Moving Charges and Magnetism (गतिमान आवेश और चुम्बकत्व)

परीक्षोपयोगी प्रश्नोत्तर

बहुविकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 1.

गतिशील आवेश उत्पन्न करता है- **(2013)**

(i) केवल वैद्युत क्षेत्र

(ii) केवल चुम्बकीय क्षेत्र

(iii) वैद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र दोनों

(iv) वैद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र में से कोई नहीं

उत्तर-

(iii) वैद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्र दोनों

प्रश्न 2.

एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न किया जा सकता है- **(2015)**

(i) केवल गतिमान आवेश द्वारा

(ii) केवल बदलते वैद्युत क्षेत्र द्वारा

(iii) (i) तथा (ii) दोनों के द्वारा

(iv) इनमें से किसी के द्वारा नहीं

उत्तर-

(iii) (i) तथा (ii) दोनों के द्वारा

प्रश्न 3.

चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का मात्रक होता है- **(2011)**

या

चुम्बकीय क्षेत्र का मात्रक होता है- **(2015, 16)**

(i) वेबर x मीटर^2

(ii) वेबर/मीटर^2

(iii) वेबर

(iv) वेबर/मीटर

उत्तर-

(i) वेबर/मीटर^2

प्रश्न 4.

$(\mu_0 \varepsilon_0)^{\frac{-1}{2}}$ का मान है- **(2011, 14, 16, 18)**

(i) 3 x 10^8 सेमी/सेकण्ड

(ii) 3 x 10^{10} सेमी/सेकण्ड

(iii) 3 x 10^9 सेमी/सेकण्ड

(iv) 3 x 10^8 किमी/सेकण्ड

उत्तर-

(ii) 3 x 10^{10} सेमी/सेकण्ड

प्रश्न 5.

एक इलेक्ट्रॉन तथा एक प्रोटॉन जिनकी गतिज ऊर्जाएँ समान हैं, एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् प्रक्षेपित किए जाते हैं। पथ की त्रिज्या होगी- **(2013)**

(i) प्रोटॉन के लिए अधिक

(ii) इलेक्ट्रॉन के लिए अधिक

(iii) दोनों के पथ समान वक्रीय होंगे।

(iv) दोनों पथ सरल रेखीय होंगे

उत्तर-

(i) प्रोटॉन के लिए अधिक ($\because$ त्रिज्या $\propto$ द्रव्यमान)

प्रश्न 6.

एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B में बल रेखाओं के समान्तर एक इलेक्ट्रॉन जिसका आवेश e है, वेग v से चलता है। इलेक्ट्रॉन पर लगने वाला बल है- **(2011, 14)**

(i) evB

(ii) शून्य

(iii) $\frac{ev}{B}$

(iv) $\frac{Bv}{e}$

उत्तर-

(ii) शून्य

प्रश्न 7.

m द्रव्यमान का कण जिस पर आवेश q है एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B के लम्बवत् वेग v से प्रविष्ट होता है। इसके पथ की त्रिज्या होगी- **(2014)**

(i) $\frac{m}{qB}$

(ii) $\frac{m}{qvB}$

(iii) $\frac{2m}{qB}$

(iv) $\frac{mv}{qB}$

उत्तर-

(iv) $\frac{mv}{qB}$

प्रश्न 8.

एक प्रोटॉन व एक α-कण समान वेग से एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में लम्बवत् प्रवेश करते हैं। यदि उनके परिक्रमण काल क्रमशः T_1 व T_2 हों तब **(2012)**

(i) $\frac{T_1}{T_2} = 1$

(ii) $\frac{T_1}{T_2} = 2$

(iii) $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$

(iv) $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{4}$

उत्तर—(iii) $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$

प्रश्न 9.

किसी समान चुम्बकीय क्षेत्र में एक इलेक्ट्रॉन क्षेत्र के लम्बवत दिशा में प्रवेश करता है। इलेक्ट्रॉन का पथ होगा **(2013, 15, 17)**

(i) परवलयाकार

(ii) दीर्घवृत्ताकार

(iii) वृत्ताकार

(iv) सरल रैखिक

उत्तर-

(iii) वृत्ताकार

प्रश्न 10.

यदि आवेशित कण का वेग दोगुना तथा चुम्बकीय क्षेत्र का मान आधा कर दिया जाए, तो आवेश के मार्ग (पथ की त्रिज्या हो जाएगी) **(2014)**

(i) 8 गुनी

(ii) 4 गुनी

(iii) 3 गुनी

(iv) 2 गुनी

उत्तर-

(ii) 4 गुनी

प्रश्न 11.

एक हीलियम नाभिक 0.8 मीटर त्रिज्या के वृत्त में प्रति सेकण्ड एक चक्कर लगाता है। वृत्त के केन्द्र पर उत्पन्न चुकीय क्षेत्र होगा **(2015)**

(i) $\mu_0 \times 10^{-19}$

(ii) $\mu_0 \times 10^{19}$

(iii) $2 \times 10^{-19}\ \mu_0$

(iv) $\frac{2 \times 10^{-19}}{\mu_0}$

उत्तर—(iii) $2 \times 10^{-19}\ \mu_0$

प्रश्न 12.

एक वृत्ताकार छल्ले का क्षेत्रफल 1.0 सेमी है तथा इसमें 10.0 ऐम्पियर धारा प्रवाहित हो रही है। 0.1 टेस्ला तीव्रता का चुम्बकीय क्षेत्र छल्ले के तल के लम्बवत लगाया जाता है। चुम्बकीय क्षेत्र के कारण छल्ले पर लगने वाला बल-आघूर्ण होगा **(2015)**

(i) शून्य

(ii) 10^{-4} न्यूटन-मी

(iii) 10^{-2} न्यूटन-मी

(iv) 1.0 न्यूटन-मी

उत्तर-

(iv) 1.0 न्यूटन-मी

प्रश्न 13. चुम्बकीय क्षेत्र ($\vec{B}$) में वेग ($\vec{v}$) से गतिमान आवेश q के एक कण पर लगने वाला बल ($\vec{F}$) है— **(2017)**

(i) $\frac{q}{\vec{v} \times \vec{B}}$ (ii) $\frac{\vec{v} \times \vec{B}}{q}$ (iii) $q(\vec{v} \times \vec{B})$ (iv) $\vec{v} \times \vec{q} \times \vec{B}$

उत्तर—(iii) $q(\vec{v} \times \vec{B})$

प्रश्न 14.

एक वृत्ताकार लूप का पृष्ठ क्षेत्रफल A तथा इसमें प्रवाहित धारा I है। चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता B लूप के तल के लम्बवत है। चुम्बकीय क्षेत्र के कारण लूप में लगने वाला बल आघूर्ण **(2017)**

(i) BIA

(ii) 2BIA

(iii) σ BIA

(iv) शून्य

उत्तर-

(i) BIA

अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1.

लॉरेन्ज बल क्या है? **(2009, 18)**

या

एक इलेक्ट्रॉन (आवेश e) + X अक्ष की दिशा में v चाल से, समरूप चुम्बकीय क्षेत्र B जो Y अक्ष की दिशा में है, प्रवेश करता है। इलेक्ट्रॉन पर कार्य करने वाले बल का सूत्र एवं दिशा ज्ञात कीजिए। **(2015)**

उत्तर-

चुम्बकीय क्षेत्र में गतिमान आवेश (इलेक्ट्रॉन) पर लगने वाले चुम्बकीय बल को लॉरेन्ज बल कहते हैं। यदि q आवेश v वेग से चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ की दिशा से θ कोण पर गति करे, तो उस पर कार्य करने वाला लॉरेन्ज बल F = qvB sin θ। बल की दिशा $\vec{v}$ तथा $\vec{B}$ दोनों के लम्बवत् होती है।

प्रश्न 2.

q आवेश वाला कोई कण वेग v से एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B के समान्तर दिशा में गति कर रहा है। इस कण पर लगने वाले बल का मान कितना होगा? **(2016)**

उत्तर-

F = qvB sin θ = qvB sin 0° = 0 अर्थात् शून्य।

प्रश्न 3.

q आवेश का एक आवेशित कण, $\vec{v}$ वेग से चलता हुआ एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B में, क्षेत्र की दिशा से 30° का कोण बनाता हुआ प्रवेश करता है। आवेश पर लगने वाले बल का परिमाण क्या होगा? **(2015)**

उत्तर-

F = qvB sin θ = qvB sin 30°

F = $\frac{qvB}{2}$ [$\because$ sin 30° = $\frac{1}{2}$]

प्रश्न 4.

एक इलेक्ट्रॉन 0.1 न्यूटन/ऐम्पियर-मीटर के एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में लम्बवत् 10^5 मीटर/सेकण्ड की चाल से प्रवेश करता है। इलेक्ट्रॉन पर लॉरेन्ज बल का मान ज्ञात कीजिए। **(2017)**

हल-

दिया है, B = 0.1 न्यूटन/ऐम्पियर-मीटर, v = 10^5 मी/सेकण्ड

लॉरेन्ज बल (F) = qvB = $1.6 \times 10^{-19} \times 10^5 \times 0.1 = 1.6 \times 10^{-15}$ न्यूटन

प्रश्न 5.

एक सीधे लम्बे तार से 2.0 सेमी दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता 10^{-6} टेस्ला है। तार में वैद्युत धारा ज्ञात कीजिए। **(2015)**

हल—दिया है, $r = 2.0$ सेमी $= 2 \times 10^{-2}$ मीटर, $B = 10^{-6}$ टेस्ला

$\therefore$ वैद्युत धारा $i = \frac{2\pi}{\mu_0} B.r$

$$= \frac{1}{2 \times 10^{-7}} \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-2} = 10^{-1}$$

$= 0.1$ ऐम्पियर

प्रश्न 6.

साइक्लोट्रॉन किस सिद्धान्त पर कार्य करता है? **(2015)**

उत्तर-

साइक्लोट्रॉन के कार्य करने का सिद्धान्त यह है कि डीज के बीच लगने वाले प्रत्यावर्ती विभवान्तर की रेडियो आवृत्ति, डीज के भीतर आवेशित कण के परिक्रमण की आवृत्ति के बराबर होनी चाहिए।

प्रश्न 7.

$\mu_0\varepsilon_0$ का मान ज्ञात कीजिए। संकेतों के सामान्य अर्थ हैं। **(2017, 18)**

हल-

$$\frac{1}{9 \times 10^{16}} \left(\frac{\text{कूलॉम}}{\text{ऐम्पियर} \times \text{मीटर}}\right)^2$$

प्रश्न 8.

$\mu_0\varepsilon_0$ का विमीय सूत्र लिखिए। **(2017)**

उत्तर-

$[L^{-2}T^{2}]$

प्रश्न 9.

दिखाइए कि निर्वात में प्रकाश की चात $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ होती है। **(2015)**

हल— हम जानते हैं कि, $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ न्यूटन/ऐम्पियर^2 ...(1)

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0 \times 10^9 \text{ न्यूटन-मीटर}^2/\text{कूलॉम}^2 \quad ...(2)$$

समी० (1) को समी० (2) से भाग करने पर,

$$\mu_0\varepsilon_0 = \frac{10^{-7}}{9 \times 10^9} = \frac{1}{9 \times 10^{16}}\left(\frac{\text{कूलॉम}}{\text{ऐम्पियर-मीटर}}\right)^2$$

$$\therefore \quad \mu_0\varepsilon_0 = \frac{1}{c^2} \quad \left[\because c = 3 \times 10^8 \ \frac{\text{मीटर}}{\text{सेकण्ड}}\right]$$

$$\therefore \quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$$

प्रश्न 10.

किसी 20 सेमी त्रिज्या के वृत्ताकार लूप में 4 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। लूप के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र की गणना कीजिए। **(2012, 13)**

हल-

वृत्ताकार धारावाही लूप के केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{2\pi i}{r}\right)$$

$$= 10^{-7}\left(\frac{2 \times 3.14 \times 4}{0.2}\right) \text{ न्यूटन/ऐम्पियर-मीटर}$$

$$= 1.26 \times 10^{-5} \text{ न्यूटन/ऐम्पियर-मीटर}$$

प्रश्न 11.

2.0 मिमी व्यास के ताँबे के तार में 10 ऐम्पियर की धारा है। इस धारा के कारण अधिकतम चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का परिमाप ज्ञात कीजिए। **(2017)**

हल— दिया है, $r = 1 \times 10^{-3}$ मी, $i = 10$ ऐम्पियर

सूत्र, $$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{i}{r}\right) = \frac{10^{-7} \times 10}{1 \times 10^{-3}}$$

$$= 10^{-3} = 0.001 \text{ न्यूटन/ऐम्पियर-मीटर}$$

प्रश्न 12.

ऐम्पियर का परिपथीय नियम लिखिए। **(2014, 15, 17, 18)**

उत्तर-

"किसी बन्द वक्र के परित: चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का रेखा-समाकलन (line-integral) उस बन्द वक्र द्वारा घिरे क्षेत्रफल में से गुजरने वाली कुल वैद्युत धारा का μ0 गुना होता है, जहाँ μ0 निर्वात् की निरपेक्ष चुम्बकशीलता है।" अर्थात्

$$\oint_C \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 \cdot I$$

जिसमें I पथ द्वारा घिरी नेट धारा है तथा C बन्द पथ की सीमा है।

प्रश्न 13.

एक ऐम्पियर की परिभाषा दीजिए।

उत्तर-

"1 ऐम्पियर वह वैद्युत धारा है जो कि निर्वात् अथवा वायु में 1 मीटर दूर रखे दो समान्तर तारों में प्रवाहित होने पर उसकी प्रति मीटर लम्बाई पर 2 x 10-7 न्यूटन का बल आरोपित करती है।"

प्रश्न 14.

लम्बी धारावाही परिनालिका के भीतरी अक्ष पर स्थित बिन्दु पर चुम्बकीय बल क्षेत्र का सूत्र लिखिए। **(2011, 12)**

उत्तर— $B = \frac{\mu_0 Ni}{l} = \mu_0 ni$ न्यूटन/ऐम्पियर-मीटर

जहाँ $n = N/l$ परिनालिका की प्रति मीटर लम्बाई में फेरे हैं।

प्रश्न 15.

किसी धारा लूप का क्षेत्रफल 0.25 मी2 है तथा उसमें प्रवाहित धारा 0.5 ऐम्पियर है। इस लूप का चुम्बकीय आघूर्ण क्या होगा? **(2017)**

हल-

दिया है, A = 0.25 मीटर2, I = 0.5 ऐम्पियर

चुम्बकीय आघूर्ण (M) = IA = 0.5 x 0.25 = 0.125 ऐम्पियर-मी

प्रश्न 16.

एक ऋजु रेखीय चालक में धारा से उत्पन्न चुम्बकीय बल रेखाओं की प्रकृति क्या होगी? **(2009)**

उत्तर-

वृत्ताकार।

प्रश्न 17.

दो समान्तर धारावाही ऋजुरेखीय तारों के बीच लगने वाले बल का सूत्र लिखिए। **(2016)**

उत्तर— $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i_1 \, i_2}{r}$ या $\frac{F}{L} = 2 \times 10^{-7}\left(\frac{i_1 \, i_2}{r}\right)$ न्यूटन/मीटर

प्रश्न 18.

किसी धारावाही अल्पांश dl से r दूरी पर चुम्बकीय क्षेत्र के लिए बायो-सेवर्ट नियम को सदिश रूप में लिखिए। **(2017)**

उत्तर— $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I(d\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$

प्रश्न 19.

चल-कुण्डल धारामापी की सुग्राहिता से क्या तात्पर्य है? **(2014)**

उत्तर-

यदि किसी धारामापी में थोड़ी-सी धारा प्रवाहित करने से ही पर्याप्त विक्षेप आ जाए तो धारामापी को सुग्राही कहते हैं। कुण्डली में एकांक धारा प्रवाहित करने पर उसमें उत्पन्न विक्षेप को धारामापी की सुग्राहिता कहते हैं।

प्रश्न 20.

एक धारामापी को वोल्टमीटर में कैसे बदलते हैं? **(2014)**

उत्तर-

श्रेणीक्रम में उच्च प्रतिरोध जोड़ने पर धारामापी वोल्टमीटर में परिवर्तित हो जाता है।

प्रश्न 21.

किसी चल कुण्डली धारामापी का ऐमीटर और वोल्टमीटर में कैसे रूपान्तरण किया जाता **(2015)**

उत्तर-

1. धारामापी की कुण्डली के समान्तर में लघु प्रतिरोध (शन्ट) लगा देते हैं, जिसका मान ऐमीटर की परास पर निर्भर करता है। इस प्रकार चल कुण्डली धारामापी का ऐमीटर में रूपान्तरण हो जाता है।
2. श्रेणीक्रम में उच्च प्रतिरोध जोड़ने पर धारामापी वोल्टमीटर में परिवर्तित हो जाता है।

प्रश्न 22.

99 ओम प्रतिरोध के चल कुण्डली धारामापी में मुख्य धारा का 10% भेजने के लिए आवश्यक शन्ट के प्रतिरोध का मान ज्ञात कीजिए। **(2016)**

हल— दिया है, धारामापी का प्रतिरोध $G = 99\,\Omega$

माना मुख्य धारा $I =$ 100 ऐम्पियर

विक्षेप के लिए आवश्यक धारा $I_g = 10$ ऐम्पियर

$\therefore$ आवश्यक शन्ट का प्रतिरोध $S = \dfrac{GI_g}{I - I_g}$

$$= \frac{99 \times 10}{100 - 10} = \frac{99 \times 10}{90} = 11\ \Omega$$

प्रश्न 23.

चुम्बकीय आघूर्ण की परिभाषा दीजिए। **(2017, 18)**

हल-

किसी चुम्बकीय द्विध्रुव का चुम्बकीय आघूर्ण वह बल आघूर्ण है जो इस द्विध्रुव को एकांक व एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् रखने पर द्विध्रुव पर लगता है।

प्रश्न 24.

चुम्बकीय बल रेखाओं एवं वैद्युत बल रेखाओं में अन्तर लिखिए। **(2017)**

हल-

1. चुम्बकीय बल रेखाएँ बन्द वक्र में होती हैं जबकि वैद्युत बल रेखाएँ बन्द वक्र में नहीं होती हैं। इसका मुख्य कारण चुम्बकीय ध्रुव का विलगित नहीं होना है जबकि धनावेश एवं ऋणावेश विलगित अवस्था में प्राप्त किए जा सकते हैं।
2. चुम्बकीय बल रेखाओं का किसी चुम्बकीय पदार्थ से किसी भी कोण पर निर्गमन अथवा आगमन सम्भव होता है। जबकि वैद्युत बल रेखाओं को किसी चालक पदार्थ से लम्बवत् निर्गमन अथवा आगमन होता है।

लघु उत्तरीय प्रश्न

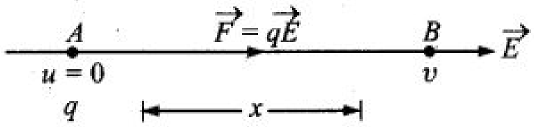
प्रश्न 1.

m द्रव्यमान का इलेक्ट्रॉन (आवेश q), एकसमान वैद्युत क्षेत्र E में विरामावस्था से त्वरित होता है।

सिद्ध कीजिए कि x-दूरी तय करने में इलेक्ट्रॉन द्वारा अर्जित वेग $\sqrt{\frac{2qEx}{m}}$ होगा। **(2013)**

उत्तर-

माना द्रव्यमान m तथा धन आवेश q का एक कण एकसमान वैद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ में बिन्दु A पर विराम अवस्था में स्थित है (चित्र 4.8)। वैद्युत क्षेत्र द्वारा आवेशित कण पर आरोपित बल,



चित्र 4.8

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad ...(1)$$

अत: कण का त्वरण
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q}{m}\vec{E} \quad ...(2)$$

यदि कण गति करने के लिए स्वतन्त्र है तो यह कण वैद्युत बल (अर्थात् वैद्युत क्षेत्र) की दिशा में सरल रेखीय पथ पर गमन करेगा।

यदि वैद्युत क्षेत्र की दिशा में x दूरी चलकर बिन्दु B पर, कण का वेग v हो, तो

$$v^2 = 0^2 + 2\left(\frac{qE}{m}\right)x \quad (\because u = 0)$$

$$\therefore \quad v = \sqrt{\frac{2qEx}{m}}$$

प्रश्न 2.

समान गतिज ऊर्जा वाले दो आवेशित कण समरूप चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत प्रवेश करते हैं। यदि उनके द्रव्यमानों का अनुपात 4 : 1 तथा आवेशों का अनुपात 2 : 1 हो तो उनके वृत्तीय पथों की त्रिज्याएँ किस अनुपात में होंगी? **(2014)**

हल-

यहाँ दोनों कणों की गतिज ऊर्जाएँ समान हैं अर्थात् $K_1 = K_2 = K$ तथा चुम्बकीय क्षेत्र भी समान हैं।

माना पहले कण का द्रव्यमान व आवेश क्रमशः m_1 तथा q_1 एवं द्वितीय कण का द्रव्यमान व आवेश क्रमश: m_2 तथा q_2 हैं।

तब पहले कण की त्रिज्या $r_1 = \dfrac{\sqrt{2m_1K}}{q_1B}$ ...(1)

दूसरे कण की त्रिज्या $r_2 = \dfrac{\sqrt{2m_2K}}{q_2B}$ ...(2)

समी० (1) को समी० (2) से भाग करने पर,

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{q_2}{q_1}\sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \qquad \left[\because \frac{q_1}{q_2} = \frac{2}{1} \text{ तथा } \frac{m_1}{m_2} = \frac{4}{1}\right]$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4}{1}} = \frac{2}{2} = 1$$

अत: $r_1 : r_2 = \mathbf{1 : 1}$

प्रश्न 3.

एक इलेक्ट्रॉन-धारा में इलेक्ट्रॉन का वेग 2.0×10^7 मीटर/सेकण्ड है। इलेक्ट्रॉन 1.6×10^3 वोल्ट/मीटर के स्थिर वैद्युत क्षेत्र के लम्बवत दिशा में 10 सेमी चलने में 3.4 मिमी विक्षेपित हो जाता है। इलेक्ट्रॉन के विशिष्ट आवेश की गणना कीजिए। **(2013)**

हल-

यदि कोई इलेक्ट्रॉन E तीव्रता के वैद्युत क्षेत्र में v वेग से लम्बवत् प्रवेश करके इस क्षेत्र में x दूरी तय करने पर y दूरी ऊर्ध्वाधरतः विक्षेपित हो जाए, तो

$$y = \frac{1}{2}\left(\frac{eE}{mv^2}\right)x^2$$

अत: विशिष्ट आवेश $\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{2yx^3}{Ex^2}$

यहाँ $v = 2.0 \times 10^7$ मी/से,

$$E = 1.6 \times 10^3 \text{ वोल्ट/मीटर}$$

$$y = 3.4 \times 10^{-3} \text{ मीटर}, x = 10 \text{ सेमी} = 10 \times 10^{-2} \text{ मी} = 10^{-1} \text{ मी}$$

$$\therefore \text{ विशिष्ट आवेश } \left(\frac{e}{m}\right) = \left[\frac{2 \times (3.4 \times 10^{-3}) \times (2.0 \times 10^7)^2}{1.6 \times 10^3 \times (10^{-1})^2}\right] \text{ कूलॉम/किग्रा}$$

$$= 1.7 \times 10^{11} \text{ कूलॉम/किग्रा}$$

प्रश्न 4.

एक प्रोटॉन, एक ड्यूट्रॉन तथा एक α-कण समान विभवान्तर से त्वरित होकर एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् प्रवेश करते हैं।

(i) इनकी गतिज ऊर्जाओं की तुलना कीजिए।

(ii) यदि प्रोटॉन के वृत्ताकार मार्ग की त्रिज्या 10 सेमी हो, तो ड्यूट्रॉन तथा a कण के मार्गों की त्रिज्याएँ क्या होंगी?**(2017)**

हल-

(i) V वोल्ट विभवान्तर से त्वरित q कूलॉम आवेश की गतिज ऊर्जा

K = qV जूल।

प्रोटॉन की गतिज ऊर्जा K_p = eV ($\because$ आवेश q = e)

ड्यूट्रॉन की गतिज ऊर्जा K_d = ev ($\because$ q = e)

α-कण की गतिज ऊर्जा Kα = 2eV ($\because$ q = 2e)

$K_p : K_d : K_\alpha$ = 1 : 1 : 2

(ii) चुम्बकीय क्षेत्र B में v चाल से गतिमान आवेशित कण (द्रव्यमान m, आवेश q) के वृत्ताकार पथ की त्रिज्या r के लिए।

$$\frac{mv^2}{r} = qvB$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

$$r^2 = \left(\frac{mv}{qB}\right)^2 = \frac{2mK}{q^2B^2} \qquad \left[\because K = \frac{1}{2}mv^2\right]$$

प्रोटॉन के लिए द्रव्यमान m, आवेश e तथा गतिज ऊर्जा K_p है। अत:

$$r_p^2 = \frac{2mK_p}{e^2B^2} \qquad ...(1)$$

ड्यूट्रॉन के लिए द्रव्यमान $2m$, आवेश e तथा गतिज ऊर्जा K_d है। अत:

$$r_d^2 = \frac{2(2m)K_d}{e^2B^2} = \frac{4mK_d}{e^2B^2} \qquad ...(2)$$

α-कण के लिए द्रव्यमान $4m$, आवेश $2e$ तथा गतिज ऊर्जा K_α है। अत:

$$r_\alpha^2 = \frac{2(4m)K_\alpha}{(2e)^2B^2} = \frac{2mK_\alpha}{e^2B^2} \qquad ...(3)$$

समीकरण (1) व (2) से,

$$\frac{r_d^2}{r_p^2} = \frac{2K_d}{K_p} = 2 \qquad [\because K_p : K_d = 1:1]$$

$$\therefore \quad r_d = \sqrt{2} \times r_p = 1.414 \times 10 = 14.14 \text{ सेमी}$$

समीकरण (1) व (3) से,

$$\frac{r_\alpha^2}{r_p^2} = \frac{K_\alpha}{K_p} = 2$$

$$\therefore \quad r_\alpha = \sqrt{2} \times r_p = 1.414 \times 10 = 14.14 \text{ सेमी}$$

प्रश्न 5.

एक वृत्ताकार धारावाही कुण्डली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का व्यंजक निगमित कीजिए। **(2017, 18)**

या

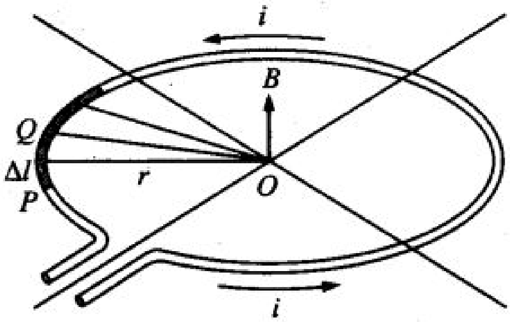
बायो-सेवर्ट का नियम समझाइए। इस नियम का उपयोग करके एक वृत्ताकार धारावाही कुण्डली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र के व्यंजक का निगमन कीजिए। **(2014, 16)**

उत्तर-

बायो-सेवर्ट का नियम- [संकेत-दीर्घ उत्तरीय प्रश्न 2 का उत्तर पढ़िए।]

वृत्ताकार धारावाही कुण्डली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र- माना एक तार को मोड़कर r मीटर त्रिज्या की वृत्ताकार कुण्डली बनाई गयी है। माना कुण्डली में i ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है।

कुण्डली के केन्द्र O पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए मान लेते हैं कि कुण्डली की परिधि अनेक अल्पांशों से मिलकर बनी है। इनमें से एक अल्पांश की लम्बाई Δl है। बायो-सेवर्ट नियम के अनुसार अल्पांश Δl के कारण O पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान



चित्र 4.9

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{i\Delta l \sin\theta}{r^2}\right)$$

जहाँ θ, अल्पांश Δl तथा इस अल्पांश को केन्द्र O से मिलाने वाली रेखा के बीच बना कोण है; जिसका मान 90° होगा, क्योंकि त्रिज्या एवं परिधि के प्रत्येक बिन्दु के बीच बना कोण 90° होता है। अत: O पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{i\Delta l \sin 90^\circ}{r^2}\right) = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{i\Delta l}{r^2}\right)$$

ΔB की दिशा कुण्डली के तल के लम्बवत् है। कुण्डली में वामावर्त धारा के लिए ΔB की दिशा कुण्डली के तल के लम्बवत् ऊपर की ओर है। यदि धारा दक्षिणावर्त होती तब ΔB की दिशा नीचे की ओर होती। चित्र 4.9 में प्रदर्शित स्थिति में कुण्डली के प्रत्येक खण्ड के लिए O पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा ऊपर की ओर होगी। अत: समस्त खण्डों द्वारा O पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र B सभी अल्पांशों के क्षेत्रों के योग से प्राप्त होगा। इस प्रकार,

$$B = \Sigma\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i\Delta l}{r^2}\right) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}\Sigma\Delta l$$

परन्तु $\Sigma\Delta l$ = वृत्त की परिधि = $2\pi r$

∴ $$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}(2\pi r) \quad \text{अथवा} \quad B = \frac{\mu_0 i}{2r} \qquad \ldots(1)$$

यदि कुण्डली में तार के N फेरे हों,

तब $$B = \frac{\mu_0 Ni}{2r}$$ न्यूटन/ऐम्पियर-मीटर

चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा कुण्डली के तल के लम्बवत् है।

प्रश्न 6.

0.5 एंगस्ट्रॉम त्रिज्या के वृत्त में एक इलेक्ट्रॉन 3 x 105 चक्कर/सेकण्ड की दर से घूमता है। वृत्त के केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात कीजिए। **(2017)**

हल-

वृत्ताकार मार्ग की त्रिज्या (r) = 0.5 Å = 0.5 x 10^{-10} मी

इलेक्ट्रॉन की चाल (v) = 3 x 10^{5} चक्कर/से

आवेश (q) = e = 1.6 x 10^{-19} कूलॉम

इलेक्ट्रॉन की वृत्तीय पथ पर गति के कारण केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin 90^\circ}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv}{r^2}$$

$$= 10^{-7} \times \frac{(1.6 \times 10^{-19}) \times (3 \times 10^5)}{(0.5 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 1.9 \text{ टेस्ला}$$

प्रश्न 7.

2 x 10^{-10} मी त्रिज्या के वृत्ताकार मार्ग पर एक इलेक्ट्रॉन 3 x 10^{-6} मी/से की एक समान चाल से चक्कर लगा रहा है। वृत्ताकार मार्ग के केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की गणना कीजिए।

हल—वृत्ताकार मार्ग की त्रिज्या $(r) = 2 \times 10^{-10}$ मी

इलेक्ट्रॉन की चाल $(v) = 3 \times 10^{6}$ मी/से

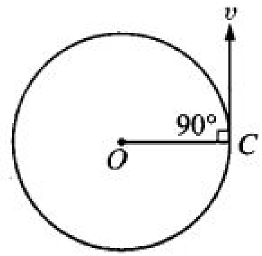
आवेश $(q) = e = 1.6 \times 10^{-19}$ कूलॉम

वृत्ताकार मार्ग के केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin\theta}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv}{r^2}$$

$$= \frac{10^{-7} \times (1.6 \times 10^{-19})(3 \times 10^6)}{(2 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 1.2 \text{ टेस्ला}$$



चित्र 4.10

प्रश्न 8.

किसी 10^{-5} टेस्ला के एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में 10 eV ऊर्जा का एक इलेक्ट्रॉन वृत्ताकार मार्ग पर परिक्रमा कर रहा है। वृत्ताकार मार्ग की त्रिज्या ज्ञात कीजिए। **(2017)**

हल— दिया है, $B = 10^{-5}$ टेस्ला,

इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा $E_K = 10 \text{ eV} = 10 \times 1.6 \times 10^{-19}$ जूल

$= 1.6 \times 10^{-18}$ जूल

इलेक्ट्रॉन की चाल, $v = \sqrt{\frac{2E_K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-18}}{9.0 \times 10^{-31}}}$

$= 1.89 \times 10^{6}$ मी/से

वृत्ताकार मार्ग की त्रिज्या, $r = \frac{mv}{eB}$

$$= \frac{9.0 \times 10^{-31} \times 1.89 \times 10^{6}}{(1.6 \times 10^{-19})(10^{-5})}$$

$= 10.6 \times 10^{-1} =$ **1.06 मी**

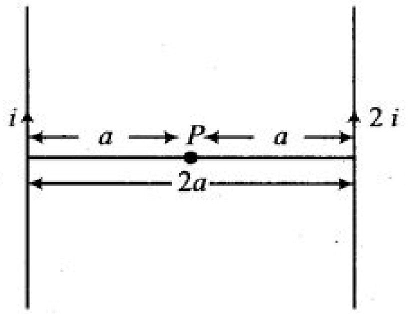
प्रश्न 9.

दो लम्बे समान्तर तारों में हैं i तथा 2i धाराएँ समान दिशा में प्रवाहित हो रही हैं। यदि तारों के बीच की लम्बवत दूरी 2a हो तब तारों के बीच मध्य बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान व दिशा ज्ञात कीजिए। **(2014)**

हल-

ऐम्पियर की धारा के कारण बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{a} \quad ...(1)$$



चित्र 4.11

क्षेत्र की दिशा कागज के तल के लम्बवत् नीचे की ओर होगी।
$2i$ ऐम्पियर की धारा के कारण बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_2 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{2i}{a} = \frac{\mu_0}{\pi}\frac{i}{a} \quad ...(2)$$

क्षेत्र की दिशा कागज के तल के लम्बवत् ऊपर की ओर होगी।
∴ बिन्दु P पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = B_2 - B_1 = \frac{\mu_0}{\pi}\frac{i}{a} - \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{i}{a} = \frac{2\mu_0 i - \mu_0 i}{2\pi a}$$

$$\therefore \quad \boldsymbol{B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}}$$

परिणामी क्षेत्र कागज के तल के लम्बवत् ऊपर की ओर होगा।

प्रश्न 10.

2.0 मीटर लम्बी परिनालिका में 1000 फेरे हैं। इसमें 10 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। इसके केन्द्र में उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का मान ज्ञात कीजिए। **(2015)**

हल-

$B = \mu_0 ni$, जहाँ $n = N/l$ (प्रति मीटर लम्बाई में फेरों की संख्या)

$i = 10$ ऐम्पियर, $n = \frac{1000}{2} = 500$

$B = 4\pi \times 10^{-7} \times 500 \times 10$

$= \mathbf{6.28 \times 10^{-3}}$ **न्यूटन/(ऐम्पियर-मीटर)**

प्रश्न 11.

दो लम्बे सीधे तार, जिनमें प्रत्येक में 5.0 ऐम्पियर धारा प्रवाहित हो रही है, एक-दूसरे के समान्तर 2.5 सेमी की दूरी पर रखे हैं। तारों की 10.0 सेमी लम्बाई पर लगने वाला बल ज्ञात कीजिए। **(2015)**

हल—हम जानते हैं कि,

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{r}$$

जहाँ, $L = 10$ सेमी $= 10^{-1}$ मीटर, $\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7}$ न्यूटन/ऐम्पियर^2

$i_1 = i_2 = 5$ ऐम्पियर, $r = 2.5$ सेमी $= \frac{1}{40}$ मीटर

∴ तारों की 10 सेमी लम्बाई पर लगने वाला बल

$$F = 2 \times 10^{-7} \times \frac{(5)^2}{1/40} \times 10^{-1}$$

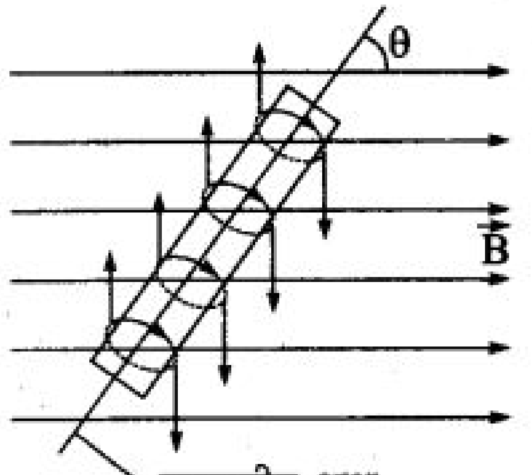
$$= 2 \times 10^{-5} \text{ न्यूटन}$$

प्रश्न 12.

एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में एक धारावाही आयताकार कुण्डली लटकायी गई है। इस पर लगने वाले बल युग्म के आघूर्ण का व्यंजक प्राप्त कीजिए। **(2017)**

हल-

एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धारा-लूप (अथवा कुण्डली अथवा परिनालिका) को व्यवहार ठीक वैसा ही होता है जैसा दण्ड-चुम्बक का। हमने यह पढ़ा है कि चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धारा-लूप पर एक बल-युग्म लगता है जो कि लूप को ऐसी स्थिति में घुमाने की प्रवृत्ति रखता है जिसमें कि लूप की अक्ष चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर हो जाये। ठीक इसी प्रकार, चुम्बकीय क्षेत्र में लटकाया गया दण्ड-चुम्बक भी घूम कर ऐसी स्थिति में ठहरता है जिसमें कि चुम्बक की अक्ष चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर हो जाती है। स्पष्ट है कि चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित दण्ड-चुम्बक पर भी एक बल-युग्म लगता है जो कि चुम्बक की अक्ष को क्षेत्र के समान्तर करने की प्रवृत्ति रखता है। चुम्बक के परमाणवीय मॉडल के अनुसार, चुम्बक का प्रत्येक परमाणु एक नन्हा धारा-लूप होता है तथा ये सभी धारा-लूप एक ही दिशा में संरेखित होते हैं चुम्बकीय क्षेत्र में इन नन्हें धारा-लूपों पर लगने वाले बल-युग्मों का योग ही चुम्बक पर लगने वाला बल-युग्म होता है (चित्र 4.12)।



चित्र 4.12

हम जानते हैं कि चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ में, क्षेत्र की दिशा से θ कोण पर स्थित धारा-लूप पर लगने वाले बल-युग्म का आघूर्ण

= (iA) B sin θ

जहाँ A धारा-लूप को क्षेत्रफल है। यदि दण्ड-चुम्बक में N धारा-लूप हों, तब पूरे चुम्बक पर लगने वाले बल-युग्म का आघूर्ण

T = (NiA) B sin θ .....(1)

चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित दण्ड-चुम्बक, धारा-लूप अथवा धारावाही कुण्डली का व्यवहार वैद्युत क्षेत्र में स्थित वैद्युत द्विध्रुव के व्यवहार के सदृश है। यही कारण है कि दण्ड-चुम्बक, धारा-लूप, धारावाही कुण्डली, इत्यादि 'चुम्बकीय द्विध्रुव' (magnetic dipole) कहलाते हैं। हम जानते हैं कि वैद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ में क्षेत्र की दिशा से कोण पर स्थित वैद्युत द्विध्रुव पर एक बल-युग्म लगता है, जिसका आघूर्ण निम्नलिखित समीकरण के अनुसार होता है-

t = pE sin θ .....(2)

जहाँ, p वैद्युत द्विध्रुव का आघूर्ण है। समीकरण (1) व (2) की तुलना से यह स्पष्ट है कि राशि NiA, वैद्युत द्विध्रुव के आघूर्ण p के समतुल्य है। इसे चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण' अथवा दण्ड-चुम्बक का चुम्बकीय आघूर्ण' (magnetic moment) M कहते हैं, अर्थात्

M= NiA

चुम्बकीय आघूर्ण एक सदिश राशि है। यह चुम्बकीय अक्ष के अनुदिश दक्षिणी ध्रुव से उत्तरी ध्रुव की । ओर दिष्ट होता है।

अब, समीकरण (1) से, दण्ड-चुम्बक पर लगने वाले बल-युग्म का आघूर्ण

t = MB sin θ

प्रश्न 13.

चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण की परिभाषा दीजिए। बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित चुम्बकीय द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा का व्यंजक प्राप्त कीजिए। **(2017)**

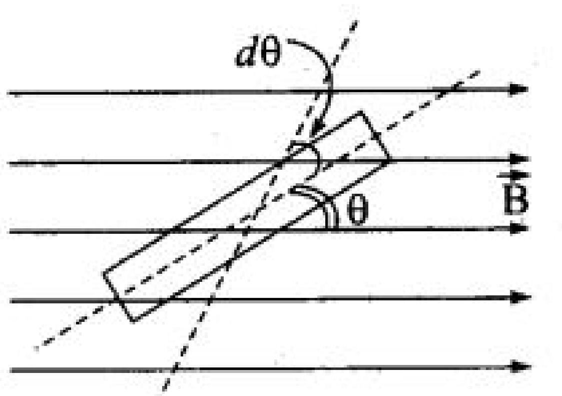
या

चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण की परिभाषा लिखिए। **(2018)**

उत्तर-

चुम्बकीय द्विध्रुव की ध्रुव सामर्थ्य तथा चुम्बक की प्रभावी लम्बाई के गुणनफल की चुम्बकीय द्विध्रुव आघूर्ण कहते हैं। इसे 'M' से प्रकट करते हैं।

जब किसी चुम्बकीय द्विध्रुव को एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखते हैं तो इस पर एक बल-युग्म का आघूर्ण कार्य करता है जो कि चुम्बकीय द्विध्रुव को बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में संरेखित करने का प्रयत्न करता है। अत: चुम्बकीय द्विध्रुव को चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा से घुमाने - में कार्य करना पड़ता है। यह कार्य ही चुम्बकीय द्विध्रुव में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है।



चित्र 4.13

माना एक चुम्बकीय द्विध्रुव जिसका चुम्बकीय द्विध्रुव-आघूर्ण M है। एकसमान चुम्बकीय क्षेत्र B में क्षेत्र की दिशा से से कोण बनाते हुए स्थित है अत: चुम्बकीय द्विध्रुव पर कार्यरत बल-युग्म का आघूर्ण

$\tau = MB \sin \theta$

चुम्बकीय द्विध्रुव को इस स्थिति से अत्यन्त सूक्ष्म कोण dθ घुमाने में किया गया कार्य

$dW = td\theta = MB \sin \theta \, d\theta$

इसी प्रकार चुम्बकीय द्विध्रुवे को चुम्बकीय क्षेत्र में अभिविन्यास θ_1 से अभिविन्यास θ_2 तक घुमाने में किया गया कार्य

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} MB \sin\theta \, d\theta = MB[-\cos\theta]_{\theta_1}^{\theta_2}$$

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

अथवा $$W = MB(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \text{ जूल}$$

यह कार्य ही चुम्बकीय द्विध्रुव में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। अतः वैद्युत द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा

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

सुविधा के लिए हम किसी भी स्वेच्छ अभिविन्यास के लिए स्थितिज ऊर्जा का मान शून्य मान सकते हैं। यहाँ हम $\theta_1 = 90°$ के लिए शून्य स्थितिज ऊर्जा ($U = 0$) मानते हैं,तब द्विध्रुव की चुम्बकीय अक्ष के बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र $\theta_2 = \theta$ अभिविन्यास पर द्विध्रुव की स्थितिज ऊर्जा

$$U_\theta = MB(\cos 90° - \cos\theta)$$

$$U_\theta = -MB\cos\theta \text{ जूल}$$

अथवा $$U_0 = -\vec{M}\cdot\vec{B} \text{ जूल}$$

प्रश्न 14.

हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन 5.0×10^{-11} मी त्रिज्या की कक्षा में 2×10^6 मी/से की चाल से गति कर रहा है। परमाणु का चुम्बकीय आघूर्ण ज्ञात कीजिए। **(2017)**

या

एक परमाणु में इलेक्ट्रॉन 0.50 Å त्रिज्या की कक्षा में 4×10^{15} चक्कर/से से घूम रहा है। परमाणु के चुम्बकीय आघूर्ण का मान ज्ञात कीजिए। **(2018)**

हल— दिया है, $r = 5 \times 10^{-11}$ मी, $v = 2 \times 10^{6}$ मी/से

$$i = \frac{e \times v}{2\pi r} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^{6}}{2\pi \times 5 \times 10^{-11}}$$

$$= \frac{1.6}{5\pi} \times 10^{-2}$$

$$A = \pi r^2 = \pi \times (5 \times 10^{-11})^2 = 25\pi \times 10^{-22}$$

चुम्बकीय आघूर्ण, $M = iA$

$$= \frac{1.6}{5\pi} \times 10^{-2} \times 25\pi \times 10^{-22}$$

$$= \mathbf{8.0 \times 10^{-24}}$$ **ऐम्पियर-मीटर²**

[**संकेत**—या वाला प्रश्न उपर्युक्त की भाँति स्वयं करें]

प्रश्न 15.

एक धारामापी की कुण्डली का प्रतिरोध 100 ओम है। 5.0 मिली ऐम्पियर धारा से इसमें पूर्ण स्केल विक्षेपण प्राप्त होता है। इसे 0 से 10 ऐम्पियर परास के अमीटर में कैसे परिवर्तित करेंगे? **(2014)**

हल— शंट प्रतिरोध $S = \frac{I_g \times G}{I - I_G}$

यहाँ $I_g = 5.0 \text{ mA} = 5.0 \times 10^{-3}$ ऐम्पियर

$G = 100\,\Omega$ तथा $I = 10$ ऐम्पियर

$$\therefore \quad S = \frac{5.0 \times 10^{-3} \times 100}{10 - 5 \times 10^{-3}}$$

$$= \frac{0.5}{9.995} = \mathbf{0.05}$$ **ओम**

$0.05\,\Omega$ के प्रतिरोध को धारामापी के समान्तर क्रम में जोड़ने पर यह अभीष्ट अमीटर में बदल जाएगा।

दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

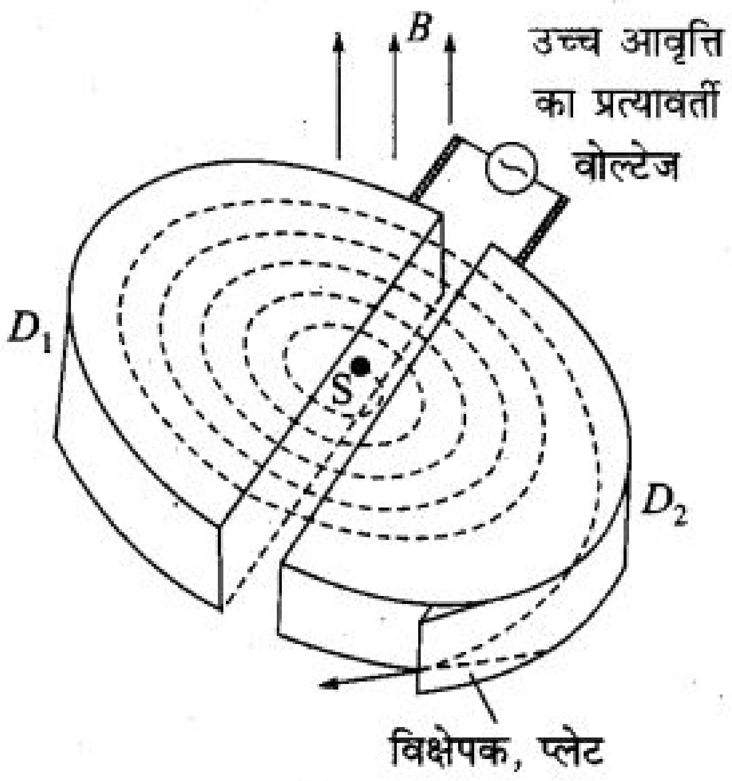
प्रश्न 1.

साइक्लोट्रॉन के सिद्धान्त एवं कार्य विधि का संक्षिप्त विवरण दीजिए। साइक्लोट्रॉन की सीमाओं का उल्लेख कीजिए। **(2017)**

हल-

सिद्धान्त- चुम्बकीय क्षेत्र में परिक्रमण करने वाले आवेशित कणों की परिक्रमण आवृत्ति कण की ऊर्जा पर निर्भर नहीं करती है। अत: क्रॉसित (परस्पर लम्बवत्) वैद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों का उपयोग कर आवेशित कण को चुम्बकीय क्षेत्र की सहायता से बार-बार एक ही वैद्युत क्षेत्र से गुजारकर उसको उच्च ऊर्जा तक त्वरित किया जा सकता है।

कार्य-विधि- माना m द्रव्यमान तथा +q आवेश का एक आयन, आयन-स्रोत से उस क्षण निर्गत होता है जबकि D_2ऋण विभव पर है। यह आयनन डीज के बीच के अन्तराल में विद्यमान वैद्युत क्षेत्र के द्वारा D_2 की ओर को त्वरित होकर D_2 में वेग v (माना) से प्रवेश कर जाता है। डीज के भीतर प्रवेश करते ही यह आयन डीज की धात्विक दीवारों द्वारा वैद्युत क्षेत्र से परिरक्षित कर दिया जाता है। अब डीज के तल के लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्र के कारण आयन नियत चाल v से त्रिज्या r के वृत्ताकार पथ पर चलने लगता है। आयन की वृत्तीय गति के लिए आवश्यक अभिकेन्द्र बल, उस पर कार्यरत चुम्बकीय बल से प्राप्त होता है। अतः अभिकेन्द्र बल = चुम्बकीय बल।



चित्र 4.14

$$\frac{mv^2}{r} = qvB$$

अथवा $$r = \frac{mv}{qB}$$ [जहाँ B चुम्बकीय क्षेत्र है]

आयन द्वारा एक अर्द्ध-वृत्त पूरा करने में लिया जाने वाला समय

$$t = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi m}{qB} \quad ...(1)$$

समीकरण (1) से स्पष्ट है कि **आयन द्वारा किसी एक D से होकर जाने में लिया गया समय, आयन की चाल तथा वृत्त की त्रिज्या पर निर्भर नहीं है,** यह केवल चुम्बकीय क्षेत्र B तथा आयन के आवेश-द्रव्यमान अनुपात $\left(\frac{q}{m}\right)$ पर निर्भर करता है।

आयन का आवर्तकाल, $T = 2t = \frac{2\pi m}{Bq}$

अनुनाद उत्पन्न करने के लिए प्रत्यावर्ती विभव की आवृत्ति

$$v_0 = \frac{1}{T} = \frac{Bq}{2\pi m}$$

साइक्लोट्रॉन की सीमाएँ-

(i) साइक्लोट्रॉन द्वारा अनावेशित कण जैसे- न्यूट्रॉन (जो कि नाभिकीय क्रियाओं के लिए सर्वश्रेष्ठ प्रक्षेप्य कण है) को त्वरित नहीं किया जा सकता है।

(ii) साइक्लोट्रॉन द्वारा इलेक्ट्रॉनों को त्वरित नहीं किया जा सकता है क्योंकि इनका द्रव्यमान बहुत कम होता है, अतः सूक्ष्म गतिज ऊर्जा ग्रहण कर ही ये बहुत उच्च वेग से गति करने लगते हैं।

(iii) साइक्लोट्रॉन द्वारा आवेशित कणों को इतने उच्च वेग तक त्वरित नहीं किया जा सकता है कि उनका वेग प्रकाश के वेग के तुल्य हो जाए क्योंकि इतने उच्च वेग पर आवेशित कणों का द्रव्यमान नियत न रहकर वेग के साथ परिवर्तित होता हैं। यदि आवेशित कण का विराम द्रव्यमान m_0 हो तथा v वेग से गति करते समय कण का वेग m हो, तब

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

जहाँ, c निर्वात् में प्रकाश की चाल है।

प्रश्न 2.

धारावाही चालक के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता से सम्बन्धित बायो-सेवर्ट नियम की व्याख्या कीजिए। बायो-सेवर्ट नियम की समीकरण से निर्वात की चुम्बकशीलता का मात्रक एवं विमीय समीकरण निकालिए। **(2017)**

या

बायो-सेवर्ट नियम को शब्दों तथा सूत्र में लिखिए। **(2011)**

या

बायो-सेवर्ट नियम का उल्लेख कीजिए। **(2013, 17, 18)**

या

किसी धारावाही चालक के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के सम्बन्ध में बायो-सेवर्ट के नियम का उल्लेख कीजिए।**(2015)**

उत्तर-

बायो-सेवर्ट का नियम (Biot-Savart Law)- सन् 1820 में बायो तथा सेवर्ट ने धारावाही चालकों द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र का अध्ययन करने के लिए अनेक प्रयोग किये। इन प्रयोगों के आधार पर उन्होंने बताया कि किसी धारावाही चालक के एक अल्पांश Δl के द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र में किसी बिन्दु P पर क्षेत्र का मान ΔB निम्नलिखित बातों पर निर्भर करता है-

(i) चुम्बकीय क्षेत्र ΔB, चालक में प्रवाहित धारा i के अनुक्रमानुपाती होता है।
अर्थात् $\Delta B \propto i$

(ii) चुम्बकीय क्षेत्र, चालक के अल्पांश की लम्बाई Δl के अनुक्रमानुपाती होता है।
अर्थात् $\Delta B \propto \Delta l$

(iii) चुम्बकीय क्षेत्र, अल्पांश की लम्बाई तथा अल्पांश को उस बिन्दु P से मिलाने वाली रेखा के बीच बनने वाले कोण की ज्या (sine) के अनुक्रमानुपाती होता है।
अर्थात् $\Delta B \propto \sin\theta$

(iv) चुम्बकीय क्षेत्र बिन्दु P की अल्पांश से दूरी r के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।
अर्थात् $\Delta B \propto \frac{1}{r^2}$

उपर्युक्त चारों तथ्यों को एक साथ लिखने पर

$$\Delta B \propto \frac{i\Delta l \sin\theta}{r^2}$$

इस सम्बन्ध को ही **बायो-सेवर्ट का नियम कहते हैं।**

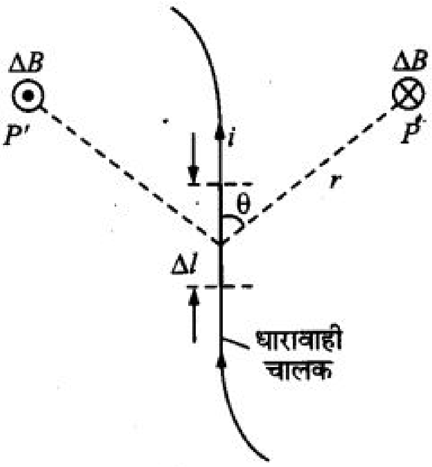
यदि चालक निर्वात् (अथवा वायु) में स्थित हो, तब यह सम्बन्ध निम्नलिखित सूत्र के रूप में लिखा जाता है—

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{i\Delta l \sin\theta}{r^2}\right)$$

जहाँ $\mu_0/4\pi$ अनुक्रमानुपाती नियतांक है। μ_0 निर्वात् की चुम्बकशीलता (permeability) कहलाती है। यदि i ऐम्पियर में तथा Δl व r मीटर में हों तो इसका मान $4\pi \times 10^{-7}$ न्यूटन/ऐम्पियर^2 होता है। μ_0 की विमा $[MLT^{-2} A^{-2}]$ होती है।

धारावाही चालक के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा दायें हाथ की हथेली के नियम नं० 1 अथवा मैक्सवेल के दक्षिणावर्त पेंच के नियम द्वारा ज्ञात की जाती है।

चित्र 4.15 में चिह्न × चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा कागज के तल के लम्बवत् नीचे की ओर तथा चिह्न • चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा कागज के तल के लम्बवत् ऊपर की ओर व्यक्त करता है।



चित्र 4.15

यदि चालक में प्रवाहित धारा i ऐम्पियर में, अल्पांश की लम्बाई dl तथा अल्पांश से प्रेक्षण बिन्दु की दूरी r मीटर में हो, तब μ_0 का मान

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ न्यूटन/ऐम्पियर}^2 \left(\text{अथवा } \frac{\text{वेबर}}{\text{ऐम्पियर-मीटर}} \right)$$

अत: $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ न्यूटन/मीटर होता है।

$$\mu_0 \text{ का मात्रक} = \text{न्यूटन/ऐम्पियर}^2$$

$$\mu_0 \text{ की विमा } [\mu_0] = \frac{[MLT^{-2}]}{[A^2]} = [MLT^{-2}A^{-2}]$$

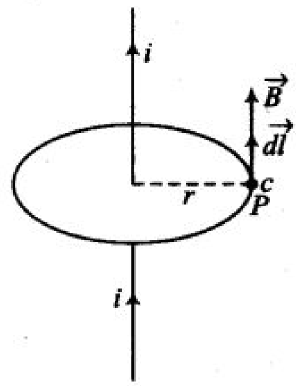
प्रश्न 3.

ऐम्पियर के परिपथीय नियम का उपयोग करके एक अनन्त लम्बाई के सीधे धारावाही चालक के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र का सूत्र स्थापित कीजिए। **(2014)**

या

ऐम्पियर के परिपथीय नियम का उपयोग करके अनन्त लम्बाई के सीधे धारावाही तार के निकट किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात कीजिए। **(2015)**

उत्तर—माना एक लम्बे तार में i धारा प्रवाहित हो रही है। तार से r दूरी पर एक प्रेक्षण बिन्दु P है जिस पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता $\vec{B}$ ज्ञात करनी है (चित्र 4.16)। तार के परित: P से होकर जाने वाला r त्रिज्या का एक वृत्त खींचते हैं। सममिति से पथ के प्रत्येक बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण समान है तथा $\vec{B}$ व $\vec{dl}$ एक ही दिशा में हैं ($\theta = 0$).



चित्र 4.16

ऐम्पियर के नियम से, $\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 i$

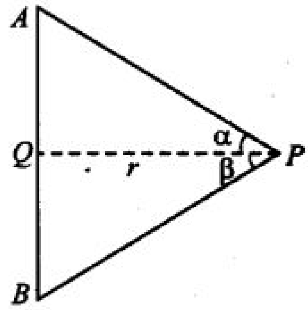
जहाँ i वृत्त द्वारा घिरी धारा है। चूँकि $\vec{B}, \vec{dl}$ एक ही दिशा में हैं।

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \oint Bdl \cos 0 = B \oint dl = B\,(2\pi r)$$

$\therefore$ $B(2\pi r) = \mu_0 i$ अथवा $B = \dfrac{\mu_0 i}{2\pi r}$

यही अनन्त लम्बे धारावाही तार के कारण चुम्बकीय क्षेत्र का व्यंजक है।

चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता—यदि तार की लम्बाई निश्चित है तो चित्र 4.17 के अनुसार बिन्दु P से तार पर खींची गई रेखा PQ से तार के सिरे A तथा B क्रमश: π तथा β कोण बनाते हैं। तब बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता



चित्र 4.17

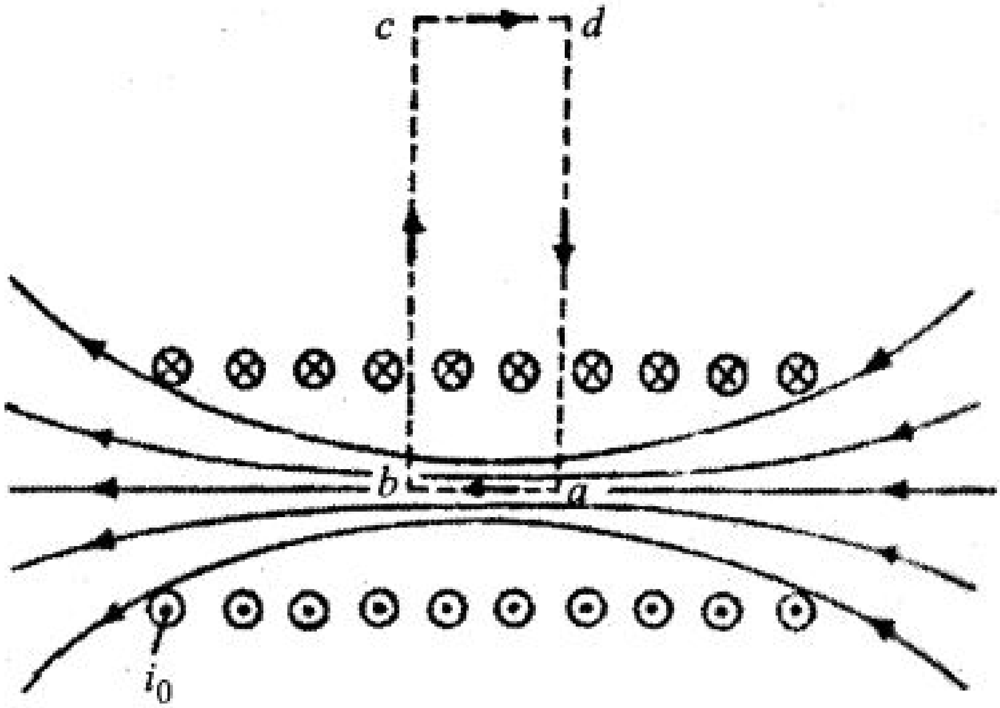
$B = \dfrac{\mu_0 i}{4\pi r}(\sin\alpha + \sin\beta)$ होगी।

प्रश्न 4.

ऐम्पियर के परिपथीय नियम की सहायता से धारावाही परिनालिका के अन्दर उसकी अक्ष पर चुम्बकीय क्षेत्र के सूत्र की स्थापना कीजिए। **(2015)**

उत्तर-

माना एक लम्बी परिनालिका की प्रति मीटर लम्बाई में तार के n फेरे हैं तथा इसमें i ऐम्पियर की धारा बह रही है। माना एक आयताकार बन्द पथ a b c d है जिसकी भुजा a b परिनालिका की अक्ष के समान्तर है तथा भुजाएँ। c तथा a d बहुत लम्बी हैं जिससे कि यह माना जा सके कि भुजा c d परिनालिका से बहुत दूर है तथा इस भुजा पर परिनालिका के कारण चुम्बकीय क्षेत्र नगण्य है। जब परिनालिका लम्बी है। तथा आयताकार बन्द पथ परिनालिका के किसी भी किनारे के बहुत समीप नहीं है, तो क्षेत्र b c तथा a d भुजाओं के लम्बवत् हैं।



चित्र 4.18

आयताकार पथ $a\ b\ c\ d$ के लिये ऐम्पियर का नियम लगाने पर,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i \qquad ...(1)$$

i आयताकार पथ द्वारा घिरी नेट धारा है। आयत $a\ b\ c\ d$ के लिये,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} + \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{l}$$

अब, $\int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$, चूँकि पथों bc तथा da के लिये $\vec{B}$ व $d\vec{l}$ लम्बवत् हैं जिससे कि $\vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cos dl \cos 90° = 0$ तथा $\int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$ (चूँकि परिनालिका के बाहर इससे दूर बिन्दुओं पर $\vec{B}$ शून्य है)

$$\therefore \qquad \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_a^b B\, dl,$$

चूँकि $\vec{B}$ व $d\vec{l}$, $a\ b$ के समान्तर हैं, परिनालिका के भीतर B नियत है तथा $\int_a^b dl = ab$ की लम्बाई x है। तब

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \int_a^b dl = Bx \qquad ....(2)$$

अब, माना परिनालिका की प्रति एकांक लम्बाई में फेरों की संख्या n है। तब लम्बाई x में फेरों की संख्या अथवा आयत $abcd$ से गुजरने वाले फेरों की संख्या nx है। प्रत्येक फेरे में धारा i_0 है, अतः पथ द्वारा घिरी नेट धारा nxi_0 है अर्थात्

$$i = nxi_0 \qquad ...(3)$$

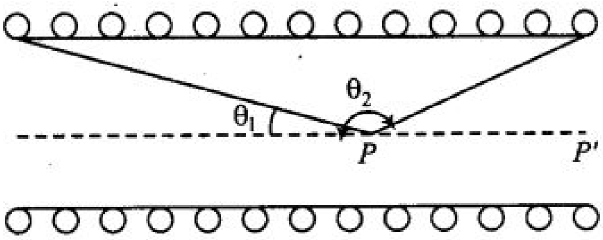
समी० (2) से, $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ तथा समी० (3) से i का मान समी० (1) में रखने पर,

$$Bx = \mu_0 nxi_0 \qquad \text{अथवा} \qquad B = \mu_0 n i_0$$

अतः अत्यधिक लम्बी परिनालिका के भीतर चुम्बकीय क्षेत्र के व्यास तथा लम्बाई पर निर्भर नहीं करता।

माना कि किसी परिनालिका में, जिसकी लम्बाई l मीटर है तथा जिसमें तार के N फेरे हैं, i ऐम्पियर की वैद्युत धारा है। हम यह सिद्ध कर सकते हैं कि परिनालिका के भीतर किसी बिन्दु P पर (चित्र 4.19) चुम्बकीय क्षेत्र B का मान निम्नलिखित सूत्र से दिया जाता है—

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



चित्र 4.19

जहाँ $n = N/l$ परिनालिका की 'प्रति मीटर' लम्बाई में फेरों की संख्या है तथा θ_1 व θ_2 परिनालिका के सिरों द्वारा बिन्दु P पर अन्तरित अर्द्ध-शीर्ष कोण है।

यदि परिनालिका अनन्त लम्बाई की है (अर्थात् व्यास के सापेक्ष लम्बाई कहीं अधिक है), तब $\theta_1 \approx 0$ तथा $\theta_2 \approx \pi$, जिससे $\cos \theta_1 = 1$ तथा $\cos \theta_2 = -1$,

अत: $\quad$ **$B = \mu_0 ni$ न्यूटन/(ऐम्पियर-मीटर)**

यदि बिन्दु 'लम्बी' परिनालिका के सिरे पर है, जैसे P' तब $\theta_1 \approx 0$ तथा $\theta_2 \approx \pi/2$, जिससे $\cos \theta_1 = 1$ तथा $\cos \theta_2 = 0$. अत: अब

$$B = \frac{\mu_0 ni}{2} \text{ न्यूटन/(ऐम्पियर-मीटर)}$$

इस प्रकार 'लम्बी' परिनालिका के सिरों पर चुम्बकीय क्षेत्र केन्द्र के सापेक्ष आधा होता है।

प्रश्न 5.

दो समान्तर धारावाही चालकों के बीच लगने वाले बल $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\Pi} = \frac{i_1 i_2}{r}$ न्यूटन/मीटर के लिए सूत्र व्युत्पन्न कीजिए। उपर्युक्त सूत्र के आधार पर धारा के एक ऐम्पियर की परिभाषा दीजिए। **(2017)**

या

दो समान्तर धारावाही चालकों के बीच क़ार्य करने वाले बल का सूत्र ज्ञात कीजिए। **(2012, 17, 18)**

या

दो समान्तर धारावाही चालकों के बीच लगने वाले बल के लिए सूत्र स्थापित कीजिए। इसके आधार पर वैद्युत धारा के मात्रक ऐम्पियर की परिभाषा दीजिए। **(2013)**

या

L मीटर लम्बाई के दो समान्तर तारों, जिनके मध्य की दूरी r मीटर है तथा जिनमें i1 और i2 ऐम्पियर की विद्युत धाराएँ प्रवाहित हैं, के मध्य प्रति एकांक लम्बाई पर बल का सूत्र $\frac{F}{L}=\frac{\mu_0}{2\Pi}=\frac{i_1 i_2}{r}$ व्युत्पादित कीजिए। इस सूत्र से ऐम्पियर की परिभाषा दीजिए। **(2015)**

उत्तर-

धारावाही चालक के चारों ओर एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है तथा चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धारावाही चालक पर एक बल कार्य करता है। अत: यदि एक धारावाही चालक के निकट कोई दूसरा धारावाही चालक रखा जाये तो यह चालक पहले चालक द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के कारण एक बल का अनुभव करेगा। इसी प्रकार पहला धारावाही चालक दूसरे धारावाही चालक द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के कारण एक बल अनुभव करेगा। स्पष्ट है कि पास-पास रखे दो धारावाही चालक चुम्बकीय क्षेत्र की पारस्परिक क्रिया के कारण एक-दूसरे पर बल लगाते हैं।

पारस्परिक बल का परिमाण एवं प्रकृति- माना दो लम्बे ऋजुरेखीय तार P९ तथा RS वायु या निर्वात् में एक-दूसरे के समीप परस्पर समान्तर रखे हैं। इनके बीच की दूरी r है (चित्र 4.20)। माना PQ एवं RS में प्रवाहित धाराएँ क्रमशः i_1एवं i_2 हैं। PQ में प्रवाहित धारा । के कारण चालक RS के किसी भी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B_1=\frac{\mu_0}{2\pi i}\left(\frac{i_1}{r}\right)\frac{\text{न्यूटन}}{\text{ऐम्पियर-मीटर}}$$

मैक्सवेल के दक्षिणावर्ती पेंच के नियम (अथवा दायें हाथ की हथेली के नियम नं० 1) के अनुसार B_1 की दिशा कागज के तल के लम्बवत् अन्दर की ओर होगी। अब चालक RS जिसमें धारा i_2 प्रवाहित हो रही है, चुम्बकीय क्षेत्र B_1 के लम्बवत् रखा है। अत: इसकी L मीटर लम्बाई पर लगने वाले बल का परिमाण

$$F=i_2 L B_1 \sin 90^\circ$$

$$F=i_2 L\left(\frac{\mu_0 i_1}{2\pi r}\right)=\frac{\mu_0}{2\pi}\left(\frac{i_1 i_2}{r}\right)L \text{ न्यूटन}$$

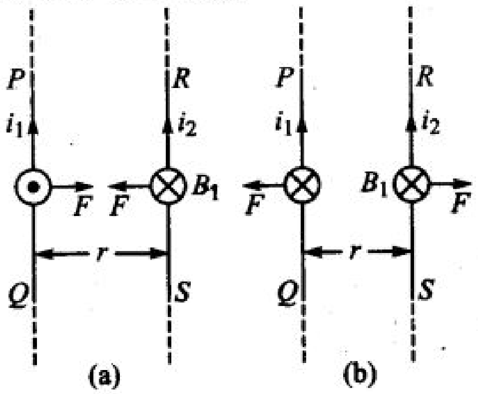
अत: चालक RS की प्रति मीटर लम्बाई पर कार्य करने वाला बल

$$\frac{F}{L}=\frac{\mu_0}{2\pi}\left(\frac{i_1 i_2}{r}\right) \qquad \ldots(1)$$

अथवा

$$\frac{F}{L}=\frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{2 i_1 i_2}{r}\right) \qquad \ldots(2)$$

इस बल की दिशा फ्लेमिंग के बायें हाथ के नियम (अथवा दायें हाथ की हथेली के नियम नं० 2) से प्राप्त होगी। यदि धाराएँ i_1 एवं i_2 समान दिशाओं में प्रवाहित हो रही हैं तो RS पर कार्यकारी बल की दिशा PQ की ओर होगी [चित्र 4.20 (a)] और यदि i_1 एवं i_2 विपरीत दिशाओं में प्रवाहित हों तो बल PQ से दूर की ओर दिष्ट होगा [चित्र 4.20 (b)]।



चित्र 4.20

इसी प्रकार सिद्ध किया जा सकता है कि PQ की प्रति मीटर लम्बाई पर RS में प्रवाहित धारा i_2 के कारण बल

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\frac{i_1 i_2}{r}\right) \quad ...(3)$$

अथवा

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{2i_1 i_2}{r}\right) \quad ...(4)$$

इसकी दिशा भी फ्लेमिंग के बायें हाथ के नियम अथवा दायें हाथ की हथेली के नियम नं० 2 से निर्धारित की जाएगी। यदि धारा i_2 उसी दिशा में है जिसमें i_1 है तो PQ पर लगने वाला बल चालक RS की ओर दिष्ट होगा। [चित्र 4.20 (a)] और यदि यह विपरीत दिशा में है तो यह RS से दूर दिष्ट होगा [चित्र 4.20 (b)]। अतः उपर्युक्त विवेचना से यह स्पष्ट होता है कि यदि दो समान्तर तारों में धाराएँ एक ही दिशा में हैं तो वे एक-दूसरे को आकर्षित करते हैं और यदि धाराएँ विपरीत दिशा में हैं तो तार एक-दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं।

प्रश्न 6.

आवश्यक सिद्धान्त देते हुए चल कुण्डली गैल्वेनोमीटर की संरचना तथा कार्यविधि का वर्णन कीजिए। **(2014)**

या

चल कुण्डली धारामापी का सिद्धान्त एवं कार्यविधि का वर्णन कीजिए। इसकी सुग्राहिता किस प्रकार बढ़ायी जा सकती है? **(2017)**

या

निम्नलिखित चल कुण्डली धारामापी का सिद्धान्त लिखिए एवं उसकी धारा सुग्राहिता का व्यंजक ज्ञात कीजिए। **(2018)**

उत्तर-

चल कुण्डली गैल्वेनोमीटर- ये निम्न दो प्रकार के होते हैं

1. निलम्बित कुण्डली धारामापी- यह वैद्युत-धारा के संसूचन (detection) तथा मापन (measurement) के लिए प्रयुक्त किया जाने वाला उपकरण है। इसकी क्रिया चुम्बकीय क्षेत्र में धारावाही कुण्डली पर कार्यरत् बलाघूर्ण पर आधारित है।

संरचना- इसमें एक आयताकोर कुण्डली होती है जोकि ताँबे के पतले पृथक्कृत (insulated) तार के ऐलुमीनियम के फ्रेम के ऊपर लपेटकर बनायी जाती है (चित्र 4.21)।

इस कुण्डली को एक पतली फॉस्फर-ब्रॉन्ज मरोड़ टोपी (phosphor-bronze) की पत्ती (strip) से एक स्थायी घोड़ा-नाल चुम्बक (horse-shoe magnet) NS के बेलनाकार ध्रुव-खण्डों फॉस्फर-ब्रॉन्ज (pole-pieces) के बीच लटकाया जाता है। पत्ती को ऊपरी सिरा एक मरोड़ टोपी (torsion head) से जुड़ा होता है। कुण्डली का निचला सिरा एक अत्यन्त पतले की कुण्डली का फ्रेम फॉस्फर-ब्रॉन्ज के तार के ढीले-वेष्ठित स्प्रिंग (loosely-wound spring) से जुड़ा होता है। कुण्डली के भीतर एक नर्म लोहे की क्रोड C सममित तथा बिना कुण्डली को स्पर्श किए रखी जाती है। क्रोड बल-रेखाओं को संकेन्द्रित कर देती है तथा इस प्रकार ध्रुव-खण्डों के स्प्रिंग छ। बीच चुम्बकीय क्षेत्र 'प्रबल हो जाता है। निलम्बन पत्ती (suspension strip) के। निचले भाग पर एक छोटा दर्पण (mirror) M लगा होता है, जो पत्ती के साथ-साथ घूमती है तथा जिसका विक्षेप एक लैम्प तथा पैमाने (lamp and scale arrangement) की सहायता से पढ़ा जा सकता है। सम्पूर्ण प्रबन्ध को एक धात्विक बक्से में बन्द रखा जाता है (चित्र 4.21 में प्रदर्शित नहीं) जिसके सामने की ओर काँच की एक खिड़की तथा आधार पर समतलकारी पेंच (levelling screws) लगे होते हैं।

धारा जिसको मापने करना हो, एक टर्मिनल (terminal) T_1 से प्रवेश करती है तथा निलम्बन, कुण्डली व स्प्रिंग से होकर दूसरे टर्मिनल T_2 से निर्गत होती है। स्थायी चुम्बक के ध्रुव खण्ड बेलनाकार रखे जाते हैं ताकि कुण्डली की प्रत्येक स्थिति में चुम्बकीय क्षेत्र त्रिज्य (radial) रहे अर्थात् कुण्डली का तल प्रत्येक स्थिति में बल-रेखाओं के समान्तर रहे।

सिद्धान्त- जब कुण्डली में धारा 1 प्रवाहित की जाती है तो कुण्डली पर लगने वाला बल-आघूर्ण

T= N i AB sin 90° = NiBA

यहाँ θ कुण्डली के तल पर लम्ब की दिशा तथा चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ की दिशा के बीच कोण है। A कुण्डली का क्षेत्रफल तथा N कुण्डली में फेरों की संख्या है।

धारामापी में चुम्बकीय क्षेत्र $\vec{B}$ को, ध्रुवखण्डों N व S को बेलनाकार बनाकर तृथा कुण्डली के भीतर नर्म लोहे की बेलनाकार क्रोड रखकर "त्रिज्य' (radial) बनाया जाता है। इस दिशा में कुण्डली के तल पर अभिलम्ब चुम्बकीय क्षेत्र B से सदैव समकोण पर होगा (चित्र 4.21) अर्थात् θ = 90° होगा। अत: कुण्डली पर कार्यरत् बलाघूर्ण

t = Ni B A sinθ [θ= 90°]

= NiB A

यदि निलम्बन पत्ती की मरोड़ दृढ़ता (torsional rigidity) c हो तथा निलम्बन पत्ती में ऐंठन Φ हो, तो प्रत्यानयन बल-युग्म = cΦ होगा।

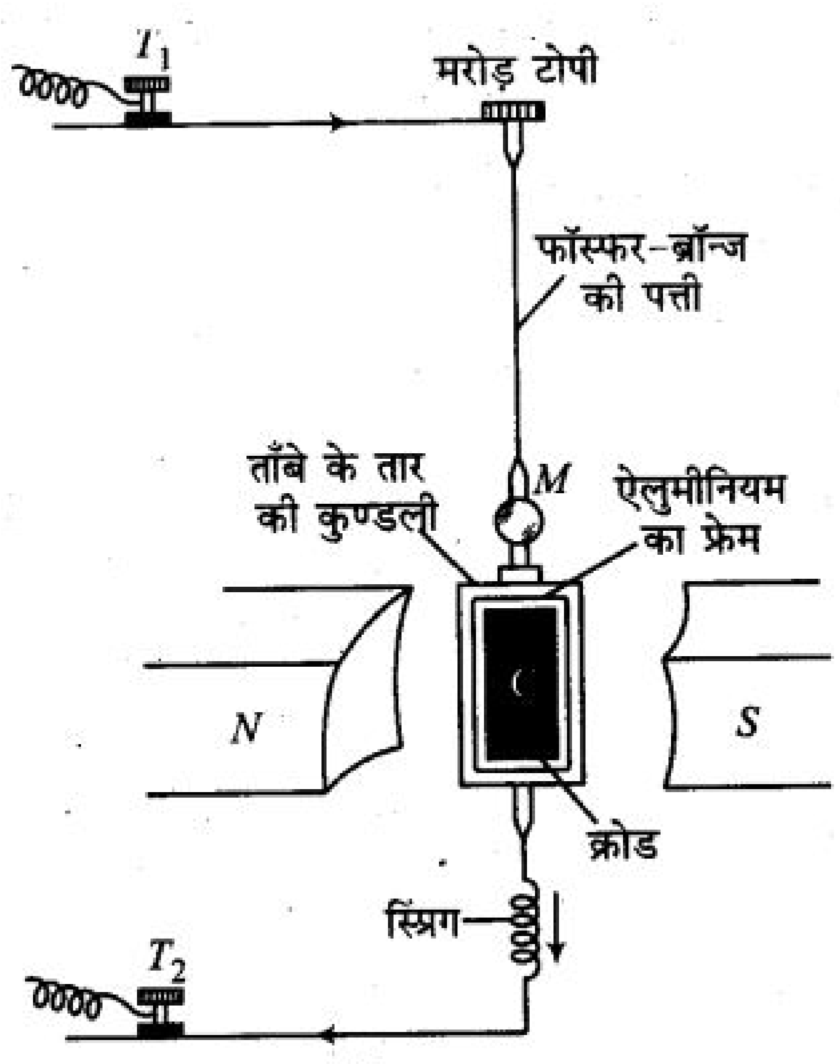
साम्यावस्था के लिये,

विक्षेपक बल-युग्म आघूर्ण = प्रत्यानयन बल-युग्म का आघूर्ण

N i A B = cΦ

$i = \frac{c}{NAB} \Phi = k\Phi$

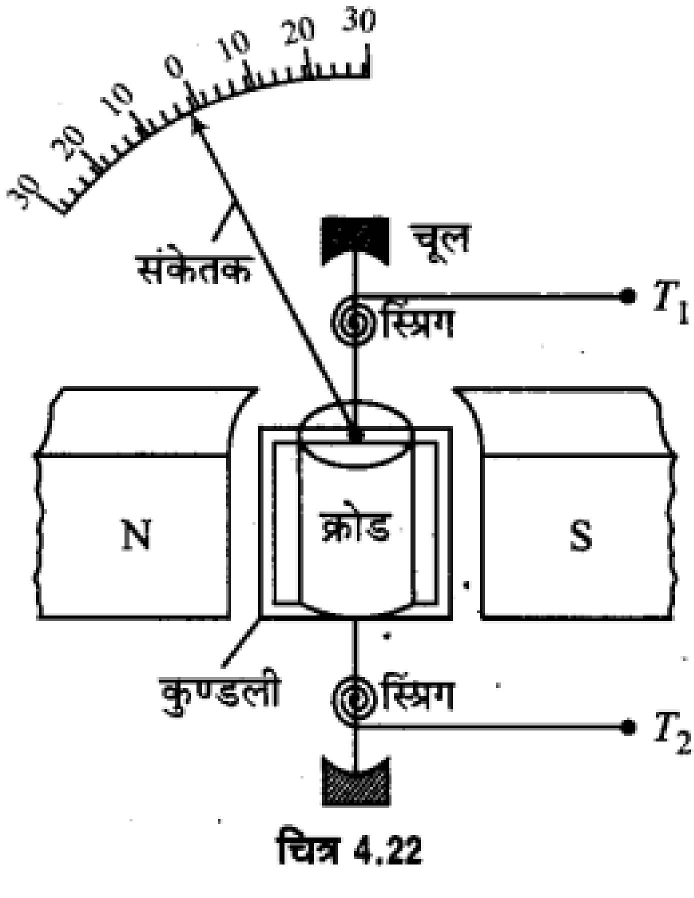
जहाँ, k = c/NAB उपकरण का नियतांक है। जिसे धारा परिवर्तन गुणांक (current reduction factor) भी कहते हैं। अतः धारामापी में प्रवाहित धारा, उत्पन्न विक्षेप के अनुक्रमानुपाती होती है।



चित्र 4.21

2. कीलकित-कुण्डली अथवा वेस्टन धारामापी- यह भी चल कुण्डली धारामापी है। यह निलम्बित-कुण्डली धारामापी की अपेक्षा कुछ कम सुग्राही होता है परन्तु अधिक सुविधाजनक है। इसमें ताँबे के महीन पृथक्कृत तार की, ऐलुमीनियम के फ्रेम पर लिपटी कुण्डली एक स्थायी तथा

शक्तिशाली नाल-चुम्बक के ध्रुव-खण्डों के बीच दो चूलों (pivots) पर झूलती है (चित्र 4.22)। कुण्डलियों के दोनों सिरों पर चूलों के पास दो क्रोड स्प्रिंग लगे रहते हैं जो कुण्डली के घूमने पर ऐंठन बल-युग्म उत्पन्न करते हैं तथा कुण्डली को दो कुण्डली स्प्रिंग : सम्बन्धक-पेचों T_1 व T_2 से जोड़ते हैं। कुण्डली का विक्षेप पढ़ने के लिए कुण्डली के साथ एक ऐलुमीनियम का लम्बा संकेतक लगा रहता है जो एक वृत्ताकार पैमाने पर घूमता है। पैमाने पर बराबर दूरियों पर चिह्न लगे रहते हैं तथा शून्यांक चिह्न बीच में होता है। अतः धारामापी के सम्बन्धक-पेचों पर धन व ऋण के चिह्न नहीं बने होते। चुम्बकीय क्षेत्र को त्रिज्य बनाने के लिए इससे भी ध्रुव-खण्ड अवतलाकार कटे होते हैं तथा कुण्डली के अन्दर मुलायम लोहे की क्रोड लगी होती है। इसका सिद्धान्त के कार्यविधि चल-कुण्डली धारामापी के समान ही है। इसकी सहायता से 10^{-6} ऐम्पियर तक की वैद्युत धारा नापी जा सकती है। धारामापी की सुग्राहिता N, A तथा B का मान बढ़ाकर तथा c का मान कम करके बढ़ाई जा सकती है।



चित्र 4.22

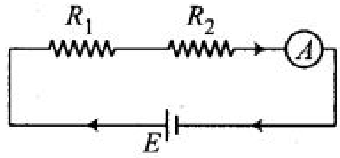
प्रश्न 7.

किसी धारामापी को अमीटर में कैसे परिवर्तित करेंगे? उपयुक्त परिपथ द्वारा स्पष्ट कीजिए। **(2014, 18)**

उत्तर-

धारामापी का अमीटर में रूपान्तरण- अमीटर वह यन्त्र है जो वैद्युत परिपथ में धारा की प्रबलता सीधे ऐम्पियर में नापने के काम आता है। मिलीऐम्पियर की कोटि की धारा नापने वाले यन्त्र को मिलीअमीटर कहते हैं।

अमीटर मूलतः धारामापी ही होता है जिसे परिपथ के श्रेणीक्रम में डाल देते हैं ताकि नापी जाने वाली सम्पूर्ण धारा इसमें से होकर जाये। तब अमीटर में उत्पन्न विक्षेप अमीटर से होकर जाने वाली धारा की माप देगा ($\Phi \propto i$)। परन्तु चूँकि अमीटर की अपनी कुण्डली का भी कुछ प्रतिरोध होता है अतः इसे परिपथ के श्रेणीक्रम में जोड़ने पर परिपथ का प्रतिरोध बढ़ जायेगा जिससे परिपथ में धारा घट जायेगी। अतः अमीटर द्वारा पढ़ा गया धारा का मान, उस धारा के मान से कम होगा जिसे नापना था। अत: यह आवश्यक है कि अमीटर का अपना प्रतिरोध, जितना हो सके कम होना चाहिए ताकि इसे परिपथ में डालने पर नापी जाने वाली धारा का मान न बदले।



चित्र 4.23

माना कि चित्र 4.23 में दिखाये परिपथ में प्रयुक्त सेल का वि० वा० बल E है। अमीटर को जोड़ने से पहले, परिपथ में (नापी जाने वाली) धारा

$$i = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

अमीटर को परिपथ के श्रेणीक्रम में जोड़ देने पर परिपथ का प्रतिरोध बढ़ कर $R_1 + R_2 + R_A$ हो जायेगा, जहाँ R_A अमीटर का प्रतिरोध है। अत: धारा घटकर i' रह जायेगी; जहाँ

$$i' = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_A}$$

अत: अमीटर का विक्षेप i' के मान को व्यक्त करेगा, जबकि नापी जाने वाली धारा का मान i था। इस प्रकार नापे गये मान में $(i - i')$ की त्रुटि होगी। उपरोक्त समीकरणों से

$$i - i' = \frac{E}{R_1 + R_2} - \frac{E}{R_1 + R_2 + R_A}$$

$$= \frac{ER_A}{(R_1 + R_2)(R_1 + R_2 + R_A)}$$

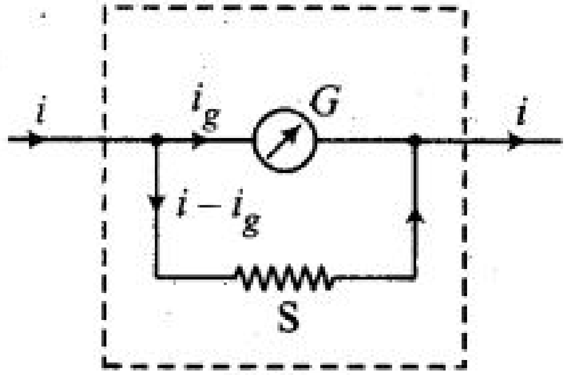
स्पष्ट है इस त्रुटि को पूर्णतः दूर करने के लिए RA का मान शून्य होना चाहिए अर्थात् एक आदर्श अमीटर का अपना प्रतिरोध शून्य होना चाहिए परन्तु शून्य प्रतिरोध का अमीटर प्राप्त नहीं किया जा सकता। अतः व्यवहार में, एक अच्छे अमीटर का अपनी प्रतिरोध परिपथ में उपस्थित अन्य प्रतिरोधों की तुलना में बहुत कम होना चाहिए अर्थात्

$R_A << R_1 + R_2$

तब i का मान लगभग i के ही बराबर होगा।

साधारणतः कीलकित (pivoted type) चल-कुण्डली धारामापी को। ही अमीटर के रूप में प्रयुक्त किया जाता है। इसके लिए इसकी कुण्डली के समान्तर क्रम में एक छोटा प्रतिरोध डाल देते हैं जिसे 'शन्ट' (shunt) कहते हैं (चित्र 4.24)। इस प्रबन्ध का संयुक्त प्रतिरोध धारामापी की कुण्डली तथा शन्ट दोनों के अलग-अलग प्रतिरोधों से कम होता है। अतः जब इसे किसी परिपथ

में डालते हैं तो अमीटर यह परिपथ की धारा में कोई विशेष परिवर्तन नहीं करता। इस प्रकार । चित्र 4.24 यह प्रबन्ध एक अच्छे अमीटर का कार्य करता है।



अमीटर

चित्र 4.24

धारामापी में शन्ट लगाने का एक अन्य लाभ भी है। यदि शन्ट न हो तब परिपथ की पूरी धारा कुण्डली में से होकर जायेगी। इस दशा में धारामापी द्वारा अधिक-से-अधिक उतनी धारा नापी जा सकती है जिससे कि कुण्डली में पूरे पैमाने का विक्षेप (full-scale deflection) हो जाये। शन्ट के होने पर, परिपथ की धारा का केवल एक छोटा भाग ही कुण्डली से होकर जाता है, अधिकांश भाग शन्ट से होकर निकल जाता है। चूंकि कुण्डली का विक्षेप कुण्डली में को जाने वाली धारा के अनुक्रमानुपाती होता है, अत: कुण्डली का विक्षेप काफी कम हो जाता है। अतः अब परिपथ में पहले से कहीं अधिक धारा होने पर कुण्डली में पूरे पैमाने का विक्षेप होता है। इस प्रकार, शन्टयुक्त धारामापी (अमीटर) कहीं अधिक मान की धारा को नाप सकता है। दूसरे शब्दों में, शन्ट लगाने से मापन की परास (range) बढ़ जाती है। (यद्यपि सुग्राहिता घट जाती है)। वास्तव में शन्ट के प्रतिरोध का मान इसी से निर्धारित किया जाता है कि अमीटर किस परास को बनाना है।

माना कि परिपथ की धारा i है, धारामापी की कुण्डली का प्रतिरोध G तथा शन्ट का प्रतिरोध S है। माना। कि धारा का i_g भाग कुण्डली G में तथा शेष भाग $(i - i_g)$ शन्ट S में होकर जाता है। चूंकि G व S समान्तर, में हैं, अतः उनके सिरों के बीच एक ही विभवान्तर होगा।

$$i_g \times G = (i - i_g) \times S \qquad \ldots(1)$$

इससे

$$\frac{i_g}{i} = \frac{S}{S+G},$$

अर्थात् धारामापी की कुण्डली में कुल धारा का केवल $\frac{S}{S+G}$ वाँ भाग प्रवाहित होगा। पुनः समी० (1) से,

$$S = \left(\frac{i_g}{i - i_g}\right) G$$

यदि कुण्डली में धारा ig, के द्वारा पूरे पैमाने का विक्षेप हो तो परिपथ में धारा i होने पर पूरे पैमाने का विक्षेप होगा। अतः स्पष्ट है कि धारामापी के समान्तर में उपरोक्त मान का शन्ट लगाने पर

धारामापी, ऐम्पियर की परास का अमीटर होगा। एक दिये गये धारामापी के लिए i_g का मान प्रयोग द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।