

## अध्याय - 5. चुंबकत्व एवं द्रव

चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ (Magnetic Field lines):

चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ एक ऐसी काल्पनिक रेखाएँ हैं जिसका उपयोग कर चुंबकीय क्षेत्र की दिशा दर्शाई जाती है। चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं की अन्विष्टारणा सर्वप्रथम माइकल फैराडे नामक वैज्ञानिक ने किया।

→ चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ दो प्रकार की होती हैं।

i) समरूप चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ (Uniform Magnetic Field lines)

ii) असमरूप / असमान चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ (Non uniform Magnetic Field lines)

समरूप चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ :-

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



(ii) असमरूप चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ: -

वैसी क्षेत्र रेखाएँ जो एक हो या एक-दूसरे के समान हो बिन्दु इनके बीच की दूरी असमान हो, असमान चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ कहलाती हैं। अतः इसके अंदर अलग-अलग बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान अलग-अलग होता है, एकसमान नहीं।

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

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

(ii) चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ 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 बिन्दु पर अद्वितीय चुम्बकीय क्षेत्र होगा जो कि संभव नहीं है।



iv) जिस बिन्दु से या जिस सतह से ज्यादा चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ गुजरती हैं वहाँ का चुम्बकीय प्रभाव ज्यादा होता है।





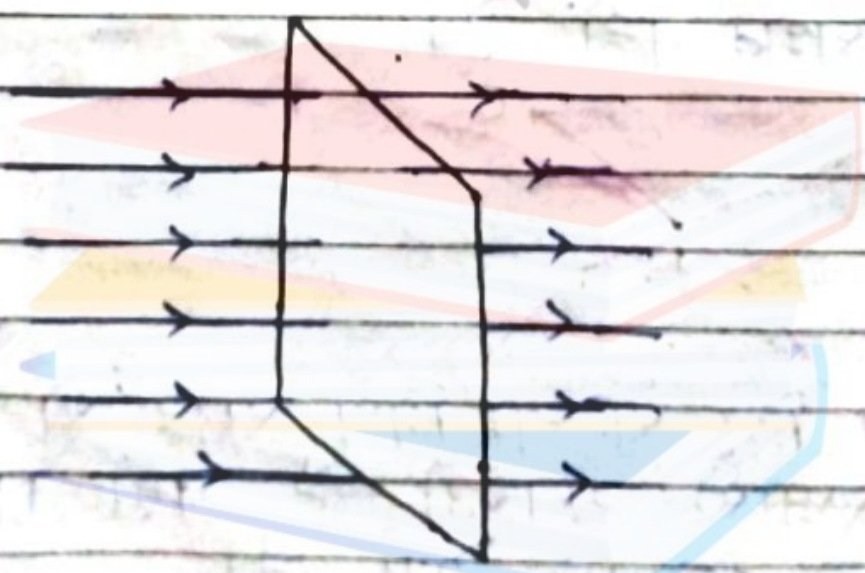
$$B_2 > B_1$$

VIDYAKUL

v) किसी क्षेत्र रेखाओं के किसी बिंदु पर किसी गड़ स्पर्श रेखा उस बिंदु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा होती है।

⇒ चुम्बकीय फ्लक्स (Magnetic Flux):-

किसी सतह से गुजरने वाली चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं उस सतह का चुम्बकीय फ्लक्स होती है। इसे  $\Phi_B$  से सूचित किया जाता है।





$$\boxed{\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{\Delta S}}$$

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

यदि सतह का क्षेत्र बहुत छोटा हो तो

$$\boxed{d\phi = \vec{B} \cdot d\vec{S}}$$

Case (i)

जब  $\theta = 0^\circ$

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

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

Case (ii)

जब  $\theta = 90^\circ$

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

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

Case (iii)

$\theta = 180^\circ$

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

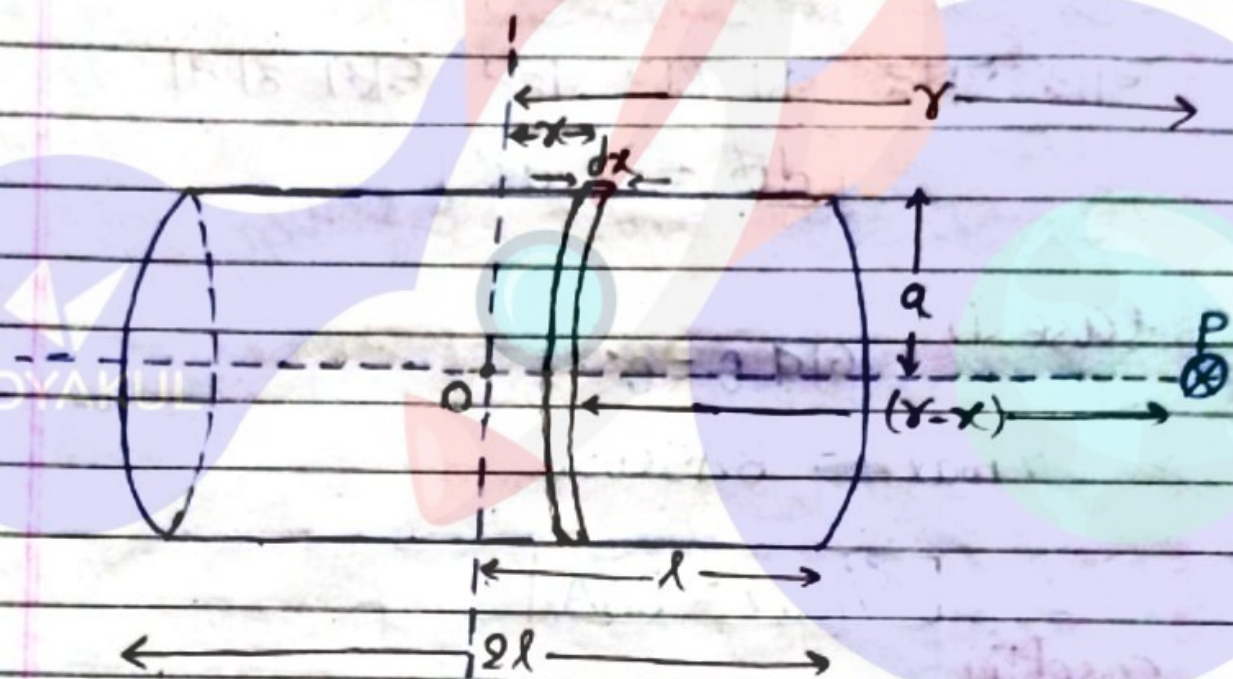
$$\boxed{\phi_B = -B \Delta S}$$

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 हैं और त्रिज्या  $a$  है। माना इसकी लंबाई  $2l$  है। परिनालिका के केंद्र से  $r$  दूरी पर (बिंदु  $P$ ) हम अक्षीय क्षेत्र सात कर सकते हैं। इसके लिए परिनालिका का एक छोटा वृत्ताकार अंश  $dx$  मोटाई लेते हैं। जो इसके केंद्र से  $x$  दूरी पर है। इसमें  $n dx$  फेरे हैं। माना परिनालिका में  $I$  की धारा प्रवाहित हो रही है।

गणना (Calculation) :-

$$n = \text{एक लूप में फेरों की संख्या}$$



= फेरो की संख्या (N)  
बगुनाई (2l)

$$N = n \cdot 2l$$

दोरी परिनालिका

दोरी परिनालिका के कारण चुम्बकीय क्षेत्र फेरो की सं =  $n dx$

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

$\therefore x \gg r$  &  $y \gg R$

$y - x \approx y$

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

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

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

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

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

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

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



$$B = \frac{\mu_0 N I \pi R^2 \times 2}{2\pi r^3 \times 2}$$

$$\begin{cases} A = \pi R^2 \\ NIA = M \end{cases}$$

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

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

⇒ चुम्बकीय आघूर्ण:-

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

$$\vec{M} = m \vec{r}$$

चुम्बकीय आघूर्ण के बारे में-

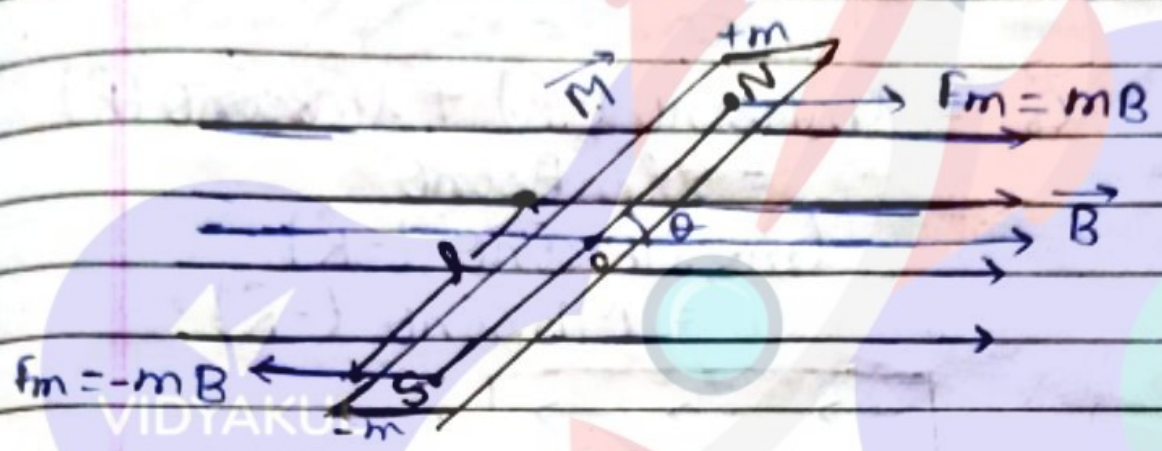
- (i) दिशा =  $-m$  से  $+m$
- (ii) S.I मात्रक =  $Am^2$
- (iii) विमा =  $[AL^2]$

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

$$\text{विमा } [m] = [AL]$$



→ एक-समान चुम्बकीय क्षेत्र में द्विध्रुव



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

पुनः माना यह चुम्बक एक-समान चुम्बकीय क्षेत्र B में theta कोण पर स्थित है। हमें इस चुम्बक पर लगने वाले कुल आघूर्ण का मान ज्ञात करना है।

गणना (Calculation):

जब किसी चुम्बक को एक-समान चुम्बकीय क्षेत्र की उपास्थिति में रखा जाता है तो उसके ध्रुव पर एक-समान चुम्बकीय क्षेत्र के विपरीत दिशा में बल  $mB$  के विपरीत दिशा में लगता है परिणामतः उसपर आरोपित कुल चुम्बकीय बल का मान शून्य रहता है। अतः एक-समान क्षेत्र B में चुम्बक पर कुल आघूर्ण कार्य करता है।

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



उत्तः कुल चुम्बकीय आघूर्ण-

$$\vec{\tau}_0 = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\begin{aligned}\vec{\tau}_0 &= l m B \sin \theta (-\hat{k}) + l m B \sin \theta (\hat{k}) \\ &= 2 l m B \sin \theta \\ &= (m \cdot 2l) B \sin \theta (-\hat{k}) \\ &= M B \sin \theta (-\hat{k})\end{aligned}$$

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

Case ①:- जब  $\theta = 0^\circ$

$$\begin{aligned}|\vec{\tau}| &= M B \sin \theta (-\hat{k}) \\ &= M B \sin 0\end{aligned}$$

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

Case ② जब  $\theta = 90^\circ$

$$\boxed{\tau_{\max} = M B}$$

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

$$\tau = - M B \sin \theta$$

$$I \alpha = - M B \sin \theta \quad \left[ \begin{array}{l} \theta \text{ बहुत छोटा है} \\ \sin \theta \approx \theta \end{array} \right]$$



अतः कुल चुम्बकीय आघूर्ण-

$$\vec{\tau}_0 = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\begin{aligned} \vec{\tau}_0 &= l m B \sin \theta (-\hat{k}) + l m B \sin \theta (\hat{k}) \\ &= 2 l m B \sin \theta \\ &= (m \cdot 2l) B \sin \theta (-\hat{k}) \\ &= M B \sin \theta (-\hat{k}) \end{aligned}$$

VIDYAKUL

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

Case (1): - जब  $\theta = 0^\circ$

$$\begin{aligned} |\vec{\tau}| &= M B \sin \theta (-\hat{k}) \\ &= M B \sin \theta \end{aligned}$$

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

Case (2) जब  $\theta = 90^\circ$

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

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

$$\tau = - M B \sin \theta$$

$$I \alpha = - M B \sin \theta$$

$\theta$  बहुत छोटा है  
 $\sin \theta \approx \theta$



$$\alpha = \frac{MB \sin \theta}{I} \quad \left\{ \begin{array}{l} \tau = \text{गडत्व आघूर्ण} \\ \alpha = \text{कोणिय त्वरण} \end{array} \right.$$

$$\omega^2 = \frac{MB \sin \theta}{I} \quad \left[ \omega = \text{कोणिय आवृत्ति} \right]$$

$$\omega = \sqrt{\frac{MB \sin \theta}{I}}$$

Now,  $\tau = 2\pi I \omega$

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

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

$$\Rightarrow \rightarrow \text{आवृत्ति } (f) = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{MB \sin \theta}{I}}$$

$$\Rightarrow \text{चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा चुम्बक पर किया गया कार्य} \\ W = \int \tau d\theta = \int MB \sin \theta d\theta$$

$$\text{चुम्बकीय विभव ऊर्जा } (U) = MB(1 - \cos \theta) = -MB \cos \theta$$

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



गाउस नियम :-

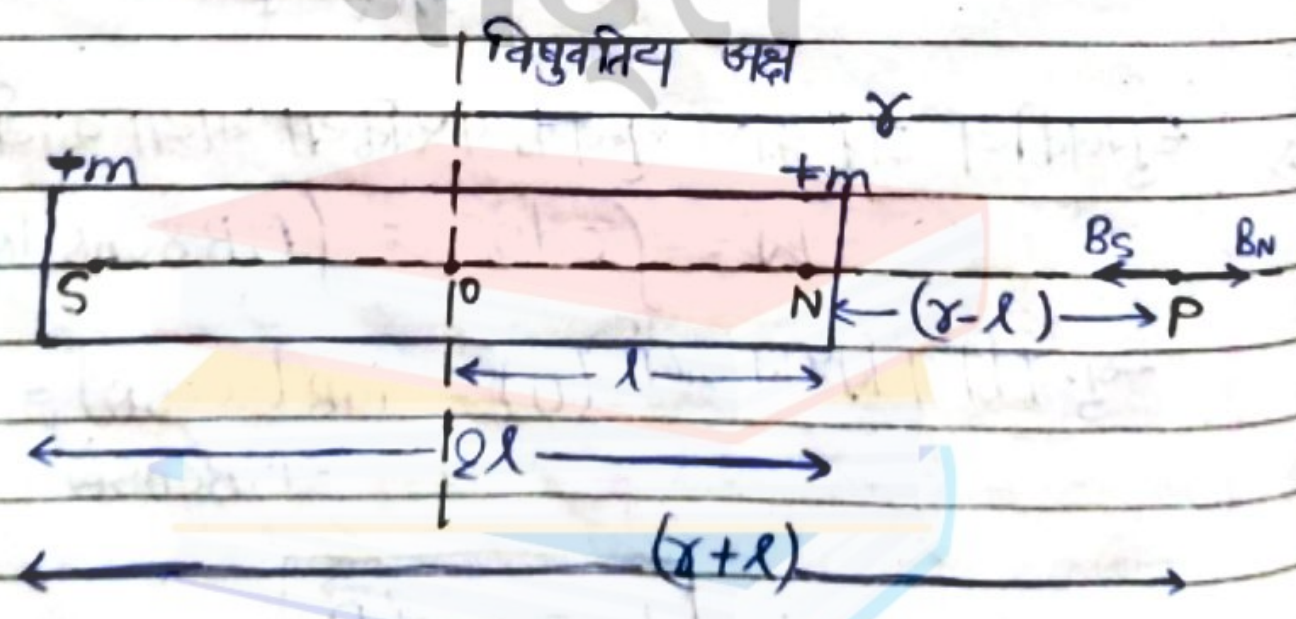
इस नियमानुसार किसी बंद सतह से गुजरने वाले कुल चुम्बकीय फ्लक्स का मान हमेशा शून्य होता है।



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

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

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





$$SN = 2l$$

$$OP = r$$

$$NP = r - l$$

$$SP = r + l$$

$$\because l \ll r$$

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

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

उत्तरी ध्रुव की प्रकलता 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 प्रकलता 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

$$\vec{B}_P = \vec{B}_N + \vec{B}_S$$

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

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



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

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

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

$$\vec{B}_{\text{dipole}} = \frac{\mu_0 2m 2l r}{(r^2)^2} \hat{r}$$

$$= \frac{\mu_0 2M r}{r^3} \hat{r}$$

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

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

### चुम्बक प्रेरण (Magnetic Induction):-

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



चुम्बक एवं चुम्बकत्व -

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

⇒ चुम्बकन तीव्रता / चुम्बकीकरण (Magnetisation):-

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

परिभाषा से;

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

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

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

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

$$\text{विमा} = [\text{AL}^{-1}]$$



\* 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 चुम्बकीय पदार्थ: → जो पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की विपरीत दिशा में मामूली रूप से चुम्बकीत हो जाता है तथा किसी शक्तिशाली चुम्बक के सीरे के पास लाने पर कुछ प्रतिकर्षित होते हैं। प्रतिचुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।  
जैसे - विस्मथ, फास्फोरस, रुटीमी, जस्ता ताम्बा, चाँदी, 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 हैं। तथा किसी शक्तिशाली चुम्बक के सीरे के पास लाने पर उसकी ओर आकर्षित होते हैं। अनुचुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।

जैसे: - रूब्युमीनियम, मँगनीज, प्लैटीनम, सोडियम कापर क्लोराइड, आक्सीजन तथा लोहे व आक्सीजन के लवण इत्यादि।



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

जैसे- लोहा, निकेल, कोबाल्ट इत्यादि

\* \* \* दिक्पात का कोण (Angle of declination)

किसी स्थान पर चुम्बकीय याम्योत्तर व भौगोलिक याम्योत्तर के बीच के न्यूनकोण को उस स्थान पर दिक्पात का कोण कहते हैं। इसका मान भिन्न-भिन्न स्थानों 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 में पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र कि दिशा तथा क्षैतिज दिशा के बीच बनता है।

Note चुम्बकीय द्रुवों पर नतिसुई उर्ध्वार्धर तथा निरक्ष पर क्षैतिज हो जाती है।