

# Chapter 5

## Magnetism And Matter

**Ques 1** एक छोटा छड़ चुम्बक जो एकसमान बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र  $0.25\text{ T}$  के साथ  $30^\circ$  का कोण बनाता है, पर  $4.5 \times 10^{-2}\text{ J}$  का बल आघूर्ण लगाता है। चुम्बक के चुम्बकीय आघूर्ण का परिमाण क्या है?

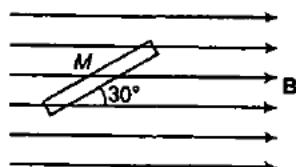
हल दिया है, एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = 0.25\text{ T}$$

$$\text{बल आघूर्ण } \tau = 4.5 \times 10^{-2}\text{ J}$$

चुम्बकीय आघूर्ण तथा चुम्बकीय क्षेत्र के बीच कोण  $\theta = 30^\circ$

बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बक पर बल आघूर्ण



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

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

$$(\because \mathbf{A} \times \mathbf{B} = AB \sin \theta)$$

$$4.5 \times 10^{-2} = M \times 0.25 \times \sin 30^\circ$$

$$M = \frac{4.5 \times 10^{-2}}{0.25 \times \sin 30^\circ}$$

$$= \frac{4.5 \times 10^{-2} \times 2}{0.25 \times 1} \quad \left( \because \sin 30^\circ = \frac{1}{2} \right)$$

$$= 0.36\text{ J/T}$$

अतः चुम्बकीय आघूर्ण का मान  $0.36\text{ J/T}$  है।

**Ques 2**

चुम्बकीय आघूर्ण  $m = 0.32 \text{ JT}^{-1}$  वाला एक छोटा छड़ चुम्बक,  $0.15 \text{ T}$  के एक समान चाहा चुम्बकीय क्षेत्र में रखा है। यदि यह छड़ क्षेत्र के तल में घूमने के लिए स्वतन्त्र हो, तो क्षेत्र के किस विन्यास में यह (a) स्थायी सन्तुलन और (b) अस्थायी सन्तुलन में होगा? प्रत्येक स्थिति में चुम्बक की स्थितिज ऊर्जा का मान बताइए।

हल चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण  $m = 0.32 \text{ JT}^{-1}$

$$\text{चुम्बकीय क्षेत्र } B = 0.15 \text{ T}$$

(a) स्थायी सन्तुलन हेतु चुम्बकीय आघूर्ण तथा चुम्बकीय क्षेत्र के मध्य कोण  $\theta = 0^\circ$

( $\because$  इस अवस्था में यदि द्विध्रुव चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में है तब द्विध्रुव पर कोई बल नहीं लगेगा)

$\therefore$  चुम्बक की स्थितिज ऊर्जा

$$\begin{aligned} U &= -m \cdot B \\ &= -mB \cos \theta \quad (\because A \cdot B = AB \cos \theta) \\ &= -0.32 \times 0.15 \cos 0^\circ \\ &= -4.8 \times 10^{-2} \text{ J} \end{aligned}$$

अतः स्थायी सन्तुलन हेतु स्थितिज ऊर्जा  $-4.8 \times 10^{-2} \text{ J}$  है।

(b) अस्थायी सन्तुलन हेतु चुम्बकीय आघूर्ण तथा चुम्बकीय क्षेत्र के बीच  $180^\circ$  का कोण है

(इस अवस्था में यह चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् होगा तथा इस पर अधिकतम बल आघूर्ण लगेगा)

$$\theta = 180^\circ$$

चुम्बक की स्थितिज ऊर्जा

$$\begin{aligned} U &= -mB \cos 180^\circ \\ &= -0.32 \times 0.15 (-1) = 4.8 \times 10^{-2} \text{ J} \end{aligned}$$

अतः अस्थायी सन्तुलन हेतु स्थितिज ऊर्जा  $4.8 \times 10^{-2} \text{ J}$  है।

**Ques 3**

एक परिनालिका में पास-पास लपेटे गए 800 फेरे हैं, तथा इसका अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल  $2.5 \times 10^{-4} \text{ मी}^2$  है और इसमें  $3.0 \text{ A}$  धारा प्रवाहित हो रही है। समझाइए कि किस अर्थ में यह परिनालिका एक छड़ चुम्बक की तरह व्यवहार करती है? इसके साथ जुड़ा हुआ चुम्बकीय आघूर्ण कितना है?

हल प्रश्नानुसार तार के फेरों की संख्या  $n = 800$

परिनालिका का क्षेत्रफल  $A = 2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

परिनालिका में धारा  $I = 3 \text{ A}$

1,400000000

जब परिनालिका में धारा प्रवाहित होती है, चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है भैक्सवेल के दार्ढ़ हाथ के नियमानुसार चुम्बकीय क्षेत्र परिनालिका की अक्ष के अनुदिश है चुम्बकीय आघूर्ण के सूत्रानुसार

$$M = n/A$$

$$M = n/A$$

$$= 800 \times 3 \times 2.5 \times 10^{-4}$$

$$= 0.6 \text{ J/T} \text{ परिनालिका की अक्ष के अनुदिश}$$

**Ques 4**

यदि प्रश्न 5 में बताई गई परिनालिका ऊर्ध्वाधर दिशा के परितः घूमने के लिए स्वतन्त्र हो और इस पर क्षैतिज दिशा में एक  $0.25 \text{ T}$  का एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र लगाया जाए, तो इस परिनालिका पर लगने वाले बल आधूर्ण का परिमाण उस समय क्या होगा, जब इसकी अक्ष आरोपित क्षेत्र की दिशा से  $30^\circ$  का कोण बना रही हो?

हल प्रश्नानुसार चुम्बकीय क्षेत्र  $B = 0.25 \text{ T}$

चुम्बकीय आधूर्ण तथा चुम्बकीय क्षेत्र के बीच कोण =  $30^\circ$

प्रश्न 5 के अनुसार,

चुम्बकीय आधूर्ण  $M = 0.6 \text{ J/T}$

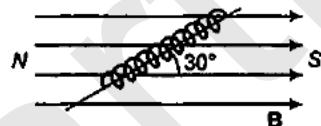
परिनालिका को चुम्बकीय क्षेत्र से  $\theta$  कोण पर रखने पर बल आधूर्ण

$$\tau = MB \sin \theta = 0.6 \times 0.25 \sin 30^\circ$$

$$= 0.6 \times 0.25 \times \frac{1}{2}$$

$$= 0.075 \text{ N-m}$$

अतः परिनालिका पर बल आधूर्ण  $0.075 \text{ N-m}$  है।



**Ques 5**

एक छड़ चुम्बक जिसका चुम्बकीय आधूर्ण  $1.5 \text{ J/T}$  है,  $0.22 \text{ T}$  के एक एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र के अनुदिश रखा है।

(a) एक बाह्य बल आधूर्ण कितना कार्य करेगा यदि एक चुम्बक को चुम्बकीय क्षेत्र के (i) लम्बवत् (ii) विपरीत दिशा में सरीखित करने के लिए घुमा दें।

(b) स्थित (i) एवं (ii) में चुम्बक पर कितना बल आधूर्ण होता है?

हल प्रश्नानुसार, चुम्बक पर चुम्बकीय आधूर्ण

$$M = 1.5 \text{ J/T}$$

एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र  $B = 0.22 \text{ T}$

(a) (i) कोण  $\theta_1 = 0^\circ$

(∴ चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा की ओर प्रेरित होती है)

तथा  $\theta_2 = 90^\circ$

(∴ चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् प्रेरित होती है)

चुम्बक को  $\theta_1$  कोण से  $\theta_2$  कोण घुमाने में किया गया कार्य

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

$$= -1.5 \times 0.22 (\cos 90^\circ - \cos 0^\circ)$$

$$= 0.33 \text{ J}$$

(ii) कोण  $\theta_1 = 0^\circ$  तथा  $\theta_2 = 180^\circ$

( $\because$  चुम्बक को चुम्बकीय क्षेत्र के सापेक्ष विपरीत दिशा में रखा गया है)

$$\begin{aligned} \text{कृत कार्य} &= -MB(\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \\ &= -1.5 \times 0.22 (\cos 180^\circ - \cos 0^\circ) = 0.66 \text{ J} \end{aligned}$$

(b) बल आघूर्ण के सूत्रानुसार

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

(i)  $\theta = 90^\circ$  (जब चुम्बकीय आघूर्ण चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् है)

$$\tau = 1.5 \times 0.22 \sin 90^\circ = 0.33 \text{ N-m}$$

(ii)  $\theta = 180^\circ$  (जब चुम्बकीय आघूर्ण चुम्बकीय क्षेत्र के विपरीत दिशा में है)

$$\tau = 1.5 \times 0.22 \sin 180^\circ = 0$$

**Ques 6**

एक परिनालिका जिसमें यास-यास 2000 फेरों लपेटे गए हैं तथा जिसके अनुग्रस्थ काट का क्षेत्रफल  $1.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  है और जिसमें 4.0 A की धारा प्रवाहित हो रही है, इसके केन्द्र से इस प्रकार लटकायी गई है कि यह एक क्षैतिज तल में घूम सके।

(a) परिनालिका के चुम्बकीय आघूर्ण का मान क्या है?

(b) परिनालिका पर लगने वाला बल एवं बल आघूर्ण क्या है, यदि इस पर इसकी अक्ष से  $30^\circ$  का कोण बनाता हुआ  $7.5 \times 10^{-2} \text{ T}$  का एकसमान क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र लगाया जाए?

**हल** तार के फेरों की संख्या  $n = 2000$

$$\text{परिच्छेद का क्षेत्रफल } A = 1.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{धारा } I = 4 \text{ A}$$

(a) परिनालिका के साथ चुम्बकीय आघूर्ण

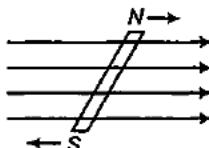
$$M = nIA = 2000 \times 4 \times 1.6 \times 10^{-4} = 1.28 \text{ J/T}$$

(b) परिनालिका पर शून्य बल है क्योंकि इसके दोनों सिरों पर समान तथा विपरीत दिशा के बल कार्यरत हैं। अतः वे एक युग्म का निर्माण करते हैं।

अतः परिनालिका पर बल आघूर्ण  $\tau = MB \sin \theta$

(दिया है,  $\theta = 30^\circ$ )

$$\begin{aligned} &= 1.28 \times 7.5 \times 10^{-2} \sin 30^\circ \\ &= 1.28 \times 7.5 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2} \\ &= 4.8 \times 10^{-2} \text{ N-m} \end{aligned}$$

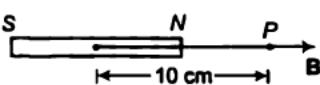


**Ques 7** किसी छोटे छड़ चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण  $0.48 \text{ JT}^{-1}$  है। चुम्बक के केन्द्र से  $10 \text{ cm}$  की दूरी पर स्थित किसी बिन्दु पर इसके चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण एवं दिशा बताइए। यदि यह बिन्दु (a) चुम्बक के अक्ष पर स्थित हो (b) चुम्बक के अभिलम्ब समद्विभाजक पर स्थित हो।

**हल** चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण  $M = 0.48 \text{ J/T}$

चुम्बक के केन्द्र से दूरी  $d = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$

(a) जब बिन्दु अक्षीय स्थिति में है तब बिन्दु  $P$  पर  
चुम्बकीय क्षेत्र



$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M}{d^3}$$

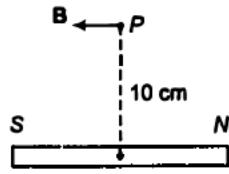
$$= \frac{10^{-7} \times 2 \times 0.48}{(0.1)^3} = 0.96 \times 10^{-4} \text{ T}$$

चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा चुम्बकीय आघूर्ण की दिशा के अनुदिश है हम जानते हैं कि चुम्बकीय आघूर्ण की दिशा  $S$  ध्रुव से  $P$  ध्रुव की ओर है। अतः चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा भी  $S$  से  $M$  की ओर होगी।

(b) छोटी छड़ चुम्बक के कारण निरक्षीय स्थिति में चुम्बकीय क्षेत्र का सूत्र प्रयुक्त करने पर

$$B = \frac{\mu_0 \cdot M}{4\pi \cdot d^3}$$

$$= 10^{-7} \times \frac{0.48}{(0.1)^3} = 0.48 \times 10^{-4} \text{ T}$$



चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा (निरक्षीय स्थिति में) चुम्बकीय आघूर्ण के विपरीत दिशा में है अतः चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा घुव S से M की ओर है।

## अतिरिक्त प्रश्न

प्रश्न 16. निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

- (a) उण्डा करने पर किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ का नमूना अधिक चुम्बकन क्यों प्रदर्शित करता है? (एक ही चुम्बकारी क्षेत्र के लिए)
- (b) अनुचुम्बकत्व के विपरीत, प्रतिचुम्बकत्व पर ताप का प्रभाव लगभग नहीं होता क्यों?
- (c) यदि एक टोरोइंड में बिस्थित क्रोड लगाया जाए तो इसके अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र उस स्थिति की तुलना में (किंचित्) कम होगा या (किंचित्) ज्यादा होगा, जबकि क्रोड खाली हो?
- (d) क्या किसी लौह चुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकशीलता चुम्बकीय क्षेत्र पर निर्भर करती है? यदि हाँ, तो उच्च चुम्बकीय क्षेत्रों के लिए इसका मान कम होगा या अधिक?
- (e) किसी लौह चुम्बक की सतह के प्रत्येक बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ सदैव लम्बवत् होती हैं। (यह तथ्य उन स्थिरवैष्णुत क्षेत्र रेखाओं के सदृश है जो कि चालक की सतह के प्रत्येक बिन्दु पर लम्बवत् होती हैं)। क्यों?
- (f) क्या किसी अनुचुम्बकीय नमूने का अधिकतम सम्भव चुम्बकन लौह चुम्बक के चुम्बकन के परिमाण की कोटि का होगा?

हल

- (a) परमाणवीय या आणविक द्विघुर्वों का अनियमित अभिविन्यास कम ताप पर घट जाता है क्योंकि उनकी ऊर्जीय गति भी घट जाती है। अतः उण्डा करने पर अनुचुम्बकीय पदार्थ अधिक चुम्बकन प्रदर्शित करते हैं।
- (b) प्रतिचुम्बकीय पदार्थ में प्रत्येक अणु चुम्बकीय द्विघुर्व नहीं होता है अतः अनियमित ऊर्जीय गति चुम्बकत्व को प्रमाणित नहीं करती है। अतः प्रतिचुम्बकीय पदार्थ का प्रति चुम्बकत्व ताप पर निर्भर नहीं करता है।
- (c) Bi एक प्रतिचुम्बकीय पदार्थ है अतः क्रोड का चुम्बकीय क्षेत्र Bi की उपस्थिति में कम होगा तथा खाली अवस्था में अधिक होगा क्योंकि प्रतिचुम्बकीय पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र के विपरीत दिशा में क्षीणता से चुम्बकित हो जाते हैं।
- (d) नहीं लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकशीलता चुम्बकीय क्षेत्र से स्वतन्त्र नहीं है। हिस्टेरिसिस वक्र के अनुसार अल्प क्षेत्र पर चुम्बकशीलता का मान अधिक होता है।

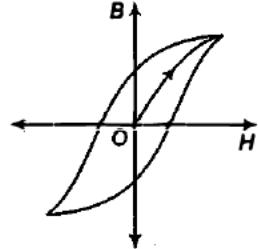
- (e) लौह चुम्बक की सतह पर प्रत्येक विन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ सदैव लम्बवत होती हैं क्योंकि लौह चुम्बकीय पदार्थों के लिए चुम्बकशीलता हमेशा अधिक होती है ( $\mu \gg 1$ ) (यह तथ्य उन स्थिरवैद्युत क्षेत्र रेखाओं के सदृश है जोकि चालक की सतह के प्रत्येक विन्दु पर लम्बवत होती है)
- (f) हाँ, अनुचुम्बकीय नमूने का अधिकतम सम्भव चुम्बकन लौह चुम्बकीय के चुम्बकन के परिणाम की कोटि का होता है बशर्ते कि चुम्बकीय क्षेत्र बहुत अधिक हो।

#### प्रश्न 17. निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए

- (a) लौह चुम्बकीय पदार्थ के चुम्बकन वक्र की अनुक्रमणीयता, डोमेनों के आधार पर गुणात्मक दृष्टिकोण से समझाइए।
- (b) 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 चुम्बकन चक्र से गुजारा जाए तो कौन-सा टुकड़ा अधिक ऊर्जा ऊर्जा का क्षय करेगा?
- (c) लौह चुम्बक जैसा शैथिल्य लूप प्रदर्शित करने वाली कोई प्रणाली स्मृति संग्रहण की युक्ति है। इस कथन की व्याख्या कीजिए।
- (d) कैसेट के चुम्बकीय फीतों पर पर्त चढ़ाने के लिए या आधुनिक कम्प्यूटर में स्मृति संग्रहण के लिए, किस तरह के लौह चुम्बकीय पदार्थों का इस्तेमाल होता है?
- (e) किसी स्थान को चुम्बकीय क्षेत्र से परिरक्षित करना है। कोई विधि सुझाइए।

#### हल

- (a) लौह चुम्बकीय पदार्थ के चुम्बकन वक्र की अनुक्रमणीयता डोमेनों के आधार पर व्याख्यित करने हेतु शैथिल्य वक्र बनाते हैं, जिसमें हम देखते हैं कि बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के हटाये जाने पर भी पदार्थ में चुम्बकत्व शेष रह जाता है जो लौह चुम्बकीय पदार्थ की अनुक्रमणीयता दर्शाता है।
- (b) हम जानते हैं कि शैथिल्य वक्र के प्रत्येक चक्र में व्यय ऊर्जा शैथिल्य वक्र के क्षेत्रफल के अनुक्रमानुपाती होती है अतः प्रश्नानुसार कार्बन स्टील हेतु शैथिल्य वक्र का क्षेत्रफल अधिक होता है अतः कार्बन स्टील का टुकड़ा अत्यधिक ऊर्जा व्यय करेगा।
- (c) लौह चुम्बकीय पदार्थ का चुम्बकन केवल चुम्बकन क्षेत्र पर ही निर्भर नहीं करता है अपितु चुम्बकन की पूर्व स्थितियों पर भी निर्भर करता है। (अर्थात् पूर्व में कितनी बार चुम्बकित किया गया है) अतः लौह चुम्बक जैसा शैथिल्य लूप प्रदर्शित करने वाली कोई प्रणाली स्मृति संग्रहण की युक्ति है।
- (d) कैसेट के चुम्बकीय फीतों पर पर्त चढ़ाने के लिए या स्मृति संग्रहण के लिए लौह चुम्बकीय पदार्थों का प्रयोग किया जाता हैं प्रयुक्त किए जाने वाले ये पदार्थ निम्न हैं  
 $MnFe_2O_4, FeFe_2O_4, CoFe_2O_4, NiFe_2O_4$



(e) किसी स्थान को चुम्बकीय क्षेत्र से मुक्त करने के लिए उस स्थान को नर्म लोहे से वलय के रूप में ढक लेते हैं। जैसे ही चुम्बकीय बल रेखाएँ वलय में प्रवेश करती हैं तब सम्पूर्ण क्षेत्र चुम्बकीय क्षेत्र से मुक्त हो जाता है।

**प्रश्न 18.** एक लम्बे, सीधे, क्षैतिज केबिल में,  $2.5 \text{ A}$  धारा  $10^\circ$  दक्षिण-पश्चिम से  $10^\circ$  उत्तर-पूर्व की ओर प्रवाहित हो रही है। इस स्थान पर चुम्बकीय यांत्रोत्तर भौगोलिक यांत्रोत्तर के  $10^\circ$  पश्चिम में है। यहाँ पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र  $0.33 \text{ G}$  एवं नति कोण शून्य है। उदासीन बिन्दुओं की रेखा निर्धारित कीजिए। (केबिल की मोटाई की उपेक्षा कर सकते हैं।) (उदासीन बिन्दुओं पर, धारावाही केबल द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र, पृथ्वी के क्षैतिज घटक के चुम्बकीय क्षेत्र के समान एवं विपरीत दिशा में होता है।)

हल केबिल में धारा

$$I = 2.5 \text{ A}$$

चुम्बकीय यांत्रोत्तर  $M_N M_S$  भौगोलिक यांत्रोत्तर  $G_N G_S$  के  $10^\circ$  पश्चिमी हैं  
 पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र  $R = 0.33 \text{ G}$   
 $= 0.33 \times 10^{-4} \text{ T}$

नति कोण  $\delta = 0^\circ$

शून्य बिन्दु वह बिन्दु है जहाँ धारावाही केबिल के कारण चुम्बकीय क्षेत्र पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के बराबर है।

पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक

$$H = R \cos \delta = 0.33 \times 10^{-4} \cos 0^\circ = 0.33 \times 10^{-4} \text{ T}$$

अनन्त लम्बाई के धारावाही चालक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र का सूत्र

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

उदासीन बिन्दु पर,

$$H = B$$

$$0.33 \times 10^{-4} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r}$$

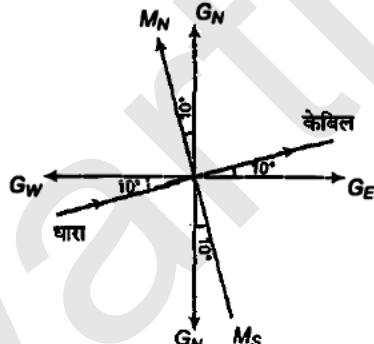
$$0.33 \times 10^{-4} = \frac{10^{-7} \times 2 \times 2.5}{r}$$

$$r = \frac{5 \times 10^{-7}}{0.33 \times 10^{-4}}$$

$$r = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$= 1.5 \text{ cm}$$

अतः उदासीन बिन्दु रेखा केबिल से  $1.5 \text{ cm}$  की दूरी पर है।



**प्रश्न 19.** किसी स्थान पर एक टेलिफोन केबिल में चार लम्बे, सीधे, क्षैतिज तार हैं जिनमें से प्रत्येक में  $1.0\text{ A}$  की धारा पूर्व से परिचम की ओर प्रवाहित हो रही है। इस स्थान पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र  $0.39\text{ G}$  एवं नति कोण  $35^\circ$  हैं। दिक्पात कोण लगभग शून्य है। केबिल के  $4.0\text{ cm}$  नीचे और  $4.0\text{ cm}$  ऊपर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्रों के मान क्या होंगे?

**हल** तारों की संख्या  $n = 4$

$$\text{क्षैतिज तार में धारा } I = 1\text{ A} \quad (\text{पूर्व-परिचम})$$

$$\text{पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र } R = 0.39\text{ G} = 0.39 \times 10^{-4}\text{ T}$$

$$\text{नति कोण } \delta = 35^\circ$$

$$\text{चुम्बकीय अवनति } \theta = 0^\circ$$

$$\text{केबिल तार से दूरी } r = 4\text{ cm} = 0.04\text{ m}$$

बिन्दु  $P$  पर चार केबिल तार के कारण चुम्बकीय क्षेत्र  $B$  है।

अनन्त लम्बाई के धारावाही चालक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

अर्थात्

$$B' = \frac{\mu_0 \cdot 2I}{4\pi r}$$

अतः  $4$  सेमी की दूरी पर चार केबिल तारों के द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$\begin{aligned} B &= 4 \times \frac{\mu_0 \cdot 2I}{4\pi r} \\ &= \frac{4 \times 10^{-7} \times 2 \times 1}{4 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}\text{ T} \end{aligned} \quad \dots(i)$$

मैक्सवेल के दार्दे हाथ के नियमानुसार चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा समतल के लम्बवत् बाहर की ओर है।

चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक

$$\begin{aligned} H &= R \cos \delta = 0.39 \times 10^{-4} \times \cos 35^\circ \\ &= 3.19 \times 10^{-5}\text{ T} \end{aligned}$$

चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्व घटक

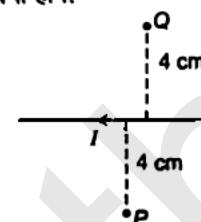
$$\begin{aligned} V &= R \sin \delta = 0.39 \times 10^{-4} \sin 35^\circ \\ &= 0.39 \times 10^{-4} \times 0.5736 \\ &= 2.2 \times 10^{-5}\text{ T} \end{aligned}$$

बिन्दु  $P$  पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्व घटक  $H'$  है

$$H' = H - B$$

$B$  व  $H$  विपरीत दिशा में हैं

$$\begin{aligned} H' &= 3.19 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5} \quad [\text{समी (i) से}] \\ &= 1.19 \times 10^{-5}\text{ T} \end{aligned}$$



विन्दु P पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र

$$R' = \sqrt{H^2 + V^2} = \sqrt{(1.19 \times 10^{-5})^2 + (2.2 \times 10^{-5})^2}$$

$$R' = 2.5 \times 10^{-5} \text{ T}$$

केबिल से 4 cm नीचे परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र  $2.5 \times 10^{-5} \text{ T}$  है।

विन्दु Q पर केबिल के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_1 = 4 \times \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{2I}{r} = \frac{4 \times 10^{-7} \times 2 \times 1}{0.04} = 2 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$B_1$  की दिशा समतल के ऊर्ध्वाधर अन्दर की ओर है।

पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक

$$H_1 = H + B_1 \quad (B_1 \text{ व } H \text{ की दिशा समान है})$$

$$\begin{aligned} H_1 &= 3.19 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} \\ &= 5.19 \times 10^{-5} \text{ T} \end{aligned}$$

विन्दु Q पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र

$$\begin{aligned} R'' &= \sqrt{H_1^2 + V^2} = \sqrt{(5.19 \times 10^{-5})^2 + (22 \times 10^{-5})^2} \\ &= 5.54 \times 10^{-5} \text{ T} \end{aligned}$$

अतः केबिल से 4 cm पर चुम्बकीय क्षेत्र  $5.54 \times 10^{-5} \text{ T}$  है।

**प्रश्न 20.** एक चुम्बकीय सुई जो क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतन्त्र है, 30 फेरों एवं 12 सेमी त्रिज्या वाली एक कुण्डली के केन्द्र पर रखी है। कुण्डली एक ऊर्ध्वाधर तल में है और चुम्बकीय याप्तोत्तर से  $45^\circ$  का कोण बनाती है। जब कुण्डली में  $0.35 \text{ A}$  धारा प्रवाहित होती है, चुम्बकीय सुई परिचय से पूर्व की ओर संकेत करती है।

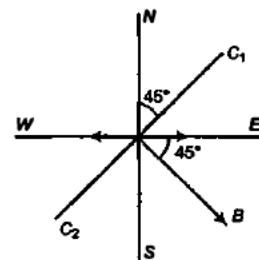
- (a) इस स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज अवयव का मान ज्ञात कीजिए।
- (b) कुण्डली में धारा की दिशा उलट दी जाती है और इसको अपनी ऊर्ध्वाधर अक्ष पर वामावर्त दिशा में (ऊपर से देखने पर)  $90^\circ$  के कोण पर धुमा दिया जाता है। चुम्बकीय सुई किस दिशा में ठहरेगी? इस स्थान पर चुम्बकीय दिक्पात शून्य लीजिए।

**हल** कुण्डली में तार के फेरों की संख्या  $n = 30$

$$\text{कुण्डली में धारा } I = 0.35 \text{ A}$$

$$\text{वृत्तीय कुण्डली की त्रिज्या} = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$

- (a) माना N-S चुम्बकीय याप्तोत्तर रेखा है कुण्डली चुम्बकीय याप्तोत्तर  $C_1$ , तथा  $C_2$  के सापेक्ष  $45^\circ$  के कोण पर है सुई विन्दु परिचय से पूर्व की ओर है कुण्डली के कारण चुम्बकीय क्षेत्र B की दिशा परिचय से पूर्व की दिशा से  $45^\circ$



के कोण पर है जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है। धारावाही कुण्डली के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0 \cdot 2\pi I}{4\pi r} = \frac{10^{-7} \times 2 \times 3.14 \times 0.35 \times 30}{0.12}$$

$$= 1.83 \times 10^{-6} \times 30 = 5.49 \times 10^{-5} \text{ T}$$

चुम्बकीय क्षेत्र का क्षेत्रफल

$$H = B \sin 45^\circ = 5.49 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= 3.9 \times 10^{-5} \text{ T}$$

(b) चूँकि कुण्डली में धारा व्युक्तिमित है तथा कुण्डली  $90^\circ$  के कोण पर घड़ी की सुई के विपरीत दिशा में बदलती है तथा सुईयों की दिशा व्युक्तिमित होगी अर्थात् पूर्व से पश्चिम की ओर।

**प्रश्न 21.** एक चुम्बकीय द्विघुव दो चुम्बकीय क्षेत्रों के प्रभाव में है। ये क्षेत्र एक-दूसरे से  $60^\circ$  का कोण बनाते हैं और उनमें से एक क्षेत्र का परिमाण  $12 \times 10^{-2} \text{ T}$  है। यदि द्विघुव स्थायी सन्तुलन में इस क्षेत्र से  $15^\circ$  का कोण बनाए, तो दूसरे क्षेत्र का परिमाण क्या होगा?

**हल** माना प्रथम चुम्बकीय क्षेत्र  $B_1$  तथा द्वितीय चुम्बकीय क्षेत्र  $B_2$  है,  $B_1$  व  $B_2$  में कोण  $60^\circ$  है।

दिया है,

$$B_1 = 12 \times 10^{-2} \text{ T}$$

द्विघुव  $B_1$  से  $45^\circ$  के कोण पर सन्तुलन में है

अर्थात्  $60^\circ - 15^\circ = 45^\circ$ ,  $B$  से

द्विघुव पर चुम्बकीय क्षेत्र  $B_1$  के कारण आघूर्ण

$$\tau_1 = M \times B_1 \sin 15^\circ \quad \dots(i)$$

जहाँ  $M$  चुम्बकीय आघूर्ण है।

द्विघुव पर चुम्बकीय क्षेत्र  $B_2$  के कारण आघूर्ण

$$\tau_2 = M \times B_2 \sin 45^\circ \quad \dots(ii)$$

चूँकि द्विघुव सन्तुलन में है

$$\therefore \tau_1 = \tau_2$$

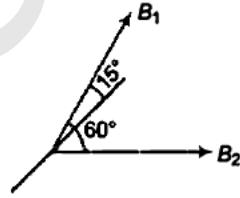
$$M \times B_1 \sin 15^\circ = M \times B_2 \sin 45^\circ$$

समी (i) तथा (ii) से

$$\frac{1.2 \times 10^{-2} \times \sin 15^\circ}{\sin 45^\circ} = B_2$$

$$B_2 = \frac{1.2 \times 10^{-2} \times 0.2588}{0.7071} = 4.4 \times 10^{-3} \text{ T}$$

अतः अन्य चुम्बकीय क्षेत्र  $4.4 \times 10^{-3} \text{ T}$  है।



**प्रश्न 22.** एक समोर्जी 18 keV वाले इलेक्ट्रॉनों के किरण पुंज पर जो शुरू में क्षैतिज दिशा में गतिशान है, 0.04 G का एक क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र, जो किरण पुंज की प्रारम्भिक दिशा के लम्बवत् है, लगाया गया है। आकलन कीजिए 30 सेमी की क्षैतिज दूरी चलने में किरण पुंज कितनी दूरी ऊपर या नीचे विस्थापित होगा? ( $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )।

**हल** यदि आवेशित कण चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् प्रवेश करता है तब वह वृत्तीय पथ पर गति करता है। चुम्बकीय बल अभिकेन्द्र का प्रदान करता है।

इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा  $E = 18 \text{ keV}$

$$= 18 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \quad (\because 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ = 18 \times 1.6 \times 10^{-16} \text{ J}$$

माना इलेक्ट्रॉन का वेग  $v$  है।

$$\text{चुम्बकीय क्षेत्र } B = 0.4 \text{ G} = 0.4 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$\text{दूरी} = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान } m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा } E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\therefore 18 \times 1.6 \times 10^{-16} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} v^2$$

अथवा

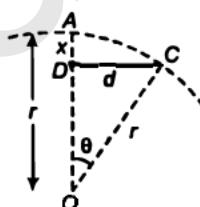
$$v = 0.795 \times 10^8 \text{ m/s}$$

माना इलेक्ट्रॉन बीम  $r$  त्रिज्या के पथ के अनुदिश विस्थापित होता है।

इलेक्ट्रॉन पर आरोपित चुम्बकीय बल अभिकेन्द्र बल प्रदान करता है

$$e v B = \frac{mv^2}{r}$$

[ $F = q(v \times B)$ ,  $v$  तथा  $B$  के बीच कोण  $90^\circ$  है]



$$OA = r = OC, DC = d = 30 \text{ cm}$$

अथवा

$$r = \frac{mv}{Be} = \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 0.795 \times 10^8}{0.4 \times 10^{-4} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 11.3 \text{ m}$$

माना विक्षेपण  $AD = x$

$\Delta DCO$ , से

$$\sin \theta = \frac{DC}{OC} = \frac{d}{r} = \frac{0.3}{11.3}$$

$$\theta = 1.521^\circ$$

तथा

$$\cos \theta = \frac{OD}{OC} = \frac{OD}{r}$$

अथवा

$$OD = r \cos \theta$$

पथ के अन्तिम बिन्दु पर विक्षेपण

$$AD = x = AO - OD = r - r \cos \theta = r(1 - \cos \theta)$$

अथवा

$$x = 11.3(1 - \cos 1.521^\circ) = 0.0039\text{ m}$$

$$= 3.9\text{ mm}$$

अथवा

$$x = 4\text{ mm}$$

अतः बीम का ऊपरी या निम्न विक्षेपण लगभग 4 mm है।

**प्रश्न 23.** अनुचुम्बकीय लवण के एक नमूने में  $2.0 \times 10^{24}$  परमाणु द्विघुव हैं जिनमें से प्रत्येक का द्विघुव आधूर्ण  $1.5 \times 10^{-23}\text{ J/T}$  है। इस नमूने को  $0.64\text{ T}$  के एक एक्समान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा गया और  $4.2\text{ K}$  ताप तक ठंडा किया गया। इसमें 15% चुम्बकीय संतृप्ता आ गई। यदि इस नमूने को  $0.98\text{ T}$  के चुम्बकीय क्षेत्र में  $2.8\text{ K}$  ताप पर रखा हो तो इसका कुल द्विघुव आधूर्ण कितना होगा? (यह मान सकते हैं कि क्यूरी नियम लागू होता है।)

हल परमाणुओं पर द्विघुवी की संख्या  $n = 2 \times 10^{24}$

प्रत्येक द्विघुव का द्विघुव आधूर्ण =  $1.5 \times 10^{-23}\text{ J/T}$

चुम्बकीय संतृप्ता = 15%

समांगी चुम्बकीय क्षेत्र  $B_1 = 0.64\text{ T}$

प्रारम्भिक ताप  $T_1 = 4.2\text{ K}$

अन्तिम चुम्बकीय क्षेत्र  $B_2 = 0.98\text{ T}$

अन्तिम ताप  $T_2 = 2.8\text{ K}$

चुम्बकीय संतृप्ता की माप = 15%

नमूने  $M$  का द्विघुव आधूर्ण

= द्विघुवों की संख्या  $\times$  प्रत्येक द्विघुव का आधूर्ण

$$= 2 \times 10^{24} \times 1.5 \times 10^{-23} = 3 \times 10 = 30$$

संतृप्ता पर प्रभावी चुम्बकीय आधूर्ण  $M_1 = 15\% \text{ of } M$

$$M_1 = \frac{15}{100} \times 30 = 4.5\text{ J/T}$$

क्षूरी के नियमानुसार

$$\chi_m = \frac{C}{T} = \frac{I}{H}$$

$$I \propto M \text{ तथा } H \propto B$$

अतः

$$\frac{C}{T} = \frac{M}{B}$$

जहाँ,  $M$  चुम्बकीय आघूर्ण है तथा  $B$  चुम्बकीय क्षेत्र है।

अथवा

$$M \propto \frac{BC}{T}$$

∴

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{B_1 T_2}{T_1 B_2}$$

अथवा

$$M_2 = \frac{B_2 T_1}{B_1 T_2} \times M_1 = \frac{0.98 \times 4.2 \times 4.5}{0.64 \times 2.8}$$

$$M_2 = 10.335 \text{ J/T}$$

अतः नमूने का द्विमुव आघूर्ण  $2.8 \text{ K}$  ताप पर  $10.335 \text{ J/T}$  है।

प्रश्न 24. एक रोलैण्ड रिंग की औसत त्रिज्या  $15 \text{ सेमी}$  है और इसमें 800 आपेक्षिक चुम्बकशीलता के लौह चुम्बकीय क्रोड पर 3500 फेरे लिपटे हुए हैं।  $1.2 \text{ A}$  की चुम्बकीय धारा के कारण इसके क्रोड में कितना चुम्बकीय क्षेत्र ( $B$ ) होगा?

हल् रोलैण्ड रिंग की औसत त्रिज्या  $r = 15 \text{ सेमी} = 0.15 \text{ मी}$

तार के फेरों की संख्या  $N = 3500$

लौह चुम्बकीय क्रोड के लिए आपेक्षिक चुम्बकशीलता

$$\mu_r = 800$$

धारा

$$I = 1.2 \text{ A}$$

टोरॉइड के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{N}{2\pi} I \quad \left( \because n = \frac{\text{तार के फेरों की संख्या}}{\text{लम्बाई}} \right)$$

$$\begin{aligned} B &= \mu_0 \mu_r \frac{N}{2\pi} I \quad (\because \text{टोरॉइड की लम्बाई} = 2\pi) \\ &= 4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 800 \times \frac{3500 \times 1.2}{2 \times 3.14 \times 0.15} \\ &= 4.48 \text{ T} \end{aligned}$$

**प्रश्न 25.** किसी इलेक्ट्रॉन के नैज चक्रणी कोणीय संवेग  $s$  एवं कक्षीय कोणीय संवेग  $l$  के साथ जुड़े चुम्बकीय आधूर्ण क्रमशः  $\mu_s$  और  $\mu_l$  है। क्वांटम सिद्धान्त के आधार पर (और प्रयोगात्मक रूप से अत्यन्त परिशुद्धतापूर्वक पुष्ट) इनके मान क्रमशः निम्न प्रकार दिए जाते हैं।

$$\mu_s = -(e/m)s, \text{ एवं } \mu_l = -(e/2m)l$$

इनमें से कौन-सा व्यंजक चिरसम्पत्ति सिद्धान्तों के आधार पर प्राप्त करने की आशा की जा सकती है? उस चिरसम्पत्ति आधार पर प्राप्त होने वाले व्यंजक को व्युत्पन्न कीजिए।

**हल** दिए गए सम्बन्ध के अनुसार केवल  $\mu_l$ , नूतन भौतिकी के अनुरूप है।

$$\mu_l = -\left(\frac{e}{2m}\right)l \quad \dots(i)$$

$$\text{चुम्बकीय आधूर्ण } \mu_l = l \times \text{क्षेत्रफल} = \left(\frac{\text{आवेश}}{\text{समय}}\right) \pi r^2$$

$$\text{भौतिकी } \mu_l = \left(-\frac{e}{T}\right) \pi r^2 \quad \dots(ii)$$

$$\text{कोणीय संवेग } l = mv r = m \left(\frac{2\pi r}{T}\right) r \quad \dots(iii)$$

समी (ii) को (iii) से भाग देने पर

$$\therefore \frac{\mu_l}{l} = \frac{-e \pi r^2 \cdot T}{T \cdot m(2\pi r)} \xrightarrow{\text{भौतिकी}} \frac{\mu_l}{l} = -\frac{e}{2m}$$

$$\mu_l = -\frac{e}{2m} l$$

यहाँ हम देखते हैं कि  $\mu_l$ , व  $l$  दोनों एक-दूसरे के समान्तर तथा विपरीत दिशा में हैं।