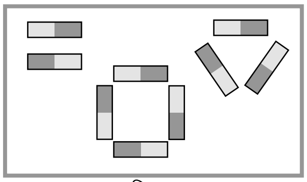
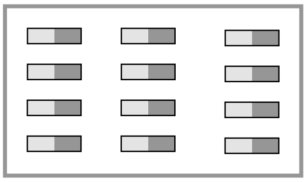
चुम्बकत्व का आण्विक सिद्धांत सर्वप्रथम बेबर ने दिया। बाद में इविंग ने इसे संशोधित किया। इस सिद्धांत के अनुसार, किसी भी पदार्थ का प्रत्येक अणु स्वयं में एक सम्पूर्ण चुम्बक होता है। अचुम्बकित अवस्था में, ये आण्विक चुम्बक यादृच्छिक रूप से इस प्रकार व्यवस्थित रहते हैं कि इनका कुल चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है। किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में इन्हें चुम्बकित करने पर ये आण्विक चुम्बक एक निश्चित दिशा में व्यवस्थित हो जाते हैं। परिणामस्वरूप पदार्थ में एक परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण उत्पन्न हो जाता है।



(अचुम्बकित अवस्था)

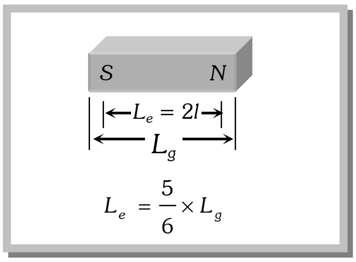


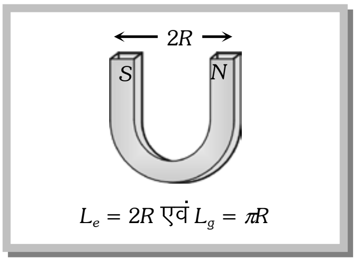
(चुम्बकित अवस्था)

- गर्म करने पर या पीटने पर चुम्बकीय पदार्थ का चुम्बकत्व घटता है।

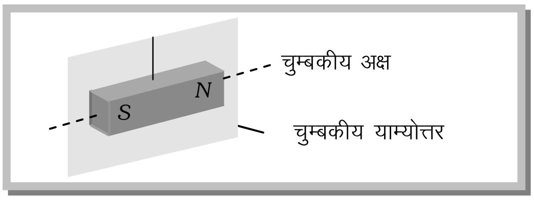
दण्ड चुम्बक

एक दण्ड चुम्बक में दो समान व विपरीत प्रकृति के ध्रुव होते हैं। ये ध्रुव एक–दूसरे से निश्चित दूरी पर स्थित होते हैं। ध्रुव (Poles) दण्ड चुम्बक के ठीक सिरों पर न होकर थोड़े अन्दर की ओर स्थित होते हैं। दोनों ध्रुवों के बीच की न्यूनतम दूरी को चुम्बक की प्रभावकारी लम्बाई (L_e) कहते हैं, जो कि इसकी ज्यामितीय लम्बाई (L_g) से कम होती है।

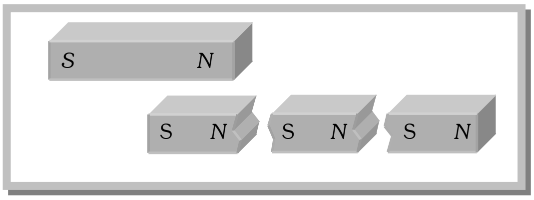




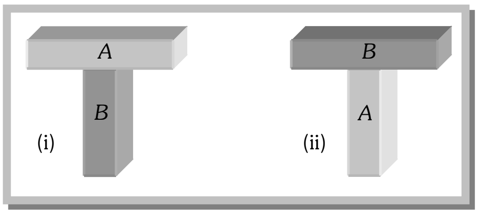
(1) **दैशिक गुण :** जब किसी दण्ड चुम्बक को पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतंत्रता पूर्वक लटकाया जाये तो यह उत्तर–दक्षिण (चुम्बकीय याम्योत्तर) दिशा में ठहर जाता है।



(2) **एकल ध्रुव की परिकल्पना :** यदि किसी चुम्बक को कई भागों में तोड़ दिया जाये तो इसका प्रत्येक भाग एक पूर्ण चुम्बक होता है अर्थात् अकेला ध्रुव प्राप्त करना असम्भव है। दूसरे शब्दों में चुम्बकत्व की सबसे छोटी इकाई द्विध्रुव है।



(3) निम्न चित्र के अनुसार, यदि चित्र (i) में दोनों छड़ें एक दूसरे को आकर्षित करती है एवं चित्र (ii) में नहीं, तब B एक चुम्बक है जबकि A एक साधारण लोहे की छड़ है। प्रतिकर्षण चुम्बकत्व का निश्चित परीक्षण है।



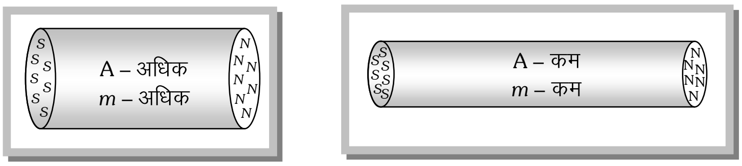
(4) **ध्रुव सामर्थ्य** (m) : चुम्बकीय ध्रुव द्वारा चुम्बकीय पदार्थों को अपनी ओर आकर्षित करने की शक्ति को ध्रुव सामर्थ्य कहते हैं।

(i) यह एक अदिश राशि है।

(ii) N-ध्रुव एवं S-ध्रुव की ध्रुव सामर्थ्य को क्रमशः $+m$ एवं $-m$ से प्रदर्शित करते हैं।

(iii) इसका SI मात्रक $amp \times m$ या $N/Tesla$ है एवं इसकी विमा $[LA]$ है।

(iv) यह चुम्बक के पदार्थ की प्रकृति एवं इसके अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल पर निर्भर करती है, लम्बाई पर नहीं।

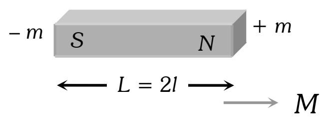


(5) **चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण** ($\vec{M}$) : यह चुम्बक की शक्ति को व्यक्त करता है। गणितीय रूप से यह चुम्बक की ध्रुव सामर्थ्य एवं प्रभावकारी लम्बाई के गुणनफल के रूप में परिभाषित किया जाता है। अर्थात् $\vec{M} = m(2l)$

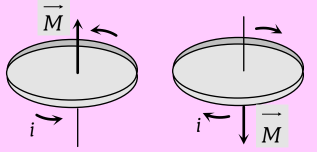
(i) यह एक सदिश राशि है, इसकी दिशा दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव (M) की ओर होती है।

(ii) इसका S.I. मात्रक $amp \times m^2$ या $N\text{-}m/Tesla$ एवं विमा $[AL^2]$ है।

(iii) विभिन्न स्थितियों में चुम्बकीय आघूर्ण



धारावाही वृत्तीय कुण्डली

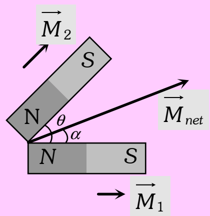


चुम्बकीय आघूर्ण $M = NiA$

N = लपेटों की संख्या,

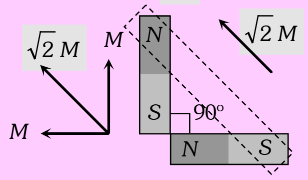
i = कुण्डली से प्रवाहित धारा, A = कुण्डली का क्षेत्रफल

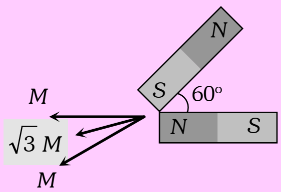
दो दण्ड चुम्बकों का संयोजन

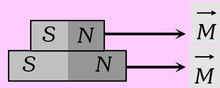


$$M_{net} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + 2M_1M_2\cos\theta}$$

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







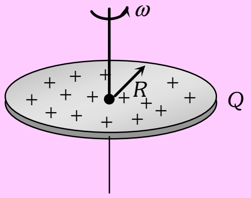
$M_{net} = 2M$

आवेश का घूर्णन

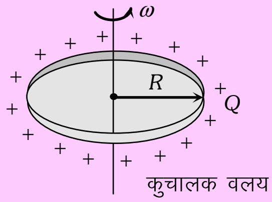
(a) कक्षीय - इलेक्ट्रॉन : किसी भी परमाणु में इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर वृत्तीय कक्षाओं में परिभ्रमण करते हैं। इसका परिभ्रमण वृत्तीय कक्षा में प्रवाहित धारा के तुल्य है। अतः इस धारा लूप से सम्बद्ध चुम्बकीय आघूर्ण

$M = e\nu A = \dfrac{e\omega r^2}{2} = \dfrac{1}{2}evr = \dfrac{e}{2m}L = \dfrac{eh}{4\pi m}$; यहाँ ω = कोणीय चाल, ν = आवृति, v = रेखीय चाल एवं L = कोणीय संवेग ($I\omega$.)

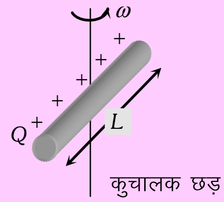
(b) कुछ निश्चित ज्यामितीय आकृति की आवेशित वस्तुओं के घूर्णन के कारण : चुम्बकीय आघूर्ण $M = \dfrac{QL}{2m} = \dfrac{QI\omega}{2m}$; यहाँ m = घूर्णित वस्तु का द्रव्यमान, Q = वस्तु पर आवेश, I = वस्तु का घुर्णन–अक्ष के परितः जड़त्व आघूर्ण



$I = \frac{mR^2}{2}$, $M = \frac{1}{4}Q\omega R^2$

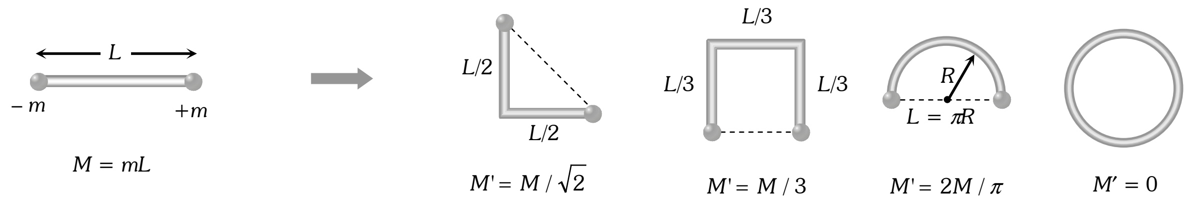


$I = mR^2$, $M = \frac{1}{2}Q\omega R^2$

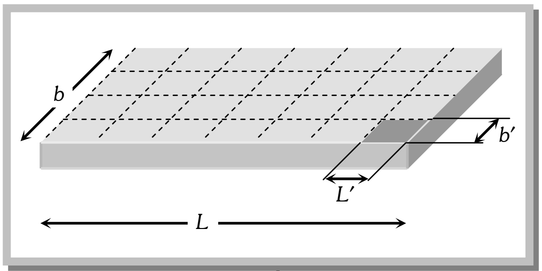


$I = \frac{mL^2}{12}$, $M = \frac{1}{24}Q\omega L^2$

- बोर मेग्नेटॉन $\mu_B = \frac{eh}{4\pi m} = 9.27\times10^{-24}\ A/m^2$ यह चुम्बकीय आघूर्ण की एक प्राकृतिक इकाई है। एक इलेक्ट्रॉन की मूल अवस्था में कक्षीय घूर्णन से उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण बोर मेग्नेट्रॉन के तुल्य होता है।
- सीधे धारावाही चालक का चुम्बकीय आघूर्ण शून्य है।
- टॉराइड का चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है।
- यदि (*M*) चुम्बकीय आघूर्ण वाले एक चुम्बकीय तार किसी अन्य रूप से मोड़ दिया जाये तो इसका चुम्बकीय आघूर्ण घटता है। क्योंकि ऐसा करने से इसकी प्रभावकारी लम्बाई घटती है परन्तु ध्रुव सामर्थ्य नियत रहती है।



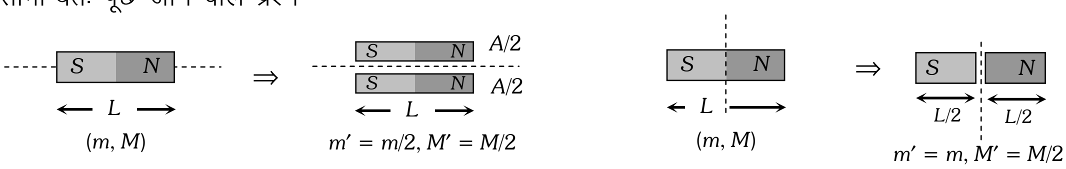
(6) **दण्ड चुम्बक का काटना :** मान लीजिए एक आयताकार छड़ चुम्बक की लम्बाई, चौड़ाई एवं द्रव्यमान क्रमशः *L*, *b* एवं *w* है। यदि इसे लम्बाई के लम्बवत् एवं अनुदिश एक साथ चित्रानुसार काटें तब



प्रत्येक भाग की लम्बाई $L' = \frac{L}{\sqrt{n}}$, प्रत्येक भाग की चौड़ाई $b' = \frac{b}{\sqrt{n}}$, प्रत्येक भाग का द्रव्यमान $w' = \frac{w}{n}$, प्रत्येक भाग की ध्रुव सामर्थ्य $m' = \frac{m}{\sqrt{n}}$, प्रत्येक भाग का चुम्बकीय आघूर्ण $M' = m'L' = \frac{m}{\sqrt{n}} \times \frac{L}{\sqrt{n}} = \frac{M}{n}$

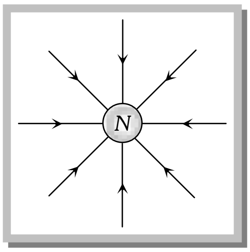
यदि प्रारम्भ में केन्द्र से गुजरने वाले एवं लम्बाई के लम्बवत् अक्ष के परितः चुम्बक का जड़त्व आघूर्ण $I = w\left(\frac{L^2 + b^2}{12}\right)$ है तब चुम्बक के प्रत्येक कटे हुये भाग का जड़त्व आघूर्ण $I' = \frac{I}{n^2}$

- छोटे दण्ड चुम्बक के लिए $b = 0$ अतः $L' = \frac{L}{n}, w' = \frac{w}{n}$, $m' = m, M' = \frac{M}{n}$ एवं $I' = \frac{I}{n^3}$
- सामान्यतः पूछे जाने वाले प्रश्न

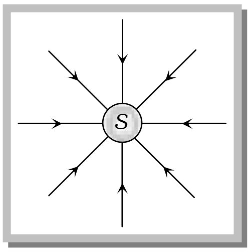


चुम्बकत्व से सम्बन्धित विभिन्न राशियाँ

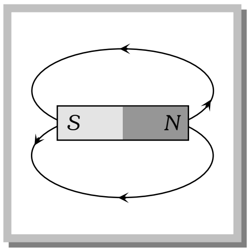
(1) **चुम्बकीय क्षेत्र एवं चुम्बकीय बल–रेखायें** : किसी चुम्बकीय ध्रुव या चुम्बक या धारावाही तार के चारों ओर वह क्षेत्र जिसमें इसके प्रभाव का अनुभव किया जा सके चुम्बकीय क्षेत्र कहलाता है। चुम्बकीय क्षेत्र को रेखाओं या वक्रों के एक समूह द्वारा भली–भाँति प्रदर्शित किया जा सकता है।



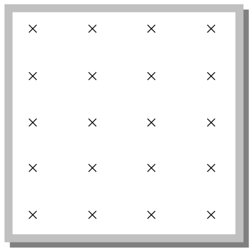
विलगित उत्तरी ध्रुव

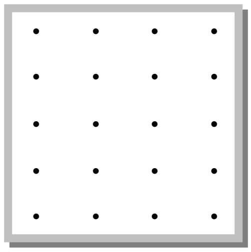


विलगित दक्षिणी ध्रुव



चुम्बकीय द्विध्रुव


कागज–तल के लम्बवत् अन्दर की ओर चुम्बकीय क्षेत्र

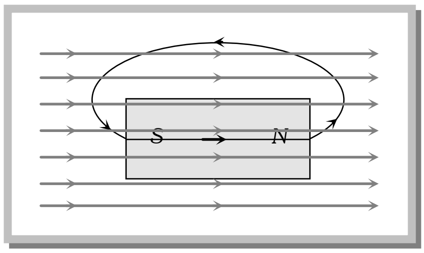

कागज–तल के लम्बवत् बाहर की ओर चुम्बकीय क्षेत्र

(2) **चुम्बकीय फ्लक्स** (ϕ) **एवं फ्लक्स घनत्व** (B)

(i) किसी सतह से अभिलम्बवत् गुजरने वाली बल–रेखाओं की संख्या को उस सतह से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स (ϕ) कहते हैं। इसका S.I. मात्रक बेबर (wb) एवं CGS मात्रक मेक्सवेल है।

1 बेवर = 10^8 मैक्सवेल

(ii) जब किसी चुम्बकीय पदार्थ के एक टुकड़े को एक बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखते हैं तो यह पदार्थ चुम्बकित हो जाता है। इस पदार्थ के अन्दर चुम्बकीय प्रेरण रेखाओं के अभिलम्बवत् स्थित इकाई क्षेत्रफल से गुजरने वाली बल रेखाओं की संख्या को चुम्बकीय प्रेरण या चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व ($\vec{B}$) कहते हैं। यह एक सदिश राशि है। इसका



S.I. मात्रक टेसला है।

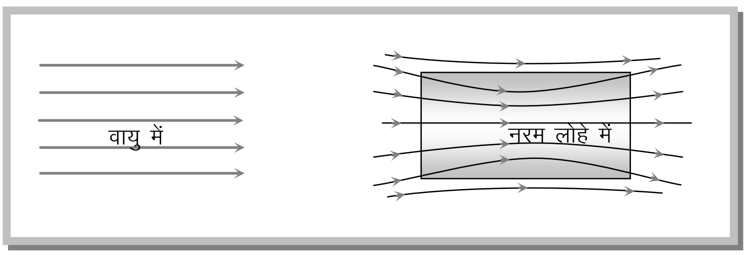
$$1 \text{ टेसला } = \frac{wb}{m^2} = \frac{N}{amp \times m^2} = \frac{J}{amp \times m^2} = \frac{volt \times sec}{m^2}$$

एवं CGS मात्रक 'गॉस' है। 1 टेसला = 10^4 गॉस

- चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व को चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित इकाई उत्तरी ध्रुव पर कार्यरत बल के रूप में भी परिभाषित किया जा सकता है। अर्थात् $B = \dfrac{F}{m_0}$ ।

(3) **चुम्बकीय पारगम्यता** (μ) : चुम्बकीय पदार्थ का वह गुण जो इसमें से गुजरने वाली बल रेखाओं की संख्या को निर्धारित करता है, चुम्बकीय पारगम्यता (μ) कहलाती है।

उदाहरण के लिए नरम लोहे की पारगम्यता वायु की तुलना में 1000 गुनी है।



एवं $\mu = \mu_0 \, \mu_r$; यहाँ μ_0 = वायु या निर्वात् की निरपेक्ष चुम्बकीय परागम्यता = $4\pi \times 10^{-7} \, Tesla \times m / amp.$

एवं μ_r = माध्यम की आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता = $\frac{B}{B_0} = \frac{\text{पदार्थ में चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व}}{\text{निर्वात् मे चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व}}$.

(4) चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता ($\vec{H}$) या चुम्बकन क्षेत्र : यह चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा किसी पदार्थ के चुम्बकन की मात्रा को प्रदर्शित करता है। दूसरे शब्दों में निर्वात में चुम्बकीय प्रेरण एवं निर्वात् की चुम्बकीय पारगम्यता के अनुपात को चुम्बकन क्षेत्र (H) कहते हैं अर्थात् $H = \frac{B_0}{\mu_0}$

।इसका SI मात्रक $A/m. = \frac{N}{m^2 \times Tesla} = \frac{N}{wb} = \frac{J}{m^3 \times Tesla} = \frac{J}{m \times wb}$ इसका C.G.S. मात्रक ऑर्स्टेड है। 1 ऑर्स्टेड = 80 A/m

(5) चुम्बकन तीव्रता (I) : यह राशि, किसी पदार्थ को चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर इसमें उत्पन्न चुम्बकन की मात्रा को व्यक्त करती है। चुम्बकीय पदार्थ के इकाई आयतन में उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण के मान को चुम्बकन तीव्रता (I) कहते हैं।

अतः $I = = \frac{M}{V} = \frac{m.2l}{A.2l} = \frac{m}{A}$, अर्थात् इसे ध्रुव सामर्थ्य प्रति एकांक अनुप्रस्थ क्षेत्र के रूप में भी परिवर्तित किया जा सकता है। यह एक सदिश राशि है। इसका S.I. मात्रक Amp/m है।

(6) चुम्बकीय प्रवृति (χ_m) : यह पदार्थ का वह गुण है जो हमें यह बताता है कि पदार्थ को कितनी आसानी से चुम्बकित किया जा सकता है। इसकी माप पदार्थ में उत्पन्न चुम्बकन तीव्रता (I) एवं चुम्बकीय क्षेत्र (H) के अनुपात से की जाती है। अर्थात $\chi_m = \frac{I}{H}$ यह एक अदिश राशि है। यह मात्रकहीन एवं विमाहीन है।

(7) चुम्बकीय पारगम्यता एवं चुम्बकीय प्रवृति में सम्बन्ध : चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित किसी चुम्बकीय पदार्थ में उत्पन्न कुल चुम्बकीय प्रेरण घनत्व (B) निर्वात् में उत्पन्न चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व B_0 एवं पदार्थ के चुम्बकन के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र B_m के योग के तुल्य होगा अर्थात् $B = B_0 + B_m$

$\Rightarrow B = \mu_0 H + \mu_0 I = \mu_0(H + I) = \mu_0 H(1 + \chi_m)$ यहाँ $\mu_r = (1 + \chi_m)$

❑ CGS में $B = H + 4\pi I$ एवं $\mu = 1 + 4\pi\chi_m$

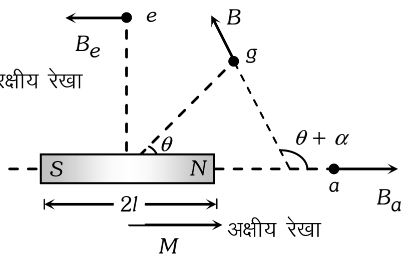
बल एवं क्षेत्र

(1) चुम्बकत्व में कूलॉम का नियम : एक दूसरे से r दूरी पर स्थित दो विलगित एवं काल्पनिक ध्रुवों m_1 एवं m_2 के बीच कार्यरत् बल $F = k.\frac{m_1 m_2}{r^2}$ S.I. पद्धति में $k = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} wb/Amp \times m$, C.G.S. मात्रक में $k = 1$

(2) चुम्बकीय क्षेत्र

(i) एक काल्पनिक ध्रुव (m) के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र $B = \frac{F}{m_0}$ या $B = \frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{m}{d^2}$

(ii) दण्ड चुम्बक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र : चुम्बक के केन्द्र से r दूरी पर



(a) अक्षीय स्थिति में,

चुम्बकीय क्षेत्र $B_a = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2Mr}{(r^2 - l^2)^2}$;

यदि $l << r$ तब $B_a = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3}$

(b) निरक्षीय स्थिति में : चुम्बकीय क्षेत्र $B_e = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{(r^2 + l^2)^{3/2}}$ यदि $l << r$ हो, तब $B_e = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3}$

(c) व्यापक स्थिति में : एक छोटे दण्ड चुम्बक के लिए $B_g = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3}\sqrt{(3\cos^2\theta + 1)}$

(3) **एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में एक दण्ड चुम्बक** : जब किसी दण्ड चुम्बक को एक चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतंत्र करते हैं तो यह चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में व्यवस्थित हो जाती है।

(i) बल आघूर्ण : $\tau = MB\sin\theta \Rightarrow \vec{\tau} = \vec{M}\times\vec{B}$

(ii) कार्य : $W = MB(1-\cos\theta)$

(iii) स्थितिज ऊर्जा : $U = -MB\cos\theta = -\vec{M}.\vec{B}$; (यहाँ θ = द्विध्रुव आघूर्ण ($\vec{M}$) एवं चुम्बकीय क्षेत्र ($\vec{B}$) के बीच कोण)

❑ अधिक जानकारी के लिए स्थिर वैद्युत अध्याय के GSMP में विद्युत द्विध्रुव एवं चुम्बकीय द्विध्रुव का तुलनात्मक अध्ययन देखें।

(4) **चुम्बकत्व में गॉस नियम** : किसी पृष्ठ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स सदैव शून्य है अर्थात् $\oint \vec{B}.\vec{ds} = 0$

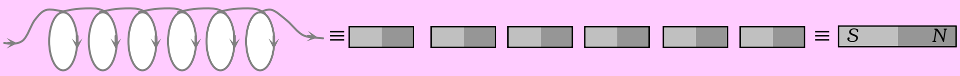
Concepts

☞ *किसी पदार्थ में चुम्बकत्व का कारण उसमें उपस्थित चुम्बकीय आघूर्ण है।*

☞ *वे परमाणु, जिनमें इलेक्ट्रॉन युग्मित होते हैं, शून्य चुम्बकीय आघूर्ण रखते है।*

☞ *Magnetostriction : एक लोहे के दण्ड को चुम्बकित किया जाता है तो इसकी लम्बाई बढ़ जाती है। ऐसा परमाण्विक चुम्बकों के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में संरेखित होने के कारण होता है। यह लम्बाई में वृद्धि चुम्बकन की दिशा में होती है। इस प्रभाव को magnetostriction कहते हैं।*

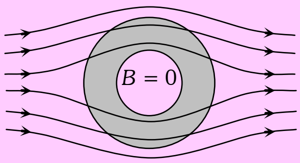
☞ *एक धारावाही परिनालिका को एकरेखीय छोटे–छोटे द्विध्रुवों से बनी श्रृंखला द्वारा प्रदर्शित कर सकते हैं। इन छोटे–छोटे द्विध्रुवों की संख्या परिनालिका में उपस्थित फेरों की संख्या के तुल्य होगी।*



☞ *जब एक M चुम्बकीय आघूर्ण वाला द्विध्रुव किसी चुम्बकीय क्षेत्र B में अस्थायी साम्य से स्थायी साम्य में आता है तो इसकी गतिज ऊर्जा 2 MB हो जायेगी।*

☞ *किसी पदार्थ में इलेक्ट्रॉनों की चक्रण गति के कारण चुम्बकन तीव्रता (I) उत्पन्न होती है।*

☞ *किसी संवेदनशील उपकरण को बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र से सुरक्षित रखने के लिए इस एक लोहे के बॉक्स में रख दिया जाता है। इसे चुम्बकीय परिरक्षण कहते हैं।*



Example: 1 एक चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण M है। इसे चुम्बकीय याम्योत्तर से 60° पर घुमाने में जितना कार्य करना पड़ता है, उससे n गुना कार्य 90° पर घुमाने के लिए करना पड़ता है। n का मान होगा [CBSE 1995; MP PET 2003]

(a) 2 (b) 1 (c) 1/2 (d) 1/4

Solution : (a) $W = MB(1-\cos\theta) \Rightarrow W_{0^\circ\to 90^\circ} = nx(W_{0^\circ\to 60^\circ}) \Rightarrow MB(1-\cos 90^o) = n\times MB(1-\cos 60^o) \Rightarrow n = 2$

Example: 2 एक छड़ के पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृत्ति 499 है। निर्वात् की पारगम्यता $4\pi\times 10^{-7}\,H/m$ है। छड़ के पदार्थ की निरपेक्ष पारगम्यता H/m में होगी [EAMCET 2003]

(a) $\pi\times 10^{-4}$ (b) $2\pi\times 10^{-4}$ (c) $3\pi\times 10^{-4}$ (d) $4\pi\times 10^{-4}$

Solution : (b) $\mu_r = (1+\chi_m) \Rightarrow \mu_r = (1+499) = 500$, $\mu = \mu_0\mu_r = 4\pi\times 10^{-7}\times 500 = 2\pi\times 10^{-4}$

Example: 3 किसी चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर स्थित एक चुम्बकीय सुई को 60° विक्षेपित करने के लिए W मात्रक कार्य की आवश्यकता होती है। सुई को इसी स्थिति में रखने के लिए आवश्यक बल आघूर्ण होगा

[MNR 1991; KCET 1994; MP PET 1996; AIEEE 2003]

(a) $\sqrt{3}\,W$ (b) $-W$ (c) $\frac{\sqrt{3}}{2}W$ (d) $2W$

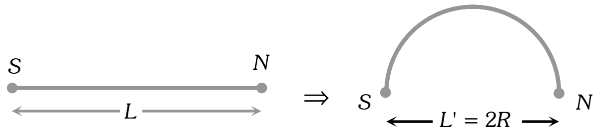
Solution : (a) $\tau = MB\sin\theta$ एवं $W = MB(1-\cos\theta) \Rightarrow W = MB(1-\cos 60^o) = \frac{MB}{2}$. अतः $\tau = MB\sin 60^o = \frac{\sqrt{3}MB}{2} = \sqrt{3}W$

Example: 4 एक L लम्बाई व M चुम्बकीय आघूर्ण की छड़ को मोड़कर अर्द्ध-वृत्ताकार बनाया गया है, तो इसका चुम्बकीय आघूर्ण होगा [CPMT 1984; NCERT 1975; MP PET/PMT 1988; EAMCET (Med.) 1995; Manipal MEE 1995; RPMT 1996; BHU 1995; MP PET 2002]

(a) M (b) $\frac{2M}{\pi}$ (c) $\frac{M}{\pi}$ (d) $M\pi$

Solution : (b) छड़ को मोड़ने पर इसकी ध्रुव सामर्थ्य अपरिवर्तित रहती है, परन्तु इसका चुम्बकीय आघूर्ण परिवर्तित हो जायेगा

नया चुम्बकीय आघूर्ण $M' = m(2R) = m\left(\frac{2L}{\pi}\right) = \frac{2M}{\pi}$



Example: 5 एक लघु छड़ चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को पृथ्वी के उत्तर की ओर रखने पर उदासीन बिन्दु क्षैतिज तल में किसी बिन्दु P पर मिलता है। यदि चुम्बक को क्षैतिज तल में 90° से घुमा दिया जाये तो बिन्दु P पर कुल चुम्बकीय प्रेरण होगा (पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक = B_H) [EAMCET (Engg.) 2000]

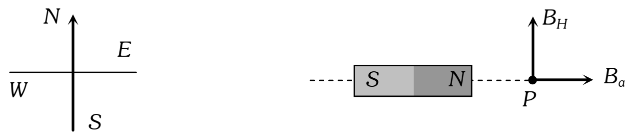
(a) 0 (b) $2B_H$ (c) $\frac{\sqrt{5}}{2}B_H$ (d) $\sqrt{5}\,B_H$

Solution : (d) प्रारम्भिक स्थिति में,

उदासीन बिन्दु चुम्बकीय निरक्ष पर प्राप्त होगा एवं उदासीन बिन्दु पर $|B_H| = |B_e|$

यहाँ B_H = पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक एवं B_e = दण्ड चुम्बक के कारण निरक्षीय स्थिति में चुम्बकीय क्षेत्र

अन्तिम स्थिति में,



अब बिन्दु P दण्ड चुम्बक की अक्षीय स्थिति में होगा। अतः P पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र $B = \sqrt{B_a^2 + B_H^2} = \sqrt{(2Be)^2 + (B_H)^2} = \sqrt{(2B_H)^2 + B_H^2} = \sqrt{5}B_H$

Example: 6 चुम्बकीय आघूर्ण 3.0 $Amp \times m$ वाले एक छड़ चुम्बक, को एकसमान चुम्बकीय प्रेरण $2\times10^{-5}\,T$ में रखा गया है। यदि चुम्बक का प्रत्येक ध्रुव $6\times10^{-4}\,N$ का बल अनुभव करता है तो चुम्बक की लम्बाई है [EAMCET (Med.) 2000]

(a) 0. 5 m (b) 0. 3 m (c) 0.2 m (d) 0.1 m

Solution : (d) $M = mL$ एवं $F = mB, \Rightarrow F = \frac{M}{L}\times B \Rightarrow 6\times10^{-4} = \frac{3}{L}\times 2\times10^{-5} \Rightarrow L = 0.1m$

Example: 7 दो समान दण्ड चुम्बकों, जिनके केन्द्र r मीटर दूरी पर है, के अक्ष एक ही रेखा पर हों, तब 4.8 N का बल लगता है। यदि बीच की दूरी $2r$ कर दी जाये, तो उनके बीच बल का मान हो जायेगा [AIIMS 1995; Pb. CET 1997]

(a) 2.4 N (b) 1.2 N (c) 0.6 N (d) 0.3 N

Solution : (d) दो दण्ड चुम्बकों के बीच बल $F \propto \frac{1}{d^4} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 \Rightarrow \frac{4.8}{F_2} = \left(\frac{2r}{r}\right)^4 \Rightarrow F_2 = 0.3N$ यहाँ d= दण्ड चुम्बकों के बीच अन्तराल

Example: 8 चुम्बकीय आघूर्ण 1.0 $A\text{-}m^2$ के दो एकसमान चुम्बकीय द्विध्रुवों के अक्षों को एक–दूसरे के लम्बवत् रखा गया है जिससे उनके केन्द्रों के बीच की दूरी $2m$ है। द्विध्रुवों के बीच मध्य बिन्दु पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र होगा [Roorkee 1995]

(a) $5\times10^{-7}T$ (b) $\sqrt{5}\times10^{-7}T$ (c) $\frac{T}{2}$ (d) उपरोक्त में से कोई नहीं

Solution : (b) $B_1=\frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{2M}{\left(\frac{r}{2}\right)^3}=10^{-7}\times\frac{2\times1}{\left(\frac{2}{2}\right)^3}; B_2=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{\left(\frac{r}{2}\right)^3}=10^{-7}\times\frac{1}{\left(\frac{2}{2}\right)^3};$

$B_{net}=\sqrt{(2\times10^{-7})^2+(10^{-7})^2}=\sqrt{5}\times10^{-7}T$

Example: 9 एक चुम्बक जिसका चुम्बकीय आघूर्ण 20 C.G.S. मात्रक है, 0.3 C.G.S. मात्रक के सर्वसम तीव्रता वाले चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतंत्रतापूर्वक लटकाया गया है। इसको $30°$ से विक्षेपित करने के लिए किये गये कार्य का C.G.S. मात्रक में मान होगा [MP PET 1991]

(a) 6 (b) $3\sqrt{3}$ (c) $3(2-\sqrt{3})$ (d) 3

Solution : (c) $W=MB(1-\cos\theta)\Rightarrow W=20\times0.3(1-\cos30^o)=3(2-\sqrt{3})$

Example: 10 एक छोटे दण्ड चुम्बक के अक्ष पर स्थित बिन्दु x पर चुम्बकीय क्षेत्र तीव्रता उसी चुम्बक की निरक्षीय रेखा पर स्थित बिन्दु y पर क्षेत्र तीव्रता के बराबर है। चुम्बक के केन्द्र से x और y की दूरियों का अनुपात है [MP PMT 1990]

(a) 2^{-3} (b) $2^{-1/3}$ (c) 2^3 (d) $2^{1/3}$

Solution : (d) माना कि बिन्दु x एवं y की चुम्बक से दूरियाँ क्रमशः x एवं y है तब प्रश्नानुसार

$B_{अक्षीय}=B_{निरक्षीय}\Rightarrow\frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{2M}{x^3}=\frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{M}{y^3}\Rightarrow\frac{x}{y}=\frac{2^{1/3}}{1}$

Example: 11 2000 *A/m* का एक चुम्बकीय क्षेत्र किसी छड़ में 6.28×10^{-4} *weber* फलक्स उत्पन्न करता है। यदि छड़ के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल $2\times10^{-5}m^2$ है, तब छड़ के पदार्थ की आपेक्षिक पारगम्यता है

(a) 0.75×10^{-2} (b) 1.25×10^4 (c) 0.25 (d) 1.01

Solution : (b) $B=\mu_0\mu_rH$ एवं $B=\frac{\phi}{A},\Rightarrow\mu_r=\frac{\phi}{A\mu_0H}=\frac{6.28\times10^{-4}}{2\times10^{-5}\times4\pi\times10^{-7}\times2000}=1.25\times10^4$

Example: 12 किसी एक छोटे दण्ड चुम्बक के कारण अक्षीय स्थिति में x दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता 9 गॉस है। निरक्षीय स्थिति में $\frac{x}{2}$ दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता होगी

(a) 9 गॉस (b) 4 गॉस (c) 36 गॉस (d) 4.5 गॉस

Solution : (c) C.G.S. में $B_{अक्षीय}=9=\frac{2M}{x^3}$ .....(i) $B_{निरक्षीय}=\frac{M}{\left(\frac{x}{2}\right)^3}=\frac{8M}{x^3}$ .....(ii)

समीकरण (i) व (ii) से $B_{निरक्षीय}=36$ गॉस

Example: 13 किसी पदार्थ की $1gm$ मात्रा में उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण $6\times10^{-7}amp\times m^2$ है। यदि पदार्थ का घनत्व $5\,gm/cm^3$ हो तब चुम्बकन तीव्रता *A/m* में होगी

(a) 8.3×10^6 (b) 3.0 (c) 1.2×10^{-7} (d) 3×10^{-6}

Solution : (b) $I=\frac{M}{V}=\frac{M}{द्रव्यमान/घनत्व}$, दिया है, द्रव्यमान = $1gm$ = $10^{-3}kg$ एवं घनत्व

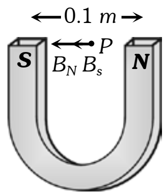
$5gm/cm^3=\frac{5\times10^{-3}kg}{(10^{-2})^3m^3}=5\times10^3kg/m^3$

अतः $I=\frac{6\times10^{-7}\times5\times10^3}{10^{-3}}=3$

Example: 14 एक नाल चुम्बक के ध्रुवों के बीच की दूरी 0.1 *m* एवं ध्रुव सामर्थ्य 0.01 *amp/m* है। दोनों ध्रुवों के मध्य बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता होगी

(a) $2\times10^{-5}T$ (b) $4\times10^{-6}T$ (c) $8\times10^{-7}T$ (d) शून्य

Solution : (c) बिन्दु *P* पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र $B = B_N + B_S$



यहाँ B_N = *N*- ध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता

B_S = *S*- ध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता

$$B_N = B_S = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{r^2} = 10^{-7}\times\frac{0.01}{\left(\frac{0.1}{2}\right)^2} = 4\times10^{-7}T \quad \therefore B_{net} = 8\times10^{-7}T.$$

Example: 15 एक बेलनाकार छड़ चुम्बक की लम्बाई 5 *cm* एवं इसका व्यास 1 *cm* है। इसमें चुम्बकन तीव्रता 5.30×10^3 *Amp/m* है। इसका चुम्बकीय आघूर्ण होगा

(a) $1\times10^{-2}J/T$ (b) $2.08\times10^{-2}J/T$ (c) $3.08\times10^{-2}J/T$ (d) $1.52\times10^{-2}J/T$

Solution : (b) $M = I\times V$, बेलन का आयतन $V = \pi r^2 l$, यहाँ *r* त्रिज्या एवं *l* लम्बाई

$$M = I\times\pi r^2 l = (5.30\times10^3)\times\frac{22}{7}\times(0.5\times10^{-2})^2(5\times10^{-2}) = 2.08\times10^{-2}J/T$$

Example: 16 एक दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण $2.5JT^{-1}$ है एवं इसे $0.2T$ के एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा गया है। चुम्बक को क्षेत्र की दिशा से विपरीत दिशा में घुमाने पर किया गया कार्य होगा

(a) $0.5J$ (b) $1J$ (c) $2J$ (d) $0J$

Solution : (b) कार्य $W = -MB(\cos\theta_2 - \cos\theta_1) = -MB(\cos180^o - \cos0^o) = -MB(-1-1) = 2MB = 2\times2.5\times0.2 = 1J$

Example: 17 एक दण्ड चुम्बक की लम्बाई 25 *cm* एवं ध्रुव सामर्थ्य 24 *amp*×*m* है। यह एक घर्षण रहित कीलक पर सन्तुलित है। चुम्बक का केन्द्र ठीक कीलक पर है। अब कीलक से 12 *cm* की दूरी पर एक बल *F* लगाने पर चुम्बक 0.25 *T* के एक समान चुम्बकीय क्षेत्र से 30° के कोण पर साम्यवस्था में आ जाती है। बल *F* का मान है

(a) 5.62 *N* (b) 2.56 *N* (c) 6.52 *N* (d) 6.25 *N*

Solution : (d) साम्यावस्था में, चुम्बकीय बल आघूर्ण = विक्षेपक बल आघूर्ण ⇒ $MB\sin\theta = F.d$ या

$$F = \frac{m(2l)B\sin\theta}{d} = \frac{24\times0.25\times0.25\sin30^o}{0.12} = 6.25N$$

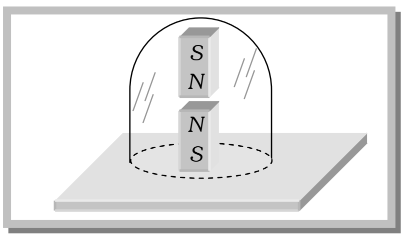
Example: 18 50 *gm* भार एवं 10 *cm* लम्बाई की दो एकसमान छड़ चुम्बकें चित्रानुसार एक काँच नलिका में ऊर्ध्वाधर स्थित है। इनके समान ध्रुव चित्रानुसार आमने–सामने है। ऊपर वाली चुम्बक नीचे वाली चुम्बक से वायु में इस प्रकार सन्तुलित रहती है कि इनके पास वाले ध्रुवों के बीच की दूरी 3*mm* है। प्रत्येक चुम्बक की ध्रुव सामर्थ्य होगी

(a) 6.64 *amp* × *m*

(b) 2 *amp* × *m*

(c) 10.25 *amp* × *m*

(d) उपरोक्त में से कोई नहीं



Solution : (a) ऊपर वाली चुम्बक का भार इन दोनों चुम्बकों के बीच लगने वाले प्रतिकर्षण बल से सन्तुलित होगा

$$\therefore \frac{\mu}{4\pi}.\frac{m^2}{r^2} = 50 gm - wt \quad \Rightarrow 10^{-7} \times \frac{m^2}{(9 \times 10^{-6})} = 50 \times 10^{-3} \times 9.8 \Rightarrow m = 6.64 amp \times m$$

Tricky Example: 1

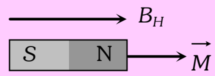
चुम्बकीय आघूर्ण 2.0 $A\text{-}m^2$ का एक छड़ चुम्बक उसके केन्द्र से गुजरने वाले ऊर्ध्वाधर अक्ष के परित: घूर्णन करने हेतु स्वतंत्र है। चुम्बक को पूर्व–पश्चिम स्थिति से विराम अवस्था से छोड़ा जाता है। जब चुम्बक उत्तर–दक्षिण स्थिति में आता है, तो उसकी गतिज ऊर्जा होगी (पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक = $25 \mu T$)

[EAMCET (Engg.) 1996]

(a) $25 \mu J$ (b) $50 \mu J$ (c) $100 \mu J$ (d) $12.5 \mu J$

Solution : (b) जब किसी चुम्बक को पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतंत्रता पूर्वक लटकाते हैं तो यह सदैव चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में ठहरता है। (अर्थात् $N - S$ दिशा में)

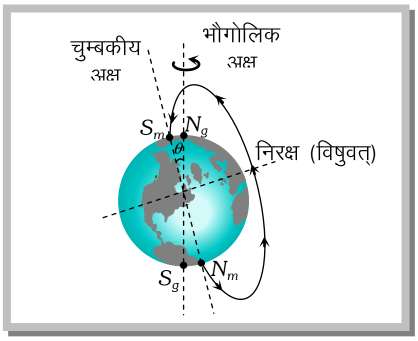
इसलिए $U = -MB_H \cos \theta$; यहाँ $\theta =$ M एवं B_H के बीच कोण



$U = -M \times B \cos 0 = -2 \times 25 = -50 \mu J$

पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र (भू–चुम्बकत्व)

सबसे मान्य सिद्धांत के अनुसार भू-चुम्बकत्व का कारण, ''पृथ्वी के घूर्णन के कारण इसकी क्रोड में द्रवित अवस्था में उपस्थित आवेशित आयन एक धारा का निर्माण करते हैं''



(1) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की प्रकृति इस प्रकार है कि मानों पृथ्वी के केन्द्र पर एक बहुत बड़ा दण्ड चुम्बक गढ़ा हो।

(2) पृथ्वी का घूर्णन-अक्ष भौगोलिक अक्ष कहलाता है। एवं यह पृथ्वी सतह को जिन बिन्दुओं पर काटता है उन्हें भौगोलिक ध्रुव (N_g, S_g) कहते हैं।

(3) पृथ्वी के भौगोलिक अक्ष से गुजरने वाला ऊर्ध्वाधर तल भौगोलिक-याम्योत्तर कहलाता है।

(4) पृथ्वी के अन्दर स्थित बहुत बड़े काल्पनिक दण्ड चुम्बक के अक्ष को चुम्बकीय अक्ष कहते हैं। पृथ्वी का चुम्बकीय अक्ष पृथ्वी सतह को जिन बिन्दुओं पर काटता है उन्हें चुम्बकीय ध्रुव कहते हैं। चुम्बकीय अक्ष के लम्बवत् पृथ्वी सतह पर स्थित वृत्त चुम्बकीय निरक्ष (विषुवत्) कहलाता है।

(5) पृथ्वी का चुम्बकीय अक्ष उसके घूर्णन अक्ष के सम्पाती नहीं होता है बल्कि परस्पर $17°$ का कोण बनाता है।

(6) चुम्बकीय निरक्ष पृथ्वी को दो गोलार्द्धों में विभक्त करता है। जिस गोलार्द्ध में दक्षिणी चुम्बकीय ध्रुव स्थित है उसे उत्तरी गोलार्द्ध एवं दूसरे गोलार्द्ध को दक्षिणी गोलार्द्ध कहते हैं।

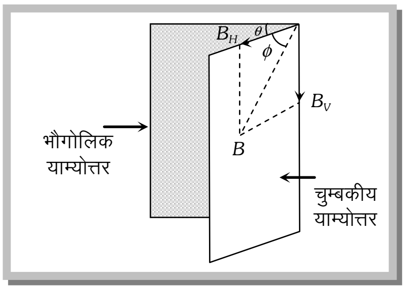
(7) पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र नियत नहीं है। प्रत्येक स्थान पर इसका मान भिन्न–भिन्न होता है। साथ ही एक ही स्थान पर समय के साथ परिवर्तित होता रहता है।

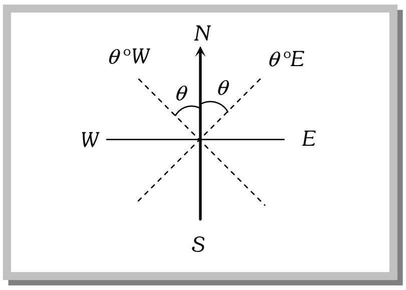
(8) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा S (भौगोलिक दक्षिण) से N (भौगोलिक उत्तर) की ओर होती है।

भू-चुम्बकत्व के अवयव

किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के मान एवं दिशा को पूर्वतः कुछ निश्चित राशियों द्वारा व्यक्त कर सकते हैं, जिन्हें चुम्बकीय अवयव कहते हैं।

(1) **दिक्पात कोण** (θ) : किसी स्थान पर चुम्बकीय याम्योत्तर एवं भौगोलिक याम्योत्तर के बीच न्यूनकोण को उस स्थान का दिक्पात कोण कहते हैं। इसका मान भिन्न-भिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होगा।





भौगोलिक अक्ष के पूर्व की ओर स्थित किसी स्थान पर दिक्पात $\theta^o E$ एवं पश्चिम की ओर स्थित स्थान पर दिक्पात $\theta^o W$ के रूप में व्यक्त होगा।

(2) **नमन कोण या नति कोण** (ϕ) : किसी स्थान पर पृथ्वी की सम्पूर्ण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता चुम्बकीय याम्योत्तर में स्थित क्षैतिज रेखा के साथ जो कोण बनाती है उसे नमन कोण कहते हैं।

(3) **पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक** (B_H) : पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र केवल चुम्बकीय निरक्ष पर क्षैतिज होता है। अन्य स्थान पर पृथ्वी की सम्पूर्ण तीव्रता को दो घटकों में विभक्त कर सकते हैं

क्षैतिज घटक $B_H = B\cos\phi$ ...... (i) एवं ऊर्ध्वाधर घटक $B_V = B\sin\phi$ .... (ii)

समीकरण (i) व (ii) को वर्ग करके जोड़ने पर $B = \sqrt{B_{H^2} + B_{V^2}}$

समीकरण (ii) को (i) से विभाजित करने पर $\tan\phi = \dfrac{B_V}{B_H}$

❑ चुम्बकीय निरक्ष पर, $\phi = 0 \Rightarrow B_H = B,\ B_V = 0$ जबकि ध्रुवों पर $\phi = 90^o \Rightarrow B_H = 0,\ B_V = B$

चुम्बकीय मानचित्र एवं उदासीन बिन्दु

(1) चुम्बकीय मानचित्र (अर्थात् दिकपात, नमनकोण, एवं क्षैतिज घटक) पृथ्वी के प्रत्येक स्थान के लिए अलग–अलग होते हैं। यह पाया गया है कि कई स्थानों पर चुम्बकीय अवयवों के मान समान होते हैं। पृथ्वी तल पर ऐसे बिन्दुओं को मिलाते हुए विभिन्न रेखायें खींची गयी हैं। ये रेखायें चुम्बकीय मानचित्र बनाती हैं।

(i) सम दिकपाती रेखायें: समान दिक्पात कोण वाले स्थानों को मिलाने वाली रेखायें।

(ii) शून्य दिक्पाती रेखायें: शून्य दिक्पात कोण वाले स्थानों को मिलाने वाली रेखायें।

(iii) समनतिक रेखायें : समान नमन कोण वाले स्थानों को मिलाने वाली रेखायें

(iv) चुम्बकीय निरक्ष : शून्य नमन कोण वाले स्थानों को मिलाने वाली रेखायें।

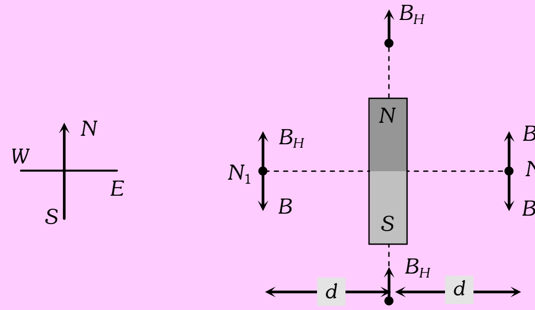
(v) सम चुम्बकीय रेखायें : समान क्षैतिज घटकों वाले स्थानों को मिलाने वाली रेखायें।

(2) **उदासीन बिन्दु** : उदासीन बिन्दु पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र शून्य होता है। अर्थात् उदासीन बिन्दु पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र किसी अन्य चुम्बकीय क्षेत्रके बराबर तथा दिशा में विपरीत होता है।

उदासीन बिन्दु की विभिन्न स्थितियाँ : पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में किसी छड़ (दण्ड) चुम्बक की उपस्थिति के कारण

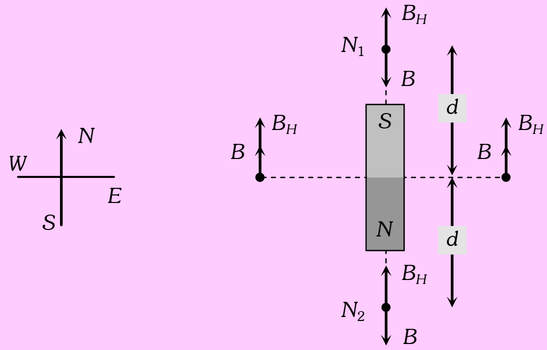
(i) चुम्बक क्षैतिज तल में क्षैतिजतः रूप से स्थित है।

चुम्बक का उत्तरी ध्रुव पृथ्वी के उत्तरी ध्रुव की ओर



चुम्बकीय निरक्ष पर दो उदासीन बिन्दु N_1 व N_2 प्राप्त होते हैं। एवं उदासीन बिन्दुओं पर $B = B_H$ ⇒ $\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{d^3} = B_H$

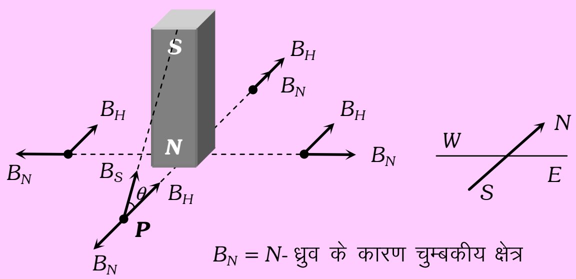
चुम्बक का दक्षिणी ध्रुव पृथ्वी के उत्तरी ध्रुव की ओर



चुम्बकीय अक्ष पर दो उदासीन बिन्दु N_1 व N_2 (चित्रानुसार) प्राप्त होते हैं। एवं उदासीन बिन्दुओं पर $B = B_H$ अर्थात् $\frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{2M}{d^3} = B_H$

(ii) चुम्बक क्षैतिज तल में ऊर्ध्वाधर स्थित हो

N- ध्रुव पर क्षैतिज तल पर हो



B_N = N- ध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

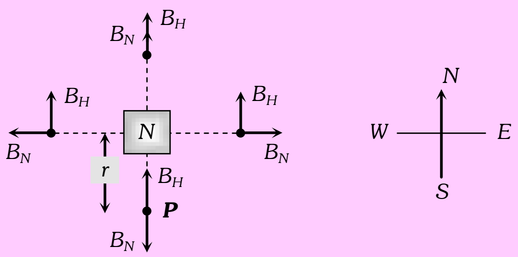
B_S = S-ध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

m = चुम्बक के प्रत्येक ध्रुव की ध्रुव सामर्थ्य

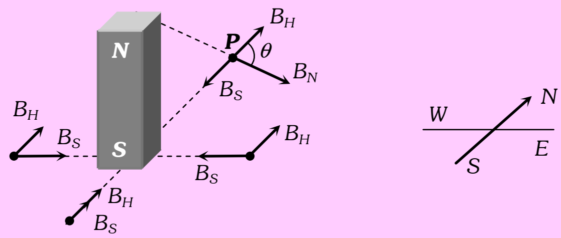
उदासीन बिन्दु P पर : $B_N - B_S\cos\theta = B_H$ $(B_S > B_N)$

यदि S-ध्रुव के प्रभाव को नगण्य मान लें : तब केवल (चित्रानुसार) एक उदासीन बिन्दु प्राप्त होता है। उदासीन बिन्दु पर

$B_N = B_H$ ⇒ $\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{r^2} = B_H$



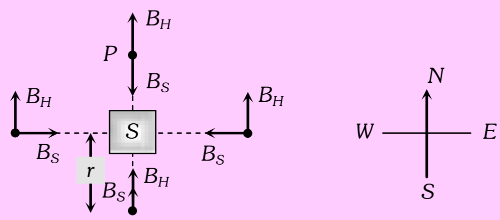
S- ध्रुव पर क्षैतिज तल पर हो



उदासीन बिन्दु P पर : $B_S - B_N\cos\theta = B_H$ $(B_S < B_N)$

यदि N-ध्रुव के प्रभाव को नगण्य मान लें : तब केवल (चित्रानुसार) एक उदासीन बिन्दु प्राप्त होता है। एवं उदासीन बिन्दु पर

$B_S = B_H$ ⇒ $\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{r^2} = B_H$



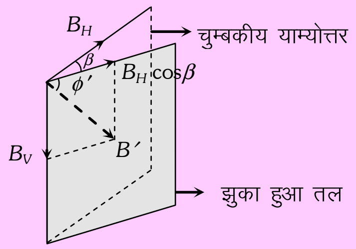
Concepts

☞ *आभासी नति कोण: चुम्बकीय याम्योत्तर से β कोण पर झुके ऊर्ध्वाधर तल में पृथ्वी का ऊर्ध्वाधर घटक अपरिवर्तित रहता है। जबकि क्षैतिज घटक* $B'_H = B_H \cos\beta$

ϕ' = *आभासी नतिकोण*

एवं $\tan\phi' = \frac{B_V}{B'_H} = \frac{B_V}{B_H \cos\beta}$

$\Rightarrow \tan\phi' = \frac{\tan\phi}{\cos\beta}$



☞ *यदि किसी स्थान पर नतिकोण θ एवं इसका अक्षांश कोण λ हो तब* $\tan\theta = 2\tan\lambda$

☞ *पृथ्वी के ध्रुवों और चुम्बकीय निरक्ष पर सम्पूर्ण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता क्रमशः* 0.66 *एवं* 0.33 *ऑर्स्टेड है।*

Example: 19 यदि दो स्थानों पर नतिकोणों के मान क्रमशः 30^o एवं 45^o हो तब इन दोनों स्थानों पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटकों का अनुपात होगा [MP PET 1989]

(a) $\sqrt{3}:\sqrt{2}$ (b) $1:\sqrt{2}$ (c) $1:\sqrt{3}$ (d) $1:2$

Solution : (a) $B_H = B\cos\phi \Rightarrow \frac{(B_H)_1}{(B_H)_2} = \frac{(\cos\phi)_1}{(\cos\phi)_2} = \frac{\cos 30}{\cos 45} = \sqrt{\frac{3}{2}}$

Example: 20 किसी स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक का मान 0.38×10^{-4} बेबर/m^2 है। यदि उस स्थान पर नतिकोण 60° हो तब पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का ऊर्ध्वाधर घटक होगा (लगभग) [MP PMT 1985]

(a) 0.12×10^{-4} (b) 0.24×10^{-4} (c) 0.40×10^{-4} (d) 0.62×10^{-4}

Solution : (d) $\tan\phi = \frac{B_V}{B_H} \Rightarrow \tan 60^o = \frac{B_V}{0.38\times10^{-4}} \Rightarrow B_V = 0.38\times10^{-4}\times\sqrt{3} = 0.62\times10^{-4}$

Example: 21 एक नतिमापी इस प्रकार व्यवस्थित है कि यह ऊर्ध्वाधर तल में स्वतंत्रतापूर्वक घूम सकता है। जब यह चुम्बकीय याम्योत्तर स्थित है तब नतिकोण 40° है। अब यदि नतिमापी को चुम्बकीय याम्योत्तर से 30° कोण पर घुमा दिया जाये तो इस स्थिति में नतिकोण होगा [Roorkee 1983]

(a) 40° (b) 30° (c) 40° से अधिक (d) 40° से कम

Solution : (c) $\tan\phi' = \frac{\tan\phi}{\cos\beta}$; यहाँ $\phi = 40^o, \beta = 30^o$

चूँकि $\cos 30^o < 1 \quad \Rightarrow \frac{1}{\cos 30^o} > 1$

अतः $\frac{\tan\phi'}{\tan\phi} > 1 \Rightarrow \tan\phi' > \tan\phi = \phi' > \phi$ या $\phi' > 40^o$

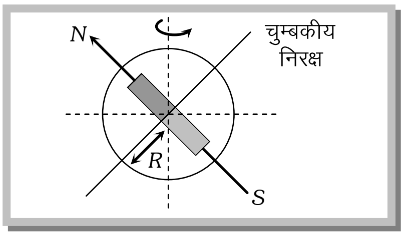
Example: 22 मान लीजिए पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र इसके केन्द्र पर स्थित एक दण्ड चुम्बक के कारण उत्पन्न होता है। यदि चुम्बकीय निरक्ष पर स्थित किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता $0.3\times10^{-4}\,T$ है। तब दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण है

(a) $7.8 \times 10^8 amp \times m^2$

(b) $7.8 \times 10^{22} amp \times m^2$

(c) $6.4 \times 10^{22} amp \times m^2$

(d) उपरोक्त में से कोई नहीं



Solution : (b) जब किसी दण्ड चुम्बक को पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में स्वतंत्रतापूर्वक लटकाते हैं तो इसका उत्तरी ध्रुव उत्तर दिशा को इंगित करता है, इसलिए पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र को एक चुम्बकीय द्विध्रुव के कारण उत्पन्न हुआ माना जा सकता है। इस द्विध्रुव का दक्षिणी ध्रुव उत्तर की ओर होगा। अतः

$$B_e = \frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{M}{r^3} \Rightarrow 0.3 \times 10^{-4} = 10^{-7} \times \frac{M}{(6.4 \times \times 10^6)^3} \Rightarrow M = 7.8 \times 10^{22} A\text{-}m^2$$

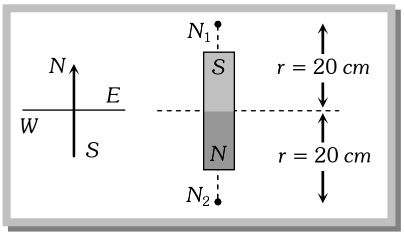
Example: 23 एक लघु दण्ड चुम्बक इस प्रकार स्थित है कि इसका दक्षिणी ध्रुव भौगोलिक उत्तर की ओर है। उदासीन बिन्दु चुम्बक के केन्द्र से 20 cm दूरी पर प्राप्त होते हैं। यदि $B_H = 0.3 \times 10^{-4} wb/m^2$ हो तब चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण है

(a) 9000 ab- $amp \times cm^2$

(b) 900 $ab - amp \times cm^2$

(c) 1200 $ab - amp \times cm^2$

(d) 225 $ab - amp \times cm^2$



Solution : (c) उदासीन बिन्दु पर, दण्ड चुम्बक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता = पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक

$$\Rightarrow \frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{2M}{r^3} = B_H \Rightarrow \frac{10^{-7} \times 2 \times M \times 1}{(0.2)^3} = 0.3 \times 10^{-4} \Rightarrow M = 1.2 amp \times m^2 = 1200 ab - amp \times cm^2$$

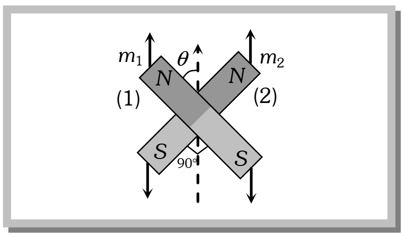
Example: 24 दो चुम्बकों को चित्रानुसार समकोण पर जोड़ा गया हैं। चुम्बक 1 का चुम्बकीय आघूर्ण, चुम्बक 2 के चुम्बकीय आघूर्ण का 3 गुना है। इस व्यवस्था को इस प्रकार कीलकित किया गया है कि यह क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है। संतुलन की स्थिति में चुम्बक 1 चुम्बकीय याम्योत्तर से किस कोण पर होगा

(a) $\tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\right)$

(b) $\tan^{-1}\left(\frac{1}{3}\right)$

(c) $\tan^{-1}(1)$

(d) $0°$



Solution : (b) निकाय की संतुलन की स्थिति में, चुम्बकीय क्षेत्र B_H के कारण M_1 (चुम्बक 1) एवं M_2 (चुम्बक 2) पर कार्यरत बल आघूर्ण बराबर व विपरीत होंगे अर्थात् $\vec{M}_1 \times \vec{B}_H = \vec{M}_2 \times \vec{B}_H$ । यदि M_1 एवं B_H के बीच कोण θ हो तो M_2 एवं B_H के बीच कोण $(90 - \theta)$ होगा। अतः $M_1 B_H \sin\theta = M_2 B_H \sin(90 - \theta)$

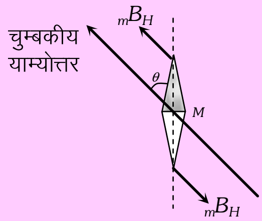
$$\Rightarrow \tan\theta = \frac{M_2}{M_1} = \frac{M}{3M} = \frac{1}{3} \Rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{1}{3}\right)$$

Tricky Example: 2

एक कम्पास सुई का चुम्बकीय आघूर्ण 60 $amp \times m^2$ है। किसी स्थान पर यह सुई भौगोलिक उत्तर की ओर इंगित करती है। इस स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक का मान 40 $\mu \omega b/m^2$ है। यदि इस स्थान पर कम्पास सुई पर कार्यरत बल आघूर्ण $1.2 \times 10^{-3} N \times m$. हो तब इस स्थान पर दिक्पात कोण है [EAMCET (Engg.) 1996]

(a) 30° (b) 45° (c) 60° (d) 25°

Solution : (a) चूँकि कम्पास सुई क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है एवं यह चुम्बकीय याम्योत्तर की ओर इंगित करती है, इसलिए जब यह भौगोलिक याम्योत्तर की दिशा में होगी तो यह पृथ्वी के क्षैतिज घटक के कारण एक बल आघूर्ण $\tau = MB_H \sin\theta$ का अनुभव करेगी,

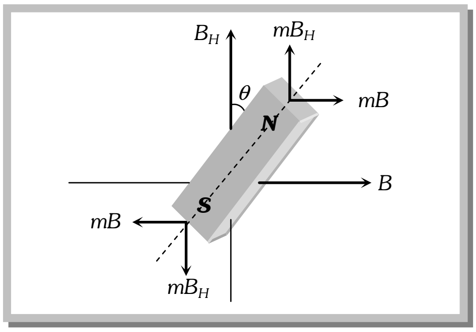


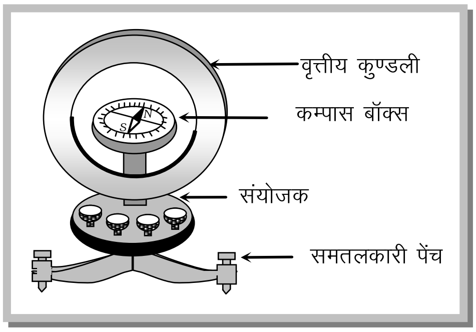
यहाँ θ = भौगोलिक याम्योत्तर एवं चुम्बकीय याम्योत्तर के बीच कोण है,

इसलिए $\sin\theta = \dfrac{1.2 \times 10^{-3}}{60 \times 40 \times 10^{-6}} = \dfrac{1}{2} \Rightarrow \theta = 30^o$

स्पर्शज्या नियम एवं इसका अनुप्रयोग

जब एक छोटे दण्ड चुम्बक को दो परस्पर लम्बवत् समरूप चुम्बकीय क्षेत्रों B एवं B_H में स्वतंत्रता पूर्वक लटकाया जाता है, तो चुम्बक चुम्बकीय क्षेत्र B_H से θ कोण पर स्थिर हो जाती है, तब $B = B_H \tan\theta$; यही स्पर्शज्या नियम है।





स्पर्शज्या धारामापी : इसकी सहायता से किसी परिपथ में बहने वाली अल्प धारा की माप/उपस्थिति ज्ञात करते हैं। यह एक चल चुम्बक धारामापी है जिसका कार्य-सिद्धान्त स्पर्शज्या नियम पर आधारित है। इसमें एक वृत्ताकार कुण्डली होती है जो किसी अचुम्बकीय पदार्थ (लकड़ी पीतल आदि) के वृत्ताकार ऊर्ध्वाधर ढाँचे पर पृथक्कृत ताँबे के कई तार लपेटकर बनाई जाती है। इन तारों को आधार पर लगे चार संयोजक पेंचों की सहायता से तीन भागों में विभाजित कर दिया जाता है। वृत्ताकार कुण्डली को एक ऊर्ध्वाधर अक्ष के चारों ओर घुमाया जा सकता है। कुण्डली के केन्द्र पर एक कम्पास बॉक्स लगा रहता है। कम्पास बॉक्स (अचुम्बकीय पदार्थ) बॉक्स के केन्द्र पर एक ऊर्ध्वाधर कीलक पर स्वतंत्रता पूर्वक क्षैतिज तल में घूम सकने वाली एक छोटी चुम्बकीय सुई लगी रहती है। जब स्पर्शज्या धारामापी की कुण्डली को चुम्बकीय याम्योत्तर में समंजित करके इसमें धारा प्रवाहित करते हैं तो चुम्बकीय सुई विक्षेपित होकर एक साम्य स्थिति में आ जाती है। इस स्थिति में चुम्बकीय सुई पर दो परस्पर लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्र कार्य करते हैं। एक पृथ्वी का क्षैतिज घटक (B_H) एवं दूसरा कुण्डली में प्रवाहित धारा के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र (B)

साम्यावस्था में $\boldsymbol{B = B_H \tan\theta}$ यहाँ $B = \dfrac{\mu_0 ni}{2r}$; n = लपेटों की संख्या, r = कुण्डली की त्रिज्या, i = मापी जाने वाली धारा, θ = साम्यावस्था में चुम्बकीय सुई एवं B_H की दिशा के बीच कोण

अतः $\dfrac{\mu_0 Ni}{2r} = B_H \tan\theta \Rightarrow i = k \tan\theta$ यहाँ $k = \dfrac{2rB_H}{\mu_0 N}$ (धारामापी का परिवर्तन गुणांक)

- ❑ चल कुण्डल धारामापी का सिद्धांत $i \propto \tan\theta$ पर आधारित है। अतः इसकी स्केल (पैमाना) समरूप नहीं है।
- ❑ $\theta = 45^o$ पर कुण्डली से प्रवाहित धारा इसके परिवर्तन गुणांक के तुल्य होती है।
- ❑ $\theta = 45^o$ पर इस उपकरण की सुग्राहिता अधिकतम होती है।

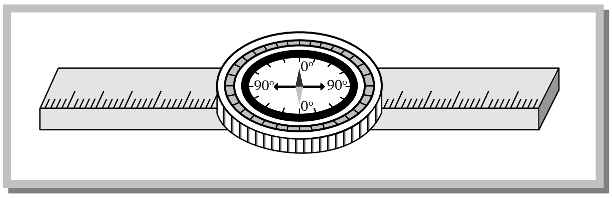
Topperseducations.co.in

चुम्बकीय उपकरण

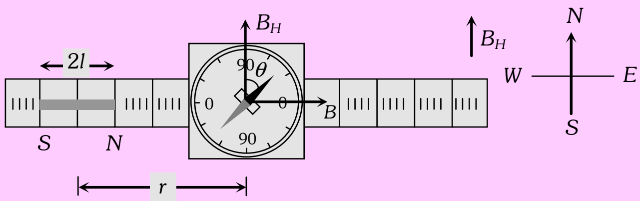
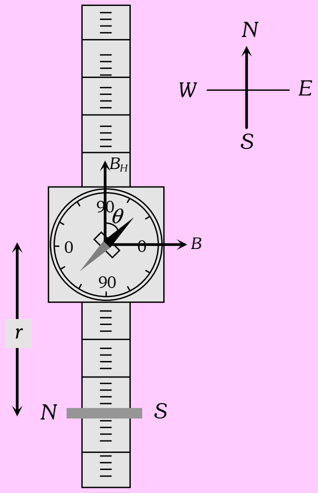
इन उपकरणों की सहायता से दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण, पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक की गणना दो दण्ड चुम्बकों के चुम्बकीय आघूर्णों की तुलना कर सकते हैं।

(1) विक्षेप चुम्बकत्वमापी

इसकी कार्य प्रणाली स्पर्शज्या नियम पर आधारित होती है। इसमें एक कम्पास बॉक्स होता है जिसके केन्द्र पर एक छोटी चुम्बकीय सुई लगी रहती है। यह कम्पास बॉक्स एक लकड़ी के फ्रेम में लगा रहता है। इस लकड़ी के फ्रेम पर दो मीटर लम्बी एक स्केल इसकी भुजाओं के रूप में जुड़ी होती है। इस स्केल की सहायता से भुजा पर रखी किसी चुम्बक की स्थिति ज्ञात कर लेते हैं।



विक्षेप चुम्बकत्वमापी की स्थितियाँ

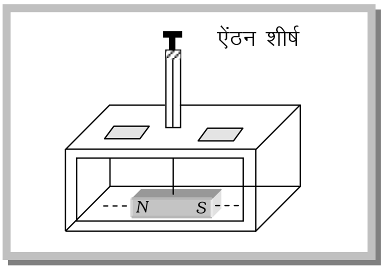
tan A स्थिति	tan B स्थिति
इस स्थिति में चुम्बकत्वमापी भुजाओं को पूर्व–पश्चिम दिशा में इस प्रकार रखते हैं कि चुम्बकीय सुई पर केवल क्षैतिज घटक (B_H) कार्य करता है।  यदि एक दण्ड चुम्बक को किसी एक भुजा पर इसकी लम्बाई के अनुदिश रखे तो चुम्बकीय सुई पर दो परस्पर लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्र (i) B_H एवं (ii) प्रायोगिक दण्ड चुम्बक का अक्षीय चुम्बकीय क्षेत्र कार्य करने लगते हैं। साम्यावस्था में, $B = B_H \tan\theta \Rightarrow \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3} = B_H \tan\theta$ (M= प्रायोगिक दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आधूर्ण)	इस स्थिति में भुजाओं को उत्तर-दक्षिण दिशा में इस प्रकार रखते हैं कि चुम्बकीय सुई पर केवल पृथ्वी का क्षैतिज घटक B_H कार्य करता है।  यदि एक दण्ड चुम्बक को किसी भुजा पर इसकी लम्बाई के लम्बवत् रखे तो चुम्बकीय सुई पर दो परस्पर लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्र (i) B_H एवं (ii) प्रायोगिक दण्ड चुम्बक का निरक्षीय चुम्बकीय क्षेत्र कार्य करने लगते हैं। साम्यावस्था में $B = B_H$ एवं $\Rightarrow \frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{M}{r^3} = B_H \tan\theta$

❑ विक्षेप चुम्बकत्वमापी की सहायता से दो दण्ड चुम्बकों के चुम्बकीय आघूर्णों की तुलना : विक्षेप विधि : $\frac{M_1}{M_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$,

अविक्षेप विधि : $\frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$ यहाँ d_1 एवं d_2 क्रमशः दो दण्ड चुम्बकों की अलग–अलग भुजाओं पर स्थिति (एक साथ)

(2) दोलन चुम्बकत्वमापी

किसी चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करने, दो चुम्बकों के चुम्बकीय आघूर्णों की तुलना एवं दो चुम्बकीय क्षेत्रों की तुलना करने के लिए उपयोग में लाया जाने वाला सरल उपकरण है। ''जब किसी चुम्बक को एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र (जैसे पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र B_H) में स्वतंत्रता पूर्वक लटकाकर इसे थोड़ा सा विस्थापित करते हैं, तो यह अपनी माध्य स्थिति के दोनों ओर सरल आवर्ती दोलन करने लगता है। इस प्रायोगिक दण्ड चुम्बक के दोलनों का आवर्तकाल $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}}$, यहाँ I = दण्ड चुम्बक का घूर्णन अक्ष के परितः जड़त्व आघूर्ण $= \frac{wL^2}{12}$ (w = दण्ड चुम्बक का द्रव्यमान), M = चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण



(3) दोलन चुम्बकत्वमापी के उपयोग

(i) किसी चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करना :

प्रायोगिक चुम्बक (दी गई) को दोलन चुम्बकत्वमापी में रखकर इसके दोलनों का आवर्तकाल T ज्ञात कर लेते हैं। अब $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}} \Rightarrow M = \frac{4\pi^2 I}{B_H . T^2}$

(ii) पृथ्वी के दो स्थानों पर चुम्बकीय क्षेत्रों की तुलना :

$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}}$; चूँकि किसी एक चुम्बक के लिए I एवं M नियत है, अतः $T^2 \propto \frac{1}{B_H} \Rightarrow \frac{(B_H)_1}{(B_H)_2} = \frac{T_2^2}{T_1^2}$

(iii) एकसमान आकार एवं द्रव्यमान वाली दो चुम्बकों के आघूर्णों की तुलना :

$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{M.B_H}}$; यहाँ I एवं B_H नियत है। अतः $M \propto \frac{1}{T^2} \Rightarrow \frac{M_1}{M_2} = \frac{T_2^2}{T_1^2}$

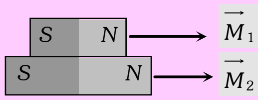
(iv) असमान आकार एवं द्रव्यमान वाले दो चुम्बकों के चुम्बकीय आघूर्णों की तुलना (योगान्तर विधि) :

इस विधि में दोनों चुम्बकों को एक साथ दो स्थितियों में दोलन करवाते हैं।

योग की स्थिति : दोनों चुम्बकों को एक के ऊपर एक इस प्रकार रखतें हैं कि उनके चुम्बकीय आघूर्ण जुड़ जाते हैं।

परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण $M_s = M_1 + M_2$

परिणामी जड़त्व आघूर्ण $I_s = I_1 + I_2$



पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र (B_H) में इस संयोजन का आवर्तकाल

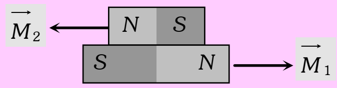
$$T_s = 2\pi\sqrt{\frac{I_s}{M_s B_H}} = 2\pi\sqrt{\frac{I_1 + I_2}{(M_1 + M_2)B_H}} \quad .....(i)$$

आवृति $\nu_s = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{M_s (B_H)}{I_s}}$

अन्तर की स्थिति : चुम्बकीय आघूर्ण घटते हैं।

परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण $M_d = M_1 - M_2$

परिणामी जड़त्व आघूर्ण $I_d = I_1 + I_2$



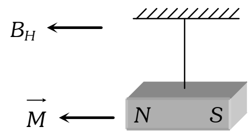
एवं आवर्तकाल $T_d = 2\pi\sqrt{\dfrac{I_d}{M_d B_H}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{I_1 + I_2}{(M_1 - M_2)B_H}}$ ....(ii)

एवं आवृति $\nu_d = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{(M_1 - M_2)B_H}{(I_1 + I_2)}}$

समीकरण (i) व (ii) से $\dfrac{T_s}{T_d} = \sqrt{\dfrac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2}} \Rightarrow \dfrac{M_1}{M_2} = \dfrac{T_d^2 + T_s^2}{T_d^2 - T_s^2} = \dfrac{\nu_s^2 + \nu_d^2}{\nu_s^2 - \nu_d^2}$

(v) दो चुम्बकीय क्षेत्रों का अनुपात ज्ञात करना : माना कि $\dfrac{B}{B_H}$ ज्ञात करना है, यहाँ B दण्ड चुम्बक द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र एवं B_H पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक है।

$\dfrac{B}{B_H}$ के निर्धारण के लिए, दी गयी चुम्बक (मुख्य चुम्बक) को चुम्बकीय क्षेत्र (B_H) में दोलन कराते हैं एवं इसका आवर्तकाल (T) नोट कर लेते हैं।



$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{I}{M B_H}}$

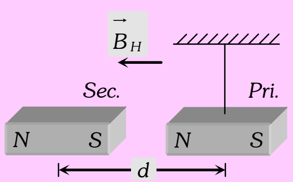
एवं आवृति $\nu = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{M B_H}{I}}$

अब किसी अन्य चुम्बक को मुख्य चुम्बक के पास रखते हैं, परिणामस्वरूप मुख्य चुम्बक B एवं B_H के परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र में दोलन करने लगती है। अब हम इसका आवर्तकाल (T) नोट कर लेते हैं।

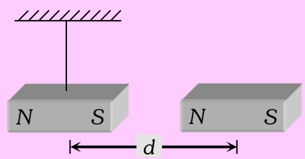
दूसरी अन्य चुम्बक को मुख्यतः दो स्थितयों में रखते हैं

स्थिति 1

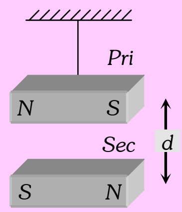
चित्रानुसार इस स्थिति में परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र बढ़ता है एवं मुख्य चुम्बक का आवर्तकाल घटता है।



या



या

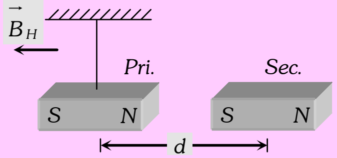


आवर्तकाल $T' = 2\pi\sqrt{\dfrac{I}{M(B + B_H)}}$ एवं आवृति $\nu' = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{M(M + B_H)}{I}}$

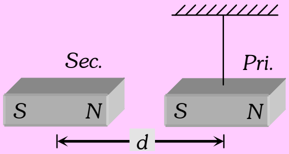
एवं $\left(\dfrac{\nu'}{\nu}\right)^2 = \sqrt{\dfrac{B + B_H}{B_H}} \Rightarrow \left(\dfrac{\nu'}{\nu}\right)^2 = \dfrac{B}{B_1} + 1 \Rightarrow \boxed{\dfrac{B}{B_H} = \left(\dfrac{\nu'}{\nu}\right)^2 - 1}$

स्थिति 2

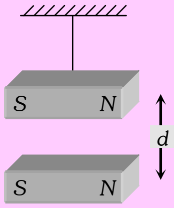
परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र घटता है एवं मुख्य चुम्बक का आवर्तकाल बढ़ता है



या



या



$T' = 2\pi\sqrt{\dfrac{I}{M(B_H - B)}}$ $(B_H > B)$ एवं $\nu' = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{M(B_H - B)}{I}}$

एवं $\left(\dfrac{\nu'}{\nu}\right)^2 = \sqrt{\dfrac{B_H - B}{B_H}} \Rightarrow \left(\dfrac{\nu'}{\nu}\right)^2 = 1 - \left(\dfrac{B}{B_1}\right) \Rightarrow \boxed{\dfrac{B}{B_H} = 1 - \left(\dfrac{\nu'}{\nu}\right)^2}$

Concepts

☞ *ध्यान रखें कि दोलन चुम्बकत्वमापी की योगान्तर विधि में अन्तर की स्थिति में दोलनकाल योग की स्थिति में दोलनकाल से अधिक होता है।* $(T_d > T_s)$

☞ *यदि एक आयताकार दण्ड चुम्बक को n एकसमान भागों में विभाजित कर दिया जाये तो प्रत्येक भाग का आवर्तकाल मूल चुम्बक के आवर्तकाल का* $\dfrac{1}{\sqrt{n}}$ *गुना होगा (अर्थात* $T' = \dfrac{T}{\sqrt{n}}$*) जबकि एक लघु चुम्बक के लिए* $T' = \dfrac{T}{n}$ *। यदि कुछ नहीं कहा गया हो तो चुम्बक को छोटा चुम्बक मानें।*

☞ *एक चुम्बकीय सुई पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में दोलन कर रही है। अब यदि ताप बढ़ता है तो M घटेगा अतः इसका आवर्तकाल (T) बढ़ता है परन्तु ताप 770°C (क्यूरी ताप) पर यह दोलन करना बन्द कर देगा।*

Example: 25 एक दोलन चुम्बकत्वमापी में दो चुम्बक एक साथ रखे जाते हैं, और पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में दोलन करते हैं। एक जैसे ध्रुवों के साथ होने पर प्रति मिनट 12 दोलन होते हैं, पर विपरीत ध्रुवों की एक साथ की स्थिति में केवल 4 दोलन हो पाते हैं। चुम्बकीय आघूर्णों का अनुपात होगा [MP PMT 1996, CPMT 2002]

(a) 3 : 1 (b) 1 : 3 (c) 3 : 5 (d) 5 : 4

Solution : (d) $\dfrac{M_1}{M_2} = \dfrac{T_d^2 + T_s^2}{T_d^2 - T_s^2}$; यहाँ $T_s = \dfrac{60}{12} = 5sec$ एवं $T_d = \dfrac{60}{4} = 15sec$ $\therefore \dfrac{M_1}{M_2} = \dfrac{(15)^2 + (5)^2}{(15)^2 - (5)^2} = \dfrac{5}{4}$

Example: 26 स्पर्शज्या धारामापी की चुम्बकीय सुई किसी चुम्बक के कारण 30° से विक्षेपित होती है। पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक कुण्डली के तल के अनुदिश $0.34 \times 10^{-4}\ T$ है। तो चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र है

[KCET 1999; AFMC 1999, 2000; BHU 2000; AIIMS 2000, 02]

(a) $1.96 \times 10^{-4} T$ (b) $1.96 \times 10^{-5} T$ (c) $1.96 \times 10^{4} T$ (d) $1.96 \times 10^{5} T$

Solution : (b) $B = B_H \tan\theta \Rightarrow B = 0.34 \times 10^{-4} \tan 30^o = 1.96 \times 10^{-5} T$

Example: 27 एक चुम्बक को दोलन चुम्बकत्वमापी में स्वतंत्र रूप से लटकाने पर किसी स्थान A पर प्रति मिनट 10 दोलन करती है तथा अन्य स्थान B पर यह 20 दोलन प्रति मिनट करती है। यदि पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक स्थान A पर $36 \times 10^{-6} T$, हो तो इसका मान B पर होगा [EAMCET 2001]

(a) $36 \times 10^{-6} T$ (b) $72 \times 10^{-6} T$ (c) $144 \times 10^{-6} T$ (d) $288 \times 10^{-6} T$

Solution : (c) $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}} \Rightarrow T \propto \frac{1}{\sqrt{B_H}} \Rightarrow \frac{T_A}{T_B} = \sqrt{\frac{(B_H)_B}{(B_H)_A}} \Rightarrow \frac{60/10}{60/20} = \sqrt{\frac{(B_H)_B}{36\times10^{-6}}} \Rightarrow (B_H)_B = 144\times10^{-6}T$

Example: 28 किसी दोलन चुम्बकत्वमापी के चुम्बक को इतना गर्म किया जाता है कि इसका चुम्बकीय आघूर्ण 19% कम हो जाता है। तो ऐसा करने से चुम्बकत्वमापी का दोलनकाल [MP PMT 2000, 01]

(a) 19% बढ़ जायेगा (b) 11% बढ़ जायेगा (c) 19% घट जायेगा (d) 21% घट जायेगा

Solution : (b) $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}} \Rightarrow T \propto \frac{1}{\sqrt{M}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$

यदि $M_1 = 100$ तब $M_2 = (100-19) = 81 \therefore \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{81}{100}} = \frac{9}{10} \Rightarrow T_2 = \frac{10}{9}T_1 = 11\% T_1$

Example: 29 किसी स्थान पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता $0.1\times10^{-5}\,T$ है। इस चुम्बकीय क्षेत्र में एक छड़ चुम्बक 40 दोलन प्रति मिनट करती है। एक अन्य स्थान पर यह एक दोलन करने में 2.5 सैकण्ड लेती है। तो इस स्थान पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक होगा [CPMT 2000; AIIMS 2000]

(a) $0.25\times10^{-6}T$ (b) $0.36\times10^{-6}T$ (c) $0.66\times10^{-8}T$ (d) $1.2\times10^{-6}T$

Solution : (b) $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{(B_H)_2}{(B_H)_1}} \Rightarrow \frac{60/40}{2.5} = \sqrt{\frac{(B_H)_2}{0.1\times10^{-5}}} \Rightarrow (B_H)_2 = 0.36\times10^{-6}T$.

Example: 30 जब 2 ऐम्पियर की धारा स्पर्शज्या धारामापी से प्रवाहित होती है, तो यह 30° का विक्षेप देता है। 60° के विक्षेप के लिये धारा होनी चाहिये [MP PMT 2001]

(a) 1 *amp* (b) $2\sqrt{3}$ *amp* (c) 4 *amp* (d) 6 *amp*

Solution : (d) $i \propto \tan\theta \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} \Rightarrow \frac{2}{i_2} = \frac{\tan 30^o}{\tan 60^o} = \frac{1}{3} \Rightarrow i_2 = 6\ amp$

Example: 31 एक दोलन चुम्बकत्वमापी में दोलायमान दण्ड चुम्बक का आवर्तकाल कम किया जा सकता है [CBSE PMT 1999]

(a) इसे दक्षिणी ध्रुव पर ले जाने पर
(b) इसे उत्तरी ध्रुव पर ले जाने पर
(c) इसे चुम्बकीय निरक्ष के ओर ले जाने पर
(d) उपरोक्त में से कोई भी एक

Solution : (c) जैसे - जैसे हम चुम्बकीय निरक्ष की ओर जाते हैं B_H बढ़ता है एवं चुम्बकीय निरक्ष पर अधिकतम हो जाता है। अतः

$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}}$, से हम कह सकते हैं कि $B_H\uparrow$ के बढ़ने पर (अर्थात् चुम्बकीय निरक्ष की ओर जाने पर) T घटता है।

Example: 32 एक स्वतंत्रतापूर्वक लटकी हुई चुम्बक का आवर्तकाल 2 सैकण्ड है। यदि इसे लम्बाई में दो बराबर भागों में तोड़ दिया जाये और एक भाग उसी प्रकार लटका दिया जाये तो उसका आवर्तकाल होगा [MP PMT 1999]

(a) 4 *sec* (b) 2 *sec* (c) $\sqrt{2}$ *sec* (d) 1 *sec*

Solution : (d) $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}}$; चुम्बक को n समान भागों में तोड़ने पर प्रत्येक भाग का चुम्बकीय आघूर्ण अपने मूल चुम्बक का $\frac{1}{n}$ एवं जड़त्व आघूर्ण $\frac{1}{n^3}$ गुना हो जाएगा। अतः आवर्तकाल $\frac{1}{n}$ गुना हो जायेगा $T' = \frac{T}{N}$, इस प्रश्न में $n = 2$

$\therefore T' = \frac{T}{2} = \frac{2}{2} = 1 sec$

Example: 33 एक चुम्बक को इस प्रकार लटकाया जाता है कि वह क्षैतिज तल में दोलन कर सके। उस स्थान पर जहाँ नति कोण 30° है, यह 20 दोलन प्रति मिनट करता है, और जहाँ नति कोण 60° है, वहाँ यह 15 दोलन प्रति मिनट करता है। दोनों स्थानों पर पृथ्वी के सम्पूर्ण चुम्बकीय क्षेत्र का अनुपात होगा [MP PMT 1991; BHU 1997]

(a) $3\sqrt{3}:8$ (b) $16:9\sqrt{3}$ (c) $4:9$ (d) $2\sqrt{3}:9$

Solution : (b) $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB\cos\phi}}$

$$\Rightarrow T \propto \frac{1}{\sqrt{B\cos\phi}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{B_2}{B_1}\times\frac{\cos\phi_2}{\cos\phi_1}} \Rightarrow \frac{60/20}{60/15} = \sqrt{\frac{B_2}{B_1}\times\frac{\cos 60}{\cos 30}} \Rightarrow \frac{B_1}{B_2} = \frac{16}{9\sqrt{3}}.$$

Example: 34 यदि विक्षेप चुम्बकत्वमापी की $\tan A$ एवं $\tan B$ स्थिति में किसी एक दण्ड चुम्बक को इसकी दोनों भुजाओं पर समान दूरी पर रखने पर कम्पास सुई के विक्षेप क्रमशः θ_1 एवं θ_2 हो तब $\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$ का मान होगा लगभग [MP PMT 1992]

(a) 1 (b) 2 (c) $\frac{1}{2}$ (d) $\sqrt{2}$

Solution : (b) $\tan A$ स्थिति में $\frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{2M}{d^3} = B_H\tan\theta_1$ ......(i)

$\tan B$ स्थिति में $\frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{M}{d^3} = B_H\tan\theta_2$ .....(ii)

समीकरण (i) व (ii) से $\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{2}{1}$

Example: 35 किसी दोलन चुम्बकत्वमापी में एक दण्ड चुम्बक का आवर्तकाल 2 *sec* है। जब इस चुम्बक के नजदीक एक अन्य चुम्बक को समान्तर लाते हैं, आवर्तकाल घटकर 1 *sec* रह जाता है। पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक एवं अन्य चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र का अनुपात H/F होगा [MP PMT 1990]

(a) 3 (b) $\frac{1}{3}$ (c) $\sqrt{3}$ (d) $\frac{1}{\sqrt{3}}$

Solution : (b) आवर्तकाल घटता है। अर्थात् अन्य चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र (F) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक की दिशा में ही होगा,

अतः $\frac{B}{B_H} = \left(\frac{T}{T'}\right) - 1 \Rightarrow \frac{F}{H} = \left(\frac{2}{1}\right)^2 - 1 = 3 \Rightarrow \frac{H}{F} = \frac{1}{3}$

Example: 36 किसी धारामापी एक निश्चित धारा प्रवाहित करने पर 45° का विक्षेप उत्पन्न होता है। यदि धारा का मान $\sqrt{3}$ के गुणक से कम कर दिया जाये तब विक्षेप

(a) 30° से घट जायेगा (b) 15° से घट जायेगा (c) 15° से बढ़ जायेगा (d) 30° से बढ़ जायेगा

Solution : (b) $i \propto \tan\theta \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} \Rightarrow \frac{i_1}{i_1/\sqrt{3}} = \frac{\tan 45^o}{\tan\theta_2} \Rightarrow \sqrt{3}\tan\theta_2 = 1 \Rightarrow \tan\theta_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow \theta_2 = 30^o$

$\therefore$ विक्षेप में कमी $= 45^o - 30^o = 15^o$

Example: 37 एक स्थान पर नति कोण 60° है। इस स्थान पर एक चुम्बकीय सुई क्षैतिज तल में T आवर्तकाल के दोलन करती है। यही चुम्बकीय सुई चुम्बकीय याम्योत्तर के संगत ऊर्ध्वाधर तल में किस आवर्तकाल से दोलन करेगी।

(a) T (b) $2T$ (c) $\frac{T}{2}$ (d) $\frac{T}{\sqrt{2}}$

Solution : (d) जब चुम्बकीय सुई क्षैतिज दोलन करती है,

तब इसका आवर्तकाल $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}}$ ......(i)

जब चुम्बकीय सुई ऊर्ध्वाधर तल में दोलन करती है। तब पृथ्वी का सम्पूर्ण चुम्बकीय क्षेत्र (B) के अन्तर्गत दोलन करती है,

अतः $T' = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB}}$ ......(ii)

समीकरण (ii) व (i) से $\frac{T'}{T} = \sqrt{\frac{B_H}{B}} = \sqrt{\frac{B\cos\phi}{B}} = \sqrt{\cos 60} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow T' = \frac{T}{\sqrt{2}}$

Example: 38 एक नति सुई चुम्बकीय याम्योत्तर के लम्बवत् ऊर्ध्वाधर तल में दोलन करती है। इसके दोलनों का आवर्तकाल 2 सेकण्ड है। जब इसी सुई को क्षैतिज तल में दोलन कराते है, तो पुनः इसका आवर्तकाल 2 सेकण्ड प्राप्त होता है। तब नति कोण है

(a) 0° (b) 30° (c) 45° (d) 90°

Solution : (c) चुम्बकीय याम्योत्तर के लम्बवत् ऊर्ध्वाधर तल में नति सुई का आवर्तकाल

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_V}} \quad ......(i)$$

क्षैतिज तल में आर्वतकाल $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}}$ .....(ii)

समीकरण (i) व (ii) से $B_V = B_H$

अतः $\tan\phi = \frac{B_V}{B_H} \Rightarrow \tan\phi = 1 \Rightarrow \phi = 45^o$

Tricky Example: 3

एक चुम्बक पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में क्षैतिजतः लटकाया गया है। जब इसे थोड़ा सा विक्षेपित करके स्वतंत्र करते हैं तो यह क्षैतिज तल में T आवर्तकाल से दोलन करने लगती है। यदि एक लकड़ी के गुटके को चुम्बक पर रख दिया जाये तो इस निकाय के दोलनों का आवर्तकाल होगा। (दिया है चुम्बक का जड़त्व आघूर्ण = गुटके का जड़त्व आघूर्ण)

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

Solution : (d) लकड़ी का गुटका रखने पर निकाय का जड़त्व आघूर्ण दोगुना हो जायेगा परन्तु निकाय का चुम्बकीय आघूर्ण नियत रहेगा।

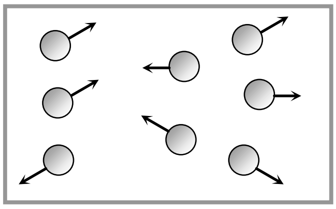
अतः $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}} \Rightarrow T \propto \sqrt{I} \Rightarrow T' = \sqrt{2}\,T$

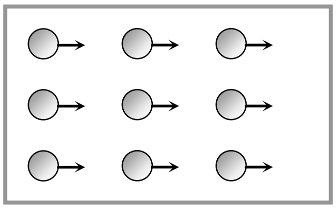
चुम्बकीय पदार्थ

(1) चुम्बकीय पदार्थों के प्रकार : विभिन्न पदार्थों की परस्पर अर्न्तक्रिया या बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में इनके व्यवहार के आधार पर इन्हें तीन मुख्य वर्गों में बाँटा गया है।

(i) प्रतिचुम्बकीय पदार्थ : प्रतिचुम्बकत्व प्रत्येक पदार्थ का आन्तरिक गुण है एवं यह आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र एवं इलेक्ट्रॉनों की चक्रण गति की परस्पर अर्न्तक्रिया द्वारा उत्पन्न होता है। इन पदार्थों के परमाणुओं में सामान्यतः इलेक्ट्रॉन सम संख्या में होते हैं तथा युग्मित होते हैं। इन इलेक्ट्रॉन युग्मों में प्रत्येक इलेक्ट्रॉन का चक्रण दूसरे इलेक्ट्रॉन के चक्रण के विपरीत होता है। अतः प्रत्येक परमाणु का कुल चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है। बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में परमाणु का कुल चुम्बकीय आघूर्ण शून्य नहीं रहता है बल्कि पदार्थ क्षेत्र की विपरीत दिशा में अति अल्प चुम्बकत्व ग्रहण कर लेता है।

(ii) अनुचुम्बकीय पदार्थ : इन पदार्थों के परमाणुओं में आन्तरिक कक्षाएँ अपूर्ण होती है। इलेक्ट्रॉनों के चक्रण युग्मित नहीं होते हैं। एक बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र आरोपित करने पर इलेक्ट्रॉनों के चक्रण चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा मे संरेखित हो जाते हैं। परिणामस्वरूप बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में अल्प चुम्बकीय आघूर्ण प्रेरित हो जाता है और पदार्थ अल्प चुम्बकित हो जाता है। इन पदार्थों के परमाणुओं में इलेक्ट्रॉन विषम संख्या में होते हैं।

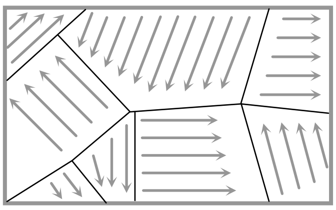

(a)
बाह्य क्षेत्र की अनुपस्थिति में

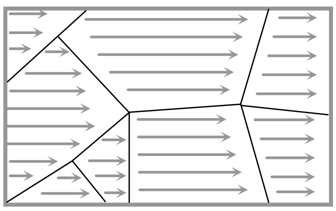

(b)
बाह्य क्षेत्र की उपस्थिति में

(iii) लौह चुम्बकीय पदार्थ : इन पदार्थों में उपस्थित स्थायी परमाण्विक चुम्बकों (चुम्बकीय आघूर्ण) में बिना किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के एक ही दिशा में व्यवस्थित होने की अत्यधिक प्रवृत्ति होती है।

प्रत्येक अचुम्बकित लौह चुम्बकीय पदार्थ में उपस्थित परमाणु कुछ जटिल अन्योन्य क्रियाओं द्वारा परमाणु चुम्बकों के संरेखीय समूह बना लेते हैं जिन्हें डोमेन कहते हैं। प्रत्येक डोमेन में उपस्थित परमाणुओं के चुम्बकीय आघूर्ण एक ही दिशा में होते हैं, परिणामस्वरूप डोमेन का चुम्बकीय आघूर्ण अत्यधिक होता है।

प्रत्येक डोमेन के चुम्बकीय आघूर्ण की दिशा अन्य नजदीक वाले डोमेन से भिन्न होती है। प्रत्येक डोमेन बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में एक प्रबल चुम्बक की भाँति कार्य करता है परन्तु पदार्थ में उपस्थित सभी डोमेन अनियमित ढंग से इस प्रकार बिखरे होते हैं कि इनका परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है। बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में डोमेन घूम कर बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में व्यवस्थित हो जाते हैं। परिणामस्वरूप अत्यधिक चुम्बकत्व प्राप्त कर लेते हैं।


अचुम्बकित


चुम्बकित

(2) **क्यूरी का नियम** : इस नियमानुसार अनुचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृत्ति परमताप के व्युत्क्रमानुपाती होती है अर्थात्

$$\chi \propto \frac{1}{T} \Rightarrow \chi = \frac{C}{T}$$

यहाँ C = क्यूरी नियतांक, T = परमताप ; स्पष्ट है कि ताप बढ़ाने पर अनुचुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति घटती है।

लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति क्यूरी नियम के अनुसार परिवर्तित नहीं होती है।

(i) क्यूरी ताप (T_c) : वह ताप जिसके ऊपर लौह चुम्बकीय पदार्थ अनुचुम्बकीय पदार्थ की भाँति व्यवहार करते हैं, क्यूरी ताप कहलाता है।

या

वह न्यूनतम ताप जिस पर लौह चुम्बकीय पदार्थ अनुचुम्बकीय पदार्थ में परिवर्तित हो जाता है, क्यूरी ताप कहलाता है।

इसका मान भिन्न–भिन्न पदार्थों के लिए भिन्न–भिन्न होता है। जैसे Ni के लिए, $T_{C_{Ni}} = 358^o C$

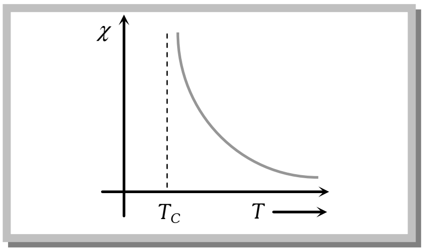
Fe के लिए $T_{C_{Fe}} = 770^o C$

CO के लिए $T_{C_{CO}} = 1120^o C$

क्यूरी ताप पर पदार्थ का लौह चुम्बकत्व अचानक समाप्त हो जाता है।

(ii) क्यूरी-वॉइस नियम : क्यूरी ताप से ऊपर लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकीय प्रवृत्ति ($T - T_c$) के अनुक्रमानुपाती होती है अर्थात्

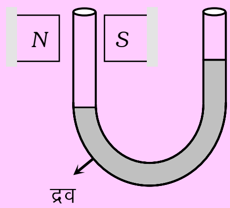
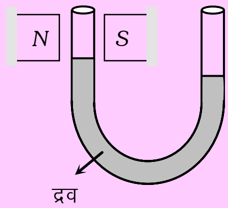
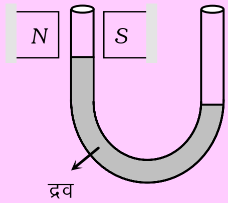
$$\chi \propto \frac{1}{T - T_c} \Rightarrow \chi = \frac{C}{(T - T_c)}$$ यहाँ T_c = क्यूरी ताप

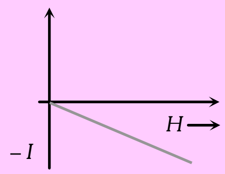
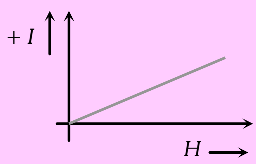
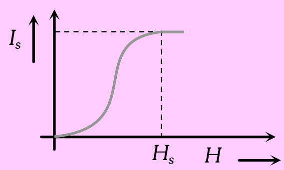


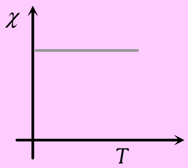
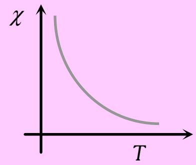
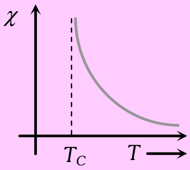
क्यूरी-वॉइस नियम के अनुसार χ-T वक्र को चित्र में दर्शाया गया है।

(3) **चुम्बकीय पदार्थों का तुलनात्मक अध्ययन**

गुण	प्रतिचुम्बकीय पदार्थ	अनुचुम्बकीय पदार्थ	लौह चुम्बकीय पदार्थ
चुम्बकत्व का कारण	इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय गति	इलेक्ट्रॉनों की चक्रण गति	डोमेनों का निर्माण
चुम्बकत्व की व्याख्या	इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय गति के आधार पर	इलेक्ट्रॉनों की कक्षीय गति तथा चक्रण गति के आधार पर	डोमेन निर्माण के आधार पर
असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर व्यवहार	(a) अधिक तीव्रता वाले स्थान से कम तीव्रता वाले स्थान की तरफ विस्थापित होते हैं अर्थात् प्रतिकर्षित होते हैं।	(a) कम तीव्रता वाले स्थान से अधिक तीव्रता वाले स्थान की तरफ विस्थापित हो जाते हैं। अर्थात् आकर्षित होते हैं	(a) कम तीव्रता वाले स्थान से अधिक तीव्रता वाले स्थान की तरफ प्रबल रूप से विस्थापित होते हैं। अर्थात् प्रबल रूप से आकर्षित होते हैं।
चुम्बकीय क्षेत्र में व्यवहार	चुम्बकीय क्षेत्र की विपरीत दिशा में मन्द चुम्बकित हो जाते हैं	चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में मन्द चुम्बकित हो जाते हैं	चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं

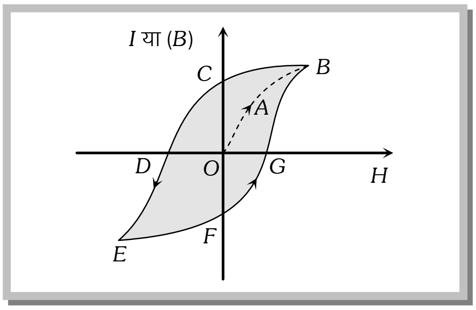
द्रव के रूप में चुम्बकीय पदार्थ को U-नली में भरकर ध्रुवों के मध्य रखने पर गैसीय पदार्थों के ध्रुवों के मध्य रखने पर	उस भुजा में द्रव तल नीचे गिर जाता है  गैस चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् दिशा प्रसारित होती है	उस भुजा में द्रव का तल ऊपर उठ जाता है  गैस चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में प्रसारित होती है	उस भुजा में द्रव का तल प्रबल रूप से ऊपर उठ जाता है।  गैस चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में शीघ्रता से प्रसारित होती है
चुम्बकीय प्रेरण B का मान	$B < B_0$	$B > B_0$ यहाँ पर $B_0 =$ निर्वात में चुम्बकीय प्रेरण	$B >> B_0$

चुम्बकीय प्रवृत्ति का मान χ	ऋणात्मक परन्तु बहुत कम $\|\chi\| \approx 1$	धनात्मक परन्तु बहुत कम $\chi \approx 1$	धनात्मक व बहुत अधिक $\chi \approx 10^2$
χ की परमताप पर निर्भरता	ताप पर निर्भर नहीं करती। (अल्प ताप पर केवल बिस्मथ को छोड़कर)	ताप के व्युत्क्रमानुपाती $\chi \propto \frac{1}{T}$ या $\chi = \frac{C}{T}$ क्यूरी नियम जहाँ पर $C =$ क्यूरी नियतांक है।	$\chi \propto \frac{1}{T - T_c}$ या $\chi = \frac{C}{T - T_c}$ क्यूरी वॉइस नियम जहाँ पर T_c = क्यूरी ताप है
χ की H पर निर्भरता	निर्भर नहीं करती है	निर्भर नहीं करती है	निर्भर करती है
आपेक्षिक पारगम्यता (μ_r)	$\mu_r < 1$	$\mu_r > 1$	$\mu_r >> 1$ $\mu_r = 10^2$
चुम्बकन तीव्रता (I)	I, H के विपरीत दिशा में होती है परन्तु मान बहुत कम होता है।	I, H की दिशा में होती है परन्तु मान बहुत कम होता है।	I, H की दिशा में होती है तथा मान अत्यधिक होता है।
I-H वक्र	 	 	
चुम्बकीय आघूर्ण (M)	M का मान बहुत कम (या शून्य) तथा H के विपरीत दिशा में होता है।	M का मान बहुत कम तथा H की दिशा में होता है।	M का मान बहुत अधिक तथा H की दिशा में होता है।

पदार्थों का परस्पर परिवर्तन (क्यूरी ताप पर इनकी स्थिति)	परिवर्तित नहीं होते हैं 	ताप कम करने या ठंडा करने पर ये क्यूरी ताप पर लौह चुम्बकीय पदार्थों में परिवर्तित हो जाते हैं 	ताप बढ़ाने पर या गर्म करने पर क्यूरी ताप के ऊपर अनुचुम्बकीय पदार्थों में परिवर्तित हो जाते हैं। 
चुम्बकत्व का गुण	प्रतिचुम्बकत्व का गुण उन पदार्थों में पाया जाता है जिनके परमाणुओं में कक्षीय इलेक्ट्रॉनों की संख्या सम होती है।	अनुचुम्बकत्व का गुण उन पदार्थों में पाया जाता है जिनके अणुओं या परमाणुओं में ऐसे इलेक्ट्रॉनों की अधिकता होती है जिनकी चक्रण की दिशा समान होती है।	लौह चुम्बकत्व का गुण उन अनुचुम्बकीय पदार्थों में पाया जाता है जो बाहरी चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं।
उदाहरण	*Cu, Ag, Au, Zn, Bi, Sb*, *NaCl*, H_2O वायु तथा हीरा, आदि	*Al, Mn, Pt, Na*, $CuCl_2$, O_2 तथा क्राउन काँच	*Fe, Co, Ni, Cd*, Fe_3O_4 आदि
प्रभाव की प्रकृति	विकृति प्रभाव	झुकाव (नमन) प्रभाव	शैथिल्यता प्रभाव

(4) **चुम्बकीय शैथिल्य** : लौह चुम्बकीय पदार्थों पर आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र हटा लेने अर्थात् $H = 0$ पर कुछ डोमेनों का चुम्बकीय आघूर्ण इन पर आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में ही बना रहता है परिणामस्वरूप इनमें अवशेष चुम्बकत्व बना रहता है।

पदार्थों को प्रत्यावर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर उसमें उत्पन्न चुम्बकीय प्रेरण B हमेशा H के पीछे रहता है। इस गुण को चुम्बकीय शैथिल्य कहते हैं। अर्थात् अपने पूर्व पथ का अनुसरण न करने के गुण को (चित्रानुसार) चुम्बकीय शैथिल्य कहते हैं। एवं दर्शाये गये वक्र को शैथिल्य लूप कहते हैं।



(i) जब चुम्बकन क्षेत्र (H) को शून्य से बढ़ाते हैं, तब चुम्बकन तीव्रता I बढ़ती है एवं एक उच्च मान को प्राप्त करती है। इस अधिकतम मान को संतृप्त मान कहते हैं।

(ii) अब H के मान को घटाते हैं तो I का मान भी घटता है, परन्तु $H = 0$ के लिए $I \neq 0$ । जब $H = 0$ पर शेष चुम्बकत्व के मान OC को अवशेष चुम्बकत्व या धारणशीलता कहते हैं।

पदार्थ का वह गुण जिसके कारण वह चुम्बकीय क्षेत्र को हटा लेने पर भी चुम्बकत्व (I) बनाये रखता है। धारणशीलता या अवशिष्ट चुम्बकत्व कहलाता है।

(iii) अब यदि H के मान को कम करते हैं तो चुम्बकत्व I भी घटने लगता है, एवं H के एक विशेष मान H_c के लिए चुम्बकत्व I शून्य हो जाता है, अर्थात् $H_c = OD$ पर $I = 0$ है। H के इस मान को निग्राहिता कहते हैं।

(iv) इसलिए H की दिशा विपरीत करके पदार्थ को पूर्णतः विचुम्बकित करने की क्रिया को निग्राहिता कहते हैं। निग्राहिता से पदार्थ की चुम्बकीय कठोरता एवं नरमता का निर्धारण होता है।

चुम्बकीय रूप से कठोर (स्टील) $\rightarrow$ उच्च निग्राहिता

चुम्बकीय के रूप से नरम (कच्चा लोहा) $\rightarrow$ अल्प निग्राहिता

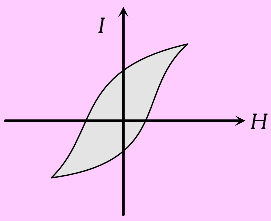
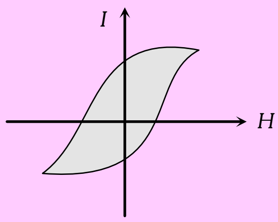
(v) जब H के मान को विपरीत दिशा की ओर बढ़ाते हैं तो पदार्थ विपरीत दिशा चुम्बकीय रूप से संतृप्त हो जाता है अर्थात् बिन्दु E

(vi) अब यदि H के मान को पुनः शून्य करते हैं तो इसके संगत बिन्दु F प्राप्त होता है, यदि इस प्रक्रिया को हम दोहरायें तो हमें एक बन्द लूप $BCDEFGB$ प्राप्त होता है।

अर्थात् पदार्थ के चुम्बकन एवं विचुम्बकन के एक चक्र में एक शैथिल्य लूप बनता है।

- किसी क्रोड के एक बार चुम्बकन एवं विचुम्बकन में ऊर्जा हानि (शैथिल्य हानि) शैथिल्य लूप के क्षेत्रफल के अनुक्रमानुपाती होती है।

(vii) कच्चे लोहे एवं स्टील के चुम्बकीय गुणधर्मों की तुलना :

कच्चा लोहा	स्टील
	
शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल कम (अल्प ऊर्जा हानि)	शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल अधिक (ऊर्जा हानि अधिक)
निग्राहिता एवं धारणशीलता कम	निग्राहिता एवं धारणशीलता अधिक
चुम्बकीय पारगम्यता उच्च	चुम्बकीय पारगम्यता अपेक्षाकृत कम
चुम्बकीय प्रवृत्ति (χ) उच्च	चुम्बकीय प्रवृत्ति χ अल्प
चुम्बकन तीव्रता (I) उच्च	चुम्बकन तीव्रता I अल्प
यह आसानी से चुम्बकित एवं विचुम्बकित हो जाता है।	यह आसानी से चुम्बकित एवं विचुम्बकित नहीं होता है।
इसका उपयोग डायनेमो एवं ट्रान्सफार्मर की क्रोड, विद्युत चुम्बक, चुम्बकीय टेप बनाने में किया जाता है।	इसका उपयोग स्थायी चुम्बक बनाने में किया जाता है।

Concepts

- *एक लोहे की क्रोड वाली कुण्डली एवं बल्ब एक ac जनरेटर के साथ श्रेणीक्रम में जोड़े गये हैं। यदि लोहे की एक छड़ को कुण्डली के अन्दर रख दें तो बल्ब की चमक कम हो जाएगी, क्योंकि कुछ ऊर्जा छड़ को चुम्बकित करने में व्यय होती है।*
- *शैथिल्य ऊर्जा हानि = शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल = VAnt Joule*

  यहाँ, V = लौह चुम्बकीय पदार्थ का आयतन, $A = (B-H)$ लूप का क्षेत्रफल, n = प्रत्यावर्ती चुम्बकीय क्षेत्र H की आवृत्ति और t = समय

Example: 39 एक लौह चुम्बकीय पदार्थ का आयतन $10^{-3}\ m^3$ है। इसे 50 *Hz* आवृत्ति वाले एक प्रत्यावर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा गया है। इसके लिये प्राप्त शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल M.K.S. पद्धति में 0.1 इकाई है। पदार्थ में प्रति सेकण्ड होने वाली हाँनि है

(a) 5 *J* (b) 5×10^{-2} *cal* (c) 1.19×10^{-3} *cal* (d) उपरोक्त में से कोई नहीं

Solution : (c) ऊष्मा हानि = *VAnt* ; यहाँ V = आयतन = $10^{-3}\ m^3$; A = क्षेत्रफल = $0.1 m^2$, n = आवृत्ति = 50 *Hz* तथा t = 1*sec*

अतः ऊष्मा हानि = $10^{-3} \times 0.1 \times 50 \times 1 = 5 \times 10^{-3} J = 1.19 \times 10^{-3}$ *cal*

Example: 40 1600 $A\text{-}m^{-1}$ का एक चुम्बकीय क्षेत्र किसी 0.2 cm^2 अनुप्रस्थ काट वाले लोहे की छड़ में 2.4×10^{-5} *Wb* फ्लक्स उत्पन्न करता है। लोहे की छड़ की चुम्बकीय प्रवृत्ति है [BHU 2002]

(a) 298 (b) 596 (c) 1192 (d) 1788

Solution : (b) $B = \mu H = \mu_0 \mu_r H$ एवं $\mu_r = (1 + \chi_m) \Rightarrow \mu_r = \dfrac{B}{\mu_0 H} = \dfrac{\phi}{\mu_0 HA}$

$$\mu_r = \frac{2.4 \times 10^{-5}}{(4\pi \times 10^{-7}) \times 1600 \times (0.2 \times 10^{-4})} = 596.8 \text{ अतः } \chi_m = 595.8 \approx 596$$

Example: 41 लोहे की छड़ का घनत्व 7500 kg/m^3 एवं द्रव्यमान 0.075 *kg* है। इसमें उत्पन्न चुम्बकीय आघूर्ण 8×10^{-7} $Amp \times m^2$, है। तब चुम्बकन क्षेत्र की तीव्रता (*I*) है

(a) 8 *Amp/m* (b) 0.8 *Amp/m* (c) 0.08 *Amp/m* (d) 0.008 *Amp/m*

Solution : (c) $I = \dfrac{M}{V} = \dfrac{Md}{m} = \dfrac{8 \times 10^{-7} \times 7500}{0.075} = 0.08\ Amp/m$

Example: 42 एक अनुचुम्बकीय गैस के प्रत्येक अणु का चुम्बकीय आघूर्ण 1.5×10^{-23} $Amp \times m^2$ हैं गैस का ताप 27°*C* है एवं इसके प्रति इकाई आयतन में अणुओं की संख्या $2 \times 10^{26}\ m^{-3}$ है। गैस में सम्भव अधिकतम चुम्बकन तीव्रता (*I*) होगी

(a) 3×10^3 *Amp/m* (b) 4×10^{-3} *Amp/m* (c) 5×10^5 *Amp/m* (d) 6×10^{-4} *Amp/m*

Solution : (a) $I = \dfrac{M}{V} = \dfrac{\mu N}{V} = \dfrac{1.5 \times 10^{-23} \times 2 \times 10^{26}}{1} = 3 \times 10^3\ Amp/m$

Example: 43 एक लघु दण्ड चुम्बक की निग्राहिता 4×10^3 *Amp/m* है। इसे विचुम्बकित करने के लिय एक परिनलिका के अन्दर रखा गया है। परिनालिका की लम्बाई 1 *cm* व इसमें फेरों की संख्या 500 है। चुम्बक को विचुम्बकित करने के लिये परिनालिका में प्रवाहित धारा होगी

(a) 2.5 *A* (b) 5 *A* (c) 8 *A* (d) 10 *A*

Solution : (c) $H = ni \Rightarrow i = \dfrac{H}{n} = \dfrac{4 \times 10^3}{500} = 8A$

Example: 44 मोलर चुम्बकीय प्रवृत्ति का मात्रक है

(a) m^3 (b) $kg\text{-}m^{-3}$ (c) $kg^{-1}\ m^3$ (d) मात्रकहीन

Solution : (a) मोलर चुम्बकीय प्रवृत्ति $= \dfrac{\text{आयतन चुम्बकीय प्रवृत्ति}}{\text{पदार्थ का घनत्व}} \times \text{अणुभार} = \dfrac{I/H}{\rho} \times M = \dfrac{I/H}{M/V} \times M$

अतः इसका मात्रक m^3 है।

Example: 45 किसी पदार्थ के लिये M.K.S. पद्धति में *B-H* लूप एवं *I-H* लूप के क्षेत्रफलों का अनुपात है

(a) μ_0^2 (b) $\frac{1}{\mu_0^2}$ (c) μ_0 (d) $\frac{1}{\mu_0}$

Solution : (c) B-H लूप का क्षेत्रफल $= \mu_0$ (I-H लूप का क्षेत्रफल)