कक्षा –12 Mahesh Chandra Joshi

Lecturer Physics

G.G.I.C. Dharchula

विषय– भौतिक विज्ञान

यूनिट– 03 विद्युत धारा का चुम्बकीय प्रभाव तथा चुम्बकत्व

magnetic effect of electric current and magnetism

पाठ–07 गतिमान आवेश तथा चुम्बकीय क्षेत्र

moving charges and magnetic field

चुम्बकीय क्षेत्र।

एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में गतिमान आवेश पर बल।

एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में आवेशित कण की गति।

गतिमान आवेश पर बल से धारावाही चालक पर बल की व्याख्या।

धारावाही चाल के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र :बायो सेवर्ट नियम।

धारावाही वृत्ताकार लूप अथवा कुण्डली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र।

दो समान्तर धारावाही तारों के बीच बलः ऐम्पियर की परिभाषा।

ऐम्पियर का परिपथीय नियम।

आदर्श आंकिक प्रश्न।

चुम्बकीय क्षेत्र magnetic field – किसी चुम्बक के चारों ओर का वह क्षेत्र जिसमें किसी चुम्बकीय सुई पर एक बल आघूर्ण आरोपित होता है। जिसके कारण वह घुमकर एक निश्चित दिशा में ठहरती है, चुम्बकीय क्षेत्र कहलाता है।

हमारी पृथ्वी भी एक चुम्बक है जिसका चुम्बकीय क्षेत्र है, यदि किसी स्थान पर चुम्बकीय सुई को स्वतंत्रता पूर्वक लटका देते हैं तो वह सदैव उत्तर –दक्षिण दिशा में आकर ठहरती है।

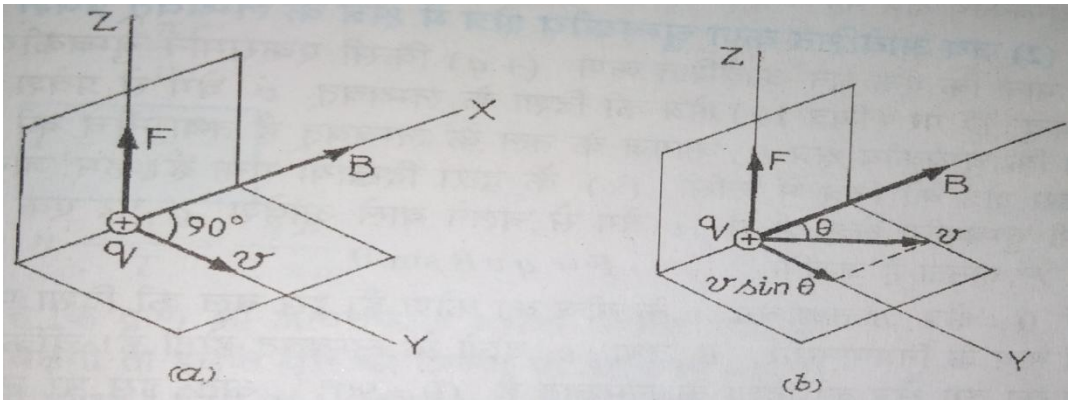
एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में गतिमान आवेश पर बलःलारेन्ज बल

(force ona moving charge in a uniform magnetic field- Lorentz force)

जब कोई आवेशित कण किसी चुम्बकीय क्षेत्र में गति करता है तो कण पर एक बल आरोपित हो जाता है, इसे लॉरेन्ज बल कहते हैं।इस बल की दिशा चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा तथा कण की चलने की दिशा दोनों लम्बवत् होती है।

माना कि एक कण जिस पर +q आवेश है, चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् v वेग से गति कर रहा है।तो इस कण पर लारेन्ज बल(f) का मान निम्न समीकरण के अनुसार है–

$\{f=q.v.B\}$



लारेन्ज बल की दिशा फ्लेमिंग के बाये हाथ के नियम द्वारा ज्ञात की जा सकती है।

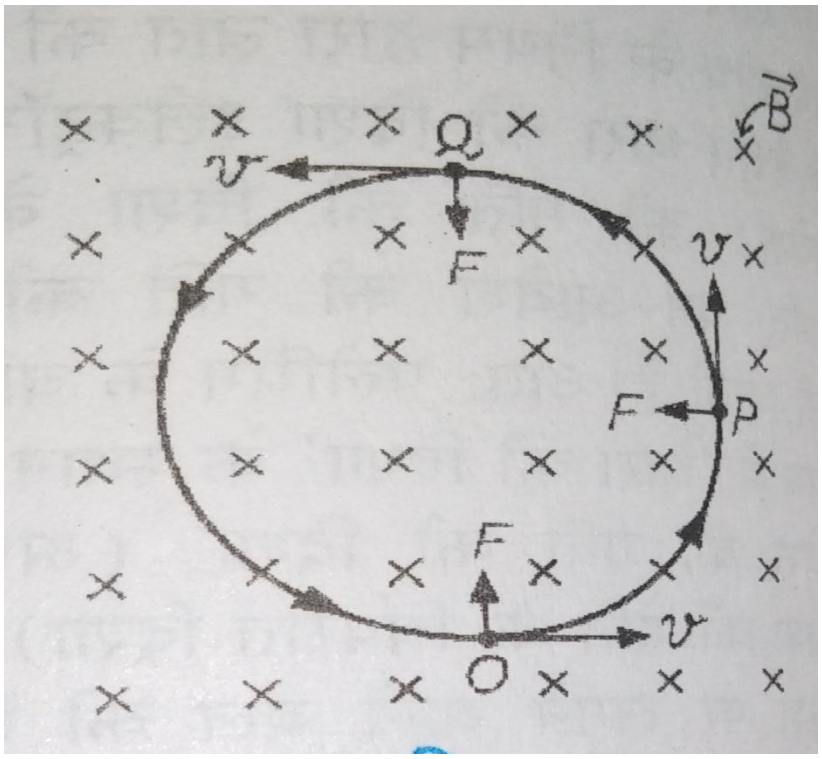
वैद्युत धारा की दिशा इलेक्ट्रानों ऋण आवेश की गति की दिशा के विपरीत है। अतः धन आवेश पर बल की दिशा चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् न होकर उससे कोण बना रही हो, तब कण पर लगने वाला लारेन्ज बल का मा निम्न समीकरण के अनुसार होगा–

यदि तब अर्थात यदि आवेश चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में गति करता है,तब उस पर बल कार्य नहीं करेगा।

एक समान चुम्बकीय क्षेत्र में आवेशित कण की गति–

(motion of a charged particle in a uniform magnetic field)

जब आवेशित कण चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र के समान्तर प्रवेश करता है। जब आवेशित कण चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र के समान्तर प्रवेश करता है तो $\emptyset = 0$ अर्थात $\sin\emptyset = \sin 0 = 0$तब सूत्र F=q.v.B $\sin\emptyset$ से F=0 अर्थात इस दिशा में आवेशित कण की गति पर चुम्बकीय क्षेत्रए का कोई प्रभाव नहीं पड़ेगा। कण समान्तर ऋजुरेखीय पथ पर गति करता है।



जब आवेशित कण चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत प्रवेश करता है। किसी चुम्बकीय क्षेत्र B में V वेग से चलने वाले आवेश पर एक चुम्बकीय बल लगता है जबकि F=q.v.B $\sin \emptyset$ इस बल की दिशा फ्लेमिंग के बाये हाथ के नियम से B तथा V दोनों के लम्बवत होती है। अतः कण पर लगने वाला चुम्बकीय बल F=q.v.B होगा। चूकि बल चित्रानुसार वेग की दिशा के लम्बवत है अतः इसके कारण कण के वेग का परिमाण चाल नहीं बदलता केवल दिशा बदलती है। स्पष्ट है कि कण नियत चाल V से एक वृत्ताकार पथ पर चलेगा तथा चुम्बकीय बल F कण को वृत्ताकार मार्ग में घुमाने के लिए आवश्यक अभिकेन्द्र बल प्रदान करेगा।यदि कण का द्रव्यमान m तथा इसके पथ की त्रिज्या r है । तब अभिकेन्द्र बल $\frac{mv2}{r}$ होगा। अतः F=q.v.B $\frac{mv2}{r}$ तब r = $\frac{mv}{q.B}$स्पष्ट है कि वृत्ताकार पथ की त्रिज्या r कण के संवेग (mv) के अनुक्रमानुपाती तथा विशिष्ट आवेश q/mके व्युत्क्रमानुपाती होती है।

चूकि चुम्बकीय बल के कारण गतिमान आवेशित कण की चाल नहीं बदलती। अतः इसकी गतिज ऊर्जा में कोई अन्तर नहीं आता। केवल इसका पथ सरल रेखा से बदलकर वृत्ताकार हो जाता है। यदि कण की गतिज ऊर्जा K हो तो तब $K=\frac{1}{2}MV^2$ अर्थात $V=\frac{\sqrt{2k}}{m}$ V का मान $r=\frac{mv}{q.B}$ में रखने पर $r=\frac{\sqrt{2mk}}{qB}$

यदि कण V वोल्ट विभवान्तर द्वारा त्वरित किया गया हो ,तब कण की गतिज ऊर्जा K =qv

अतः $r=\frac{1}{B}\frac{\sqrt{2mv}}{q}$

कण अपने एक चक्कर में दूरी तय करता है, यदि कण का आवर्तकाल T हो तब $T=\frac{2\pi r}{v}$

$T=\frac{2\pi}{v}\left(\frac{mv}{q.B}\right)$ $T=\frac{2\pi m}{qB}$ अतः $T=\frac{1}{T}\frac{qB}{2\pi m}$ कण की आवृत्ति अर्थात कण का आवर्तकाल, आवृत्ति कण की चाल v पर निर्भर नहीं करती। यदि कण की चाल v बढेगी तो वृत्त की त्रिज्या भी उतनी ही बढ़ी हो जायेगी जिससे इसका चक्कर लगाने का समय वही रहेगा।

जब आवेशित कण क्षेत्र में तिरछा प्रवेश करता है तब वेग के दो घटकों में वियोजित किया जा सकता है। क्षेत्र (B)के समान्तर घटक $v_{11} = v\cos\emptyset$तथा क्षेत्र (B)के लम्बवत घटक $v_T = v\cos\emptyset$ घटक v_{11} कण को एक ऋजुरेखीय पथ पर चलता है । जबकि घटक v_1 वृत्तीय पथ पर इन दोनों का परिणामी पथ एक कुण्डलिनी के रूप में होता है।जिसकी अक्ष क्षेत्र के समान्तर होती है।

गतिमान आवेश पर बल से धारावाही पर बल की व्याख्या

(explanation of the force on a current carrying conductor on the basis of the force on a moving charge)

जब कोई धारावाही चालक चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो उस पर एक बल लगता है । वास्तव में चालक में धारा मुक्त इलेक्ट्रान की गति के रूप में होती है। जब किसी चालक के सिरों को एक बैटरी के ध्रुवों से जोड़ देते हैं तो चालक में विद्यमान मुक्त इलेक्ट्रान एक निश्चित अनुगमन वेग से एक सिरे से दूसरे सिरे की ओर चलने लगते हैं तथा इसी को वैद्युत धारा कहते हैं।

माना कि धारावाही चालक की लम्बाई L तथा अनुप्रस्थ परिच्छेद का क्षेत्रफल A va है तथा चालक के प्रति एकांक आयतन में मुक्त इलेक्ट्रान की संख्या n है। मान लिया कि इलेक्ट्रान का अनुगमन वेग है।

तब 1 सेकण्ड में चालक के अनुप्रस्थ परिच्छेद में से गुजरने वाल मुक्त इलेक्ट्रानों की संख्या है। यदि एक इलेक्ट्रान पर आवेश की मात्रा neUde होगी।

परिभाषा के अनुसार चालक में 1 सेकण्ड में प्रवाहित आवेश को ही वैद्युत धारा कहते हैं।अतः $I = neAUd$

यदि यह चालक चुम्बकीय क्षेत्र B में क्षेत्र की दिशा से कोण $\emptyset$ बनाये हुए रखा हो, तब क्षेत्र द्वारा प्रत्येक इलेक्ट्रान पर आरोपित लारेन्ज बल

$F_1 = evaB \sin \emptyset$

पूरे चालक का आयतन ल0 ×क्षेत्रफल A.L है। तब पूरे चालक पर लगने वाला बल f =1 इलेक्ट्रान पर बल (f_1)×इलेक्ट्रान की कुल संख्या

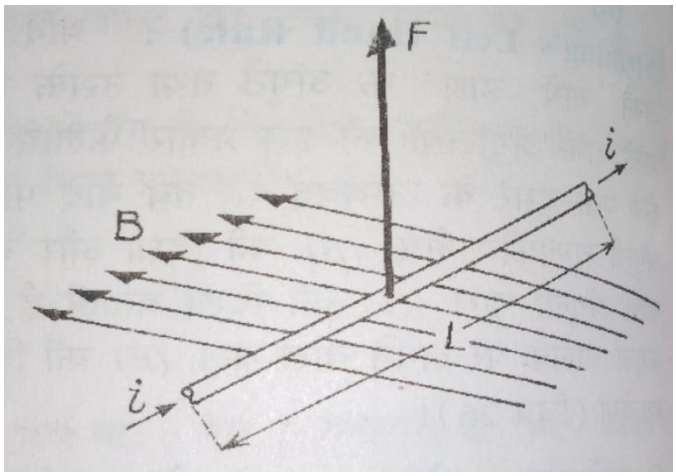
$F = evaB \sin \emptyset \times NAl = neaud \times B\ L \sin \emptyset$ $F = iBL \sin \emptyset$

यह चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित धारावाही चालक पर लगने वाले बल का व्यापक समीकरण है।

चुम्बकीय क्षेत्र की वह दिशा जिसमें स्थित ऋजुरेखीय धारावाही चालक पर कोई बल नहीं लगता। चुम्बकीय क्षेत्र की दशा कहलाती है।यदि चालक चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लम्बवत है $Q=90^0$ $F=IBL\sin\emptyset$

F=iBL

यह अधिकतम बल है जो सदैव उस तल के लम्बवत होता है। इस बल की दिशा फ्लेमिंग के बॉये हाथ के नियम अथवा दॉये हाथ की हथेली नियम न0 से निर्धारित होती है।



चुम्बकीय क्षेत्र का मात्रक $-F=I\ B\ L\ B=\frac{F}{I.L}=\frac{F}{i\times L}$

इस प्रकार चुम्बकीय क्षेत्र क मात्रक Newton/ amp-mtr है। इसके अन्य मात्रक टेस्ला तथा गौस भी है।

$1T=1N/Amp\text{-}mtr\ 1N/Amp\text{-}mtr=10^4$ Gauss

धारावाही चालक के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र : बायो सेवर्ट नियम (Magentic field due to a current carrying conductor Biot-Savart Law)-

जब किसी चालक तार में धारा प्रवाहित की जाती है तो उसके चारों ओर एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। बायो तथा सेवर्ट ने विभिन्न धारावाही चालकों द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र का अध्ययन किया कि किसी धारावाही चालक के लघु अवयव Δl के द्वारा उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र में किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र ΔB का मान निम्नलिखित कारकों पर निर्भर करता है।

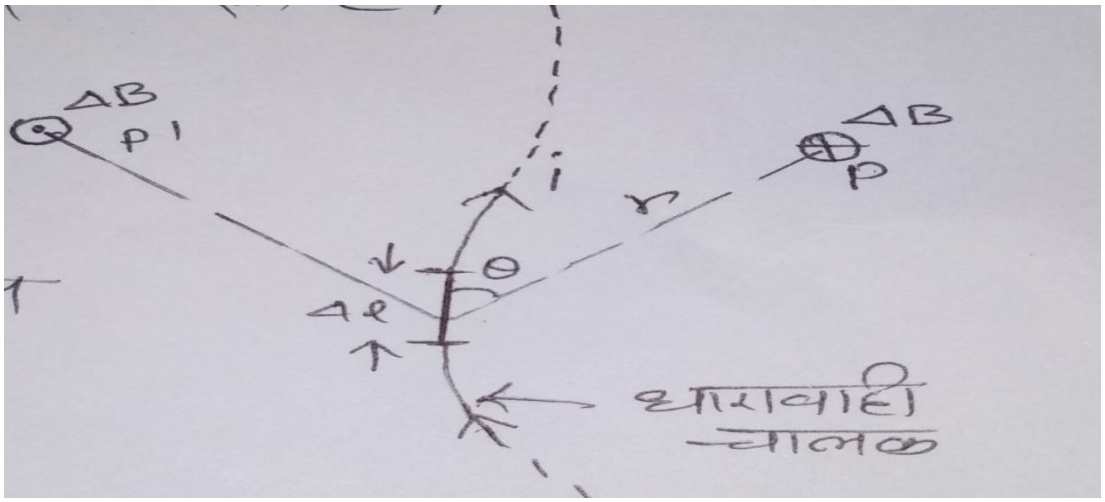
1.चुम्बकीय क्षेत्र ΔB चालक में प्रवाहित धारा I के अनुक्रमानुपाती होता है।

$$\Delta B \propto i$$

2. ΔB चालक के उस लघु अवयव Δl के अनुक्रमानुपाती होता है।

$$\Delta B \propto \Delta l$$

3. ΔB दृबिन्दु P की मिलाने वाली रेखा तथा अवयव की लम्बाई के बीच बनने वाले कोण $\emptyset$ की ज्या के अनुक्रमानुपाती होता है। $\Delta B \propto \sin \emptyset$



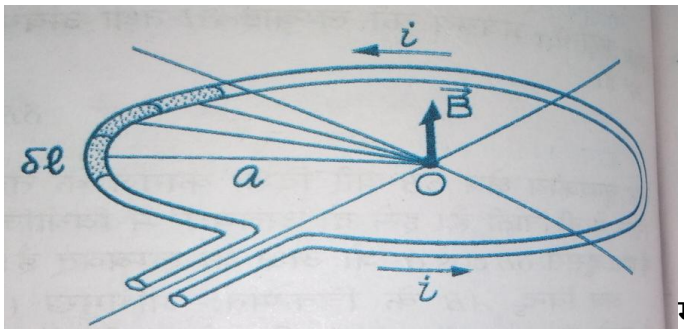
4.. ΔB बिन्द P की अवयव से दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

$\Delta B \propto \frac{1}{r2}$

चारों नियमों को मिलाने पर $\Delta B \propto \frac{i\Delta l.\sin\emptyset}{r2}$

इस संबंध को ही बायो सेवर्ट नियम कहते हैं। यदि चालक निर्वात अथवा वायु में स्थित हो तब $\Delta B = \frac{M0}{4\pi}\frac{i.\Delta l.\sin\emptyset}{r2}$

जहॉ $\frac{M0}{4\pi}$ अनुक्रमानुपाती नियतांक है।M0 को निर्वात की चुम्बकशीलता है। M0 का मान $4\pi \times 10 - 7\ N/Amp2$ अथवा बेबर /ऐम्पियर मी0 है।



धारावाही वृत्ताका लूप अथवा कुण्डली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र—माना कि एक तार मीटर त्रिज्या के वृत्ताकार लूप के रूप में मुड़ा है तथा उसमें ऐम्पियर की धारा है। इस लूप के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करना है

माना इस लूप की परिधि अनेक लघु अवयवों से मिलकर बनी है। इसमें से एक अवयव की लम्बाई है। बायो सेवर्ट के नियम अनुसार अवयव के कारण केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र का मान यहॉ अतः केन्द्र पर क्षेत्र का मान $\Delta B = \frac{M0}{4\pi}\frac{i\ s\ l\ \sin\emptyset}{a2}$

केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा लूप के तल के लम्बवत है।तार का चाहे कोई भी अवयव लिया जाए चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा सभी के लिए एक ही होगी। अतः पूरे लूप द्वारा केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र का मान सभी अवयवों के क्षेत्रों के योग से प्राप्त होगा।

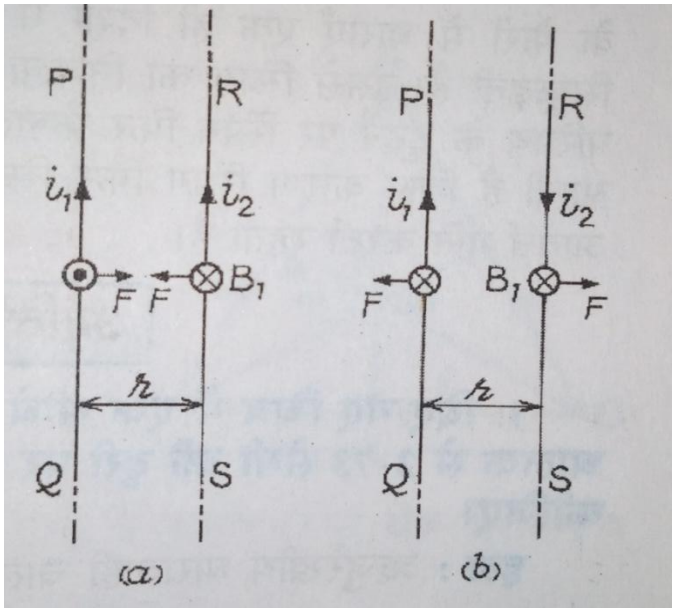
यदि तार एक अकेले लूप में न होकर फेरों की कुण्डली के रूप में हो तो केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र B =$\frac{M0\ N.i}{2a}$ Newton/Amp-mtr

चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा कुण्डली के तल के लम्बवत है। कुण्डली में धारा वामावर्त है।अतः चुम्बकीय क्षेत्र ऊपर की ओर दिष्ट है धारा दक्षिणावर्त हो तो चुम्बकीय क्षेत्र के नीचे की ओर दिष्ट होगा।

दो समान्तर धारावाही तारों के बीच बल –एम्पीयर की परिभाषा

जब किसी चालक तार में धारा प्रवाहित की जाती है तो उसके चारों ओर एक चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। यदि इस चालक के समीप एक दूसरा धारावाही चालक रखें तो यह पहले वाले चालक से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के कारण एक बल का अनुभव करेगा।इसी प्रकार पहला धारावाही चालक दूसरे धारावाही चालक से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र के कारण बल का अनुभव करेगा।

माना दो लम्बे समान्तर व सीधे तार तथा निर्वात में पास –पास रखे हैं जब इन तारों में धारा प्रवाहित की जाती है तो एक दूसरे पर बल आरोपित करते हैं। जब दोनों तारों में एक ही दिशा में होती है तो ये एक दूसरे को आकर्षित करते हैं। परन्तु जब वैद्युत धारा विपरीत दिशा में हो तो एक दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं।



माना तार PQ तथा RS कागज तल में है। इनमें क्रमशः i^1 व l^2 एम्पियर की धाराऐं हैं तथा इनके बीच की दूरी r है।तार PQ की धारा के कारण RS के किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र B1 $=\frac{M0}{2\pi}\frac{i1}{r}$ newton/ amp-mt

दॉये हाथ की हथेली नियम न0 01 के अनुसार B1 की दिशा कागज तल के लम्बवत नीचे की ओर होगी। तार RS में धारा l^2 है तथा B1 के लम्बवत है अतः इस पर एक बल लगता ळें RS की L मीटर लम्बाई पर लगने वाले बल का परिमाण F =i2 B1 L $\sin 90^0$

F = I2($\frac{M0}{2\pi}\frac{l2}{r}$) L $\sin 90^0$

F = $\frac{M0}{2\pi}\frac{i2\ l2\ L}{r}$ newton अतः RS तार की प्रतिमीटर लम्बाई पर लगने वाला बल

$\frac{F}{L}=\frac{M0}{2\pi}\frac{i2\ l2}{r}$ Newton/ mtr

इस बल की दिशा दॉये हाथ की हथेली नियम न0 2 के अनुसार होगी। यदि i2 धारा उसी दिशा में है तो RS पर लगने वाला बल धारा की उसी दिशा में होने पर तो बल तार PQ की ओर दिष्ट होगा और यदि धारा विपरीत दिशा में है तो तार पर लगने वाला बल PQ से दूर की ओर दिष्ट होगा।

यदि प्रत्येक तार में एक ही धारा हो (i1=i2=1) तो दो समान्तर धारावाही तारों के बीच प्रत्येक तार की प्रति मीटर लंबाई पर लगने वाल बल

$\frac{F}{L}=\frac{M0}{2\pi}\frac{i2}{r}$ Newton/mtr

ऐम्पीयर की परिभाषा–एम्पियर की परिभाषा दो समान्तर धारावाही तारों के बीच लगने वाले बल के आधार पर दी जाती है।

एक एम्पियर वैद्युत धारा वह है जो निर्वात अथवा वायु में परस्पर 1 मीटर की दूरी पर स्थित दो ऋजुरेखीय ,लम्बे व समान्तर तारों में प्रवाहित होने पर प्रत्येक तार की प्रति मीटर में प्रवाहित होने पर प्रत्येक तार की प्रति मीटर लम्बाई पर 2×10^{-7} न्यूटन का बल उत्पन्न करती है।

जब r=1 मीटर $\frac{f}{L}=2\times10^{-7}$ N/Mtr तब i=1 Amp

ऐम्पियर का परिपथीय नियम–

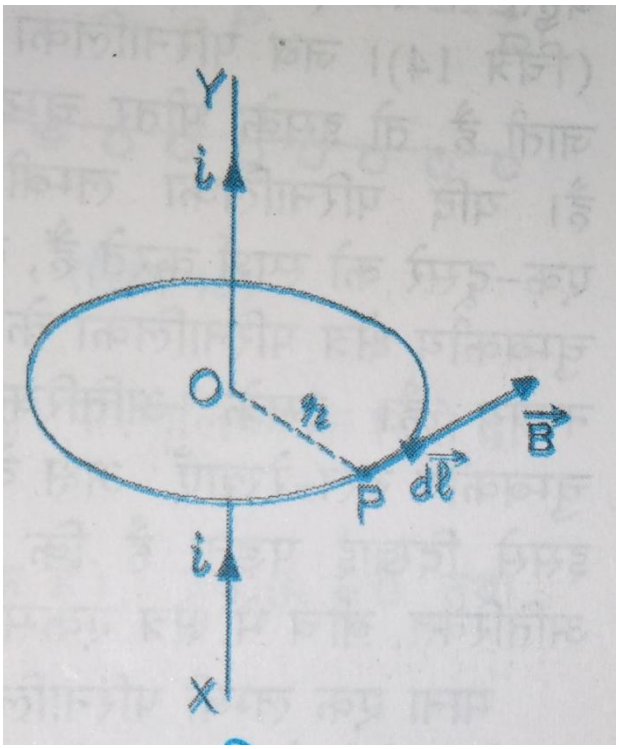
किसी बन्द परिपथ की सीमा के अनुदेशित चुम्बकीय क्षेत्र B का रेखीय समाकलन पथ द्वारा घिरी नेट धारा I का M0 गुना होता है।अर्थात

$$\int B.dl = \text{M0.i}$$

उपपत्ति (proof): माना कागज तल के लम्बवत एक लम्बी तार XY है। जिसमें ऊपर की ओर धारा प्रवाहित हो रही है। माना त्रिज्या r का एक वृत्तीय पथ है जिसका केन्द्र O तार पर है। वृत्तीय पथ के प्रत्येक बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण

$$\text{B}=\frac{M0i}{2\pi r}$$

समान है तथा दिशा वृत्तीय पथ पर खिंची गयी स्पर्श रेखा के अनुदिश है अतः वृत्तीय पथ के प्रत्येक बिन्दु पर (B) तथा dl एक ही दिशा में होंगे।



चुम्बकीय क्षेत्र का पथ के अनुदिश रेखीय समाकलन $-\oint \boldsymbol{B}.\boldsymbol{dl} = \oint \boldsymbol{Bdl}\ \mathbf{cos}\, \boldsymbol{o}°$

$$\oint B\ dl = B \oint dl$$

परन्तु $\oint \boldsymbol{dl} = \mathbf{2}\boldsymbol{\pi r}$ वृत्तीय पथ की लम्बाई$= \mathbf{2}\boldsymbol{\pi r}$ समीकरण (2) में B तथा $\oint \boldsymbol{al}$ का मान रखने पर

B$\oint \boldsymbol{dl}$=$\frac{\boldsymbol{M0i}}{\mathbf{2}\boldsymbol{\pi r}}$ $.\mathbf{2}\boldsymbol{\pi r}$

B$\oint \boldsymbol{dl}$=**M0i**

B=(2 $\boldsymbol{\pi r}$**) = M0i**

$$\left[B = \frac{Moi}{2\pi r}\right]$$

आदर्श प्रश्नः

प्रश्न संख्या–एक इलेक्ट्रान5.0*10^7मीटर/से0 के वेग से1.0 T के चुम्बकीय क्षेत्र में क्षेत्र की दिशा से 30^0के कोण पर प्रवेश करता है। इलेक्ट्रान पर

आरोपित बल की गणना करें?

हल दिया गया है:–

वेग $V=5.0\times10^{7}$ miter/sec

चुम्बकीय क्षेत्र B=1tesla, कोण $Q=30^{0}$

इलेक्ट्रान पर आवेश $e=1.6\times10^{-19}$ coulomb

F=?

इलेक्ट्रान पर आरोपित बल $F=evB\ \mathbf{sin}\ \emptyset$

$F=1.6\times\ 10^{-19}\times5\times10^{7}\times1\times Sin30^{0}$

$F=8\times10^{-12}\times\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}$

$F=4\times10^{-12}$Newton

प्रश्न :–एक इलेक्ट्रान 2×10^{8} mt/sec के वेग से चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत गतिशील है। यदि चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता 3×10^{-2} tesla हो तो उस वृत्तीय पथ की त्रिज्या का परिकलन कीजिए, जिस पर इलेक्ट्रान गति करता है।

दिया है– इलेक्ट्रान का वेग $v=2\times10^{8}$mt/sec

चुम्बकीय क्षेत्र $B=3\times10^{-2}$ telsa

$\emptyset=90^{0}$

इलेक्ट्रान का द्रव्यमान $m=9\times10^{-31}$kg $q=1.6\times10^{-19}$ coulamb

r=?

वृत्तीय पथ की त्रिज्या $r = \frac{m.v}{q.B}$

$r = 9 \times10^{-31}\times2\times10^{8}/1.6\times10^{19}\times3\times10^{-2}$

$r=3.75\times10^{-2}$ miter

r = 375 cm

प्रश्न :– एक वृत्ताकार कुण्डली का व्यास 0.2 मीटर है तथा इसमें तार के 1000 फेरे हैं कुण्डली में 0.1 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित होती है कुण्डली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात करो।

हलः–

कुण्डली का व्यास (2r) =0.2 mtr

त्रिज्या r = 0.1 mtr फेरों की संख्या n = 1000

कुण्डली में धारा i=1.0 Amp

कुण्डली के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र $B=\frac{MoNi}{2r}$

$B = 4\times10^{-7}\times1000\times1/2\times0.1$

$B=6.28\times10^{-3}$ Tesla

प्रश्न :– दो समान्तर तारों में जिनकी पारस्परिक दूरी 0.6 मीटर है। एक समान धारा एक ही दिशा में बह रही है।दोनों के मध्य प्रतिमीटर लम्बाई पर लगने वाला आकर्षण बल 3×10^{-3} है। किसी एक तार में बहने वाली धारा का मान ज्ञात कीजिए।

हलः–

तारों के बीच दूरी r = 0.06 mtr

प्रति मीटर लम्बाई पर बल f =3×10^{-3} newton

दो समान्तर तारों के बीच लगने प्रति एकांक लम्बाई पर बल f =$\frac{\boldsymbol{Mo}}{\boldsymbol{2\tau}}, \frac{\boldsymbol{l1\ l2}}{\boldsymbol{r}}$ (L =1 mtr)

अथवा F =$\frac{\boldsymbol{Mo}}{\boldsymbol{2\tau}}, \frac{\boldsymbol{l2}}{\boldsymbol{r}}$ (i_1=i_2= i)=$2\times^{10\text{-}7}$ i^2/r

अथवा i2 =$\frac{\mathbf{f\times r}}{\mathbf{2\times10^{-7}}}$ =$\mathbf{3\times10^{-3}\times0.06}/_{\mathbf{2\times10^{-7}}}$

i^2=900,I =$\sqrt{\mathbf{900}}$

i=30 amp

संदर्भ सूची– एन0 सी0ई0आर0टी0 पुस्तक कक्षा 12

भौतिक विज्ञान – कुमार मिततल नूतन प्रकाशन।