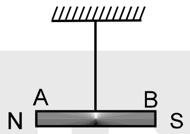
धारा का चुम्बकीय प्रभाव तथा आवेश/धारा पर चुम्बकीय बल

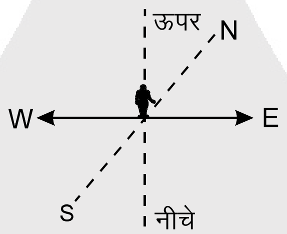
(MAGNETIC EFFECT OF CURRENT AND MAGNETIC FORCE ON CHARGE/CURRENT)

1. चुम्बक :

दो वस्तुएं उदासीन (विद्युत रूप से) होते हुए भी प्रबलता से आकर्षित या प्रतिकर्षित हो सकती है, यदि वे एक विशेष गुण रखती है। यह गुण चुम्बकत्व कहा जाता है। वह बल जिसके कारण यह वस्तुऐं आकर्षण अथवा प्रतिकर्षण प्रदर्शित करती है, चुम्बकीय बल कहलाता है। वे वस्तुएं चुम्बक कहलाती है। इसके बाद हम देखेंगे कि यह परमाणुओं में प्रवाहित धाराओं के कारण है। चुम्बक विभिन्न आकृतियों में पायी जाती है। विभिन्न प्रयोगात्मक उद्दश्यों में छड़ चुम्बक अधिकतम उपयोग की जाती है। एक छड़ चुम्बक चित्र में दर्शाये अनुसार मध्य से लटकायी जाती है। यह क्षैतिज तल में घूमने के लिए स्वतंत्र है। यह साम्यावस्था में सदैव एक निश्चित दिशा में आ जाती है।



चुम्बक का एक सिरा (A) लगभग उत्तर की ओर निर्देशित रहता है व दूसरा सिरा (B) लगभग दक्षिण की ओर रहता है। पृथ्वी पर सभी स्थानों पर यह प्रेक्षित होता है। इस कारण से जो सिरा उत्तर दिशा की ओर होता है वह **उत्तरी ध्रुव** कहलाता है व दूसरा सिरा जो दक्षिण दिशा की ओर रहता है **दक्षिणी ध्रुव** कहलाता है। वे चुम्बक पर 'N' व 'S' के रूप में चिन्हित होते हैं यह गुण पृथ्वी पर किसी भी स्थान पर उत्तर या दक्षिण दिशा का पता लगाने के लिए उपयोग किया जा सकता है तथा अप्रत्यक्ष रूप से पूर्व व पश्चिम का भी, यदि वे किसी अन्य विधि से नहीं ज्ञात होते। (जैसे सूर्योदय व सूर्यास्त)। यह विधि जहाजों व विमानों में नाविकों द्वारा उपयोग की जाती है। दिशाएं चित्र में दर्शायें अनुसार है। सभी दिशाएं E, W, N, S क्षैतिज तल में हैं। चुम्बक, पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के कारण घूमती है जिसके बारे में हम इसी पाठ में आगे पढ़ेंगे।

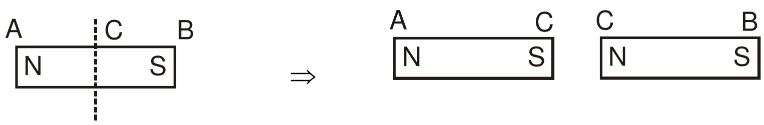


1.1 ध्रुव प्राबल्य, चुम्बकीय द्विध्रुव व चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण

एक चुम्बक सदैव 'N' व 'S' रखती है। दो चुम्बकों के समान ध्रुव एक दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं व दो चुम्बकों के विपरीत ध्रुव एक दूसरे को आकर्षित करते है। वे क्रिया–प्रतिक्रिया युग्म बनाते है।

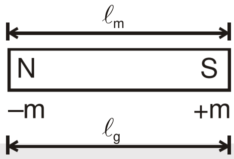
(i) (ii)

एक ही चुम्बक के ध्रुव आकर्षण के कारण एक दूसरे से नहीं मिलते है। चुम्बक को मध्य से काटकर हम दो विलगित ध्रुव प्राप्त नहीं कर सकते है। दूसरा सिरा विपरीत प्रकृति का बन जाता है। इसलिए 'N' व 'S' सदैव एक साथ विद्यमान रहते है।



∴ यह +ve या –ve ध्रुव होते हैं। उत्तरी ध्रुव धनात्मक ध्रुव (या धनात्मक चुम्बकीय आवेश) की तरह माना जाता है एवं दक्षिणी ध्रुव ऋणात्मक ध्रुव (या –ve चुम्बकीय आवेश) की तरह माना जाता है। वे मात्रात्मक रूप से ध्रुव प्राबल्य क्रमशः +m व –m से प्रदर्शित किये जाते है। (जैसे कि हम स्थिर वैद्युतिकी में आवेशों को +q व –q लेते हैं) ध्रुव प्राबल्य अदिश राशि है व ध्रुव की सामर्थ्य को प्रदर्शित करता है और इस प्रकार चुम्बक की भी। एक चुम्बक द्विध्रुव की तरह मानी जाती है क्योंकि इसमें सदैव दो विपरीत ध्रुव होते है।

(विद्युत द्विध्रुव की तरह जैसे –q व +q विपरीत आवेश होते है) यह चुम्बकीय द्विध्रुव कहलाता है। इसमें चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण होता है। यह $\vec{M}$ से प्रदर्शित किया जाता है। यह सदिश राशि है। इसकी दिशा –m से +m की ओर अर्थात् 'S' से 'N' की ओर होती है।



$M = m.\ell_m$ यहां ℓ_m = चुम्बक की चुम्बकीय लम्बाई ℓ_m जो ℓ_g (चुम्बक की ज्यामितीय लम्बाई = सिरे से सिरे की दूरी) से थोड़ी कम होती है। 'N' व 'S' चुम्बक के ठीक सिरों पर स्थित नहीं होते। गणना की सरलता के लिए हम $\ell_m = \ell_g$ मान लेते है। [वास्तव में $\ell_m/\ell_g \simeq 0.84$] m व M की इकाइयां बाद में बताई जाएंगी।

1.2 चुम्बकीय क्षेत्र व चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता

एक चुम्बकीय ध्रुव के आस–पास वह क्षेत्र जिसमें इसके प्रभाव के कारण दूसरा ध्रुव बल अनुभव करता है। यह विशेष प्रभाव चुम्बकीय क्षेत्र कहलाता है तथा यह बल चुम्बकीय बल कहलाता है। यह क्षेत्र गुणात्मक रूप से ''चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता'' या ''चुम्बकीय प्रेरण'' या ''चुम्बकीय फलक्स घनत्व'' द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। यह $\vec{B}$ द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। यह सदिश राशि है।

$\vec{B}$ की परिभाषा :

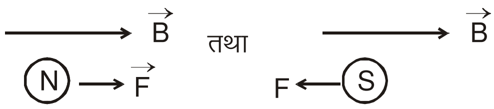
इकाई ध्रुव प्राबल्य के उत्तरी ध्रुव द्वारा किसी बिन्दु पर अन्य ध्रुवों (स्रोत) के कारण अनुभव किया गया चुम्बकीय बल, उस बिन्दु पर स्त्रोत के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता कहलाती है।

गणितीय रूप से, $\vec{B} = \dfrac{\vec{F}}{m}$

यहां $\vec{F}$ = ध्रुव प्राबल्य m के ध्रुव पर चुम्बकीय बल है। m, +ve या –ve व किसी भी मान का हो सकता है।

$\vec{B}$ की S.I. इकाई **टेसला** या **वेबर** / मी.^{2} (या T व Wb/m^2).

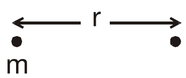
हम $\vec{F} = m\vec{B}$ भी लिख सकते है। इस दिशा के अनुसार +ve ध्रुव (उत्तरी ध्रुव) क्षेत्र की दिशा में होगा व –ve ध्रुव (दक्षिण ध्रुव) $\vec{B}$ की विपरीत दिशा में होगा।



स्त्रोतों के द्वारा उत्पन्न क्षेत्र परीक्षण ध्रुव (इसके मान व चिन्ह) पर निर्भर नहीं करता।

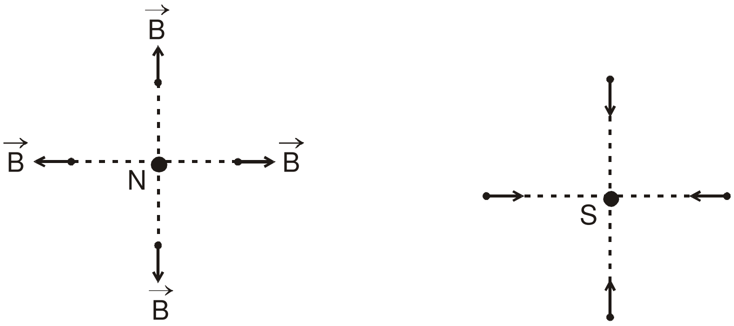
(a) **विभिन्न स्त्रोतों के कारण** $\vec{B}$

(i) एकल ध्रुव के कारण : (स्थिर वैद्युतिकी में बिन्दु आवेश की तरह)



$|\vec{B}| = \left(\dfrac{\mu_0}{4\pi}\right)\dfrac{m}{r^2}$ यह परिमाण है।

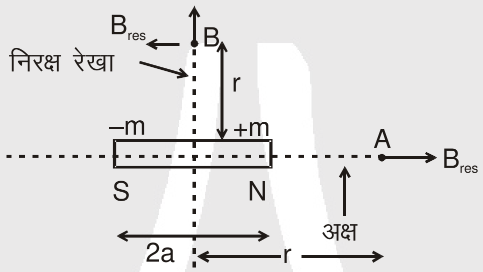
उत्तरी ध्रुव व दक्षिणी ध्रुव के कारण B की दिशा दर्शाये अनुसार है।



सदिश रूप में $\vec{B} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m}{r^3}\vec{r}$

यहां m चिन्ह के साथ है तथा $\vec{r}$ = ध्रुव के सापेक्ष परीक्षण बिन्दु का स्थिति सदिश।

(ii) छड़ चुम्बक के कारण : (स्थिर वैद्युतिकी में विद्युत द्विध्रुव की तरह) 'N' व 'S' सदैव साथ–साथ चुम्बक के रूप में विद्यमान होते है, स्वतंत्र रूप से कभी नहीं पाये जाते है।



A पर (अक्ष पर) $= \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{2\vec{M}}{r^3}$ a << r के लिए

B पर (निरक्ष पर) $= -\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{\vec{M}}{r^3}$ a << r के लिए

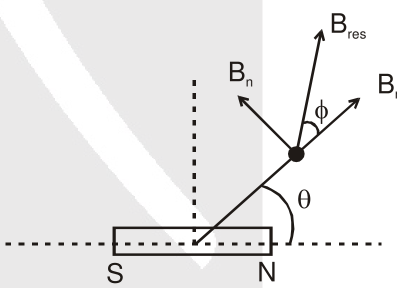
किसी भी बिन्दु पर :

$$B_r = 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{M\cos\theta}{r^3}$$

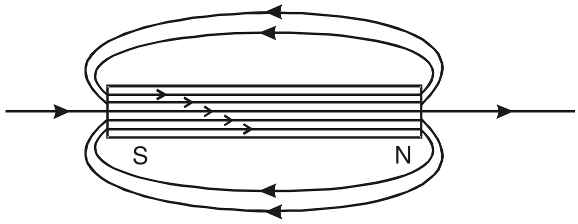
$$B_n = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{M\sin\theta}{r^3}$$

$$B_{res} = \frac{\mu_0 M}{4\pi}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$$

$$\tan\phi = \frac{B_n}{B_r} = \frac{\tan\theta}{2}$$

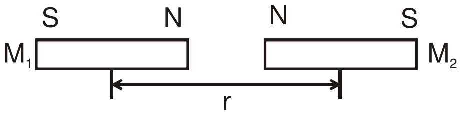


1.3 छड़ चुम्बक की चुम्बकीय बल रेखाएं :



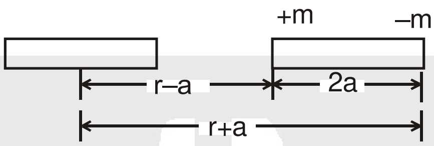
Solved Examples

Example 1. चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण M_2 की छोटी चुम्बक पर दूसरी चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण M_1 की छोटी चुम्बक के कारण चुम्बकीय बल ज्ञात करो।



Solution : चुम्बकीय बल ज्ञात करने के लिए हम चुम्बक के कारण 'B' का सूत्र उपयोग करेंगे। M_2 के लिए हम m व –m को 'N' व 'S' की ध्रुव प्राबल्य मानते है। M_2 की लम्बाई 2a है। B_1 व B_2, M_1 के कारण क्रमशः +m व –m पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता है। वे दर्शाये अनुसार चुम्बकीय बल F_1 व F_2 अनुभव करते है।

$$F_1 = 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{M_1}{(r-a)^3}m \text{ तथा } F_2 = 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m_1}{(r-a)^3}m$$



$$\therefore \quad F_{res} = F_1 - F_2 = 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) m_1 m\left[\left(\frac{1}{(r-a)^3}\right)-\left(\frac{1}{(r+a)^3}\right)\right] = 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m_1 m}{r^3}\left[\left(1-\frac{a}{r}\right)^{-3}-\left(1+\frac{a}{r}\right)^{-3}\right]$$

द्विपद विस्तार का उपयोग करते हुए और उच्च घातों के पदों को नगण्य मानते हुए हम प्राप्त करते हैं।

$$F_{res} = 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m_1 m}{r^3}\left[1+\frac{3a}{r}-1+\frac{3a}{r}\right]$$

$$= 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m_1 m}{r^3}\frac{6a}{r} = 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m_1 3m_2}{r^4} = 6\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m_1 m_2}{r^4}$$

F_{res} की दिशा दायी ओर है।

Example 2. एक चुम्बक 10 सेमी लम्बाई की है व इसकी ध्रुव प्राबल्य 120 CGS इकाई है। (ध्रुव प्राबल्य की 1 CGS इकाई = 0.1 A-m) चुम्बकीय क्षेत्र B का परिमाण इसकी अक्ष पर इससे 20 cm दूर एक बिन्दु पर ज्ञात करो।

Solution : ध्रुव प्राबल्य m = 120 CGS इकाई = 12A-m.

चुम्बकीय लम्बाई है 2ℓ = 10 सेमी. या $\ell = 0.05$ m.

चुम्बक से दूरी d = 20 cm = 0.2 m पर स्थिति चुम्बकीय क्षेत्र B है –

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2Md}{(d^2-\ell^2)^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{4m\ell d}{(d^2-\ell^2)^2}$$

$$= \left(10^{-7}\frac{T-m}{A}\right)\frac{4\times(12A-m)\times(0.05m)\times(0.2m)}{[(0.2m)^2-(0.05m)^2]^2} = 3.4 \times 10^{-5}\ T$$

Example 3. चुम्बकीय आघूर्ण 1.2 A-m^2 के द्विध्रुव के कारण द्विध्रुव अक्ष से 60º का कोण बनाती हुई रेखा पर द्विध्रुव से 1m दूर किसी बिन्दु पर चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करो।

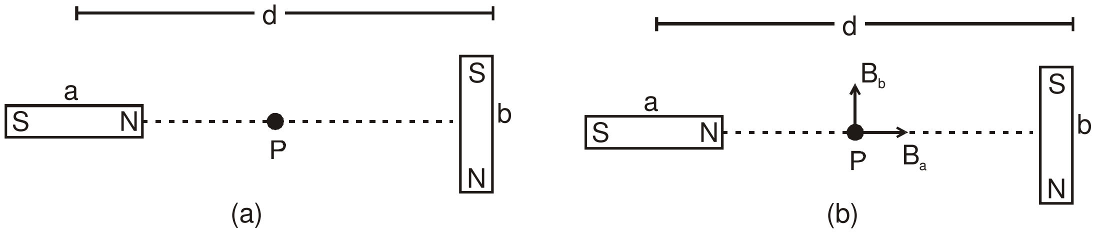
Solution : क्षेत्र का परिमाण है

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta} = \left(10^{-7}\frac{T-m}{A}\right)\frac{1.2A-m^2}{1m^3}\sqrt{1+3\cos^2 60^\circ} = 1.6 \times 10^{-7}\ T$$

क्षेत्र की दिशा त्रिज्य रेखा से α कोण बनाती है, जहाँ –

$$\tan\alpha = \frac{\tan\theta}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Example 4. चित्र में दर्शाये दो एक समान चुम्बकीय द्विध्रुव a व b प्रत्येक का चुम्बकीय आघूर्ण M, d दूरी पर इस प्रकार रखे है कि उनकी अक्ष एक दूसरे से लम्बवत् है। द्विध्रुवों के मध्य बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो।



Solution : बिन्दु P द्विध्रुव (a) की अक्ष पर व द्विध्रुव (b) की निरक्ष पर स्थित है a के कारण P पर चुम्बकीय क्षेत्र $B_a = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{(d/2)^3}$, a की अक्ष के अनुदिश और b के कारण $B_b = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{(d/2)^3}$, b की अक्ष के समान्तर चित्र में दर्शाये अनुसार है। इसलिए P पर परिणामी क्षेत्र है –

$$B = \sqrt{B_a^2 + B_b^2} = \frac{\mu_0 M}{4\pi(d/2)^3}\sqrt{1^2 + 2^2} = \frac{2\sqrt{5}\mu_0 M}{\pi d^3}$$

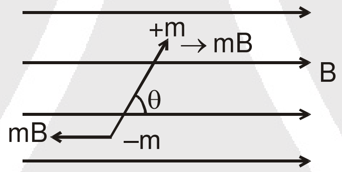
इस क्षेत्र की दिशा B_a के साथ α कोण बनाती है ताकि $\tan\alpha = B_b/B_a = 1/2$.

1.4 चुम्बक एक बाह्य समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में :

(विद्युत द्विध्रुव की तरह)

$F_{res} = 0$ (किसी भी कोण के लिए)

$\tau = MB \sin\theta$



*यहां θ, $\vec{B}$ व $\vec{M}$ के मध्य कोण है।

Note : (i) $\vec{\tau}$ इस प्रकार कार्य करता है कि यह $\vec{M} \times \vec{B}$ बनाने की कोशिश करता है।

(ii) द्विध्रुव के प्रत्येक बिन्दु के सापेक्ष समान है, इसकी स्थितिज ऊर्जा है

$U = -MB\cos\theta = -\vec{M}\cdot\vec{B}$

$\theta = 0^\circ$ पर स्थायी साम्यावस्था है

$\theta = \pi$ पर अस्थायी साम्यावस्था है

अल्प 'θ' के लिए द्विध्रुव $\theta = 0^\circ$ स्थिति के सापेक्ष SHM करता है।

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

$I\alpha = -MB\sin\theta$

अल्प θ के लिए, $\sin\theta \simeq \theta$

$\Rightarrow \alpha = -\left(\frac{MB}{I}\right)\theta$

SHM की कोणीय आवृति $\omega = \sqrt{\frac{MB}{I}} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{I}{MB}}$

यहां I

$= I_{cm}$ यदि द्विध्रुव घूर्णन के स्वतंत्र है।

$= I_{hinge}$ यदि द्विध्रुव कीलकित है।

Solved Examples

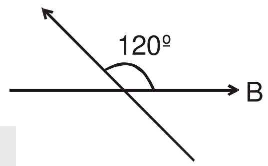
Example 5. एक छड़ चुम्बक जिस का चुम्बकीय आघूर्ण 1.0×10^{-4} J/T एक क्षैतिज तल में घूर्णन के लिए स्वतंत्र है। इस स्थान पर एक क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र $B = 4 \times 10^{-5}$ T विद्यमान है। क्षेत्र के समान्तर किसी दिशा से क्षेत्र से 60º का कोण बना रही किसी दिशा तक चुम्बक को धीरे–धीरे घुमाने के लिए किया गया कार्य ज्ञात करो।

Solution : बाह्य कारक द्वारा किया गया कार्य = स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन

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

$= -MB(\cos 60^\circ - \cos 0^\circ) = \frac{1}{2}MB = \frac{1}{2} \times (1.0 \times 10^{4}\ \text{J/T})\ (4 \times 10^{-5}\ \text{T}) = 0.2\ \text{J}$

Example 6. चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण M की एक चुम्बक, प्रेरण B के एक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में चित्र में दर्शायी स्थिति से छोड़ी जाती है। ज्ञात करो :



(i) $\theta = 90^\circ$ पर इसकी गतिज ऊर्जा

(ii) गति के दौरान इसकी अधिकतम गतिज ऊर्जा

(iii) क्या यह SHM करेगा ? या दोलन या आवर्त गति। इसका आयाम क्या है ?

Solution : (i) $\theta = 120^\circ$ व $\theta = 90^\circ$ पर ऊर्जा संरक्षण का उपयोग करने पर

$- MB\cos 120^\circ + 0 = - MB\cos 90^\circ + (K.E.) \Rightarrow KE = \frac{MB}{2}$ **Ans.**

(ii) K.E. अधिकतम होगी जहां P.E. न्यूनतम है। $\theta = 0^\circ$ पर P.E. न्यूनतम है।

अब $\theta = 120^\circ$ व $\theta = 0^\circ$ के मध्य ऊर्जा संरक्षण

$- mB\cos 120^\circ + 0 = -mB\cos 0^\circ + (KE)_{max}$

$(KE)_{max} = \frac{3}{2}MB$ **Ans.**

$\theta = 0^\circ$ पर K.E. अधिकतम है यह बलाघूर्ण विधि द्वारा भी सिद्ध किया जा सकता है। $\theta = 120^\circ$ से $\theta = 0^\circ$ तक बलाघूर्ण सदैव द्विध्रुव पर समान दिशा में कार्य करता है। (यहां यह दक्षिणावर्त है) इसलिए इसकी K.E., $\theta = 0^\circ$ तक बढ़ती रहती है। इसके बाद τ अपनी दिशा बदल लेता है व तब K.E. कम होना प्रारम्भ करती है।

$\therefore$ $\theta = 0^\circ$, M का वह अभिविन्यास है जब K.E. अधिकतम है।

(iii) चूकि θ अल्प नहीं है।

$\therefore$ गति S.H.M. नहीं बल्कि दोलनी है व आवर्ती आयाम 120º है।

Example 7. 100 g द्रव्यमान की एक छड़ चुम्बक की लम्बाई 7.0 cm, चौड़ाई 1.0 cm व ऊँचाई 0.50 cm है। यह 25μT के क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र में रखे दोलन चुम्बकत्व मापी में एक दोलन पूरा करने में $\pi/2$ समय लेती है।

(a) चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करो।

(b) यदि चुम्बक इसके 0.50 सेमी. वाले किनारे को क्षैतिज रखते हुए चुम्बकत्व मापी में रखी जाये तो आवर्तकाल क्या होगा ?

Solution : (a) घूर्णन अक्ष के सापेक्ष चुम्बक का जड़त्व आघूर्ण

$I = \frac{m'}{12}(L^2 + b^2) = \frac{100 \times 10^{-3}}{12}\ [(7 \times 10^{-2})^2 + (1 \times 10^{-2})^2]\ \text{kg-m}^2.$

$= \frac{25}{6} \times 10^{-5}\ \text{kg -m}^2.$

यहां, $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB}}$ या, $M = \frac{4\pi^2 I}{BT^2} = \frac{4\pi^2 \times 25 \times 10^{-5}\text{kg/m}^2}{6 \times (25 \times 10^{-6}\text{T}) \times \frac{\pi^2}{4}\text{s}^2} = 27\ \text{A-m}^2.$

(b) इस स्थिति में जड़त्व आघूर्ण हो जाता है।

$I' = \frac{m'}{12}(L^2 + b^2)$ जहां b' = 0.5 cm.

आवर्तकाल होगा

$$T' = \sqrt{\frac{I'}{MB}} \qquad .... (ii)$$

समीकरण (i) से भाग देने पर

$$\frac{T'}{T} = \sqrt{\frac{I'}{I}} = \frac{\sqrt{\frac{m'}{12}(L^2+b'^2)}}{\sqrt{\frac{m'}{12}(L^2+b^2)}} = \frac{\sqrt{(7cm)^2+(0.5cm)^2}}{\sqrt{(7cm)^2+(1.0cm)^2}} = 0.992$$

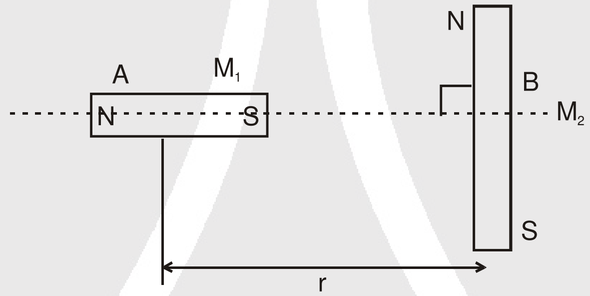
या, $T' = \frac{0.992\times\pi}{2}$ s = 0.496π s.

1.5 चुम्बक एक बाह्य असमरूप चुम्बकीय क्षेत्र में :

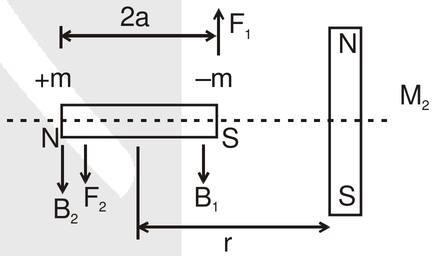
असमरूप चुम्बकीय क्षेत्र में बल तथा बल आघूर्ण ज्ञात करने के लिए बल तथा बल आघूर्णों के अलग–अलग मान ज्ञात करो। सीधे किसी सूत्र का उपयोग नहीं कर सकते।

Solved Examples

Example 8. M_2 के कारण M_1 पर बलाघूर्ण ज्ञात करो।



Solution : M_2 के कारण, 'S' व 'N' पर M_1 के चुम्बकीय क्षेत्र क्रमशः B_1 व B_2 है। –m व +m पर बल F_1 व F_2 चित्र में दर्शाये अनुसार है। द्विध्रुव M_1 के केन्द्र के सापेक्ष बलाघूर्ण होगा।



$= F_1 a + F_2 a = (F_1 + F_2)a$

$= \left[\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{M_2}{(r-a)}m + \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M_2}{(r+a)}m\right]a$

$\cong \frac{\mu_0}{4\pi}M_2 m\left(\frac{1}{r^3}+\frac{1}{r^3}\right)a \qquad \because a << r$

$= \frac{\mu_0 M_2 m}{4\pi}\,\frac{2}{r^3}a = \frac{\mu_0 M_1 M_2}{4\pi r^3}$ **Ans.**

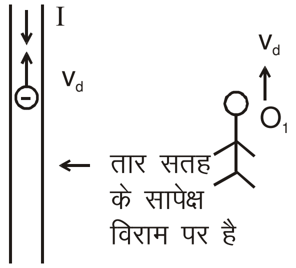
2. धारा (व गतिशील आवेश) के चुम्बकीय प्रभाव :

यह **ओरस्टेड** द्वारा प्रेक्षित किया गया कि धारावाही तार इसके नजदीक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है। यह नजदीकी क्षेत्र में चुम्बक रखकर परीक्षण किया जा सकता है। यह कुछ हलचल (विक्षेप या घूर्णन) दर्शाती है। यह प्रेक्षण दर्शाता है कि धारा या गतिशील, आवेश चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है।

2.1 $\vec{B}$ की तन्त्र पर निर्भरता

(a) किसी की भी गति सापेक्ष पद है। एक आवेश किसी प्रेक्षक O_1 द्वारा देखने पर विराम पर हो सकता है, और किसी दूसरे प्रेक्षक O_2 के सापेक्ष $\vec{v}_1$ वेग से गतिशील है व प्रेक्षक O_3 के सापेक्ष $\vec{v}_2$ वेग से गतिशील हो सकता है तो O_1 के सापेक्ष उस आवेश के कारण $\vec{B}$ शून्य होगा, O_2 के सापेक्ष $\vec{B}_1$ व O_3 के सापेक्ष यह $\vec{B}_2$ होगा। (अर्थात् भिन्न होगा)।

(b) एक धारावाही तार में इलेक्ट्रॉन धारा के विपरीत दिशा में गतिमान होते है और (धातु के) +ve आयन तार के सापेक्ष स्थिर है। अब यदि कोई प्रेक्षक (O_1) इलेक्ट्रोनों की दिशा में V_d वेग से चले तो इलेक्ट्रॉनों का वेग शून्य होगा व +ve आयनों का वेग O_1 के सापेक्ष नीचे की ओर V_d होगा। +ve आयनों का घनत्व (n) उतना ही होगा जितना मुक्त इलेक्ट्रॉनों का घनत्व तथा उनके आवेश का परिमाण समान होगा।



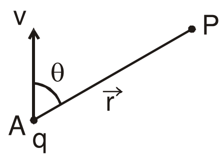
इसलिए O_1 के सापेक्ष इलेक्ट्रॉन शून्य चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करेंगे व +ve आयन समान B उत्पन्न करेंगे। इसलिए धारावाही तार के कारण $\vec{B}$ उत्पन्न होगा। इसलिए धारावाही तार के कारण $\vec{B}$ निर्देश तन्त्र पर निर्भर नहीं करता। (यह प्रेक्षक के किसी भी वेग के लिए सत्य है।)

(c) चुम्बक के कारण $\vec{B}$:

चुम्बक द्वारा उत्पन्न $\vec{B}$ वेग पर निर्भर नहीं करता। इसलिए हम कह सकते हैं कि $\vec{B}$ निर्देश तन्त्र पर निर्भर नहीं करता।

2.2 बिन्दु आवेश के कारण $\vec{B}$:

चित्र में दर्शाया एक आवेशित कण 'q', v वेग से गतिशील है। किसी समय यह स्थिति 'A' पर है। आवेश की स्थिति के सापेक्ष बिन्दु P का स्थिति सदिश $\vec{r}$ है तो q के कारण P पर $\vec{B}$ है।



$B = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{qv\sin\theta}{r^2}$; यहां $\theta = \vec{v}$ व $\vec{r}$ के मध्य कोण

$\vec{B} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{q\vec{v}\times\vec{r}}{r^3}$; चिन्ह के साथ

$\vec{B}\perp\vec{v}$ व $\vec{B}\perp\vec{r}$ भी

$\vec{B}$ की दिशा सदिश गुणन के नियमों का उपयोग करके ज्ञात की जाती है।

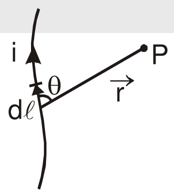
2.3 बायो–सावर्त का नियम (एक तार के कारण $\vec{B}$)

यह एक प्रयोगात्मक नियम है। धारा 'i' एक तार में प्रवाहित होती है (तार सीधा या वक्रीय हो सकता है) तार की '$d\ell$' लम्बाई के कारण 'P' पर चुम्बकीय क्षेत्र है।

$dB \propto i d\ell$

$\propto \frac{1}{r^2}$

$\propto \sin\theta$



$\Rightarrow \; dB \propto \frac{i d\ell \sin\theta}{r^2}$

$\overrightarrow{dB} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{i d\ell\sin\theta}{r^2} \quad \Rightarrow \quad dB = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{i\overrightarrow{d\ell}\times\vec{r}}{r^3}$

यहां $\vec{r}$ = परीक्षण बिन्दु का $\overrightarrow{d\ell}$ के सापेक्ष स्थिति सदिश

$\theta = \overrightarrow{d\ell}$ व $\vec{r}$ के मध्य कोण

परिणामी $\vec{B} = \int\overrightarrow{dB}$

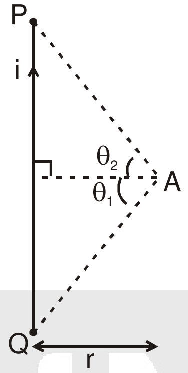
इस मूल सूत्र का उपयोग करते हुए हम एक लम्बे तार के कारण का व्यंजक व्युत्पन्न कर सकते है।

2.3.1 सीधे तार के कारण $\vec{B}$:

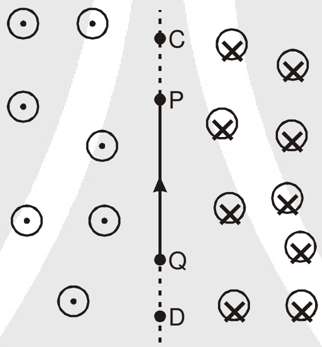
सीधे तार 'PQ' जिसमें 'i' धारा प्रवाहित है के कारण A पर $\vec{B}$ निम्न सूत्र द्वारा दिया जाता है।

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) \qquad \otimes$$

(इसकी व्युत्पत्ति विद्यालय की मानक पाठ्य पुस्तिका या concept of physics, HCV part-II में देखी जा सकती है।)



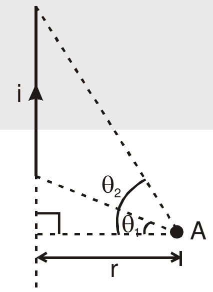
दिशा : 'PQ' के प्रत्येक अल्पांश के कारण A पर $\vec{B}$ की दिशा अन्दर की ओर है। इसलिए परिणामी भी अन्दर की ओर निर्देशित होगा। यह ⊗ से निरूपित होता है। $\vec{B}$ की दिशा चित्र में दर्शायी गई है।



बिन्दु 'C' तथा 'D' पर $\vec{B}$ = 0 (सोचिए कैसे).

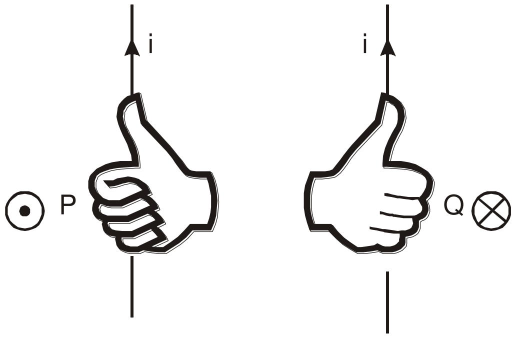
चित्र में दर्शाई स्थिति के लिए

A पर $B = \frac{\mu_0 i}{4\pi r} (\sin \theta_2 - \sin\theta_1)$ ⊗

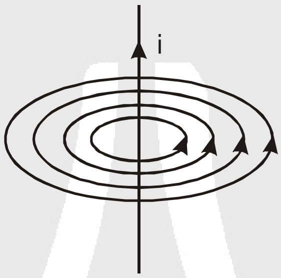


दिशा के लिए लघु विधि :

बिन्दु P पर सीधे तार के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा दांये हाथ के अंगूठे के नियम में थोड़ा सा परिवर्तन करके ज्ञात की जा सकती है। यदि हम दायें हाथ के अंगूठे को धारा की दिशा के अनुदिश तान कर रखें व अंगुलियों को बिन्दु P से गुजरते हुए मोड़ते है। P पर अंगुलियों की दिशा वहां चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा बताती है।

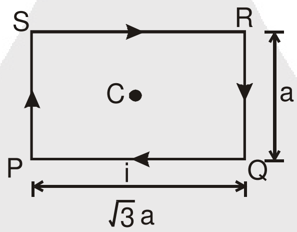


विद्युत क्षेत्र की रेखाओं की तरह हम चुम्बकीय क्षेत्र की रेखाऐं भी खींच सकते है। किसी भी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की रेखा की स्पर्शज्या उस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा बताती है। एक सीधे तार के लिए क्षेत्र की रेखायें संकेन्द्रीय वृत्त है। जिनका केन्द्र तार पर है व तल तार के लम्बवत् है। उपरोक्त तल के समान्तर तलों में ऐसी अनन्त रेखाऐं होगी।



Solved Examples

Example 9. चित्र में 'C' पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो।



Solution : यह स्पष्ट है कि सभी तारों के कारण 'C' पर 'B' की दिशा ⊗ (अन्दर की ओर है तथा) PQ व SR के कारण C पर B समान है।

QR तथा PS के कारण भी समान है

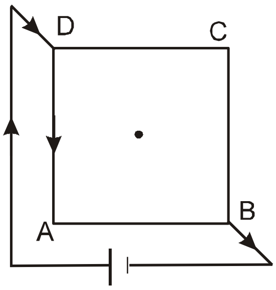
$\therefore \quad B_{res} = 2(B_{PQ} + B_{SP})$

$B_{PQ} = \dfrac{\mu_0 i}{4\pi \frac{a}{2}}$ (sin 60º + sin 60º),

$B_{sp} = \dfrac{\mu_0 i}{4\pi \frac{\sqrt{3}a}{2}}$ (sin 30º + sin 30º)

$B_{res} = 2\left(\dfrac{\sqrt{3}\mu_0 i}{2\pi a} + \dfrac{\mu_0 i}{2\pi a\sqrt{3}}\right) = \dfrac{4\mu_0 i}{\sqrt{3}\pi a}$

Example 10. चित्र में एक समरूप तार से बना वर्गाकार लूप प्रदर्शित है। वर्ग के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो यदि बिन्दु D व B मध्य एक बैटरी चित्रानुसार जुड़ी हुई है।



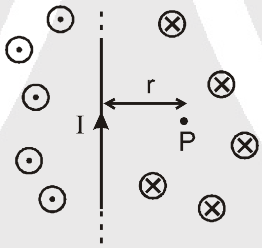
Solution : धारा D पर समान रूप से विभाजित है। तार DA व DC के कारण केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र बराबर व दिशा में विपरीत है। इन दो क्षेत्रों का परिणामी शून्य होगा। इसी प्रकार तार AB व CB के कारण क्षेत्रों का परिणामी शून्य होगा। इस प्रकार केन्द्र पर कुल क्षेत्र शून्य होगा।

विशेष स्थिति :

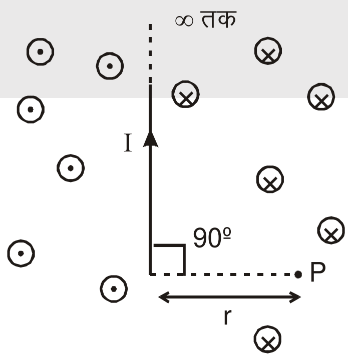
(i) यदि तार अनन्त लम्बाई का है तो 'P' (चित्र में) पर चुम्बकीय क्षेत्र है ($\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$ व सीधे तार के कारण 'B' के सूत्र का उपयोग करते हुए)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \Rightarrow B \propto \frac{I}{r}$$

विभिन्न बिन्दुओं पर $\vec{B}$ की दिशा चित्रानुसार है चुम्बकीय रेखाऐं (पहले दर्शाये अनुसार) तार के चारों और संकेन्द्री वृत्त होगी।



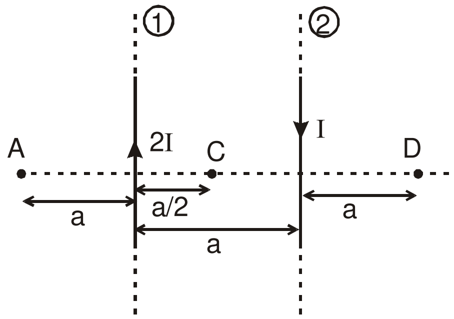
(ii) यदि तार अनन्त लम्बाई का है परन्तु 'P' चित्र में दर्शाये अनुसार है। विभिन्न बिन्दुओं पर $\vec{B}$ की दिशा चित्र में दर्शाये अनुसार है। 'P' पर



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

Solved Examples

Example 11. प्रदर्शित चित्र में दो समान्तर लम्बे तार कागज के तल में रखे है। उन से धारा 2I व I प्रवाहित है। बिन्दु A, C, D जो तार के लम्बवत् रेखा पर कागज के तल में है। दूरियां बताई गई है। ज्ञात करो।



(i) A, C, D पर $\vec{B}$

(ii) रेखा A C D पर उस बिन्दु की स्थिति जहां $\vec{B}$ शून्य है।

Solution : (i) माना कि (1) व (2) के कारण $\vec{B}$ क्रमशः $\vec{B}_1$ व $\vec{B}_2$ है तो A पर

$\vec{B}_1$ $\odot$ व $\vec{B}_2$, $\otimes$

$B_1 = \dfrac{\mu_0 2I}{2\pi a}$ तथा $B_2 = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi 2a}$

$\therefore \quad B_{res} = B_1 - B_2 = \dfrac{3}{4}\dfrac{\mu_0 I}{\pi a} \odot$ **Ans.**

C पर : $\vec{B}_1 \otimes$ है तथा $\vec{B}_2$ भी $\otimes$ है।

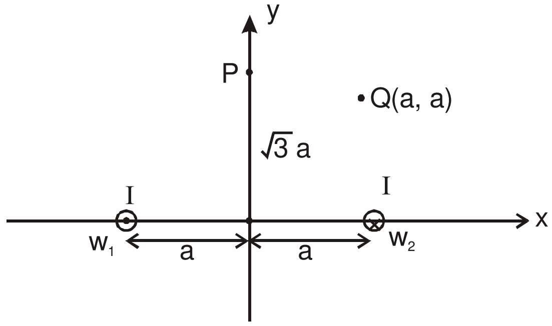
$\therefore \quad B_{res} = B_1 + B_2 = \dfrac{\mu_0 2I}{2\pi \frac{a}{2}} + \dfrac{\mu_0 I}{2\pi \frac{a}{2}} = \dfrac{6\mu_0 I}{2\pi a} = \dfrac{3\mu_0 I}{\pi a} \otimes$ **Ans.**

D पर : $\vec{B}_1 \otimes$ व $\vec{B}_2 \odot$ है तथा दोनों के परिमाण समान है।

$\therefore \quad B_{res} = 0$ **Ans.**

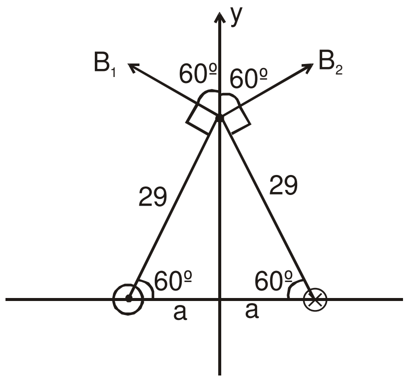
(ii) उपरोक्त हल से यह स्पष्ट है कि, बिन्दु D पर B = 0.

Example 12. दर्शाये गये चित्र में दो लम्बे तार W_1 व W_2 प्रत्येक में I धारा प्रवाहित है। दोनों आपस में व z-अक्ष के समान्तर है। धारा की दिशा W_1 में बाहर की ओर व W_2 में अन्दर की ओर है। 'P' व 'Q' पर $\vec{B}$ ज्ञात करो।



Solution : माना W_1 के कारण $\vec{B}$, $\vec{B}_1$ है व W_2 के कारण $\vec{B}_2$ है

तो सममितता से $|\vec{B}_1| = |\vec{B}_2| = B$



$B_p = 2\,B\cos 60º = B = \frac{\mu_0 I}{2\pi 2a} = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}$

$\therefore\ \ \overrightarrow{B_p} = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}\hat{j}$ **Ans.**

Q के लिए

$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi\sqrt{5}a}$, $B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$

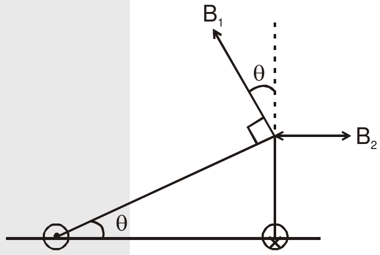
$\tan\theta = \frac{\sqrt{3}a}{2a} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\vec{B} = (B_1\cos\theta\,\hat{j}) + (B_2 - B_1\sin\theta)\,\hat{i}$

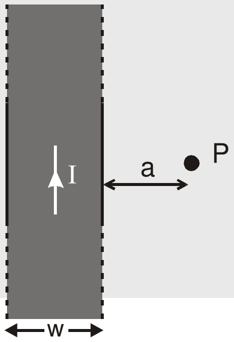
$\sin\theta = \sqrt{\frac{3}{5}}$

$= \frac{\mu_0 I}{5\pi a}\hat{j} + \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi\sqrt{3}a} - \frac{\sqrt{3}\mu_0 I}{10\pi a}\right)\hat{j}$

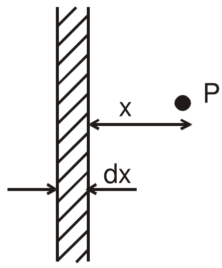
$\cos\theta = \frac{2}{\sqrt{5}}$



Example 13. दर्शाये गये चित्र में 'w' चौड़ाई की एक बड़ी धातु की शीट हैं जिससे I धारा (इसकी चौड़ाई 'w' में समान रूप से वितरित है) प्रवाहित है। बिन्दु 'P' जो शीट के तल में है पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो



Solution : 'P' पर 'B' ज्ञात करने के लिए शीट को अनन्त लम्बाई के बहुत से तारों का समूह मान सकते है। 'P' से x दूरी पर 'dx' चौड़ाई का एक लम्बा तार लें। इसके कारण 'P' पर चुम्बकीय क्षेत्र 'dB' है।



$dB = \frac{\mu_0\left(\frac{I}{w}dx\right)}{2\pi x} \otimes$

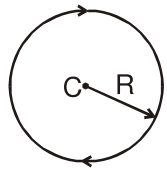
ऐसे प्रत्येक तार के कारण की दिशा अन्दर की ओर है।

$\therefore$ $B_{res} =$ ln **Ans.**

2.3.2 वृत्ताकार तार के कारण $\vec{B}$

(a) केन्द्र पर : लूप के प्रत्येक $\overrightarrow{d\ell}$ अल्पांश के कारण 'c' पर $\vec{B}$ अन्दर की ओर है। (इस स्थिति में)

$\therefore$ 'c' पर $\overrightarrow{B_{res}}$ $\otimes$ है।



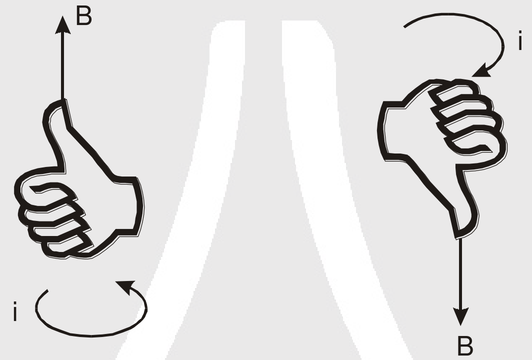
$B = \dfrac{\mu_0 NI}{2R}$,

N = लूप में घेरों की संख्या

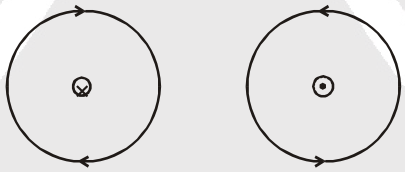
$= \dfrac{\ell}{2\pi R}$; ℓ = लूप की लम्बाई

N भिन्न $\left(\dfrac{1}{4}, \dfrac{1}{3}, \dfrac{11}{3} \text{ इत्यादि}\right)$ या पूर्णांक हो सकता है।

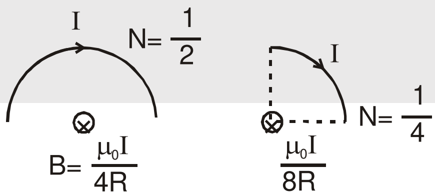
$\vec{B}$ की दिशा : वृत्ताकार तार के केन्द्र पर चु. क्षे. की दिशा दायें हाथ के अंगूठे के नियम से ज्ञात की जा सकती है। यदि अंगुलियां धारा के अनुदिश मुड़ी हुई है, तो ताना हुआ अंगूठा चुम्बकीय क्षेत्र की ओर होगा।



दिशा ज्ञात करने का दूसरा तरीका, अक्ष के अनुदिश लूप के अन्दर देखना है। यदि धारा वामावर्त दिशा में हे तो चुम्बकीय क्षेत्र प्रेक्षक की ओर होगा। यदि धारा की दिशा दक्षिणावर्त है तो चुम्बकीय क्षेत्र प्रेक्षक से दूर की ओर होगा।



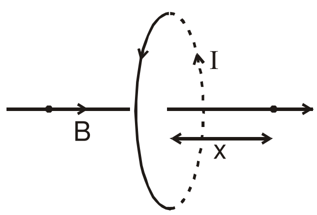
अर्द्धवृत्ताकार एवं एक चौथाई वृत्त :



(b) लूप की अक्ष पर :

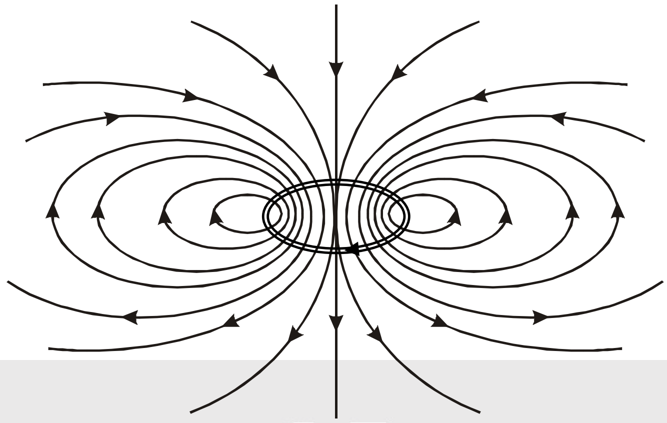
$B = \dfrac{\mu_0 NIR^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$

N = घेरों की संख्या (पूर्णांक)

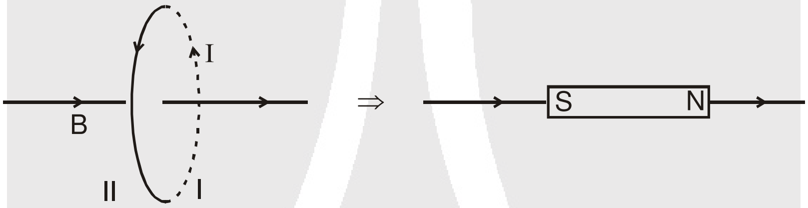


दिशा दायें हाथ के अंगूठे के नियम से ज्ञात की जा सकती है। अपनी अंगुलियों को धारा की दिशा में मोड़े तो अंगूठा अक्ष के बिन्दुओं पर $\vec{B}$ की दिशा बताता है।

कोई बिन्दु जो अक्ष पर नहीं है पर चुम्बकीय क्षेत्र की गणना करना कठिन है। हम चित्र में एक वृत्ताकार धारा के कारण चुम्बकीय क्षेत्र की रेखाओं के बारे में गुणात्मक प्रदर्शन करते है, जो क्षेत्र के बारे में कुछ जानकारी देता है।

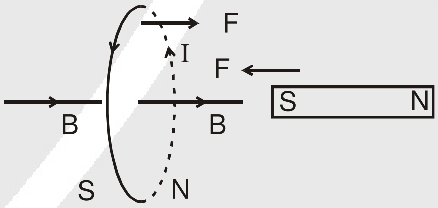


2.3.3 एक लूप चुम्बक के रूप में : इसके चुम्बकीय क्षेत्र का प्रकार एक छड़ चुम्बक के चुम्बकीय क्षेत्र से तुलनीय है।

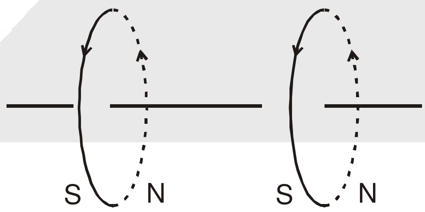


चुम्बक I की ओर से (जिस ओर से B बाहर निकलता है) उत्तरी ध्रुव की तरह व II की ओर (जिधर से $\vec{B}$ अन्दर जाता है) से दक्षिणी ध्रुव की तरह कार्य करता है।

एक लूप पर दूसरी चुम्बक या लूप के कारण बल का अध्ययन करके यह सुनिश्चित किया जा सकता है।



लूप व चुम्बक एक दूसरे को आकर्षित करते हैं।



दोनों लूप एक दूसरे को आकर्षित करते है।

$$B_{axis} = \frac{\mu_0 NIR^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \cong \frac{\mu_0 NIR^2}{2x^3} \text{ for } x >> R$$

$$= 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\left(\frac{IN\pi R^2}{x^3}\right)$$

यह चुम्बक के कारण B_{axis} के समान है $= 2\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\frac{m}{x^3}$

लूप का चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण $M = IN\pi R^2$

$M = INA$ किसी दूसरी आकृति के लूप के लिए

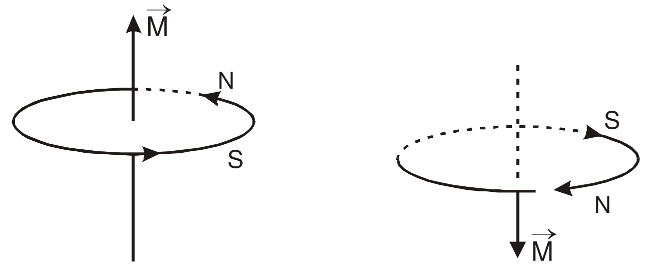
M की इकाई Amp. m^2.

m (ध्रुव प्राबल्य) की इकाई है Amp. m {$\because$ चुम्बक में $M = m\ell$}

$\vec{M} = IN\vec{A}$,

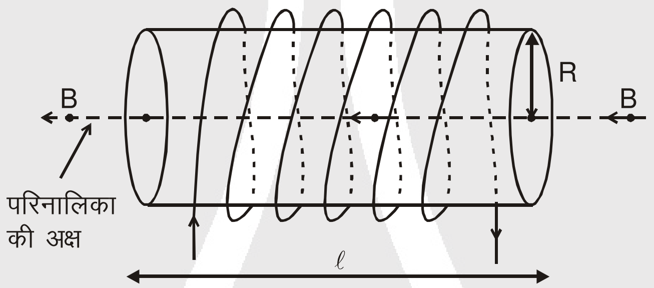
$\vec{A}$ = लूप के अभिलम्ब इकाई सदिश

दायें हाथ के नियम से ज्ञात किया जा सकता है जो अक्ष पर $\vec{B}$ की दिशा ज्ञात करने के लिए भी उपयोग किया जाता है। यह भी लूप के S से N की ओर होता है।



2.3.4 परिनालिका :

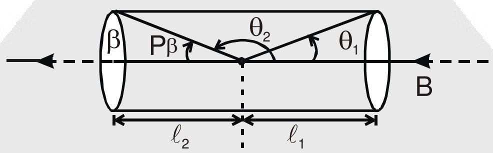
(i) एक परिनालिका में, बहुत अधिक संख्या में वृत्ताकार लूपों को अचालक बेलन पर कस कर लपेटा जाता है। (बेलन खोखला या ठोस हो सकता है।)



(ii) तारों के लपेटने की दिशा इसके अक्ष के अनुदिश समरूप चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को बताती है। चुम्बकीय क्षेत्र इसकी अक्ष के प्रत्येक बिन्दु पर समान होता है।

(iii) अक्ष पर (प्रत्येक घेरे एक दूसरे के बहुत निकट होने चाहिए)

$$B = \frac{\mu_0 ni}{2} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$



जहाँ n : एकांक लम्बाई में घेरों की संख्या

$$\cos\theta_1 = \frac{\ell_1}{\sqrt{\ell_1^2 + R^2}} \ ;$$

$$\cos\beta = \frac{\ell_2}{\sqrt{\ell_2^2 + R^2}} = -\cos\theta_2$$

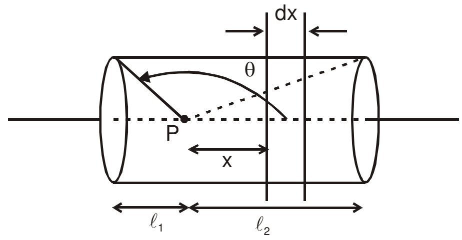
$$B = \frac{\mu_0 ni}{2}\left[\frac{\ell_1}{\sqrt{\ell_1^2 + R^2}} + \frac{\ell_2}{\sqrt{\ell_2^2 + R^2}}\right] = \frac{\mu_0 ni}{2} (\cos\theta_1 + \cos\beta)$$

Note : दिशा के लिए दाहिने हाथ के नियम का उपयोग करें। (यह लूप के कारण दिशा के समान ही होता है।)

व्युत्पत्ति :

'P' बिन्दु से 'x' दूरी पर एक 'dx' अवयव मानते हैं। (P बिन्दु वह बिन्दु है जिस पर हम चुम्बकीय क्षेत्र की गणना करना चाहते हैं।) अवयव में कुल घेरों की संख्या dn = ndx जहाँ n : एकांक लम्बाई में घेरों की संख्या है।

$$dB = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2+x^2)^{3/2}}\,(ndx)$$



$$B = \int dB = \int_{-\ell_1}^{\ell_2} \frac{\mu_0 i R^2 ndx}{2(R^2+x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 ni}{2}\left[\frac{\ell_1}{\sqrt{\ell_1^2+R^2}} + \frac{\ell_2}{\sqrt{\ell_2^2+R^2}}\right]$$

$$= \frac{\mu_0 ni}{2}\left[\cos\theta_1 - \cos\theta_2\right]$$

(iv) एक आदर्श "परिनालिका के लिए"

*** अन्दर की तरफ** (मध्य बिन्दु पर) **:**

$\ell >> R$ या अनन्त लम्बाई हो।

$\theta_1 \to 0$

$\theta_2 \to \pi$

$$B = \frac{\mu_0 ni}{2}\,[1-(-1)]$$

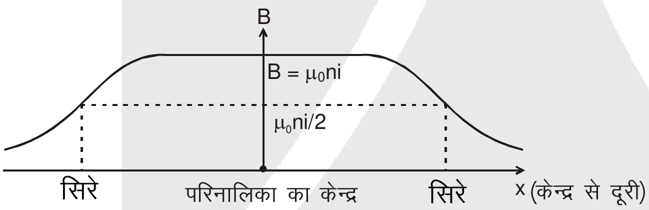
$$\mathbf{B = \mu_0 ni}$$

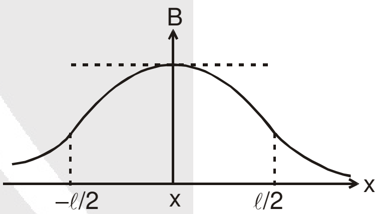
ठोस बेलन के पदार्थ की आपेक्षिक पारगम्यता 'μ_r' हो तो $B = \mu_0\mu_r ni$

अन्तिम सिरों पर $\mathbf{B} = \dfrac{\mu_0 ni}{2}$

(v) वास्तविक तथा आदर्श कुण्डली की तुलना :

(a) आदर्श कुण्डली **वास्तविक कुण्डली**

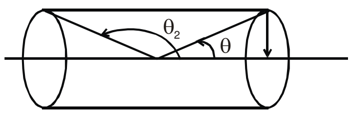




Solved Examples

Example 14. एक 0.4 मीटर लम्बी तथा 0.6 मीटर व्यास की परिनालिका में पतले तारों के एक तह वाले 1000 फेरे हैं। इसमें 5.0×10^{-3} ऐम्पियर की धारा बह रही है। परिनालिका की अक्ष पर मध्य में तथा सिरों पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता की गणना कीजिए। (दिया है $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \dfrac{V-s}{A-m}$)

Solution : $B = \dfrac{1}{2}\mu_0 ni\,[\cos\theta_1 - \cos\theta_2] \Rightarrow n = \dfrac{1000}{0.4} = 2500$ प्रति मीटर



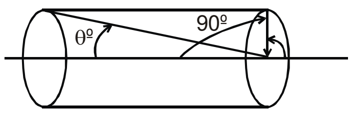
$i = 5 \times 10^{-3}$ A.

(i) $\cos\theta_1 = \dfrac{0.2}{\sqrt{(0.3)^2+(0.2)^2}} = \dfrac{0.2}{\sqrt{0.13}}$

$\cos\theta_2 = \dfrac{-0.2}{\sqrt{0.13}}$

$$\Rightarrow B = \frac{1}{2}\times(4\times\pi\times10^{-7})\times 2500\times 5\times 10^{-3}\,\frac{2\times0.2}{\sqrt{0.13}} = \frac{\pi\times10^{-5}}{\sqrt{13}}\,T$$

(ii) सिरों पर $\cos\theta_1 = \frac{0.4}{\sqrt{(0.3)^2+(0.4)^2}} = 0.8$



$\cos\theta_2 = \cos 90^\circ = 0$

$B = \frac{1}{2} \times (4 \times \pi \times 10^{-7}) \times 2500 \times 5 \times 10^{-3} \times 0.8$

$\Rightarrow B = 2\pi \times 10^{-6}\ Wb/m^2$

2.4 ऐम्पियर का परिपथ नियम :

किसी भी आकृति के बंद वक्र (पथ) का रैखीय समाकलन $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell}$, इस वक्र (पथ) द्वारा घिरे हुए क्षेत्रफल से पारित कुल धारा I का μ_0 (मुक्तावकाश की पारगम्यता) गुना होती है।

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I$$

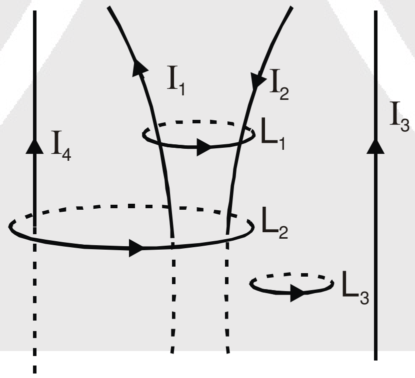
Note : **(a)** रैखीय समाकलन पथ की आकृति तथा इसके अन्दर तार की स्थिति पर निर्भर नहीं करता है।

(b) $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = 0$, इस कथन का अर्थ यह नहीं है कि पथ के अनुदिश प्रत्येक जगह $\vec{B} = 0$ है। इसका अर्थ केवल यह है की पथ से प्रवाहित कुल धारा शून्य है।

(c) **धारा का चिन्ह :** धारा द्वारा उत्पन्न $\vec{B}$ की दिशा $\vec{d\ell}$ की दिशा के समान है। (अर्थात् $\vec{B}\cdot\vec{d\ell}$ यदि धनात्मक है तो धारा की दिशा धनात्मक लेते हैं) तथा धारा द्वारा उत्पन्न $\vec{B}$ की दिशा $\vec{d\ell}$ के विपरीत है तो धारा की दिशा को ऋणात्मक लेते हैं।

Solved Examples

Example 15. चित्र में प्रदर्शित लूपों L_1, L_2, L_3 के लिए $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell}$ का मान ज्ञात करो। $\vec{d\ell}$ की दिशा चित्र में दर्शायी गयी है।



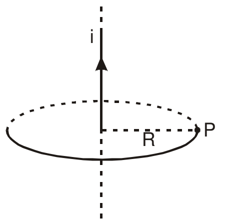
Solution : L_1 के लिए $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_0(I_1 - I_2)$ I_1 को धनात्मक लेते हैं, क्योंकि ऊपर से देखने पर I_1 द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय बल रेखाऐं वामावर्त होती हैं। I_2 द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय बल रेखाऐं दक्षिणावर्त होती है। ऊपर से देखने पर $\vec{d\ell}$ की दिशा दक्षिणावर्त है।

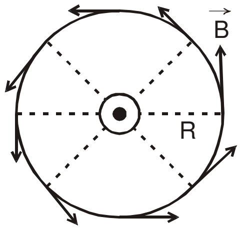
L_2 के लिए : $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_0 (I_1 - I_2 + I_4)$

L_3 के लिए : $\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = 0$

उपयोग :

2.4.1 अनन्त धारावाही तारों के कारण चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करना।





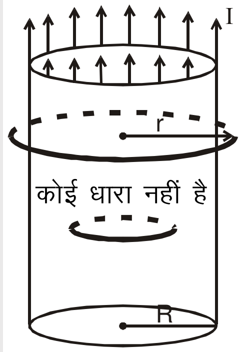
B.S.L. से (बायो सावर्ट नियम से) $\vec{B}$ वृत्ताकार रेखाऐं हैं। $\vec{d\ell}$ को भी वृत्त की स्पर्श रेखा पर लेते हैं।

$\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \oint B\cdot d\ell$ $\because \theta = 0^\circ$ so $B\oint d\ell = B\,2\pi R$ ($\because$ B = नियत)

अतः ऐम्पियर के नियम से :

$B\,2\pi R = \mu_0 I$ $\therefore\ B = \dfrac{\mu_0 i}{2\pi R}$

2.4.2. अनन्त लम्बाई का धारावाही खोखला बेलन : (धारा I इसकी परिधि में समान रूप से वितरित है**)**



(i) $r \geq R$ के लिए

समममिता से एम्पेरीयन लूप एक वृत्त है

$\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \oint B d\ell$

$\because \theta = 0$

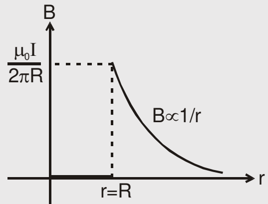
$= B\int_0^{2\pi r} d\ell$

$\because$ B = नियत $\Rightarrow$ $\mathbf{B} = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$

(ii) $r < R$

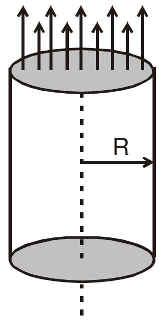
$\oint \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \oint B d\ell = B(2\pi r) = 0 \Rightarrow B_{\text{अन्दर}} = 0$

ग्राफ



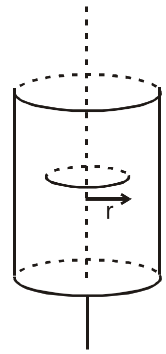
2.4.3 अनन्त लम्बाई का धारावाही ठोस बेलन :

यह मानना है कि धारा सम्पूर्ण अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल में एक समान रूप से वितरीत है।



धारा घनत्व $J = \dfrac{I}{\pi R^2}$

Case (I) : $r \leq R$



बेलन के अन्दर ऐम्पिरियन लूप मानने पर। सममितता से यह वृत्त है जिसका केन्द्र बेलन की अक्ष पर है तथा इसकी अक्ष बेलन की अक्ष के सम्पाती है।

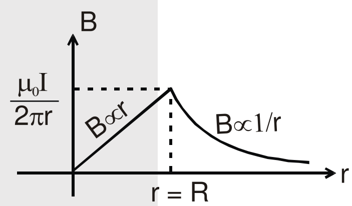
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \oint B d\ell = B\oint d\ell = B \,.\, 2\pi r = \mu_0 \frac{I}{\pi R^2} \pi r^2$$

$$B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} = \frac{\mu_0 J r}{2} \quad \Rightarrow \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 \vec{J} \times \vec{r}}{2}$$

Case (II) : $r \geq R$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \oint B d\ell = B\oint d\ell = B \,.\, (2\pi r) = \mu_0 \,.\, I$$

$$\Rightarrow \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \text{ also}$$



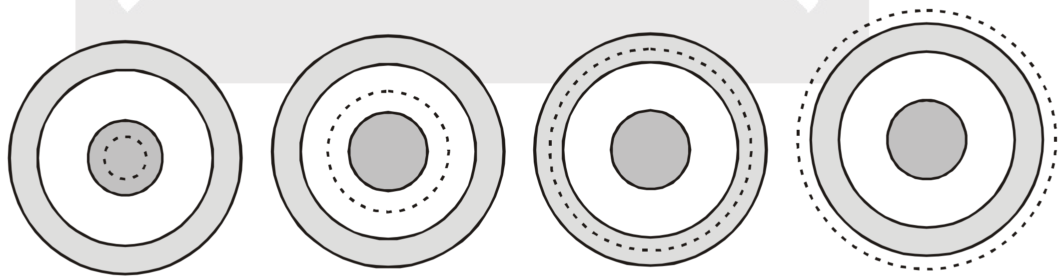
$$\vec{B}\ \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\ (\hat{J} \times \hat{r}) = \frac{\mu_0 J \pi R^2}{2\pi r}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 R^2}{2r^2} (\vec{J} \times \vec{r})$$

Solved Examples

Example 16. समाक्षीय केबल जिसके आन्तरिक तार की त्रिज्या 'a' है। यह एक बाह्य कोश जिसकी आन्तरिक तथा बाह्य त्रिज्यायें क्रमशः b तथा c है से घिरा हुआ है। आन्तरिक तार में विद्युत धारा i_0 तथा बाह्य कोश में समान धारा समान दिशा में प्रवाहित हो रही है तो अक्ष से x दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो जहाँ (a) $x < a$, (b) $a < x < b$ (c) $b < x < c$ तथा (d) $x > c$ है। यह मानना है कि आन्तरिक तार तथा बाह्य कोश में धारा घनत्व समरूप है।

Solution :



(a) (b) (c) (d)

चित्र में केबल का अनुप्रस्थ काट प्रदर्शित है। x त्रिज्या का वृत्त बनाते हैं, जिसका केन्द्र केबल की अक्ष पर होता है। चित्र के भाग a, b, c तथा d प्रश्न के चार भाग है। सममितता से, वृत्त के प्रत्येक बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण समान तथा वृत्त के स्पर्शरेखीय होगा। अतः B का परिसंचारण वृत्त के अनुदिश है,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = B 2\pi x$$

चित्र के प्रत्येक भाग में

(a) भाग (b) में वृत्त से परिबद्ध धारा i_0 है अतः $\frac{i_0}{\pi a^2} \cdot \pi x^2 = \frac{i_0}{a^2} x^2$.

ऐम्पियर के नियम से $\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 i$

$B.2\pi x = \frac{\mu_0 i_0 x^2}{a^2}$ or, $B = \frac{\mu_0 i_0 x}{2\pi a^2}$. दिशा वृत्त की स्पर्श रेखा के अनुदिश होगी।

(b) भाग (b) में वृत्त से परिबद्ध धारा i_0 है अतः

$B\ 2\pi x = \mu_0\ i_0$ या, $B = \frac{\mu_0 i_0}{2\pi x}$.

(c) बाह्य कोश का अनुप्रस्थ काट क्षेत्र $\pi c^2 - \pi b^2$ है। चित्र के भाग 'c' में बाह्य कोश का अनुप्रस्थ काट क्षेत्र $\pi x^2 - \pi b^2$ है।

अतः इस भाग से प्रवाहित धारा $\frac{i_0(x^2 - b^2)}{(c^2 - b^2)}$ है। इस धारा की दिशा आन्तरिक तार में प्रवाहित धारा के विपरित होती है। अतः वृत्त से प्रवाहित कुल धारा है।

$i_{कुल} = i_0 + \frac{i_0(x^2 - b^2)}{c^2 - b^2} = \frac{i_0(c^2 + x^2)}{c^2 - b^2}$.

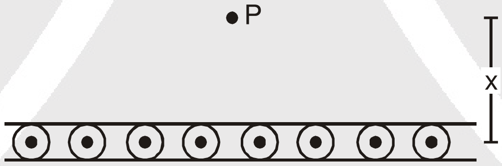
ऐम्पियर के नियम से,

$B\ 2\pi x = \frac{\mu_0 i_0 (c^2 + x^2)}{c^2 - b^2}$ या, $B = \frac{\mu_0 i_0 (c^2 + x^2)}{2\pi x (c^2 - b^2)}$

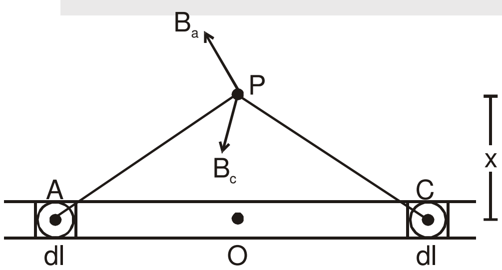
(d) चित्र के भाग 'd' में वृत्त से प्रवाहित कुल धारा $2i_0$ है। अतः

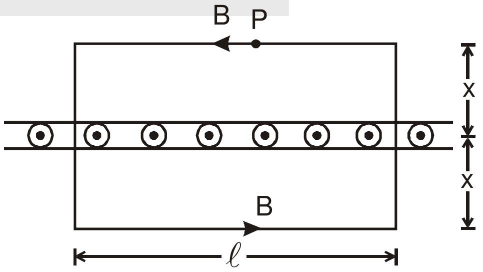
$B\ 2\pi x = \mu_0 2 i_0$ या, $B = \frac{\mu_0 i_0}{\pi x}$.

Example 17. चित्रानुसार एक बड़ी धातु की पट्टिका का अनुप्रस्थ काट क्षेत्र प्रदर्शित है। इसके पृष्ठ के अनुदिश धारा प्रवाहित हो रही है। 'dl' मोटाई की पट्टिका में प्रवाहित धारा λdl है। जहाँ λ एक नियतांक है तो धातु की पट्टिका से y दूरी पर स्थित बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो।



Solution : चित्रानुसार पट्टिका की दो परतें A तथा C बिन्दु P बिन्दु से समान दूरी पर है। परत A के कारण P पर चुम्बकीय क्षेत्र B_0, AP के लम्बवत् है। परत 'C' के कारण P पर चुम्बकीय क्षेत्र B_C, CP के लम्बवत् है। इन दोनों चुम्बकीय क्षेत्रों का परिणामी मोटाई AC से समान्तर है। सम्पूर्ण पट्टिका के कारण चुम्बकीय क्षेत्र भी इसी दिशा में है। माना इस क्षेत्र का परिमाण 'B' है।



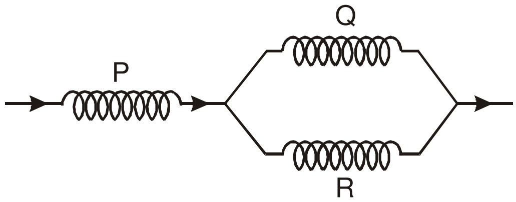


पट्टिका के दूसरी ओर समान दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र भी 'B' है परन्तु विपरित दिशा में है। चित्रानुसार आयत पर ऐम्पियर का नियम लगाने पर

$2B\ell = \mu_0 \lambda \ell$ या, $B = \frac{1}{2}\mu_0 \lambda$.

यह y पर निर्भर नहीं करता

Example 18. चित्रानुसार तीन समान लम्बाई की परिनालिकाएं P, Q तथा R एक दूसरे से जुड़ी हुई है। यदि 'P' के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र 4.0 T हो तो Q के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान ज्ञात करिये ? यह मानना है कि किसी परिनालिका का चुम्बकीय क्षेत्र केवल उसके आयतन में ही निहित है।



Solution : चूंकि सभी परिनालिकाऐं समान है अतः Q तथा R में धारा समान होगी तथा P में प्रवाहित धारा की आधी होगी। परिनालिका के अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र $B = \mu_0 ni$ होता हैं। अतः Q तथा R में चुम्बकीय क्षेत्र समान होगा तथा P में स्थित चुम्बकीय क्षेत्र का आधा होगा इसका मान 2.0 T होगा।

3. गतिशील आवेश पर बल

जब एक आवेश q, $\vec{B}$ चुम्बकीय क्षेत्र में $\vec{v}$ वेग से गति करता है तो गतिशील आवेश द्वारा अनुभव किया गया चुम्बकीय बल निम्न होता है :

$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ q का मान चिन्ह सहित रखना है।

$\vec{v}$: तात्क्षणिक वेग

$\vec{B}$: उस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र

Note : **(i)** $\vec{F} \perp \vec{v}$ तथा $\vec{F} \perp \vec{B}$

(ii) $\because$ $\vec{F} \perp \vec{v}$ $\therefore$ अतः चुम्बकीय बल के कारण आवेशित कण पर शक्ति शून्य होती है। (इसे सिद्ध करने के लिए शक्ति का सूत्र $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$ का उपयोग करते हैं)

(iii) $\because$ चुम्बकीय बल द्वारा किया गया कार्य शून्य होता है। चुम्बकीय बल आवेशित कण की चाल (या गतिज ऊर्जा) बढ़ा या घटा नहीं सकता। यह केवल वेग की दिशा को परिवर्तित कर सकता है।

(iv) विरामावस्था में स्थित आवेशित कण पर चुम्बकीय बल शून्य होता है।

(v) यदि $\vec{V} \parallel \vec{B}$ हो तो भी आवेशित कण पर चुम्बकीय बल शून्य होता है। यह सरल रेखा में तभी गति करता है जब चुम्बकीय बल कार्यरत होता है।

Solved Examples

Example 19. 5 mg द्रव्यमान वाले q = +2μC आवेशित कण का वेग $\vec{v} = 2\hat{i} - 3\hat{j} + 4\hat{k}$ हैं। चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = 3\hat{j} - 2\hat{k}$ के कारण आवेशित कण पर चुम्बकीय बल तथा इस क्षण इसका त्वरण ज्ञात कीजिए। $\vec{v}$ तथा $\vec{B}$ क्रमशः m/s तथा Wb/m^2 में है।

Solution : $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = 2 \times 10^{-6}\,(2\hat{i} - 3\hat{j} \times 4\hat{k}) \times (3\hat{j} - 2\hat{k}) = 2 \times 10^{-6}\,[-6\hat{i} + 4\hat{j} + 6\hat{k}]$ N

न्यूटन के नियम से $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{2 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-6}}(-6\hat{i} + 4\hat{j} + 6\hat{k})$

$= 0.8(-3\hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k})$ m/s^2

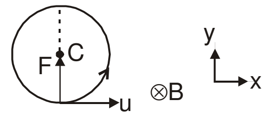
3.1 चुम्बकीय बल के प्रभाव में आवेशित कण की गति

(i) यदि कण मुक्त किया जाता है अर्थात v = 0 तो $f_m = 0$ अतः कण विराम में रहेगा

(ii) $\vec{V} \parallel \vec{B}$ यहाँ θ = 0 या θ = 180º

$\therefore F_m = 0 \quad \therefore \vec{a} = 0 \quad \therefore \vec{V}$ = नियत

अतः कण एक समान वेग से सरल रेखा में गति करेगा



(iii) प्रारम्भिक वेग $\vec{u} \perp \vec{B}$ तथा $\vec{B}$ = एक समान चुम्बकीय क्षेत्र

∵ यहाँ B, Z की दिशा में है अतः z की दिशा में चुम्बकीय बल शून्य होगा $\left(\because \ \vec{F_m} \perp \vec{B}\right)$

यहाँ z-दिशा में प्रारम्भिक वेग शून्य है।

अतः कण हमेशा xy तल में गति करेगा।

अतः वेग सदिश हमेशा $\perp \vec{B}$ के लम्बवत् होता है,

$\therefore \ F_m = quB$ = नियत

$quB = \frac{mu^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mu}{qB}$ = नियत

कण ऐसे पथ पर गति करता है। जिसकी वक्रता त्रिज्या सभी जगह एक समान होती है, किसी तल में ऐसा वक्र वृत्त होता है। अतः कण का पथ वृत्ताकार होगा है।

$R = \frac{mu}{qB} = \frac{p}{qB} = \frac{\sqrt{2mk}}{qB}$

यहाँ p = रैखीय संवेग ; k = गतिज ऊर्जा

अब $v = \omega R \Rightarrow \omega = \frac{qB}{m} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

आवर्त काल $T = 2\pi m/qB$

आवृत्ति $f = qB/2\pi m$

Note : ω, f, T वेग पर निर्भर नहीं करते।

Solved Examples

Example 20. किसी चुम्बकीय क्षेत्र में समान गतिज ऊर्जा वाले कण प्रोटॉन (p), α-कण तथा ड्यूटरॉन (D) वृत्ताकार पथों पर गतिशील है तो उनके पथों की त्रिज्याओं तथा आवर्तकालों का अनुपात ज्ञात करो। (कणों के मध्य अन्योन्य बल को नगण्य मानना है।)

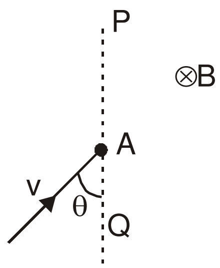
Solution : $R = \frac{\sqrt{2mK}}{qB}$

$\therefore \ R_p : R_\alpha : R_D = \frac{\sqrt{2mK}}{qB} : \frac{\sqrt{2.4mK}}{2qB} : \frac{\sqrt{2.2mK}}{qB} = 1 : 1 : \sqrt{2}$

$T = 2\pi m/qB$

$\therefore \ T_p : T_\alpha : T_D = \frac{2\pi m}{qB} : \frac{2\pi 4m}{2qB} : \frac{2\pi 2m}{qB} = 1 : 2 : 2$ **Ans.**

Example 21. चित्रानुसार m द्रव्यमान तथा धनात्मक आवेश 'q' का कण समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में v वेग से प्रवेश करता है। PQ के बांयी ओर चुम्बकीय क्षेत्र नहीं हैं तो निम्न ज्ञात कीजिए –

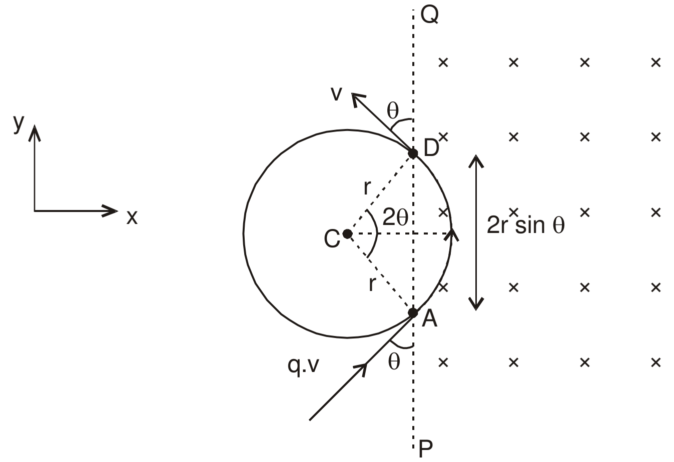


(i) कण कितनी देर चुम्बकीय क्षेत्र में रहा,

(ii) चुम्बकीय क्षेत्र में तय की गई दूरी

(iii) चुम्बकीय क्षेत्र का आवेश

Solution : कण चित्र में दिखाये गये क्षेत्र में गति करेगा चाप द्वारा केन्द्र पर बनाया गया कोण = 2θ



(i) आवेश कितनी देर चुम्बकीय क्षेत्र में रहा

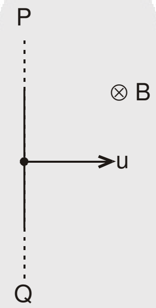
$= 2\theta \Rightarrow \frac{qB}{m}\, t = 2\theta \Rightarrow t = \frac{2m\theta}{qB}$

(ii) आवेश द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र में तय की गई दूरी $= r(2\theta) = \frac{mv}{qB} . 2\theta$

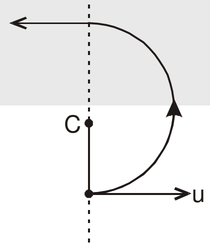
(iii) आवेग = रेखीय संवेग में परिवर्तन

$= (-mv \sin\theta\, \hat{i} + mv \cos\theta\, \hat{j}) - (mv \sin\theta\, \hat{i} + mv \cos\theta\, \hat{j}) = -2mv \sin\theta\, \hat{i}$

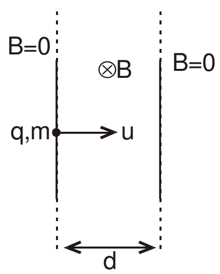
Example 22. चित्रानुसार 'PQ' के बांयी ओर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य है तथा 'PQ' के दांयी ओर समरूप चुम्बकीय क्षेत्र है तो कण कितनी देर चुम्बकीय क्षेत्र में रहेगा?



Solution : पथ अर्द्धवृत्ताकार होगा अतः व्यतित समय = T/2 = $\pi m/qB$



Example 23. 'd' चौड़ाई के चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता 'B' है। चित्रानुसार 'm' द्रव्यमान तथा 'q' आवेश का कण चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् प्रवेश करता है। तो चुम्बकीय क्षेत्र में कण कितनी देर रहेगा, यदि

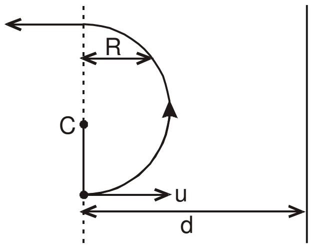


(i) $d > \frac{mu}{qB}$

(ii) $d < \frac{mu}{qB}$

Solution : (i) $d > \frac{mu}{qB}$ अर्थात् $d > R$

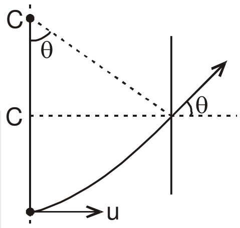
$\therefore t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{qB}$



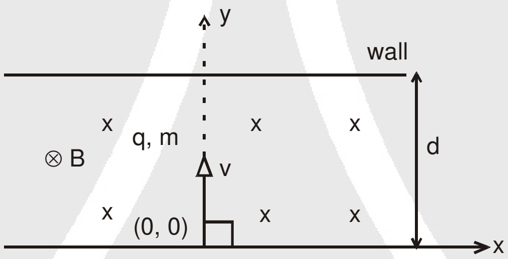
(ii) $\sin\theta = \frac{d}{R}$

$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{d}{R}\right)$

$\omega t = \theta \Rightarrow t = \frac{m}{qB}\sin^{-1}\left(\frac{d}{R}\right)$



Example 24. आवेशित कण की चाल कितनी होनी चाहिए जिससे यह ऊपरी दीवार पर टकराये नहीं? सीमान्त वेग की स्थिति में कण नीचे की प्लेट पर जहाँ टकरायेगा उस बिन्दु के निर्देशांक ज्ञात करिये?

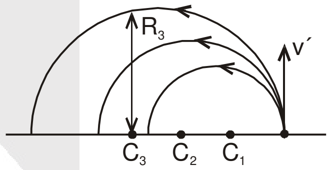


Solution : (i) कण का पथ वृत्ताकार होगा

कण का वेग जितना अधिक होगा उतनी बड़ी उसके पथ की त्रिज्या होगी।

कण के न टकराने की शर्त $R < d$

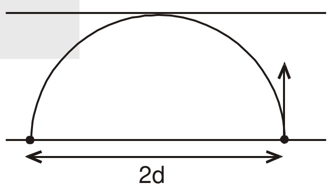
$\therefore \frac{mv}{qB} < d \Rightarrow v < \frac{qBd}{m}$.



(ii) सीमान्त स्थिति में $v = \frac{qBd}{m}$

$R = d$

$\therefore$ निर्देशांक = (–2d, 0, 0)

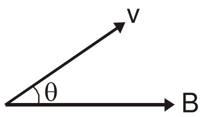


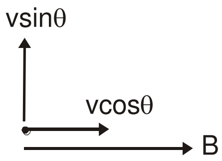
3.2 सर्पिलाकार पथ :

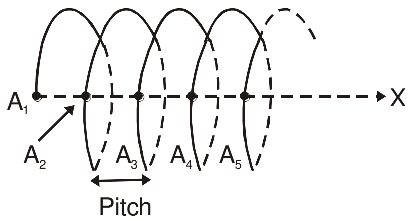
यदि आवेश का वेग चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् नहीं है तो वेग के दो घटक कर सकते हैं। $v_{\parallel}$ चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर तथा $v_{\perp}$ चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत्, $v_{\parallel}$ घटक अपरिवर्तित रहता है क्योंकि बल इसके $q\vec{v}\times\vec{B}$ लम्बवत् है। वेग के लम्बवत् घटक के कारण कण $r = \frac{mv_{\perp}}{qB}$ त्रिज्या के वृत्ताकार पथ पर गति करता है। इन दोनों के कारण परिणामी पथ सर्पिलाकार (कुण्डलिनी) होता है।

विश्लेषण :

माना किसी कण का प्रारम्भिक वेग कागज के तल में है तथा समरूप तथा नियत चुम्बकीय क्षेत्र भी कागज के तल में है।







कण बिन्दु A_1 से गति प्रारम्भ करता है तथा एक वृत्तीय चक्कर A_2 पर पूरा करता है। तथा 2nd चक्कर A_3 पूरा करता है तथा इसी प्रकार आगे के पथ पर चलता है।

x-अक्ष, कुण्डलिनी बिन्दुओं $A_1, A_2, A_3, \ldots\ldots\ldots$की स्पर्श रेखा होती है।

यह सभी बिन्दु x-अक्ष पर उपस्थित हैं।

दूरी $A_1A_2 = A_3A_4 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = v\cos\theta.\ T$ = चूड़ी अंतराल (Pitch)

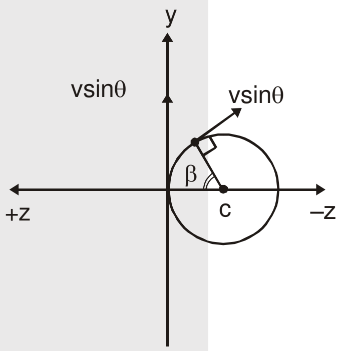
जहाँ T = आवर्तकाल

माना कण की प्रारम्भिक स्थिति (0, 0, 0) तथा $v\sin\theta$ +y दिशा में हो तो

x दिशा में : $F_x = 0,\ a_x = 0,\ v_x$ = नियतांक $= v\cos\theta,\ x = (v\cos\theta)t$

y-z तल में :

चित्र में स्पष्ट है कि



$\beta = \omega t$

$y = R\sin\beta,\ v_y = v\sin\theta\cos\beta$

$z = -(R - R\cos\beta)$

$v_z = v\sin\theta\sin\beta$

केन्द्र की ओर त्वरण $= (v\sin\theta)^2/R = \omega^2 R$

$\therefore\ a_y = -\,\omega^2 R\sin\beta,\ a_z = -\,\omega^2 R\cos\beta$

किसी भी समय : कण का स्थिति सदिश

(या प्रारम्भिक स्थिति के सापेक्ष इसका विस्थापन)

$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$, x, y, z पहले से ज्ञात है।

वेग $\vec{v} = v_x\hat{i} + v_y\hat{j} + v_z\hat{k}$, v_x, v_y, v_z पहले से ज्ञात है।

$\vec{a} = a_x\hat{i} + a_y\hat{j} + a_z\hat{k}$, a_x, a_y, a_z पहले से ज्ञात है।

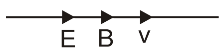
त्रिज्या $q(v\sin\theta)B = \dfrac{m(v\sin\theta)^2}{R} \Rightarrow R = \dfrac{mv\sin\theta}{qB}$; $\omega = \dfrac{v\sin\theta}{R} = \dfrac{qB}{m} = \dfrac{2\pi}{T} = 2\pi f.$

3.3 $\vec{E}$ & $\vec{B}$ में आवेशित कण

जब एक आवेशित कण विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ तथा चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में प्रवेश करता है तो कण पर लगने वाला कुल बल निम्न समीकरण द्वारा दिया जाता है।

$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{V} \times \vec{B})$

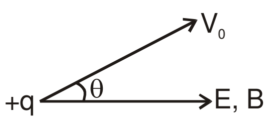
इस संयुक्त बल को लॉरेन्ज का बल कहते हैं।

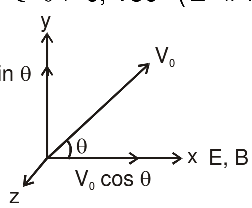


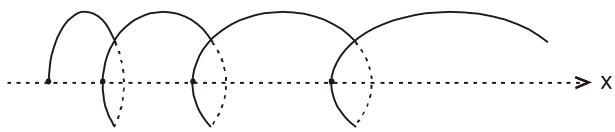
$\vec{E} \parallel \vec{B} \parallel \vec{v}$

उपरोक्त स्थिति में कण बिना विचलित हुए गुजर जायेगा लेकिन विद्युत क्षेत्र की वजह से इसका वेग परिवर्तित होगा। इस पर चुम्बकीय क्षेत्र = 0

Case II : $\vec{E} \parallel \vec{B}$ तथा समरूप है $\theta \neq 0, 180°$ ($\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ नियत तथा समरूप है।)





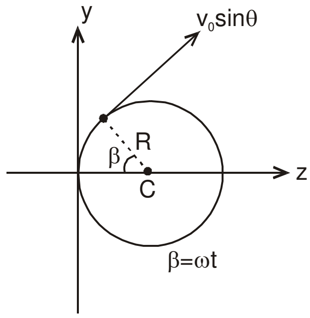


x दिशा में : $F_x = qE$, $a_x = \frac{qE}{m}$, $v_x = v_0 \cos\theta + a_x t$, $x = v_0 t + \frac{1}{2} a_x t^2$

y-z तल में :

$qv_0 \sin\theta\, B = m(v_0 \sin\theta)^2 / R$

$\Rightarrow \quad R = \frac{mv_0 \sin\theta}{qB}$, $\omega = \frac{v_0 \sin\theta}{R} = \frac{qB}{m} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$



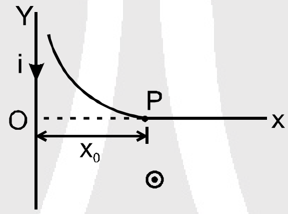
$\vec{r} = \{(V_0 \cos\theta)t + \frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2\}\hat{i} + R\sin\omega t\ \hat{j} + (R - R\cos\omega t)(-\hat{k})$

$\vec{V} = \left(V_0\cos\theta + \frac{qE}{m}t\right)\hat{i} + (V_0 \sin\theta)\cos\omega t\ \hat{j} + V_0 \sin\theta \sin\omega t\ (-\hat{k})$

$\vec{a} = \frac{qE}{m}\hat{i} + \omega^2 R[-\sin\beta\ \hat{j} - \cos\beta\ \hat{k}]$

Solved Examples

Exampel 25. एक लम्बे सीधे तार में i धारा प्रवाहित हो रही है। m द्रव्यमान तथा q आवेश के कण को तार की तरफ x_0 दूरी से v चाल से चित्रानुसार प्रक्षेपित किया जाता है तो कण तथा तार के बीच की न्यूनतम दूरी ज्ञात करो?



Solution : चित्रानुसार माना कण P बिन्दु पर है। तार को Y-अक्ष तथा P बिन्दु से तार पर लम्ब डालने पर प्राप्त बिन्दु को मूल बिन्दु लेते हैं। OP रेखा को X-अक्ष पर मानते हैं। अतः $OP = x_0$ है। तार के दाहिनी ओर किसी भी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र B धनात्मक Z-अक्ष के अनुदिश होता है। कण पर चुम्बकीय बल X–Y तल में है तथा इसकी चाल अपरिवर्तित रहती है। चूंकि चुम्बकीय क्षेत्र समरूप नहीं है। अतः कण वृत्तीय पथ के अनुदिश गति नहीं करेगा।

t समय में बल $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = q(\vec{i}\ v_x + \vec{j}\ v_y) \times \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi x}\hat{k}\right) = -\ \vec{j} q v_x \frac{\mu_0 i}{2\pi x} + \vec{i}\ q v_y \frac{\mu_0 i}{2\pi x}$.

इस प्रकार $a_x = \frac{F_x}{m} = \frac{\mu_0 q i}{2\pi m}\frac{v_y}{x} = \lambda \frac{v_y}{x}$ ....(i)

जहाँ $\lambda = \frac{\mu_0 q i}{2\pi m}$.

और, $a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{dv_x}{dx}\frac{dx}{dt} = \frac{v_x dv_x}{dx}$ ....(ii)

चूंकि, $v_x^2 + v_y^2 = v^2$,

$v_x\, dv_x = -\, v_y\, dv_y$. ....(iii)

समी० (i), (ii) तथा (iii) से,

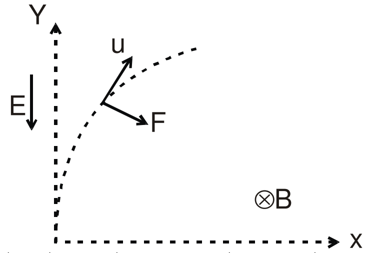
$\frac{v_y dv_y}{dx} = \frac{-\lambda v_y}{x}$ तो, $\frac{dx}{x} = \frac{-dv_y}{\lambda}$

प्रारम्भ में $x = x_0$ तथा $v_y = 0$ तार में न्यूनतम दूरी पर $v_x = 0$ है जिसमें $v_y = v$ होगा

इस प्रकार $\int_{x_0}^{x}\frac{dx}{x} = \int_0^v \frac{dv_y}{-\lambda}$

या, $\ln\frac{x}{x_0} = \frac{v}{\lambda}$ या, $x = x_0\, e^{v/\lambda} = x_0\, e^{\frac{2\pi m v}{\mu_0 q i}}$.

Example 26. एक इलेक्ट्रॉन को ऐसे क्षेत्र में मुक्त किया जाता है। जहाँ समरूप विद्युत क्षेत्र E तथा समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B क्रमशः ऋणात्मक Y-अक्ष तथा ऋणात्मक Z-अक्ष के अनुदिश है। जब इलेक्ट्रॉन का वेग पहली बार चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् होता है तब इलेक्ट्रॉन का Y-अक्ष के अनुदिश विस्थापन कितना हो जायेगा।



Solution : चित्रानुसार माना प्रदर्शित अक्षों को मानने पर दाहिने हाथ के नियम से, चित्र में Z-अक्ष की दिशा ऊपर की ओर होगी। अतः चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा नीचे की ओर होगी। किसी समय, इलेक्ट्रॉन का वेग निम्न प्रकार लिखते हैं।

$\vec{u} = u_x\vec{i} + u_y\vec{j}$

विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र क्रमशः निम्न है

$\vec{E} = -E\vec{j}$ तथा $\vec{B} = -B\vec{k}$

इलेक्ट्रॉन के घटक $\vec{F} = -e(\vec{E} + \vec{u}\times\vec{B}) = eE\vec{j} + eB(u_y\vec{i} - u_x\vec{j})$

$F_x = eu_y B$ तथा $F_y = e(E - u_xB)$

इलेक्ट्रॉन के घटक

$a_x = \dfrac{du_x}{dt} = \dfrac{eB}{m}u_y$ ....(i)

तथा $a_y = \dfrac{du_y}{dt} = \dfrac{e}{m}(E - u_xB)$ ....(ii)

हम जानते हैं, $\dfrac{d^2u_y}{dt^2} = -\dfrac{eB}{m}\dfrac{du_x}{dt} = -\dfrac{eB}{m}.\dfrac{eB}{m}u_y = -\omega^2 u_y$

जहाँ $\omega = \dfrac{eB}{m}$ ....(iii)

यह समीकरण सरल आवर्त गति की समीकरण के समान है अतः ,

$u_y = A\sin(\omega t + \delta)$ .....(iv)

तथा, $\dfrac{du_y}{dt} = A\omega\cos(\omega t + \delta)$ .....(v)

t = 0, पर $u_y = 0$ तथा $\dfrac{du_y}{dt} = \dfrac{F_y}{dt} = \dfrac{eE}{m}$.

(iv) को (v) में रखने पर, $\delta = 0$ and $A = \dfrac{eE}{m\omega}\dfrac{E}{B}$. अतः, $u_y = \dfrac{E}{B}\sin\omega t$.

जब $u_y = 0$ है तो इलेक्ट्रॉन का पथ Y-अक्ष के लम्बवत् होगा। यह पहली बार 't' समय पर होगा।

जहाँ $\sin\omega t = 0$ या, $\omega t = \pi$ या, $t = \dfrac{\pi}{\omega} = \dfrac{\pi m}{eB}$

$u_y = \dfrac{dy}{dt} = \dfrac{E}{B}\sin\omega t$; $\int_0^y dy = \dfrac{E}{B}\sin\omega t\ dt$

$y = \dfrac{E}{B\omega}(1 - \cos\omega t)$; $t = \dfrac{\pi}{\omega}$ पर

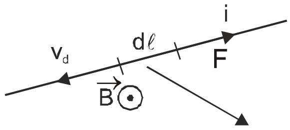
$y = \dfrac{E}{B\omega}(1 - \cos\pi) = \dfrac{2E}{B\omega}$

अतः Y-अक्ष के अनुदिश विस्थापन है -

$\dfrac{2E}{B\omega} = \dfrac{2Em}{BeB} = \dfrac{2Em}{eB^2}$ **Ans.**

3.4 धारावाही तार पर चुम्बकीय बल :

माना एक चालक तार में i धारा प्रवाहित हो रही है तथा यह चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में रखा है। चित्रानुसार तार पर अल्पांश $d\ell$ मानते हैं। मुक्त इलेक्ट्रॉन v_d वेग से धारा की विपरीत दिशा में अनुगमित होते हैं तो धारा i तथा अनुगमन वेग v_d से संबंध निम्न है -



$i = jA = nev_dA$ ....(i)

यहाँ A तार का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल है तथा 'n' एकांक आयतन में मुक्त इलेक्ट्रॉन्स की संख्या है। प्रत्येक इलेक्ट्रॉन पर एक औसत (औसत क्यों?) चुम्बकीय बल लगाता है।

$$\vec{f} = -e\vec{v}_d \times \vec{B}$$

अल्पांश $d\ell$ में स्थित मुक्त इलेक्ट्रॉन की संख्या $nAd\ell$ है। अतः $d\ell$ लम्बाई के तार पर चुम्बकीय बल है -

$$d\vec{F} = (nAd\ell)(-e\vec{v}_d \times \vec{B})$$

यदि हम $d\ell$ लम्बाई को धारा के अनुदिश $\vec{d\ell}$ से दर्शायें तो

$$d\vec{F} = nAev_d\vec{d\ell} \times \vec{B}$$

समीकरण (i) का उपयोग करने पर,

$$d\vec{F} = id\vec{\ell} \times \vec{B}$$

$id\vec{\ell}$ राशि को धारा अवयव कहते हैं।

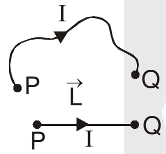
$$\overrightarrow{F_{\text{परिणामी}}} = \int d\vec{F} = \int id\vec{\ell} \times \vec{B} = i\int \vec{d\ell} \times \vec{B}$$

($\because$ i तार के प्रत्येक बिन्दु पर समान है।)

यदि $\vec{B}$ समरूप है तो $\vec{F}_{\text{परिणामी}} = i(\int \vec{d\ell}) \times \vec{B}$

$$\overrightarrow{F_{\text{परिणामी}}} = i\vec{L} \times \vec{B}$$

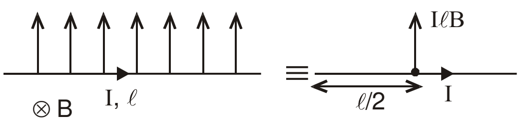
यहाँ $\vec{L} = \int d\vec{\ell}$ = तार की सदिश लम्बाई = तार के अन्तिम बिन्दुओं को जोड़ने वाला सदिश

$\Rightarrow$ 

Note : यदि किसी भी आकृति का धारावाही लूप एक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में रख दिया जाये तो इस पर $\left.\overrightarrow{F_{\text{परिणामी}}}\right)_{\text{चुम्बकीय}} = 0$ होगा। ($\because \vec{L} = 0$).

3.5 चुम्बकीय क्षेत्र का क्रिया बिन्दु :

समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में रखे सीधे धारावाही तार पर लगने वाले बल को हम तार के केन्द्र पर लगने वाला बल मान सकते हैं।



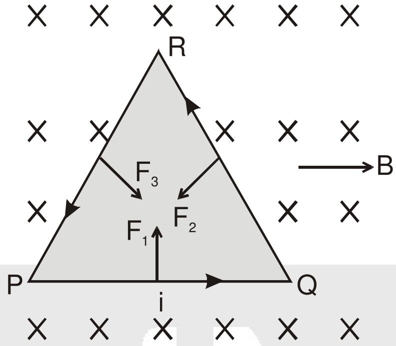
यह बल आघूर्ण को ज्ञात करने के लिए उपयोगी है।

Solved Examples

Example 27. एक तार को मोड़ कर समबाहु त्रिभुज PQR बनाया जाता है, इसकी प्रत्येक भुजा 20 cm है तथा इसमें 2.5 A की धारा प्रवाहित हो रही हैं यह 2.0 T वाले चुम्बकीय क्षेत्र B में रखा है। इसकी दिशा लूप के तल के लम्बवत् अन्दर की ओर है, तो त्रिभुज की भुजाओं पर लगने वाले बल ज्ञात करिये।

Solution : माना चुम्बकीय क्षेत्र तथा धारा की दिशा चित्रानुसार है तो PQ पर बल –

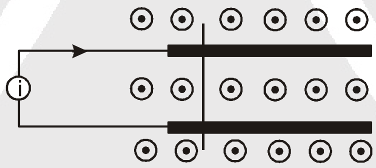
$\vec{F}_1 = i\vec{\ell} \times \vec{B}$



या, F_1 = 2.5 A × 20 cm × 2.0 T = 1.0 N

सदिश गुणनफल के नियम से F_1, PQ के लम्बवत् है तथा इसकी दिशा त्रिभुज में अंदर की ओर है। इसी प्रकार QR तथा RP पर बल $\vec{F}_2$ तथा $\vec{F}_3$ ज्ञात कर सकते हैं। दोनों बलों का परिमाण 1.0 N है। दोनों क्रमशः QR तथा RP भुजा के लम्बवत् तथा इनकी दिशा त्रिभुज के अंदर की ओर है। तीनों बल $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ तथा $\vec{F}_3$ का परिणामी शून्य है अतः त्रिभुज पर कुल चुम्बकीय बल शून्य होगा।

Example 28. चित्रानुसार दो लम्बी समान्तर धातु की पटरीयां क्षैतिज रूप से रखी है। इनके बीच की दूरी y है। समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B की दिशा उर्ध्वाधर ऊपर की ओर है। m द्रव्यमान का तार पटरीयों पर फिसल सकता है। पटरीयां एक नियत धारावाही स्रोत से जुड़ी है। यह स्रोत परिपथ में i धारा प्रवाहित करता है। पटरीयों तथा तार के बीच घर्षण गुणांक μ है।



(a) तार को पटरीयों पर फिसलने से रोकने के लिए न्यूनतम घर्षण गुणांक μ का मान कितना होगा?

(b) यदि μ का मान उपरोक्त भाग में प्राप्त मान का आधा हो तो तार की गति का वर्णन करो

Solution : (a) चुम्बकीय क्षेत्र के कारण तार पर लगने वाला $\vec{F} = i\vec{y} \times \vec{B}$ या, F = iyB

चित्र में इसकी दिशा दाहिनी ओर है। यदि तार पटरियों पर फिसलता नहीं है तो पटरियों पर घर्षण बल का मान F के बराबर होना चाहिए। μ_0 हो तो घर्षण बल μ_0 mg के बराबर होगा अतः,

$\mu_0 mg = iyB$ या, $\mu_0 = \frac{iyB}{mg}$

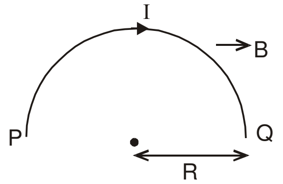
(b) यदि घर्षण गुणांक $\mu = \frac{\mu_0}{2} = \frac{iyB}{2mg}$, हो तो तार दाहिनी ओर फिसलेगा।

पटरियों द्वारा घर्षण बल है $f = \mu mg = \frac{iyB}{2}$ बांयी ओर

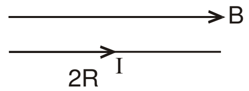
अतः परिणामी बल $iyB - \frac{iyB}{2} = \frac{iyB}{2}$ दांयी ओर है।

त्वरण $= \frac{iyB}{2m}$ होगा। तार इस त्वरण से दांयी ओर गति करेगा।

Example 29. चित्रानुसार अर्द्धवृत्ताकार तार समरूप चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में रखा है इसकी दिशा दाहिनी ओर है। इस पर परिणामी चुम्बकीय बल तथा बल आघूर्ण ज्ञात करो।

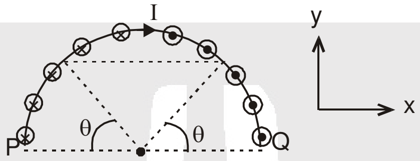


Solution : यह तार निम्न के तुल्य है



$\because\ \theta = 0, \qquad \therefore\ F_{\text{परिणामी}} = 0$ **Ans.**

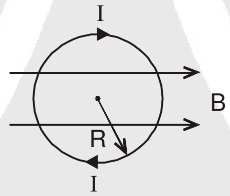
चित्र में तार के प्रत्येक भाग पर बल की दिशा ⊗ तथा ⊙ द्वारा प्रदर्शित है। सममितता से यहाँ बल के युग्म बनते हैं जो बलयुग्म का निर्माण करते हैं।



$$\tau = \int_0^{\pi/2} i(Rd\theta)B\sin(90-\theta).2R\cos\theta$$

$$\tau = \frac{i\pi R^2}{2}B \Rightarrow \qquad \vec{\tau} = \frac{i\pi R^2}{2}B(-\hat{j})$$ **Ans.**

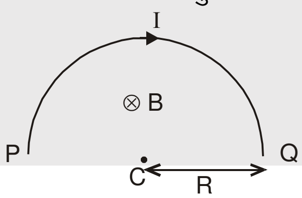
Example 30. लूप पर परिणामी चुम्बकीय बल तथा बल आघूर्ण ज्ञात करो?



Solution : $\overrightarrow{F_{\text{परिणामी}}} = 0$, ($\because$ लूप है) तथा $\vec{\tau} = i\pi R^2 B(-\hat{j})$

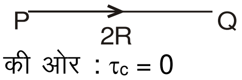
उपरोक्त विधि का उपयोग करने पर

Example 31. चित्र में प्रदर्शित लूप में 'C', तथा 'P' पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो?

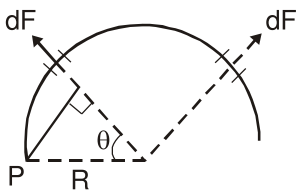


Solution : $\vec{F}_{\text{कुल}} = I\ .\ 2R.B$

$\because$ तार निम्न के तुल्य है

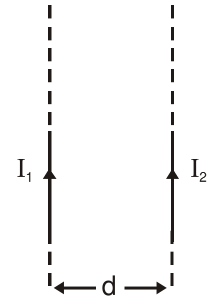


तार के प्रत्येक भाग पर बल बाहर की ओर : $\tau_c = 0$

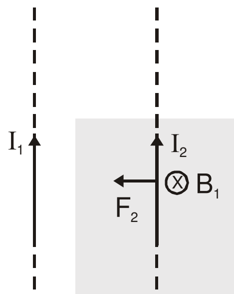


P बिन्दु पर $P = \int_0^{\pi}[i(Rd\theta)B\sin 90°]R\sin\theta = 2IBR^2$ **Ans.**

Example 32. सिद्ध करो कि अनन्त लम्बाई के प्रत्येक तार द्वारा दूसरे तार की एकांक लम्बाई पर लगने वाला बल $\mu_0 I_1 I_2/2\pi d$ होता है। यह भी सिद्ध करो कि बल आकर्षण प्रकृति का है।



Solution :



(i) के कारण (2) पर B $= \dfrac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \otimes$ है

$\therefore$ इसलिए तार (2) की 1 m लम्बाई पर बल $= I_2 . \dfrac{\mu_0 I_1}{2\pi d}.1$ बांयी ओर (आकर्षण) $= \dfrac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$ (सिद्ध हुआ)

इसी प्रकार दूसरे तार पर भी ज्ञात कर सकते हैं।

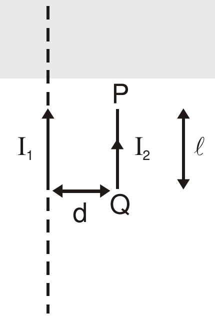
Note : ❑ ऐम्पियर की परिभाषा (यह धारा की मूलभूत इकाई है)

उपरोक्त सूत्र का प्रयोग करने पर

यदि $I_1 = I_2 = 1A$, $d = 1m$ हो तो $F = 2 \times 10^{-7}$ N

$\therefore$ "जब दो लम्बे धारावाही तार एक दूसरे से 1m की दूरी पर रखे हों तथा दोनों एक दूसरे की 1 मी. की लम्बाई पर 2×10^{-7} N का बल लगाते हों तो दोनों तारों में प्रवाहित धारा का मान 1 एम्पीयर होता है।"

❑ उपरोक्त सूत्र का प्रयोग तब भी कर सकते हैं जब एक तार अनन्त लम्बाई का हो तथा दूसरा सीमित लम्बाई का हो। इस स्थिति में प्रत्येक तार द्वारा दूसरे तार की एकांक लम्बाई पर लगाया गया बल समान नहीं होगा।



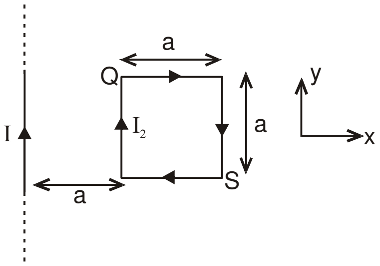
PQ की एकांक लम्बाई पर बल $= \dfrac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$ (आकर्षण)

(3) यदि धारा की दिशा विपरीत हो तो तारों के मध्य लगने वाला बल प्रतिकर्षण प्रकृति का होता है।

Solved Examples

Example 33. तार के कारण लूप 'PQRS' पर लगने वाला चुम्बकीय बल ज्ञात करो।

Solution :

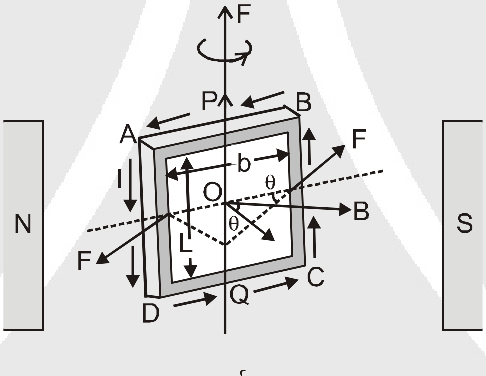


$$F_{res} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} a(-\hat{i}) + \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi(2a)} a(\hat{i}) = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi}(-\hat{i})$$

4. आवेशित लूप (बन्ध पथ) पर बलाघूर्ण :

जब किसी आवेशित कुण्डली को समान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है, तो इस पर लगने वाला कुल बल हमेशा शून्य होता है। यद्यपि, इसके भिन्न–भिन्न भाग, अलग–अलग दिशाओं पर बल अनुभव करेगे अतः यह कुण्डली एक बलाघूर्ण अनुभव करेगी, जो कि कुण्डली के विन्यास (orientation) और अक्ष के घूर्णन पर निर्भर करता है।

इसके लिये, हम समान क्षेत्र B में एक आयताकार कुण्डली मानते है, जो कि लम्बवत् अक्ष PQ के अनुदिश घूर्णन करने को मुक्तहै और चुम्बकीय क्षेत्र, कुण्डली के तल के लम्बवत् से, कोण θ बनाता है, जैसा की चित्र 'A' में दिया गया है।



(A)

भुजा AB और CD क्रमशः लम्बवत् ऊपर और नीचे की ओर B(NI) b बल अनुभव करेगी। इन दोनों बलों का आपस में कुल बल, शून्य होगा और बलाघूर्ण भी शून्य होगा (क्योंकि ये घूर्णन अक्ष के साथ संरेखीय है) अतः इन बलों का कुण्डली की गति पर कोई प्रभाव नही पड़ेगा।

भुजा AC और BD पर क्रमशः पेज के बाहर की ओर और पेज के अन्दर की ओर बल क्रमशः BINL है, जिनका कुल बल शून्य होगा, लेकिन वामावर्त दिशा में बलाघूर्ण का मान होगा–

$\tau = F \times Arm = BINL \times (b \sin\theta)$

i.e. $\tau = BIA \sin\theta$ जहाँ $A = NLb$ ....(i)

अब आवेशित कुण्डली को द्विध्रुव आघूर्ण $\vec{M} = I\vec{A}$ के समान मानने पर समीकरण (i) को सदिश रूप में लिखने पर

$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$ [जहाँ $\vec{M} = I\vec{A} = NIA\vec{n}$ ....(ii)]

यह आवश्यक परिणाम है और इससे यह स्पष्ट है कि :

(1) यदि $\sin\theta$ = न्यूनतम = 0, मतलब $\theta = 0^\circ$ और $\theta = 180^\circ$ तब बलाघूर्ण न्यूनतम होगा। मतलब कुण्डली का तल, चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत है अतः कुण्डली का लम्ब, क्षेत्र के संरेखीय है।

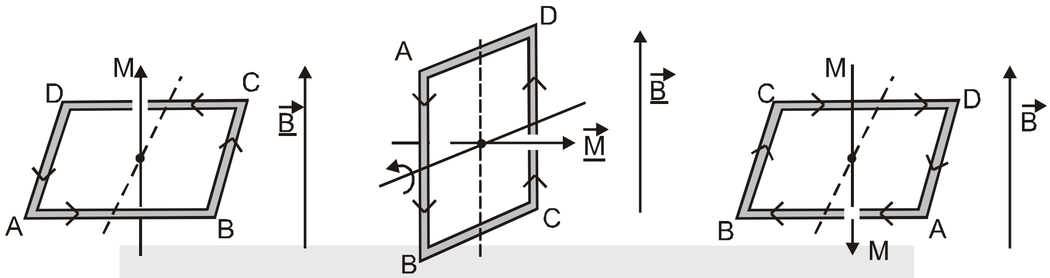
(2) जब $\sin\theta$ = अधिकतम = 1, $\Rightarrow \theta = 90^\circ$ तब बलाघूर्ण अधिकतम होगा। कुण्डली का तल चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर होगा। अतः कुण्डली का लम्ब, क्षेत्र के लम्बवत् होगा।

(3) परावैद्युत (Dielectric) और क्षेत्र के द्विध्रुव आघूर्ण के समान, आवेशित क्षेत्र की स्थिति में

$$U = -\vec{M} \bullet \vec{B} \qquad \text{जहाँ} \qquad F = -\frac{dU}{dr}$$

तथा $W = MB(1 - \cos\theta)$

क्षेत्र में कुण्डली के भिन्न–भिन्न विन्यास के लिये U और W के मान चित्रानुसर बताये गये है।

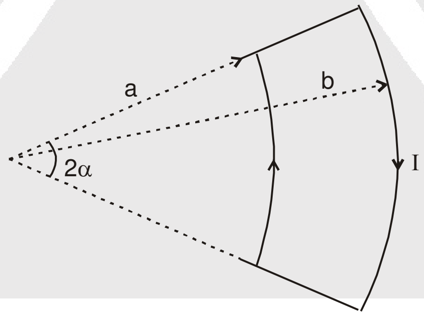


(A)	(B)	(C)
$\theta = 0^\circ$ ($\vec{M}$, $\vec{B}$ के समान्तर है)	$\theta = 90^\circ$ ($\vec{M}$, $\vec{B}$ के लम्बवत् है)	$\theta = 180^\circ$ ($\vec{M}$, $\vec{B}$ के प्रतिसमान्तर है।)
$\tau = 0$ = न्यूनतम	$\tau = MB$ = अधिकतम	$\tau = 0$
$W = 0$ = न्यूनतम	$W = MB$	$W = 2MB$ = अधिकतम
$U = -MB$ = न्यूनतम	$U = 0$	$U = MB$ = अधिकतम
स्थायी साम्यावस्था	कोई साम्यावस्था नही है	अस्थायी साम्यावस्था

(4) उपकरण जैसे– विद्युत मोटर, गतिमान कुण्डली, गैल्वेनोमीटर और स्पर्शी गैलवेनोमीटर इत्यादि इसी बात पर निर्भर करते है कि समान विद्युत क्षेत्र में आवेशित कुण्डली, बलाघूर्ण अनुभव करती है।

Solved Examples

Example 34. I धारा का एक लूप, I_0 धारा वाले लम्बे सीधे तार के क्षेत्र में है। लूप का तल सीधे तार के लम्बवत् है, लूप पर कार्यरत बलाघूर्ण का मान ज्ञात करो?



Solution : $d\vec{s} = (rd\theta\, dr)$ (अन्दर की ओर)

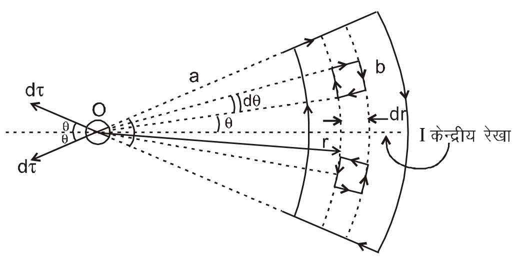
$d\vec{M} = (rI\, d\theta\, dr)$ (अन्दर की ओर)

$\vec{B} = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r}$ (दक्षिणावर्त स्पर्शीय)

$d\tau = |d\vec{M} \times \vec{B}| = \frac{\mu_0 I I_0 d\theta dr}{2\pi}$ (केन्द्र की ओर)

$\therefore \quad \tau = \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_a^b d\tau \cos\theta = \frac{\mu_0 I I_0}{2\pi} \int_{-\alpha}^{\alpha} \int_a^b \cos\theta\, d\theta\, dr$

$= \frac{\mu_0 I I_0 (b-a)\sin\alpha}{\pi}$ (बांयी तरफ) **Ans.**



Example 35. एक वृत्ताकार कुण्डली की त्रिज्या R तथा इसमें धारा I है, यह इसके व्यास से गुजरने वाले स्थिर अक्ष के सापेक्ष घूर्णन कर सकती है, प्रारम्भ मे इस प्रकार रखी हुई है कि इसका तल, चुम्बकीय क्षेत्र B के अनुदिश है। कुण्डली या लूप की गतिज उर्जा क्या होगी जब यह 90° कोण से घूम जाए। (I को नियत मानते हुए)

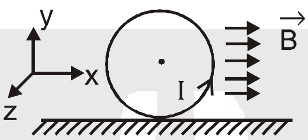
(A) $\pi R^2 BI$ (B) $\frac{\pi R^2 BI}{2}$ (C) $2\pi R^2 BI$ (D) $\frac{3}{2}\pi R^2 I$

Answer : **(A)**

Solution : स्थितिज ऊर्जा में हानि = गतिज ऊर्जा में वृद्वि

$(-MB\cos 90°) - (-MB\cos 0^0) = KE$

Example 36. प्रदर्शित चित्र में m = 2kg द्रव्यमान तथा R = 0.5 m त्रिज्या की एक चालक वलय घर्षणरहित क्षैतिज तल पर स्थित है तथा इस वलय का तल ऊर्ध्वाधर है, वलय में प्रवाहित धारा $I = \frac{1}{\pi}A$ है। B = 12T का एक समान क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र t = 0 पर चालू किया जाता है वलय का प्रारम्भिक कोणीय त्वरण α rad./sec^2 में 4x है तब x होगा :



Answer : **3**

Solution :

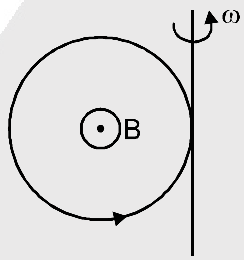
$\tau_{y\text{-axis}} = I_{y\text{-axis}}\,\alpha$

$(I.\pi r^2)\,B = 1/2\; mr^2\alpha$

$\alpha = 12$ rad/sec^2

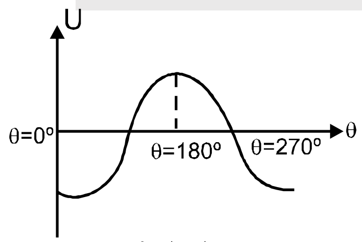
$\therefore \quad X = 3$

Example 37. एक धारावाही वलय, जिसमें प्रवाहित नियत धारा $\frac{2}{\pi}$ Amp., त्रिज्या 1m, द्रव्यमान $\frac{2}{3}$ kg व 10 फेरे है, इसके स्पर्श रेखीय ऊर्ध्व अक्ष के परितः घूर्णन के लिए स्वतन्त्र है। इसके तल के अभिलम्बवत् 1 टेसला का समरूप चुम्बकीय क्षेत्र लगाया गया। दर्शाई दिशा में वलय को कितना न्यूनतम कोणीय वेग (rad/sec. में) दिया जाए, जिससे यह उसी दिशा में 270º कोण से घूम जाये। अपना उत्तर रेडियन/सैकण्ड मात्रक में निकटतम एक अंकीय मान में व्यक्त कीजिए।



Answer : **9**

Solution :



$\theta = 270º$, पहुँचने के लिए इसी $\theta = 180º$ पर स्थितिज ऊर्जा अवरोध पार करना होगा तथा $\theta = 180º$ पार करने के लिए $\theta = 180º$ पर कोणीय वेग 0^+ होना चाहिए

$k_i + U_i = k_f + U_y$

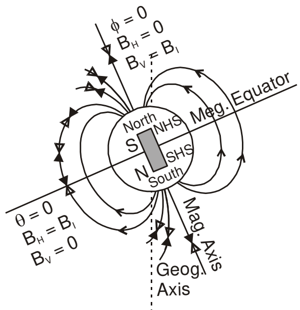
$\frac{1}{2}\left(\frac{3}{2}MR^2\right)\omega^2 + (-Mi\,AB\cos 0º) = 0 + (-NiAB\cos 180º)$

$\omega = \sqrt{80} \approx 9$ rad/sec.

5. भू–चुम्बकत्व (Terrestrial magnetism) (पृथ्वी का चुम्बकत्व) :

5.1 प्रस्तावना (Introduction) :

पृथ्वी चुम्बकीत है, यह विचार सबसे पहले सोलहवी सदी के अन्त डॉ० विलियम गिल्बर्ट द्वारा दिया गया। पृथ्वी के चुम्बकत्व की उत्पत्ति अभी भी वैनानिकों के मध्य बहस का विषय है परन्तु इस बात पर सभी सहमत है कि पृथ्वी चुम्बकीय द्विध्रुव की तरह व्यवहार करती है जो कि पृथ्वी की घूर्णन अक्ष से एक छोटे से कोण (11.5º) पर झुका हुआ है। तथा इसका दक्षिणी ध्रुव उत्तर की और इंगित है। पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की बल रेखाये चित्र में प्रदर्शित है तथा जो कि भूमध्य रेखा के पास पृथ्वी की सतह के समान्तर है और ध्रुवों के पास लम्बवत् है। पृथ्वी के चुम्बकत्व को अध्ययन करने हेतु निम्न बातों का ध्यान रखना चाहिये।



(a) किसी स्थान पर **चुम्बकीय याम्योत्तर** (magnetic meridian) एक रेखा नही है लेकिन यह एक मुक्त लटकी हुई चुम्बक के अक्ष से पारित लम्बवत् तल है। मतलब यह एक तल है जो कि स्थान और चुम्बकीय अक्ष को रखता है।

(b) किसी स्थान पर **भौगोलिक याम्योत्तर** (meridian) एक लम्बवत् तल होता हे जो कि भौगोलिक उत्तर और दक्षिण ध्रुव को मिलाने वाली रेखा से गुजरता है। मतलब यह वह तल है जो कि स्थान और पृथ्वी के घूर्णन अक्ष को (मतलब भौगोलिक अक्ष) को रखता है।

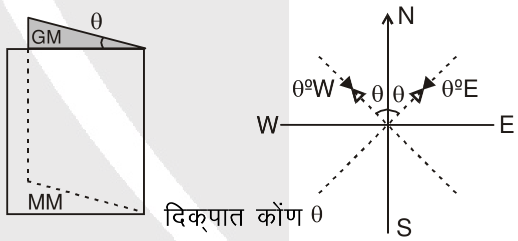
(c) **चुम्बकीय मध्य रेखा**, पृथ्वी की सतह पर एक बड़ा वृत्त होता है, जो कि चुम्बकीय अक्ष के लम्बवत् होता है। चुम्बकीय मध्य रेखा जो कि दक्षिण भारत के त्रिवेन्द्रम से गुजरती है, पृथ्वी को दो अर्द्धगोलो में विभाजित करता है। पृथ्वी के चुम्बकत्व का दक्षिणी ध्रुवता रखने वाला अर्द्धगोला, उत्तरीगोलार्द्ध (NHS) कहलाता है। जबकि दूसरा दक्षिणी अर्द्धगोलार्द्ध (SHS) कहलाता है।

(d) पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र नियत नही होता है तथा यह अनियमित रूप से जगह–जगह पृथ्वी की सतह पर बदलता है और यह किसी दिये गये स्थान पर समय के साथ भी बदलता है।

5.2 पृथ्वी के चुम्बकत्व के अवयव :

पृथ्वी का चुम्बकत्व तीन भागो में, जिन्हे पृथ्वी के चुम्बकत्व के अवयव कहते है, विभाजित है :

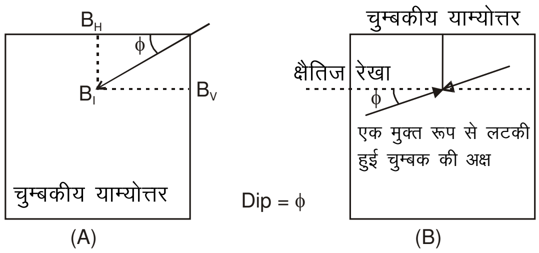
(a) परिवर्तन या उतार या दिक्पात कोंण θ (declination) : किसी दिये गये स्थान पर भौगोलिक याम्योत्तर और चुम्बकीय याम्योत्तर के मध्य θ, दिक्पात कोंण कहलाता है अर्थात् किसी दिये गये स्थान पर यह भौगोलिक उत्तर–दक्षिण दिशा और चुम्बकीय सुई द्वारा दर्शायी दिशा के मध्य कोण है। किसी स्थान दिक्पात कोंण को θ^o E या θ^o W से बताया जाता है, जो कि इस बात पर निर्भर है कि सुई का उत्तरी ध्रुव भौगोलिक उत्तर–दक्षिण दिशा से दांयी तरफ पूर्व में है या बांयी तरफ (पश्चिम) में है।



(A) (B)

लन्दन में दिक्पात कोंण 10ºW है मतलब लन्दन में सुई का उत्तरी ध्रुव 10ºW बिन्दू पर है अर्थात् भौगोलिक उत्तरी ध्रुव को बांयी तरफ है।

(b) झुकाव या नमन कोण या नति कोंण (dip angle) ϕ : वह कोण जो पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की परिणामी तीव्रता की दिशा, किसी दिये स्थान के चुम्बकीय याम्योत्तर में क्षैतिज रेखा से बनाती है। वास्तव में यह वह कोण है जो स्वतंत्रता पूर्वक लटकी हुयी चुम्बक की अक्ष (ऊपर और निचे) किसी दिये गये स्थान के चुम्बकीय याम्योत्तर में क्षैतिज के साथ बनाती है।



(A) (B)

यहाँ यह ध्यान देने लायक है कि जैसे उत्तरी गोलार्द्ध पृथ्वी के चुम्बकत्व की दक्षिणी ध्रुवता रखता है उसमें स्वतंत्रता पूर्वक लटकी हुई चुम्बक का उत्तरी ध्रुव नीचे की ओर झुकेगा। (अर्थात् पृथ्वी की तरफ) जबकि विपरीत दक्षिणी गोलार्द्ध में स्थान लेगा।

किसी स्थान का नमन कोण को, नमन वृत्त नाम के यंत्र से मापा जाता है जिसमें एक चुम्बकीय सुई उर्ध्व तल में घूर्णन हेतु मुक्त रहती है जिसे हम किसी भी उर्ध्वाधर तल में व्यवस्थित कर सकते है। दिल्ली का झुकाव का कोण 42º है।

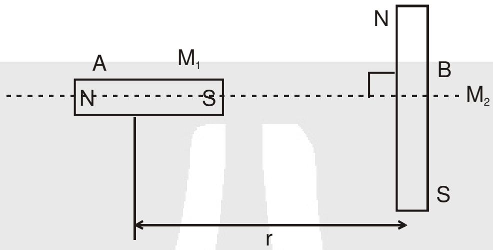
(c) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र B_H का क्षैतिज घटक: किसी दिये गये स्थान पर इसे चुम्बकीय याम्योत्तर में चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के रूप में परिभाषित किया जाता है। इसे B_H द्वारा प्रदर्शित किया जाता है तथा कम्पन्न या चुम्बकत्व मापी यंत्र की सहायता से मापा जाता है। दिल्ली में पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक 35μT है i.e. 0.35G यदि किसी स्थान पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र B_1 है और नमन कोण ϕ है, तो चित्र (a) के अनुसार

$B_H = B_I \cos\phi$ तथा $B_v = B_I \sin\phi$ ....(1)

अतः यहाँ, $\tan\phi = \dfrac{B_v}{B_H}$ तथा $I = \sqrt{B_H^2 + B_v^2}$ ....(2)

Solved Miscellaneous Problems

Problem 1. चित्रानुसार चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण क्रमशः M_1 व M_2 वाले होते चुम्बक A व B रखे गये है। 'A' की अक्ष व 'B' की निरक्ष (मध्य रेखा) रेखा एक ही है। किसी एक चुम्बक के कारण दूसरे पर चुम्बकीय बल ज्ञात करो।



Answer : $F = 3\left(\dfrac{\mu_0}{4\pi}\right)\dfrac{M_2M_1}{r^4}$ M_1 पर ऊपर की ओर ; M_2 पर नीचे की ओर

Solution : चुम्बक B में कारण चुम्बकीय क्षेत्र : $B = \dfrac{\mu_0}{4\pi}.\dfrac{M_2}{r^3}$

चुम्बक A पर लगने वाला चुम्बकीय बल : $F = M_1\dfrac{dB}{dr} = -3\left(\dfrac{\mu_0}{4\pi}\right)\dfrac{M_1M_2}{r^4}$

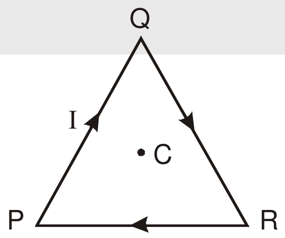
Problem 2. एक छड़ चुम्बक की ध्रुव प्राबल्य 3.6 A-m व चुम्बकीय लम्बाई 8 cm है। चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो। (a) उत्तरी ध्रुव की ओर अक्ष पर केन्द्र से 6 cm दूर किसी बिन्दु पर व (b) समान दूरी पर लम्बअर्धक पर किसी बिन्दु पर।

Answer : (a) 8.6×10^{-4} T ; (b) 7.7×10^{-5} T.

Solution : $M = 3.6 \times 8 \times 10^2$ A.m^2

(a) $B = \dfrac{\mu_0}{4\pi}.\dfrac{2Mr}{(r^2 - a^2)^2} = 8.6 \times 10^{-4}$ T. (b) $B = \dfrac{\mu_0}{4\pi}.\dfrac{M}{(r^2 + a^2)^{3/2}} = 7.7 \times 10^{-5}$ T

Problem 3. एक समबाहु त्रिभुज की आकृति के एक लूप की भुजा 'a' व इसमें प्रवाहित धारा I चित्रानुसार है। त्रिभुज के केन्द्र C पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो।



Answer : $\dfrac{9\mu_0 i}{2\pi a}$

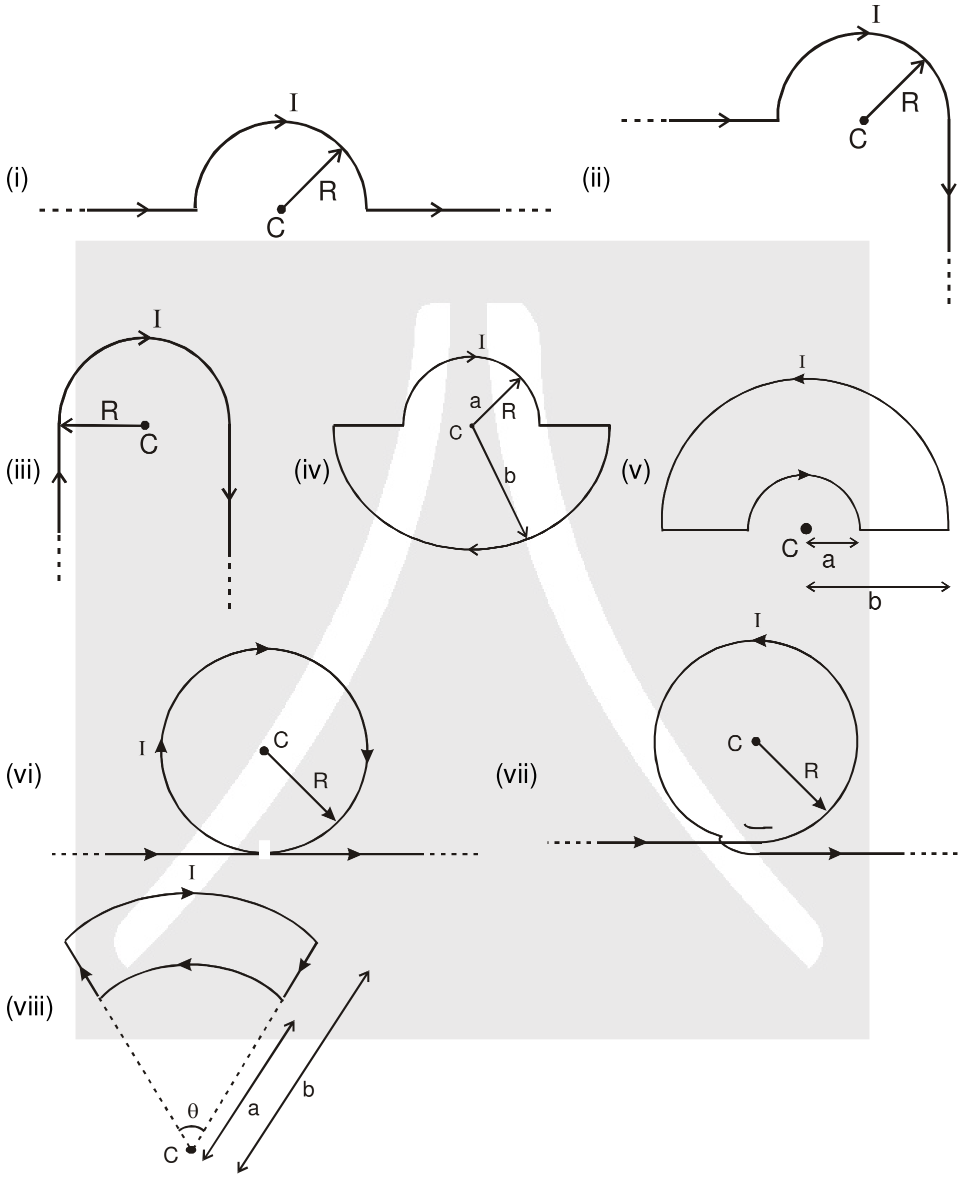
Solution : $B = B_1 + B_2 + B_3 = 3B_1 = 3\dfrac{\mu_0}{4\pi} \times \dfrac{i}{\left(\dfrac{a}{2\sqrt{3}}\right)} \times (\sin 60^\circ + \sin 60^\circ) = \dfrac{9\mu_0 i}{2\pi a}$

Problem 4. दो लम्बे तार x व y अक्ष के अनुदिश रखे हैं। उनसे I_1 व I_2 धारा क्रमशः +ve x व +ve y दिशा में प्रवाहित है। बिन्दु (0, 0, d) पर $\vec{B}$ ज्ञात करो।

Answer : $\frac{\mu_0 I}{2\pi d}(\hat{i}-\hat{j})$

Solution : $\vec{B}=\vec{B}_1+\vec{B}_2=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{d}((-\hat{j})+\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{d}(\hat{i})=\frac{\mu_0 I}{2\pi d}(\hat{i}-\hat{j}))$

Problem 5. निम्न स्थितियों में केन्द्र 'C' पर 'B' ज्ञात करो।



Answer :
(i) $\frac{\mu_0 I}{4R}\otimes$
(ii) $\frac{\mu_0 I}{4R}\left(1+\frac{1}{\pi}\right)\otimes$
(iii) $\frac{\mu_0 I}{2R}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{\pi}\right)\otimes$
(iv) $\frac{\mu_0 I}{4}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right)\otimes$
(v) $\frac{\mu_0 I}{4}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)\otimes$
(vi) $\frac{\mu_0 I}{2R}\left(1-\frac{1}{\pi}\right)\otimes$
(vii) $\frac{\mu_0 I}{2R}\left(1+\frac{1}{\pi}\right)\odot$
(viii) $\frac{\mu_0 I\theta}{4\pi}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)\odot$

Solution :
(i) $B=\frac{\mu_0 I}{2R}\times\frac{1}{2}=\frac{\mu_0 I}{4R}$

(ii) $B=B_1+B_2=\left(\frac{\mu_0 I}{2R}\times\frac{1}{2}\right)+\left(\frac{\mu_0}{4\pi}.\frac{I}{R}\right)=\frac{\mu_0 I}{4R}\left(1+\frac{1}{\pi}\right)$

(iii) $B = B_1 + B_2 + B_3 = 2B_1 + B_2 = \left(2\times\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{R}\right) + \left(\frac{\mu_0 I}{2R}\times\frac{1}{2}\right) = \frac{\mu_0 I}{2R}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{\pi}\right)$

(iv) $B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0}{2a}\times\frac{1}{2}+\frac{\mu_0}{2b}\times\frac{1}{2} = \frac{\mu_0 I}{4}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right)$

(v) $B = B_1 - B_2 = \left(\frac{\mu_0 I}{2a}\times\frac{1}{2}-\frac{\mu_0 I}{2b}\times\frac{1}{2}\right) = \frac{\mu_0 I}{4}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$

(vi) $B = B_1 - B_2 = \frac{\mu_0 I}{2R}-\frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{\mu_0 I}{2R}\left(1-\frac{1}{\pi}\right)$

(vii) $B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 I}{2R}+\frac{\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{\mu_0 I}{2R}\left(1+\frac{1}{\pi}\right)$

(viii) $B = B_1 - B_2 = \frac{\mu_0 I}{2a}-\frac{\mu_0 I}{2b}\times\frac{\theta}{2\pi} = \frac{\mu_0 I\theta}{4\pi}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$

Problem 6. एक परिनालिका में जिसकी लम्बाई 0.4 m तथा तार के 500 फेरे हैं, 1 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है तो परिनालिका के अन्दर इसके अक्ष पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो?

Answer : $5\pi \times 10^{-4}$ T.

Solution : $B = \mu_0 ni = \frac{\mu_0 Ni}{\ell} = 5\pi \times 10^{-4}$ T.

Problem 7. 2C के आवेशित कण को ऊर्ध्वाधर ऊपर की ओर 10 m/s के वेग से फैंका जाता है। तो पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के कारण आवेश पर लगने वाली चुम्बकीय बल ज्ञात करो। पृथ्वी का उर्ध्वाधर घटक = $3\mu T$ तथा नति कोण = 37^o.

Answer : $2 \times 10 \times 4 \times 10^{-6} = 8 \times 10^{-5}$ N पश्चिम की ओर

Solution : $\tan 37^o = \frac{B_V}{B_H} \Rightarrow \quad B_H = \frac{4}{3} \times 3 \times 10^{-6}$ T

$F = q\, v\, B_H = 8 \times 10^{-5}$ N

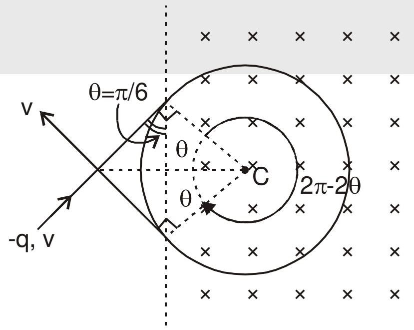
Problem 8. $\vec{B} = -3\hat{i}+2\hat{j}-4\hat{k}$ चुम्बकीय क्षेत्र में आवेश का त्वरण $\vec{a} = 2\hat{i}+x\hat{j}$ है तो x का मान ज्ञात करो।

Solution : $\because \vec{F}\perp\vec{B} \;\therefore\; \vec{a}\perp\vec{B} \;\therefore \vec{a}\cdot\vec{B} = 0$

$\therefore (2\hat{i}+x\hat{j}) \cdot (-3\hat{i}+2\hat{j}-4\hat{k}) = 0 \Rightarrow \quad -6 + 2x = 0 \Rightarrow \quad x = 3.$

Problem 9. यदि आवेश ऋणात्मक हो तथा क्षेत्र की अन्तिम स्थिति (अर्थात् PQ रेखा) से वेग द्वारा बनाया गया कोण $\frac{\pi}{6}$ है तो उपरोक्त प्रश्न को दोहराओ।

Solution : (i) $2\pi - 2\theta = 2\pi - 2.\frac{\pi}{6} = 2\pi - \frac{\pi}{3} = \frac{5\pi}{3} = \omega t = \frac{qBt}{m} \Rightarrow t = \frac{5\pi m}{3qB}$



(ii) तय की गई दूरी $s = r(2\pi - 2\theta) = \frac{5\pi r}{3}$

(iii) आवेग = रेखीय संवेग परिवर्तन $= m(-v \sin\theta\,\hat{i} + v\cos\theta) - m(v \sin\theta\,\hat{i} + v\cos\theta)$

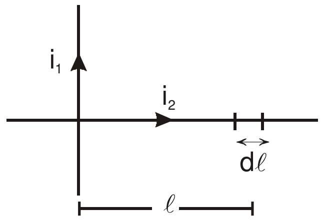
$= -2mv \sin\theta\,\hat{i} = -2mv \sin\frac{\pi}{6}\,\hat{i} = -mv\,\hat{i}$

Problem 10. q आवेश तथा m द्रव्यमान के कण को समरूप तथा नियत चुम्बकीय क्षेत्र B में प्रक्षेपित किया जाता है। प्रारम्भिक वेग सदिश $\vec{v}$, $\vec{B}$ से 'θ' कोण बनाता है तो कण द्वारा 't' समय में तय की गई दूरी ज्ञात करो?

Answer : vt

Solution : कण की चाल परिवर्तित नहीं हो रही है, अतः कण द्वारा तय दूरी s = vt

Problem 11. दो लम्बे तारों में i_1 तथा i_2 धारा प्रवाहित हो रही है यह परस्पर लम्बवत् इस प्रकार रखे हैं कि एक दूसरे को स्पर्श न करें तो प्रथम तार से ℓ दूरी पर स्थित द्वितीय तार के अल्पांश पर चुम्बकीय बल ज्ञात करो।



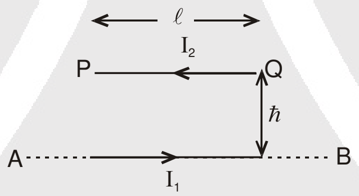
Solution : चित्रानुसार प्रथम तार के कारण 'dℓ' पर चुम्बकीय क्षेत्र है, $B = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi\ell}$

चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा कागज के तल के लम्बवत् अंदर की ओर है। dℓ लम्बाई पर चुम्बकीय बल,

$$dF = i_2\, d\ell\, B \sin 90^\circ = \frac{\mu_0 i_1 i_2 d\ell}{2\pi\ell}$$

यह बल धारा i_1 के समान्तर है।

Problem 12. चित्रानुसार तार AB तथा PQ में नियत धारा क्रमशः I_1 तथा I_2 प्रवाहित हो रही है। PQ की लम्बाई ℓ में 'm' द्रव्यमान समान रूप से वितरीत है। AB तथा PQ क्षैतिज रूप से एक ही ऊर्ध्वाधर तल में रखे हैं। PQ, h ऊँचाई पर साम्यावस्था में है।



(i) 'h' को I_1, I_2, ℓ, m, g तथा अन्य मानक नियतांक के पदों में ज्ञात करो।

(ii) सिद्ध करो यदि तार PQ को ऊर्ध्वाधर अल्प विस्थापन से विस्थापित करें तो यह सरल आवर्त गति करेगा। इसका आवर्तकाल h तथा g के पदों में ज्ञात करो।

Solution : (i) चुम्बकीय प्रतिकर्षण बल इसके भार को सन्तुलित कर लेता है -

$$\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi h}\, \ell\, mg \qquad \Rightarrow \qquad h = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi mg}$$

(ii) माना तार को नीचे की ओर x (<< h) दूरी विस्थापित करते हैं तो इस पर चुम्बकीय बल बढ़ जायेगा। जिससे यह साम्यावस्था प्राप्त कर लेगा। अतः यह दोलन गति करेगा।

$$F_{res} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi(h-x)}\ell - mg = \frac{mgh}{h-x} - mg = \frac{mg(h-h+x)}{h-x}$$

$$= \frac{mg}{h-x}\, x \cong \frac{mg}{h}\, x \text{ के लिए } x << h$$

$$\therefore \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{mg/h}} = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$$ **Ans.**

HANDOUT –1 धारा का चुम्बकीय प्रभाव तथा आवेश/धारा पर चुम्बकीय बल
(ELECTRO MAGNETIC FORCE & MOVE ON CHARGE OR CURRENT)

1. पदार्थो का चुम्बकीय वर्गीकरण शैथिल्य :–

(A) उनके चुम्बकीय व्यवहार के आधार पर पदार्थो का वर्गीकरण :

सभी पदार्थ चुम्बकीय गुण प्रदर्शित करते है। छड़ चुम्बक के ध्रुव की ओर लोहे की कील को ले जाने पर यह प्रबलता से इसकी ओर आकर्षित होती है तथा इससे चिपक जाती है। इसी प्रकार का व्यवहार इस्पात, कोबाल्ट तथा निकील के लिए होता है ऐसे पदार्थ लोह चुम्बकीय पदार्थ कहलाते है। कुछ पदार्थ चुम्बक द्वारा दुर्बलता से आकर्षित होते है जबकि कुछ इसके द्वारा प्रतिकर्षित होते है। ये क्रमशः अनुचुम्बकीय तथा प्रति चुम्बकीय पदार्थ कहलाते है सभी पदार्थ ठोस द्रव तथा गैस में इनमें से कोई एक गुण हो सकता है या इसके अतिरिक्त कोई ओर गुण हो सकते हैं।

(i) **प्रति चुम्बकीय पदार्थ :** कुछ पदार्थो को चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र की विपरीत दिशा में रखने पर चुम्बकीत हो जाते है। इन पदार्थो को जब शक्तिशाली चुम्बक के ध्रुवो के समीप लाया जाता है तो वे चुम्बक से दुर प्रतिकर्षित होते है। ये पदार्थ प्रतिचुम्बकीय पदार्थ कहलाते है तथा उनका चुम्बकत्व प्रतिचुम्बकत्व कहलाता है।
उदाहरण प्रतिचुम्बकीय पदार्थो के उदाहरण बिस्मथ, जिंक, ताँबा, सोना, सीसा, पानी, पारा, सोडियम क्लोराईड, नाइट्रोजन, हाइड्रोजन इत्यादि।

(ii) **अनुचुम्बकीय पदार्थ :** कुछ पदार्थो को चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में चुम्बकीत हो जाता है। जब इन पदार्थो को शक्तिशाली चुम्बक के ध्रुवो के समीप लाया जाता है तो ये चुम्बक की ओर आकर्षित होते है। ये पदार्थ चुम्बकीय पदार्थ कहलाते है तथा उनका चुम्बकत्व अनुचुम्बकत्व कहलाता है।

(iii) **लोहे चुम्बकीय पदार्थ :** कुछ पदार्थो को चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में प्रबलता से चुम्बकीत हो जाते है। जब इन पदार्थो को चुम्बक के किसी भी एक ध्रुव के समान लाया जाता है तो यह चुम्बक की ओर तेजी से आकर्षित होते है। ये पदार्थ लोह चुम्बकीय पदार्थ कहलाते है तथा उनका चुम्बकत्व लोह चुम्बकत्व कहलाता है।

(B) चुम्बकत्व में उपयोगी कुछ महत्वपूर्ण पद :

चुम्बकन एवं चुंबकीय तीव्रता

पृथ्वी तत्वों एवं यौगिको की विस्मयकारी विभिन्नताओ से भरपूर है। इसके अतिरिक्त, हम नए–नए मिश्रधातु यौगिक यहॉ तक के तत्व भी संश्लेषित करते जा रहे है। आप इन सब पदार्थो को चुंबकीय गुणों के आधार पर वर्गीकृत करना चाहेगें। प्रस्तुत अनुभाग में हम ऐसे कुछ पदों की परिभाषा देंगे और उनके बारे में समझाएॅगें जो इस वर्गीकरण में हमारी सहायता करेंगे।

हम यह देख चुके है कि परमाणु में परिक्रमण करते इलेक्ट्रॉन का एक चुंबकीय आघूर्ण होता है। पदार्थ के किसी बडे टुकडे में ये चुंबकीय आघूर्ण सदिश रूप से समाकलित होकर शून्येतर परिणामी चुंबकीय आघूर्ण प्रदान कर सकते है। किसी दिए गये नमूने का चुंबकन M हम इस प्रकार उत्पन्न हुए प्रति इकाई आयतन परिणामी चुंबकीय आघूर्ण के रूप में परिभाषित कर सकते है।

चुम्बकन तीव्रता

नमूने की चुम्बकन तीव्रता प्रति एकांक आयतन इसके कुल चुम्बकीय आघूर्ण के बराबर हाती है।

$$M = \frac{m_{net}}{V}$$

M एक सदिश राशि है जिसका विमीय सूत्र L^{-1} A एवं मात्रक A m^{-1} है। एक लंबी परिनालिका लीजिए जिसकी प्रति इकाई लंबाई में n फेरे हो, और जिसमें I धारा प्रवाहित हो रही हो। इस परिनालिका के अंदर चुंबकीय क्षेत्र का परिणाम है,

$$B_0 = \mu_0 nI$$

यदि परिनालिका के अन्दर शून्येतर चुंबकन का कोई पदार्थ भरा हो तो यहॉ क्षेत्र B_0 से अधिक होगा। परिनालिका के अंदर परिणामी क्षेत्र B को लिख सकते है। $B = B_0 + B_m$

जहां B_m क्रोड के पदार्थ द्वारा प्रदत क्षेत्र है। यह पाया गया है कि यह अतिरिक्त क्षेत्र B_m पदार्थ के चुंबकन M के अनुक्रमानुपाती होता है और इसको हम निम्नवत व्यक्त कर सकते है। $B_m = \mu_0 M$

जहॉ μ_0 वही नियतांक है (निर्वात की पारगम्यता) जो बायो सावर्ट के नियम में उपयोग किया गया था।

चुम्बकीय तीव्रता

सुविधा के लिए हम एक अन्य सदिश क्षेत्र H की बात करते है जिसे चुंबकीय तीव्रता कहा जाता है और जिसको निम्नलिखित समीकरण द्वारा परिभाषित किया जाता है।

$\Rightarrow \quad H = \frac{B}{\mu} \qquad \Rightarrow \quad H = \frac{B_0 + B_m}{\mu}$

जहॉ H की विमाएँ वही है जो M की है और इसका मात्रक भी A m^{-1} ही है। इस प्रकार कुल चुंबकीय क्षेत्र B को लिख सकते है। $B = B_0 + B_m$

उपरोक्त विवरण में आए पदों को व्युत्पन्न करने में हमने जिस पद्वति का प्रयोग किया है उसको दोहराते है। परिनालिका के अंदर के कुल चुंबकीय क्षेत्र को हमने दो अलग अलग योगदानो के रूप में प्रस्तुत किया पहला बाह्य कारक जैसे कि परिनालिका में प्रवाहित होने वाली धारा का योगदान। यह H द्वारा व्यक्त किया गया है और दुसरा चुम्बकीय पदार्थो की विषेश प्रकृति के कारण अर्थात M

$\Rightarrow \quad H = \frac{\mu_0 H + \mu_0 M}{\mu} \qquad \Rightarrow \quad H = \frac{H}{\mu_r} + \frac{M}{\mu_r} \qquad \Rightarrow \quad (\mu_r - 1)H = M \qquad \Rightarrow \quad M = \chi H$

बाद वाली राशि बाह्य कारको द्वारा प्रभावित की जा सकती है। यह प्रभाव गणितीय रूप में इस प्रकार व्यक्त कर सकते है। $M = \chi H$

जहॉ χ एक विमाविहीन राशि है और इसे चुंबकीय प्रवृति कहते है। यह किसी चुंबकीय प्रदार्थ पर बाह्य चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव का माप है। सारणी में कुछ तत्वो की चुंबकीय प्रवृति को सूचीबद्व किया गया है। हम देखते है कि χ बहुत छोटे परिमाण वाली राशि है। कुछ पदार्थो के लिए इसका मान छोटा एवं धनात्मक है जिन्हे अनुचुम्बकीय पदार्थ कहते है। कुछ पदार्थो के लिए इसका मान छोटा एवं ऋणात्मक है जिन्हे प्रतिचुंबकीय पदार्थ कहते है। प्रतिचुंबकीय पदार्थो में M एवं H विपरीत दिशाओ में होता है।

समीकरण से हम पाते है। $\mu_r - 1 = \chi, \qquad \mu_r = 1 + \chi$

जहां $\mu_r = (1 + \chi)$ एक विमाविहीन राशि है जिसे हम पदार्थ आपेक्षिक चुंबकशीलता या आपेक्ष चुंबकीय पारगम्यता कहते है। यह स्थिरवैधुतिकी के परावैधुतांक के समतुल्य राशि है। पदार्थ की चुंबकशीलता μ है और इसकी विमाऐं तथा मात्रक वही हैं जो μ_0 के है। $\mu = \mu_0 \mu_r = \mu_0 (1 + \chi)$.

χ, μ_r एवं μ में तीन राशियॉ परस्पर संबधित है। यदि इनमें से किसी एक का मान ज्ञात हो तो बाकी दोनो के मान ज्ञात किए जा सकतें है।

सारणी : 1 300K पर कुछ तत्वों की चुंबकीय प्रवृति

प्रतिचुंबकीय पदार्थ	χ	अनुचुंबकीय पदार्थ	χ
बिस्मथ	-1.66×10^{-5}	ऐलूमिनियम	2.3×10^{-5}
ताँबा	-9.8×10^{-6}	कैल्शियम	1.9×10^{-5}
हीरा	-2.2×10^{-5}	क्रोमियम	2.7×10^{-4}
सोना	-3.6×10^{-5}	लिथियम	2.1×10^{-5}
सीसा	-1.7×10^{-5}	मैग्नीश्यिम	1.2×10^{-5}
पारा	-2.9×10^{-5}	नियोबिमय	2.6×10^{-5}
नाइट्रोजन (STP)	-5.0×10^{-9}	ऑक्सीजन (STP)	2.1×10^{-6}
चाँदी	-2.6×10^{-5}	प्लेटिनम	2.9×10^{-4}
सिलिकन	-4.2×10^{-6}	टंगस्टन	6.8×10^{-5}

Example 1. एक परिनालिका के क्रोड में भरे पदार्थ की आपेक्षिक चुंबकशीलता 400 है। परिनालिका के विधुतीय रूप से पृथक्कृत फेरो में 2A की धारा प्रवाहित हो रही है। यदि इसकी प्रति 1m लंबाई में फेरो की संख्या 1000 है तो
(a) H (b) M (c) B (d) चुंबककारी धारा I_m की गणना कीजिए।

Solution : (a) क्षेत्र H क्रोड के पदार्थ पर निर्भर करता है और इसके लिए सूत्र है।

$H = nI = 1000 \times 2.0 = 2 \times 10^3$ A/m.

(b) चुंबकीय क्षेत्र B के लिए सूत्र है

$B = \mu_r \mu_0 H = 400 \times 4\pi \times 10^{-7} (N/A^2) \times 2 \times 10^3 (A/m) = 1.0$ T

(c) चुंबकन $M = (B - \mu_0 H)/\mu_0 = (\mu_r \mu_0 H - \mu_0 H)/\mu_0 = (\mu_r - 1)H = 399 \times H \approx 8 \times 10^5$ A/m

(d) चुंबकन धारा I_M वह अतिरिक्त धारा है जो क्रोड की अनुपस्थिति में परिनालिका के फेरो में प्रवाहित किए जाने पर इसके अंदर उतना ही क्षेत्र B उत्पन्न करेगी जितना क्रोड की उपस्थिति में होता। अतः $B = \mu_r n_0 (I + I_M)$. लेने पर $I = 2A$, $B = 1$ T, हमें प्राप्त होता है $I_M = 794$ A.

पदार्थो के चुंबकीय गुण

पिछले अनुभाग में वर्णित विचार हमें पदार्थो को प्रतिचुंबकीय अनुचुंबकीय एवं लोहचुम्बकीय श्रेणीयो में वर्गीकृत करने में सहायता प्रदान करते है। चुंबकीय प्रवृति χ की दुष्टि से देखे तो कोई पदार्थ प्रतिचुंबकीय है यदि इसके लिए χ ऋणात्मक है, अनुचुबंकीय होगा यदि χ धनात्मक एवं अल्प मान वाला है, और लोहचुम्बकीय होगा यदि χ धनात्मक एवं अधिक मान वाला है।

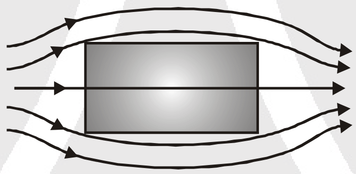
अधिक मूर्त रूप में सारणी पर एक दृष्टि हमें इन पदार्थो का एक अच्छा अनुभव प्रदान करती है। यहॉं ε एक छोटी धन संख्या है जो अनुचुम्बकत्व का परिमाण निर्धारित करने के लिए लाई गई है। अब हम इन पदार्थो के बारे में कुछ विस्तार से चर्चा करेंगे।

सारणी : 2

प्रतिचुंबकीय	अनुचुबंकीय	लोहचुंबकीय
$-1 \le \chi < 0$	$0 < \chi < \varepsilon$	$\chi >> 1$
$0 \le \mu_r < 1$	$1 < \mu_r < 1 + \varepsilon$	$\mu_r >> 1$
$\mu < \mu_0$	$\mu > \mu_0$	$\mu >> \mu_0$

प्रतिचुंबकत्व :

प्रतिचुंबकीय पदार्थ वह होते है जिनमें बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में अधिक तीव्रता वाले भाग से कम तीव्रता वाले भाग की ओर जाने की प्रवृत्ति होती है। दूसरे शब्दों में कहें तो चुम्बक लोहे जैसी धातुओं को तो अपनी ओर आकर्षित करता है, परंतु यह प्रतिचुम्बकीय पदार्थो को विकर्षित करेगा।



चित्र, बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखी प्रतिचुंबकीय पदार्थ की एक छड़ दर्शाता है। क्षेत्र रेखाएँ विकर्षित होती हैं या दूर हटती हैं। इसलिए पदार्थ के अन्दर क्षेत्र कम हो जाता है। सारणी से यह स्पष्ट है कि अधिकंश मामलों में क्षेत्र की तीव्रता में यह कमी अत्यल्प होती है। (10^5 भागों में एक भाग) । छड़ को किसी असमान चुंबकीय क्षेत्र में रखने पर इसकी प्रवृत्ति अधिक क्षेत्र से कम क्षेत्र की ओर जाने की होती है।

प्रतिचुंबकत्व की सरलतम व्याख्या इस प्रकार है– नाभिक के चारों ओर घूमते इलेक्ट्रॉनों के कारण कक्षीय कोणीय संवेग होता है। ये परिक्रमण करते समय इलेक्ट्रॉन एक धारावाही लूप के समतुल्य होते हैं और इस कारण इनका कक्षीय चुंबकीय आघूर्ण होता है, प्रतिमंबकीय पदार्थ वे होते हैं जिनके परमाणु में परिणामी चुंबकीय आघूर्ण शून्य होता है। जब कोई बाह्य चुंबकीय क्षेत्र आरोपित किया जाता है तो जिन इलेक्ट्रॉनों के कक्षीय चुंबकीय आघूर्ण क्षेत्र की दिशा में होते हैं उनकी गति मंद हो जाती है और जिनके चुंबकीय आघूर्ण क्षेत्र के विपरीत दिशा में होते हैं उनकी गति बढ़ जाती है। ऐसा लेंज के नियम के अनुसार प्रेरित धारा के कारण होता है। इस प्रकार पदार्थ में परिणामी चुंबकीय आघूर्ण आरोपित क्षेत्र के विपरीत दिशा में विकसित होता है और इस कारण यह प्रतिकर्षित होता है।

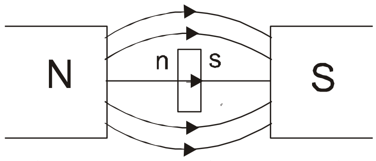
कुछ प्रतिचुंबकीय पदार्थ हैं – बिस्मथ, ताँबा, सीसा, सिलिकन, नाइट्रोजन (STP पर), पानी एवं सोडियम क्लोराइड। प्रतिचुंबकत्व सभी पदार्थो में विद्यमान होता है। परंतु, अधिकांश पदार्थो के लिए यह इतना क्षीण होता है कि अनुचंबकत्व एवं लौह चुंबकत्व जैसे प्रभाव इस पर हावी हो जाते हैं।

सबसे अधिक असामान्य प्रतिचिम्बकीय पदार्थ हैं अतिचालक। ये ऐसी धातुएँ हैं, जिनको यदि बहुत निम्न ताप तक ठंडा कर दिया जाता है तो ये पूर्ण चालकता एवं पूर्ण प्रतिचुंबकत्व दोनों प्रदर्शित करती हैं। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ पूर्णतः इनके बाहर रहती हैं, $\chi = -1$ तथा $\mu_r = 0$। एक अतिचालक, एक चुंबक को प्रतिकषित करेगा और (न्यूटन के तृतीय नियमानुसार) स्वयं इसके द्वारा प्रतिकर्षित होगा। अतिचालकों में पूर्ण प्रतिचुंबकत्व की यह परिघटना इसके आविष्कारक के नाम पर माइस्नर प्रभाव कहलाती है। अनेक भिन्न परिस्थितियों में जेसे कि, चुंबकीकृत अधरगामी अति तीव्र रेलगाडियों को चलाने में अतिचालक चुंबकों का लाभ उठाया जा सकता है।

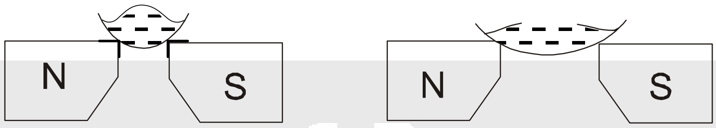
प्रति चुम्बकीय पदार्थो के गुण :

प्रति चुम्बकीय पदार्थ निम्न गुण प्रदर्शित करते है

(i) जब किसी प्रतिचुम्बकीय पदार्थ की छड़ को चुम्बकीय ध्रुवों के बीच में स्वतन्त्रतापूर्वक लटकाते हैं तो छड़ की अक्ष घूमकर चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् हो जाती है। छड़ के सिरों पर उत्पन्न ध्रुव, चुम्बकीय ध्रुवों के समान ही होते है।

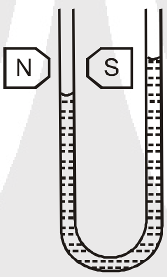


(ii) ये पदार्थ असमान चुम्बकीय क्षेत्र में, क्षेत्र के कम तीव्रता वाले भाग की ओर आकर्षित होते हैं। यदि काँच की एक प्याली में चुम्बकीय द्रव लेकर उसे दो पास–पास रखे चुम्बकीय ध्रुवों पर रख दें तो द्रव बीच में दब जाता है तथा किनारों पर उठ जाता है, क्योंकि चुम्बकीय क्षेत्र बीच में सबसे प्रबल है। यदि ध्रुवों के बीच की दूरी बढ़ा दी जाये तो द्रव बीच में ऊपर उठ जाता है तथा किनारों पर दब जाता हैं क्योंकि अब चुम्बकीय क्षेत्र ध्रुवों के समीप अधिक प्रबल है।



(a) **(b)**

(iii) यदि किसी प्रतिचुम्बकीय पदार्थ के घोल को U-नली में भरकर, नली की एक भुजा को प्रबल चुम्बकीय ध्रुवों के बीच रख दें तो उस भुजा में घोल का तल दूसरी भुजा के घोल के तल से नीचे हो जाता है।

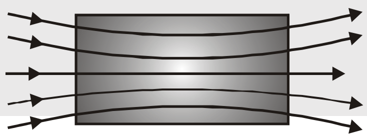


(iv) जब प्रतिचुम्बकीय गैस को चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य में ऊपर की ओर चढ़ने दिया जाता है तो यह क्षेत्र से दूर फैल जाती है।

(v) प्रतिचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृति ताप पर निर्भर नहीं करती है।

अनुचुंबकत्व

अनुचुबंकीय पदार्थ ऐसे पदार्थ होते हैं जो बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षीण चुंबकत्व प्राप्त कर लेते हैं। उनमें क्षीण चुंबकीय क्षेत्र से सशक्त चुंबकीय क्षेत्र की ओर जाने की प्रवृत्ति होती है अर्थात् ये चुंबक की ओर क्षीण बल द्वारा आकर्षित होते हैं।



किसी अनुचंबकीय पदार्थ के परमाणुओं (या आयनों या अणुओं) का अपना स्वयं का स्थायी चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण होता है। परमाणुओं की सतत यादृच्छिक तापीय गति के कारण कोई परिणामी चुंबकीकरण दृष्टिगत नहीं होता। पर्याप्त शक्तिशाली बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र B_0 की उपस्थिति में एवं निम्न तापों पर अलग–अलग परमाणुओं के द्विध्रुव आघूर्ण सरल रेखाओं में और B_0 की दिशा के अनुदिश संरखित किए जा सकते हैं। चित्र बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखी हुई अनुचंबकीय पदार्थ की एक छड प्रदर्शित करता है। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ पदार्थ के अंदर संकेन्द्रित हो जाती और अंदर चुम्बकीय क्षेत्र बढ़ जाता है। अधिकतम मामलों में, जैसा सारणी में प्रकट है कि यह वृद्धि अति न्यून है, 10^5 भागों में एक भाग। असमान चुंबकीय क्षेत्र में रखने पर यह छड़ निम्न क्षेत्र से उच्च क्षेत्र की ओर चलने की चेष्टा करेगी। कुछ अनुचुम्बकीय पदार्थ है – एल्यूमिनियम, सोडियम, कैल्शियम, ऑक्सीजन (STP) एवं कॉपर क्लोराइड प्रयोगात्मक रूप से किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ का चुम्बकन लगाया जाए चुम्बकीय क्षेत्र के अनुक्रमानुपाती एवं परमताप T व्युत्क्रमानुपाती होता है।

$$M = C\frac{B_0}{T}$$

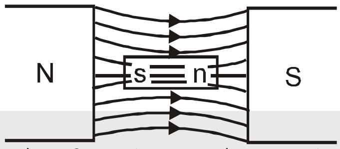
या दूसरे समतुल्य रूप में, समीकरण $M = \chi H$ तथा $B_0 = \mu_0 H$

$$\chi = \frac{\mu_0}{T}$$

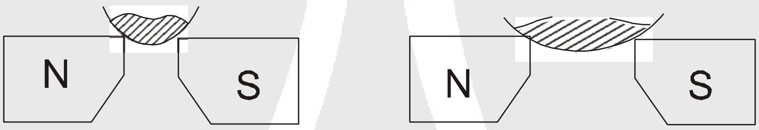
यह इसके शोधकर्ता पियरे क्यूरी (1859-1906) के सम्मान में क्यूरी का नियम कहलाता है। नियतांक C को क्यूरी नियतांक कहते हैं। अतः किसी अनुचंबकीय पदार्थ के लिए χ व μ_r दोनों का मान न केवल पदार्थ पर निर्भर करता है, वरन् (एक सरल रूप में) इसके ताप पर भी निर्भर करता है। बहुत उच्च चुंबकीय क्षेत्रों में या बहुत निम्न ताप पर, चुंबकन अपना अधिकतम मान ग्रहण करने लगता है, जबकि सभी परमाण्वीय द्विध्रुव आघूर्ण चुंबकीय क्षेत्र में रेखाओं के अनुदिश संरेखित हो जाते हैं। यह संतृप्त चुंबकन मान M_s कहलाता है। इसके परे, क्यूरी का नियम मान्य नहीं रह जाता है।

अनुचुम्बकीय पदार्थों के गुण (Properties of Paramagnetic Substance)

(i) जब किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ की छड़ को दो चुम्बकीय ध्रुवों के बीच लटकाते हैं तो छड़ की अक्ष घूमकर चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर हो जाती है। छड़ के सिरों पर उत्पन्न ध्रुव, चुम्बकीय ध्रुवों से विपरीत होते है।

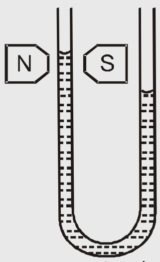


(ii) ये पदार्थ असमान चुम्बकीय क्षेत्र में, क्षेत्र के अधिक तीव्रता वाले भाग की ओर आकर्षित होते हैं। यदि काँच की एक प्याली में अनुचुम्बकीय द्रव लेकर दो पास–पास रखे चुम्बकीय ध्रुवों पर रखा जाये तो द्रव बीच में से ऊपर उठ जाता है क्योंकि चुम्बकीय क्षेत्र बीच में सबसे अधिक प्रबल है। परन्तु यदि ध्रुवों को दूर–दूर कर दिया जाये तो द्रव बीच में दबकर किनारों की ओर उठ जाता है क्योंकि अब चुम्बकीय क्षेत्र ध्रुवों के समीप अधिक प्रबल है।



(a) (b)

(iii) यदि किसी अनुचुम्बकीय घोल को U-नली में भरकर, नली की एक भुजा को प्रबल चुम्बकीय ध्रुवों के बीच रख दें तो उस भुजा में घोल का तल ऊपर उठ जाता है।



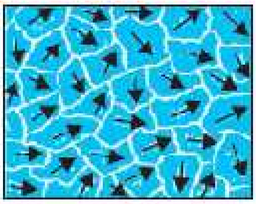
(iv) अनुचुम्बकीय गैस जब एक चुम्बक के ध्रुवों के मध्य ऊपर की ओर गुजरने दी जाती है यह क्षेत्र के नजदीक रहती है।

(v) अनुचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृति पदार्थ केल्विन ताप के साथ व्युत्क्रमानुपाती रूप से परिवर्तित होती है।

$\chi_m \propto \frac{1}{T}$. यह क्यूरी का नियम कहलाता है।

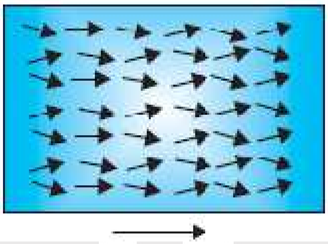
लोह चुम्बकत्व (Ferromagnetism) :-

लौह चुंबकीय पदार्थ ऐसे पदार्थ होते हैं जो बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखे जाने पर शक्तिशाली चुंबक बन जाते हैं। उनमें चुंबकीय क्षेत्र के क्षीण भाग शक्तिशाली भाग की ओर चलने की तीव्र प्रवृत्ति होती है अर्थात् वे चुंबक की ओर भारी आकर्षण बल का अनुभव करते हैं। किसी लौह चुंबकीय पदार्थ के एकल परमाणुओं (या आयनों या अणुओं) का भी अनुचंबकीय पदार्थों की तरह ही चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण होता है। परंतु, वे एक–दूसरे के साथ इस प्रकार अन्योन्य क्रिया करते हैं कि एक स्थूल आयतन में (जिसे डोमेन कहते हैं) सब एक साथ एक दिशा में संरेखित हो जाते हैं। इस सहकारी प्रभाव की व्याख्या के लिए क्वांटम यांत्रिकी की आवश्यकता होती है। जो इस पाठ्यपुस्तक के क्षेत्र से बाहर है। प्रत्येक डोमेन का अपना परिणामी चुंबकन होता है। प्रारूपी डोमेन का आकार 1mm है और एक डोमेन में लगभग 10^{11} परमाणु होते हैं। प्रथमदृष्टया चुबकन एक डोमेन से दूसरे डोमेन तक जाने पर यादृच्छिक रूप से बदलता है तथा कुल पदार्थ में कोई चुंबकन नहीं होता। यह चित्र में दिखाया गया है।



Randomlyoriented domains,

जब हम बाह्य चुंबकीय क्षेत्र B_0 लगाते हैं, तो डोमेन B_0 के अनुदिश उन्मुख होने लगते हैं और साथ ही वे डेमेन जो B_0 की दिशा में हैं, साइज में बढ़ने लगते हैं। डोमेनों का अस्तित्व और B_0 के अनुदिश उनके होने वाली गति केवल अनुमान नहीं है। लौह चुंबकीय पदार्थ के पाउडर को किसी द्रव में छिड़क कर उसके निलंबन को सूक्ष्मदर्शी के द्वारा उसकी यादृच्छिक गति को देखा जा सकता है। चित्र वह स्थिति दर्शाता है जब सभी डोमेन पंक्तिबद्ध हो गए हैं और उन्होंने घूल–मिलकर एक अकेला विशाल डोमेन बना लिया है।



Aligned domains.

इस प्रकार एक लौह चुंबकीय पदार्थ में चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ बहुत अधिक संकेन्द्रित हो जाती हैं। एक असमान चुंबकीय क्षेत्र में इस पदार्थ का नमूना अधिक शक्तिशाली चुबकीय क्षेत्र वाले भाग की ओर चलने को प्रवृत्त होता है। हम यह सोच सकते हैं कि बाह्य क्षेत्र हटा लेने पर क्या होगा ? कुछ चुंबकीय पदार्थों में चुंबकन बना रह जाता है। ऐसे पदार्थों को कठोर चुंबकीय पदार्थ या कठोर लौह चुंबक कहा जाता है। एलनिको (लोहे, ऐलुमिनियम, निकल, कोबाल्ट एवं ताँबे का एक मिश्र धातु) ऐसा ही एक पदार्थ है और प्राकृतिक रूप से उपलब्ध लोडस्टोन दूसरा। इन पदार्थों से स्थायी चुंबक बनते हैं और इनका उपयोग चुंबकीय सुई बनाने के अलावा अन्य कार्यों में भी होता है। दूसरी ओर लौह चुंबकीय पदार्थों की एक श्रेणी ऐसी है जिनका चुंबकन बाह्य क्षेत्र को हटाते ही खत्म हो जता है। नर्म लोहा ऐसा ही एक पदार्थ है। उचित रूप से ही, ऐस पदार्थों को नर्म लौह चुंबकीय पदार्थ कहा जाता है। बहुत से तत्व लौह चुंबकीय हैं ; जैसे–लोहा, कोबाल्ट, निकल, गैडोलिनियम आदि। इनकी आपेक्षिक चुंबकशीलता 1000 से अधिक है।

लौह चुंबकीय गुण भी ताप पर निर्भर करता है। पर्याप्त उच्च ताप पर एक लौह चुंबक, अनुचुंबक बन जाता है। ताप बढ़ने पर डोमेन संरचनाएँ विघटित होने लगती हैं। ताप बढ़ने पर चंबकन का विलोपन धीरे–धीरे होता है। यह एक तरह का प्रावस्था (phase) परिवर्तन है वैसे ही जैसे किसी ठोस मणिभ (क्रिस्टल) का पिघलना। वह ताप जिस पर कोई लौह चुंबक, अनुचुंबक में परिवर्तित हो जाता है, क्यूरी ताप T_c कहलाता है। सारणी कुछ लौह चुंबकों के क्यूरी ताप दर्शाती है।

क्यूरी ताप से उच्चतर ताप पर अर्थात् अनुचुबकीय प्रावस्था में चुंबकीय प्रवृत्ति,

$$\chi = \frac{C}{T - T_c} \quad (T > T_c)$$

लौहचुम्बकीय पदार्थ (Ferromagnetic substances) : कुछ पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की ही दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं तथा किसी चुम्बक के सिरे के समीप लाये जाने पर सिरे की ओर को तेजी से आकर्षित होते हैं। इन्हे लोहचुम्बकीय पदार्थ कहते हैं तथा इनके इस गुण को लौहचुम्बकत्व (ferromagnetism) कहते है।

क्यूरी ताप (Curie temperature) : यदि हम किसी लौहचुम्बकीय पदार्थ को गर्म करें तो एक निश्चित ताप पर पदार्थ का लौहचुम्बकत्व का गुण एकाएक लुप्त हो जाता है तथा पदार्थ अनुचुम्बकीय हो जाता है। पदार्थ को ठण्डा करने पर वह पुनः लौहचुम्बकीय हो जाता है। वह ताप जिसके नीचे पदार्थ लौहचुम्बकीय तथा जिसके ऊपर अनुचुम्बकीय होता है, पदार्थ का क्यूरी ताप कहलाता है। कोबाल्ट, लोहा तथा निकिल के क्यूरी ताप 1120ºC, 770ºC तथा 358ºC है।

Example 2. लौह चुबकीय पदार्थ लोहे में कोई डोमेन 10^{-4}m भुजा वाले घन के रूप में है । डोमेन में लौह परमाणुओंकी संख्या, अधिकतम संभावित चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण और इसके चुबकन का मान ज्ञात कीजिए। लोहे का परमाण्विक द्रव्यमान 55 g/mole और इसका घनत्व 7.9 g/cm^3 है। यह मान लीजिए कि प्रत्येक लौह परमाणु का चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण 9.27×10^{-24} A m^2 है।

Solution : घनीय डोमेन का आयतन होगा $V = (10^{-6} m)^3 = 10^{-18} m^3 = 10^{-12} cm^3$.

इसका द्रव्यमान = आयतन × घनत्व = $7.9\ g\ cm^{-3} \times 10^{-12}\ cm^3 = 7.9 \times 10^{-12}$ g

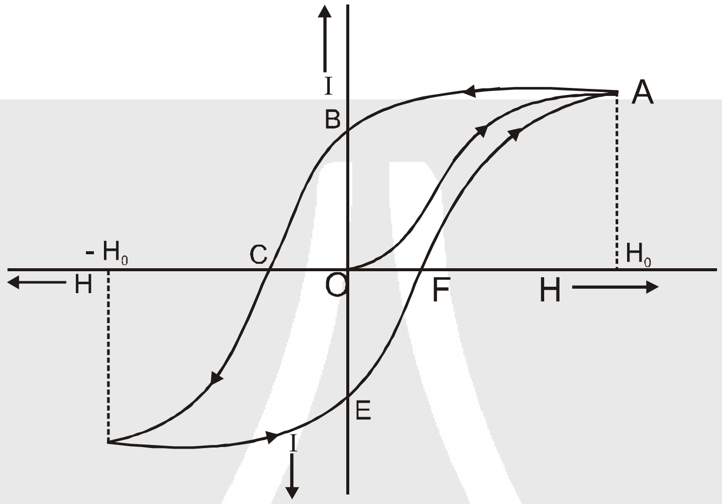
यह दिया गया है कि एक एवोगाद्रो संख्या (6.023×10^{23}) के बराबर लौह परमाणुओं का द्रव्यमान 55 g है। अतः डोमेन में परमाणुओं की संख्या

$$N = \frac{7.9 \times 10^{-12} \times 6.023 \times 10^{23}}{55} = 8.65 \times 10^{10} \text{ atoms}$$

अधिकतम संभावित चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण $m_{अधिकतम}$ तब प्राप्त होता है (यद्यपि यह एक अवास्तविक स्थिति है), जब सभी परमाण्विक आघूर्ण पूर्णतः पंक्तिबद्ध हो जाते हैं। अतः $m_{अधिकतम} = (8.65 \times 10^{10}) \times (9.27 \times 10^{-24})$ $= 8.0 \times 10^{-13}$ A m^2

परिमणामी चुंबकन का मान $M_{अधिकतम} = m_{अधिकतम}$/डोमेन आयतन = 8.0×10^{-13} $Am^2/10^{-18}$ $m^3 = 8.0 \times 10^5$ Am^{-1}

शैथिल्य



एक लोह चुम्बकीय पदार्थ के प्रतिदर्श पर विचार करते है जो चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित है जिसकी प्रबलता तथा दिशा परिवर्तित की जा सकती है। यह मानिए कि प्रतिदर्श प्रारम्भ में अनुचुम्बकित है। जब चुम्बकीय क्षेत्र (H) बढाया जाता है तो पदार्थ की चुम्बकन तीव्रता (I) भी बढती है यह पाया जाता है कि जब चुम्बकीय क्षेत्र शून्य हो जाता है तो चुम्बकन तीव्रता शून्य नही होती है किन्तु इसका कुछ परिमित मान होता है। यह केवल शून्य होगी जब चुम्बकीय क्षेत्र विपरीत दिशा में बढता है दुसरे शब्दो में चुम्बकन तीव्रता चुम्बकीय क्षेत्र शून्य होने पर शून्य नही होती हैं। किन्तु यह बहुत छोटा है तथा यह प्रभाव शैथिल्य कहलाता है।

लोह चुम्बकीय पदार्थ के चुम्बकन तथा विचुम्बकन की प्रक्रिया के दौरान चुम्बकन तीव्रता का चुम्बकीय क्षेत्र के पीछे हो जाना शैथिल्य कहलाता है।

चित्र लोह चुम्बकीय पदार्थ के चुम्बकन वक्र को प्रदर्शित करता है जब इसे चुम्बकन के सम्पूर्ण चक्र से गुजारा जाता है तो भी यह शून्य होता है। जब चुम्बकीय क्षेत्र बढता है तो चुम्बकन तीव्रता I भी OA के अनुदिश बढती है बिन्दु A के संगत चुम्बकन तीव्रता अधिकतम होती है। चुम्बकीय क्षेत्र के मान में H_0 तक वृद्वि करने पर चुम्बकन तीव्रता के मान में किसी तरह की वृद्वि नही होती है दुसरे शब्दो में बिन्दु A के संगत लोह चुम्बकीय पदार्थ चुम्बकीय संतृप्त अवस्था प्राप्त करता है। अब यदि चुम्बकीय क्षेत्र को धीरे–धीरे घटाया जाये तो चुम्बकन तीव्रता भी घटती है किन्तु पथ AO के अनुदिश नही होती है। यह पथ AB के अनुदिश घटती है बिन्दु B के संगत चुम्बकीय क्षेत्र शून्य होता है किन्तु कुछ चुम्बकन OB के बराबर प्रतिदर्श में शेष रह जाता है यहां OB प्रतिदर्श की धारणशीलता को देती है।

पदार्थ के चुम्बकन तीव्रता का वह मान जब चम्बकीय क्षेत्र घटकर शून्य हो जाता है, पदार्थ की धारणशीलता कहलाता है। यह अवशेष चुम्बकत्व या रेमेनेंस टैलर :–

चुम्बकन तीव्रता घटकर शून्य होने के लिए चुम्बकीय क्षेत्र विपरीत दिशा में बढाया जाता है। ऐसा इसलिए किया जाता है अतः BC के अनुदिश चुम्बकन तीव्रता तब तक घटती है जब तक की यह बिन्दु C के संगत शून्य न हो जाये अतः चुम्बकन तीव्रता को शून्य करने के लिए OC के बराबर चुम्बकीय क्षेत्र विपरीत दिशा में आरोपित किया जाता है। यहा OC विशिष्ट पदार्थ की सुग्राहिता का मापन देती है।

व्युत्क्रम चुम्बकीय क्षेत्र का वह मान जिससे अवशेष चुम्बकत्व घटकर शून्य हो जाए, पदार्थ की निग्राहिता कहलाता है

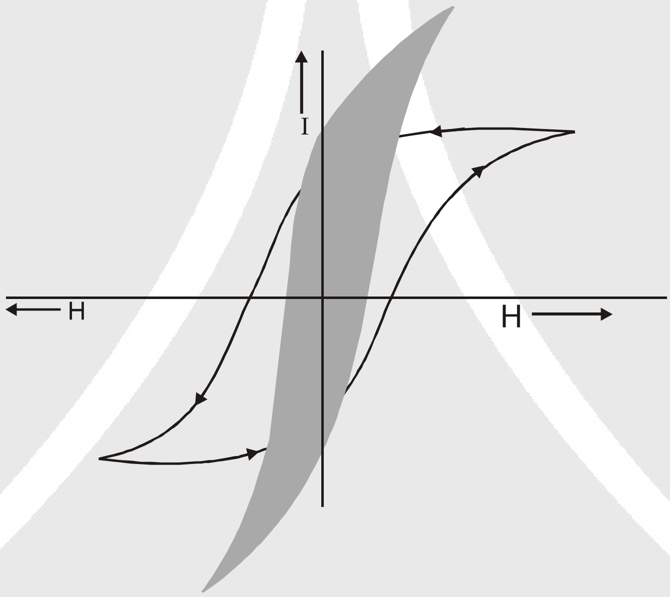
जब चुम्बकीय क्षेत्र विपरीत दिशा में ओर बढाया जाता है तो चुम्बकीय क्षेत्र में वृद्वि के साथ CD के अनुदिश चुम्बकन तीव्रता बढती है। बिन्दु D (जब चुम्बकीय क्षेत्र H_0 हो जाता है) के संगत यह पुनः संतृप्त अवस्था प्राप्त कर लेता है। जो बिन्दु A के संगत सममित है। यदि चुम्बकीय क्षेत्र का मान $-H_0$ से शून्य तक घटता जाता है तो चुम्बकन तीव्रता DE पथ का अनुसरण करती है। अन्ततः जब चुम्बकीय क्षेत्र मूल दिशा में बढाया जाता है तब बिन्दु A, EFA होते हुए पहुचता है। यदि चुम्बकीय क्षेत्र H_0 तथा $- H_0$ के मध्य बार बार परिवर्तित होता है तो वक्र ABCDEFA अनुरेखित होता है। वक्र ABCDEFA शैथिल्य लूप कहलाता है। यह पाया जाता है कि शैथिल्य लूप (I – H वक्र) का क्षेत्रफल प्रतिदर्श द्वारा प्रतिएकांक आपतन कुल अवशोषित ऊर्जा के समानुपाती होता है। जब इसे चुम्बकन तथा विचुम्बकन के सम्पुर्ण चक्र में ले जाया जाता है। अतः प्रतिदर्श द्वारा अवशोषित ऊर्जा उष्मा के रूप में प्रतीत होती है।

नोट :- यदि शैथिल्य लूप को चुम्बकीय प्रेरण (B) तथा चुम्बकन तीव्रता के मध्य ग्राफ खीचकर बनाया जाये तो शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल चुम्बकीय पदार्थ को चुम्बकत्व के सम्पूर्ण चक्र में ले जाने म प्रति एकांक आयतन किये गये कार्य (या प्रति एकांक आपतन अवशोषित ऊर्जा) के बराबर होता है

नरम लोहे तथा इस्पात के लिए शैथिल्य लूप की तुलना :-

शैथिल्य लूप की आकृति लोह चुम्बकीय पदार्थो के अभिलाक्षणिक होती है। यह पदार्थ के विभिन्न महत्वपूर्ण चुम्बकीय गुणो के बारे में जानकारी देता है।

चित्र नरम लोहे तथा इस्पात के लिए शैथिल्य लूप को दर्शाता है। जबकि नरम लोहे के लिए शैथिल्य लूप सकिर्ण होता है तथा इस्पात के लिए शैथिल्य लूप अधिक चौडा होता है। नरम लोहे तथा इस्पात के शैथिल्य लूप के अध्ययन से निम्न निष्कर्ष निकलते है।



1. नरम लोहे के लिए शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल इस्पात के लिए शैथिल्य लूप के क्षेत्रफल से कम होता है अतः प्रतिएकांक आयतन ऊर्जा की हानि नरम लोहे की स्थिति में इस्पात की तुलना में बहुत कम होती है। जब इन्हें चुम्बकन तथा विचुम्बकन के सम्पूर्ण चक्र से गुजारा जाता है।

2. नरम लोहा इस्पात की तुलना में तुलनात्मक लूप से चुम्बकीय क्षेत्र के बहुत कम मान के लिए अधिकतम चुम्बकन क्षेत्र की तीव्रता प्राप्त करता है दूसरे शब्दो में नरम लोहा इस्पात की तुलना में अधिक प्रबल चुम्बकीत (या चुम्बकन के लिए अधिक प्रवृति) होता है।

3. नरम लोहे की धारणशीलता इस्पात की धारणशीलता से अधिक होती है चुम्बकीय क्षेत्र को हटाने पर चुम्बकन की अधिक मात्रा नरम लोहे द्वारा ग्रहण की जाती है।

4. इस्पात की निग्राहिता नरम लोहे की तुलना में बहुत अधिक होती हैं अतः इस्पात में अवशिष्ट चुम्बकत्व आसानी से नष्ट नही किया जा सकता जैसाकि नरम लोहे की स्थिति में अवशिष्ट चुम्बकत्व को नष्ट किया जाता है।

(F) चुम्बकीय पदार्थों के भाग :

स्थायी चुम्बक, विद्युत चुम्बक ट्रांसफॉर्मर की कोर या टेलीफोन के स्पीकर का डायफ्रॉम बनाने के लिए चुम्बकीय पदार्थ का चयन पदार्थ के शैथिल्य वक्र से तय किया जाता है।

(i) स्थायी चुम्बक :

स्थायी चुम्बक के लिए पदार्थ की धारण शीलता अधिक होनी चाहिए, ताकि चुम्बक प्रबल हो तथा निग्राहिता भी उच्च होनी चाहिए ताकि चुम्बकन बाह्य क्षेत्र, यांत्रिक आघात एवं ताप परिवर्तन आदि के द्वारा नष्ट न हो। इस स्थिति में पदार्थ के चुम्बकन के चक्रीय परिवर्तन नहीं किये जाते है।

इन विचारों के आधार पर स्थायी चुम्बक इस्पात के बनाये जाते है। तथ्य यह है कि नर्म लोहे की धारण शीलता इस्पात से थोड़ी अधिक होती है परन्तु निग्राहिता बहुत कम होती है जिस कारण नर्म लोहे को विचुम्बकित करना बहुत आसान है।

(ii) विद्युत चुम्बक : विद्युत चुम्बक के पदार्थ के लिए उच्च चुम्बकशीलता (या उच्च चुम्बकीय प्रवृत्ति) होनी चाहिए, विशेष रूप से निम्न चुम्बकन क्षेत्र पर एवं उच्च धारण शीलता होना चाहिए।

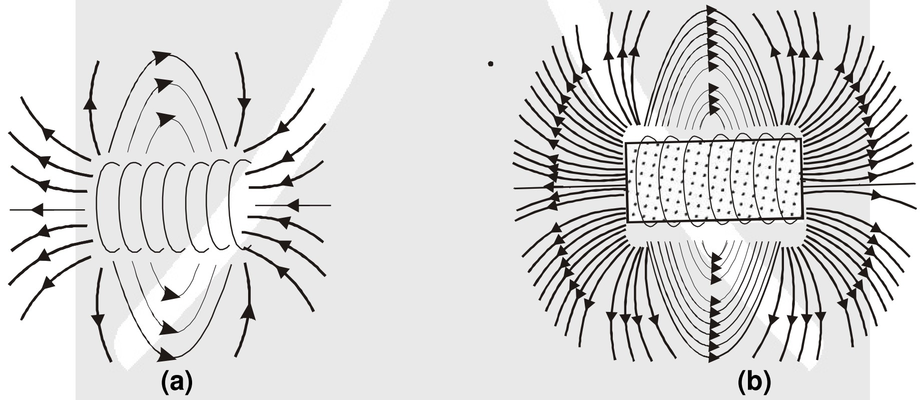
विद्युत चुम्बक के लिए नर्म लोहा उपर्यक्त पदार्थ है।

(iii) ट्राँसफार्मर कोर व टेलीफोन डायफ्राम : इन स्थितियों में पदार्थ को निरन्तर चुम्बकन के सम्पूर्ण चक्र से गुजारा जाता है। इस प्रकार पदार्थ में शैथिल्य हानि कम होनी चाहिए ताकि ऊर्जा का व्यय कम हो, पदार्थ कम गर्म (अन्यथा कुण्डलियों की विद्युतरोधी परत खराब हो सकती है) एवं उच्च चुम्बकशीलता (कम क्षेत्र पर अधिक फ्लक्स घनत्व प्राप्त करने के लिए) व उच्च विशिष्ट प्रतिरोध (भंवर धारा हानि को कम करने के लिए) होना चाहिए।

ट्रांसफार्मर कोर व टेलीफोन डायफ्राम बनाने के लिए नर्म लोहा उपयोग किया जाता हे। अब ट्रांसफार्मर कोर के लिए अधिक प्रभावी मिश्र धातु विकसित की जा चुकी है। वे है परमेलॉय, म्यूॅमेटल आदि।

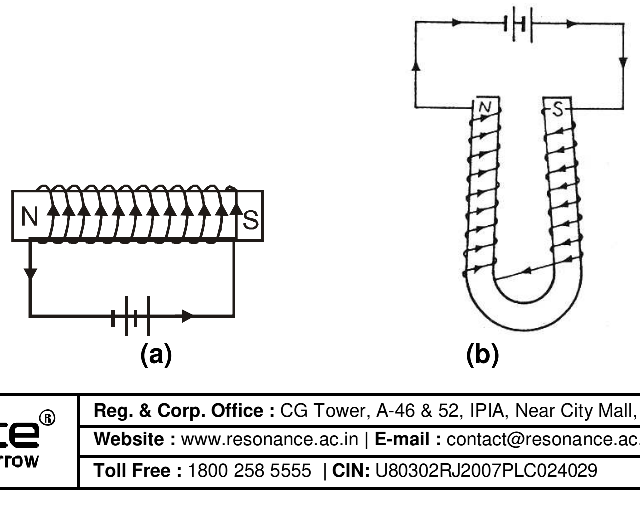
2. विद्युत–चुम्बक :

वैद्युत धारा के चुम्बकीय प्रभाव का उपयोग विद्युत–चुम्बक है। हमने पढ़ा है कि एक धारावाही परिनालिका दण्ड–चुम्बक के समान व्यवहार करती है। यदि हम इस परिनालिका के भीतर नर्म लोहे की एक छड़ रख दें तो परिनालिका का चुम्बकत्व सैंकड़ों गुना बढ़ जाता है। तब इस परिनालिका को विद्युत चुम्बक कहते हैं। यह एक अस्थायी चुम्बक है।



(a) (b)

विद्युत चुम्बक बनाने के लिए नर्म लोहे की एक सीधी छड़, अथवा घोड़े के नाल के आकार की छड़ लेकर उस पर ताँबे के विद्युतरोधी तार के बहुत से फेरे पास–पास लपेट देते है। तार की इस परिनालिका में वैद्युत धारा प्रवाहित करने पर उसके भीतर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है।



(a) (b)

Example 3. अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल $0.2 cm^2$ की एक लोहे की छड़ में $1600\ Am^{-1}$ का चुम्बकीय क्षेत्र 2.4×10^{-5} वेबर का चुम्बकीय फ्लक्स उत्पन्न करता है। छड़ की चुम्बक शीलता एवं चुम्बकीय प्रवृति ज्ञात कीजिए।

Solution $B = \frac{\Phi}{A} = \frac{2.4 \times 10^{-5}\ Wb}{0.2 \times 10^{-4}\ m^2} = 1.2\ Wb/m^2$

$= 1.2\ N\ A^{-1}\ m^{-1}$.

चुम्बकन क्षेत्र (या चुम्बकीय तीव्रता) H, $1600\ Am^{-1}$ है। इसलिए चुम्बक शीलता होगी -

$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.2 NA^{-1} m^{-1}}{1600\ Am^{-1}} = 7.5 \times 10^{-4}\ N/A^2$.

अब, समी० $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$, से चुम्बकीय प्रवृति होगी -

$\chi_m = \frac{\mu}{\mu_0} - 1$. हम जानते है $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ N/A^2$. $\therefore\ \chi_m = \frac{7.5 \times 10^{-4}}{4 \times 3.14 \times 10^{-7}} - 1 = 596$.

Example 4. 3000 घेरों वाली टॉरॉइड की कोर की आंतरिक एवं बाह्य त्रिज्या क्रमशः 11 cm तथा 12 cm है। 0.6 A की धारा कोर में 2.5 T का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती हैं। कोर की आपेक्षिक चुम्बकशीलता की गणना कीजिए। ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ T\ m\ A^{-1}$).

Solution टॉरॉइड की कुण्डली जिसमें i_0 धारा प्रवाहित है के द्वारा घेरे गये खाली स्थान में चुम्बकीय क्षेत्र $\mu_0\ n\ i_0$ है। जहाँ n टॉरॉइड में प्रति इकाई लम्बाई पर घेरों की संख्या है एवं μ_0 मुक्त आकाश की चुम्बकशीलता है।

यदि इस स्थान में कोर को μ चुम्बकशीलता के किसी पदार्थ से भर दिया जाये, तो चुम्बकीय क्षेत्र होगा

$B = \mu\ n\ i_0$

परन्तु $\mu = \mu_0 u_r$, जहाँ μ_r कोर के पदार्थ की आपेक्षिक चुम्बकशीलता है। इस प्रकार –

$B = \mu_0\ u_r\ n i_0$

या $\mu_r = \frac{B}{\mu_0 n\ i_0}$

यहाँ $B = 2.5\ T$, $i_0 = 0.7\ A$ तथा $n = \frac{3000}{2\pi r}\ m^{-1}$, जहाँ r टॉरॉइड की माध्य त्रिज्या है

($r = \frac{11+12}{2} = 11.5$ cm 11.5×10^{-2} m). इस प्रकार

$\mu_r = \frac{2.5}{(4\pi \times 10^{-7}) \times (3000/2\pi \times 11.5 \times 10^{-2}) \times 0.7} = \frac{2.5 \times 11.5 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-7} \times 3000 \times 0.7}$

$\mu_r = 684.5$

Exercise-1

✍ चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

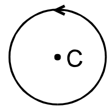
भाग - I : विषयात्मक प्रश्न (SUBJECTIVE QUESTIONS)

खण्ड (A) : चुम्बक तथा गतिशील आवेश के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

A-1. किसी छोटे द्विध्रुव का चुम्बकीय आघूर्ण 1 A m^2 है। द्विध्रुव की अक्ष से 30° का कोण बनाने वाली रेखा पर द्विध्रुव के केन्द्र से 10 cm दूरी पर वायु में चुम्बकीय प्रेरण का परिमाण ज्ञात करो ?

A-2. $q = 2\mu C$ का बिन्दु आवेश मूल बिन्दु पर है, इसका वेग $2\hat{i}$ m/s है। निम्न बिन्दुओं पर चुम्बकीय क्षेत्र (उस क्षण जब कण मूल बिन्दु से गुजर रहा हो) सदिश रूप में ज्ञात करो।
(i) (2, 0, 0) (ii) (0, 2, 0) (iii) (0, 0, 2) (iv) (2, 1, 2)
(v) क्या y–z तल में स्थित वृत्त $y^2 + z^2 = c^2$ की परिधि पर प्रत्येक स्थान पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण समान है ? 'c' नियतांक है। क्या चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा भी समान है।
(vi) यदि प्रश्न (v) में वृत्त की उसी समीकरण के लिए वृत्त का तल x = a हो तो उपरोक्त प्रश्न का उत्तर क्या होगा। यहां 'a' नियत है।

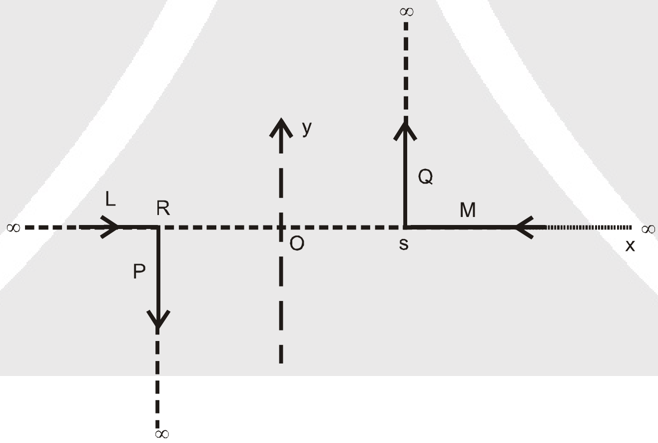
A-3. एक ऋणावेशित कण का परिमाण 'q' है। यह 'R' त्रिज्या के वृत्त में नियत चाल V से चित्रानुसार चक्कर लगा रहा है। तो निम्न बिन्दुओं पर चुम्बकीय क्षेत्र (दिशा व परिमाण) ज्ञात करो ?



(i) वृत्त के केन्द्र पर (दिशा व परिमाण)
(ii) वलय के केन्द्र से 'x' दूरी पर अक्ष पर स्थित बिन्दु के लिए चुम्बकीय क्षेत्र (केवल परिमाण) क्या इसकी दिशा हर समय नियत होगी?

खण्ड (B) : सीधे तार के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

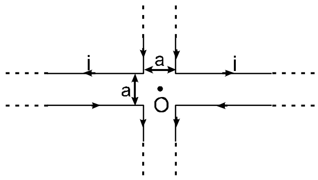
B-1. चित्रानुसार X-Y तल में अनन्त लम्बाई के दो मुड़ें हुये दो तार स्थिर रखे है। प्रत्येक तार में 10A की धारा प्रवाहित हो रही है। खण्ड L तथा M, x–अक्ष के अनुदिश है। खण्ड P तथा Q, Y–अक्ष के समान्तर है। OS = OR = 0.02 मीटर है। मूल बिन्दु O पर चुम्बकीय प्रेरण का परिमाण एवं दिशा ज्ञात करो ?



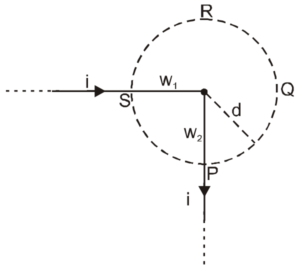
B-2. एक समबाहु त्रिभुज की भुजाओं में 1 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। त्रिभुज की भुजा 4.5×10^{-2} मीटर है तो त्रिभुज के केन्द्रक पर चुम्बकीय क्षेत्र क्या होगा ?

B-3. दो अनन्त लम्बाई के सीधे पतले समान्तर तारों के मध्य की दूरी 0.1 मीटर है। प्रत्येक तार में 10 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। निम्न स्थितियों में दोनों तार से 0.1 मीटर दूरी पर स्थित बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो जब धारा की दिशा
(i) समान हो तथा (ii) विपरीत हो।

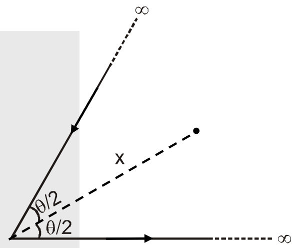
B-4. चित्र में चार अनन्त लम्बाई के 'L' आकृत्ति वाले तार प्रदर्शित है। प्रत्येक तार में i धारा प्रवाहित हो रही है। चारों कोनों से समान दूरी पर स्थित बिन्दु 'O' पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात करो ?



B-5. चित्रानुसार एक लम्बे तार को मध्य से मोड़कर समकोण बनाया गया है। दर्शाइये Q तथा R बिन्दुओं पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण असमान है तथा चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण भी ज्ञात करो ? तार w_1 एवं वृत्त की परिधी समतलीय है एवं w_2 कागज के तल के लम्बवत् है। Q एवं R पर चुम्बकीय क्षेत्र का अनुपात भी ज्ञात करो।

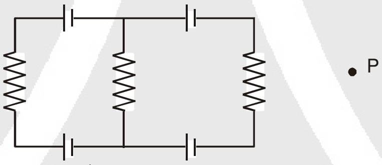


B-6. एक लम्बे धारावाही तार में ' i ' धारा प्रवाहित हो रही है। इसे समतल कोण θ से मोड़ दिया जाता है। इस कोण के लम्बअर्द्धक पर शीर्ष से x दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र B का मान $K\cot\frac{\theta}{4}$ टेसला के पदों में दिया जाता है। K का मान होगा।



B-7. 'a' भुजा वाले वर्ग में ' i ' धारा प्रवाहित हो रही है तो इसके केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान ज्ञात करिए ?

B-8. चित्रानुसार प्रत्येक बैटरी का वि०वा० बल 10 वोल्ट है। P बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र B ज्ञात करो।



खण्ड (C) : वृत्ताकार लूप के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

C-1. (i) दो वृत्ताकार कुण्डलियों की त्रिज्यायें 5.0 सेमी० तथा 10 सेमी० है, दोनों में 1 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। दोनों कुण्डलियों में क्रमशः 50 तथा 100 घेरे है, दोनों इस प्रकार रखी है कि उनके तल तथा केन्द्र सम्पाती है तो दोनों कुण्डलियों के उभयनिष्ठ केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र B का मान ज्ञात करो। जब कुण्डलियों में धारा (a) समान दिशा में प्रवाहित हो रही हो। (b) विपरीत दिशा में प्रवाहित हो रही हो।

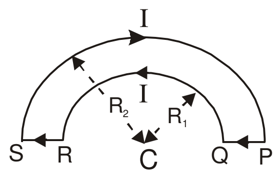
(ii) उपरोक्त प्रश्न में यदि बाहरी कुण्डली को व्यास के सापेक्ष 90º से घुमा दिया जाये तो केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र B का परिमाण क्या होगा?

C-2. दो समाक्षीय वृत्ताकार कुण्डलियों में प्रत्येक की त्रिज्या 4 सेमी० व प्रत्येक में 10 घेरे है। दोनों एक दूसरे से 6 सेमी० की दूरी पर रखी है। यदि प्रत्येक कुण्डली में 1 ऐम्पियर की धारा विपरीत दिशा में प्रवाहित की जाये तो चुम्बकीय प्रेरण का मान ज्ञात करो।

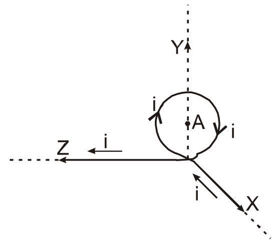
(a) प्रत्येक कुण्डली के केन्द्र पर (b) दोनों की अक्ष के मध्य बिन्दु पर।

खण्ड (D) : सीधे तार तथा वृत्तीय चाप के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

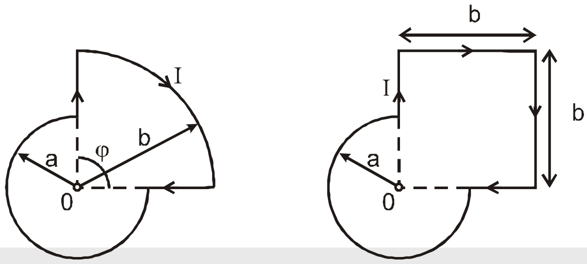
D-1. चित्रानुसार दो अर्द्धवृत्ताकार तार जिनकी त्रिज्यायें R_1 तथा R_2 है, को जोड़कर PQRSP लूप बनाया गया है। केन्द्र C पर चुम्बकीय प्रेरण का परिमाण ज्ञात करो।



D-2. पतले चालक तार से बने निकाय में ' i' धारा प्रवाहित हो रही है। इसमें R त्रिज्या के वृत्ताकार चालक के केन्द्र बिन्दु A (0, R, 0) पर चुम्बकीय प्रेरण B का परिमाण ज्ञात करो। वृत्ताकार भाग yz तल में स्थित है।

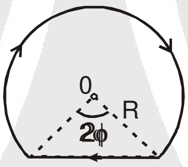


D-3. चित्र में दी गई आकृत्तियों के लूपों में धारा I प्रवाहित हो रही है। इन लूपों के बिन्दु 'O' पर चुम्बकीय प्रेरण ज्ञात करो।

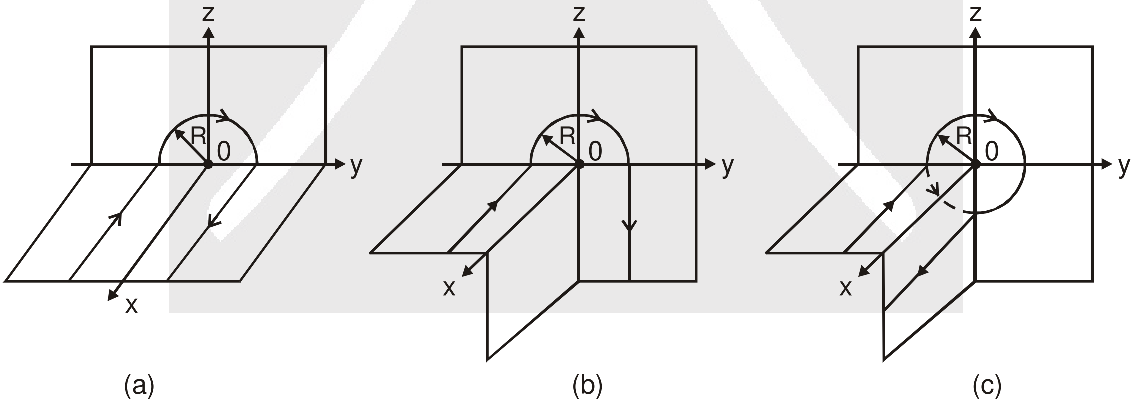


(a) (b)

(a) चित्र 'a' में कोण φ तथा त्रिज्यायें a,b ज्ञात राशियां है।
(b) चित्र b में त्रिज्या a तथा भुजा b ज्ञात राशियां है।
(c) चित्रानुसार पतले तार में I = 5.0 ऐम्पियर धारा प्रवाहित हो रही है। तार के वक्राकार भाग की त्रिज्या R = 120 mm तथा कोण $2\varphi = 90°$ हो तो बिन्दु O पर चुम्बकीय प्रेरण ज्ञात करो।



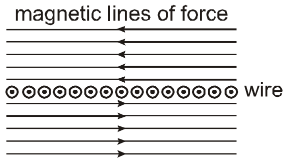
D-4. चित्रानुसार a, b, c तीन आकृतियाँ प्रदर्शित है, तार में I धारा प्रवाहित हो रही है तो प्रत्येक आकृतियों में 'O' बिन्दु पर चुम्बकीय प्रेरण ज्ञात करो ? वक्राकार भाग की त्रिज्या R है। जबकि तार का रेखीय भाग बहुत लम्बा है।



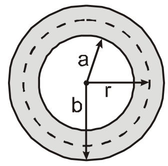
(a) (b) (c)

खण्ड (E) : बेलन,बड़ी पट्टिका, परिनलिका व टोरॉइड के कारण चुम्बकीय क्षेत्र तथा ऐम्पियर का नियम

E-1. एक चालक में अनन्त तार सन्निकट रखे है, प्रत्येक तार अनन्त लम्बाई का है व प्रत्येक में ' i ' धारा प्रवाहित हो रही है। सिद्ध करो कि चित्र में दर्शायी अनन्त लम्बाई की शीट के सम्मुख चुम्बकीय बल रेखाऐं को चुम्बकीय क्षेत्र $B = (1/2)\,\mu_0\, ni$, द्वारा व्यक्त किया जाता है। यहाँ n एकांक लम्बाई में चालक तारों की संख्या है।



E-2. चित्र में बेलनाकार चालक प्रदर्शित है। इसकी आन्तरिक त्रिज्या a तथा बाह्य त्रिज्या b है, इसके अनुप्रस्थ काट क्षेत्र में *i* धारा एक समान रूप से वितरीत है। दर्शाइये चालक के आन्तरिक बिन्दु (i.e. $a < r < b$) पर चुम्बकीय क्षेत्र B, $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi(b^2 - a^2)} \frac{r^2 - a^2}{r}$ होगा। $a = 0$ सीमान्त स्थिति के लिए उपरोक्त सूत्र की जांच करो।



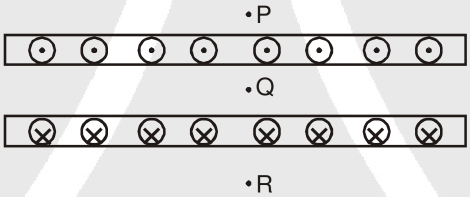
E-3. एक r त्रिज्या की पतली लम्बी खोखली बेलनाकार नली में इसकी लम्बाई के अनुदिश 'i' धारा प्रवाहित हो रही है तो इसके पृष्ठ से r/4 दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र दी गई स्थितियों पर ज्ञात करो। (a) नली के अन्दर (b) नली के बाहर।

E-4. एक लम्बी परिनलिका में 10 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है, इसके अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र $B = 3.14 \times 10^{-2}$ T टेसला है। तो परिनलिका की एकांक लम्बाई में घेरों की संख्या ज्ञात करो ?

E-5. एक परिनलिका जिसकी लम्बाई 20 सेमी० व त्रिज्या 1.0 सेमी० है इसके प्रत्येक मीटर पर 0.01 ओम प्रतिरोध वाले लम्बे तांबे के तार के 400 घेरे लपेटे हुए है तो परिनलिका के सिरों पर जुड़ी हुई बैटरी का वि०वा०बल ज्ञात करो। इस बैटरी के कारण परिनलिका के केन्द्र के पास उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र का मान 1.0×10^{-2} T टैसला है।

E-6 एक विशाल धातु की पट्टिका में पृष्ठीय धारा प्रवाहित हो रही है, इसके समीप एक कसकर लपेटी हुई लम्बी परिनालिका इस प्रकार रखी हुई है कि इसकी अक्ष पट्टिका के समानान्तर है। पट्टिका की dl चौड़ाई से पृष्ठ धारा Kdl है तथा परिनालिका की एकांक लम्बाई में फेरों की संख्या n है। परिनालिका के केन्द्र के समीप चुम्बकीय क्षेत्र शून्य है। (a) परिनालिका में प्रवाहित धारा ज्ञात कीजिये। (b) यदि परिनालिका को इस प्रकार घुमाया जाता है कि इसकी अक्ष धातु की पट्टिका से 60º के कोण पर हो जाये, तो इसके केन्द्र के समीप चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण कितना होगा ?

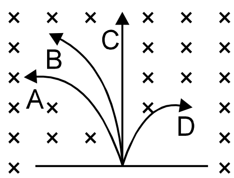
E-7. चित्रानुसार दो धातु की पट्टिकाओं में पृष्ठीय धारा प्रवाहित हो रही है। dl चौड़ाई की पट्टिका से Kdl धारा प्रवाहित हो रही है, जहां K नियतांक है। तो बिन्दु P, Q तथा R पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो ?



खण्ड (F) : आवेश पर चुम्बकीय बल (Normal incidence)

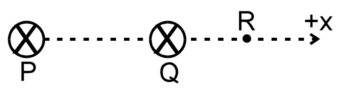
F-1. एक आवेशित कण 24 kV के विभवान्तर द्वारा त्वरित होता है तथा 2×10^6 m/s वेग प्राप्त करता है। यह 0.2 T के चुम्बकीय क्षेत्र में लम्बवत् प्रवेश करता है। तो इसके द्वारा बनाये गये वृत्त की त्रिज्या ज्ञात करो।

F-2. समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में एक न्यूट्रॉन, प्रोटॉन, इलेक्ट्रॉन तथा α-कण सभी समान वेग से प्रवेश करते है। चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा कागज के तल के लम्बवत् अन्दर की ओर है तो निम्न में से कौनसे पथ इलेक्ट्रॉन तथा α-कण के होंगे।



F-3. सूत्र $X = 3\ YZ^2$ में राशियां X तथा Z क्रमशः धारिता तथा चुम्बकीय प्रेरण की विमाऐं है, तो MKS पद्वति में Y की विमा.............. होगी।

F-4. चित्रानुसार P तथा Q बिन्दु पर दो लम्बे समान्तर तार कागज के तल के लम्बवत् रखे हैं। दोनों में क्रमशः 2.5 amps तथा I ऐम्पियर की धारा समान दिशा में (कागज के तल के लम्बवत् अन्दर की ओर) प्रवाहित हो रही है। P तथा Q बिन्दु की संरेखीय बिन्दु R से दूरी क्रमशः 5m तथा 2m है।



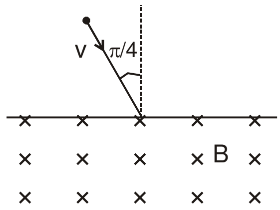
(a) एक इलेक्ट्रॉन 4×10^5 m/s वेग से धनात्मक X-दिशा में गति कर रहा है, यह बिन्दु R पर 3.2×10^{-20} N बल अनुभव करता है तो I का मान ज्ञात करो ?

(b) 2.5 एम्पियर धारा प्रवाह वाले लम्बे समान्तर तार की सभी स्थितियॉ ज्ञात कीजिए, जिसके कारण बिन्दु R पर चुम्बकीय प्रेरण शून्य हो।

F-5. एक कण X–Y तल में गतिकर रहा है, इसका आवेश 5×10^{-10} C कूलॉम है। इस पर चुम्बकीय क्षेत्र $8\hat{k}$ mT टेसला द्वारा $(4.0\hat{i} + 3.0\hat{j}) \times 10^{-10}$ न्यूटन का बल कार्य कर रहा है तो कण का वेग ज्ञात करो ?

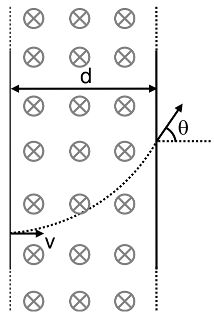
F-6. एक प्रयोगकर्मी की डायरी के अनुसार "एक आवेशित कण को चुम्बकीय क्षेत्र $(7.0\hat{i} - 3.0\hat{j}) \times 10^{-3}$ T में प्रक्षेपित करते है। कण का त्वरण $(x\hat{i} + 7.0\hat{j}) \times 10^{-6}$ m/s^2 पाया जाता है। x का मान ज्ञात करिये।

F 7. एक धनात्मक आवेश q, जिसका द्रव्यमान m है, चित्र में दिखाये गये चुम्बकीय क्षेत्र में एक समान वेग v से प्रवेश करता है। (a) चुम्बकीय क्षेत्र में बनाये गये वृत्तीय चाप की त्रिज्या ज्ञात करो ? (b) केन्द्र पर चाप द्वारा बनाया गया कोण ज्ञात करो ? (c) कण चुम्बकीय क्षेत्र में कितनी देर रहेगा ? (d) यदि आवेश q ऋणात्मक हो तो उपरोक्त तीनों भाग पुनः हल करो ?

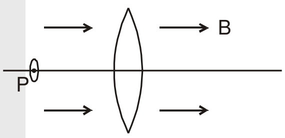


F 8. एक लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्र B में q आवेश व m द्रव्यमान का कण प्रक्षेपित किया जाता है। जब कण चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर आता है तो इसका विक्षेपण कोण ज्ञात करो यदि चुम्बकीय क्षेत्र की चौड़ाई d का मान, (a),(b) तथा (c) में दिये गये मानों से बिल्कुल थोड़ा सा कम हो।

(a) $\dfrac{mv}{qB}$ (b) $\dfrac{mv}{\sqrt{2}qB}$ (c) $\dfrac{3mv}{qB}$



F-9. चित्रानुसार उत्तल लैन्स की फोकल लम्बाई 10 cm है, 1.2 टेसला का चुम्बकीय क्षेत्र B इसकी मुख्य अक्ष के समान्तर है। एक 2.0×10^{-5} C आवेश तथा 2×10^{-5} kg का कण चित्र के तल के लम्बवत् 4.8 m/s के वेग से प्रक्षेपित किया जाता है। यह कण वृत्तीय पथ के अनुदिश गति करता है, इसका केन्द्र लैन्स की मुख्य अक्ष पर लैन्स से 15 cm की दूरी पर है। लैन्स तथा वृत्त की अक्ष एक ही है। दर्शाइये कण का प्रतिबिम्ब वृत्त के अनुदिश गति करेगा तथा इस वृत्त की त्रिज्या भी ज्ञात करो ?



F-10. एक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण 0.20 T तथा दिशा पूर्व से पश्चिम की ओर है। एक कण जिसका द्रव्यमान व आवेश क्रमशः 10^{-5} kg तथा 10^{-5} C है को दक्षिण से उत्तर की ओर प्रक्षेपित किया जाने पर यह एक समान वेग से गति करता है तो कण का प्रक्षेपण वेग ज्ञात किजिए? (g = 10 m/s^2)

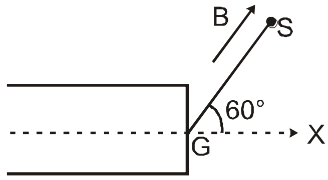
F-11. एक कसकर लिपटी हुई परिनलिका की इकाई लम्बाई में n फेरे है, इसकी त्रिज्या r है तथा इसमें i धारा प्रवाहित हो रही है। इसकी अक्ष पर स्थित एक बिन्दु से m द्रव्यमान एवं q आवेश वाला एक कण परिनलिका के अक्ष के लम्बवत् दिशा में किस न्यूनतम चाल से प्रक्षेपित किया जाए कि कण परिनलिका से टकराए ?

खण्ड (G) : आवेश पर चुम्बकीय बल (तिर्यक आपतन)

G-1. एक 5.0×10^{-12} kg व 5.0 μC आवेश का कण 5.0 mT के चुम्बकीय क्षेत्र में 1.0 km/s की चाल से प्रक्षेपित किया जाता है। चुम्बकीय क्षेत्र सदिश तथा वेग सदिश के मध्य $\sin^{-1}(0.90)$ का कोण है। दर्शाइये कण का पथ हेलिकल होगा तथा हेलिकल (सर्पिलाकार) का व्यास व पिच ज्ञात करो ?

G-2. एक प्रोटॉन को 0.04 T के चुम्बकीय क्षेत्र में प्रक्षेपित किया जाता है यह हेलिकल पथ पर गति करता है, इस पथ (प्रेक्षित वृत्त) की त्रिज्या व पिच क्रमशः 5.0 cm तथा 20 cm है। प्रोटॉन के वेग का चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर तथा लम्बवत् घटक ज्ञात करो ? प्रोटॉन का द्रव्यमान 1.6×10^{-27} kg है।

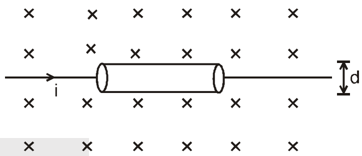
G-3. एक इलेक्ट्रॉन गन G द्वारा 2 keV ऊर्जा के इलेक्ट्रॉन धनात्मक x-अक्ष की ओर उत्सर्जित किये जाते है। इलेक्ट्रॉन बिन्दु S पर टकराये जाते है यहाँ GS = 0.1 मी. तथा GS रेखा x-अक्ष के साथ 60° कोण पर है जैसा चित्र में प्रदर्शित है। इलेक्ट्रॉन गन के बाहर क्षेत्र में GS के समान्तर एक समरूपी चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ उपस्थित है इलेक्ट्रॉन को S पर टकराने हेतु आवश्यक न्यूनतम चुम्बकीय क्षेत्र B होगा। (इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = 9×10^{-31} kg])



खण्ड (H) : आवेश पर चुम्बकीय तथा विद्युत बल

H-1. एक इलेक्ट्रॉन पुंज, एक साथ आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र 2×10^{-3} Wb/m^2 तथा विद्युत क्षेत्र 3.2×10^4 V/m, से गुजरता है। ($\vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{V}$) है। यदि इलेक्ट्रॉन का पथ अविचलित रहता है तो इलेक्ट्रॉन की चाल ज्ञात करो ? यदि विद्युत क्षेत्र हटा लिया जाये तो इलेक्ट्रॉन के पथ की त्रिज्या क्या होगी ? [इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = 9.1×10^{-31} kg]

H-2. सोने की एक बेलनाकार पट्टिका की त्रिज्या r है इससे i धारा प्रवाहित हो रही है। एकांक आयतन में मुक्त इलेक्ट्रॉन की संख्या n है तो (a) इलेक्ट्रॉन का अपवहन वेग v ज्ञात करो ? (b) चित्र में दिखाये गये क्षेत्र में यदि चुम्बकीय क्षेत्र B विद्यमान हो तो मुक्त इलेक्ट्रॉन पर औसत चुम्बकीय बल क्या होगा ?



(c) चुम्बकीय बल के कारण चालक की लम्बाई के एक सिरे पर मुक्त इलेक्ट्रॉन इकट्ठे हो जाते है। यह चालक में अनुप्रस्थ विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करते है जो कि इलेक्ट्रॉन पर लगने वाले चुम्बकीय बल का विरोध करता है, यह विद्युत क्षेत्र इलेक्ट्रॉन के पुनः संग्रहण को रोक देता है। अतः इस विद्युत क्षेत्र का परिमाण ज्ञात करिये ? (d) इलेक्ट्रॉन संग्रहण के कारण चालक की चौड़ाई के सिरों पर उत्पन्न विभवान्तर क्या होगा ? जब धारा प्रवाही तार को चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो अनुप्रस्थ वि०वा०बल उत्पन्न होता है इसे हॉल प्रभाव कहते है।

H-3. एक कण 1.0 cm त्रिज्या के वृत्तीय पथ पर 0.40 T वाले चुम्बकीय क्षेत्र के प्रभाव में गति कर रहा है। 200 V/m का विद्युत क्षेत्र इसके पथ को सरल रेखीय बनाता है। तो कण के आवेश तथा द्रव्यमान का अनुपात ज्ञात करो ?

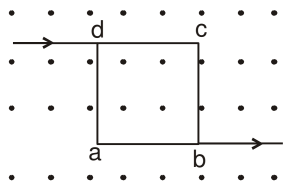
H-4. एक प्रोटॉन परस्पर लम्बवत् चुम्बकीय तथा विद्युत क्षेत्र में से 10^5 m/s के वेग से बिना विचलित हुए गुजरता है। प्रोटॉन का वेग दोनों क्षेत्रों के लम्बवत् है। जब विद्युत क्षेत्र हटा दिया जाता है तो प्रोटॉन 2 cm त्रिज्या के पथ पर गति करने लगता है तो चुम्बकीय क्षेत्र तथा विद्युत क्षेत्र के परिमाण ज्ञात करो। प्रोटॉन का द्रव्यमान = 1.6×10^{-27} किग्रा० है।

H-5. एक m द्रव्यमान तथा q आवेश वाले कण को मूल बिन्दु से ऐसे क्षेत्र में छोड़ा जाता है जिसमें विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र दोनों विद्यमान है। $\vec{B} = +B_0\hat{j}$ तथा $\vec{E} = +E_0\hat{i}$ है। कण की चाल X-निर्देशांक के फलन में ज्ञात करो ?

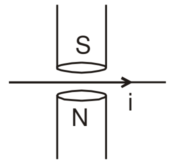
खण्ड (I) : धारावाही तार पर चुम्बकीय बल

I-1. एक सीधे धारावाही तार के 10 cm भाग से 10 A की धारा प्रवाहित हो रही है। यह 0.1 T वाले चुम्बकीय क्षेत्र से 37º का कोण बना रहा है तो तार पर चुम्बकीय बल ज्ञात करो।

I-2. एक वर्गाकार लूप abcd जिसकी एक भुजा की लम्बाई 10 cm है, के कोने d से 2 A की धारा प्रवेश कर रही है तथा विपरीत कोने b से बाहर आ रही है। चित्रानुसार लूप के तल के लम्बवत् B = 0.1 T का चुम्बकीय क्षेत्र प्रदर्शित है। लूप की चारों भुजाओं पर चुम्बकीय बल की दिशा व परिमाण ज्ञात करो ?



I-3. चित्रानुसार एक प्रबल बेलनाकार विद्युत चुम्बक, जिसका व्यास 4.0 cm है, द्वारा 1.0 T का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न किया जाता है। बेलनाकार क्षेत्र की अक्ष को लम्बवत् प्रतिछेदित करता हुआ एक तार रखा है, इसमें 2.0 A की धारा प्रवाहित हो रही है। तो क्षेत्र द्वारा तार पर लगने वाले बल का परिमाण ज्ञात करो ?

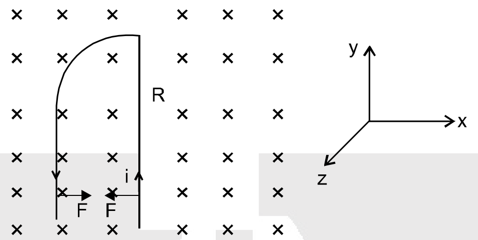


I-4. एक ℓ लम्बाई का तार y–अक्ष के अनुदिश रखा है, इसमें i धारा प्रवाहित हो रही है। विद्यमान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = B_0(\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})$T है। तार पर कार्यकारी बल का परिमाण ज्ञात करो।

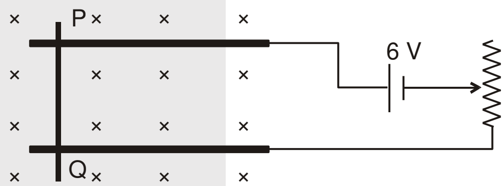
I-5. एक पतले क्षैतिज तार की लम्बाई 0.2 मी० व द्रव्यमान 10^{-4} kg है। जब इसमें से 10 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित की जाती है तो यह चुम्बकीय क्षेत्र में तैरता है। इसे सम्भव बनाने के लिए न्यूनतम चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता क्या होगी? (लीजिए $g = 10\ m/s^2$)

I-6. X – Y तल में वक्र $y = A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$ के अनुदिश रखे तार में 'i' धारा प्रवाहित हो रही है। एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B की दिशा z-अक्ष के अनुदिश है। तार के x = 0 तथा $x = \lambda/2$ वाले भाग में लगने वाले चुम्बकीय बल का परिमाण ज्ञात करो ?

I-7. चित्रानुसार एक दृढ़ तार R त्रिज्या के वृत्तीय भाग का चतुर्थांश तथा दो सीधे तार से मिलकर बना है। तार लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्र B में आंशिक रूप से रखा है। यदि इसमें 'i' धारा प्रवाहित हो रही है तो तार पर लगने वाला चुम्बकीय बल ज्ञात करो ?



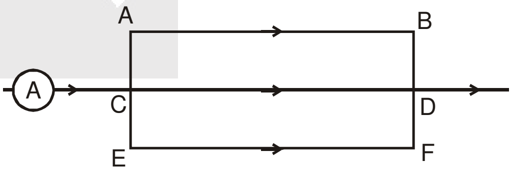
I-8. एक धातु का तार PQ जिसका द्रव्यमान 10 gm है। यह क्षैतिज धातु की पटरियो पर विरामावस्था में रखा है। दोनों पटरियों के मध्य की दूरी चित्रानुसार 4.90 cm (figure) है। 0.800 T का चुम्बकीय क्षेत्र ऊर्ध्वाधर नीचे की ओर विद्यमान है। परिपथ के प्रतिरोध को धीरे–धीरे घटाया जाता है और जब यह 20.0 Ω से कम हो जाता है तो तार PQ पटरियों पर फिसलने लगता है तो घर्षण गुणांक का मान ज्ञात करो। PQ तार पर धातु की पटरियों द्वारा लगने वाले चुम्बकीय बल को नगण्य मानना है ($g = 9.8\ m/s^2$)



I-9. दो लम्बे तारों में समान दिशा में धारा प्रवाहित हो रही हैं यह दोनों तार एक दूसरे को आकर्षित कर रहे हैं, जबकि दो समान्तर इलेक्ट्रॉन के पुंज जो कि समान दिशा में प्रवाहित हैं एक दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं। समझाइये।

I-10. किसी क्षेत्र में विद्यमान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = B_0\left(1-\frac{x}{\ell}\right)\hat{k}$, B_0 तथा ℓ नियतांक है। जहाँ x बिन्दु का x निर्देशांक है तथा $\hat{k}$, z अक्ष के अनुदिश एकांक सदिश है। एक वर्गाकार लूप जिसकी भुजा ℓ है व इसमें i, धारा प्रवाहित हो रही है, इस प्रकार रखा है कि इसकी भुजाऐं x तथा y अक्षों से समान्तर है। तो लूप पर लगने वाले परिणामी चुम्बकीय बल का परिमाण ज्ञात करो ?

I-11. चित्र में विद्युत परिपथ का भाग प्रदर्शित है। AB, CD तथा EF समान प्रतिरोध के बहुत लम्बे तार है। एक तार की उसके नजदीक वाले तार से दूरी 2 cm है। तार AE व BF के प्रतिरोध नगण्य है तथा अमीटर का पाठयांक 60 A है तो AB तथा CD तार की प्रति एकांक लम्बाई पर लगने वाला चुम्बकीय बल ज्ञात करो ?



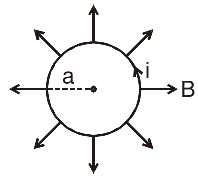
I-12. दो लम्बे समान्तर चालकों के मध्य दूरी r_1 = 5cm है। दोनों में i_1 = 10 A तथा i_2 = 20 A नियत धारा प्रवाहित हो रही है। दोनों के मध्य की दूरी r_2 = 10 cm से बढ़ाने के लिए चालक की प्रति एकांक लम्बाई पर किया गया कार्य क्या होगा ? जबकि दोनों चालाकों में धारा समान दिशा में प्रवाहित हो रही हो।

I-13. क्षैतिज तल में d दूरी पर स्थित प्लास्टिक की दो पटरियों पर ℓ लम्बाई एवं m द्रव्यमान का एक क्षैतिज सीधा तार फिसल सकता है। तार तथा पटरियों के मध्य घर्षण गुणांक μ है। यदि तार में प्रवाहित धारा 'i' है, परिक्षेत्र में न्यूनतम कितना चुम्बकीय क्षेत्र उपस्थित होना चाहिए, ताकि पटरियों पर तार फिसल सके।

खण्ड (J) : धारावाली लूप पर बल तथा बल आघूर्ण और चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण

J-1. एक वृत्ताकार कुण्डली में 100 घेरे है। इसकी प्रभावी त्रिज्या तथा इसमें प्रवाहित धारा क्रमशः 0.05 m व 0.1 amp. है (धारा नियत मानते हुए)। इसे बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र 1.5 wb/m^2 में चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् अक्ष के सापेक्ष 180^0 के कोण से घुमाने के लिए कितना कार्य करना पड़ेगा? प्रारम्भ में कुण्डली का तल चुम्बकीय क्षेत्र के लम्ववत् है–

J-2. (a) एक द्विवीमीय चुम्बकीय क्षेत्र में a त्रिज्या का वृत्ताकार लूप रखा है तथा इसमें i धारा प्रवाहित हो रही है। चित्रानुसार लूप का केन्द्र क्षेत्र के केन्द्र से सम्पाती है। वृत्त की परिधि पर चुम्बकीय क्षेत्र की सामर्थ्य B है तो लूप पर चुम्बकीय बल ज्ञात करो।



(b) किसी स्थान पर काल्पनिक चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = B_0\vec{e}_r$, विद्यमान है, जहां $\vec{e}_r$ एकांक सदिश है। यह मूल बिन्दु के सापेक्ष किसी बिन्दु की त्रिज्यीय दिशा के अनुदिश है तथा B_0 = नियतांक है। एक वृत्ताकार लूप जिसकी त्रिज्या a तथा इसमें i धारा प्रवाहित हो रही है। इसका तल X-Y तल के समान्तर है व केन्द्र (0, 0, a) पर है। तो लूप पर कार्यरत चुम्बकीय बल का परिमाण ज्ञात करो ?

J-3 एक आयताकार कुण्डली में 100 घेरे है इसकी लम्बाई 4 cm तथा चौड़ाई 5 cm है। इसमें 2A की धारा प्रवाहित हो रही है। इसका तल समरूप चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर है। यदि कुण्डली पर 0.2 N-m का बल आघूर्ण कार्यरत हो तो चुम्बकीय क्षेत्र B का परिमाण ज्ञात करो।

J-4 4 cm त्रिज्या व 50 घेरे वाली कुण्डली में 2.5 A की धारा प्रवाहित हो रही है। यह 0.20 T वाले चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णन कर रही है। (a) कुण्डली पर अधिकतम बल आघूर्ण ज्ञात करो ? (b) किसी विशेष स्थिति में कुण्डली पर बल आघूर्ण इसके अधिकतम मान का आधा होता है। तो चुम्बकीय क्षेत्र तथा कुण्डली के तल के मध्य कितना कोण है ?

J-5 एक वर्गाकार लूप की भुजा 10 सेमी. है व इसमें 10 एम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। लूप की एक भुजा के समान्तर 0.20 टेसला का चुम्बकीय क्षेत्र विद्यमान है तो (a) लूप पर कार्यरत बल क्या है? (b) लूप पर कार्यरत बल आघूर्ण क्या है ?

J-6. 2.0 सेमी० व्यास व 500 घेरों वाली वृत्ताकार कुण्डली में 1.0 A की धारा प्रवाहित हो रही है। इसकी अक्ष किसी स्थान पर स्थित 0.40 T के समरूप चुम्बकीय क्षेत्र से 30^o का कोण बना रही है तो कुण्डली पर बल आघूर्ण ज्ञात करो?

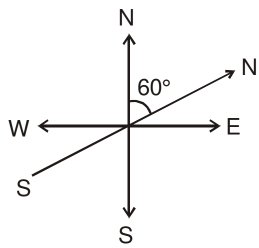
J-7. एक वृत्ताकार कुण्डली में 'i' धारा प्रवाहित हो रही है व इसके तार की लम्बाई L है। समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B लूप के तल के समान्तर है। (a) लूप पर बल आघूर्ण ज्ञात करो। (b) यदि उसी लम्बाई के तार से एक आयताकार लूप बनाया जाये जिसकी भुजाओं का अनुपात 1 : 2 हो, तो इस पर बल आघूर्ण क्या होगा ? दोनों में कौनसा बड़ा होगा?

J-8. एक R त्रिज्या की विद्युतरोधी वलय पर Q आवेश समानरूप से वितरित है। यदि वलय को इसकी अक्ष के सापेक्ष ω कोणीय वेग से घुमाया जाये तो वलय का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करो ?

खण्ड (K) : चुम्बक तथा पृथ्वी के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

K-1. दो वृत्ताकार कुण्डली, प्रत्येक में 100 फेरे है, इस प्रकार रखी गई है कि एक ऊर्ध्व तल में है तथा दूसरी क्षैतिज तल में है तथा इनके केन्द्र संपाती है। ऊर्ध्वाधर व क्षैतिज कुण्डलियों की त्रिज्या क्रमशः 20 cm व 30 cm है। यदि इनमें धारा की दिशायें इस प्रकार है कि कुण्डलियों के केन्द्र पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र, ठीक निरस्त हो जाता है। तो प्रत्येक कुण्डली में धारा का मान ज्ञात कीजिए। [पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक = $27.8\ \mu_0\ Am^{-1}$; नमन कोण = 30^o]

K-2. 6 Amp.m^2 के चुम्बकीय आघूर्ण का एक छोटा चुम्बक क्षैतिज तल में रखा है। इसका उत्तरी ध्रुव, उत्तर से पूर्व दिशा की ओर 60^o का कोण बनाता है। चुम्बक से चुम्बक की अक्ष पर 0.2 m दूरी पर उत्तर में स्थित किसी बिन्दु पर कुल क्षैतिज चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात कीजिए। [पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक = 0.3×10^{-4} टेसला]



K-3. एक कुण्डली में घेरों की संख्या 50 तथा व्यास 20 cm है व तार का व्यास 0.2 mm तथा प्रतिरोधकता $2 \times 10^{-6}\ \Omega$ cm है। कुण्डली 20 V के वि.वा.बल तथा नगण्य आन्तरिक प्रतिरोध वाले स्रोत से जुड़ी है।
(a) कुण्डली द्वारा प्रवाहित धारा ज्ञात करो ?.
(b) कुण्डली के केन्द्र पर 3.14×10^{-5} टेसला का पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र क्षैतिज घटक शून्य हो जाये इसके लिए कुण्डली के सिरों पर न्यूनतम विभवान्तर क्या होगा ? उपरोक्त परिणाम को प्राप्त करने के लिए कुण्डली को कैसे रखा जाना चाहिए।

खण्ड (L) : चुम्बकीय पदार्थ

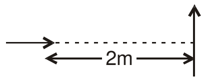
L-1. 1600 Am^{-1} का एक चुम्बकन क्षेत्र एक लौहे की छड़ जिसका अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल $0.2cm^2$ है, उसमें 2.4×10^{-5} वेबर का चुम्बकीय फ्लक्स उत्पन्न करता है। छड़ की चुम्बक शीलता एवं चुम्बकीय प्रवृति ज्ञात कीजिए।

L-2. 3000 घेरों वाली टॉरॉइड की कोर की आंतरिक एवं बाह्य त्रिज्या क्रमशः 11 cm तथा 12 cm है। 0.6 A की धारा कोर में 2.5T का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती हैं। कोर की आपेक्षिक चुम्बकशीलता की गणना कीजिए। ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ TmA^{-1}).

भाग - II : केवल एक सही विकल्प प्रकार (ONLY ONE OPTION CORRECT TYPE)

खण्ड (A) : चुम्बक तथा गतिशील आवेश के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

A-1. दो समान छोटे चुम्बकीय द्विध्रुवों प्रत्येक का चुम्बकीय आघूर्ण 1.0 $A\text{-}m^2$ है, दोनों की अक्ष परस्पर लम्बवत् है तथा उनके बीच की दूरी 2 m है तो द्विध्रुवों के बीच के मध्य बिन्दु पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो।



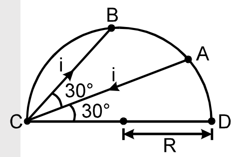
(A) 5×10^{-7} T (B) $\sqrt{5} \times 10^{-7}$ T (C) 10^{-7} T (D) 2×10^{-7} T

A-2. एक बिन्दुवत् आवेश वृत्त पर नियत चाल से गति कर रहा है। वृत्त की अक्ष पर स्थिर बिन्दु P (यह बिन्दु वृत्त का केन्द्र नहीं है) पर आवेश द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र का
(A) केवल परिमाण नियत होगा। (B) केवल दिशा नियत होगी।
(C) दिशा एवम् परिमाण दोनों नियत होगा। (D दिशा एवम् परिमाण दोनों नियत नही है।

खण्ड (B) : सीधे तार के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

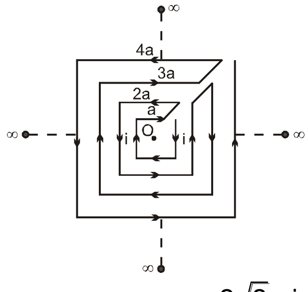
B-1. दो अनन्त लम्बाई के पतले सीधे विद्युतरोधी तार x-y तल में क्रमशः x तथा y-अक्ष के अनुदिश रखे है। प्रत्येक तार में क्रमशः धनात्मक x–दिशा तथा धनात्मक y–दिशा में 'i' धारा प्रवाहित हो रही है तो चुम्बकीय क्षेत्र किस सरल रेखा पर शून्य होगा।
(A) y = x (B) y = – x (C) y = x – 1 (D) y = – x + 1

B-2. चित्रानुसार एक धारावाही तार 'R' त्रिज्या के अर्द्धवृत्ताकार विद्युतरोधी खांचे में रखा है। धारा बिन्दु A से प्रवेश कर रही है तथा B बिन्दु से बाहर आ रही है तो बिन्दु D पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो।



(A) $\frac{\mu_0 I}{8\pi R\sqrt{3}}$ (B) $\frac{\mu_0 I}{4\pi R\sqrt{3}}$ (C) $\frac{\sqrt{3}\mu_0 I}{4\pi R}$ (D) इनमें से कोई नहीं

B-3. चित्र में व्यवस्थित धारावाही तार के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण ज्ञात करो। तार की यह व्यवस्था अनन्त तक विस्तारित है। उत्तरोत्तर वर्गो को जोड़ने वाले तार, केन्द्र से गुजरने वाली रेखा के अनुदिश है। (मानिये कि वर्गों के मध्य तार के घुमाव में नगण्य अन्तराल है)

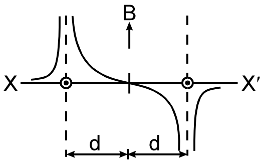


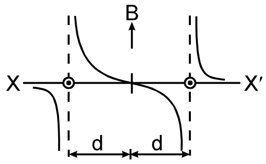
(A) $\frac{\mu_0 i}{\sqrt{2}\pi a}$ (B) 0 (C) $\frac{2\sqrt{2}\mu_0 i}{\pi a}\ell n2$ (D) इनमें से कोई नहीं

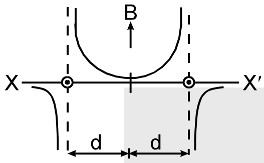
B-4. दो समान्तर एवं लम्बे तारों में i_1 तथा i_2 धाराएँ प्रवाहित हो रही है तथा $i_1 > i_2$ है। जब धाराएँ एक ही दिशा में है, तारों के मध्य स्थित बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता $20\mu T$ है। यदि i_1 की दिशा परिवर्तित कर दी जाये तो क्षेत्र $30\mu T$ हो जाता है। अनुपात i_1/i_2 का मान होगा –

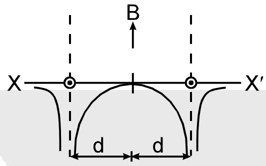
(A) 4 (B) 3 (C) 5 (D) 1

B-5. दो लम्बे समानान्तर तार एक दूसरे से 2d दूरी पर है। इनमें बराबर तथा स्थिर धारा जो कि कागज के तल के बाहर प्रवाहित हो रही है, दर्शायी गयी है। चुम्बकीय क्षेत्र का परिवर्तन XX' के अनुदिश निम्न में से होगा।

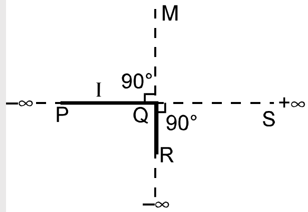
(A) 

(B) 

(C) 

(D) 

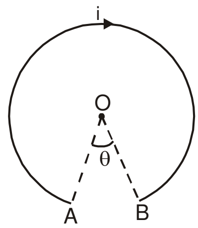
B-6. एक अनन्त लम्बाई के तार PQR को समकोण पर चित्रानुसार मोड़ा गया है। PQR से I धारा प्रवाहित हो रही है। इस धारा के कारण बिन्दु M पर चुम्बकीय क्षेत्र H_1 है। अब एक दूसरा अनन्त लम्बाई का तार QS बिन्दु Q पर इस प्रकार जोड़ा जाता है कि PQ में धारा अपरिवर्तित रहती है। बिन्दु M पर अब चुम्बकीय क्षेत्र H_2 हो तो H_1/H_2 का अनुपात होगा ?



(A) 1/2 (B) 1 (C) 2/3 (D) 2

खण्ड (C) : वृत्ताकार लूप, सीधे तार, वृत्तीय चाप, बेलन, बड़ी पट्टिका, परिनालिका तथा टॉराइड के कारण चुम्बकीय क्षेत्र तथा ऐम्पियर का नियम

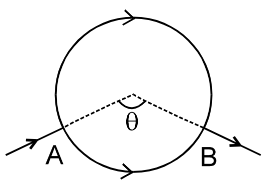
C-1. चित्रानुसार $2\pi R$ लम्बाई के एक धारावाही तार AB को वृत्त में चित्रानुसार मोड़ा जाता है तो केन्द्र O पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो।



(A) $\frac{\mu_0 i}{2R}\left(\frac{2\pi-\theta}{2\pi}\right)^2$ (B) $\frac{\mu_0 i}{2R}\left(\frac{2\pi-\theta}{2\pi}\right)$

(C) $\frac{\mu_0 i}{2R}\ (2\pi-\theta)$ (D) $\frac{\mu_0 i}{2R}\ (2\pi+\theta)^2$

C-2. एक समरूप चालक वलय की परिधि पर स्थित बिन्दु A तथा B के मध्य एक बैटरी को जोड़ा गया है। वलय की त्रिज्या तथा प्रतिरोध क्रमशः r व R है। चाप AB केन्द्र पर θ कोण बना रहा है। वलय में प्रवाहित धारा के कारण केन्द्र पर चुम्बकीय प्रेरण का मान ज्ञात करो ?



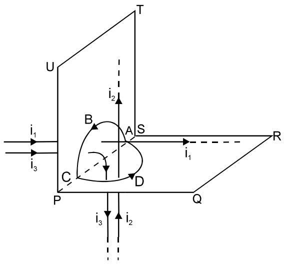
(A) केवल θ = 180º के लिऐ शून्य होगा (B) θ के सभी मानों के लिए शून्य

(C) 2 (180º – θ) के समानुपाती (D) r के व्युत्क्रमानुपाती

C-3. एक तार को एक लम्बी छड जिसकी आपेक्षिक चुम्बकीय पारगम्यता $\mu_r = 4000$ है पर लपेट कर परिनलिका बनाई जाती है यदि तार में प्रवाहित धारा 5 A है तथा प्रति मीटर लम्बाई में घेरो की संख्या 1000 है तो परिनालिका के अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करो–

(A) 25.12 mT (B) 12.56 m T (C) 12.56 T (D) 25.12 T

C-4. चित्र में ऐम्पिरियन लूप ABCDA प्रदर्शित है। ABC भाग ऊर्ध्वाधर तल PSTU में स्थित है। जबकि भाग CDA क्षैतिज तल PQRS में है। चित्र में बिन्दु B तथा D के निकट पथ के अनुदिश परिसंचरण की दिशा दर्शायी गयी है तो इस पथ के लिए ऐम्पियर का नियम $\oint \vec{B}.d\vec{\ell}$ होगा –



(A) $(i_1 - i_2 + i_3)\ \mu_0$ (B) $(-i_1 + i_2)\ \mu_0$ (C) $i_3\ \mu_0$ (D) $(i_1 + i_2)\ \mu_0$

C-5. r त्रिज्या के वृत्ताकार लूप से i धारा प्रवाहित हो रही है। एक लम्बे एवं सीधे तार, जिससे 3i धारा प्रवाहित हो रही है, को वृत्त के तल में किस प्रकार रखा जाये कि केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य हो जाये ?

(A) लूप के केन्द्र से $\frac{3r}{\pi}$ दूरी पर (B) लूप के केन्द्र से $\frac{2r}{\pi}$ दूरी पर

(C) लूप के केन्द्र से $\frac{2r}{3\pi}$ दूरी पर (D) संभव नहीं है

C-6. एक लम्बी अचुम्बकीय फ्रेम पर 0.5 मिमी व्यास का तार पास–पास लपेट कर एक लम्बी परिनालिका बनाई जाती है, तार को इस प्रकार लपेटा जाता है कि क्रमागत फेरे एक–दूसरे को स्पर्श करते है। यदि इससे 2.5 A धारा प्रवाहित हो रही हो तो परिनालिका के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र B का मान कितना होगा ?

(A) $\pi \times 10^{-3}$ T (B) $2\pi \times 10^{-3}$ T (C) $4\pi \times 10^{-3}$ T (D) इनमें से कोई नहीं

C-7. एक अनन्त लम्बाई के सीधे पतली दीवार वाले पाइप में एकसमान I धारा प्रवाहित हो रही है, तब
(A) पाइप के अंदर सभी बिन्दुओं पर चुम्बकीय क्षेत्र समान होगा किन्तु शून्य नहीं।
(B) पाइप के अन्दर किसी भी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य होगा।
(C केवल पाइप के अक्ष पर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य होगा।
(D) पाइप के अन्दर भिन्न–भिन्न बिन्दुओं पर चुम्बकीय क्षेत्र भिन्न–भिन्न होगा।

C-8. एक वृत्ताकार लूप उत्तर–दक्षिण दिशा में स्थित ऊर्ध्वाधर तल में रखा हुआ है। इसके उच्चतम बिन्दु पर धारा की दिशा दक्षिण की ओर है। मानाकि इसकी अक्ष पर बिन्दु A पूर्व की ओर तथा बिन्दु B पश्चिम की ओर है। लूप के कारण चुम्बकीय क्षेत्र –

(A) A पर पूर्व की ओर तथा B पर पश्चिम की ओर है। (B) A पर पश्चिम की ओर तथा B पर पूर्व की ओर है।
(C) A तथा B दोनों पर पूर्व की ओर है। (D) A तथा B दोनों पर पश्चिम की ओर है।

C-9. R त्रिज्या के एक लम्बे मोटे सीधे चालक से I धारा प्रवाहित है जो इसके अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल में समरूप वितरित है। चालक की सतह से R/2 दूरी अन्दर व चालक के बाहर चुम्बकीय क्षेत्र ऊर्जा घनत्व का अनुपात है :

(A) 1 : 16 (B) 1 : 1 (C) 1 : 4 (D) 9/16

खण्ड (D) : आवेश पर चुम्बकीय बल (Normal incidence)

D-1. सभी कणों को समान वेग से चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् प्रक्षेपित किया जाता है तो निम्न में से कौनसा कण न्यूनतम चुम्बकीय बल अनुभव करेगा ?

(A) Be +++ (B) प्रोटॉन (C) α-कण (D) Li^{++}

D-2. 'a' भुजा वाले एक वर्गाकार लूप में विद्युत धारा i प्रवेश करती है एवं विकर्णतः विपरीत सिरे से बाहर निकल जाती है। वर्गाकार लूप एक समान अनुप्रस्थ काट वाले एक समरूप तार से बना है। q आवेश वाला एक कण वर्गाकार लूप के अक्ष के अनुदिश गति करता हुआ लूप के केन्द्र से v चाल से गुजरता है। जब आवेशित कण केन्द्र से होकर गुजरता है तब इस पर लगने वाले चुम्बकीय बल का परिमाण होगा।

(A) $qv\frac{\mu_0 i}{2a}$ (B) $qv\frac{\mu_0 i}{2\pi a}$ (C) $qv\frac{\mu_0 i}{a}$ (D) शून्य

D-3. दो समान आवेश के कण X तथा Y समान विभवान्तर से त्वरित किये जाते है। दोनों कण एक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में प्रवेश करते है एवं यहाँ यह कण क्रमशः R_1 तथा R_2 त्रिज्या के वृत्तीय पथ पर गति करते है। तो X तथा Y के द्रव्यमानों का अनुपात होगा –

(A) $\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{1/2}$ (B) $\frac{R_2}{R_1}$ (C) $\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$ (D) $\frac{R_1}{R_2}$

D-4. एक ऋण आवेशित कण गुरूत्वीय क्षेत्र में स्वतन्त्रतापूर्वक गिर रहा है। उत्तर की ओर इंगित एक समरूपी चुम्बकीय क्षेत्र में प्रवेश करता है कण किस दिशा में विक्षेपित होगा।

(A) पूर्व (B) पश्चिम (C) उत्तर (D) दक्षिण

D-5. एक प्रोटोन को चुम्बकीय बल रेखा के अनुदिश गति करवायी जाती है। कण पर चुम्बकीय बल होगा –

(A) इसके वेग के अनुदिश (B) इसके वेग के विपरीत (C) इसके वेग के लम्बवत् (D) शून्य

D-6. एक प्रोटॉन पुंज पश्चिम से पूर्व की ओर गतिशील है तथा एक इलेक्ट्रॉन पुंज पूर्व से पश्चिम की ओर गतिशील है। पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र को नगण्य मानने पर, इलेक्ट्रॉन पुंज विक्षेपित होगा–

(A) प्रोटॉन पुंज की ओर (B) प्रोटॉन पुंज से दूर (C) इलेक्ट्रॉन पुंज से दूर (D) इनमें से कोई नहीं

खण्ड (E) : आवेश पर चुम्बकीय बल ;तिर्यक आपतनद्ध

E- 1. m द्रव्यमान एवं q आवेश का एक प्रोटोन चुम्बकीय क्षेत्र B में v वेग से B के साथ θ कोण पर प्रवेश करता है। परिणामी पथ की वक्रता त्रिज्या होगी।

(A) $\frac{mv}{qB}$ (B) $\frac{mv\sin\theta}{qB}$ (C) $\frac{mv}{qB\sin\theta}$ (D) $\frac{mv\cos\theta}{qB}$

खण्ड (F) : आवेश पर विद्युत तथा चुम्बकीय बल

F-1. एक धनावेशित कण ऐसे क्षेत्र में गति करता है जहां एक समान चुम्बकीय क्षेत्र एवं एक समान विद्युत क्षेत्र उपस्थित है दोनों की दिशा एक समान है। समान्तर है। किसी क्षण कण के वेग की दिशा क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् हो जाती है। तो कण का पथ होगा –

(A) सरल रेखा (B) वृत्त
(C) समरूप पिच वाला हेलिक्स (D) बढ़ते हुए पिच वाला हेलिक्स

F-2. यदि एक कण गुरूत्व मुक्त कमरे में प्रक्षेपित किया जाता है तो यह विक्षेपित नहीं होता है –

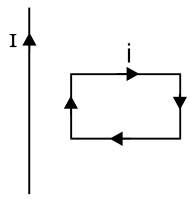
(A) विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षैत्र शून्य होगें
(B) विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र दोनों ही उपस्थित हो सकते हैं
(C) विद्युत क्षेत्र शून्य होगा तथा चुम्बकीय क्षैत्र शून्य हो सकता है
(D) विद्युत क्षेत्र शून्य हो सकता है तथा चुम्बकीय क्षैत्र शून्य होगा

खण्ड (G) : धारावाही तार पर चुम्बकीय बल

G-1. एक चालक वृत्ताकार लूप की त्रिज्या r व इसमें प्रवाहित नियत धारा i है। यह एक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में इस प्रकार रखा जाता है कि **B** लूप के तल के लम्बवत् रहे लूप पर कार्यरत चुम्बकीय बल होगा।

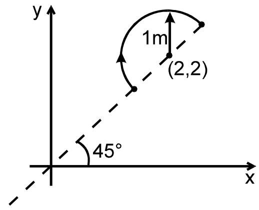
(A) i r B (B) $2\pi r i B$ (C) शून्य (D) πriB

G-2. एक आयताकार लूप में I धारा प्रवाहित की जा रही है। यह एक सीधे लम्बेतार के पास इस प्रकार रखा है, कि तार लूप की एक भुजा के समान्तर है, तार एवं लूप एक ही तल में स्थित है। यदि एक नियत धारा I तार में चित्र में दर्शाये अनुसार प्रवाहित करते हैं तो लूप –



(A) तार के समान्तर एक अक्ष के सापेक्ष घूर्णन करेगा।
(B) तार से दूर हटेगा।
(C) तार की तरफ आयेगा।
(D) स्थिर रहेगा।

G-3. एक स्थान पर समरूप चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = \left(3\hat{i}+4\hat{j}+\hat{k}\right)$ स्थित है। चित्रानुसार 1 मी० त्रिज्या का अर्द्धवृत्ताकार तार जिसका केन्द्र (2, 2, 0) है, x-y तल में रखा है जिसमें 1 A धारा प्रवाहित हो रही है। अर्द्धवृत्ताकार तार पर लगने वाला बल होगा –

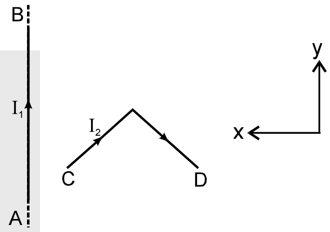


(A) $\sqrt{2}(\hat{i}+\hat{j}+\hat{k})$ (B) $\sqrt{2}(\hat{i}-\hat{j}+\hat{k})$ (C) $\sqrt{2}(\hat{i}+\hat{j}-\hat{k})$ (D) $\sqrt{2}(-\hat{i}+\hat{j}+\hat{k})$

G-4. सही विकल्प बताओ।
दो पतले लम्बे समान्तर तार परस्पर 'b' दूरी पर है इनमें प्रत्येक में 'i' धारा प्रवाहित की जा रही है एक तार द्वारा दूसरे तार की एकांक लम्बाई पर लगने वाले बल का परिमाण होगा ?

(A) $\frac{\mu_0 i^2}{b^2}$ (B) $\frac{\mu_0 i^2}{2\pi b}$ (C) $\frac{\mu_0 i}{2\pi b}$ (D) $\frac{\mu_0 i}{2\pi b^2}$

G-5. चित्रानुसार लम्बे सीधे तार में I_1 धारा प्रवाहित हो रही है। कागज के तल में रखे दूसरे तार CD में I_2 धारा प्रवाहित हो रही है। इस तार के अन्तिम सिरों के बिन्दुओं को जोड़ने वाली रेखा तार AB के लम्बवत् है तो CD तार पर लगने वाला परिणामी बल है



(A) शून्य
(B) ऋणात्मक x-अक्ष की ओर।
(C) धनात्मक y-अक्ष की ओर।
(D) उपरोक्त में से कोई नहीं।

G-6. तार का छोटा वर्गाकार लूप (भुजा L) क्षैतिज तल में रखा है। इसे मध्य से इस प्रकार मोड़ा जाता है कि इसका आधा भाग उर्ध्व तल में हो यदि लूप को मोड़ने से पूर्व एवं मोड़ने के पश्चात् धारा के कारण लूप के चुम्बकीय आघूर्ण क्रमशः $\vec{\mu}_1$ व $\vec{\mu}_2$ है तब :

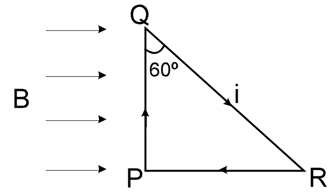
(A) $\vec{\mu}_2 = 0$
(B) $\vec{\mu}_1$ और $\vec{\mu}_2$ समान दिशा में है।
(C) $\frac{|\vec{\mu}_1|}{|\vec{\mu}_2|} = \sqrt{2}$
(D) $\frac{|\vec{\mu}_1|}{|\vec{\mu}_2|} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

G-7. एक वर्गाकार लूप की अक्ष के अनुदिश एक सीधा धारावाही तार रखा हुआ है। सीधा तार –
(A) वर्गाकार लूप पर अन्दर की ओर बल लगायेगा।
(B) वर्गाकार लूप पर बाहर की ओर बल लगायेगा।
(C) वर्गाकार लूप पर कोई बल नहीं लगायेगा।
(D) वर्गाकार लूप पर स्वंय के समानान्तर बल लगायेगा।

G-8. दो समानान्तर तारों में 10 A तथा 40 A धाराएँ परस्पर विपरीत दिशाओं में प्रवाहित हो रही है। इन दोनों तारों के ठीक मध्य में एक अन्य तार स्थित है। जिसमें धारा की दिशा 10 A वाले तार की धारा से विपरीत है। इस पर लगने वाला चुम्बकीय बल होगा –

(A) 20 A की ओर
(B) 40 A की ओर
(C) शून्य
(D) धाराओं के तल के लम्बवत्।

G-9. चित्र में प्रदर्शित परिपथ में PQR पर बल की दिशा तथा परिमाण है :



(A) लूप पर कोई परिणामी बल कार्य नही करेगा
(B) ILB कागज से बाहर की ओर
(C) $\frac{1}{2}$ ILB कागज में अंदर की ओर
(D) ILB कागज में अंदर की ओर

खण्ड (H) : धारावाही लूप पर चुम्बकीय बल और बल आघूर्ण तथा चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण

H-1. एक दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण 2.5 JT^{-1} है। यह 0.2 T के चुम्बकीय क्षेत्र में रखी है। चुम्बक को क्षेत्र के सापेक्ष समान्तर स्थिति से प्रतिसमान्तर स्थिति में घुमाने में किया गया कार्य है ?
(A) 0.5 J (B) 1 J (C) 2.0 J (D) शून्य

H-2. 1 cm^2 क्षेत्रफल वाले वृत्ताकार लूप में 10 A धारा प्रवाहित हो रही है तथा यह 0.1 T के चुम्बकीय क्षेत्र में रखी है। क्षेत्र लूप के तल के लम्बवत् है तो चुम्बकीय क्षेत्र के कारण लूप पर बल आघूर्ण ज्ञात करो ?
(A) zero (B) 10^{-4} N-m (C) 10^{-2} N-m (D) 1 N-m

H-3. 'ℓ' लम्बाई की एक छड़ को, जो कि एक समानरूप से Q आवेश से आवेशित है। एक सिरे से नियत आवृति से घुमाया जाता है इसका चुम्बकीय आघूर्ण होगा
(A) $\pi fQ\ell^2$ (B) $\frac{\pi fQ\ell^2}{3}$ (C) $\frac{2\pi fQ\ell^2}{3}$ (D) $2\pi fQ\ \ell^2$

खण्ड (I) : पृथ्वी के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

I-1. पूर्व–पश्चिम की ओर एक संचरण लाइन में 10 एम्पीयर धारा प्रवाहित हो रही है। पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र (10^{-4} टैसला) के कारण तार की प्रति मीटर लम्बाई बल होगा ?
(A) 10^{-5} N (B) 10^{-4} N (C) 10^{-3} N (D) 10^{-2} N

I-2. एक वृत्ताकार कुण्डली की त्रिज्या 20 cm तथा तार के 20 घेरे है। यह चुम्बकीय याम्योत्तर में इसके तल के साथ ऊर्ध्वाधर है। एक छोटी चुम्बकीय सूई (यह इसकी उर्ध्वाधर अक्ष के सापेक्ष घूर्णन करने के लिए स्वतंत्र है) कुण्डली के केन्द्र पर रखी है। जब कुण्डली से धारा प्रवाहित की जाती है तो यह 45° के कोण से विक्षेपित हो जाती है एवं साम्यवस्था में आ जाती है। पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक 0.34×10^{-4} T है तो कुण्डली में धारा है –
(A) $\frac{17}{10\pi}$ A (B) 6A (C) 6×10^{-3} A (D) $\frac{3}{50}$ A

खण्ड (J) : चुम्बकीय पदार्थ

J-1 किस चुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवेश्यता ऋणात्मक है –
(A) अचुम्बकीय (B) अनुचुम्बकीय (C) प्रतिचुम्बकीय (D) लौहचुम्बकीय

J-2 जब एक अल्प चुम्बकन क्षेत्र H एक चुम्बकीय पदार्थ पर लगाया जाता है तो चुम्बकन की तीव्रता (I) निम्न के समानुपाती होती है :
(A) H^{-2} (B) $H^{1/2}$ (C) H (D) H^2

J-3 एक अनुचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृति χ परम ताप T के साथ किस प्रकार परिवर्तित होती है ?
(A) $\chi \propto T$ (B) $\chi \propto T^{-1}$ (C) χ = नियतांक (D) $\chi \propto e^T$

J-4 एक चुम्बकीय क्षेत्र में रखे अनुचुम्बकीय पदार्थ के लिए निम्न कथनों पर विचार कीजिए :
(a) यदि चुम्बकीय क्षेत्र बढ़ता है तो चुम्बकन बढ़ता है।
(b) यदि ताप बढ़ता है तो चुम्बकन बढ़ता है।
(A) (a) व (b) दोंनो सत्य है। (B) (a) सत्य है परन्तु (b) असत्य है।
(C) (b) सत्य है परन्तु (a) असत्य है। (D) (a) व (b) दोंनो असत्य है।

J-5. निम्न में से कौनसे कथन सही नहीं है ?
(A) $B = \mu_0 (H + I)$ (B) $B = \mu_0 H (1 + \chi_m)$ (C) $\mu_0 = \mu (1 + \chi_m)$ (D) $\mu_r = 1 + \chi_m$

J-6 स्थायी चुम्बक के पदार्थ के लिए शैथिल्य पाश है :
(A) छोटा और चौड़ा (B) लम्बा और संकरा (C) लम्बा और चौड़ा (D) छोटा और संकरा

J-7 गलत कथन छांटिए :
जब एक लौह–चुम्बकीय पदार्थ चुम्बकन के एक सम्पूर्ण चक्र से गुजरता है तो चुम्बकीय प्रवृत्ति
(A) का निश्चित मान है (B) शून्य हो सकती है (C) अनन्त हो सकती है (D) ऋणात्मक हो सकती है

J-8 स्थायी चुम्बक बनाने के लिए पदार्थ में होना चाहिए –
(A) उच्च धारणशीलता, उच्च निग्राहिता (B) उच्च धारणशीलता, अल्प निग्राहिता
(C) अल्प धारणशीलता, उच्च निग्राहिता (D) अल्प धारणशीलता, अल्प निग्राहिता

J-9 (a) नर्म लोहा विद्युत का सुचालक है। (b) यह चुम्बकीय पदार्थ है। (c) यह लोहे की मिश्र धातु है। (d) यह स्थायी चुम्बक बनाने में उपयोग होता है तो बताइये :
(A) a व c सत्य है। (B) a व b सत्य है। (C) c व d सत्य है। (D) b व d सत्य है।

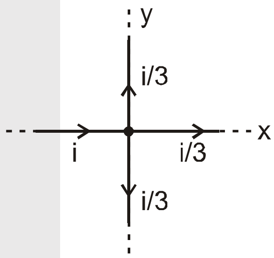
J-10 नर्म लोहा कई विद्युत मशीनों में उपयोग किया जाता है, क्योंकि यह रखता है :
(A) अल्प शैथिल्य हानि व अल्प चुम्बकशीलता (B) अल्प शैथिल्य हानि व उच्च चुम्बकशीलता
(C) उच्च शैथिल्य हानि व अल्प चुम्बकशीलता (D)उच्च शैथिल्य हानि व उच्च चुम्बकशीलता

भाग - III : कॉलम को सुमेलित कीजिए

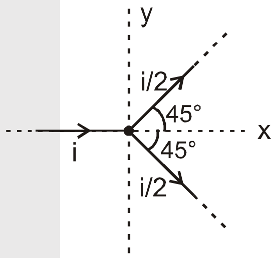
1. स्तम्भ-II में चार स्थितियाँ दी गयी है, जिनमें प्रत्येक में xy-तल में तीन (q, r, s, t में) तथा चार (p में) अर्ध अनन्त लम्बाई के धारावाही तार स्थित हैं। प्रत्येक चित्र में धारा की दिशा और परिमाण को दर्शाया गया है। स्तम्भ-I में बिन्दु P (0, 0, d) पर चुम्बकीय क्षेत्र के x व y तथा z घटको से संबंधित कथन दिये गये हैं। इन कथनों को स्तम्भ-II में दिये गये संगत कथनों के साथ सुमेलित कीजिये।

स्तम्भ I **स्तम्भ II**

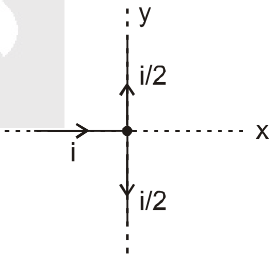
(A) P पर चुम्बकीय क्षेत्र का x घटक शून्य है

(p) 

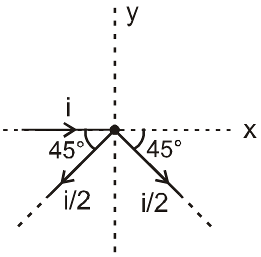
(B) P पर चुम्बकीय क्षेत्र का z घटक शून्य है

(q) 

(C) P पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण $\frac{\mu_0 i}{4\pi d}$ है।

(r) 

(D) P पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण $\frac{\mu_0 i}{2\pi d}$ से कम है।

(s) 

2. स्तम्भ I में बाह्य एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित $\vec{\mu}$ चुम्बकीय आघूर्ण वाले चुम्बकीय द्विध्रुव से संबंधित चार स्थितियाँ है। स्तम्भ II में संगत परिणाम है। स्तम्भ I की स्थितियों को स्तम्भ II के परिणामों से सुमेलित कीजिये।

स्तम्भ - I	स्तम्भ - II
(A) चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण $\vec{\mu}$ बाह्य एक समान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ के समान्तर है। (दोनों सदिशों के बीच कोण शून्य है।)	(p) द्विध्रुव पर बल शून्य है।
(B) चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण $\vec{\mu}$ बाह्य एक समान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ के लम्बवत् है।	(q) द्विध्रुव पर बलाघूर्ण शून्य है।
(C) चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण $\vec{\mu}$ व बाह्य एक समान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ के मध्य कोण न्यून कोण है	(r) बलाघूर्ण का परिमाण (μB) है।
(D) चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण $\vec{\mu}$ व बाह्य एक समान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ के मध्य कोण 180° है	(s) बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के कारण द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा (μB) है।
	(t) चुम्बकीय द्विध्रुव स्थायी साम्यावस्था में हैं

3. एक कण प्रारम्भिक वेग $\vec{u} = u_x\vec{i} + u_y\vec{j} + u_z\vec{k}$. से ऐसे क्षेत्र में प्रवेश करता है जिसमें एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = B_x\vec{i} + B_y\vec{j} + B_z\vec{k}$ एवं एक समान विद्युत क्षेत्र $\vec{E} = E_x\vec{i} + E_y\vec{j} + E_z\vec{k}$ विद्यमान है। विभिन्न घटकों के मानों के आधार पर कण एक पथ चुनता है। स्तम्भ B की प्रविष्ठियों का मिलान स्तम्भ A की प्रविष्ठियों के साथ कीजियें। स्तम्भ A की प्रत्येक प्रविष्ठि में आने वाले घटकों के अतिरिक्त सभी घटक अशून्य है। (गुरूत्वाकर्षण नगण्य माने)

स्तम्भ A	स्तम्भ B
(A) $B_y = B_z = E_x = E_z = 0$ $u = 0$	(p) वृत्त
(B) $E = 0$, $u_xB_x + u_yB_y \neq -u_zB_z$	(q) एक समान पिच (कुण्डलिनी या चूड़ी अन्तराल) व नियत त्रिज्या की कुण्डलीनुमा पथ (helical पथ)
(C) $\vec{u} \times \vec{B} = 0, \vec{u} \times \vec{E} = 0$	(r) चक्रज (सायक्लोईड)
(D) $\vec{u} \perp \vec{B}, \vec{B} \| \vec{E}$	(s) एक समान पिच व परिवर्ती त्रिज्या का कुण्डलीनुमा पथ
	(t) परिवर्ती पिच एवं नियत त्रिज्या का कुण्डलिनुमा पथ
	(u) सरल रेखा

Exercise-2

✎ चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

भाग-I : केवल एक सही विकल्प प्रकार (ONLY ONE OPTION CORRECT TYPE)

1. एक α कण R त्रिज्या के वृत्त के अनुदिश नियत कोणीय वेग ω से गति कर रहा है। बिन्दु A इसके तल में केन्द्र से 2R दूरी पर स्थित है। बिन्दु A, α कण द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र को आलेखित करता है। यदि दो क्रमागत समय जिस पर A शून्य चुम्बकीय क्षेत्र आलेखित करता है के मध्य न्यूनतम समयान्तराल 't', है तो t के पदों में कोणीय चाल ω है

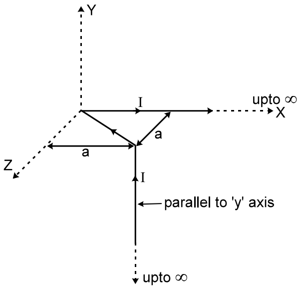
(A) $\frac{2\pi}{t}$ (B) $\frac{2\pi}{3t}$ (C) $\frac{\pi}{3t}$ (D) $\frac{\pi}{t}$

2. वेग $\vec{v} = \hat{i} + 3\hat{j}$ से गतिमान कण किसी बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र $\vec{E} = 2\hat{k}$ उत्पन्न करता है। कण द्वारा इसी बिन्दु पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र होगा (सभी राशियाँ अंतराष्ट्रीय मानक पद्धित में है) ($c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$)

(A) $\frac{6\hat{i} - 2\hat{j}}{c^2}$ (B) $\frac{6\hat{i} + 2\hat{j}}{c^2}$ (C) शून्य

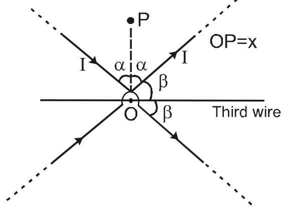
(D) दिये गये ऑकड़ो से ज्ञात नहीं किया जा सकता

3. तार में प्रवाहित धारा के कारण मूल बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र है –



(A) $-\frac{\mu_0 I}{8\pi a}(\hat{i}+\hat{k})$ (B) $\frac{\mu_0 I}{2\pi a}(\hat{i}+\hat{k})$ (C) $\frac{\mu_0 I}{8\pi a}(-\hat{i}+\hat{k})$ (D) $\frac{\mu_0 I}{4\pi a\sqrt{2}}(\hat{i}-\hat{k})$

4. तीन अनन्त धारा प्रवाही सुचालकों को चित्रानुसार रखा गया है। दो तारों में समान धारा प्रवाहित हो रही है जबकि तीसरे तार में धारा अज्ञात है। तीनों तार परस्पर मिलते नहीं है तथा तीनों कागज के तल में स्थित है। बिन्दु 'P' के बारें में कौनसा कथन सत्य है जो कि समान तल में है :



(A) x के सभी मान के लिए P पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता शून्य है।

(B) यदि तीसरे तार में धारा $\frac{2I}{\sin\alpha}$ (बायीं से दायीं तरफ) है तब x के सभी मानों के लिए P पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता शून्य है।

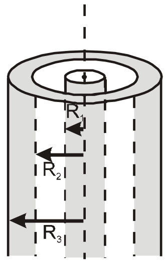
(C) यदि तीसरे तार मे तार में धारा $\frac{2I}{\sin\alpha}$ (दायें से बायी ओर) है, तब x के सभी मानों के लिए P पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता शून्य है।

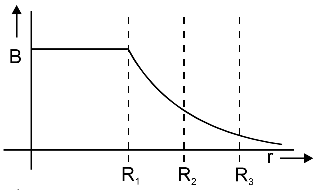
(D) इनमें से कोई नहीं।

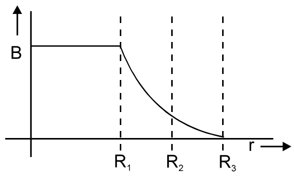
5. Z-अक्ष के अनुदिश रखे एक लम्बे सीधे तार में ऋणात्मक Z-दिशा में धारा I प्रवाहित हो रही है। z = 0 तल में एक बिन्दु, जिसके निर्देशांक (x, y) है पर, चुम्बकीय सदिश क्षेत्र $\vec{B}$ है।

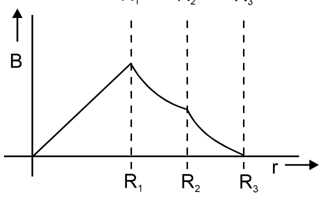
(A) $\frac{\mu_0 I}{2\pi}\frac{(y\hat{i}-x\hat{j})}{(x^2+y^2)}$ (B) $\frac{\mu_0 I}{2\pi}\frac{(x\hat{i}+y\hat{j})}{(x^2+y^2)}$ (C) $\frac{\mu_0 I}{2\pi}\frac{(x\hat{j}-y\hat{i})}{(x^2+y^2)}$ (D) $\frac{\mu_0 I}{2\pi}\frac{(x\hat{i}-y\hat{j})}{(x^2+y^2)}$

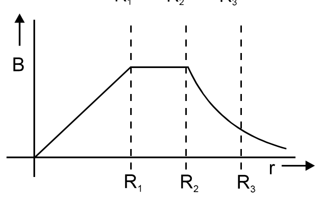
6. एक समाक्षीय धारावाही तार को दो चालकों से बनाया गया है। अन्दर वाला चालक ठोस है तथा इसकी त्रिज्या R_1 है एवं बाहर वाला चालक खोखला है, जिसकी आन्तरिक त्रिज्या R_2 व बाह्य त्रिज्या R_3 है। दोनों चालकों के मध्य स्थान में वायु भरी है। आन्तरिक व बाह्य चालक में समान परिमाण व विपरीत दिशा में धारा गमन कर रही है। तो अक्ष से दूरी के साथ चुम्बकीय क्षेत्र में परिवर्तन का सर्वश्रेष्ठ वक्र होगा –



(A)


(B)


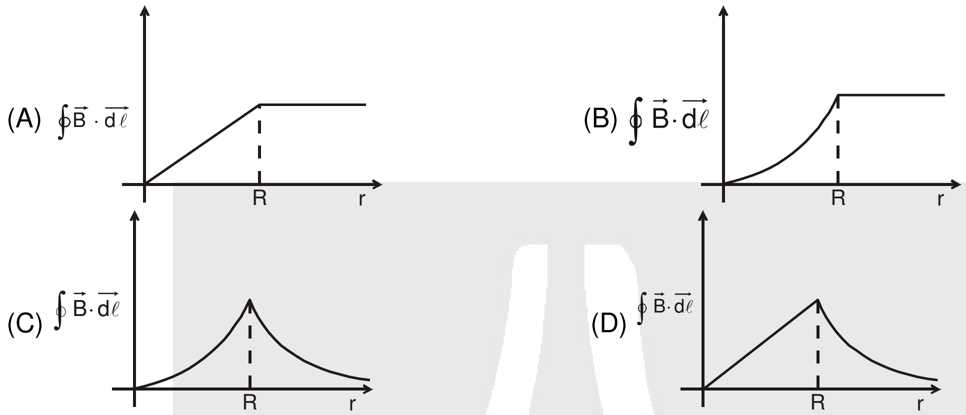
(C)


(D)


7. एक अनन्त लम्बाई तथा R त्रिज्या का ठोस बेलन y-अक्ष के अनुदिश रखा है। इसमें +y–अक्ष के अनुदिश समरूप धारा ‘i’ प्रवाहित है। तो बिन्दु $\left(\frac{R}{2}, \; y, \; \frac{R}{2}\right)$ पर चुम्बकीय क्षेत्र क्या होगा :-

(A) $\frac{\mu_0 i}{4\pi R}(\hat{i}-\hat{k})$ (B) $\frac{\mu_0 i}{2\pi R}(\hat{j}-\hat{k})$ (C) $\frac{\mu_0 i}{4\pi R}\hat{j}$ (D) $\frac{\mu_0 i}{4\pi R}(\hat{i}+\hat{k})$

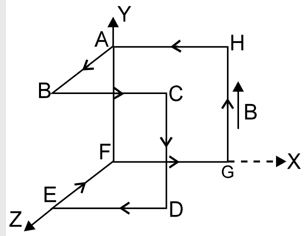
8. एक बेलनाकार तार की त्रिज्या R है तथा इसके अनुप्रस्थ काट क्षेत्र में समरूप धारा 'i' वितरित है। यदि 'r' त्रिज्या के वृत्ताकार लूप को ऐम्पिरियन लूप लिया जाये तो इस लूप के लिए $\oint \vec{B}.d\vec{\ell}$ का लूप की त्रिज्या 'r' के साथ परिवर्तन का सबसे उत्तम प्रदर्शन होगा–



9. एकसमान घनत्व $\vec{j}$ की एक नियत दिष्ट धारा अनन्त लम्बाई के बेलनाकार चालक से प्रवाहित है। चालक में अनन्त लम्बाई की बेलनाकार गुहा है जिसकी अक्ष चालक की अक्ष के समान्तर है व इससे ℓ दूरी पर है। गुहा के अन्दर गुहा के केन्द्र से $\vec{r}$ दूरी पर स्थित एक बिन्दु पर चुम्बकीय प्रेरण $\vec{B}$ ज्ञात करो।

(A) $\frac{\mu_0(\vec{j}\times\vec{r})}{2}$ (B) $\frac{\mu_0(\vec{j}\times\vec{\ell})}{2}$ (C) $\frac{\mu_0(\vec{j}\times\vec{\ell})+\mu_0(\vec{j}\times\vec{r})}{2}$ (D) $\frac{\mu_0(\vec{j}\times\vec{\ell})-\mu_0(\vec{j}\times\vec{r})}{2}$

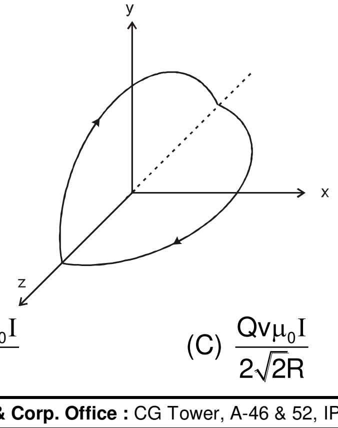
10. दर्शाये गये चित्र में एक कुण्डली मुड़ी हुयी अवस्था में है जिसमें AB = BC = CD = DE = EF = FG = GH = HA = 1 m तथा प्रवाहित धारा 1 A है। y-दिशा में एक समान चुम्बकीय क्षेत्र 2T विद्यमान है। कुण्डली पर लगने वाला बलाघुर्ण होगा –



(A) $2\hat{k}$ (B) $-2\hat{k}$

(C) $2\hat{j}$ (D) $4\hat{k}$

11. एक असमतलीय वृत्ताकार लूप दो अर्ध वृत्तो से बना है जिनमें से एक YZ – तल तथा दूसरा XZ – तल में स्थित है। (चित्रानुसार) X – अक्ष के अनुदिश v वेग से गति करते हुयें धनात्मक आवेश Q द्वारा अनुभव किया गया चुम्बकीय बल जबकि यह मूल बिन्दू पर है, होगा –

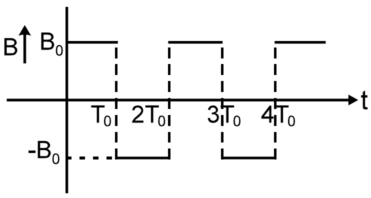


(A) $\frac{Qv\mu_0 I}{4R}$ (B) $\frac{Qv\mu_0 I}{2R}$ (C) $\frac{Qv\mu_0 I}{2\sqrt{2}R}$ (D) 0

12. द्रव्यमान m एवं आवेश q का एक कण धनात्मक X-दिशा में अचर वेग v से गतिमान है। वह एक ऐसे क्षेत्र में प्रवेश करता है जिसमें एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ विद्यमान है जो ऋणात्मक Z-दिशा में है तथा x = a से x = b तक है। वेग v का वह न्यूनतम मान, जिससे कि कण क्षेत्र x > b में ठीक प्रवेश कर सके है।

(A) $\frac{qbB}{m}$ (B) $\frac{q(b-a)B}{m}$ (C) $\frac{qaB}{m}$ (D) $\frac{q(b+a)B}{2m}$

13. किसी क्षेत्र में x अक्ष के अनुदिश चुम्बकीय क्षेत्र समय के साथ निम्न वक्र के अनुसार परिवर्तित होता है।



यदि सर्पिल पथ का आवर्तकाल, पिच (pitch) तथा त्रिज्या क्रमशः T_0, P_0 तथा R है तब निम्न मे कौनसा कथन **असत्य** है, यदि कण को x–y तल मे धनात्मक x-अक्ष से θ_0 कोण पर प्रक्षेपित किया जाये :

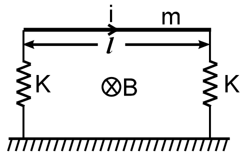
(A) $t = \frac{T_0}{2}$ पर, आवेश के निर्देशांक $\left(\frac{P_0}{2}, 0, -2\ R_0\right)$ है।

(B) $t = \frac{3T_0}{2}$ पर, आवेश के निर्देशांक $\left(\frac{3P_0}{2}, 0, 2\ R_0\right)$ है।

(C) कण के अधिकतम एवं न्यूनतम z-निर्देशांक का अन्तर $4R_0$ है।

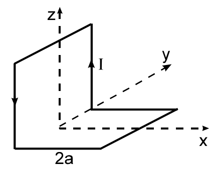
(D) कण के अधिकतम एवं न्यूनतम्र z-निर्देशांक का अन्तर R_0 है।

14. ' m ' द्रव्यमान तथा ' ℓ ' लम्बाई की क्षैतिज धात्विक छड़ ' K ' स्प्रिंग नियतांक वाली दो समरूप उर्ध्वाधर स्प्रिंगों पर स्थित है। स्प्रिंग अपनी वास्तविक लम्बाई ℓ_0 में है। चित्रानुसार छड़ में प्रवाहित धारा ' i ' प्रदर्शित है। यदि छड़ साम्यावस्था में है तो इस स्थिति में प्रत्येक स्प्रिंग की लम्बाई है :



(A) $\ell_0 + \frac{i\ell B - mg}{K}$ (B) $\ell_0 + \frac{i\ell B - mg}{2K}$ (C) $\ell_0 + \frac{mg - i\ell B}{2K}$ (D) $\ell_0 + \frac{mg - i\ell B}{K}$

15. चालक तार का बना एक असमतलीय (non-planar) लूप, जिसमें धारा I प्रवाहित है, चित्र के अनुसार रखा गया है। लूप के प्रत्येक ऋजुरेखीय भाग की लम्बाई 2a है। इस लूप के कारण बिन्दु P(a, 0, a) पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा है–



(A) $\frac{1}{\sqrt{2}}(-\hat{j}+\hat{k})$ (B) $\frac{1}{\sqrt{3}}(-\hat{j}+\hat{k}+\hat{i})$ (C) $\frac{1}{\sqrt{3}}(\hat{i}+\hat{j}+\hat{k})$ (D) $\frac{1}{\sqrt{2}}(\hat{i}+\hat{k})$

16. एक वृत्ताकार कुण्डली की त्रिज्या R तथा इसमें धारा I है, यह इसके व्यास से गुजरने वाले स्थिर अक्ष के सापेक्ष घूर्णन कर सकती है, प्रारम्भ मे इस प्रकार रखी हुई है कि इसका तल, चुम्बकीय क्षेत्र B के अनुदिश है। कुण्डली या लूप की गतिज ऊर्जा क्या होगी जब यह 90° कोण से घूम जाए। : (I को नियत मानते हुए)[

(A) $\pi R^2 BI$ (B) $\frac{\pi R^2 BI}{2}$ (C) $2\pi R^2 BI$ (D) $\frac{3}{2}\pi R^2 I$

17. 2.0 cm व्यास की एक कुण्डली में 300 फेरे है। यदि कुण्डली में 10 mA की धारा प्रवाहित है तथा 5×10^{-2} T के चुम्बकीय क्षेत्र में है, तो कुण्डली द्वारा अनुभव अधिकतम बलाघूर्ण है –

(A) 4.7×10^{-2} N–m (B) 4.7×10^{-4} N–m (C) 4.7×10^{-5} N–m (D) 4.7×10^{-8} N–m

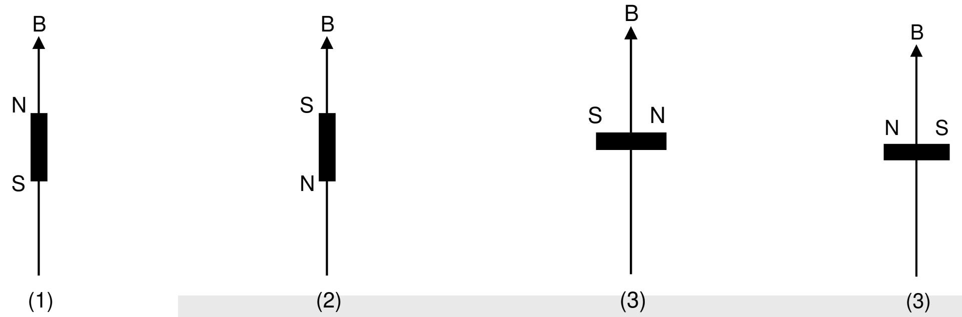
18. एक a त्रिज्या का अनन्त लम्बा सीधा अचुम्बकीय चालक तार में एक दिष्ट धारा I प्रवाहित है। तार के अक्ष के एक दूरी r (r < a) पर चुम्बकीय क्षेत्र B है –

(A) $\frac{\mu_0 I}{2\pi a}$ (B) $\frac{\mu_0 Ir}{2\pi a^2}$ (C) $\frac{2\mu_0 Ir}{\pi a^2}$ (D) $\frac{\mu_0 Ir^2}{2\pi a^3}$

19. किसी बिन्दु पर पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र 7.0×10^{-5} T है। यह क्षेत्र इसके योग्य अनुकूलन से एक वृत्ताकार धारावाही 5.0 cm त्रिज्या की कुण्डली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा संतुलित है। यदि कुण्डली में 100 फेरे है तो आवश्यक धारा लगभग है –

(A) 28 mA (B) 56 mA (C) 100 mA (D) 560 mA

20. नीचे दर्शायेनुसार एक छड़ चुम्बक के अलग–अलग अनुकुलन मानिये जो एक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में निहित है। अनुकूलन जिसमें स्थितिज ऊर्जा अधिकतम है –



(A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4

भाग - II : पूर्णांक मान प्रकार (NUMERICAL VALUE TYPE)

1. एक कूलॉम आवेश 0.6 मी. लम्बी एक अचालक छड़ के एक सिरे पर रखा है। छड़ को ऊर्ध्व तल में एक क्षैतिज अक्ष के प्रति घूर्णित किया जाता है, अक्ष छड़ के एक सिरे से गुजरती है, छड़ का कोणीय वेग $10^4\pi$ rad/sec है। घूर्णन अक्ष पर पथ के केन्द्र से 0.8m दूर एक बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र $N\pi \times 10^{-4}$ T है। N का मान बताईये।

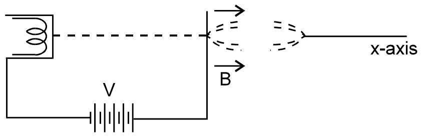
2. लम्बाई ℓ व चौड़ाई d के एक आयत से i धारा प्रवाहित है। दर्शाइये इसके केन्द्र पर B का मान $\frac{N\mu_0 i}{\pi d}$ द्वारा दिया जाता है तो N ज्ञात कीजिए (यहाँ $\ell >> d$ है)

3. एक तार की लम्बाई L है तथा इससे i धारा प्रवाहित हो रही है। इस तार को मोड़कर n भुजाओं वाला सम बहुभुज बनाया जाता है। बहुभुज के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र $\frac{\mu_0 i n^2 \sin\frac{\pi}{n}\tan\frac{\pi}{n}}{N\pi L}$ है, तो N ज्ञात कीजिए।

4. R त्रिज्या के दृढ़ बेलनाकार चालक से इसकी लम्बाई के अनुदिश धारा प्रवाहित है। धारा घनत्व J चालक के अनुप्रस्थ काट में समरूप नहीं है परन्तु यह J = br, के अनुसार त्रिज्या का फलन है। जहां b नियतांक है। चुम्बकीय क्षेत्र B, $r_1 < R$ पर $\frac{\mu_0 b r_1^2}{N}$ है। तो N का मान बताईये।

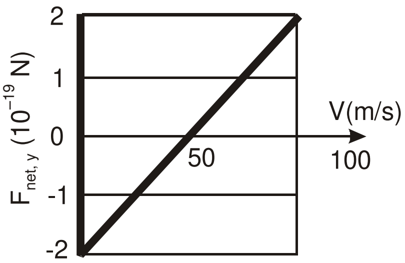
5. 50 μF धारिता का संधारित्र, 20 वोल्ट की बैटरी से लम्बे समय तक संयोजित रखने के पश्चात् इससे अलग कर लिया जाता है। इसको अब लम्बी परिनलिका से जोड़ा जाता है जिसमें 8000 फेरे प्रति मीटर है। यह ज्ञात होता है कि 2.0 सैकण्ड पश्चात् संधारित्र के सिरों पर विभवान्तर प्रारम्भिक मान का 90% रह जाता है। इस समयान्तर में परिनालिका के केन्द्र पर उत्पन्न औसत चुम्बकीय क्षेत्र $N\pi \times 10^{-8}$ T है। N का मान बताईये।

6. एक इलेक्ट्रॉन–गन से इलेक्ट्रॉन नगण्य चाल से उत्सर्जित होते है तथा X-अक्ष के अनुदिश V विभवान्तर से त्वरित किये जाते है। यह इलेक्ट्रॉन एक छिद्र के समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B में प्रवेश करते है जिसकी दिशा इस अक्ष के अनुदिश है। यद्यपि उत्सर्जित होने वाले कुछ इलेक्ट्रॉन चित्रानुसार कुछ अपसारी कोण बनाते है। अक्ष के समीप वाले यह इलेक्ट्रॉन X-अक्ष पर दूसरी बार दूरी $\sqrt{\frac{N\pi^2 mV}{eB^2}}$ पर मिलेंगें । N का मान बताईये। (इलेक्ट्रॉनों के मध्य अन्योन्य क्रिया को नगण्य मानें)



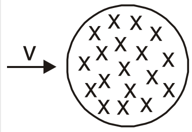
7. एक कण, जिसका द्रव्यमान 1×10^{-26} किग्रा० है तथा आवेश $+ 1.6 \times 10^{-19}$ कूलॉम है, + x दिशा में 1.28×10^{6} m/s के वेग से चलते हुए, एक क्षेत्र में प्रवेश करता है, जिसमें समरूप वैद्युत क्षेत्र E तथा समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B इस प्रकार उपस्थित है कि $E_x = E_y = 0$, $E_z = -102.4$ kV/m तथा $B_x = B_z = 0$, $B_y = 8 \times 10^{-2}$ Wb m^{-2} है। इस क्षेत्र में, मूल बिन्दु पर कण समय t = 0 पर प्रवेश करता है। समय $t = 5 \times 10^{-6}$ सैकण्ड पर कण की स्थिति के x निर्देशांक $\frac{64}{N}$ मीटर है। N का मान बताईये।

8. समय t_1 पर, एक इलेक्ट्रॉन को x-अक्ष की धनात्मक दिशा में भेजा जाता है जहाँ चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ तथा विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ दोनों उपस्थित हैं, जहां $\vec{E}$, y-अक्ष के समान्तर है। ग्राफ $F_{net,y}$ को अर्थात् इलेक्ट्रॉन पर दोनों क्षेत्र के कारण लगने वाले बल के y-घटक को इलेक्ट्रॉन की चाल V के पदों में समय t_1 पर बताता है। यह मानिए कि $B_x = 0$ है। विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ का परिमाण mN/C में 50X है, तो X ज्ञात करो। $(e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)



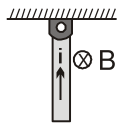
9. जब किसी कमरे में विरामावस्था से एक प्रोटॉन मुक्त किया जाता है, यह प्रारम्भिक त्वरण a_0 से पूर्व की ओर गतिशील होता है। जब इसको v_0 चाल से दक्षिण की ओर प्रक्षेपित किया जाता है। तो यह पूर्व की ओर प्रारम्भिक त्वरण $3a_0$ से गतिशील होता है। कमरे में न्यूनतम सम्भव चुम्बकीय क्षेत्र $\frac{Nma_0}{ev_0}$ है। N का मान बताईये।

10. जब किसी कमरे में विरामावस्था से एक प्रोटॉन मुक्त किया जाता है, यह प्रारम्भिक त्वरण a_0 से पूर्व की ओर गतिशील होता है। जब इसको v_0 चाल से दक्षिण की ओर प्रक्षेपित किया जाता है। तो यह पूर्व की ओर प्रारम्भिक त्वरण $3a_0$ से गतिशील होता है। कमरे में न्यूनतम सम्भव चुम्बकीय क्षेत्र $\frac{Nma_0}{ev_0}$ है। N का मान बताईये।

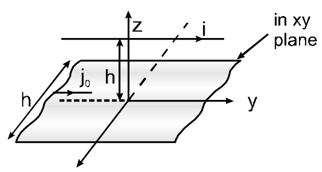


11. एक लम्बा क्षैतिज तार AB जो ऊर्ध्व तल में गति के लिये स्वतन्त्र है तथा जिसमें 20 ऐम्पियर, की स्थायी धारा प्रवाहित हो रही है, क्षैतिज तल में कसे गये एवम् 30 ऐम्पियर धारावाही का एक अन्य समान्तर अनन्त लम्बे तार CD से 0.01 मीटर ऊपर साम्यावस्था में है। सिद्ध करों कि AB को थोड़ा नीचे की ओर दबाने पर, यह सरल आवर्त गति करता है तथा दोलनों का आवर्तकाल सेकण्ड में 1/N है तो N का मान ज्ञात करो $(\pi^2 = 10$ & $g = 10 m/s^2)$

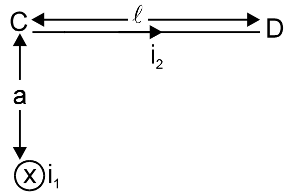
12. L लम्बाई व M द्रव्यमान की छड़ अपने ऊपरी सिरे पर आधार से ऊर्ध्वतल में स्थिर अवस्था में लटकी हैं। इसमें i धारा प्रवाहित हो रही है, क्षैतिज दिशा में छड़ के लम्बवत् चित्रानुसार एक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B है। छड़ को छोड़ते क्षण दृढ़ आधार द्वारा छड़ पर क्षैतिज दिशा में लगाया गया बल $\frac{iLB}{N}$ है तो N का मान क्या होगा।



13. एक चालक तार z = h रेखा के अनुदिश रखा है तथा इसमें i धारा प्रवाहित है। यह चालक चित्रानुसार xy तल में स्थित 'd' मोटाई व बहुत अधिक लम्बाई की धारा पट्टिका के समान्तर स्थित है तथा इसकी एकांक मोटाई में प्रवाहित धारा J_0 है। चालक तार की एकांक लम्बाई पर बल $\frac{\mu_0 i J_0}{\pi} \tan^{-1}\left(\frac{1}{N}\right)(-\hat{k})$ है तो N का मान ज्ञात करो ? पट्टिका y-अक्ष के सापेक्ष सममित रूप से रखी है।



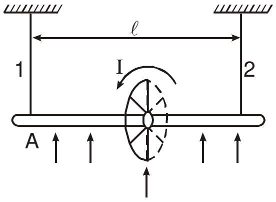
14. अनन्त लम्बाई के सीधे तार में चित्रानुसार धारा i_1, प्रवाहित है। दूसरे ℓ लम्बाई के CD तार पर कुल बल $\frac{\mu_0 i_1 i_2}{N\pi} \ln\left(\frac{a^2+\ell^2}{a^2}\right)$ है, जो इस प्रकार स्थित है कि c बिन्दु की दूरी धारावाही तार से a है। N का मान ज्ञात करो।



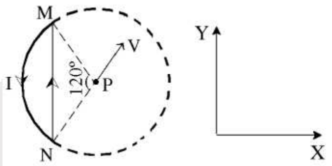
15. एक अचालक वृत्ताकार वलय की त्रिज्या r तथा द्रव्यमान m है, इस पर कुल आवेश q एक समान रूप से वितरित है। वलय को अपनी अक्ष के परितः ω कोणीय चाल से घुमाया जाता है। तो (a) वलय में तुल्य विद्युत धारा $\frac{q\omega}{N\pi}$ है तो N का मान ज्ञात कीजिए। (b) वलय का चुम्बकीय आघूर्ण $\frac{4q\omega r^2}{N}$ है तो N का मान ज्ञात कीजिए।

16. एक कुचालक चकती की त्रिज्या r तथा द्रव्यमान m है, इस पर q आवेश एक समान रूप से वितरित है। चकती को इसकी अक्ष के परितः ω कोणीय चाल से घुमाया जाता है। चकती का चुम्बकीय आघूर्ण $\frac{1}{N}q\omega r^2$ है तो N का मान ज्ञात करिए।

17. b = 2cm त्रिज्या का वृत्ताकार धारावाही लूप, दृढ़ एक्सल के सिरों के मध्य दो रस्सीयों द्वारा आलम्बित है, (चित्रानुसार)। लूप में धारा 100 amp हैं। एक्सल की लम्बाई ℓ = 1 m है। बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में रस्सियों में तनाव $T_0 = 10\pi$ N है।
जब ऊर्ध्वाधर चुम्बकीय क्षेत्र B = 100 T उपस्थित है एवं एक्सल अब भी साम्यावस्था में है, तब रस्सीयों में तनाव न्यूटन में $T_1 = n\pi$ तथा $T_2 = m\pi$ है। तब m – n का परिमाण ज्ञात कीजिए।
Note: दांयी ओर से देखने पर धारा की दिशा वामावर्त है।

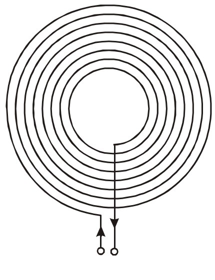


18. चित्र में दिखाये अनुसार एक a त्रिज्या वाला तार का लूप x-y तल में रखा हैं। इसमें प्रवाहित धारा I है।
(a) m द्रव्यमान एवं +Q आवेश का कण केन्द्र P पर रखा है यदि इसे NP दिशा में चित्रानुसार वेग दिया जाए तो इसका तात्क्षणिक त्वरण $\frac{QV}{m}\frac{\mu_0 I}{6a}\left(\frac{N\sqrt{3}}{\pi}-1\right)$ है तो N का मान ज्ञात करो।



(b) दि एक बाह्य समरूपी चुम्बकीय प्रेरण क्षेत्र $\vec{B} = B\hat{i}$ लगाया जाये तो क्षेत्र के कारण लूप पर बल आघूर्ण $\vec{\tau} = BI\left(\frac{\pi}{3}-\frac{\sqrt{3}}{N}\right)a^2\,\hat{j}$ है तो N का मान क्या होगा ?

19. एक पतले विद्युतरोधी तार से N = 100 घेरों से समतल स्पाइरल (spiral) बनाई जाती है। इसमे धारा I = 8 mA चित्रानुसार प्रवाहित है। आन्तरिक व बाह्य घेरे की त्रिज्या क्रमशः a = 50 mm तथा b = 100 mm है। ज्ञात करो –
(a) स्पाईरल के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र N μT है। तो N का मान बताईऐ।
(b) दी गई धारा के लिए स्पाईरल का चुम्बकीय आघूर्ण N mA.m^2 है तो N का मान बताईऐ।

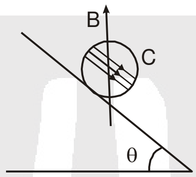


20. $I = 0.90$ ऐम्पियर धारावाही एक वर्गाकार फ्रेम, $I_0 = 5.0$ ऐम्पियर धारावाही एक लम्बे सरल रेखीय चालक के तल में स्थित है। फ्रेम की भुजा की लम्बाई $a = 8.0$ सेमी है। विपरीत भुजाओं के मध्य बिन्दुओं से होकर जाने वाली फ्रेम की अक्ष तार के समान्तर है तथा इनके बीच दूरी, फ्रेम के भुजा से $\eta = 1.5$ गुना अधिक है।

(a) फ्रेम पर कार्यरत ऐम्पियर बल (चुम्बकीय बल) $\frac{9}{P}$ μN है तो P का मान बताईये ;

(b) धारा को स्थिर रखते हुए, फ्रेम को अपनी अक्ष के परित 180° घुमाने के लिये किये जाने वाला याँत्रिक कार्य का परिमाण $(144\ell nP) \times 10^{-9}$ J है तो P का मान बताईये।

21. एक लकड़ी का बेलन C (चित्र में केवल अनुप्रस्थ काट दर्शाया है।) जिसका द्रव्यमान 0.25 किग्रा., त्रिज्या R व लम्बाई ℓ, कागज के तल के लम्बवत है इस पर 0.1 मीटर लम्बे तार के N = 10 घेरे अनुदैर्ध्यतया लपेटे गये है जिससे घेरे का तल बेलन के अक्ष पर है लूप में प्रवाहित वह न्यूनतम धारा $\frac{P}{2}$ A होगी जिससे बेलन, क्षैतिज से θ झुकाव वाले तल पर नीचे गति नहीं करें । जबकि उपस्थित उर्ध्वाधर चुम्बकीय क्षेत्र का मान 0.5 वेबर/मी.^{2} है एवं कुण्डली का तल नत तल के समान्तर है। (बेलन का निम्नतम बिन्दु नहीं फिसलता है) P का मान बताईये



भाग - III : एक या एक से अधिक सही विकल्प प्रकार

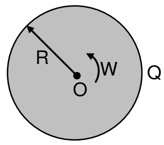
1. एक चुम्बकीय सुई (छोटा चुम्बक) असमरूप चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित है। यह : **[JEE 1982]**

(A) बल व बलाघूर्ण महसूस कर सकता है
(B) बल महसूस कर सकता है किन्तु बलाघूर्ण नहीं
(C) बलाघूर्ण महसूस कर सकता है किन्तु बल नहीं
(D) न बल, न ही बलाघूर्ण महसूस करेगा

2. स्थिति $\vec{r}$ पर स्थित एक धारा अवयव $i d\vec{\ell}$ के कारण मूल बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र होगा –

(A) $\frac{\mu_0 i}{4\pi}\frac{d\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}$
(B) $-\frac{\mu_0 i}{4\pi}\frac{\vec{r}\times d\vec{\ell}}{r^3}$
(C) $\frac{\mu_0 i}{4\pi}\frac{\vec{r}\times d\vec{\ell}}{r^3}$
(D) $-\frac{\mu_0 i}{4\pi}\frac{d\vec{\ell}\times\vec{r}}{r^3}$

3. एक अचालक चकती जिस पर समरूप धनात्मक आवेश Q है, इसकी अक्ष के सापेक्ष समान कोणीय वेग ω से घूम रही है। चकती के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र है -

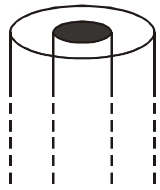


(A) बाहर की ओर निर्देशित
(B) $\frac{\mu_0 Q\omega}{4\pi R}$ परिमाण का
(C) अन्दर की ओर निर्देशित
(D) परिमाण का $\frac{\mu_0 Q\omega}{2\pi R}$ परिमाण का

4. एक खोखली नलिका की लम्बाई के अनुदिश होने वाला धारा प्रवाह, इसकी सतह पर एक समान रूप से वितरित है। चुम्बकीय क्षेत्र –

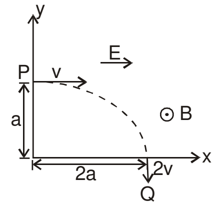
(A) अक्ष से सतह की ओर रेखिक रूप से बढ़ता है।
(B) नलिका के अन्दर नियत रहता है।
(C) अक्ष पर शून्य रहता है।
(D) नलिका के बाहर नलिका की सतह से परिमित दूरी पर अशून्य होता है।

5. एक समाक्षीय, सीधी केबल मे केन्द्रीय चालक तथा बाह्य चालक से समान धाराएँ परस्पर विपरीत दिशाओं में प्रवाहित हो रही है। चुम्बकीय क्षेत्र अशून्य होगा –



(A) केबल के बाहर।
(B) आन्तरिक चालक के अन्दर (चालक के अक्ष को छोड़कर)
(C) बाह्य चालक के अन्दर तथा आन्तरिक चालक के बाहर सभी बिन्दुओं पर।
(D) केवल चालकों की अक्ष पर

6. m द्रव्यमान एवं +q आवेश का कण समरूप विद्युत क्षेत्र E व समरूप चुम्बकीय क्षेत्र $B\hat{k}$ के प्रभाव में चित्र में दिखाये पथ पर P से Q तक गति करता है। P व Q पर वेग क्रमशः $v\hat{i}$ व $-2v\hat{j}$ है। निम्न में से कौनसा/कौनसे कथन सत्य है/हैं ?



(A) $E = \frac{3}{4}\left(\frac{mv^2}{qa}\right)$

(B) विद्युत क्षेत्र द्वारा किये कार्य की दर बिन्दु P पर $\frac{3}{4}\left(\frac{mv^3}{a}\right)$ होगी।

(C) विद्युत क्षेत्र द्वारा किये गये कार्य की दर बिन्दु P पर शून्य होगी।

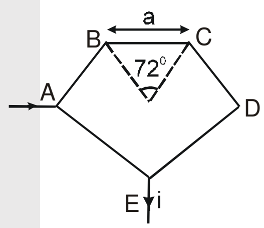
(D) बिन्दु Q पर दोनों क्षेत्रों द्वारा किये गये कार्य की दर शून्य होगी।

7. किसी स्थान पर विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ व $\vec{B}$ चुम्बकीय क्षेत्र है। एक सीधी रेखा पर गतिशील प्रोटॉन इस क्षेत्र में अविक्षेपित गुजरता है। निम्न में से कौन से कथन उक्त प्रेक्षण के लिए सम्भव है।

(A) $\vec{E} = 0$ और $\vec{B} = 0$ (B) $\vec{E} \neq 0$ और $\vec{B} = 0$

(C) $\vec{E} \neq 0$, $\vec{B} \neq 0$ तथा दोनों $\vec{E}$ और $\vec{B}$, $\vec{v}$ के समान्तर है। (D) $\vec{E}$, $\vec{v}$ के समान्तर है परन्तु $\vec{B}$, $\vec{v}$ के लम्बवत् है।

8. चित्र में प्रदर्शित समरूप अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल के तार से बने नियमित पंचभुज के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र की सामर्थ्य है –



(A) $\frac{5\mu_0 i}{4\pi a}\left[2\sin\frac{72°}{2}\right]$

(B) 0

(C) अशून्य यदि धारा 'i' बिन्दु E के स्थान पर D से बाहर निकलती है।

(D) यदि धारा 'i' बिन्दु E के स्थान पर बिन्दु D से बाहर निकलती है फिर भी शून्य।

9. समान गतिज ऊर्जा वाले H^+, He^+ एवं O^{2+} एक एसे क्षेत्र से गुजरते है जिसमें एक समान चुम्बकिए क्षेत्र विद्यमान है। चुम्बकीय क्षेत्र उनके वेग के लम्बवत दिशा में है। H^+, He^+ और O^{2+} का द्रव्यमान क्रमशः 1 amu, 4amu व 16 amu है। तो

(A) H^+ अधिकतम विक्षेपित होगा (B) O^{2+} अधिकतम विक्षेपित होगा

(C) He^+ व O^{2+} समान विक्षेपित होगें (D) सभी समान रूप से विक्षेपित होगें।

10. एक इलेक्ट्रॉन पुंज का संवेग p है। यह B चुम्बकीय फलक्स घनत्व वाले समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में लम्बवत् प्रवेश करता है तो निम्न में से कौनसा/कौनसे कथन सही है?

(A) $\frac{p^2}{2m}$ ऊर्जा प्राप्त होती है। (B) इलेक्ट्रॉन पर अभिकेन्द्रीय बल Be $\frac{m}{p}$ है।

(C) इलेक्ट्रॉन के पथ की त्रिज्या $\frac{p}{Be}$ है। (D) चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा इलेक्ट्रॉन पर किया गया कार्य शून्य है।

11. समान द्रव्यमान के दो कण, इनमें से एक एकल आवेशित तथा दूसरा त्रिआवेशित कण है। यह दोनों समरूप चुम्बकीय क्षेत्र में एक ही स्थान से समान वेग से क्षेत्र के लम्बवत् प्रक्षेपित किये जाते है –

(A) दोनों आयन समान त्रिज्या के वृत्तों के अनुदिश गति करेंगे।

(B) एकल आवेशित द्वारा बनाये गये वृत्त की त्रिज्या दूसरे की त्रिज्या की तिगुनी है।

(C) दोनों वृत्त एक दूसरे को स्पर्श नहीं करते है।

(D) दोनों वृत्त एक दूसरे को स्पर्श करते है।

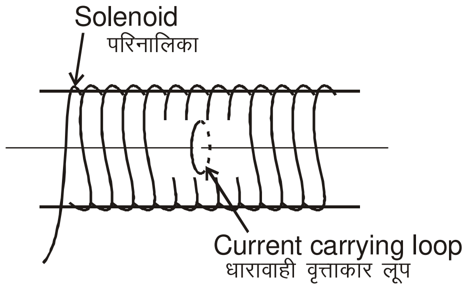
12. एक स्थान पर एक समान विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र दोनों विद्यमान है, जिसमें एक आवेशित कण इस स्थान से बिना विक्षेपित हुए गुजरता है तो सभी असम्भव विकल्प चुनिए ($\vec{\upsilon}$ = कण का वेग, $\vec{E}$ = विद्युत क्षेत्र, $\vec{B}$ = चुम्बकीय क्षेत्र)

(A) $\vec{E} \parallel \vec{B}$, $\vec{\upsilon} \parallel \vec{E}$ (B) $\vec{E}$, $\vec{B}$ के संरेखीय नहीं है।

(C) $\vec{\upsilon} \parallel \vec{B}$ परन्तु $\vec{E}$, के संरेखीय नहीं है। (D) $\vec{E} \parallel \vec{B}$ परन्तु $\vec{\upsilon}$, $\vec{E}$ के संरेखीय नहीं है।

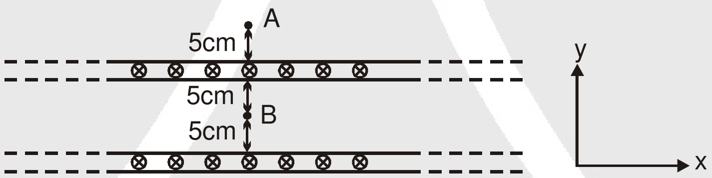
13. समान व नियत विद्युत क्षेत्र तथा चुम्बकीय क्षेत्र के प्रभाव में एक कण वृत्त के अनुदिश गति करता है तो निम्न में से कौनसा विकल्प सम्भव नही है।
(A) $E = 0, B = 0$ (B) $E = 0, B \neq 0$ (C) $E \neq 0, B = 0$ (D) $E \neq 0, B \neq 0$

14. 0.02 cm त्रिज्या के एक तार वाले वृत्ताकार लूप में 8.0 A की धारा प्रवाहित हो रही है। यह एक परिनालिका के केन्द्र पर रखा है। परिनालिका की लम्बाई 0.65 m, त्रिज्या 0.080 m तथा घेरों की संख्या = 1300 फेरे है।



(A) लूप के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य हो जाये इसके लिए परिनालिका से प्रवाहित धारा का मान 4.4 A है।
(B) लूप के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य हो जाये इसके लिए परिनालिका से प्रवाहित धारा का मान 10 A है।
(C) यदि लूप में धारा की दिशा, लूप के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान शून्य प्राप्त करने के लिए आवश्यक धारा की दिशा, के विपरित कर दी जाये तो लूप के केन्द्र पर (लूप तथा परिनालिका के कारण) चुम्बकीय क्षेत्र $8\pi \times 10^{-3}$ T है।
(D) यदि लूप में धारा की दिशा, लूप के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान शून्य प्राप्त करने के लिए आवश्यक धारा की दिशा, के विपरित कर दी जाये तो लूप के केन्द्र पर (लूप तथा परिनालिका के कारण) चुम्बकीय क्षेत्र $16\pi \times 10^{-3}$ T है।

15. चित्र में दो समान्तर बड़ी धातु की पट्टिकाओं के अनुप्रस्थ काट दिखाये गये है जिनमें सतह के अनुदिश धारा प्रवाहित हो रही है। प्रत्येक पट्टिका में धारा $\frac{10}{\pi}$ A/m चौड़ाई के अनुदिश है। चित्र में दर्शाये अनुसार दो बिन्दु A तथा B की स्थितियाँ दर्शायी गई हैं –



(A) A पर चुम्बकीय क्षेत्र 4μT धनात्मक x-दिशा में है। (B) A पर चुम्बकीय क्षेत्र 4μT ऋणात्मक x-दिशा में है।
(C) B पर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य है। (D) B पर चुम्बकीय क्षेत्र 2μT धनात्मक x-दिशा में है।

16. माना $[\epsilon_0]$ निर्वात की विद्युतशीलता, $[\mu_0]$ निर्वात की चुम्बकशीलता के विमीय सूत्र को प्रदर्शित करते है। यदि M = द्रव्यमान, L = लम्बाई, T = समय तथा I = विद्युत धारा हो तो –
(A) $[\epsilon_0] = M^{-1} L^{-3} T^2 I$ (B) $[\epsilon_0] = M^{-1} L^{-3} T^4 I^2$ (C) $[\mu_0] = MLT^{-2} I^{-2}$ (D) $[\mu_0] = ML^2 T^{-1} I$

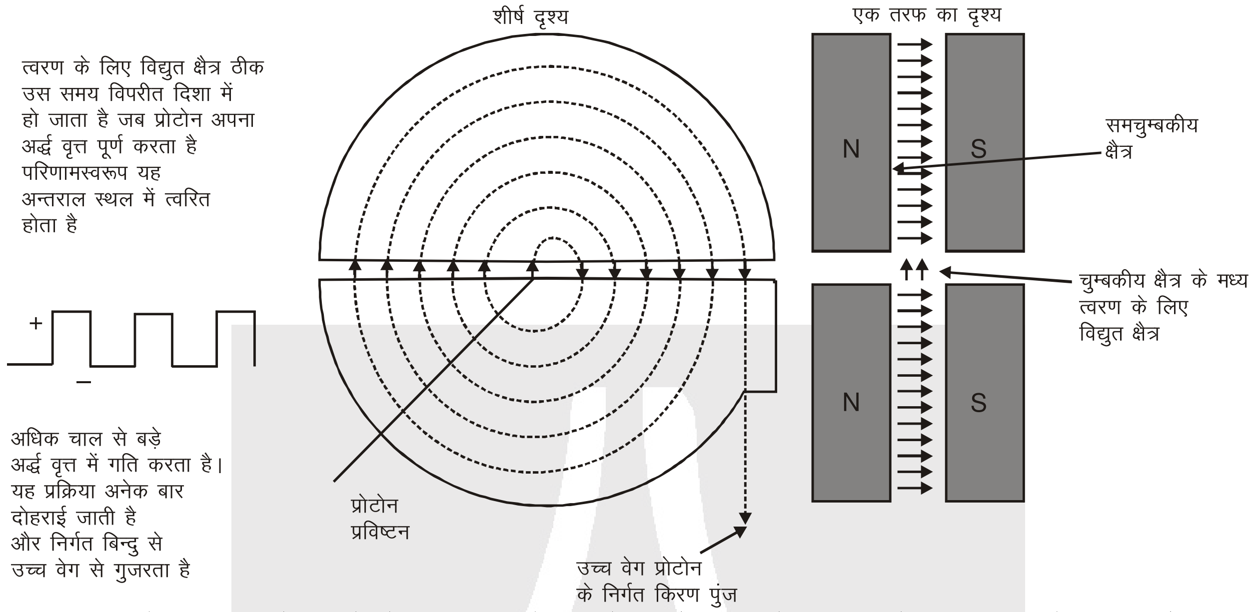
17. एक धनावेशित कण X-अक्ष के अनुदिश गति कर रहा है। हम अल्प समय के लिए चुम्बकीय क्षेत्र आरोपित करना चाहते है जिससे की कण अपनी दिशा को विपरीत कर ले तथा ऋणात्मक X-अक्ष की ओर गति करने लगे तो ऐसा करने के लिए चुम्बकीय क्षेत्र किसके अनुदिश आरोपित करना होगा –
(A) Y-अक्ष (B) Z-अक्ष (C) केवल Y-अक्ष (D) केवल Z-अक्ष

18. एक छोटी छड़ चुम्बक को एक धागे द्वारा लटकाया गया है। एक बलाघूर्ण लगाया गया है तथा चुम्बक कोणीय दोलनों का पालन करता हुआ पाया गया। दौलनों का आवर्तकाल
(A) चुम्बक की गति के साथ घटता है
(B) पृथ्वी की चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के बढ़ने के साथ बढ़ता है।
(C) यदि एक दूरी पर दूसरी चुम्बक रखे तब अपरिवर्तित रहेगा
(D) चुम्बक के द्रव्यमान पर निर्भर करता है।

भाग - IV : अनुच्छेद (COMPREHENSION)

अनुच्छेद : 1

दिये गये चित्र में साइक्लोट्रॉन दर्शाया गया है। जिसमें कणों का स्त्रोत S तथा दो डी प्रदर्शित हैं। एक समान चुम्बकीय क्षेत्र कागज के तल के बाहर की ओर है तथा दोंनो खोखले डी में प्रोटॉन कुण्डलीनी के रूप में बाहर की ओर गति कर रहे हैं तथा जब भी प्रोटोन दो डी के मध्य अन्तराल को पार करते हैं तो ऊर्जा ग्रहण करते है।



माना स्त्रोत S साइक्लोट्रॉन के केन्द्र पर एक प्रोटॉन छोड़ता है प्रारम्भ में यह ऋणावेशित डी की ओर चलता है , यह इस डी की ओर त्वरित होता है तथा इसमें प्रवेश करता है। डी के अन्दर, डी की तांबे की दीवार इसे विद्युत क्षेत्र से अप्रभावित रखती हैं अतः डी के अन्दर विद्युत क्षेत्र शून्य है। चुम्बकीय क्षेत्र को तांबें (प्रतिचुम्बकीय) की 'डी' परिरक्षित नहीं कर (रोक नहीं) पाती है। अतः प्रोटॉन वृतीय पथ पर गति करता है। जिसकी त्रिज्या, जो चाल पर निर्भर करती है, निम्न समीकरण द्वारा दी जाती है।

$$r = \frac{mv}{qB}. \qquad ...(1)$$

हम यह मानते हैं जब प्रोटॉन पहले डी से बाहर अन्तराल के मध्य में आता है तो दोनों डी पर विभवान्तर विपरीत हो जाता है। अतः प्रोटॉन दुबारा ऋणावेशित डी के कारण त्वरित होता है। दोंनो डी के मध्य विभवान्तर इस तरह दोलन करता रहता है। यह प्रक्रम लगातार चलता रहता है, जब तक प्रोटॉन कुण्डलीनी के किनारे तक न पहुँच जाये। प्रोटोन को एक विक्षेपक प्लेट के द्वारा एक छिद्र से बाहर निकाला जाता है। साइक्लोट्रॉन में मुख्य बात यह है कि जिस आवृति f (जो कि इसकी चाल पर निर्भर नहीं करती है) से प्रोटॉन कुण्डली में परिक्रमण करता है, यह आवृति विद्युत दोलित्र की नियत आवृत्ति f_{osc} के बराबर होनी चाहिए।

$$f = f_{osc} \text{ (अनुनादी अवस्था)}. \qquad ...(2)$$

यह अनुनादी अवस्था बताती है, यदि परिक्रमा कर रहे प्रोटॉन की ऊर्जा बढ़ानी है तो इसको ऊर्जा आवृत्ति f_{osc} पर दी जानी चाहिए है जो कि प्रोटॉन की मूल आवृति f के बराबर है जिससे प्रोटॉन चुम्बकीय क्षेत्र में परिक्रमण कर रहा है।

समीकरण 1 व 2 से $\quad qB = 2\pi m f_{osc}. \qquad ...(3)$

प्रोटॉन के लिये द्रव्यमान m तथा आवेश q नियत है। दोलित्र (मान सकते है) एक निश्चित एकल आवृत्ति f_{osc} पर काम करने के लिये बनाया गया है।

फिर हम साइक्लोट्रॉन को B परिवर्तित करके संमजित करते हैं जब तक कि समी. 3 संतुष्ट नहीं होती और तब बहुत से प्रोटोन पुंज के रूप में बाहर निकलने के लिए चुम्बकीय क्षेत्र से संचरित होते हैं।

1. उतरोत्तर अर्द्ध वृतीय पथ की त्रिज्याओं का अनुपात है –

(A) $\sqrt{1} : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \sqrt{4}$ .... (B) $\sqrt{1} : \sqrt{3} : \sqrt{5}$ ....

(C) $\sqrt{2} : \sqrt{4}\ \sqrt{6}$: .... (D) 1 : 2 : 3 ....

2. प्रत्येक आवर्तकाल के बाद आवेशित कण की गतिज ऊर्जा में परिवर्तन है –

(A) 2qV (B) qV (C) 3qV (D) इनमें से कोई नहीं

3. यदि किसी कण के लिये q/m, 10^6 है तथा आरोपित AC आवृत्ति 10^6 Hz है तो आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र है।

(A) 2π टेसला (B) π टेसला (C) 2 टेसला (D) परिभाषित नहीं किया जा सकता।

4. प्रत्येक आवर्तकाल में चली गयी दूरी का अनुपात है –

(A) $\sqrt{1}+\sqrt{3}:\sqrt{5}+\sqrt{7}:\sqrt{9}+\sqrt{11}$ (B) $\sqrt{2}+\sqrt{3}:\sqrt{4}+\sqrt{5}:\sqrt{6}+\sqrt{7}$

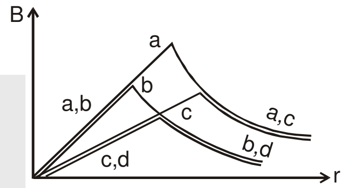
(C) $\sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3}$ (D) $\sqrt{2}:\sqrt{3}:\sqrt{4}$

5. दिये गये आवेशित कण के लिए साइक्लोट्रॉन को समंजित किया जा सकता है –

(A) सिर्फ AC वोल्टेज को परिवर्तित करके (B) AC वोल्टेज तथा चुम्बकीय क्षेत्र दोनों को परिवर्तित करके

(C) केवल आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र को परिवर्तित करके (D) आरोपित AC की आवृत्ति को परिवर्तित करक

अनुच्छेद # 2



अनुप्रस्थ काट में समरूप वितरित धारा के चार धारा प्रवाही, लम्बे तारों a, b, c तथा d के बाहर तथा अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र के परिमाण B (प्रत्येक तार के कारण) एवं त्रिज्यीय दूरी r (अक्ष से) के बीच वक्र दर्शाये गये है। वक्र के अतिव्यापी क्षेत्र, दो रेखाओं द्वारा दर्शाये गये है। सभी वक्र मूल बिन्दु से शुरू होते है।

6. किस तार की त्रिज्या सर्वाधिक है ?

(A) a (B) b (C) c (D) d

7. किस तार की सतह पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण सर्वाधिक है –

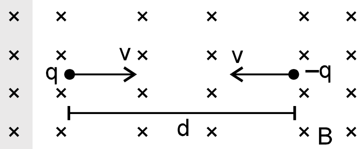
(A) a (B) b (C) c (D) d

8. तार 'a' में धारा घनत्व है –

(A) 'c' तार से ज्यादा है। (B) 'c' तार से कम है। (C) 'c' तार के बराबर है।

(D) सूचना अपर्याप्त होने के कारण c से तुलना नहीं की जा सकती।

अनुच्छेद # 3



चित्रानुसार एक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B में, दो कण प्रत्येक का द्रव्यमान m है, d दूरी पर रखे हुए है। इन पर समान परिमाण q के विपरीत आवेश है। समय t = 0 पर , कण एक दूसरे की ओर, प्रत्येक v चाल से प्रक्षेपित किये जाते है।
(दो आवेशों के मध्य अन्तःक्रिया नगण्य है।)

9. प्रक्षेपण चाल का वह अधिकतम मान v_m ज्ञात कीजिए जिससे की कण आपस में न टकराये।

(A) $\frac{qBd}{4m}$ (B) $\frac{2qBd}{m}$ (C) $\frac{qBd}{m}$ (D) $\frac{qBd}{2m}$

10. यदि $v = v_m/4$ है तो कणों के बीच न्यूनतम दूरी क्या होगी ?

(A) $\frac{d}{4}$ (B) $\frac{3d}{5}$ (C) $\frac{3d}{4}$ (D) $\frac{5d}{4}$

11. यदि $v = v_m/4$ है तो कणों के बीच अधिकतम दूरी क्या होगी ?

(A) $\frac{5d}{2}$ (B) $\frac{5d}{4}$ (C) $\frac{d}{4}$ (D) $\frac{3d}{4}$

12. यदि $v = 2v_m$ हो तो कणों के बीच टक्कर किस क्षण पर होगी ?

(A) $\frac{\pi m}{6qB}$ (B) $\frac{\pi m}{qB}$ (C) $\frac{6\pi m}{qB}$ (D) $\frac{\pi m}{2qB}$

13. मान लीजिए कि $v = 2v_m$ है तथा टक्कर के पश्चात कण चिपक जाते है। टक्कर के पश्चात् गति की विवेचना कीजिए। (आवेशों के मध्य चुम्बकीय बल, गुरूत्वीय बल तथा विद्युत बल नगण्य है).

(A) वृत्ताकार गति (B) परवलयाकार गति (C) दीर्घवृत्ताकार गति (D) सरल रेखा

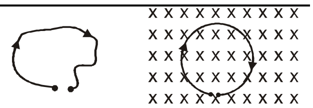
Exercise-3

✍ चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

* चिन्हित प्रश्न एक से अधिक सही विकल्प वाले प्रश्न है

भाग - I : JEE (ADVANCED) / IIT-JEE (पिछले वर्षो) के प्रश्न

1. दिये गये चित्रानुसार L लम्बाई का एक लचीला तार दो निकटवर्ती स्थिर बिन्दुओं से जुड़ा हुआ है। इसमें दक्षिणावर्त दिशा में I मान की विद्युत धारा प्रवाहित हो रही है। इस निकाय को कागजतल के अन्दर जाते हुए B तीव्रता के एक एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो यह वृत्ताकार रूप में आ जाता है। तार में तनाव का मान है :



[JEE 2010, 3/163, –1]

(A) IBL (B) $\frac{IBL}{\pi}$ (C) $\frac{IBL}{2\pi}$ (D) $\frac{IBL}{4\pi}$

2. सरल रेखीय समांतर पथों पर एक इलेक्ट्रॉन व एक प्रोटान एक समान वेग से चल कर एक समान अर्ध–अनंत चुम्बकीय क्षेत्र में प्रवेश करते हैं। यह क्षेत्र कणों के वेग के लम्बवत है। तब **[JEE 2011, 4/160]**

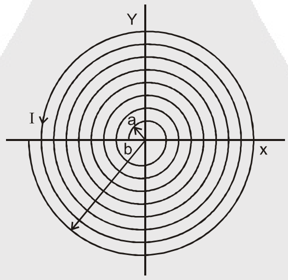
(A) कण कभी भी चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर नहीं आयेंगें।

(B) कण समांतर पथों पर चलते हुए बाहर आयेंगे।

(C) कण एक ही समय पर चुम्बकीय क्षेत्र से बाहर आयेंगे

(D) कण अलग–अलग समय पर बाहर आयेंगे

3. एक लम्बे विद्युत–रोधी ताँबे के तार से 'N' चक्करों की चित्र में दिखाई गई कुण्डलिनी (spiral) बनाई गयी है। इसकी आंतरिक त्रिज्या 'a' तथा बाह्य त्रिज्या 'b' है। यह X-Y तल में रखी है और तार में स्थायी धारा 'I' प्रवाहित है। इसके केन्द्र पर चुम्बकीय–क्षेत्र का Z-घटक होगा। **[JEE - 2011' 3/160, –1]**



(A) $\frac{\mu_0 NI}{2(b-a)}\ell n\left(\frac{b}{a}\right)$ (B) $\frac{\mu_0 NI}{2(b-a)}\ell n\left(\frac{b+a}{b-a}\right)$ (C) $\frac{\mu_0 NI}{2b}\ell n\left(\frac{b}{a}\right)$ (D) $\frac{\mu_0 NI}{2b}\ell n\left(\frac{b+a}{b-a}\right)$

4. एक स्थान में एकसमान वैद्युत–क्षेत्र $\vec{E} = E_0\hat{j}$ और एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = B_0\hat{j}$ एक साथ स्थित है। इस स्थान में एक धनात्मक बिंदु आवेश की गति पर विचार करें। समय t = 0 पर इस आवेश का वेग x – y तल में $\vec{v}$ है, जो x-अक्ष से θ कोण बनाता है तब t > 0 के लिये कौनसा विकल्प सही है।/है ? **[IIT-JEE-2012, Paper-1; 4/70]**

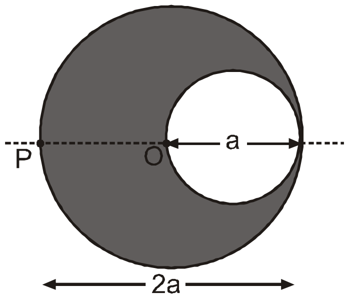
(A) यदि θ = 0º, तब आवेश x – z तल में वृत्तीय–पथ पर घूमता है।

(B) यदि θ = 0º, तब आवेश y–अक्ष की दिशा में कुंडलिनी–पथ पर चलता है व कुंडलिनी का पिच अपरिवर्तित रहता है।

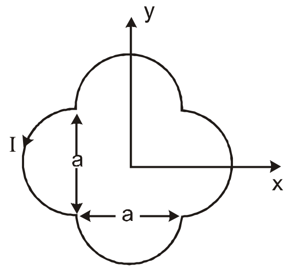
(C) यदि θ = 10º, तब आवेश y–अक्ष की दिशा में कुंडलिनी–पथ पर चलता है व कुंडलिनी का पिच समय के साथ बढ़ता रहता है।

(D) यदि θ = 90º, तब आवेश y–अक्ष की दिशा में रेखीय परंतु त्वरण के साथ गति करता है।

5. व्यास 2a के एक बेलन में, त्रिज्या a का एक खोखला बेलनीय –कोश है (चित्र देखिये) और दोनों अपरिमित लम्बे हैं। इनकी लम्बाई की दिशा में इनके एक समान धारा–घनत्व J है। यदि बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान $\frac{N}{12}\mu_0 aJ$ है, तब N का मान क्या है ? **[IIT-JEE-2012, Paper-1; 4/70]**

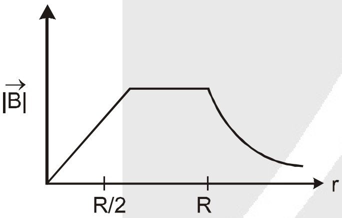


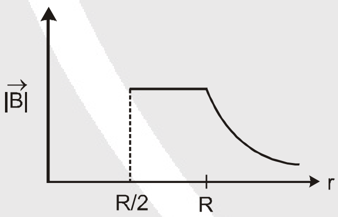
6. चित्र में दशाये अनुसार एक लूप x-y तल में है और उसमें धारा I बह रही है। एकाँक–सदिश $\hat{k}$ पृष्ठ के लम्बवत् बाहर की ओर है। लूप का चुम्बकीय आघूर्ण है। **[IIT-JEE-2012, Paper-2; 3/66, –1]**

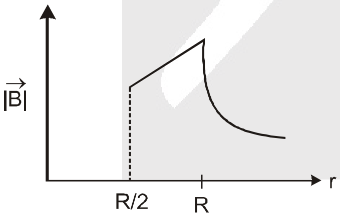


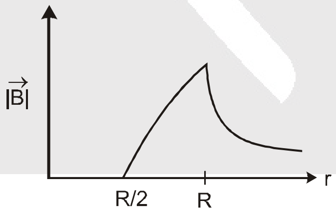
(A) $a^2 I\hat{k}$
(B) $\left(\frac{\pi}{2}+1\right)a^2 I\hat{k}$
(C) $-\left(\frac{\pi}{2}+1\right)a^2 I\hat{k}$
(D) $(2\pi+1)a^2 I\hat{k}$

7. एक असीमित लम्बाई के खोखले (hollow) चालक-बेलन की आंतरिक –त्रिज्या R/2 और बाहरी–त्रिज्या R है। इसकी लम्बाई की दिशा में एकसमान धारा घनत्व है। इसके चुम्बकीय–क्षेत्र का मान $|\vec{B}|$ अक्ष से त्रिज्यीय दूरी r के साथ जिस प्रकार बदलता है उसका सर्वोत्तम वर्णन किस ग्राफ में है ? **[IIT-JEE-2012, Paper-2; 3/66, –1]**

(A) 

(B) 

(C) 

(D) 

8. एक M द्रव्यमान तथा Q धन आवेश का कण, जो $\vec{u}_1 = 4\hat{i}\,ms^{-1}$ के एकसमान वेग से गतिशील है, एकसमान स्थिर चुम्बकीय क्षेत्र में x-y तल के अभिलम्बवत् है तथा इसका विस्तार क्षेत्र x = 0 से x = L तक प्रत्येक y के मान के लिए है। इस चुम्बकीय क्षेत्र को यह कण 10 मिली सैकण्ड में पार कर दूसरी ओर $\vec{u}_2 = 2\left(\sqrt{3}\hat{i}+\hat{j}\right)ms^{-1}$ वेग से प्रकट होता है। सही प्रकथन है/हैं – **[JEE (Advanced)-2013, 4/60, –1]**

(A) चुम्बकीय क्षेत्र –z दिशा में है।
(B) चुम्बकीय क्षेत्र +z दिशा में है।
(C) चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण $\frac{50\pi M}{3Q}$ इकाई है।
(D) चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण $\frac{100\pi M}{3Q}$ इकाई है।

9. एक R त्रिज्या के अनन्त लम्बे खोखले चालक बेलन की लम्बाई में एक स्थिर धारा I बह रही है। इस बेलन को 2R त्रिज्या की अनन्त परिनालिका के अन्दर समाक्ष रखा गया है। इस परिनालिका में n लपेटे प्रति इकाई लम्बाई में है व एक स्थिर धारा I है। एक बिन्दु P के लिए जो समाक्ष से r दूरी पर है, कौनसा (से) प्रकथन सही है (हैं) :

(A) $0 < r < R$ में, चुम्बकीय क्षेत्र शून्य नहीं है। **[JEE (Advanced)-2013, 3/60, –1]**

(B) $R < r < 2R$ में, चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा समाक्ष की दिशा में है।

(C) $R < r < 2R$ में, चुम्बकीय क्षेत्र r त्रिज्या के वृत्त से स्पर्शरेखीय है जिसका केन्द्र समाक्ष पर है।

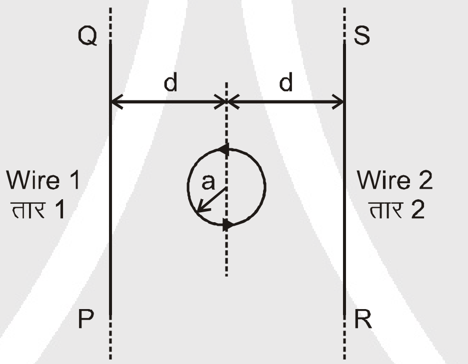
(D) $r > 2R$ में, चुम्बकीय क्षेत्र शून्य नहीं है।

10. दो समान्तर तार कागज के तल के तल में एक दूसरे से X_0 दूरी पर है। दोनों तारों के बीच एक बिन्दु आवेश, जो उसी तल में है तथा एक तार से X_1 दूरी पर है चाल u से गतिमान है। जब तारों में परिणाम I की विद्युत धारा एक दिशा में प्रवाहित की जाती है, बिन्दु आवेश के पथ की वक्रता त्रिज्या R_1 हैं। इसके विपरित यदि दोनों तारों में धारा I की दिशा एक दूसरे के विपरीत हो, तब पथ की त्रिज्या R_2 है। यदि $\frac{x_0}{x_1} = 3$, तब $\frac{R_1}{R_2}$ का मान है।

[JEE (Advanced)-2014,P-1, 3/60]

प्रश्न संख्या 11 और 12 के लिए अनुच्छेद

चित्र में दर्शाये गये a त्रिज्या वाला वृत्तीय पाश (loop) तथा दो समान्तर तार अंकित 1 तथा 2 सभी पृष्ठ के तल में है। दोनों तार वृत्तीय पाश के केन्द्र से d दूरी पर है। वृत्तीय पाश तथा दोनों तारों में एकसमान धारा I प्रवाहित है। ऊपर से देखने पर वृत्तीय पाश में धारा की दिशा वामावर्त है। **[JEE (Advanced)-2014, P-2, 3/60, –1]**



11. जब $d \approx a$ लेकिन तार पाश को स्पर्श नहीं कर रहे हैं तब वृत्तीय पाश के अक्ष पर h ऊँचाई पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र शून्य मिलने की स्थिति में **[JEE (Advanced)-2014, 3/60, –1]**

(A) तार 1 तथा तार 2 में धारा की दिशा क्रमशः PQ तथा RS है और $h \approx a$

(B) तार 1 तथा तार 2 में धारा की दिशा क्रमशः PQ तथा SR है और $h \approx a$

(C) तार 1 तथा तार 2 में धारा की दिशा क्रमशः PQ तथा SR है और $h \approx 1.2\ a$

(D) तार 1 तथा तार 2 में धारा की दिशा क्रमशः PQ तथा RS है और $h \approx 1.2\ a$

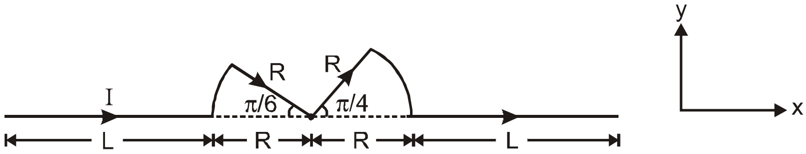
12. मान लीजिए $d >> a$ तथा पाश को चित्र में दिखाई गई अवस्था से तारों के समान्तर तथा पाश के व्यास के परितः 30º से घुमाया जाता है। यदि तारों में विद्युत धारा की दिशा एक दूसरे के विपरीत दिशा में हो तो पाश की नई अवस्था में उस पर लगने वाला बल आघूर्ण (torque) होगा (मान लीजिए कि तारों के कारण वृत्तीय पाश पर चुम्बकीय क्षेत्र स्थिर है।)

[JEE (Advanced)-2014, 3/60, –1]

(A) $\frac{\mu_0 I^2 a^2}{d}$ (B) $\frac{\mu_0 I^2 a^2}{2d}$ (C) $\frac{\sqrt{3}\mu_0 I^2 a^2}{d}$ (D) $\frac{\sqrt{3}\mu_0 I^2 a^2}{2d}$

13. दर्शाये गए चित्रानुसार x-y तल में स्थित एक विद्युत I धारावाही चालक एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में रखा है। यदि चालक पर लगने वाले कुल चुम्बकीय बल का परिमाण F है, तब सही विकल्प है (हैं) :

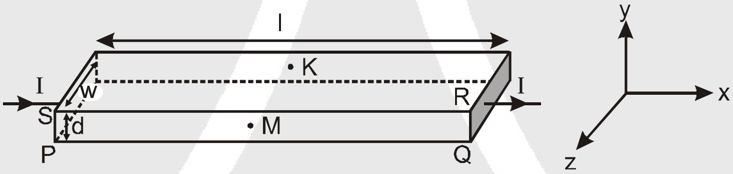
[JEE(Advanced) 2015 ; 4/88, –2]



(A) यदि $\vec{B}$ की दिशा $\hat{z}$ है तब $F \propto (L + R)$
(B) यदि $\vec{B}$ की दिशा $\hat{x}$ है तब $F = 0$
(C) यदि $\vec{B}$ की दिशा $\hat{y}$ है तब $F \propto (L + R)$
(D) यदि $\vec{B}$ की दिशा $\hat{z}$ है तब $F = 0$

प्रश्न संख्या 14 और 15 के लिए अनुच्छेद

दर्शाये चित्रानुसार धातु की एक पतली आयताकार पट्टी में एकसमान विद्युत धारा I धनात्मक x-दिशा में प्रवाहित हो रही है। पट्टी की लम्बाई, चौड़ाई तथा मोटाई क्रमशः l, w तथा d हैं। पट्टी पर धनात्मक y-दिशा में एक एकसमान चुम्बकीय $\vec{B}$ लगाया गया है। इसके कारण आवेशवाहक z-दिशा की ओर विक्षेपित होते हैं। परिणामतः सतह PQRS पर आवेशवाहकों का संचयन होता है तथा PQRS के सामने के फलक पर बराबर किन्तु विपरीत आवेश आ जाता है। एक विभांतर z-दिशा के साथ इस प्रकार विकसित होता है। आवेश वाहकों का यह संचयन तब तक जारी रहता है जब तक कि चुम्बकीय बल, वैद्युत बल से सन्तुलित नहीं हो जाता। विद्युत धारा का प्रवाह इलेक्ट्रॉनों के द्वारा तथा पट्टी की अनुप्रस्थ काट पर एकसमान है।



14. एक ही चालक (metallic) पदार्थ की दो अलग–अलग पट्टियों (1 तथा 2) को लें। उनकी लम्बाईयाँ बराबर हैं, चौडाईयाँ क्रमशः w_1 एवं w_2 तथा मोटाईयाँ क्रमशः d_1 तथा d_2 हैं। दो बिन्दु K तथा M x-y तल के समान्तर आमने–सामने के फलकों पर स्थित हैं। पट्टियों 1 तथा 2 में K तथा M के बीच विभवान्तर क्रमशः V_1 तथा V_2 हैं। तब उनमें बहने वाली एक दी गयी विद्युत धारा I तथा एक दी गयी चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता B के लिए सही कथन है (हैं)

[JEE(Advanced) 2015 ; P-2,4/88, –2]

(A) यदि $w_1 = w_2$ तथा $d_1 = 2d_2$, तब $V_2 = 2V_1$
(B) यदि $w_1 = w_2$ तथा $d_1 = 2d_2$, तब $V_2 = V_1$
(C) यदि $w_1 = 2w_2$ तथा $d_1 = d_2$, तब $V_2 = 2V_1$
(D) यदि $w_1 = 2w_2$ तथा $d_1 = d_2$, तब $V_2 = V_1$

15. समान आकार (लम्बाई l, चौड़ाई w तथा मोटाई d) की अलग–अलग चालक पदार्थों की दो पट्टियों (1 तथा 2) जिनके आवेशवाहकों के घनत्व क्रमशः n_1 तथा n_2 हैं को लें। पट्टी 1 को चुम्बकीय क्षेत्र B_1 तथा पट्टी 2 को चुम्बकीय क्षेत्र B_2 में रखा गया है। चुम्बकीय क्षेत्र B_1 तथा B_2 धनात्मक y-दिशा में हैं। तब पट्टियों 1 तथा 2 में K तथा M के बीच विभवान्तर क्रमशः V_1 तथा V_2 हैं। दोनों पट्टियों में बहने वाली विद्युत धारा I को समान मानते हुए सही विकल्प है (हैं)

[JEE(Advanced) 2015 ; P-2,4/88, –2]

(A) यदि $B_1 = B_2$ तथा $n_1 = 2n_2$, तब $V_2 = 2V_1$ है।
(B) यदि $B_1 = B_2$ तथा $n_1 = 2n_2$, तब $V_2 = V_1$ है।
(C) यदि $B_1 = 2B_2$ तथा $n_1 = n_2$, तब $V_2 = 0.5V_1$ है।
(D) यदि $B_1 = 2B_2$ तथा $n_1 = n_2$, तब $V_2 = V_1$ है।

नीचे दी गयी टेबल के तीन कॉलनों मे उपलब्ध सूचना का उपयुक्त ढंग से सुमेल कर प्रश्नों Q.16. Q17 और Q.18 के उत्तर दीजिए।

एक चार्जयुक्त कण (इलेक्ट्रॉन या प्रोटॉन) आरंभिक गति $\vec{v}$ से मूल बिन्दु (x = 0, y = 0, z = 0) पर प्रस्तुत (introduced) होता है। स्थिर तथा एकसमान विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ एवं चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ सर्वत्र उपस्थित है। कण की गति $\vec{v}$, विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ तथा चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ निम्न कॉलमों 1,2 एवं 3, में क्रमशः दर्शाये गये है। E_0, B_0 के मान धनात्मक है।

	कॉलम-1		**कॉलम -2**		**कॉलम -3**
(I)	इलेक्ट्रॉन $\vec{v} = 2\frac{E_0}{B_0}\hat{x}$ से	(i)	$\vec{E} = E_0\hat{z}$	(P)	$\vec{B} = -B_0\hat{x}$
(II)	इलेक्ट्रॉन $\vec{v} = \frac{E_0}{B_0}\hat{y}$ से	(ii)	$\vec{E} = -E_0\hat{y}$	(Q)	$\vec{B} = B_0\hat{x}$
(III)	प्रोटॉन $\vec{v} = 0$ से	(iii)	$\vec{E} = -E_0\hat{x}$	(R)	$\vec{B} = B_0\hat{y}$
(IV)	प्रोटॉन $\vec{v} = 2\frac{E_0}{B_0}\hat{x}$ से	(iv)	$\vec{E} = E_0\hat{x}$	(S)	$\vec{B} = B_0\hat{z}$

16. किस स्थिति में कण अचल गति से सीधी रेखा में चलन करता है।

[JEE(Advanced) 2017 ; P-1, 3/61, –1]

(A) (IV) (i) (S) (B) (III) (ii) (R) (C) (II) (iii) (S) (D) (III) (iii) (P)

17. किस स्थिति में कण +z अक्ष अनुदिश कुंडलिनी पथ (helical path along the positive z-axis) का अनुसरण करेगा ?

[JEE(Advanced) 2017 ; P-1, 3/61, –1]

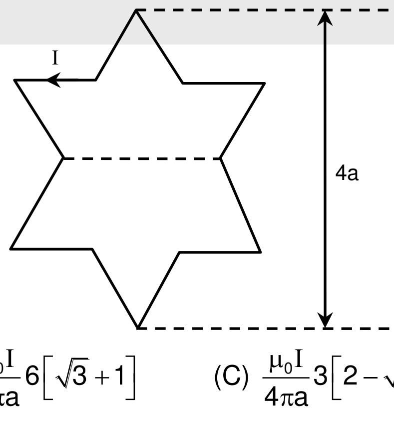
(A) (IV) (i) (S) (B) (II) (ii) (R) (C) (III) (iii) (P) (D) (IV) (ii) (R)

18. किसी स्थिति में कण सीधी रेखा में ऋणात्मक y-अक्ष (negative y-axis) की दिशा में चलेगा ?

[JEE(Advanced) 2017 ; P-1, 3/61, –1]

(A) (III) (ii) (R) (B) (IV) (ii) (S) (C) (III) (ii) (P) (D) (II) (iii) (Q)

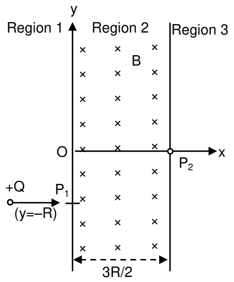
19. जैसे कि चित्रित किया गया है, एक सम्मित तारे (symmetric star) के आकार के चालक में अपरिवर्तित धारा I बह रही है। यहाँ विपरीत शीर्षो (diametrically opposite vertices) के बीच की दूरी 4a है। चालक के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान होगा। **[JEE(Advanced) 2017 ; P-2, 3/61, –1]**



(A) $\frac{\mu_0 I}{4\pi a}6\left[\sqrt{3}-1\right]$ (B) $\frac{\mu_0 I}{4\pi a}6\left[\sqrt{3}+1\right]$ (C) $\frac{\mu_0 I}{4\pi a}3\left[2-\sqrt{3}\right]$ (D) $\frac{\mu_0 I}{4\pi a}3\left[\sqrt{3}-1\right]$

20*. एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र (uniform magnetic field) B कागज के तल के अभिलम्ब दिशा में x = 0 एवं $x = \frac{3R}{2}$ के बीच के क्षेत्र (चित्र में region 2) में सर्वत्र (जैसे कि चित्र में दिखाया है), उपस्थित है। एक कण जिसका आवेश +Q एवं संवेग p है, वह x अक्ष के अनुदिश क्षेत्र 2 में बिन्दु P_1 (y = –R) पर प्रवेश करता है। निम्न में कौन सा (से) कथन सही है/है?

[JEE (Advanced) 2017 ; P-2, 4/61, –2]



(A) जब कण सबसे लम्बे सम्भवपथ से क्षेत्र 2 (region 2) से क्षेत्र 1 (region 1) में पुनः प्रवेश करता है, तब बिन्दु P_1 और y-अक्ष से सबसे दूर बिन्दु के लिए रेखिक संवेग के परिमाण में बदलाव $p/\sqrt{2}$ है

(B) एक नियत B के लिए एकसमान आवेश Q एवं एक समान वेग v वाले कणों के लिए बिन्दु P_1 एवं क्षेत्र 1 (region1) में पुनः प्रवेश बिन्दु की दूरी का अंतर कणों के द्रव्यमान के व्युक्तक्रमानुपाती है

(C) $B = \frac{8}{13}\frac{p}{QR}$ के लिए, कण क्षेत्र 3 (region 3) में x-अक्ष पर बिन्दु P_2 से प्रवेश करेगा

(D) $B > \frac{2}{3}\frac{p}{QR}$ के लिए, कण क्षेत्र 1 (region 1) में पुनः प्रवेश करेगा

21*. दो अनन्त लम्बाई के सीधे तार xy-तल में x = ±R रेखाओं पर रखे हुए है। x = +R पर रखे हुए तार में I_1 और x = – R पर रखे हुए तार में I_2 स्थिर (constant) धारायें बह रही है। R त्रिज्या का एक वृत्ताकार पाश (circular loop), जिसका केन्द्र $(0, 0, \sqrt{3}R)$ है, इस प्रकार लटका हुआ है कि पाश का तल xy-तल के समान्तर है। पाश में एक स्थिर धारा (constant current) I बह रही है। पाश के ऊपर से देखने पर पाश में धारा की दिशा दक्षिणावर्त (clockwise) है। अनन्त लम्बाई के तार में धारा को धनात्मक (positive) माना जाता है यदि यह मात्रक सदिश (unit vector) $+\hat{j}$ की दिशा में है। चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ के बारे में निम्नलिखित कथनों में से कौनस (से) सही है (हैं)?

[JEE (Advanced) 2018 ; P-1, 4/60, –2]

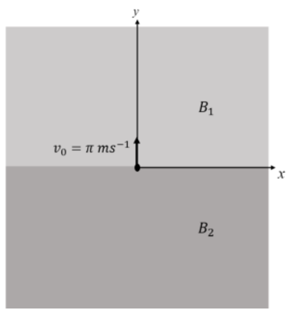
(A) यदि $I_1 = I_2$, हो तो मूल बिन्दु तो मूल बिन्दु (0, 0, 0) पर $\vec{B}$ शून्य नहीं हो सकता है।

(B) यदि $I_1 > 0$ और $I_2 < 0$ हो तो मूल बिन्दु (0,0,0) पर $\vec{B}$ शून्य हो सकता है।

(C) यदि $I_1 < 0$ और $I_2 > 0$ हो तो मूल बिन्दु (0,0,0) पर $\vec{B}$ शून्य हो सकता है।

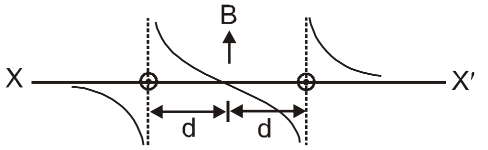
(D) यदि $I_1 = I_2$ हो तो पाश के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का z-घटक का मान $\left(-\frac{\mu_0 I}{2R}\right)$ है।

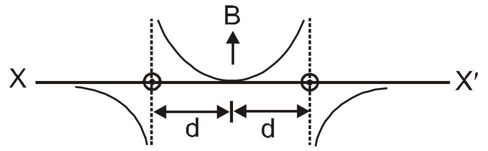
22. xy-तल के y > 0 वाल भाग में एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र (uniform magnetic field) $B_1\hat{k}$ है और y < 0 वाले भाग में एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र $B_2\hat{k}$ है। एक धनात्मक आवेशित कण (positively charged particle) को मूल बिन्दु (origin) से t = 0 समय पर $v_0 = \pi ms^{-1}$ की चाल से +y-अक्ष की दिश में प्रक्षेपित किया जाता है (projected), जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है। इस प्रश्न में गुरूत्वाकर्षण की उपेक्षा कीजिए। समय t = T पर कण x-अक्ष को नीचे से पहली बार पार करता है। यदि $B_2 = 4B_1$ हो तो T समयान्तराल में x-अक्ष की दिशा में कण की औसत चाल (average speed) _____________ ms^{-1} है। **[JEE(Advanced) 2018 ; P-1, 3/60]**

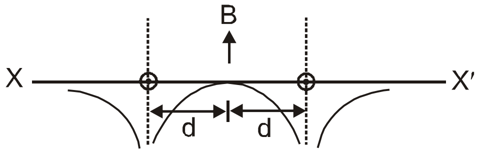


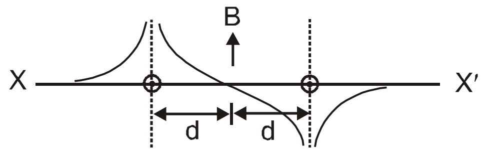
भाग - II : JEE (MAIN) / AIEEE (पिछले वर्षो) के प्रश्न

1. दो लम्बे समांतर तार 2d दूरी पर रखे गए है। वे स्थिर एकसमान धारा प्रवाहित कर रहे हैं और धारा की दिशा कागज के तल से बाहर की ओर है जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है। XX´ रेखा पर चुम्बकीय क्षेत्र B का परिवर्तन इस प्रकार दिया जाता है– **[AIEEE 4/144 2010]**

(1) 

(2) 

(3) 

(4) 

2. त्रिज्या R के अर्द्ध–वृत्तीय वलय के आकार का प्रतिच्छेद वाले एक अनन्त लम्बे तार में धारा I प्रवाहित हो रही है। इसकी अक्ष पर चुम्बकीय प्रेरण का परिमाण है : **[AIEEE - 2011, 1-May, 4/120, –1]**

(1) $\frac{\mu_0 I}{\pi^2 R}$ (2) $\frac{\mu_0 I}{2\pi^2 R}$ (3) $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ (4) $\frac{\mu_0 I}{4\pi R}$

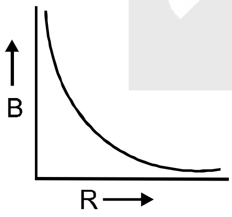
3. एक विद्युत चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{E} = 3\hat{i} + \hat{j} + 2\hat{k}$, और $\vec{B} = \hat{i} + \hat{j} + 3\hat{k}$ में एक विद्युत आवेश +q वेग $\vec{v} = 3\hat{i} + 4\hat{j} + \hat{k}$ से गतिशील है। + q द्वारा अनुभव किये गये बल का y-घटक है। **[AIEEE 2011, 11 May; 4/120, –1]**

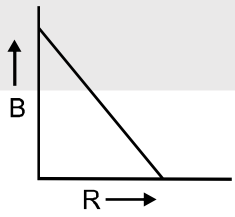
(1) 7 q (2) 5 q (3) 3 q (4) 2 q

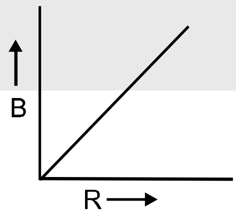
4. त्रिज्या R की एक पतली वृत्तीय डिस्क को घनत्व $\sigma > 0$ प्रति इकाई क्षेत्रफल के एकसमान आवेश से आवेशित किया जाता है। डिस्क अपनी अक्ष पर एक एकसमान कोणीय चाल ω से घूर्णन कर रहा है। डिस्क का चुम्बकीय आघूर्ण है : **[AIEEE 2011, 11 May; 4/120, –1]**

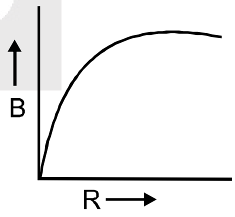
(1) $\pi R^4 \sigma\omega$ (2) $\frac{\pi R^4}{2}\sigma\omega$ (3) $\frac{\pi R^4}{4}\sigma\omega$ (4) $2\pi R^4 \sigma\omega$

5. त्रिज्या R की एक अचालकीय चकती के पृष्ठ पर आवेश Q को एक समान रूप से वितरित किया गया है। चकती कोणीय वेग ω से अपने केन्द्र से गुजर रही और तल के लम्बवत् अक्ष पर घूर्णन कर रही है। इस घूर्णन के फलस्वरूप चकती के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का प्रेरण B प्राप्त होता है। यदि हम चकती पर रखे गये आवेश की मात्रा और इसके कोणीय वेग को नियत रखें और चकती की त्रिज्या में परिवर्तन करें, तब चकती के केन्द्र पर चुम्बकीय प्रेरण का परिवर्तन इस चित्र द्वारा दर्शाया जाएगा : **[AIEEE 2012 ; 4/120, –1]**

(1) 

(2) 

(3) 

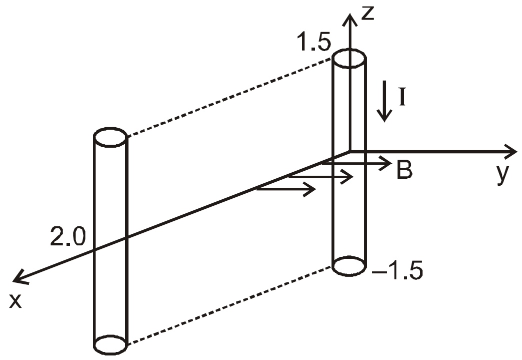
(4) 

6. प्रत्येक लम्बाई 1 cm के दो छोटे छड़ चुम्बकों के चुम्बकीय आघूर्ण क्रमशः 1.20 Am^2 एवं 1.00 Am^2 है। इनके N ध्रुवों को दक्षिण की ओर इंगित कर एक दूसरे के समान्तर इन्हें एक क्षैतिज मेज पर रखा गया है। इनकी एक उभयनिष्ठ चुम्बकीय मध्य रेखा है। और इनके बीच की दूरी 20.0 cm है। इनके केन्द्रों को जोड़ने वाली रेखा के मध्य बिन्दु O पर परिणामी क्षैतिज चुम्बकीय प्रेरण का मान लगभग है। (पृथ्वी के चुम्बकीय प्रेरण का क्षैतिज घटक 3.6×10^{-5} Wb/m^2) **[JEE (Main) 2013 ; 4/120, –1]**

(1) 3.6×10^{-5} Wb/m^2 (2) 2.56×10^{-4} Wb/m^2 (3) 3.50×10^{-4} Wb/m^2 (4) 5.80×10^{-4} Wb/m^2

7. एक सुचालक z-अक्ष के साथ $-1.5 \le z < 1.5$ m पर रखा है और इसमें $-\hat{a}_z$ दिशा में स्थिर धारा 10.0A प्रवाहित हो रही है। (चित्र देखें)। क्षेत्र $\vec{B} = 3.0 \times 10^{-4} e^{-0.2x}\, \hat{a}_y$ T के लिये, सुचालक को स्थिर चाल से x = 2.0 m, y = 0 m तक 5×10^{-3} s में गति कराने के लिए आवश्यक शक्ति की गणना कीजिए। x-अक्ष पर समान्तर गति मान लें।

[JEE (Main) 2014, 4/120, –1]



(1) 1.57 W (2) 2.97 W (3) 14.85 W (4) 29.7 W

8. दो समाक्षी परिनलिकाओं में, प्रत्येक से I धारा एक ही दिशा में प्रवाहित हो रही है। यदि, बाहरी परिनलिका के कारण, भीतरी परिनलिका पर चुम्बकीय बल $\vec{F_1}$ तथा भीतरी परिनलिका के कारण, बाहरी परिनलिका पर चुम्बकीय बल $\vec{F_2}$ हो तो–

[JEE (Main)-2015; 4/120, –1]

(1) $\vec{F_1} = \vec{F_2} = 0$

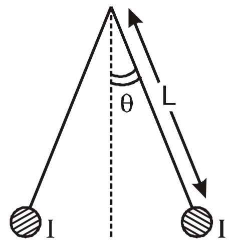
(2) $\vec{F_1}$ भीतर की ओर व अरीय (त्रिज्य) है और $\vec{F_2}$ बाहर की ओर व अरीय है।

(3) $\vec{F_1}$ भीतर की ओर व अरीय है तथा $\vec{F_2} = 0$ है।

(4) $\vec{F_1}$ बाहर की ओर व अरीय है तथा $\vec{F_2} = 0$ है।

9. दो पतले लम्बे तारों में प्रत्येक से I धारा प्रवाहित हो रही है। इन्हें L लम्बाई के विद्युतरोधी धागों से लटकाया गया है। इन धागों में प्रत्येक के द्वारा ऊर्ध्वाधर दिशा से 'θ' कोण बनाने की स्थिति में, ये दोनों तार साम्यावस्था में रहते हैं। यदि इन तारों की प्रति इकाई लम्बाई द्रव्यमान λ है तथा g गुरूत्वीय त्वरण है तो, I का मान होगा :

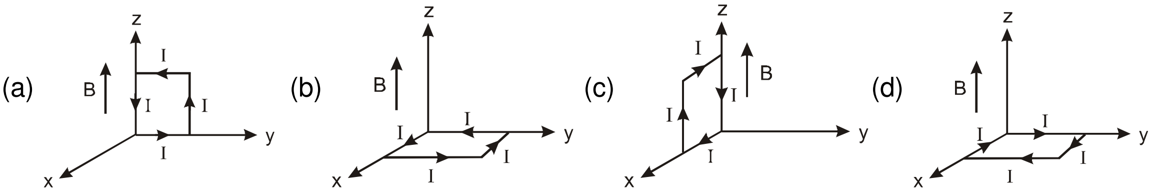
[JEE (Main) 2015; 4/120, –1]



(1) $\sin\theta\sqrt{\dfrac{\pi\lambda gL}{\mu_0 \cos\theta}}$ (2) $2\sin\theta\sqrt{\dfrac{\pi\lambda gL}{\mu_0 \cos\theta}}$

(3) $2\sqrt{\dfrac{\pi gL}{\mu_0}\tan\theta}$ (4) $\sqrt{\dfrac{\pi\lambda gL}{\mu_0}\tan\theta}$

10. 10 cm तथा 5 cm भुजाओं के एक आयताकार लूप (पाश) से एक विद्युत धारा, I = 12 A, प्रवाहित हो रही है। इस पाश को आरेख में दर्शाये गये अनुसार विभिन्न अभिविन्यासों (स्थितियों) में रखा गया है। **[JEE (Main) 2015; 4/120, –1]**



यदि वहाँ 0.3 T तीव्रता का कोई एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र, धनात्मक z दिशा में विद्यमान है तो, दर्शाये गये किस अभिविन्यास में, यह पाश (लूप) (i) स्थायी संतुलन तथा (ii) अस्थायी संतुलन में, होगा ?

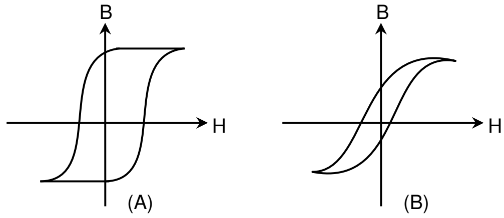
(1) क्रमशः (a) तथा (b) में (2) क्रमशः (a) तथा (c) में

(3) क्रमशः (b) तथा (d) में (4) क्रमशः (b) तथा (c) में

11. दो एकसमान तार A व B की प्रत्येक लम्बाई l, में समान धारा I प्रवाहित है। A को मोड़कर R त्रिज्या का एक वृत्त और B को मोड़कर भुजा 'a' का एक वर्ग बनाया जाता है। यदि B_A तथा B_B क्रमशः वृत्त के केन्द्र तथा वर्ग के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र हैं, तब अनुपात $\frac{B_A}{B_B}$ होगा : **[JEE (Main) 2016; 4/120, –1]**

(1) $\frac{\pi^2}{16\sqrt{2}}$ (2) $\frac{\pi^2}{16}$ (3) $\frac{\pi^2}{8\sqrt{2}}$ (4) $\frac{\pi^2}{8}$

12. दो चुम्बकीय पदार्थ A तथा Bके लिये हिस्टेरेसिस–लूप नीचे दिखाये गये हैं :



इन पदार्थो का चुम्बकीय उपयोग विद्युत–जेनेरेटर के चुम्बक, ट्रान्सफार्मर की क्रोड एवं विद्युत–चुम्बक की क्रोड आदि के बनाने में किया जाता है। तब यह उचित है कि **[JEE (Main) 2016; 4/120, –1]**

(1) A का इस्तेमाल विद्युत–चुम्बक में तथा B का विद्युत–जेनेरेटर में किया जाए।

(2) A का इस्तेमाल ट्रान्सफॉर्मर में तथा B का विद्युत–जेनेरेटर में किया जाए।

(3) B का इस्तेमाल विद्युत–चुम्बक में तथा ट्रान्सफॉर्मर दोनों में किया जाए।

(4) A का इस्तेमाल विद्युत–जेनेरेटर तथा ट्रान्सफॉर्मर दोनों में किया जाए।

13. एक चुम्बकीय आघूर्ण 6.7×10^{-2} Am^2 एंव जड़वत् आघूर्ण 7.5×10^{-6} kg m^2 वाली चुम्बकीय सुई एक 0.01 T तीव्रता के चुम्बकीय क्षेत्र में सरल आवर्त दोलन कर रही है। 10 पूरे दोलन का समय होगा। **[JEE (Main) 2017 ; 4/120, –1]**

(1) 8.76 s (2) 6.65 s (3) 8.89 s (4) 6.98 s

14. एक गतिज ऊर्जा के एक इलेक्ट्रॉन एक प्रोटॉन एवं एक अल्फा कण किसी एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B में क्रमशः r_e, r_p एवं r_αत्रिज्या की गोलाकार कक्षा में घूम रहे हैं। r_e, r_p एवं r_αके बीच संबंध होगा– **[JEE (Main) 2018; 4/120, –1]**

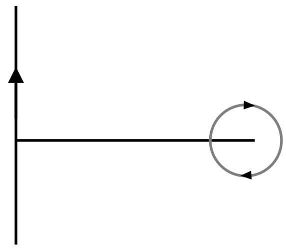
(1) $r_e < r_p < r_\alpha$ (2) $r_e < r_\alpha < r_p$ (3) $r_e > r_p = r_\alpha$ (4) $r_e < r_p = r_\alpha$

15. धारा I वाले एक वृत्ताकार पाश का द्विध्रुव आघूर्ण m तथा उसके केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र B_1 है। धारा स्थिर रखते हुए द्विध्रुव आघूर्ण को दोगुना करने पर पाश के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र B_2 हो जाता है। अनुपाता $\frac{B_1}{B_2}$ होगा।

[JEE (Main) 2018; 4/120, –1]

(1) $\sqrt{2}$ (2) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (3) 2 (4) $\sqrt{3}$

16. एक अनन्त लंबाई का धारावाहक तार तथा एक छोटा सा धारावाहक पाश कागज के समतल में चित्रानुसार रखे हैं। पाश की त्रिज्या a तथा तार से इसके केन्द्र की दूरी d है ($d \gg a$). यदि पाश द्वारा तार पर बल F है तो **[JEE (Main) 2019; 4/120, –1]**



(1) $F = 0$

(2) $F \propto \left(\frac{a}{d}\right)^2$

(3) $F \propto \left(\frac{a^2}{d^3}\right)$

(4) $F \propto \left(\frac{a}{d}\right)$

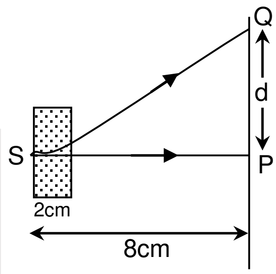
17. लम्बाई ℓ की एक पतली रोधी छड़ पर रेखीय आवेश घनत्व $\rho(x) = \rho_0 \frac{x}{\ell}$ है। इस छड़ को मूलबिन्दु (x = 0) से जाने वाली तथा छड़ के लम्बवत् एक अक्ष के परितः n चक्कर प्रति सेकण्ड़ से घुमाया जाता है। इस छड़ का कालिक माध्य चुम्बकीय आघूर्ण होगा : **[JEE (Main) 2019; 4/120, –1]**

(1) $\frac{\pi}{4} n\rho\ell^3$ (2) $\pi n\rho\ell^3$ (3) $\frac{\pi}{3} n\rho\ell^3$ (4) $n\rho\ell^3$

18. 1 cm भुजा के घनरूपी अनुचुम्बकीय पदार्थ पर, चुम्बकीय तीव्रता 60×10^3 A/m लगाने पर उसका चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण 20×10^{-6} J/T होता है। इसकी चुम्बकीय प्रवृत्ति है– **[JEE (Main) 2019; 4/120, –1]**

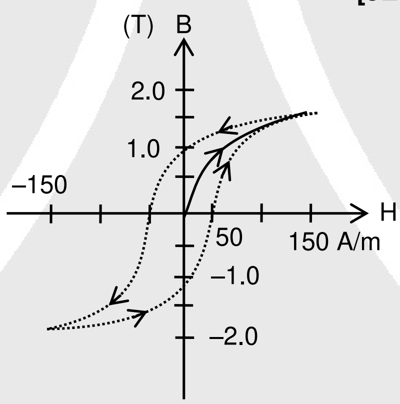
(1) 4.3×10^{-2} (2) 2.3×10^{-2} (3) 3.3×10^{-4} (4) 3.3×10^{-2}

19. 100 eV ऊर्जा का एक इलेक्ट्रॉन जो x–अक्ष के अनुदिश गतिमान है, $\vec{B} = (1.5 \times 10^{-3} T)\hat{k}$ के चुम्बकीय क्षेत्र में बिन्दु S पर प्रवेश करता है (चित्र देखिये)। चुम्बकीय क्षेत्र x = 0 से x = 2cm तक विस्तृत है। बिन्दु S से 8 cm दूरी पर स्थित पर्दे पर इलेक्ट्रॉन का संसूचन बिन्दु Q पर होता है। बिन्दु P तथा Q के बीच की दूरी d (पर्दे पर) का मान होगा : (इलेक्ट्रॉन का आवेश = 1.6×10^{-19}C, इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = 9.1×10^{-31} kg) **[JEE (Main) 2019; 4/120, –1]**



(1) 12.87 cm (2) 1.22 cm
(3) 2.25 cm (4) 11.65 cm

20. चित्र में एक लौह–चुम्बकीय (ferromagnetic) पदार्थ के लिये एक प्रयोग द्वारा नापे गये B vs. H का विचरण दिखाया गया है। इस पदार्थ की धारणशीलता, निग्राहिता व संतृप्तता का मान है क्रमशः
[JEE (Main) 2020, 07 January; 4/100, –1]



(1) 1.0 T, 50 A/m तथा 1.5 T (2) 150 A/m, 1.0 T तथा 1.5 T
(3) 1.5 T, 50 A/m तथा 1.0 T (4) 1.5T, 50 A/m तथा 1.0 T

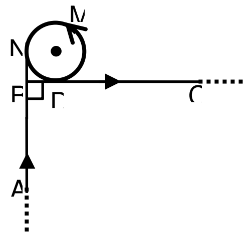
21. एक कण का द्रव्यमान m है तथा इस पर q आवेश है। इसका आरम्भिक वेग $\vec{v} = v_0\hat{j}$ है। यदि इस पर एक वैद्युत क्षेत्र $\vec{E} = E_0\hat{i}$ और चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = B_0\hat{i}$ लगे हो तो कितने समय में इसकी गति दो गुनी हो जायेगी?
[JEE (Main) 2020, 07 January; 4/100, –1]

(1) $\frac{2mv_0}{qE_0}$ (2) $\frac{3mv_0}{qE_0}$ (3) $\frac{\sqrt{2}mv_0}{qE_0}$ (4) $\frac{\sqrt{3}mv_0}{qE_0}$

22. 1 MeV गतिज ऊर्जा वाला एक प्रोटॉन दक्षिण से उत्तर की ओर चल रहा है। पश्चिम से पूर्व की ओर दिशा के एक चुम्बकीय क्षेत्र से इस पर 10^{12}m/s^2 का त्वरण पैदा होता है। चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण होगा: (प्रोटॉन का विराम द्रव्यमान = 1.6×10^{-27} kg) **[JEE (Main) 2020, 08 January; 4/100, –1]**

(1) 7.1 mT (2) 71 mT (3) 0.71 mT (4) 0.071 mT

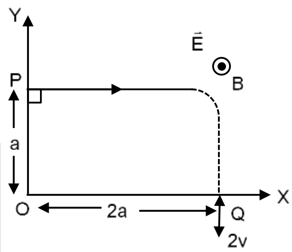
23. एक लम्बा तार ABDMNDC चित्र में दिखाया गया है और इसमें विद्युत धारा I बह रही है। इस तार के AB और BC भाग सीधे हैं और एक दूसरे से समकोण बनाते है। D पर तार घूमते हुए R त्रिज्या का एक वृत्त DMND बनाता है तथा तार के AB और BC भाग इस वृत्त पर क्रमशः N तथा D पर स्पर्श रेखाएँ बनाते हैं। इस दशा में वृत्त के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान है : **[JEE (Main) 2020, 08 January; 4/100, –1]**



(1) $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}\left(\pi+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ (2) $\frac{\mu_0 I}{2R}$

(3) $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}\left(\pi-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ (4) $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}(\pi+1)$

24. द्रव्यमान 'm' और आवेश 'q' का एक कण एक समानविद्युत क्षेत्र $E\vec{i}$ तथा एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र $B\vec{k}$ में चलता हुआ बिन्दु P से चित्र में दिखाये गये पथ पर चलकर बिन्दु Q तक पहुँचता है। कण का बिन्दुओं P और Q पर वेग क्रमशः $v\vec{i}$ तथा $-2v\vec{j}$ है। ऐसे में नीचे दिये गये कथनों (A, B, C, D) में से कौन–कौन से कथन सही हैं ? (दिखाया गया पथ सांकेतिक है) **[JEE (Main) 2020, 09 January; 4/100, –1]**



(A) $E=\frac{3}{4}\left(\frac{mv^2}{qa}\right)$

(B) बिन्दु P पर विद्युत क्षेत्र द्वारा कण पर किये जा रहे कार्य की दर $\frac{3}{4}\left(\frac{mv^3}{a}\right)$ है।

(C) दोनों विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों द्वारा कण पर बिन्दु Q पर किये जा रहे कार्य की दर शून्य है।

(D) बिन्दुओं P तथा Q पर कण के कोणीय संवेग के मान में 2mav का अन्तर है।

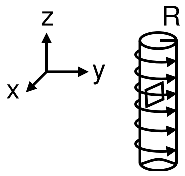
(1) (A), (B), (C) (2) (A), (B), (C), (D) (3) (A), (C), (D) (4) (B), (C), (D)

25. एक लम्बे सीधे a त्रिज्या के तार में विद्युत धारा बह रही है। यह धारा इसके अनुप्रस्थ काट पर समान रूप से वितरित है। तार द्वारा इसके अक्ष से क्रमशः $\frac{a}{3}$ तथा 2a दूरी पर बनने वाले चुम्बकीय क्षेत्रों के मान का अनुपात होगा:

[JEE (Main) 2020, 09 January; 4/100, –1]

(1) $\frac{1}{2}$ (2) 2 (3) $\frac{3}{2}$ (4) $\frac{2}{3}$

26. एक इलेक्ट्रॉन प्रक्षेपी (electron gun) को R त्रिज्या की एक लम्बी परिनालिका के अक्ष पर रखा हुआ है। परिनालिका में तार के n घुमाव प्रति इकाई लम्बाई है तथा इसमें बहने वाली विद्युत धारा का मान I है। इलेक्ट्रॉन प्रक्षेपी परिनालिका की त्रिज्या की दिशा में v गति से इलेक्ट्रॉन प्रक्षेपित करती है। यदि प्रक्षेपित इलेक्ट्रॉन परिनालिका की सतह से नहीं टकराते हैं, तो v का अधिकतम मान कितना हो सकता है ? (सभी अक्षरों का मानक अर्थ लें) **[JEE (Main) 2020, 09 January; 4/100, –1]**



(1) $\frac{e\mu_0 nIR}{2m}$ (2) $\frac{e\mu_0 nIR}{m}$ (3) $\frac{2e\mu_0 nIR}{m}$ (4) $\frac{e\mu_0 nIR}{4m}$

27. सुचालक तार से त्रिज्या a का एक छोटे वृत्ताकार छल्ले में विद्युत धारा I बह रही है। इसे एक एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B (जो कि इसके समतल के लम्बवत् है) में इस प्रकार रखा जाता है कि जब इसे इसके व्यास के सापेक्ष थोड़ासा घुमाकर छोड़ा जाये तो यह आवर्तकाल T की सरल आवर्त गति करने लगता है। यछि छल्ले का द्रव्यमान m हो तो

[JEE (Main)2020, 09 January; 4/100, –1]

(1) $T=\sqrt{\frac{\pi m}{IB}}$ (2) $T=\sqrt{\frac{2m}{IB}}$ (3) $T=\sqrt{\frac{\pi m}{2IB}}$ (4) $T=\sqrt{\frac{2\pi m}{IB}}$

Answers

EXERCISE-1

भाग-I

खण्ड (A) :

A-1. $\frac{\sqrt{13}}{2} \times 10^{-4}$ wb/m^2

A-2. (i) 0, (ii) $10^{-13}\hat{k}$ (iii) $-10^{-13}\hat{j}$ (iv) $\frac{4}{27} \times 10^{-13}$ $(-2\hat{j} + \hat{k})$ (v) हाँ, नहीं (vi) हाँ, नहीं

A-3. (i) $\frac{\mu_0 qv}{4\pi R^2}$, अन्दर की ओर (ii) $\frac{\mu_0 qv}{4\pi(x^2+R^2)}$, नही

खण्ड (B) :

B-1. 1×10^{-4} wb/m^2, पढ़ने वाले की तरफ।

B-2. 4×10^{-5} wb/m^2

B-3. (i) $2\sqrt{3} \times 10^{-5}$ T (ii) 2×10^{-5} T

B-4. 0

B-5. $\frac{\mu_0 i}{4\pi d}$, $\sqrt{2}\frac{\mu_0 i}{4\pi d}$, $\frac{1}{\sqrt{2}}$

B-6. $\frac{\mu_0 i}{2\pi x}$

B-7. $\frac{2\sqrt{2}\mu_0 i}{\pi a}$

B-8. 0

खण्ड (C) :

C-1. (i) (a) $4\pi \times 10^{-4}$ T (b) शून्य

(ii) $2\sqrt{2}\,\pi \times 10^{-4}$ T

C-2. **(a)** $5\pi \times 10^{-5}\left(1 - \frac{8}{13\sqrt{13}}\right)$T **(b)** शून्य

खण्ड (D) :

D-1. $\frac{\mu_0 I}{4}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

D-2. $B = \frac{\mu_0 i}{4\pi R}\sqrt{2\left(2\pi^2 + 2\pi + 1\right)}$

D-3. (a) $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\left(\frac{2\pi - \varphi}{a} + \frac{\varphi}{b}\right)$;

(b) $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\left(\frac{3\pi}{2a} + \frac{\sqrt{2}}{b}\right)$ (c)

$B = (\pi - \varphi + \tan\varphi)\,\mu_0 I/2\pi R = 28\mu T$.

D-4. (a) $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}(-\pi\hat{i} - 2\hat{k})$

(b) $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4R}\left[-\hat{i}\left(1+\frac{1}{\pi}\right) - \frac{\hat{k}}{\pi}\right]$

(c) $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}\left(-\hat{j} - \hat{k}\right)$

खण्ड (E) :

E-1. $B = \frac{\mu_0 ni}{2}$

E-2. $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi b^2} r$

E-3. (a) शून्य (b) $\frac{2\mu_0 i}{5\pi r}$

E-4. 2500 turns/m

E-5. 1 V

E-6 (a) $\frac{K}{2n}$ (b) $\frac{\mu_0 K}{2}\sqrt{3}$, $\frac{\mu_0 K}{2}$

E-7. 0, , चित्र में μ_0 K दाहिनी ओर, 0

खण्ड (F) :

F-1. 12 cm

F-2. D – electron, B – α-particle

F-3. $M^{-3} L^{-2} T^{8} A^{4}$

F-4. **(a)** 4 A

(b) (i) धारा की दिशा कागज के तल के लम्बवत् अन्दर की ओर RQ पर R से 1 मीटर पर (Q से दूर)

(ii) धारा की दिशा कागज के तल के लम्बवत् बाहर की ओर RQ पर R से 1 मीटर दूर (R तथा Q के मध्य)

F-5. $(-75\hat{i} + 100\hat{j})$ m/s

F-6. 3.0

F 7. (a) $\frac{mv}{qB}$ (b) $\pi/2$ (c) $\frac{\pi m}{2qB}$ (d) $\frac{mv}{qB}, \frac{3\pi}{2}, \frac{3\pi m}{2qB}$

F 8. (a) $\pi/2$ (b) $\pi/4$ (c) π

F-9. 8 cm

F-10. 50 m/s

F-11. $\frac{\mu_0 qrni}{2m}$

खण्ड (G) :

G-1. 36 cm, $4\pi\sqrt{19}$ cm

G-2. $\frac{4}{\pi} \times 10^5$ m/s, 2×10^5 m/s

G-3. $15\pi \times 10^{-4}$ T

खण्ड (H) :

H-1. 16×10^6 m/s, $\frac{91}{20}$ cm

H-2. (a) $\frac{i}{\pi r^2 ne}$ (b) $\frac{iB}{\pi r^2 n}$ चित्र में ऊपर की ओर
(c) $\frac{iB}{\pi r^2 ne}$ (d) $\frac{2iB}{\pi rne}$

H-3. $\frac{5}{4} \times 10^5$ C/kg

H-4. 5×10^3 N/C. 5×10^{-2}T

H-5. $\sqrt{\frac{2qE_0x}{m}}$

खण्ड (I) :

I-1. क्षेत्र तथा तार दोनों के लम्बवत् 6×10^{-2} N है।

I-2. प्रत्येक तार पर 1×10^{-2} N, da व cb पर बांयी ओर तथा dc व ab नीचे की ओर।

I-3. 8×10^{-2} N **I-4.** $\sqrt{2}B_0 i\ell$

I-5. 5×10^{-4} टेसला, क्षैतिज तथा तार के लम्बवत

I-6. $i\lambda B/2$ **I-7.** $-iRB\,\hat{j}$, चित्र में ऊपर की ओर

I-8. 0.12

I-9. धारा प्रवाही तार विद्युत रूप से उदासीन है। अतः दोनों तारों में केवल चुम्बकीय आकर्षण बल लगेगा। परन्तु इलेक्ट्रॉन के दो समान्तर पुंजों में ऋणात्मक आवेश है। अतः इनमें विद्युत प्रतिकर्षण तथा चुम्बकीय आकर्षण भी होगा।
विद्युत प्रतिकर्षण चुम्बकीय आकर्षण से ज्यादा है। अतः पुंज एक दूसरे को प्रतिकर्षित करेंगे।

I-10. $iB_0 \ell$

I-11. 6×10^{-3} N/m, नीचे की ओर, शून्य

I-12. $\frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi} \ell n \frac{r_2}{r_1} = 40\, \ell n2\, \mu$ J/m

I-13. $\frac{\mu mg}{i\ell\sqrt{1+\mu^2}}$

खण्ड (J) :

J-1. $\pm 75\pi \times 10^{-3}$ J

J-2. (a) $2\pi aiB$, दिये गये चित्र के तल के लम्बवत् अन्दर की ओर (b) $\sqrt{2}\pi ai \cdot B_0$

J-3 $\frac{1}{2}$T

J-4 (a) $4\pi \times 10^{-2}$ N-m (b) 60º

J-5 (a) शून्य (b) भुजा के समान्तर 2×10^{-2} N-m

J-6. $\pi \times 10^{-2}$ N - m

J-7. (a) $\frac{iL^2B}{4\pi}$ (b) $\frac{BiL^2}{18}$

J-8. $\frac{1}{2}Q\omega R^2$

खण्ड (K) :

K-1. $I_V = 1112 \times 10^{-4}$ A, $I_H = 556\sqrt{3} \times 10^{-4}$ A.

K-2. $3\sqrt{31} \times 10^{-5}$ T, $\tan^{-1}\left(\frac{5\sqrt{3}}{7}\right)$, उत्तर से पूर्व की ओर।

K-3. (a) 1.0 A, (b) 2.0 V चुम्बकीय याम्योत्तर के लम्बवत् तथा ऊर्ध्वाधर तल में।

खण्ड (L) :

L-1. 7.5×10^{-4} N/A^2, 596 **L-2.** $\mu_r = 798.6$

भाग -II

खण्ड (A) :

A-1. (B) **A-2.** (A)

खण्ड (B) :

B-1. (A) **B-2.** (B) **B-3.** (C)
B-4. (C) **B-5.** (B) **B-6.** (C)

खण्ड (C) :

C-1. (A) **C-2.** (B) **C-3.** (D)
C-4. (D) **C-5.** (A) **C-6.** (B)
C-7. (B) **C-8.** (C) **C-9.** (D)

खण्ड (D) :

D-1. (B) **D-2.** (D) **D-3.** (C)
D-4. (B) **D-5.** (D) **D-6.** (A)

खण्ड (E) :

E- 1. (C)

खण्ड (F) :

F-1. (D) **F-2.** (B)

खण्ड (G) :

G-1. (C) **G-2.** (C) **G-3.** (B)
G-4. (B) **G-5.** (D) **G-6.** (C)
G-7. (C) **G-8.** (B) **G-9.** (A)

खण्ड (H) :

H-1. (B) **H-2.** (A) **H-3.** (B)

खण्ड (I) :

I-1. (C) **I-2.** (A)

खण्ड (J) :

J-1 (C) **J-2** (C) **J-3** (B)
J-4 (B) **J-5.** (C) **J-6** (C)
J-7 (A) **J-8** (A) **J-9** (B)
J-10 (B)

भाग -III

1. (A) p,q, r, t (B) p, q, r, s, t (C) r (D) p, q, r, s, t
2. (A) p, q, t (B) p, r (C) p (D) p, q, s
3. (A) r, (B) q,u (C) u, (D) t

EXERCISE-2

भाग -I

1.	(B)	**2.**	(A)	**3.**	(C)
4.	(C)	**5.**	(A)	**6.**	(C)
7.	(A)	**8.**	(B)	**9.**	(B)
10.	(A)	**11.**	(A)	**12.**	(B)
13.	(D)	**14.**	(B)	**15.**	(D)
16.	(A)	**17.**	(C)	**18.**	(B)
19.	(B)	**20.**	(B)		

भाग -II

1.	6	**2.**	N = 2	**3.**	1
4.	3	**5.**	16	**6.**	32
7.	10	**8.**	25	**9.**	2
10.	2	**11.**	5	**12.**	4
13.	2	**14.**	4		
15.	(a) 2		(b) 8	**16.**	4
17.	8	**18.**	(a) 3	(b) 4	
19.	(a) 7	(b) 15			
20.	(a) 20		(b) 2	**21.**	5

भाग -III

1.	(A,B,C)	**2.**	(C,D)	**3.**	(A,D)
4.	(B,C,D)	**5.**	(B,C)	**6.**	(A,B,D)
7.	(A,B,C)	**8.**	(B,D)	**9.**	(A,C)
10.	(C,D)	**11.**	(B,D)	**12.**	(C,D)
13.	(A,C,D)	**14.**	(B,D)	**15.**	(A,C)
16.	(B,C)	**17.**	(A,B)	**18.**	(A,D)

भाग -IV

1.	(B)	**2.**	(A)	**3.**	(A)
4.	(A)	**5.**	(C)	**6.**	(C)
7.	(A)	**8.**	(A)	**9.**	(D)
10.	(C)	**11.**	(B)	**12.**	(A)
13.	(D)				

EXERCISE-3

भाग -I

1.	(C)	**2.**	(B,D)	**3.**	(A)
4.	(C,D)	**5.**	5	**6.**	(B)
7.	(D)	**8.**	(A,C)	**9.**	(A,C)
10.	3	**11.**	(C)	**12.**	(B)
13.	(A,B,C)	**14.**	(A,D)	**15.**	(A,C)
16.	(C)	**17.**	(A)	**18.**	(A)
19.	(A)	**20.**	(C,D)	**21.**	(A,B,D)
22.	2.00				

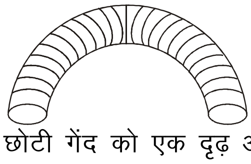
भाग -II

1.	(1)	**2.**	(1)	**3.**	(1)
4.	(3)	**5.**	(1)	**6.**	(2)
7.	(2)	**8.**	(4)	**9.**	(2)
10.	(3)	**11.**	(3)	**12.**	(3)
13.	(2)	**14.**	(4)	**15.**	(1)
16.	(2)	**17.**	(1)	**18.**	(3)
19.	(1)	**20.**	(1)	**21.**	(4)
22.	(3)	**23.**	(1)	**24.**	(1)
25.	(4)	**26.**	(1)	**27.**	(4)

High Level Problems (HLP)

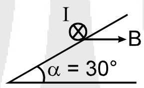
SUBJECTIVE QUESTIONS

1. अर्द्ध टोराइड पर कसकर लपेटे गये एक पतले तार, जिसमें धारा I = 0.8 A, प्रवाहित हो रही है, का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करो। टोराइड के परिच्छेद का व्यास d = 5.0 cm तथा चक्करों की संख्या N = 500 है।

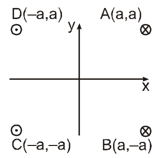


2. m द्रव्यमान व q आवेश द्वारा आवेशित एक छोटी गेंद को एक दृढ़ आधार से, L लम्बाई की एक न बढ़ सकने वाली डोरी द्वारा लटकाया जाता है। इसको ऊपर की ओर आरोपित समय निरपेक्ष एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में क्षैतिज वृत्ताकार मार्ग पर घुमाया जाता है। गेंद की कोणीय चाल ω है। यदि डोरी निरन्तर तनी रहती है तो गेद के वृत्ताकार मार्ग की त्रिज्या ज्ञात करो। गुरूत्वीय त्वरण को g के बराबर लें।

3. एक सीधे चालक का भार 1.0 N एवं लम्बाई 0.5 m है। यह एक खुरदरे नततल पर स्थित है, जो क्षैतिज से 30° का कोण बनाता है, तथा यह चालक समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B = 0.10 T के लम्बवत् है। कि चालक में 10 ऐम्पियर धारा तल के भीतर की ओर चित्रानुसार प्रवाहित हो रही है तथा चालक एवं तल के मध्य स्थैतिक घर्षण गुणांक 0.1 है। तल के समान्तर वह बल ज्ञात कीजिए जो चालक को स्थिर अवस्था में बनाये रखने के लिये आवश्यक है।



4. 4 लम्बे तार, प्रत्येक में धारा I प्रवाहित है, चित्रानुसार बिन्दुओं A, B, C तथा D पर स्थित है तो निम्न स्थितियों के लिए परिमाण व दिशा ज्ञात कीजिए
(a) वर्ग के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र के लिए
(b) D बिन्दु पर स्थित तार के एकांक मीटर पर बल।

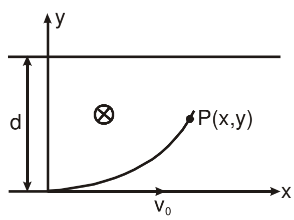


5. r = 0.1 m त्रिज्या की समरूप आवेशित वलय 10^4 rps की आवृत्ति से अपने अक्ष के सापेक्ष घूम रही है। अक्ष पर केन्द्र से 0.2 m दूर स्थित बिन्दु पर विद्युत ऊर्जा घनत्व और चुम्बकीय ऊर्जा घनत्व का अनुपात ज्ञात कीजिए । (प्रकाश की चाल $c = 3 \times 10^8$ m/s, $\pi^2 = 10$)

6. एक लम्बे, ठोस, बेलनाकार तार जिसकी त्रिज्या a = 12 mm, में केन्द्रीय अक्ष की दिशा में धारा घनत्व $\vec{J}$ है, और इसका परिमाण त्रिज्यीय दूरी r के अनुसार रेखीय रूप से $J = \frac{J_0 r}{a}$, की तरह परिवर्तित होता है। जहां $J_0 = \frac{10^5}{4\pi}$ A/m² है। चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण r = a/2 पर μT में ज्ञात कीजिये।

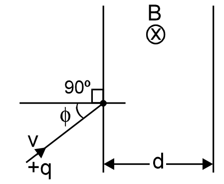
7. एक उदासीन कण समरूप चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में विराम पर है। t = 0 पर कण दो भागों में विभाजित हो जाता है। प्रत्येक का द्रव्यमान m व उनमें से एक का आवेश 'q' है। दोनों कण $\vec{B}$ के लम्बवत् तलों में भिन्न भिन्न पथों पर गति करते है। कुछ समय बाद दोनों कण टकराते है। अन्तः क्रिया बल नगण्य मानते हुए टक्कर का यह समय ज्ञात करो।

8. y = 0 से y = d के बीच के क्षेत्र में उपस्थित एक असमान चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = B_0\left(1+\frac{y}{d}\right)(-\hat{k})$ है। रेखाऐं चित्र में दर्शाए गई है। एक द्रव्यमान ' m ' तथा धनात्मक आवेश ' q ' का कण गति कर रहा है। दिया है कि प्रारम्भिक वेग $\vec{v} = v_0\hat{i}$ है। कण के वेग के घटक बताइए जब यह क्षेत्र को छोड़ता है

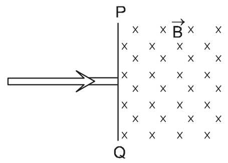


9. 100 परमाणु क्रमांक का उदासीन परमाणु जो मूल बिन्दु पर गुरुत्वहीन क्षेत्र में स्थिर अवस्था में स्थिति है z-दिशा में α-कण (A) उत्सर्जित करता है। उत्पाद आयन P है। x-दिशा में एक समान चुम्बकीय क्षेत्र विद्यमान है। A व P में विद्युत चुम्बकीय अन्तःक्रिया को नगण्य मानिए। यदि A व P के प्रथम बार मिलने के बाद A का घूर्णन कोण $\frac{n\pi}{25}$ रेडियन है, तो n का मान बताओ।

10. चित्रानुसार समरूप चुम्बकीय क्षेत्र 'B' में 'q' आवेश तथा 'm' द्रव्यमान वाला धनआवेशित कण प्रवेश कर रहा है। चुम्बकीय क्षेत्र अंदर की ओर है और यह केवल 'd' चौड़ाई में विद्यमान है। कण का प्रारम्भिक वेग चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् है तथा $\phi = 30^\circ$ है। यदि d = 0.2m, B = 1T, q = 1C, m = 1kg तथा v = 1 m/s हो तो ज्ञात करो कण चुम्बकीय क्षेत्र के अंदर कितनी देर रहा। यदि आवश्यक होतो sin 45° = 0.7 का उपयोग करें।



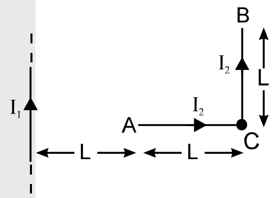
11. आवेशित कणों का एक पतला पुंज चित्र में दिखाये अनुसार एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में लम्बवत् आपतित होता है। पुंज में एकल गतिज ऊर्जा T के α तथा β^- कण है। यदि पुंज के कणों में आपसी प्रभाव नगण्य मानें, तो रेखा PQ पर जहाँ से α तथा β कण चुम्बकीय क्षेत्र से निर्गत होंगे, के बीच दूरी ज्ञात करें, (अपने उत्तर को T, B, α (2e, m_α) तथा β^- (–e, m_e) के पदों में प्रदर्शित करें, जबकि सभी पद सामान्य मतलब रखते है)



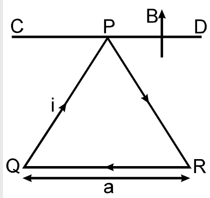
12. $\vec{v}_1 = 1\hat{i}$ m/s वेग से एक चुम्बकीय क्षेत्र में गति करता हुआ एक इलेक्ट्रॉन किसी बिन्दु पर $\vec{F}_1 = -e\hat{j}N$, बल अनुभव करता है। यहाँe एक इलेक्ट्रोन का आवेश है। यदि इलेक्ट्रोन उसी बिन्दु पर $\vec{v}_2 = \hat{i} - \hat{j}$ m/s वेग से गति करता है तो यह $\vec{F}_2 = -e(\hat{i} + \hat{j})N$ बल अनुभव करता है। चुम्बकीय क्षेत्र एवं इलेक्ट्रोन द्वारा अनुभव किये गये बल का मान ज्ञात किजियें यदि यह उसी बिन्दु पर वेग $\vec{v}_3 = \vec{v}_1 \times \vec{v}_2$ से गति करता है।

13. एक इलेक्ट्रॉन को परिनालिका के अन्दर एक सिरे से दागते हैं। जैसे ही यह परिनालिका के अन्दर एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में प्रवेश करता है, इसकी चाल 800 मी./से. है तथा इसका वेग सदिश, परिनालिका की केन्द्रीय अक्ष से 30° का कोण बनाता है। परिनालिका में 4.0 A की धारा प्रवाहित है तथा इसकी लम्बाई के अनुदिश 8000 फेरे हैं। परिनालिका के अन्दर इलेक्ट्रॉन द्वारा लगाये गये चक्करों की संख्या ज्ञात करो जब तक कि यह विपरीत सिरे से बाहर निकलता है। (इलेक्ट्रॉन के आवेश–द्रव्यमान की निष्पत्ति e/m = $\sqrt{3}$ x 10^{11} C/kg का प्रयोग करें) अपने उत्तर को 10^3 के गुणक के रूप में उत्तर–पुस्तिका में लिखें। (परिनालिका के सिरे प्रभाव को नगण्य मानते हुए)

14. चित्र में दिखाए अनुसार अनन्त लम्बाई के तार में I_1 धारा प्रवाहित हो रही है और दूसरे एक समान दृढ़ तार ACB (C पर लम्बवत रूप से मुड़े हुए) जिसका द्रव्यमान m है, में धारा I_2 प्रवाहित हो रही है। यह C पर कीलकित (hinged) हुआ है। इस तार ACB का त्वरण छोड़ने के क्षण के तुरन्त बाद ज्ञात कीजिये, क्या घूमने की दिशा कौनसी होगी (वामावृत या दक्षिणावृत) (गुरूत्वाकर्षण को अनुपस्थित मानें) [$\ell n2 = 0.7$ लें]

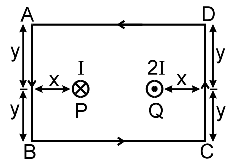


15. 'a' लम्बाई की तीन समरूप चालक छड़ों को मिलाकर एक लूप PQR बनाया जाता है तथा इसे (P) से लटकाया गया है। जिससे यह स्थिर क्षैतिज (घर्षण रहित) अक्ष CD के सापेक्ष घूर्णन कर सकता है। प्रारम्भ में लूप उर्ध्वाधर तल में है। एक नियत धारा 'i' लूप में प्रवाहित हो रही है। लूप का कुल द्रव्यमान 'm' हैं। उर्ध्वाधर ऊपर की ओर निर्देशित चुम्बकीय क्षेत्र 'B' को t = 0 पर चालू कर दिया जाता है। गुरूत्वीय त्वरण 'g' है, तो B का वह न्यूनतम मान ज्ञात करो जिससे लूप का तल इसकी गति के दौरान (एक क्षण के लिए) क्षैतिज हो जाये।

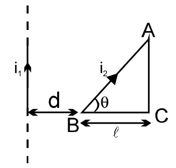


16. पृथ्वी के किसी उपग्रह को कोणीय वेग देने के लिये भू–चुम्बकीय क्षेत्र का उपयोग किया जा सकता है। उपग्रह के द्वारा इसकी स्वयं की अक्ष के प्रति प्राप्त किया गया अधिकतम सम्भाव्य कोणीय वेग ज्ञात कीजिये यदि Q = 5 एम्पियर–घंटा क्षमता की एक बैटरी को N = 20 घेरों वाली कुण्डली द्वारा अचानक निरावेशित किया जाता है। कुण्डली को उपग्रह के पृष्ठ के चारों ओर सबसे बड़े वृत्त की परिधी के अनुदिश लपेटा जाता है। उपग्रह का द्रव्यमान m = 10^3 किग्रा है तथा यह एक पतली दीवार का समरूप गोला है। भु–चुम्बकीय क्षेत्र कुण्डली के तल के समान्तर है तथा इसका फ्लक्स घनत्व B = 0.5 गाऊस है। (1 गाऊस = 10^{-4} टेसला)

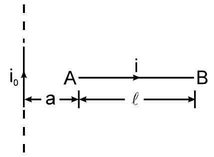
17. चित्रानुसार आयताकार लूप ABCD प्रदर्शित है। इसमें सममित रूप से रखे तार P तथा Q द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र B_P तथा B_Q है। तार P में प्रवाहित धारा I अन्दर की ओर प्रवाहित है तथा Q में धारा 2 I बाहर की ओर प्रवाहित है। यदि $\int_A^B \vec{B}_Q.\vec{d\ell} = 2\mu_0$ टैसला मीटर, $\int_D^A \vec{B}_P.\vec{d\ell} = -2\mu_0$ टैसला मीटर तथा $\int_A^B \vec{B}_P.\vec{d\ell} = -\mu_0$ टैसला मीटर है तो I का मान ज्ञात कीजिए।



18. चित्रानुसार लूप (ABC) में धारा i_2 तथा समान तल में रखे अनन्त तार में धारा i_1 प्रवाहित हो रही है। अनन्त तार व लूप ABC के बीच अन्योन्य चुम्बकीय बल ज्ञात करो।

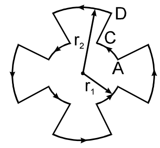


19. i धारावाही परिमिति चालक AB, एक बहुत लम्बे i_0 धारावाही स्थिर तार के समीप चित्रानुसार रखा है। तार AB पर कुल एम्पीयर बल का परिमाण तथा बल का क्रिया बिन्दु ज्ञात करो। यदि चालक AB को गति के लिए स्वतन्त्र कर दें तो क्या होगा। (गुरूत्वीय क्षेत्र नगण्य है)



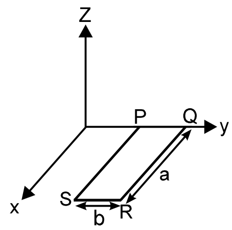
20. m द्रव्यमान व q आवेश का एक कण ऐसे क्षेत्र में गतिमान है, जिसमें एकसमान व नियत वैद्युत व चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{E}$ व $\vec{B}$ उपस्थित हैं। $\vec{E}$ तथा $\vec{B}$ परस्पर समान्तर है। समय t = 0 पर कण का वेग $\vec{v}_0$, $\vec{E}$ के लम्बवत् है। (मान लो इसकी चाल हमेशा << c, जहाँ c, निर्वात् में प्रकाश का वेग है।) समय t पर कण का वेग $\vec{v}$ ज्ञात करो। अपना उत्तर t, q, m तथा सदिश $\vec{E}$ व $\vec{B}$ तथा इनके परिमाण v_0,E व B के पदों में व्यक्त करो।

21. 10 ऐम्पियर की धारा, क्षैतिज तल में स्थित बन्द परिपथ में बहती है। परिपथ में आठ एकान्तर चाप है जिनकी त्रिज्याये r_1 = 0.08 मीटर तथा r_2 = 0.12 मीटर है। प्रत्येक चाप केन्द्र पर समान कोण अंतरित करती है।



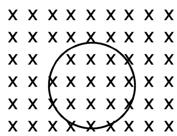
(i) परिपथ द्वारा केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात कीजिये।
(ii) एक अनन्त लम्बाई के ऋजुरेखीय तार में 10 A धारा प्रवाहित है यह उपरोक्त परिपथ के केन्द्र से गुजर रहा है इस तार में धारा की दिशा परिपथ के तल के लम्बवत् अन्दर की ओर है परिपथ की धारा के कारण, केन्द्र से गुजरने वाले तार पर लगने वाला बल क्या है ? चाप AC व (सीधे) रेखीय भाग CD पर केन्द्रीय तार में धारा के कारण बल कितना है ?

22. PQRS आयताकार लूप एक समरूपी तार से बना है जिसकी लम्बाई a चौड़ाई b तथा द्रव्यमान m है। यह भुजा PQ के सापेक्ष घूमने के लिये स्वतन्त्र है यह PQ पर चित्र में दिखाये अनुसार एक क्षेतिज रेखा के अनुदिश लटका है। क्षेतिज रेखा को y-अक्ष माना गया है। z-अक्ष ऊर्ध्व ऊपर की ओर है। एक समरूपी चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B} = (3\hat{i} + 4\hat{k})\,B_0$ इस क्षेत्र में उपस्थित है। लूप x – y तल में है तथा इसमें I धारा प्रवाहित की जाती है जब लूप को छोड़ा जाता है तो पाया गया कि लूप क्षैतिज स्थिति में सन्तुलन में हैं।



(a) PQ में धारा की दिशा होगी। (b) भुजा RS पर चुम्बकीय बल होगा।
(c) B_0, a, b तथा m के पदों में धारा I का व्यंजक होगा।

23. m द्रव्यमान व r त्रिज्या की वलय इसके तल के लम्बवत् एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B मे कोणीय वेग ω_0 से घूर्णन कर रही है। वलय पर कुल एम्पियर बल तथा उत्पन्न तनाव ज्ञात करो, यदि वलय में प्रवाहित धारा 'i' है। धारा तथा घूर्णन दोनों दक्षिणावर्त दिशा में है।



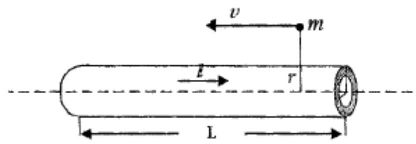
24. 'm' द्रव्यमान तथा 'q' आवेश के धनआवेशित कण को मूल बिन्दु से छोड़ा जाता है। यहाँ समरूप चुम्बकीय क्षेत्र तथा विद्युत क्षेत्र क्रमशः $\vec{E} = E_0\hat{j}$ तथा $\vec{B} = B_0\hat{k}$, विद्यमान है। जहाँ E_0 तथा B_0 नियतांक है तो किसी समय 't' पर कण का 'y' निर्देशांक ज्ञात करो?

25. a भुजा के एक वर्गाकार लूप में i धारा प्रवाहित है। लूप की अक्ष पर इसके केन्द्र से $x = \frac{a}{\sqrt{2}}$ दूरी पर एक बिन्दु पर चुम्बकीय प्रेरण $\frac{N\mu_0 i}{3\pi a}$ द्वारा दिया जाता है, तो N का मान ज्ञात कीजिए।

26. एक धनात्मक बिन्दू आवेश q का द्रव्यमान m है, जो जड़वत् बहुत लम्बे सिधे धारावाही तार से समान तल में x_0 दूरी पर रखा है, इसे तार के लम्बवत् चाल v से प्रक्षेपित किया जाता है। कण व तार के मध्य अधिकतम दूरी ज्ञात कीजिए।

27. r त्रिज्या के एक ठोस गोले का द्रव्यमान m है तथा इस पर q आवेश इसके आयतन में एक समान रूप से वितरित है। गोले को इसके व्यास के परितः कोणीय चाल ω से घुमाया जाता है। गोले का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात करिए।

28. आंतरिक त्रिज्या a एवं बाह्य त्रिज्या b का एक लम्बा अचुम्बकीय बेलनाकार चालक में एक धारा I प्रवाहित है। चालक में धारा घनत्व समरूप है। मानिए कि सिरा प्रभाव नगण्य हो सकते हैं। **[Olympiad 2013; Stage-2]**



(a) बायो सावर्ट नियम द्वारा सिद्ध कीजिये कि चुम्बकीय क्षेत्र यदि कोई है तो किसी बिन्दु पर हमेशा उस बिन्दु से गुजरने वाले वृत्त की स्पर्श रेखा के अनुदिश है, इस वृत्त का केन्द्र बेलन की अक्ष पर स्थित है।

(b) धारा के कारण चुम्बकीय क्षेत्र त्रिज्या के फलन में ज्ञात कीजिये।

(i) खोखले क्षेत्र के अन्दर $(r < a)$

(ii) चालक के अन्दर $(a < r < b)$

(iii) चालक के बाहर $(r > b)$

(c) एक कणों का पुन्ज, प्रत्येक का धनात्मक आवेश q एवं द्रव्यमान m है जो धारा की दिशा के प्रतिसमान्तर प्रारम्भिक वेग v से गतिशील है। मानिए कि बेलन की लम्बाई L है। जब कण एक सिरे से दूसरे सिरे तक जाते तो कणों का विक्षेप अक्ष से इसकी प्रारम्भिक दूरी r के फलन के रूप में ज्ञात कीजिये, यदि $r > b$ है। आप मान सकते हैं कि वेग पर्याप्त रूप से इस प्रकार से अत्यधिक है कि वेग नियत तथा विक्षेप छोटा है।

HLP Answers

1. $\frac{1}{2}$ A.m^2 **2.** $r = \left[L^2 - \left\{\frac{mg}{m\omega^2 \pm q\omega B}\right\}^2\right]^{1/2}$ **3.** $\frac{3}{4}\left(1-\frac{\sqrt{3}}{10}\right)$ N to से $\frac{3}{4}\left(1+\frac{\sqrt{3}}{10}\right)$ N

4. (a) $\frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{4I}{a}\right)$ Y-अक्ष के अनुदिश (b) $\frac{\mu_0 I^2(-\hat{j}-3\hat{i})}{8\pi a}$ **5.** 9×10^9 J

6. 10 **7.** $\frac{\pi m}{qB}$ **8.** $V_x = V_0 - \frac{3qB_0 d}{2m}$ and $V_y = \sqrt{V_0^2 - \left(V_0 - \frac{3q\ B_0}{2m}d\right)^2}$

9. 48 **10.** $\frac{\pi}{12}$ sec. **11.** $\frac{2\sqrt{2T}}{eB}\left\{\frac{\sqrt{m_\alpha}}{2} + \sqrt{m_e}\right\}$

12. $\vec{B} = -\hat{k}, \vec{F} = 0$ **13.** 1600 **14.** $\frac{9\mu_0 I_1 I_2}{40\pi mL}$ ↻ a.c.w. **15.** $\frac{4mg}{3ia}$

16. $\omega = \frac{3}{2}\frac{BN\pi Q}{M} = 2.7\ \pi \times 10^{-2}$ rad/s. **17.** 6A

18. $\frac{\mu_0 i_1 i_2 \tan\theta}{2\pi}\left[\ell n\frac{d+\ell}{d} - \frac{\ell}{d+\ell}\right]$ towards left.

19. $F = \frac{\mu_0}{2\pi}(i_0\, i)\,\ell n\left(1+\frac{\ell}{a}\right)$. i_0 की दिशा में, $x = \frac{\ell}{\ell n\left(1+\frac{\ell}{a}\right)}$ यहाँ x तार i_0 से लम्बवत दूरी पर है। यह i_0 के प्रति समान्तर होने की कोशिश करता है। यह ऊपर की ओर गति करेगा तथा वामावर्त दिशा में घूर्णन करेगा।

20. $\vec{v}_{(t)} = \cos\omega t\, \vec{v}_0 + \frac{(\sin\omega t)(\vec{V}_0 \times \vec{B}_0)}{B} + \frac{qt}{m}\vec{E}$ जहाँ $\omega = qB/m$

21. (i) $B_C = \frac{5\ \pi \times 10^{-4}}{24}$ T (ii) केन्द्रीय तार पर = 0 ; $F_{AC} = 0$; $F_{CD} = 2 \times 10^{-5} \ln\left(\frac{3}{2}\right)$

22. (a) P से Q तक (b) $IbB_0(3\hat{k} - 4\hat{i})$ (c) $\frac{mg}{6bB_0}$

23. $0, \frac{r}{2\pi}(m\omega_0^2 + 2\pi iB)$ **24.** $y = \frac{E_0 m}{qB_0^2}\left[1 - \cos\frac{q\,B_0}{m}t\right]$ **25.** N = 2

27. $\frac{1}{5}q\omega R^2$