

पाठ 5: चुम्बकत्व और द्रव्य

चुम्बकत्व – वे पदार्थ जो अपने चारों ओर एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं उन्हें चुम्बक कहते हैं तथा चुम्बक के इस गुण को चुम्बकत्व कहते हैं।

- चुम्बक के समान ध्रुवों में प्रतिकर्षण तथा असमान ध्रुवों में आकर्षण होता है।
- किसी चुम्बक के समीप उसके प्रभाव को चुम्बकीय बल रेखाओं द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।



चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण (M) चुम्बकीय द्विध्रुव की ध्रुव प्राबल्यता (m) तथा उसकी प्रभावकारी लम्बाई (2ℓ) के गुणनफल को चुम्बकीय द्विध्रुव $M = m \times (2\ell)$ आघूर्ण कहते हैं।

यह एक सदिश राशि है, दिशा दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव की ओर। मात्रक: ऐम्पियर-मीटर² या न्यूटन-मी/टेस्ला।

चुम्बकन तीव्रता (I) – चुम्बकीय पदार्थ के एकांक आयतन में उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण (M) के मान को चुम्बकन तीव्रता कहते हैं।

$$I = \frac{M}{V}$$

→ यदि दण्ड चुम्बक का क्षेत्रफल A तथा लम्बाई 2ℓ हो, तब $I = \frac{m \times 2\ell}{A \times 2\ell} = \frac{m}{A}$ ऐम्पियर/मी

चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (H)

जब कोई पदार्थ किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है, तो वह चुम्बकित हो जाता है। चुम्बकन क्षेत्र की पदार्थ को चुम्बकित करने की क्षमता को क्षेत्र की तीव्रता (H) कहते हैं।

$$H = \frac{B}{\mu_0} - I$$

मात्रक: ऐम्पियर/मीटर

चुम्बकशीलता (μ)

चुम्बकीय पदार्थ के अन्दर उत्पन्न चुम्बकीय प्रेरण B तथा चुम्बक क्षेत्र की चुम्बकीय तीव्रता के अनुपात को उस पदार्थ की चुम्बकशीलता कहते हैं।

$$\mu = \frac{B}{H}$$

मात्रक: वेबर/ऐम्पियर-मीटर अथवा न्यूटन/ऐम्पियर²

आपेक्षिक चुम्बकशीलता (μ_r)

चुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकशीलता (μ) तथा वायु की चुम्बकशीलता (μ_0) के अनुपात को आपेक्षिक चुम्बकशीलता कहते हैं।

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

चुम्बकीय प्रवृत्ति (χ_m)

चुम्बकीय क्षेत्र में पदार्थ की चुम्बकन तीव्रता (I) तथा चुम्बकन क्षेत्र की तीव्रता (H) के अनुपात को चुम्बकीय प्रवृत्ति कहते हैं।

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

यह एक अदिश राशि है तथा यह मात्रकहीन होती है।

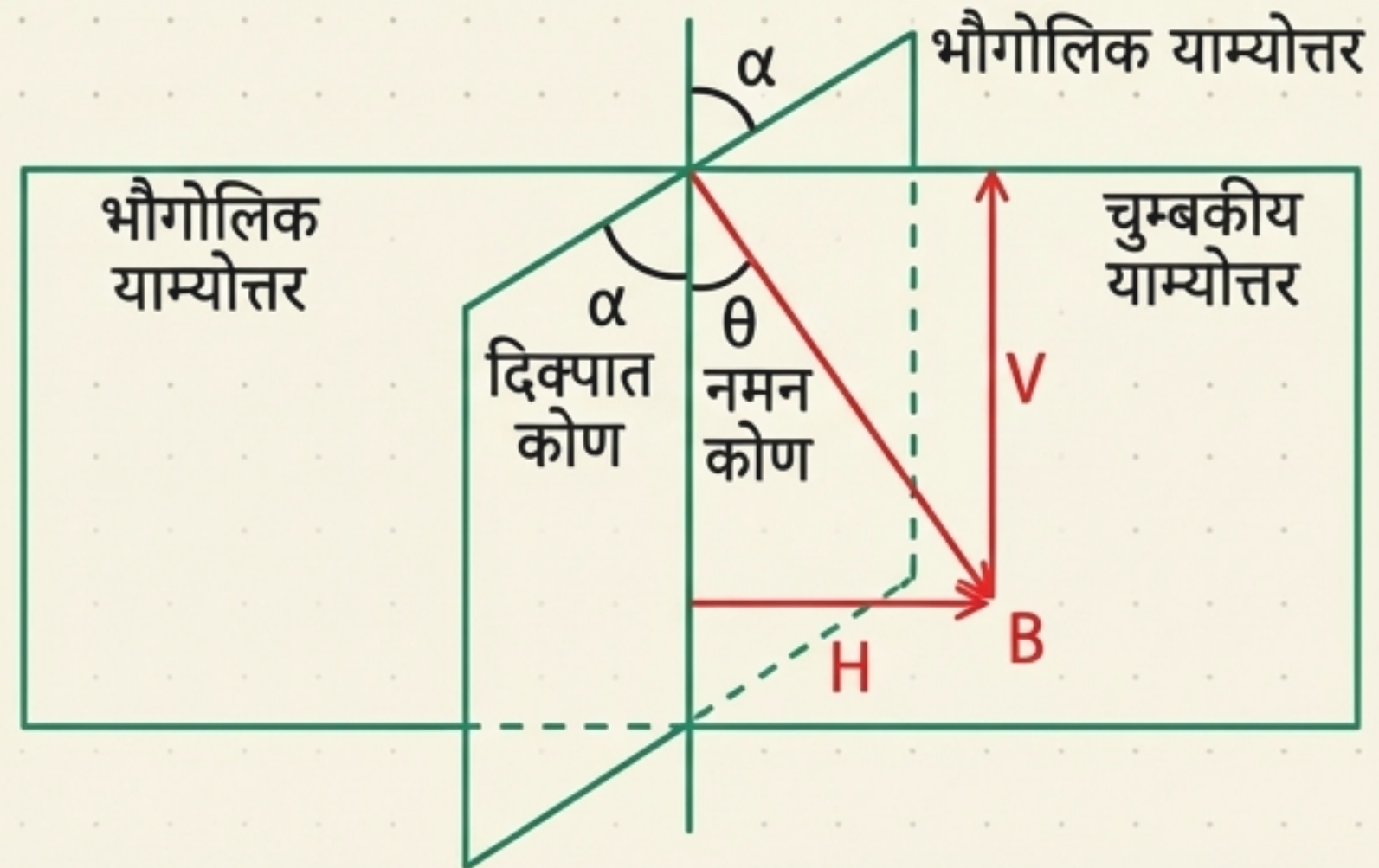
Tip: μ_r एवं χ_m
में सम्बन्ध:

$$\mu_r = 1 + \chi_m$$

पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र

पृथ्वी इस प्रकार व्यवहार करती है जैसे इसके गर्भ में एक बहुत शक्तिशाली चुम्बक रखी हो।

1. दिक्पात कोण (α) : चुम्बकीय याम्योत्तर तथा भौगोलिक याम्योत्तर के बीच न्यूनकोण।
2. नमन या नति कोण (θ) : वह कोण, जोकि पृथ्वी के परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा तथा क्षैतिज दिशा के बीच बनता है।
 - भूमध्य रेखा पर नमन कोण = 0°
 - ध्रुवों पर नमन कोण = 90°



$$\begin{aligned} V &= B \sin \theta & B &= \sqrt{H^2 + V^2} & \tan \theta &= \frac{V}{H} \\ H &= B \cos \theta \end{aligned}$$

★ **उदासीन बिन्दु (Neutral Point):** वह बिन्दु जहाँ चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के परिमाण के बराबर तथा विपरीत दिशा में होते हैं। परिणामी क्षेत्र शून्य होता है।

बहुविकल्पीय प्रश्न (Test Your Knowledge)

प्रश्न 1. चुम्बकीय याम्योत्तर तथा भौगोलिक याम्योत्तर के बीच के कोण को कहते हैं :
(a) नति कोण (b) ☒ दिक्पात कोण (c) ध्रुवण कोण (d) क्रान्तिक कोण

उत्तर (b) : चुम्बकीय याम्योत्तर तथा भौगोलिक याम्योत्तर के बीच का कोण दिक्पात कोण कहलाता है।

प्रश्न 2. एक स्थान पर नति कोण 30° है। यदि पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक H है, तो सम्पूर्ण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता होगी:

(a) $\frac{H}{2}$ (b) ☒ $\frac{2H}{\sqrt{3}}$ (c) $H\sqrt{\frac{3}{2}}$ (d) $2H$

→ उत्तर (b) हल: दिया है, नति कोण $(\theta) = 30^\circ$

$$\text{सूत्र: } H = B \cos \theta \Rightarrow B = \frac{H}{\cos 30^\circ} \Rightarrow B = \frac{H}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \Rightarrow B = \frac{2H}{\sqrt{3}}$$

चुम्बकीय पदार्थ (Magnetic Materials)

प्रतिचुम्बकीय पदार्थ (Diamagnetic)

वे पदार्थ, जो चुम्बकीय क्षेत्र में विपरीत दिशा में थोड़े से चुम्बकित हो जाते हैं तथा उच्च परिमाण से निम्न परिमाण की ओर गति करते हैं।

चुम्बकशीलता ऋणात्मक तथा 1 से कम
($\mu_r < 1$)

जैसे : Sb, Bi, Zn, Cu, Hg, H_2 , N_2 , He, H_2O , सोना, चाँदी, हीरा आदि।

अनुचुम्बकीय पदार्थ (Paramagnetic)

वे पदार्थ, जो चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में थोड़े-से चुम्बकित होते हैं तथा निम्न परिमाण से उच्च परिमाण की ओर गति करते हैं।

चुम्बकशीलता धनात्मक तथा 1 से अधिक
($\mu_r > 1$)

जैसे : Mn, Na, Al, $CuCl_2$, O_2 , Pt, काँच आदि।



परमाणु चुम्बकीय द्विध्रुव की भाँति व्यवहार करते हैं, बाह्य क्षेत्र में थोड़ा-सा चुम्बकित हो जाते हैं।

लौह चुम्बकीय पदार्थ (Ferromagnetic)

चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं तथा चुम्बक के सिरों की ओर आकर्षित होते हैं।

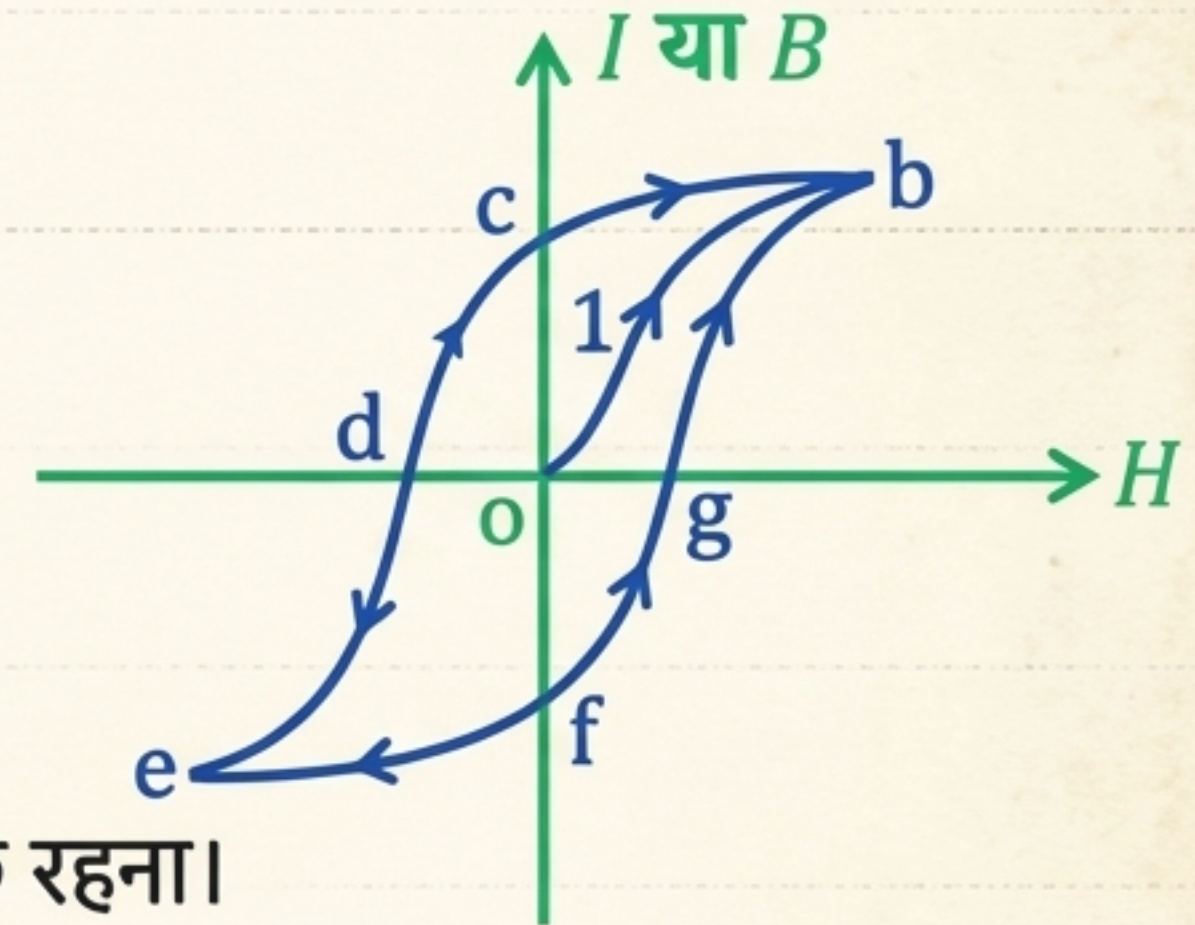
चुम्बकशीलता धनात्मक तथा 1 से बहुत अधिक ($\mu_r \gg 1$)

Examples : Fe, Co, Ni, मैग्नेटाइट (Fe_3O_4)

Note the mechanism : बाह्य क्षेत्र की उपस्थिति में डोमेनों के घूर्णन के कारण प्रबल चुम्बकन उत्पन्न होता है।

क्यूरी नियम : $\chi_m \propto \frac{1}{T} \Rightarrow \chi_m = \frac{C}{T}$ (जहाँ C = क्यूरी नियतांक)

क्यूरी ताप (T_c): वह ताप जिसके नीचे पदार्थ लौह चुम्बकीय तथा ऊपर अनुचुम्बकीय पदार्थ के रूप में व्यवहार करता है। लोहे के लिए $T_c = 770^\circ\text{C}$.



शैथिल्य वक्र : चुम्बकन की तीव्रता (I) का चुम्बकन क्षेत्र (H) से पीछे रहना।

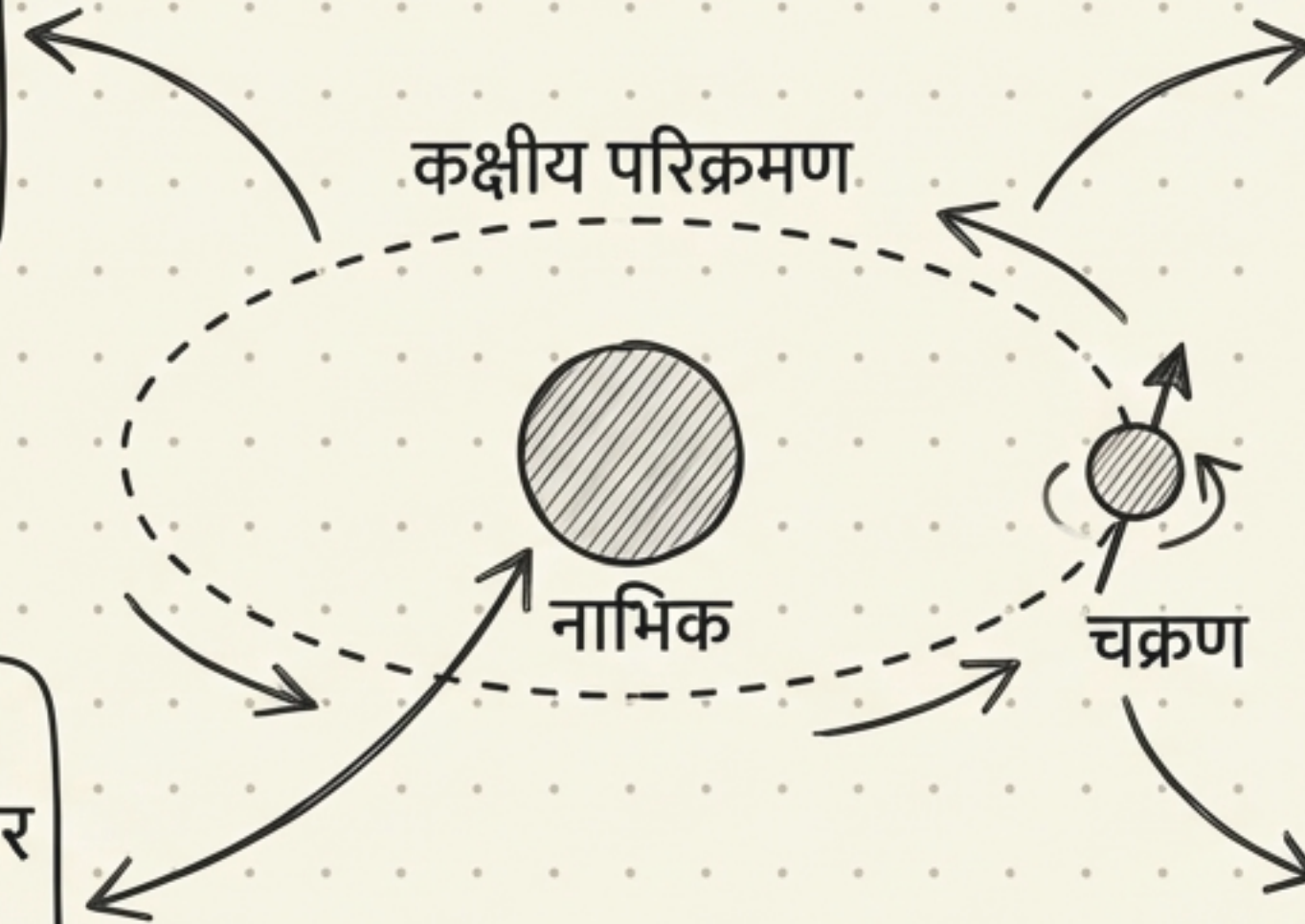
स्थायी चुम्बक (Permanent) : उच्च धारणशीलता व निग्राहिता (स्टील)।

विद्युत चुम्बक (Electromagnet) : नर्म लोहे के बनाए जाते हैं।

★ चुम्बकत्व का परमाणवीय मॉडल ★

प्रत्येक पदार्थ छोटे-छोटे कणों से मिलकर बना होता है जिन्हें अणु कहते हैं और अणु परमाणुओं से।

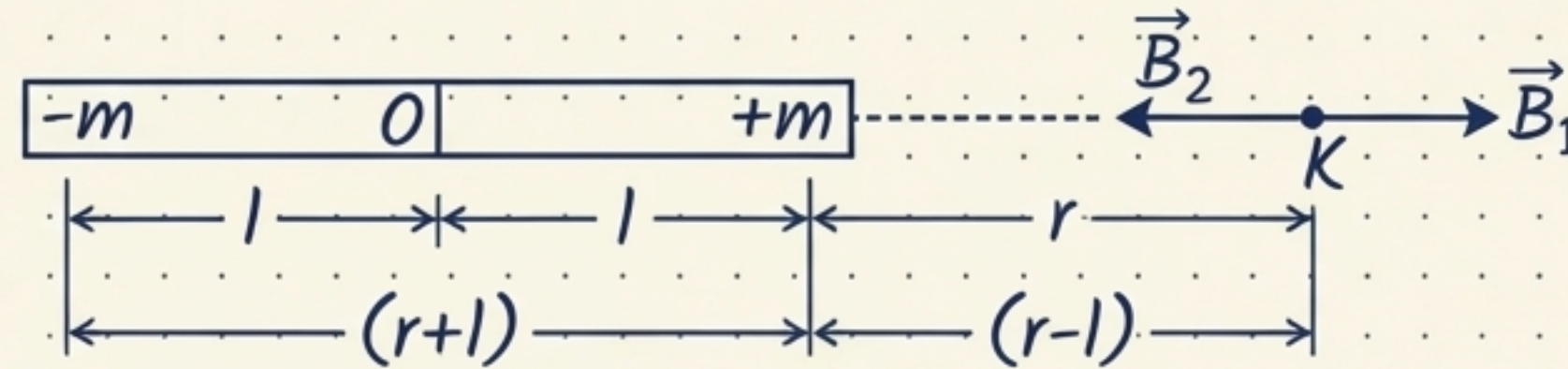
चूँकि इलेक्ट्रॉन आवेशित होता है, अतः उसकी गति एक धारा लूप या चुम्बकीय द्विध्रुव की भाँति व्यवहार करती है।



परमाणु के केन्द्र पर धनावेशित नाभिक होता है जिसके चारो ओर इलेक्ट्रॉन विभिन्न कक्षाओं में घूमते रहते हैं (कक्षीय परिक्रमण) तथा अपनी धुरी पर भी घूमते रहते हैं (चक्रण)।

परमाणु में चुम्बकीय आघूर्ण का अधिकांश भाग इलेक्ट्रॉनों के 'चक्रण' के कारण होता है तथा कक्षीय परिक्रमण के कारण बहुत कम होता है।

दण्ड चुम्बक के कारण अक्षीय स्थिति में चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (Axial Position - Part I)



$+m$ के कारण: $B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{(r-l)^2}$

$-m$ के कारण: $B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{(r+l)^2}$

बिन्दु K पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता:

$$B = B_1 - B_2$$

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

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

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

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

अक्षीय स्थिति: सूत्र की स्थापना

$$\because r \gg l \Rightarrow r^2 \ggg l^2$$

$$B = \frac{\mu_0 m}{4\pi} \left[\frac{4rl}{(r^2)^2} \right]$$

$$\left\{ \because M = m \cdot 2l \right\}$$

$$B = \frac{\mu_0 m}{4\pi} \left[\frac{4l}{r^3} \right]$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{2(m \cdot 2l)}{r^3} \right]$$

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

मात्रक: टेस्ला

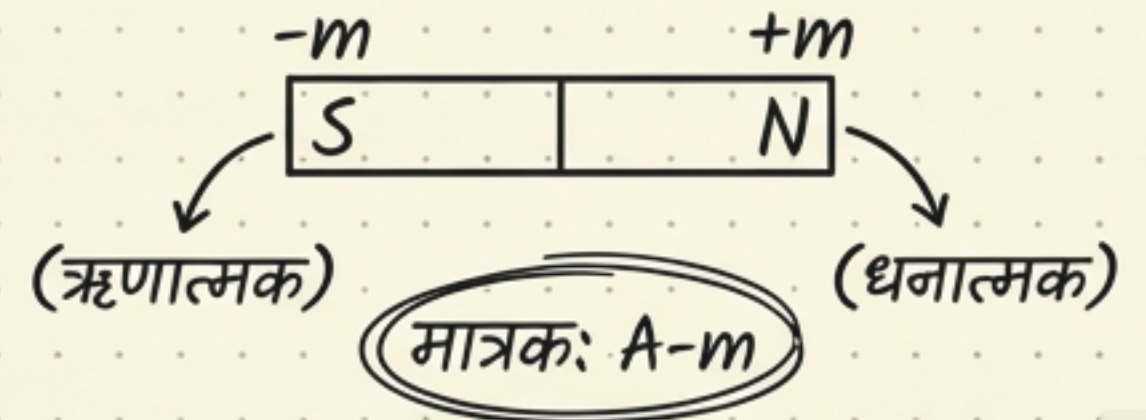
चुम्बकीय द्विध्रुव
आघूर्ण

दूरी

$$\text{सदिश रूप में: } \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\vec{M}}{r^3}$$

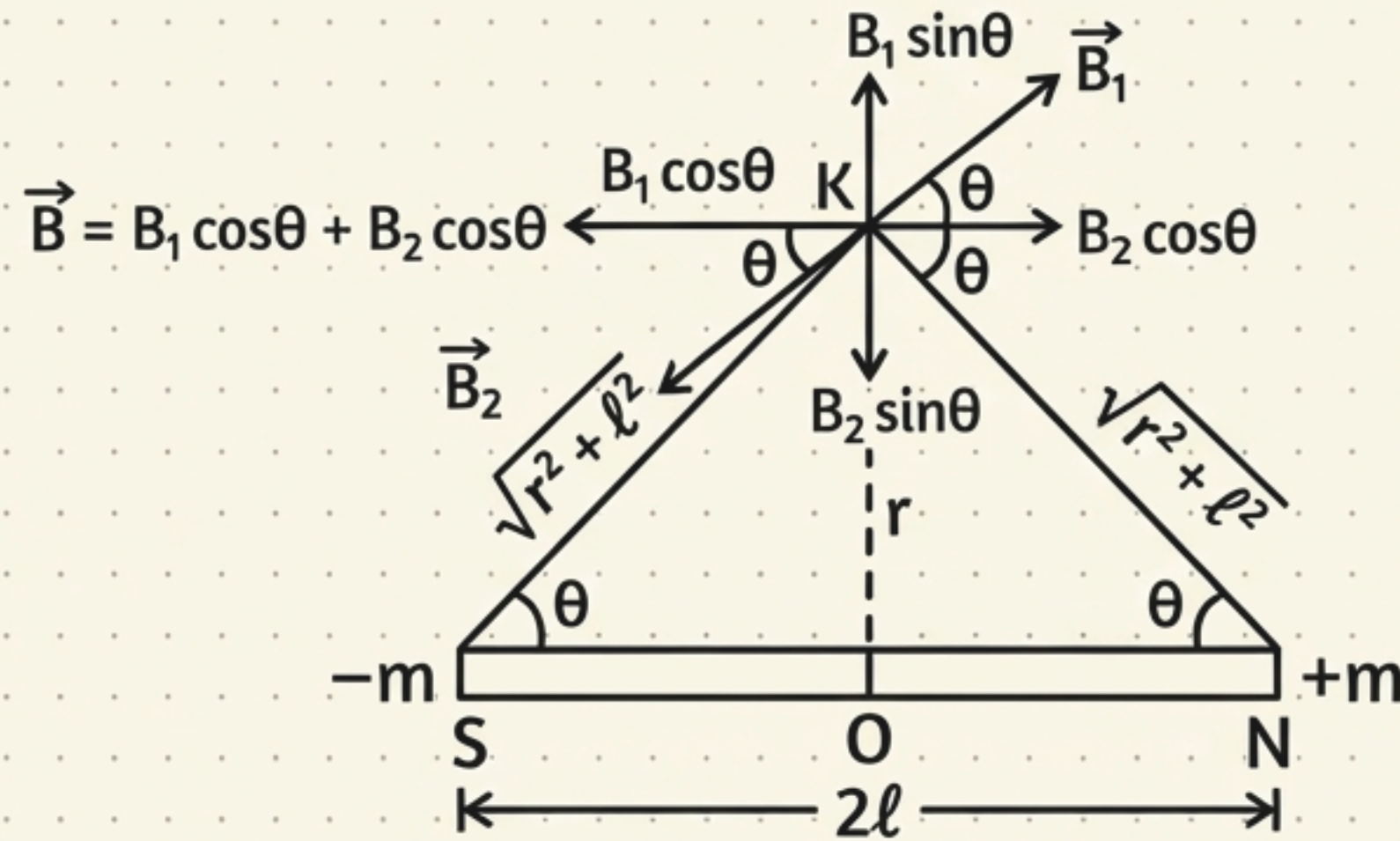
★ ध्रुव सामर्थ्य ★

चुम्बकीय द्विध्रुव की ध्रुव सामर्थ्य वह शक्ति है जिससे वह अन्य चुम्बकीय पदार्थों को आकर्षित/प्रतिकर्षित करती है।



Tip: l^2 को नगण्य (zero) मानने पर

दण्ड चुम्बक के कारण निरक्षीय स्थिति में चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (Equatorial Position - Part 1)



$+m$ के कारण बिन्दु K पर : $B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{(\sqrt{r^2 + \ell^2})^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^2 + \ell^2}$

$-m$ के कारण बिन्दु K पर : $B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^2 + \ell^2}$

चूँकि $B_1 = B_2$

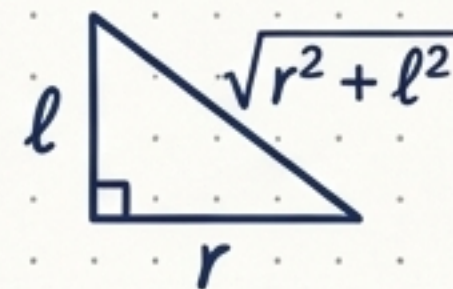
बिन्दु K पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता :

$$B = B_1 \cos \theta + B_2 \cos \theta$$

$$B = B_1 \cos \theta + B_1 \cos \theta = 2B_1 \cos \theta$$

निरक्षीय स्थिति: सूत्र की स्थापना

$$B = 2 \times \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^2 + l^2} \cdot \cos\theta$$



चित्र से: $\cos\theta = \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}}$

$$B = 2 \times \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^2 + l^2} \times \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}}$$

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

$\because r \gg l \Rightarrow r^2 \gg l^2$ (l^2 को नगण्य मानने पर)

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

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{M}{r^3} \text{ टेस्ला}$$

$$\left\{ \because M = m \cdot 2l \right\}$$

★ सदिश रूप में ★

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

(ऋणात्मक चिह्न दर्शाता है कि B की दिशा M के विपरीत है)

★ धारा लूप (चुम्बकीय द्विध्रुव) का आघूर्ण ★

जब किसी धारा लूप को एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखते हैं तो उस पर एक बल युग्म का आघूर्ण कार्य करता है:

$$\tau = IAB \sin\theta$$

→ यदि कुण्डली में N फेरे हों तब:

$$\tau = NIAB \sin\theta \dots \text{(समीकरण 1)}$$

→ एकसमान वैद्युत क्षेत्र में वैद्युत द्विध्रुव पर लगने वाले बल युग्म का आघूर्ण:

$$\tau = pE \sin\theta \dots \text{(समीकरण 2)}$$

→ यहाँ वैद्युत द्विध्रुव आघूर्ण के तुल्यकारी मान को चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण (M) कहते हैं।

$$M = NIA$$

→ धारावाही कुण्डली का चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण है।
If $N=1$, $M=IA$

→ $M = NIA$ को समीकरण (1) में रखने पर

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

→ चुम्बकीय द्विध्रुव पर लगने वाले बल युग्म के आघूर्ण का सूत्र

$$\text{यदि } \theta = 90^\circ, \tau_{\max} = MB \sin 90^\circ \Rightarrow \tau_{\max} = MB$$

प्रश्न 1. एक स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक 0.3 गॉस तथा नति कोण 60° है। सम्पूर्ण तीव्रता ज्ञात कीजिए।

हल: दिया है, $B_H = 0.3$ गॉस, $\theta = 60^\circ$.

ऊर्ध्वाधर घटक की तीव्रता, $B_V = B_H \tan \theta = 0.3 \times \tan 60^\circ = 0.3 \times \sqrt{3} = 0.3 \times 1.732 = 0.5196$ गॉस.

सम्पूर्ण तीव्रता, $B_E = \sqrt{B_H^2 + B_V^2} = \sqrt{(0.3)^2 + (0.5196)^2} = \boxed{0.6 \text{ गॉस.}}$

प्रश्न 2. चुम्बकीय याम्योत्तर से 30° कोण पर एक चुम्बक को लटकाने पर वह क्षैतिज के साथ 30° का कोण बनाता है। नति कोण का वास्तविक मान ज्ञात कीजिए।

हल: माना वास्तविक नति कोण θ है। तब $\tan \theta = \frac{B_V}{B_H} \dots (i)$

30° के कोण पर तल में क्षैतिज घटक $B_H \cos 30^\circ$ होगा, ऊर्ध्वाधर B_V ही रहेगा।

अतः $\tan 30^\circ = \frac{B_V}{B_H \cos 30^\circ} \dots (ii)$

समी (i) व (ii) से: $\frac{\tan \theta}{\tan 30^\circ} = \cos 30^\circ$

$$\tan \theta = \tan 30^\circ \times \cos 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{1}{2} = 0.5.$$

$$\boxed{\theta = \tan^{-1}(0.5)}$$

बोर्ड परीक्षा अभ्यास: त्वरित परीक्षण

बहुविकल्पीय

- Q: बाह्य क्षेत्र के विपरीत क्षीण चुम्बकत्व? → (a) प्रतिचुम्बकीय (Dia) ✓
- Q: बाह्य क्षेत्र का विरोध करता है? → (a) प्रतिचुम्बकीय ✓
- Q: अनुचुम्बकीय की चुम्बकशीलता? → (b) 1 से अधिक (>1) ✓
- Q: यदि $\mu_r = 0.9999$ है, तो प्रकृति? → (b) प्रतिचुम्बकीय ✓
- Q: डोमेन किस पदार्थ में बनते हैं? → (c) लौहचुम्बकीय (Ferro) ✓
- Q: सभी पदार्थों का सार्वत्रिक गुण? → (a) प्रतिचुम्बकत्व ✓
- Q: अनुचुम्बकीय प्रवृत्ति (χ) व ताप (T) में सम्बन्ध? → (b) $\chi \propto T^{-1}$ ✓

अतिलघु उत्तरीय

- Q: लोहे के अतिरिक्त दो लौहचुम्बकीय पदार्थ?
Ans: निकिल तथा कोबाल्ट।
- Q: Cu, Na, Pt, Ag में से प्रति/अनुचुम्बकीय छाँटिए।
Ans: प्रतिचुम्बकीय: Cu, Ag.
अनुचुम्बकीय: Na, Pt.
- Q: तीन प्रतिचुम्बकीय पदार्थों के नाम?
Ans: बिस्मथ (Bi), सोना (Au), जस्ता (Zn)।
- Q: इलेक्ट्रॉन चक्रण से क्या तात्पर्य है?
Ans: जब इलेक्ट्रॉन कक्षीय परिक्रमण के अतिरिक्त अपनी धुरी पर भी घूमता है।

अंतिम तुलना: चुम्बकीय पदार्थों का वर्गीकरण

गुण (Properties)	प्रतिचुम्बकीय (Diamagnetic)	अनुचुम्बकीय (Paramagnetic)	लौहचुम्बकीय (Ferromagnetic)
व्यवहार/ Behavior	शक्तिशाली चुम्बक के पास लाने पर प्रतिकर्षण का अनुभव (Repel)	कुछ आकर्षण का अनुभव (Weakly Attract)	दृढ़ता से आकर्षण (Strongly Attract)
चुम्बकीय प्रवृत्ति/ χ_m	कम व ऋणात्मक, ताप पर निर्भर नहीं	कम व धनात्मक, ताप के व्युत्क्रमानुपाती	बहुत अधिक व धनात्मक, ताप के व्युत्क्रमानुपाती
आपेक्षिक चुम्बकशीलता μ_r	1 से कम ($\mu_r < 1$)	1 से थोड़ा अधिक ($\mu_r > 1$)	1 से बहुत अधिक ($\mu_r \gg 1$)
अवस्था एवं उदाहरण State & Ex	ठोस, द्रव, गैस (Sb, Bi)	ठोस, द्रव, गैस (Al, Pt)	केवल क्रिस्टलीय ठोस (Fe, Ni)

Q: नर्म लोहे की छड़ परिनालिका के भीतर चुम्बकित क्यों होती है?
Ans: बाह्य क्षेत्र के कारण डोमेनों की चुम्बकीय अक्ष संरेखित हो जाती है।