भौतिकी

अध्याय-4: गतिमान आवेश और चुंबकत्व

चुम्बक, चुम्बकीय क्षेत्र और चुम्बकीय बल रेखाएँ

चुम्बक (Magnet)

चुम्बक (Magnet) वह पदार्थ, जो स्वतन्त्रता पूर्वक लटकाने पर सदैव उत्तर-दक्षिण दिशा में स्थिर हो जाता है तथा जिसमें एक नेट चुम्बकीय आघूर्ण होता है और वह लोहायुक्त वस्तुओं को अपनी ओर आकर्षित करता है चुम्बक कहलाता है। चुम्बक दो प्रकार के होते हैं:

(1) प्राकृतिक तथा

(2) कृत्रिम

1. प्राकृतिक चुम्बक (Natural Magnets)

(i) वह चुम्बक जो प्रकृति में स्वतन्त्र रूप से पाया जाता है प्राकृतिक चुम्बक कहलाता है। जैसे - मैग्नेटाइट।

(ii) इसका रूप व आकार अनिश्चित होता है तथा चुम्बकत्व बहुत प्रबल न होने के कारण इसे प्रायोगिक तथा वैज्ञानिक कार्यों के लिए प्रयुक्त नहीं कर सकते हैं।

2. कृत्रिम चुम्बक (Artificial Magnets)

(i)चुम्बक जिन्हें कृत्रिम ढंग से बनाया जाता है कृत्रिम चुम्बक कहलाते हैं। ये अधिकांशतया लोहे, इस्पात व निकिल के बनाए जाते हैं।

(ii) इसका रूप तथा आकार निश्चित होता है।

(iii) साधारणतया चुम्बक शब्द कृत्रिम चुम्बक के लिए ही प्रयुक्त किया जाता है। कृत्रिम चुम्बक निम्न प्रकार के होते हैं:-

चुम्बक के गुण (Properties of a Magnet

(i) जब किसी चुम्बक को स्वतन्त्रतापूर्वक पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में लटकाते हैं तो वह सदैव उत्तर - दक्षिण (चुम्बकीय यामोत्तर) दिशा में ठहरता है। वह सिरा जो भौगोलिक उत्तर (geographical north) की ओर निर्देशित होता है, उत्तरी ध्रुव तथा वह सिरा जो भौगोलिक दक्षिण की ओर होता है, दक्षिणी ध्रुव कहलाता है। अक्ष

(ii) समान चुम्बकीय ध्रुव एक - दूसरे को प्रतिकर्षित व असमान चुम्बकीय ध्रुव एक दूसरे को आकर्षित करते हैं तथा प्रतिकर्षण या आकर्षण बल दूरी के व्युत्क्रम - वर्ग के नियम का पालन करता है।

(iii) प्रतिकर्षण चुम्बकत्व का निश्चित परीक्षण है।

(iv) चुम्बक लोहे जैसे कुछ निश्चित पदार्थों को आकर्षित करता है।

(v) किसी चुम्बक के एकल ध्रुव का कोई अस्तित्व सम्भव नहीं है। यदि किसी चुम्बक को अनेक छोटे - छोटे भागों में विभक्त कर दें तो भी प्रत्येक खण्ड में चुम्बकीय उत्तरी एवं दक्षिणी दोनों ध्रुव होते हैं।

भू चुंबकत्व

पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र, जिसे भू-चुंबकीय क्षेत्र के रूप में भी जाना जाता है। वही चुंबकीय क्षेत्र है जो पृथ्वी के आंतरिक भाग में से अंतरिक्ष में फैलता है पृथ्वी एक विशाल चुम्बक है, जिसका अक्ष लगभग पृथ्वी के घूर्णन अक्ष पर पड़ता है।

चुम्बकत्व, ऐसी प्रक्रिया है, जिसमें एक वस्तु दूसरी वस्तु पर आकर्षण या प्रतिकर्षण बल लगाती है। सभी वस्तुएँ चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति से प्रभावित होती हैं। पृथ्वी भी चुम्बकीय क्षेत्र प्रदर्शित करती है। इसे 'भू-चुम्बकत्व' कहते हैं।

चुंबकीय क्षेत्र

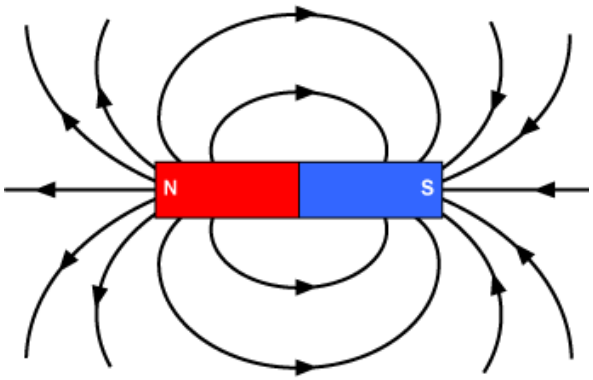
चुंबकीय सुई द्वारा चुंबकीय क्षेत्र की दिशा ज्ञात की जाती है। अतः यह एक सदिश राशि है इसे B से प्रदर्शित करते है चुंबकीय क्षेत्र का SI मात्रक वेबर/वर्गमीटर (Weber/m^2) या टेसला (Tesla) है।

चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता विमीय सूत्र - $M^1L^0T^{-2}A^{-1}$ है।

चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field)

किसी चुम्बकीय ध्रुव या चुम्बक या धारावाही तार के चारों ओर का वह क्षेत्र जिसमें इसके प्रभाव का अनुभव किया जा सकता है चुम्बकीय क्षेत्र कहलाता है।

चुम्बकीय क्षेत्र को रेखाओं या वक्रों के एक समूह द्वारा भली - भाँति प्रदर्शित किया सकता है।



चुम्बकीय बल रेखाएँ

चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा चुम्बकीय बल रेखाओं द्वारा प्रदर्शित होती चुम्बकीय बल रेखाएँ (Magnetic Lines of Force) वे काल्पनिक रेखाएँ जो चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा व्यक्त करती हैं चुम्बकीय बल रेखाएँ कहलाती हैं।

चुम्बकीय बल रेखाएँ वे काल्पनिक बन्द पथ हैं जिसके अनुदिश एकांक उत्तरी ध्रुव (कल्पित) चुम्बकीय बल के कारण गति करता है (यदि वह गति करने के लिए स्वतन्त्र है) चुम्बकीय बल रेखा कहलाती है।

चुम्बकीय बल रेखाओं के गुण (Properties of Magnetic Lines of Force)

(i) चुम्बकीय बल रेखाएँ - बन्द वक्र होती हैं। चुम्बक के बाहर इनकी दिशा उत्तरी ध्रुव (N) से दक्षिणी ध्रुव (S) की ओर होती है जबकि चुम्बक के भीतर S से N की ओर होती है।

(ii) चुम्बकीय बल रेखा के किसी बिन्दु पर खींची गई स्पर्श रेखा उस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को व्यक्त करती है।

(iii) दो चुम्बकीय बल रेखाएँ कभी एक - दूसरे को नहीं काटती है क्योंकि ऐसा होने पर कटान बिन्दु पर खींची गई दो स्पर्श रेखाएं ठस बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की दो दिशाओं को प्रदर्शित करेंगी जो कि असम्भव है।

(iv) चुम्बकीय ध्रुवों के निकट चुम्बकीय बल रेखाएँ पास - पास तथा ध्रुवों से दूर चुम्बकीय बल रेखाएँ दूर - दूर होती हैं।

(v) चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं की सघनता, चुम्बकीय क्षेत्र की प्रबलता का मापक है।

(vi) एक अकेले चुम्बकीय ध्रुव के कारण चुम्बकीय क्षेत्र रेखाएँ प्राप्त करना सम्भव नहीं है।

(vii) उदासीन बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की परिणामी तीव्रता शून्य होने के कारण चुम्बकीय सुई किसी भी दिशा में ठहर सकती है।

(viii) चुम्बकीय क्षेत्र रेखाओं का न तो प्रारम्भिक बिन्दु होता है और न ही अन्त बिन्दु।

(ix) यदि नर्म लोहे के खोखले गोले को चुम्बकीय क्षेत्र में रख दें तो गोले के अन्दर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य होता है अर्थात् नर्म लोहे का गोला चुम्बकीय परिरक्षण (magnetic shielding) का कार्य करता है।

विद्युत धारा का चुंबकीय प्रभाव -चुम्बकीय क्षेत्र, ऐम्पियर का नियम, चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा

चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field)

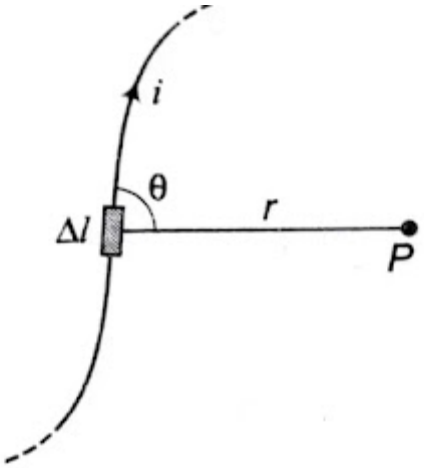
एक धारावाही चालक के चारों ओर का वह क्षेत्र जिसमें चुम्बकीय प्रभाव का अनुभव होता है, चुम्बकीय क्षेत्र कहलाता है। चुम्बकत्व (magnetics) में किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की गणना के लिए मूलभूत (basically) दो विधि है।

इनमें से एक बायो - सेवर्ट (Biot Savart) नियम है जो किसी बिन्दु पर अनन्त सूक्ष्म (infinitesimal) धारावाही तार के कारण चुम्बकीय क्षेत्र दर्शाता है।

तथा अन्य ऐम्पियर (Ampere) का नियम है जो स्थायी धारा (steady current) वाले अधिक सममित रचना (highly symmetric configuration) के चुम्बकीय क्षेत्र की गणना में लाभदायक है।

किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र की गणना बायो - सेवर्ट (Biot Savart) के नियम के द्वारा की जा सकती है। इस नियम अनुसार धारावाही चालक के कारण किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात किया जाता है।

बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता



dB ∝ I (धारा)

dB ∝ dl (अल्पांश की लंबाई)

अल्पांश की लंबाई द्वारा बिंदु p को मिलाने वाली रेखा के बीच बने कोण dB ∝ sinθ

अल्पांश से बिंदु p तक की दूरी dB ∝ $1/r^2$

$$|dB| = \frac{\mu_\circ}{4\pi}\left(\frac{Idl\sin\theta}{r^2}\right)$$

ऐम्पियर का परिपथीय नियम (Ampere's Circuital Law)

इस नियम के अनुसार, " किसी बन्द पथ या परिपथ के अनुदिश चुम्बकीय क्षेत्र के रेखीय समाकलन (linear integral) का मान, उस पथ से घिरे पृष्ठ से गुजरने वाली कुल धारा के मान का μ_o गुना होता है।

$$\int B.dl = \mu_\circ I_{net}$$

इसका सरलतम रूप है,

$$B.l = \mu_\circ I_{net}$$

μ_o = permeability of free space = $4\ \pi \times 10^{-15}$ N/ A^2

यह समीकरण निम्न शर्तों में ही प्रयोग की जाती है

(a) बन्द पथ के प्रत्येक बिन्दु पर,

(b) बन्द पथ के प्रत्येक स्थान पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण समान रहता है।

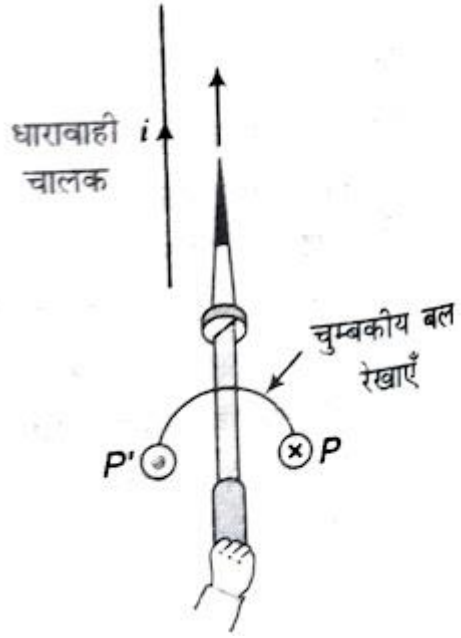
चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा ज्ञात करने के नियम (Rules to Find the Direction of Magnetic Field)

दाएँ हाथ की हथेली का नियम (Right Hand Palm Rule)

यदि हम दाएँ हाथ की हथेली को इस प्रकार फैलाएँ कि अंगूठा चालक में प्रवाहित धारा की दिशा में हो तथा अँगुलियाँ माध्यम के उस बिन्दु की ओर हों जिस पर हमें क्षेत्र की दिशा ज्ञात करनी है, तब चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा हथेली के लम्बवत् बाहर की ओर दिष्ट होती है।

मैक्सवेल का दक्षिणावर्ती पेंच का नियम (Maxwell's Right Handed Screw Rule)

यदि हम पेंचकस को दाएँ हाथ से पकड़कर पेंच को इस प्रकार घुमायें कि पेंच की नोक चालक में बहने वाली धारा की दिशा में आगे बढ़े तो माध्यम के किसी बिन्दु पर जिस दिशा में अँगूठा घूमता है, वही दिशा उस बिन्दु पर चुम्बकीय बल रेखाओं की दिशा होती है।



धारावाही चालक द्वाराउत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा बिन्दु P पर कागज के तल के लम्बवत् अन्दर की ओर तथा बिन्दु P ' पर कागज के तल के लम्बवत् बाहर की ओर होती है।

बायो-सेवर्ट नियम

इस नियम अनुसार धारावाही चालक के कारण किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र ज्ञात किया जाता है एक समीकरण है जो एक बिंदु पर प्रवाहित धारा द्वारा उत्पादित चुंबकीय क्षेत्र B का मान बताता है।

बायो-सेवर्ट नियम विद्युत चुंबकत्व के तहत एक समीकरण है जो एक बिंदु पर प्रवाहित धारा द्वारा उत्पादित चुंबकीय क्षेत्र B का मान बताता है।

सदिश राशि B, परिमाण, दिशा, लंबाई और बिंदु से दूरी पर निर्भर करती है। यह नियम केवल स्थिर अवस्था में ही मान्य है और इससे प्राप्त B के मान एम्पीयर के नियम और गॉस के नियम से प्राप्त चुंबकीय क्षेत्र के अनुरूप हैं।

बायो सेवर्ट का नियम का व्यंजक सत्यापन

बायो - सेवर्ट के नियम द्वारा किसी धारावाही चालक के कारण किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात किया जाता है। धारा अवयव (Current Element) धारावाही चालक तार के किसी अल्पांश की लम्बाई dl और उसमें से बहने वाली धारा I के गुणनफल को धारा अवयव कहते हैं।

धारा अवयव एक सदिश राशि है। इसकी दिशा धारा प्रवाह की दिशा में होती है।

किसी धारावाही चालक के एक अल्पांश dl के द्वारा किसी बिन्दु P पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र B का मान

बिंदु P पर चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता

dB ∝ I (धारा)

dB ∝ dl (अल्पांश की लंबाई)

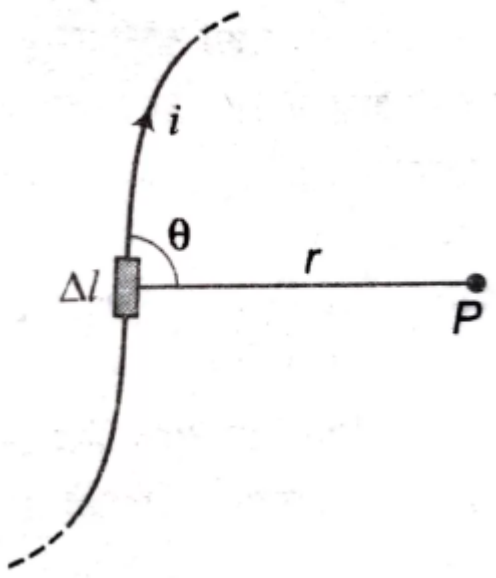
अल्पांश की लंबाई द्वारा बिंदु p को मिलाने वाली रेखा के बीच बने कोण dB ∝ sinθ

अल्पांश से बिंदु p तक की दूरी dB ∝ $1/r^2$

बायो सेवर्ट नियम का सूत्र

$$|dB| = \frac{\mu_\circ}{4\pi}\left(\frac{Idl\sin\theta}{r^2}\right)$$

बायो- सावर्ट का नियम सदिश रूप



चालक में प्रवाहित धारा के अनुक्रमानुपाती होता है।

$$\Delta B \propto i$$

चालक के उस अल्पांश की लम्बाई Δl के अनुक्रमानुपाती होता है।

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

अल्यांश की लम्बाई और अल्पांश को बिन्दु P से मिलाने वाली रेखा के बीच बने कोण की ज्या के समानुपाती होता है।

$$\Delta B \propto \sin\theta$$

यह बिन्दु P की अल्पांश से दूरी r के वर्ग के व्युक्कमानुपाती होता है

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

जहाँ $\frac{\mu_0}{4\pi}$ समानुपाती नियतांक है। इसका मान 10^{-7} वेबर/ऐम्पियर-मी है।

μ_0 निर्वात की चुम्बकशीलता है।

μ_0 का विमीय सूत्र $[MLT^{-2}A^{-2}]$ होता है।

बायो-सेवर्ट के नियम का वेक्टर स्वरूप

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu_0 i}{4\pi}\left(\frac{\overrightarrow{dl} \times \vec{r}}{r^3}\right)$$

dB की दिशा $\overrightarrow{dl} \times \vec{r}$ की दिशा में होती है।धारा घनत्व के पदों में बायो-सेवर्ट का नियम

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi}\left(\frac{\overrightarrow{j} \times \overrightarrow{r}}{r^3}\right) dV$$

यदि dl व r परस्पर समान्तर हों अर्थात् $\theta = 0°$ तो $B = 0$

जब dl व r परस्पर लम्बवत् हों अर्थात् $\theta = 90°$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\Sigma\frac{idl}{r^2}$$

आवेश तथा आवेश के वेग के पदों में बायो-सेवर्ट का नियम

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q(\vec{v} \times \vec{r})}{r^3}$$

चुम्बकीय क्षेत्र का मात्रक वेबर/मीटर^2 या टेस्ला होता है।

यह नियम वर्ष 1720 में तैयार किया गया था। यह नियम कूलाम्ब के नियम के समान है, जिसका उपयोग स्थिर इलेक्ट्रिक्स में किया जाता है।

बायो - सावर्ट नियम के कुछ तथ्य

- यह नियम केवल सममित आवेश वितरणों के लिए लागू होता है।
- इस नियम को प्रयोग द्वारा सत्यापित नहीं किया जा सकता है।
- यह नियम केवल छोटी लम्बाई के धारावाही चालकों के लिए लागू होता है।
- यह नियम स्थिर - वैद्युतिकी (electrostatics) में कूलॉम के नियम के समतुल्य होता है।
- यदि $\theta = 0$ या बिन्दु P रेखीय धारावाही चालक की अक्ष पर हो तो dB = 0 अर्थात् रेखीय धारावाही चालक के किसी भी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र शून्य होता है।

बायो-सेवर्ट नियम के अनुप्रयोग Applications of the Bio-Savart Rule

किसी धारावाही अल्पांश के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} = \frac{I\Delta l \sin\theta}{r^2}$$

जहाँ μ_0, निर्वात की चुम्बकरीलता है।

किसी अनन्त लम्बाई के धारावाही चालक के कारण d दूरी पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

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

किसी घारावाछी कुण्डली के केन्द्र पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$$

किसी परिनालिका के केन्द्र पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \mu_0 NI$$

जहाँ N परिनालिका की प्रति एकांक लम्बाई में फेरों की संख्या है

परिनालिका के सिरे पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2}$$

ऐम्पियर का परिपथीय नियम

ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुसार निर्वात / वायु में किसी भी बंद पथ के अनुदिश चुम्बकीय क्षेत्र का रेखीय समाकलन (∫B.dl), निर्वात की चुंबकशीलता (μ_o)Σl (पथ से गुजरने वाली धाराओं के बीजगणितीय योग) के बराबर होता है

OR

इस नियम के अनुसार, "किसी बन्द पथ या परिपथ के अनुदिश चुम्बकीय क्षेत्र के रेखीय समाकलन (linear integral) का मान, उस पथ से घिरे पृष्ठ से गुजरने वाली कुल धारा के मान का μ_oगुना होता है।"

गणितीय रूप

$\int B.dl = \mu_o \Sigma I$

इसका सरलतम रूप है,

$B\ l = \mu_o\ I_{net}$

μ_o = निर्वात की चुंबकशीलता = $4\ \pi \times 10^{-15}$ N/ A^2

यहाँ ∫B.dl चुम्बकीय क्षेत्र का रेखीय समाकलन है

Σl = पथ से गुजरने वाली धाराओं के बीजगणितीय योग

यह समीकरण निम्न शर्तों में ही प्रयोग की जाती है

(a) बन्द पथ के प्रत्येक बिन्दु पर,

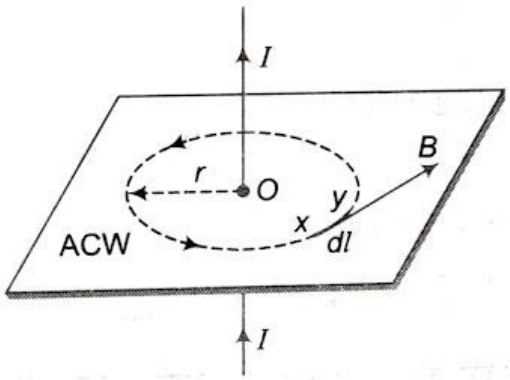
(b) बन्द पथ के प्रत्येक स्थान पर चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण समान रहता है।

दाहिने हाथ का नियम का उपयोग करके धारा की दिशा ज्ञात करते है है तथा धारा के मान के साथ दिशा का उपयोग करते हुए पथ से गुजरने वाली धाराओं का बीजगणितीय योग ज्ञात किया जाता है।

B (net) ज्ञात करने के लिए तार को छोटे छोटे अल्पांश में मानकर जिनकी लम्बाई dl है इन अल्पांश कारण चुम्बकीय क्षेत्र का मान ज्ञात किया जाता है फिर सबका योग किया जाता है।

ऐम्पियर के परिपथीय नियम के अनुप्रयोग (Applications of Ampere's Circuital Law)

अनन्त लम्बाई के पतले एवं सीधे धारावाही चालक तार के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field due to a Straight and Thin Conducting Wire of Infinite Length) यदि अनन्त लम्बाई के पतले, सीधे चालक तार में प्रवाहित धारा I हो तब चालक को केन्द्र लेकर। त्रिज्या का एक काल्पनिक वृत्त लेते हैं। XY का dl लम्बाई का अल्पांश है। B एवं d समान दिशा में है,



क्योंकि $\vec{B}$ की दिशा वृत्त पर स्पर्श रेखा के अनुदिश है।

अत: ऐम्पियर के परिपथ नियम से—

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

$$\oint \vec{B}\, dl \cos\theta = \mu_0 I \qquad (\text{जहाँ } \theta = 0°)$$

$$\Rightarrow \quad \oint B\, dl \cos 0° = \mu_0 I$$

$$\Rightarrow \quad B\oint dl = \mu_0 I \qquad \left(\text{जहाँ } \oint dl = 2\pi r\right)$$

$$B(2\pi r) = \mu_0 I$$

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