अध्याय - 5. चुंबकत्व एवं द्रव्य

चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं (Magnetic Field lines):-

चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं एक ऐसी काल्पनिक रेखाएं है जिसका उपयोग कर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा दर्शाई जाती है। चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओ की अभिधारणा सर्वप्रथम माइकल फैराडे नामक वैज्ञानिक ने किया।

→ चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं दो प्रकार की होती है।

i) समरूप चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं (Uniform Magnetic Field lines)

ii) असमरूप / असमान चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं (Non uniform Magnetic Field lines)

1. समरूप चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं :-

वैसी चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं जो एक दूसरे के समांतर होती है। इस क्षेत्र के अंदर प्रत्येक बिंदु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा तथा परिमाण एक समान होता है, समरूप चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं कहलाती है, तथा इसके बीच की दूरी हर जगह लगभग समान होती है।

(ii) असमरूप चुंबकीय क्षेत्र रेखाएं:-

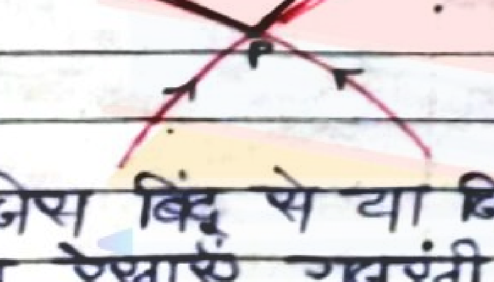
जो वक्र हो या एक-दूसरे के समांतर हो किंतु इनके बीच की दूरी असमान हो, वैसी क्षेत्र रेखाएं असमान चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं कहलाती हैं। अतः इसके अंदर अलग-अलग बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र का मान अलग-अलग होता है, एकसमान नहीं।

चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं के गुण (Properties of Magnetic field lines):-

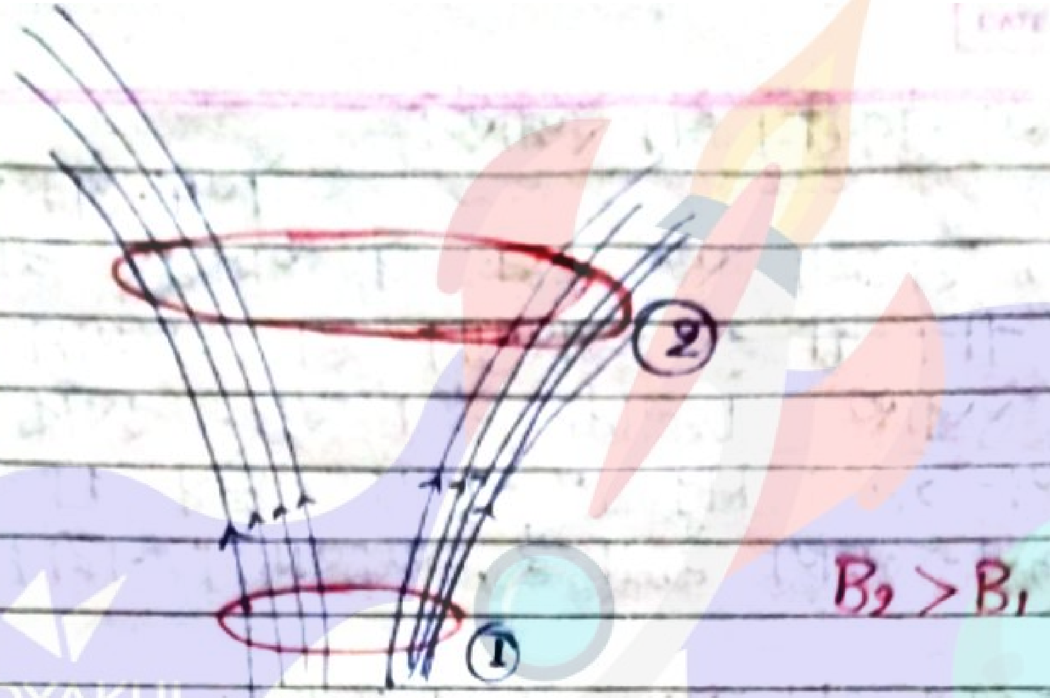
(i) चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं उत्तरी ध्रुव से निकलकर दक्षिणी ध्रुव में प्रवेश करती हैं।

(ii) चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं हमेशा बंद लूप बनाती हैं।

(iii) दो चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ कभी भी एक-दूसरे को प्रतिच्छेद नहीं करती हैं क्योंकि यदि वे एक-दूसरे को प्रतिच्छेदित करती हैं तो उभयनिष्ठ बिंदु पर अद्वितीय चुंबकीय क्षेत्र होगा जो कि संभव नहीं है।



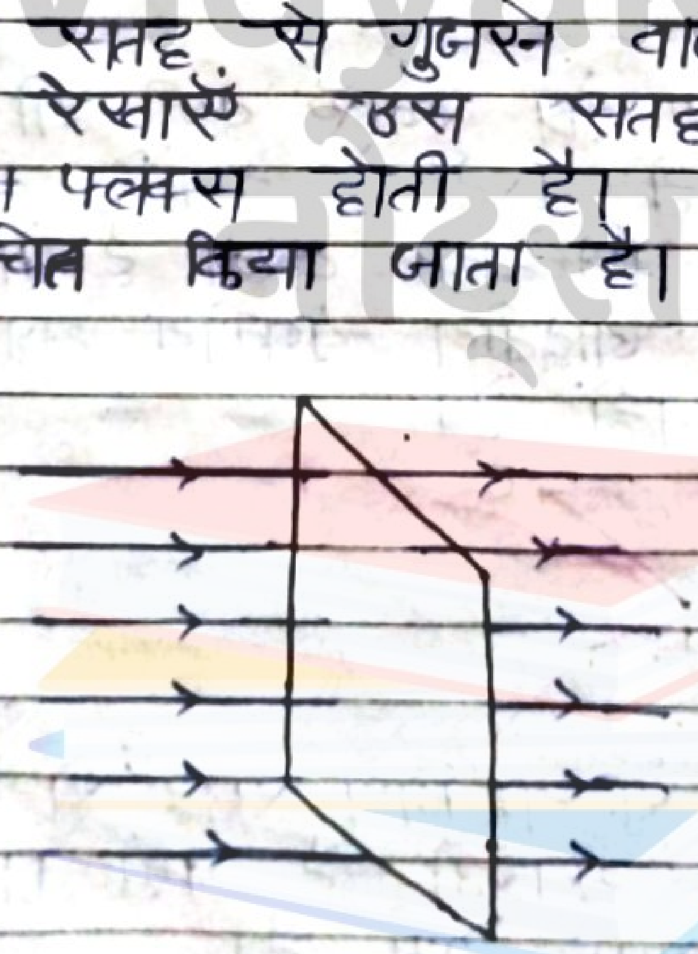
iv) जिस बिंदु से या जिस सतह से ज्यादा चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं गुजरती हैं वहां का चुम्बकीय प्रभाव ज्यादा होता है।



v) कि क्षेत्र रेखाएं के किसी बिंदु पर खिंची गई स्पर्श रेखा उस बिंदु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा होती है।

⇒ चुम्बकीय फ्लक्स (Magnetic Flux):-

किसी सतह से गुजरने वाली चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएं उस सतह का चुम्बकीय फ्लक्स होती है। इसे ϕ_B से सूचित किया जाता है।



$$\left[\phi_B = \vec{B}\cdot\Delta\vec{S}\right]$$

$$\boxed{\phi_B = B\cdot\Delta S\cos\theta}$$

यदि सतह का क्षेत्र बहुत छोटा हो तो

$$\left[d\phi = \vec{B}\cdot d\vec{S}\right]$$

Case (i)

जब $\theta = 0^\circ$

$$\phi_{max} = B\Delta S\cos 0^\circ$$

$$\boxed{\phi_{max} = B\Delta A}$$

case(ii)

जब $\theta = 90^\circ$

$$\phi_B = B\Delta S\cos 90^\circ$$

$$\boxed{\phi = 0}$$

case(iii)

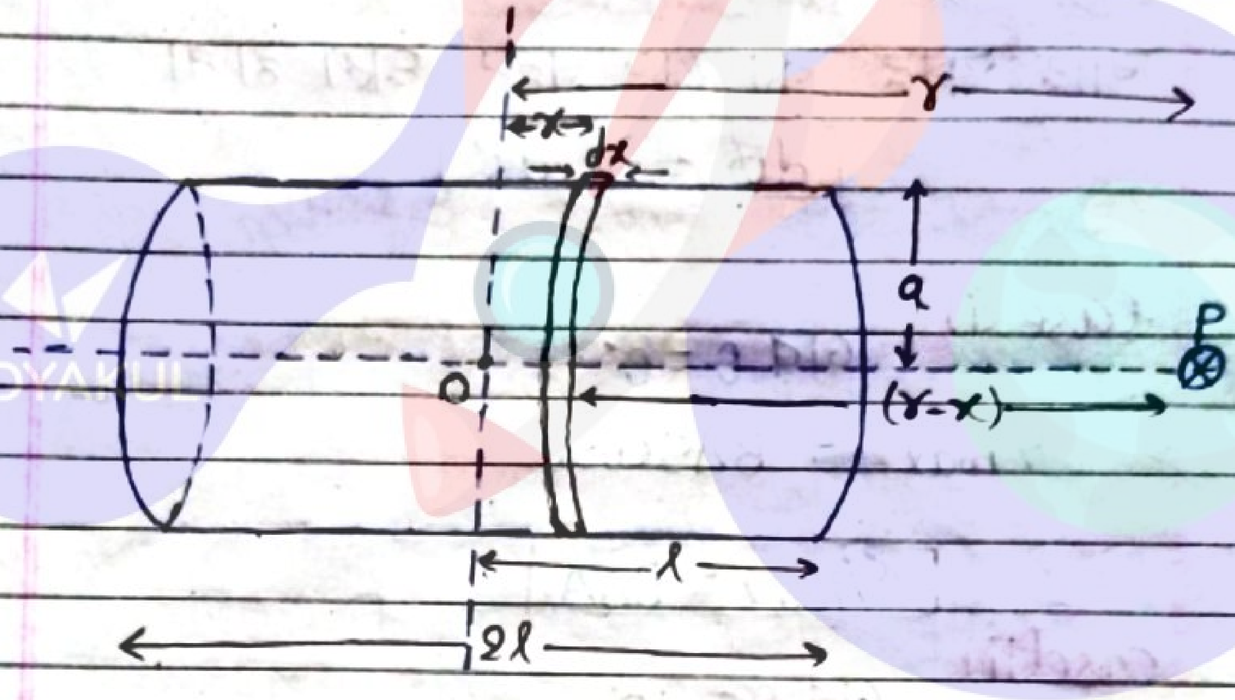
$\theta = 180^\circ$

$$\phi_B = B\Delta S\cos 180^\circ$$

$$\boxed{\phi_B = -B\Delta S}$$

Note: फ्लक्स का मान Positive, Negative और Zero भी हो सकता है।

⇒ ## छड़ चुंबक का एक धारावाही परिनालिका की तरह व्यवहार :-



माना धारावाही परिनालिका की प्रति इकाई लंबाई में n फेरे है और त्रिज्या 'a' है। माना इसकी लंबाई 2l है। परिनालिका के केंद्र से r दूरी पर (बिंदु P) हम अक्षीय क्षेत्र ज्ञात कर सकते है। इसके लिए परिनालिका का एक छोटा वृत्ताकार अंश dx मोटाई लेते है। जो इसके केंद्र से x दूरी पर है। इसमे ndx फेरे है। माना परिनालिका में I A की धारा प्रवाहित हो रही है।

गणना (Calculation):-

n = एकांक लं॰ में फेरो की संख्या

$$= \frac{\text{फेरो की संख्या } (N)}{\text{लम्बाई } (2l)}$$

$$\boxed{N = n \cdot 2l}$$

छोटी परिनालिका

फेरो की सं० $= n\,dx$

छोटी परिनालिका के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

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

$\because r >> x$ & $r >> R$

$r - x \approx r$

$\therefore R^2 + (r-x)^2 = R^2 + r^2 = R^2 + r^2 = r^2$

$$= \frac{\mu_0 i R^2 n\,dx}{2(r^2)^{3/2}}$$

$$\int_0^B dB = \frac{\mu_0 i R^2 n}{2r^3} \int_{-l}^{l} dx$$

$$B = \frac{\mu_0 i R^2 n}{2r^3} [x]_{-l}^{l}$$

$$= \frac{\mu_0 i n R^2}{2r^3} [l - (-l)]$$

$$\frac{\mu_0 i R^2}{2r^3} (n \cdot 2l) \quad \{N = n \cdot 2l\}$$

$$B = \frac{\mu_0 i R^2 N}{2r^3}$$

$$B = \frac{\mu_0 N I \pi R^2 \times 2}{2\pi r^3 \times 2} \qquad \left\{ \begin{array}{l} A = \pi R^2 \\ NiA = M \end{array} \right.$$

$$B = \frac{\mu_0 (NiA) \times 2}{4\pi r^3}$$

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

⇒ चुम्बकीय आघूर्ण :- किसी चुम्बक के चुम्बकीय आवेश तथा चुम्बकीय लम्बाई के गुणनफल को चुम्बकीय आघूर्ण कहते है। इसे M से सूचित किया जाता है। जिसकी दिशा $-m$ से $+m$ की ओर होती है।

$$\boxed{\vec{M} = m \vec{2l}}$$

चुम्बकीय आघूर्ण के बारे में–

(i) दिशा = $-m$ से $+m$

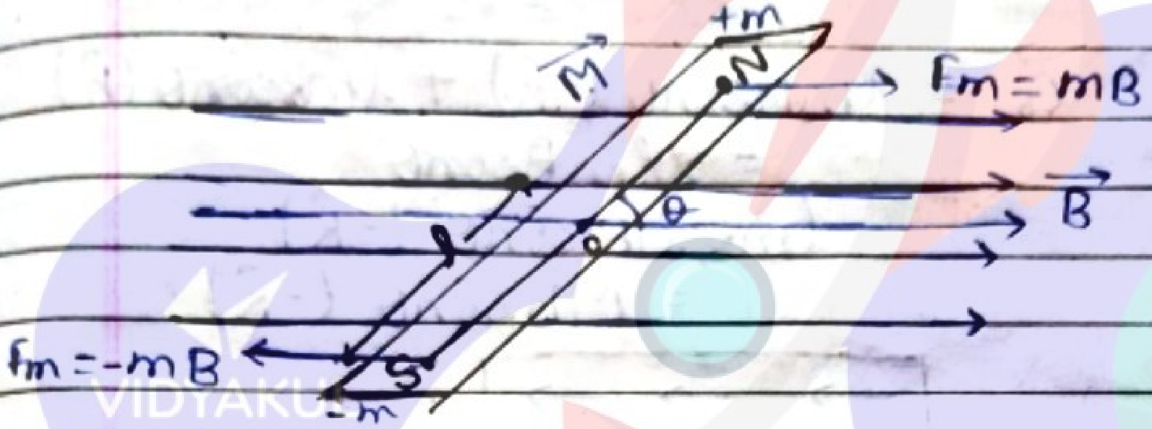
(ii) S.I मात्रक = Am^2

(iii) विमा = $[AL^2]$

Note:- चुम्बकीय आवेश / ध्रुव प्रबलता (m) का मात्रक $= Am$

विमा $[m] = [Al]$

→ एक-समान चुम्बकीय क्षेत्र में द्विध्रुव



माना किसी चुम्बक को एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B में रखा गया है। जिसकी लम्बाई $2l$ तथा मध्य बिंदु O है।

पुनः माना यह चुम्बक एक-समान चुम्बकीय क्षेत्र B मे θ कोण पर स्थित है। हमे इस चुम्बक पर लगने वाले बल आघूर्ण का मान ज्ञात करना है।

गणना (Calculation):- जब किसी चुम्बक को एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में रखा जाता है तो उसके ध्रुव पर एक-समान चुम्बकीय बल mB एक दूसरे के विपरीत दिशा में लगता है परिणामतः उसपर आरोपित कुल चुम्बकीय बल का मान शून्य रहता है। अतः एकसमान क्षेत्र B में चुम्बक पर बल आघूर्ण कार्य करता है।

$$F_{net} = mB - mB$$
$$= 0$$

अतः कुल चुम्बकीय आघूर्ण-

$$\vec{\tau_0} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\vec{\tau_0} = lmB\sin\theta(-\hat{k}) + lmB\sin\theta(-\hat{k})$$
$$= 2lmB\sin\theta$$
$$(m \cdot 2l)B\sin\theta(-\hat{k})$$
$$= MB\sin\theta(-\hat{k})$$

$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}}$$

Case ①:- जब $\theta = 0°$

$$|\vec{\tau}| = MB\sin\theta|-\hat{k}|$$
$$= MB\sin\theta$$
$$\boxed{\tau = 0}$$

Case ② जब $\theta = 90°$

$$\boxed{\tau_{max} = MB}$$

>> जब किसी चुम्बक को चुम्बक क्षेत्र में रखकर θ कोण से विस्थापित किया जाए तो वह सरल आवर्त गति या दोलन गति करता है।

$$\tau = -MB\sin\theta$$
$$I\alpha = -MB\sin\theta \text{ ---} \left[\begin{array}{l} \theta \text{ बहुत छोटा है} \\ \sin\theta \approx \theta \end{array} \right.$$

अतः कुल चुम्बकीय आघूर्ण-

$$\vec{\tau_0} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\vec{\tau_0} = lmB\sin\theta(-\hat{k}) + lmB\sin\theta(-\hat{k})$$

$$= 2lmB\sin\theta$$

$$(m \cdot 2l)B\sin\theta(-\hat{k})$$

$$= MB\sin\theta(-\hat{k})$$

$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}}$$

Case ①:- जब $\theta = 0^\circ$

$$|\vec{\tau}| = MB\sin\theta|-\hat{k}|$$

$$= MB\sin\theta$$

$$\boxed{\tau = 0}$$

Case ② जब $\theta = 90^\circ$

$$\boxed{\tau_{max} = MB}$$

> जब किसी चुम्बक को चुम्बक क्षेत्र में रखकर θ कोण से विस्थापित किया जाए तो वह सरल आवर्त गति या दोलन गति करता है।

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

$$I\alpha = -MB\sin\theta \quad --- \left[\begin{array}{l}\theta \text{ बहुत छोटा है} \\ \sin\theta \simeq \theta\end{array}\right.$$

$$= -MB\theta$$

$$\boxed{\alpha = \frac{MB(-\theta)}{I}}$$ { I = जड़त्व आघूर्ण, α = कोणिय त्वरण

$$\omega^2 = \frac{MB}{I} \quad ---- \quad [\omega = \text{कोणिय आवृति}$$

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

NOW,

$$\because \quad W = \frac{2\pi}{T}$$

$$T\ (\text{आवर्तकाल}) = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB}}}$$

» → आवृति $(f) = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{MB}{I}}$

» चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा चुम्बक पर किया गया कार्य

$$W = \int \tau\, d\theta = \int MB\sin\theta\, d\theta$$

चुम्बकीय विभव ऊर्जा $(U) = MB(-\cos\theta)$

$$= -MB\cos\theta$$

$$\boxed{U = -\vec{M}\cdot\vec{B}}$$

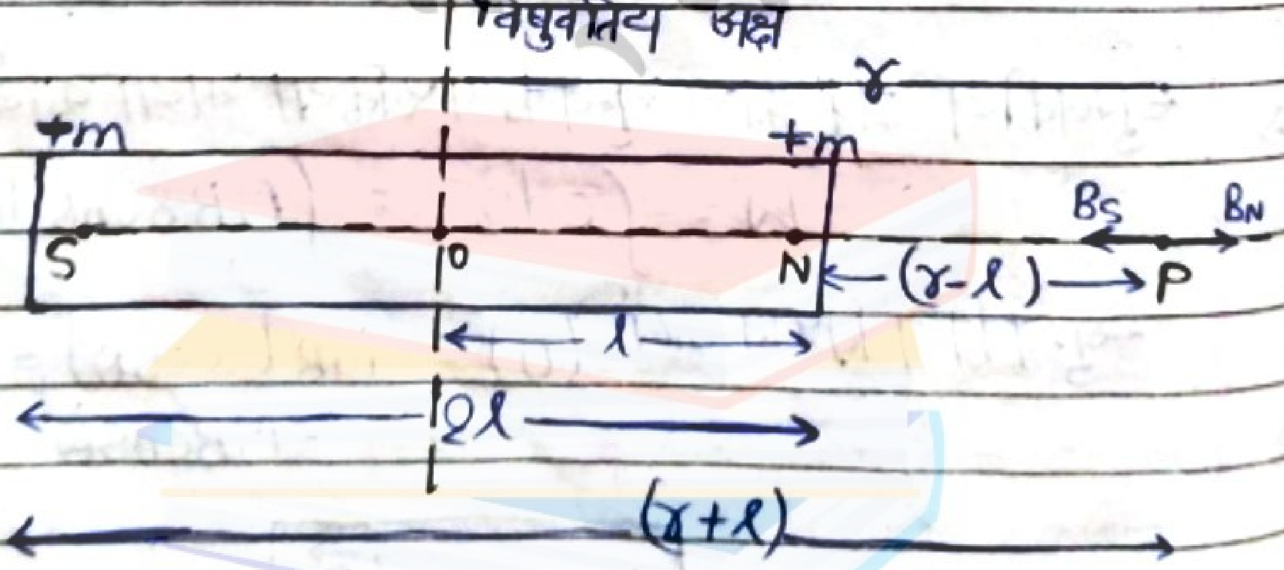
गाउस नियम :-

इस नियमानुसार किसी बंद सतह से गुजरने वाले कुल चुम्बकीय फ्लक्स का मान हमेशा शून्य होता है।

$$\boxed{\oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0}$$

⇒ चुम्बकीय द्विध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field due to Magnetic dipole)

a) ध्रुवीय अक्ष पर (At dipole axis) :-



$SN = 2l$

$OP = r$

$NP = r - l$

$SP = r + l$

$\because l << r$

$\therefore r^2 + l^2 \approx r^2$

$r^2 - l^2 \approx r^2$

उत्तरी ध्रुव की प्रबलता के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

$$\vec{B_N} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{+m}{(NP)^2} \hat{i}$$

$$\vec{B_N} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(r-l)^2} \hat{i} \quad \text{———— } (1)$$

दक्षिणी ध्रुव की प्रबलता के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

$$\vec{B_S} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(SP)^2} (-\hat{i})$$

$$\vec{B_S} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(r+l)^2} (-\hat{i})$$

अतः बिंदु 'P' पर कुल चुम्बकीय क्षेत्र

$$\vec{B_P} = \vec{B_N} + \vec{B_S}$$

$$\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(r-l)^2} \hat{i} + \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(r+l)^2} (-\hat{i})$$

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

12:45 PM

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

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

$$\frac{\mu_0}{4\pi} m \frac{4rl}{(r^2-l^2)^2} \hat{i}$$

$$\vec{B}_{dipole} = \frac{\mu_0 2m2lr}{(r^2)^2} \hat{i}$$

$$= \frac{\mu_0 2Mr}{r^4} \hat{i}$$

$$\boxed{\vec{B}_{dipole} = \frac{\mu_0 2M}{4\pi r^3} \hat{i}}$$

$$\boxed{B_{\text{विषुवतीय}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M}{r^3}}$$

चुम्बक प्रेरण (Magnetic Induction):-

जब किसी चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में किसी पदार्थ को रखा जाता है तो उसके चुम्बकीय गुण या चुम्बकत्व में परिवर्तन हो जाता है, इस घटना को चुम्बकीय प्रेरण कहते है।

चुम्बक एवं चुम्बकत्व -

वे पदार्थ जो चारो ओर एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करते है चुम्बक कहलाते है तथा चुम्बक के इस गुण को चुम्बकत्व कहते है।

⇒ चुम्बकन तीव्रता / चुम्बकीकरण (Magnetisation):-

पदार्थ के एकांक आयतन में निहित परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण सदिश का परिमाण उस बिंदु पर का चुम्बकन कहलाता है। यह एक सदिश राशी है।

परिभाषा से;

$$\text{चुम्बकन} = \frac{\text{चु० आघूर्ण}}{\text{आयतन}}$$

$$\boxed{\vec{M} = \frac{\vec{m}}{V}}$$

चुम्बकन की दिशा हमेशा चुम्बकीय आघूर्ण की दिशा की ओर होती है।

$$S.I \text{ मात्रक} = \frac{Am^2}{m^3} = \frac{A}{m} = Am^{-1}$$

$$\text{विमा} = [AL^{-1}]$$

* चुम्बकीय पदार्थों का वर्गीकरण :— अनेक पदार्थों को चुम्बकीय क्षेत्र में रखकर उनके चुम्बकीय व्यवहारों के अध्ययन के आधार पर पदार्थों को निम्न वर्गों में बांटा जा सकता है।

1) प्रति चुम्बकिय पदार्थ :→ जो पदार्थ चुम्बकिय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र कि विपरीत दिशा में मामूली रूप से चुम्बकीत हो जाता है तथा किसी शक्तिशाली चुम्बक के सीरो के पास लाए जाने पर कुछ प्रतिकर्षित होते है। प्रतिचुम्बकीय पदार्थ कहलाते है।
जैसे - बिस्मथ, फास्फोरस, एन्टीमनी, जस्ता ताम्बा, चांदी, सोना, नमक, जल इत्यादि।

2.) अनुचुम्बकीय पदार्थ :→ जो पदार्थ बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की दिशा में मामूली रूप से चुम्बकीत हो जाते है। तथा किसी शक्तिशाली चुम्बक के सीरो ~~पर~~ के पास लाने पर उसकी ओर आकर्षीत होते है। अनु चुम्बकीय पदार्थ कहलाते है।

जैसे :- एल्युमीनियम, मैंगनीज, प्लैटीनम, सोडियम कॉपर क्लोराइड, आक्सीजन तथा लोहे व आक्सीजन के लवण इत्यादि।

(3) लौह चुम्बकीय पदार्थ :→ वे पदार्थ जो किसी चुम्बक के सीरे के पास लाए जाने पर तीव्रता से आकर्षित होते है तथा किसी चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर क्षेत्र कि दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकीत हो जाते है। लौह चुम्बकीय पदार्थ कहलाते है।

जैसे- लोहा, निकेल, कोबाल्ट इत्यादि

** दिकपात का कोण (Angle of declination)

किसी स्थान पर चुम्बकीय याम्योतर व भौगोलिक याम्योतर के बीच के न्यूनकोण को उस स्थान पर दिकपात का कोण कहते है। इसका मान भिन्न-भिन्न स्थानो पर भिन्न-भिन्न हो सकता है।

नमन या नतिकोण [Angle of Dip]

किसी स्थान पर नमन कोण अथवा नतिकोण वह कोण है जो वहाँ चुम्बकीय याम्योत्तर मे पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र कि दिशा तथा क्षैतिज दिशा के बीच बनता है।

Note चुम्बकीय ध्रुवो पर नतिसुई उर्ध्वाधर तथा निरक्ष पर क्षैतिज हो जाती है।