$ मी. = 6.3 सेमी.

प्र.8. **निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए-**

(a) **ठंडा करने पर किसी अनुचुंबकीय पदार्थ का नमूना अधिक चुंबकन क्यों प्रदर्शित करता है? (एक ही चुंबककारी क्षेत्र के लिए)**

(b) **अनुचुंबकत्व के विपरीत, प्रतिचुंबकत्व पर ताप का प्रभाव लगभग नहीं होता। क्यों?**

(c) **यदि एक टोरॉइड में बिस्मथ का क्रोड लगाया जाए तो इसके अंदर चुंबकीय क्षेत्र उस स्थिति की तुलना में (किंचित) कम होगा या (किंचित) ज्यादा होगा, जबकि क्रोड खाली हो?**

(d) **क्या किसी लौह चुंबकीय पदार्थ की चुंबकशीलता, चुंबकीय क्षेत्र पर निर्भर करती है? यदि हाँ, तो उच्च चुंबकीय क्षेत्रों के**

लिए इसका मान कम होगा या अधिक?

(e) किसी लौह चुंबक की सतह के प्रत्येक बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ सदैव लंबवत् होती हैं

[यह तथ्य उन स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाओं के सदृश है जो कि चालक की सतह के प्रत्येक बिंदु पर लंबवत् होती हैं]। क्यों?

(f) क्या किसी अनुचुंबकीय नमूने का अधिकतम संभव चुंबकन, लौह चुंबक के चुंबकन के परिमाण की कोटि का होगा?

हल–(a) कम तापों पर यादृच्छिक ऊष्मीय गति के कम होने के कारण, चुम्बकीय द्विध्रुवों की बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के अनुदिश समायोजित होने की प्रवृत्ति अधिक होती है।

(b) क्योंकि प्रतिचुम्बकीय पदार्थों में प्रेरित चुम्बकीय आघूर्ण सदैव बाह्य चुम्बकन क्षेत्र के विपरीत होता है चाहे पदार्थ में परमाणुओं की गति कैसी भी हो।

(c) कुछ कम होगा क्योंकि बिस्मथ प्रतिचुम्बकीय पदार्थ है।

(d) नहीं, चुम्बकन वक्र से स्पष्ट है कि चुम्बकीय पारगम्यता, निम्न चुम्बकन क्षेत्रों के लिए अधिक होती है।

(e) यह तथ्य, दो माध्यमों को पृथक् करने वाले अन्त:पृष्ठ पर चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ एवं चुम्बकन क्षेत्र $\vec{H}$ की सीमा शर्तों पर आधारित है। जब एक माध्यम के लिए $\mu >> 1$ तो क्षेत्र रेखाएँ इस माध्यम पर लम्बवत् मिलती है।

(f) हाँ, संतृप्त चुम्बकन की अवस्था में अनुचुम्बकीय पदार्थ का चुम्बकन, लौह चुम्बकीय पदार्थ की कोटि का होगा, इनमें कुछ सूक्ष्म अन्तर हो सकता है साथ ही, अनुचुम्बकीय पदार्थ के लिए अपेक्षाकृत उच्च बाह्य चुम्बकन क्षेत्र की आवश्यकता होगी।

प्र.9. निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए-

(a) नर्म लोहे के एक टुकड़े के शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल, कार्बन-स्टील के टुकड़े के शैथिल्य लूप के क्षेत्रफल से कम होता है। यदि पदार्थ को बार-बार चुंबकन चक्र से गुजारा जाए तो कौन सा टुकड़ा अधिक ऊष्मा ऊर्जा का क्षय करेगा?

(b) लौह चुंबक जैसा शैथिल्य लूप प्रदर्शित करने वाली कोई प्रणाली स्मृति संग्रहण की युक्ति है। इस कथन की व्याख्या कीजिए।

(c) कैसेट के चुंबकीय फीतों पर पर्त चढ़ाने के लिए या आधुनिक कंप्यूटर में स्मृति संग्रहण के लिए, किस तरह के लौह चुंबकीय पदार्थों का इस्तेमाल होता है?

(d) किसी स्थान को चुंबकीय क्षेत्र से परिरक्षित करना है। कोई विधि सुझाइए।

हल-

(a) कार्बन-स्टील का टुकड़ा, क्योंकि

प्रतिचक्र ऊर्जा ह्रास $\propto$ चुम्बकीय शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल

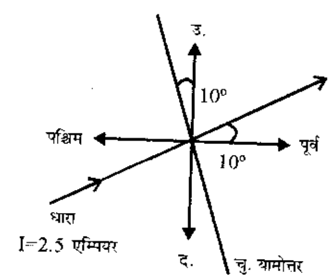
(b) किसी लौह चुम्बकीय पदार्थ का चुम्बकन, न केवल चुम्बकन क्षेत्र पर निर्भर करता है वरन् यह इस तथ्य पर भी निर्भर करता है कि चुम्बकन के कितने चक्र गुजर चुके हैं। पदार्थ के चुम्बकन का मान, चुम्बकन वक्रों की स्मृति का अभिलेख है अत: प्रत्येक चक्र की एक सूचना बिट के संगत बनाकर, इसे सूचना संग्रह की युक्ति की तरह प्रयुक्त कर सकते हैं।

(c) सिरेमिक, जिन्हें फैराइट्स (या संसाधित बेरियम लौह ऑक्साइड) कहते हैं।

(d) उस क्षेत्र को मृदु लोहे के छल्लों से घेरकर, क्योंकि चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ छल्लों में समाहित हो जाएगी।

प्र.10. एक लंबे, सीधे, क्षैतिज केबल में, 2.5 A धारा, 10° दक्षिण-पश्चिम से 10° उत्तर-पूर्व की ओर प्रवाहित हो रही है। इस स्थान पर चुंबकीय याम्योत्तर भौगोलिक याम्योत्तर के 10° पश्चिम में है। यहाँ पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र 0.33 G एवं नति कोण शून्य है। उदासीन बिंदुओं की रेखा निर्धारित कीजिए। (केबल की मोटाई की उपेक्षा कर सकते हैं)। (उदासीन बिंदुओं पर, धारावाही केबल द्वारा चुंबकीय क्षेत्र, पृथ्वी के क्षैतिज घटक के चुंबकीय क्षेत्र के समान एवं विपरीत दिशा में होता है।)

हल– नमन कोण $\theta = 0°$, दिक्पात कोण $\phi = 10°W$, $B_e = 0.33$ गाउस



चित्र 8.57

पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक

$$B_H = B_e \cos\theta = B_e \cos 0 = B_e = 0.33 \times 10^{-4} \text{ टेसला}$$

माना उदासीन बिन्दु केबल से सीधी दूरी r पर स्थित है तब

$$B_H = B_{\text{केबल}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

या $$r = \frac{\mu_0 I}{2\pi B_H} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2.5}{2\pi \times 0.33 \times 10^{-4}} = 1.51 \times 10^{-2} \text{ मी.}$$

$$= 1.51 \text{ सेमी.}$$

अत: उदासीन बिन्दु केबल के समान्तर ऊपर की ओर 1.5 सेमी. दूर स्थित रेखा पर होंगे।

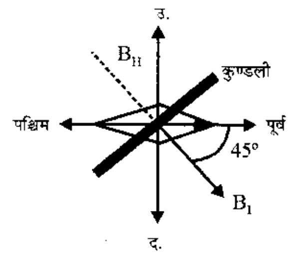
प्र.11. एक चुंबकीय सुई जो क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है, 30 फेरों एवं 12 cm त्रिज्या वाली एक कुंडली के केंद्र पर रखी है। कुंडली एक ऊर्ध्वाधर तल में है और चुंबकीय याम्योत्तर से 45° का कोण बनाती है। जब कुंडली में 0.35 A धारा प्रवाहित होती है, चुंबकीय सुई पश्चिम से पूर्व की ओर संकेत करती है।

(a) इस स्थान पर पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के क्षैतिज अवयव का मान ज्ञात कीजिए।

(b) कुंडली में धारा की दिशा उलट दी जाती है और इसको अपनी ऊर्ध्वाधर अक्ष पर वामावर्त दिशा में (ऊपर से देखने पर) 90° के कोण पर घुमा दिया जाता है। चुंबकीय सुई किस दिशा में

ठहरेगी? इस स्थान पर चुंबकीय दिक्पात शून्य लीजिए।

हल- दिया है N = 30, r = 12 सेमी $= 12\times10^{-2}$ मी., i = 0.35 एम्पियर,



चित्र 8.58

कुण्डली का चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_1 = \frac{\mu_0 Ni}{2r} = \frac{30\times4\pi\times10^{-7}\times35\times10^{-2}}{2\times12\times10^{-2}}$$

$$B_1 = \frac{30\times88\times5\times10^{-7}}{24} = 5.5\times10^{-5} \text{ टेसला}$$

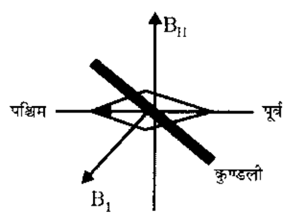
(a) चित्र से स्पष्ट है कि $B_H = B_1 \cos 45°$

अतः $B_H = 5.5\times10^{-5}\times\frac{1}{\sqrt{2}} = 3.9\times10^{-5}$ टेसला

$= 0.39 \times 10^{-4}$ टेसला

या $B_H = 0.39$ गाउस

(b) कुण्डली को ऊर्ध्वाधर अक्ष पर वामावर्त 90° घुमाने तथा इसमें धारा की दिशा उलटने पर चुम्बकीय सुई विपरीत दिशा में अर्थात् पूर्व से पश्चिम की ओर संरेखित होगी।

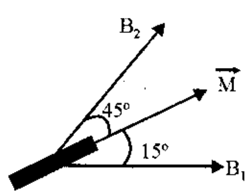


चित्र 8.59

प्र.12. एक चुंबकीय द्विध्रुव दो चुंबकीय क्षेत्रों के प्रभाव में है। ये क्षेत्र एक-दूसरे से 60° का कोण बनाते हैं और उनमें से एक क्षेत्र का परिमाण 1.2×10^{-2} T है। यदि द्विध्रुव स्थायी संतुलन में इस क्षेत्र से 15° का कोण बनाए, तो दूसरे क्षेत्र का परिमाण क्या होगा?

हल- दिया है- $\theta = 60°$, $B_1 = 1.2\times10^{-2}$ टेसला, परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की B_1 के साथ दिशा $\phi = 15°$

स्पष्टतः चुम्बकीय द्विध्रुव M पर



चित्र 8.60

$$\tau_1 = \tau_2$$

$$MB_1 \sin\theta_1 = MB_2 \sin\theta_2$$

या $B_2 = \frac{B_1 \sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{1.2\times10^{-2}\times\sin15°}{\sin45°}$ $(\sin15° = 0.2588)$

$B_2 = 1.2\times\sqrt{2}\times0.2588\times10^{-2} = 4.39\times10^{-3}$ टेसला

प्र.13. अनुचुंबकीय लवण के एक नमूने में 2.0×10^{24} परमाणु द्विध्रुव हैं जिनमें से प्रत्येक का द्विध्रुव आघूर्ण 1.5×10^{-23} J T^{-1} है। इस नमूने को 0.64 T के एक एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में रखा गया और 4.2 K ताप तक ठंडा किया गया। इसमें 15% चुंबकीय संतृप्तता आ गई। यदि इस नमूने को 0.98 T के चुंबकीय क्षेत्र में 2.8 K ताप पर रखा हो तो इसका कुल द्विध्रुव आघूर्ण कितना होगा? (यह मान सकते हैं कि क्यूरी नियम लागू होता है।)

उत्तर- दिया है- $n = 2\times10^{24}$, $M' = 1.5\times10^{-23}$ जूल/टेसला,

$B_{\text{बाह्य}} = 0.64$ टेसला

पदार्थ का कुल चुम्बकीय आघूर्ण

$$M = nM' = 2\times1.5\times10^{24}\times10^{-23} = 30 \text{ जूल/टेसला}$$

$T_1 = 4.2$ केल्विन पर प्राप्त चुम्बकीय संतृप्ति = 15%

जबकि $B_{\text{बाह्य}} = 0.64$ टेसला

अर्थात् प्राप्त चुम्बकीय आघूर्ण

$$M_1 = 15\times\frac{M}{100} = \frac{15\times30}{100} = 4.5 \text{ जूल/टेसला}$$

पुनः चुम्बकीय प्रवृत्ति $\chi = \frac{I}{H} = \frac{C}{T}$ $\left\{\because I = M/V \text{ तथा } H \propto B\right\}$

$$\Rightarrow \quad M = \frac{CVH}{T} \text{ या } M \propto \frac{H}{T}$$

$$\text{या} \quad M \propto \frac{B}{T} \Rightarrow \frac{M_2}{M_1} = \frac{B_2T_1}{B_1T_2}$$

$$\text{या} \quad M_2 = \frac{B_2T_1M_1}{B_1T_2} = \frac{0.98\times4.2\times4.5}{0.64\times2.8}$$

$= 10.335$ जूल/टेसला

प्र.14. एक रोलैंड रिंग की औसत त्रिज्या 15 cm है और इसमें 800 आपेक्षिक चुंबकशीलता के लौह चुंबकीय क्रोड पर 3500 फेरे लिपटे हुए हैं। 1.2 A की चुंबककारी धारा के कारण इसके क्रोड में कितना चुंबकीय क्षेत्र (B) होगा?

उत्तर- दिया है- r = 15 सेमी., $\mu_r = 800$, N = 3500, i = 1.2 एम्पियर

$$B = \mu_0\mu_r ni = \mu_0\mu_r \frac{N}{2\pi r} i$$

$$B = 4\pi\times10^{-7}\times800\times\frac{3500}{2\times\frac{22}{7}\times15\times10^{-2}}\times1.2$$

$= 4.48$ टेसला

प्र.15. किसी इलेक्ट्रॉन के नैज चक्रणी कोणीय संवेग $\vec{S}$ एवं कक्षीय कोणीय संवेग $\vec{l}$ के साथ जुड़े चुंबकीय आघूर्ण क्रमशः μ_s और μ_l है। क्वांटम सिद्धांत के आधार पर (और प्रयोगात्मक

रूप से अत्यंत परिशुद्धतापूर्वक पुष्ट) इनके मान क्रमशः निम्न प्रकार दिए जाते हैं। $\mu_s = -(e/m)\vec{S}$, एवं $\mu_l = -(e/2m)\vec{l}$ इनमें से कौन-सा व्यंजक चिरसम्मत सिद्धांतों के आधार पर प्राप्त करने की आशा की जा सकती है? उस चिरसम्मत आधार पर प्राप्त होने वाले व्यंजक को व्युत्पन्न कीजिए।

उत्तर- उपरोक्त सम्बन्धों में से कक्षीय चुम्बकीय आघूर्ण $\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m}\vec{l}$ चिरसम्मत भौतिकी से संगतता रखता है।

कक्षीय इलेक्ट्रॉन के लिए चुम्बकीय आघूर्ण

$$\mu_l = iA = \frac{-e}{\left(\frac{2\pi r}{v}\right)} \times \pi r^2 = -\frac{evr}{2}$$

पुनः $l = mvr \Rightarrow vr = \frac{l}{m}$

अतः $\mu_l = -\frac{e}{2m}l$

या सदिश रूप में $\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m}\vec{l}$