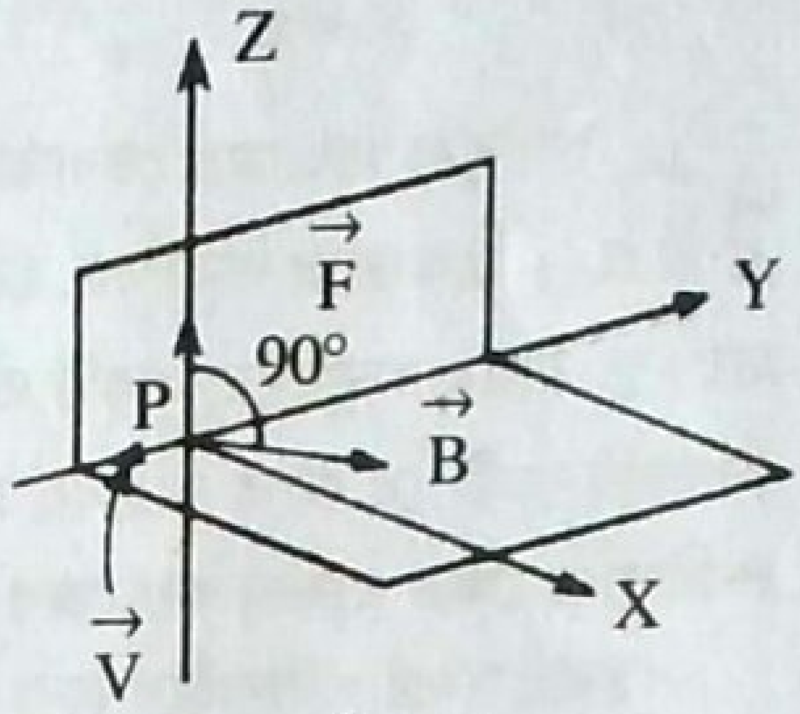
4.2. B-ভেক্টরের সংজ্ঞা (The definition of Vector-B)

আমরা জানি যে, কোনো অজানা তড়িৎ ক্ষেত্রের মান এবং অভিমুখ জানতে হলে ওই ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে পরীক্ষাধীন আধানের (q_0) উপর কার্যকর বলের মান এবং অভিমুখ নির্ণয় করতে হয়। একইভাবে চুম্বকক্ষেত্র সম্পর্কে জানতে হলে চুম্বকক্ষেত্রে একটি গতিশীল পরীক্ষাধীন আধানের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান এবং অভিমুখ জানতে হবে।



চিত্র 1.1

মনে করি, একটি পরীক্ষাধীন আধান q_0 চুম্বকক্ষেত্রের P-বিন্দু দিয়ে $\vec{V}$ গতিবেগে চলছে। যদি আধানটির উপর $\vec{F}$ পার্শ্ববল ক্রিয়া করে তাহলে বুঝতে হবে যে P-বিন্দুতে চুম্বকক্ষেত্র ক্রিয়া করছে এবং $\vec{B}$ ভেক্টরটিকে $\vec{F}$ এবং অন্যান্য রাশির সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

এখন মান অপরিবর্তিত রেখে যদি $\vec{V}$-এর অভিমুখ পরিবর্তন করা হয় তাহলে দেখা যায় যে, $\vec{F}$ বল সর্বদা $\vec{V}$-এর সমকোণে থাকলেও $\vec{F}$ বলের মান এক থাকে না। $\vec{V}$-এর একটি বিশেষ দিক আছে যখন গতিশীল আধানের উপর কোনো বল ক্রিয়া করে না। এই দিকই $\vec{B}$ ভেক্টরের অভিমুখ নির্দেশ করে।

B ভেক্টরের অভিমুখ এইভাবে নির্ণীত হবার পর গতিশীল আধানের গতিবেগ চুম্বকক্ষেত্রের সমকোণে নির্দিষ্ট করা হল। কণার উপর কার্যকর বল $\vec{B}$ এবং $\vec{V}$ উভয় ভেক্টরের সমকোণে থাকে। আর যদি আধানের গতিবেগ চুম্বকক্ষেত্রের সমকোণে না থেকে φ কোণে আনত থাকে তাহলে আধানটির উপর কার্যকর বল চুম্বকক্ষেত্র এবং $V\sin\varphi$ ($\vec{B}$-এর সমকোণে $\vec{V}$ উপাংশ) উপাংশের সমকোণে থাকে। এই বলের মান $V\sin\varphi$-এর অভিলম্ব। সুতরাং P-বিন্দুতে B ভেক্টরের মান হল,

$$B = \frac{F}{q_0 V\sin\varphi} \quad \text{বা,} \quad F = q_0 VB\sin\varphi$$

ভেক্টর আকারে লিখলে, $\vec{F} = q_0(\vec{V}\times\vec{B})$ .... (i)

এই বলকে **লরেঞ্জ বল** বলে। এই সমীকরণ থেকে প্রতীয়মান হয় যে, (i) $\vec{F}$ ভেক্টর $\vec{V}$ এবং $\vec{B}$ যে তলে অবস্থিত তার সমকোণে অবস্থিত।

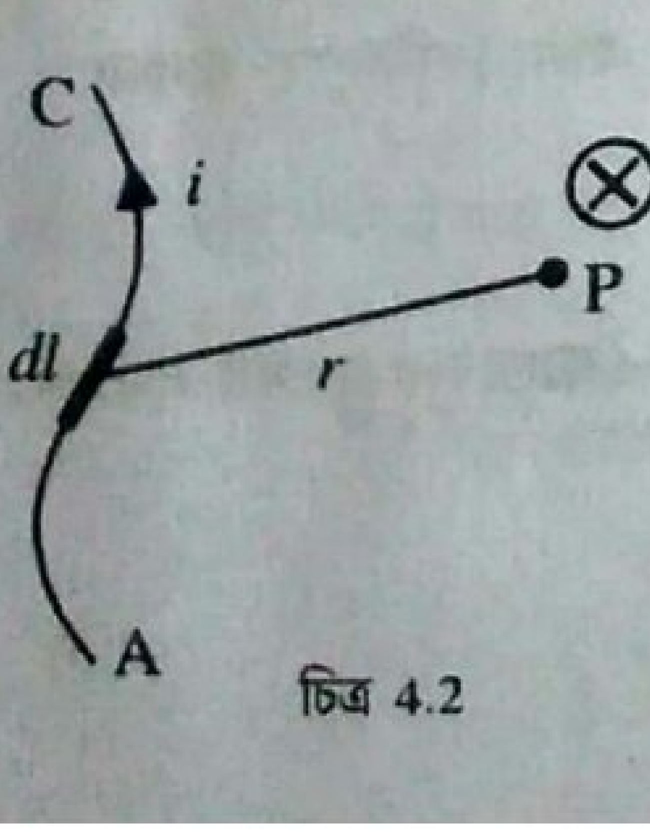
$\vec{B}$ ভেক্টরের একক (i) নং সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়। এর একক হল ($NC^{-1}\,m^{-1}s$)। এর বিশেষ নাম হল Wb/m^2 (বা Tesla)।

এখন যদি আহিত কণাটি এমন একটি অঞ্চল দিয়ে গতিশীল হয় যেখানে তড়িৎক্ষেত্র এবং চুম্বকক্ষেত্রে যুগপৎ ক্রিয়া করে তাহলে কণার উপর লব্ধিবল,

$$\vec{F} = q_0\vec{E} + q_0(\vec{V}\times\vec{B}) \quad \text{.................... (4.1)}$$

চুম্বকক্ষেত্রে গতিশীল আহিত কণার উপর বল ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম অনুসারে পাওয়া যায়।

4.3. বায়ো-স্যাভার্ট সূত্র (Biot-Savart's law)



চিত্র 4.2

কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হলে পরিবাহীর চারদিকে একটি চুম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। পরিবাহীর কাছে কোনো বিন্দুতে ওই চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বায়ো-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগে নির্ণয় করা যায়।

ধরি, AC পরিবাহীতে প্রবাহমাত্রা i এবং ওই পরিবাহীর একটি ক্ষুদ্র অংশ dl। এখন dl-এর মধ্যবিন্দু থেকে r দূরত্বে P একটি বিন্দু যেখানে উৎপন্ন চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।

বায়ো-স্যাভার্টের সূত্রানুসারে, dl অংশের জন্য P-বিন্দুতে চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য,

$$dB = \frac{\mu o}{4\pi} \cdot \frac{i\, dl\, \sin\theta}{r^2} \quad \therefore \quad \vec{dB} = \frac{\mu o}{4\pi} \cdot \frac{i\, \vec{dl} \times \vec{r}}{r^3}$$

μ_0 হল শূন্য মাধ্যমের ভেদ্যতা এবং এর মান $4\pi \times 10^{-7}$ Wb / A - m। স্পষ্টত P বিন্দুতে চুম্বক ক্ষেত্র $\vec{dl}$ এবং $\vec{r}$ যে তলে অবস্থিত তার লম্ব তলে অবস্থিত এবং অভিমুখ "স্ক্রু-নিয়ম" অনুসারে নির্ণয় করা যায়। স্ক্রু-নিয়ম অনুসারে, একটি ডানহাতি স্ক্রুকে প্রথম ভেকটর $\vec{dl}$ থেকে দ্বিতীয় ভেকটর $\vec{r}$-এর দিকে ঘোরালে স্ক্রুটি যে দিকে অগ্রসর হয় $\vec{dB}$ ভেকটরের অভিমুখ সেই দিকে। **এখানে AC পরিবাহীর জন্য P-বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য কাগজের তলের সমকোণে এবং ভিতরের দিকে ⊗ চিহ্ন দ্বারা দেখানো হয়েছে।**

সুতরাং সমগ্র পরিবাহীর জন্য P-বিন্দুতে চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য হবে—

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int \frac{\vec{dl} \times \vec{r}}{r^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.2)$$

SI পদ্ধতি $\vec{B}$-ভেকটরের একক Wb / m^2 বা টেস্‌লা (T) এবং C. G. S. পদ্ধতিতে B ভেকটরের একক Gauss। এই দুই এককের মধ্যে সম্পর্ক : $1\ T = 10^4$ Gauss

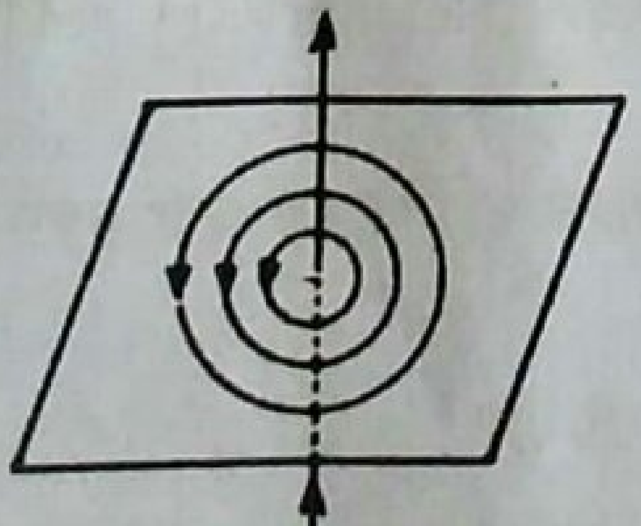
সুতরাং $\vec{H}$ ভেকটরের মান, $H = \frac{1}{4\pi} i \int \frac{dl \sin\theta}{r^2} \quad \therefore \quad \vec{H} = \frac{1}{4\pi} i \int \frac{\vec{dl} \times \vec{r}}{r^3}$

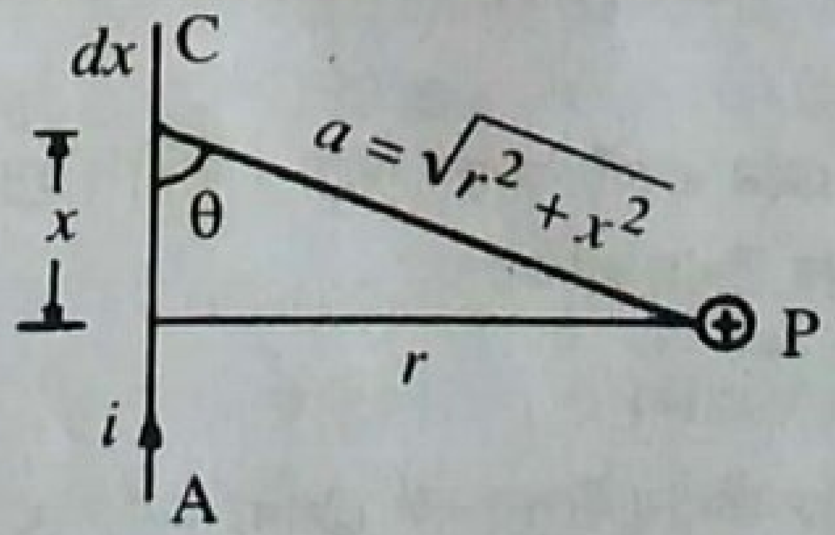
$\vec{H}$-এর একক Am^{-1}

• বায়ো-স্যাভার্ট সূত্রের প্রয়োগ •

4.4. তড়িদ্‌বাহী দীর্ঘ ঋজু পরিবাহীর জন্য চুম্বকক্ষেত্র (Magnetic field due to long straight conductor)

তড়িদ্‌বাহী দীর্ঘ ঋজু পরিবাহীর চারদিকে উৎপন্ন চুম্বকক্ষেত্রের বলরেখাগুলি বৃত্তাকার হয় যাদের কেন্দ্র পরিবাহীর উপর অবস্থান করে এবং এই বলরেখাসমূহ পরিবাহীর অভিলম্ব তলে অবস্থিত [চিত্র 4.3]।


চিত্র 4.3



চিত্র 4.4

মনে করি, AC একটি দীর্ঘ ঋজু পরিবাহী এবং এর প্রবাহমাত্রা i [চিত্র 4.4]। পরিবাহী থেকে r-দূরত্বে P বিন্দুতে উৎপন্ন চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। পরিবাহীর ক্ষুদ্র অংশ dx এর জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i\, dx\, \sin(180 - \theta)}{a^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\, \frac{i\, dx\, \sin\theta}{a^2}$$

AC পরিবাহীর প্রতিটি ক্ষুদ্র অংশের জন্য P-বিন্দুতে প্রাবল্য একইদিকে (কাগজের তলের সমকোণে এবং ভিতরের দিকে)। সুতরাং P-বিন্দুতে মোট প্রাবল্য

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \cdot \int_{x=-\infty}^{+\infty} \frac{\sin\theta\, dx}{a^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.3)$$

এখন চিত্র থেকে, $\frac{r}{a} = \sin\theta$ বা, $a = \frac{r}{\sin\theta}$

এবং $\frac{r}{x} = \tan\theta$ $\quad \therefore \; x = r\cot\theta \quad \therefore \; dx = -r\,\text{cosec}^2\,\theta\; d\theta$

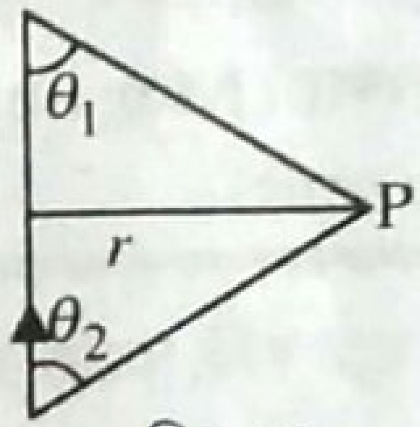
স্পষ্টত যখন $x \to +\infty,\ \theta \to 0$ এবং যখন $x \to -\infty,\ \theta \to \pi$

$$\therefore \; B = \frac{\mu_o i}{4\pi}\int_{\pi}^{0} \sin\theta(-r\,\text{cosec}^2\theta\; d\theta)\cdot\frac{\sin^2\theta}{r^2}$$

$$= -\frac{\mu_o i}{4\pi r}\int_{\pi}^{0} \sin\theta\; d\theta \;=\; \frac{\mu_o i}{4\pi r}(\cos 0^\circ - \cos\pi)$$

$$= \frac{\mu_o (2i)}{4\pi i} = \frac{\mu_o}{4\pi}\cdot\frac{2i}{r}\ \text{Wb/m}^2$$

$\therefore$ H-ভেক্টর-এর মান হবে, $H = \frac{1}{4\pi}\cdot\frac{2i}{r}\ \text{A}.m^{-1}$



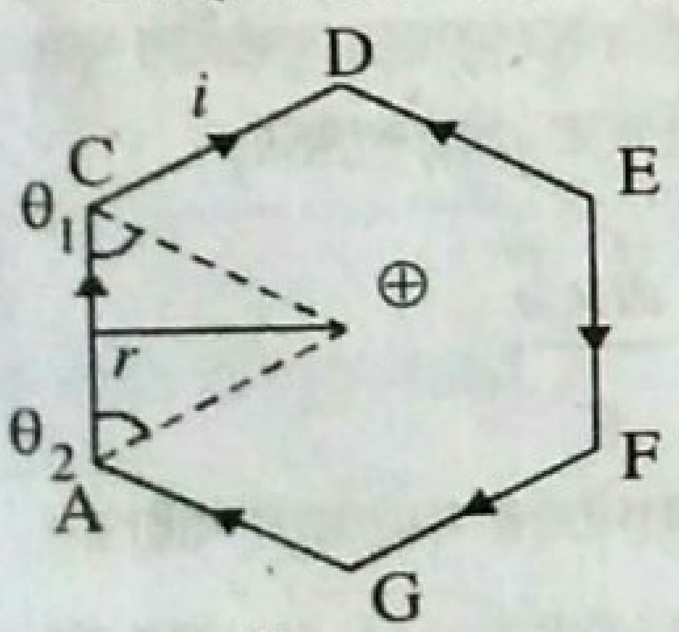
চিত্র 4.5

● **অনুসিদ্ধান্ত ঃ** পরিবাহীটি অসীম দীর্ঘ না হলে 4.3 নং সমীকরণ থেকে দেখানো যাবে

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi}\cdot\frac{i}{r}(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)$$

এখানে θ_1 এবং θ_2 হল P-বিন্দু থেকে অঙ্কিত সরলরেখা যথাক্রমে A এবং C বিন্দুতে যে কোণ উৎপন্ন করে [চিত্র 4.5]।

● **উদাহরণ 4.1. একটি পরিবাহী তারকে বাঁকিয়ে একটি সুষম ষড়ভুজে পরিণত করা হল। প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য a মিটার এবং প্রবাহমাত্রা i Amp। ষড়ভুজের কেন্দ্রবিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত ? $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ N-m²/C²**



চিত্র 4.6

◖ **সমাধান ঃ** ব্যবস্থাটি 4.6 নং চিত্রে দেখানো হল। ACDEFG ষড়ভুজের P কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। এখন কেবলমাত্র AC বাহুর (দৈর্ঘ্য a) জন্য P বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র,

$$B_1 = \frac{\mu_o}{4\pi}\;\frac{i}{r}\;(\cos\theta_1 + \cos\theta_2) \;\ldots\ldots\ldots\ldots (1.3)$$

$$\therefore \; B_1 = 10^{-7} \times \frac{i}{\sqrt{3}a/2}(\cos\ 60^\circ + \cos\ 60^\circ)$$

$$= 10^{-7} \times \frac{2i}{\sqrt{3}a}\text{Wb/m}^2$$

এখানে $\theta_1 = \theta_2 = 60^\circ$

$\frac{r}{a/2} = \tan\ 60^\circ$ বা, $r = \frac{\sqrt{3}}{2}a$ মিঃ

একইভাবে, অন্য বাহুর তড়িৎ প্রবাহের দরুণ P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং অভিমুখ একই হবে। তাই ষড়ভুজের 6টি বাহুর জন্য P-বিন্দুতে মোট চৌম্বকক্ষেত্র,

$$B = 6B_1 = 10^{-7}\,\frac{12i}{\sqrt{3}a}\text{Wb/m}^2$$

4.4A. গতিশীল আধানের জন্য চৌম্বকক্ষেত্র (Magnetic field due to a moving charge)

বায়ো-সাভার্টের সূত্র থেকে আমরা জানি যে, ক্ষুদ্র প্রবাহমাত্রার উপাদান ($i\,dl$)-এর জন্য কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\;\frac{i\,dl\sin\theta}{r^2} \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (i)$$

এই চৌম্বকক্ষেত্র পরিবাহীতে গতিশীল প্রতিটি ক্ষুদ্র আধান-এর জন্য উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্রের সমষ্টি। মনে করি, প্রতি কণার আধান $+q$ এবং এদের গড় গতিবেগ v। তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A এবং তারের একক আয়তনে কণার সংখ্যা n হলে প্রবাহমাত্রা $i = nqAv$ এবং dl ক্ষুদ্র অংশে মুক্ত আধান, $dQ = qnAdl$

সুতরাং, $i\,dl = (dQ)\,v$ .... (ii)

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ থেকে, $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{(dQ)\,v \sin\theta}{r^2}$

তারের নির্দিষ্ট কোনো দৈর্ঘ্য বিবেচনা করলে মোট চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য,

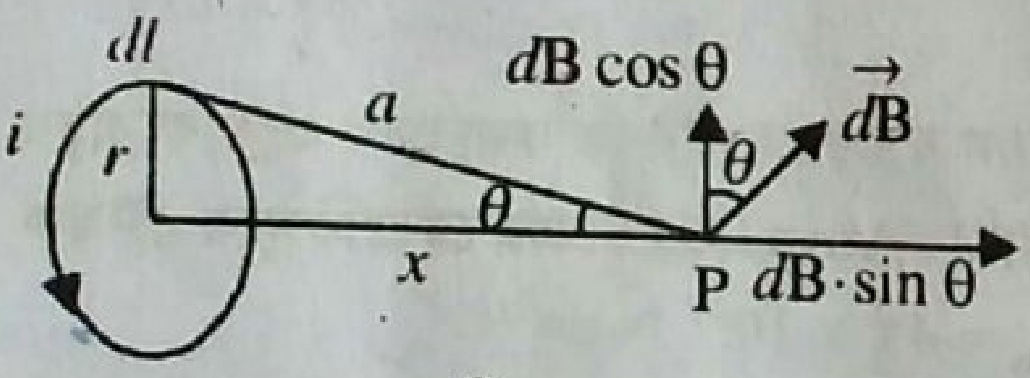
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Q\,v \sin\theta}{r^2} \quad \text{.......... (4.4)}$$

সুতরাং, (i) $\theta = 0°$ হলে $B = 0$ অর্থাৎ আহিত কণার দিকে কোনো চুম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন হয় না।

(ii) $\theta = 90°$ হলে $B_{max} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Qv}{r^2}$

4.5. তড়িদ্‌বাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য (Magnetic field at a point on the axis of a circular coil carrying current)

মনে করি, বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ r, পাক সংখ্যা n এবং এর প্রবাহমাত্রা i। অক্ষের উপর কেন্দ্র থেকে x দূরত্বে অবস্থিত P-বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে [চিত্র 4.7]।



চিত্র 4.7

এখন, বায়ো-স্যাভার্টের সূত্রানুসারে, কুণ্ডলীর ক্ষুদ্র অংশ dl-এর জন্য P বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র,

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot i \; \frac{\vec{dl} \times \vec{a}}{a^3}$$

এখানে, কুণ্ডলীটি কাগজের তলের সমকোণে আছে এবং dl ক্ষুদ্র অংশও কাগজের সমকোণে বাইরের দিকে আছে। তাই কুণ্ডলীর যে-কোনো ক্ষুদ্র dl অংশ 'a' রেখার সমকোণে আছে। অর্থাৎ $\vec{a} \perp \vec{dl}$। সুতরাং $\vec{a}$ এবং $\vec{dl}$ যে তলে থাকে $\vec{dB}$ তার লম্ব তলে অবস্থান করে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে $\vec{dB}$ অবশ্যই কাগজের তলে থাকবে [চিত্র 4.7]।

এখন $\vec{dB}$-কে দুটি সমকৌণিক উপাংশে বিভাজিত করা যায় ঃ $dB \sin\theta$ উপাংশটি কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর এবং $dB\cos\theta$ অক্ষের সমকোণে ক্রিয়া করে। কুণ্ডলীর অন্যান্য ক্ষুদ্র dl অংশের জন্য চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্যের $dB\cos\theta$ উপাংশগুলি প্রতিসাম্যের জন্য পরস্পরকে প্রশমিত করে এবং অক্ষ বরাবর কার্যকর $dB\sin\theta$ উপাংশগুলি যুক্ত হয়। সুতরাং P বিন্দুতে কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর চৌম্বক প্রাবল্য,

$$B = \int dB \sin\theta = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i\,dl}{a^2} \cdot \sin 90° \cdot \sin\theta$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i}{a^2} \sin\theta \int dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i}{a^2} \cdot \frac{r}{a} \cdot 2\pi n r$$

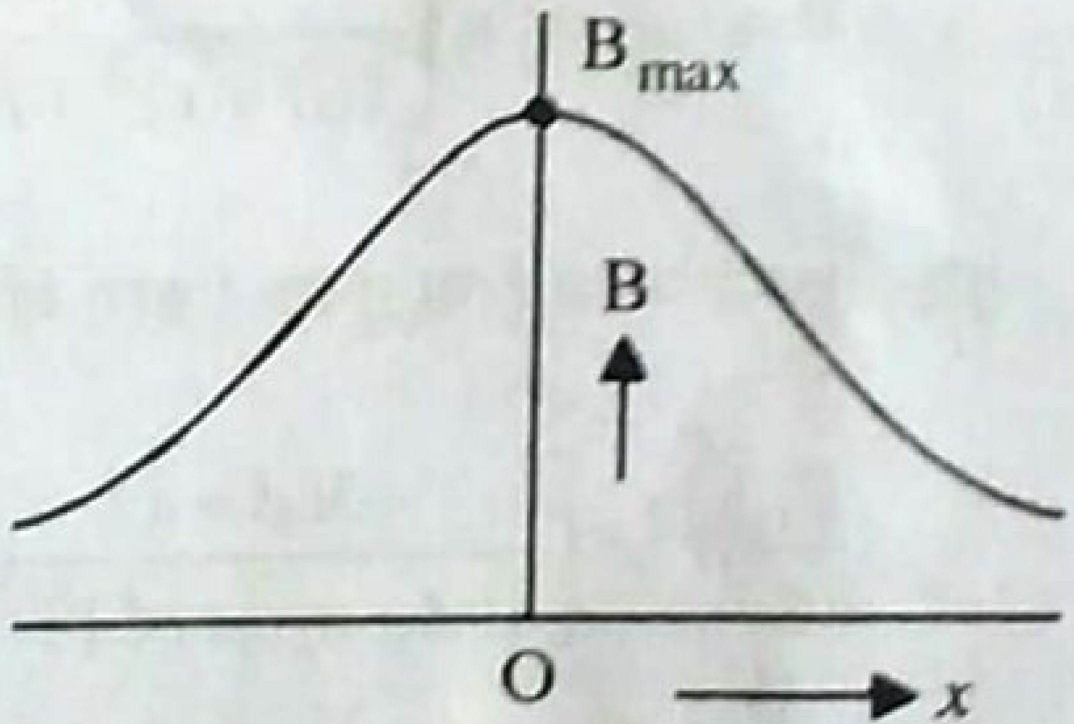
$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi n i r^2}{a^3}$$

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi n i r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \text{ Wb/m}^2$$

$$= \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{n i r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \text{ Wb/m}^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.5)$$

এবং $$H = \frac{1}{2} \cdot \frac{n i r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \text{ A-m}^{-1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.6)$$

কুণ্ডলীর কেন্দ্রে $x = 0$। সুতরাং $B = \frac{\mu_0}{2} \frac{ni}{r}$ Wb/m^2 (অক্ষ বরাবর)



চিত্র 4.8

স্পষ্টত কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক প্রাবল্য সর্বাধিক এবং কেন্দ্র থেকে উভয় দিকে অক্ষ বরাবর এর মান ধীরে ধীরে হ্রাস পায়। 4.8 নং চিত্রে কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হয়েছে।

এখন $\pi r^2 = A$, কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল। $x >> r$ হলে $a = x$ (প্রায়)। সেক্ষেত্রে

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2i\,n\,A}{x^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.7)$$

4.6 নং সমীকরণ থেকে স্পষ্ট যে, তড়িদ্‌বাহী কুণ্ডলী চুম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং **কুণ্ডলীটিকে একটি চুম্বক দ্বিমেরু হিসাবে বিবেচনা করা যায়।** স্পষ্টত কুণ্ডলীর কেন্দ্র থেকে অনেক দূরে $x >> r$ অক্ষ বরাবর চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য একটি **তড়িৎ দ্বিমেরুর** অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্যের $\left[E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p_E}{x^3}\right]$ অনুরূপ। এই কারণে $\boldsymbol{i\,n\,A}$ রাশিটিকে কুণ্ডলীর **চৌম্বক ভ্রামক** বলে। অর্থাৎ তড়িদ্‌বাহী কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক,

$$M = i\,n\,A$$

$\therefore$ (4.7) নং সমীকরণ থেকে, $$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2M}{x^3} \text{ Wb/m}^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.8)$$

$$\therefore \quad H = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{2M}{x^3} \text{ A-m}^{-1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.9)$$

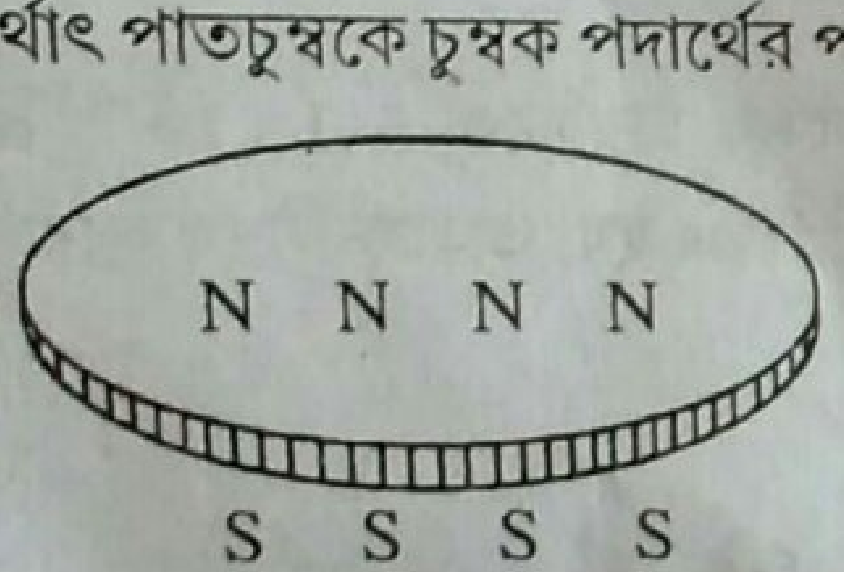
4.8. সমতুল্য পাতচুম্বক সম্পর্কিত অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য (Ampere's theorem of equivalent magnetic shell)

এই উপপাদ্য অনুসারে যে-কোনো তড়িদ্‌বাহী বর্তনী সম আকার এবং আকৃতির পাতচুম্বকের সমতুল্য। সেক্ষেত্রে পাতচুম্বকের একক ক্ষেত্রফলে চৌম্বক ভ্রামক (বা দৃঢ়তা, strength) বর্তনীতে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক। যদি তুল্য পাতচুম্বকের দৃঢ়তা σ এবং বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা i হয় তাহলে অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য অনুসারে,

$$\sigma = ki \qquad (4.15)$$

এখানে k একটি ধ্রুবক যার মান σ এবং i-এর এককের উপর নির্ভর করে।

● **আলোচনা ঃ** পাতচুম্বক হল অত্যন্ত পাত্‌লা চুম্বক পদার্থের পাত (sheet) যেটিকে এমনভাবে চুম্বকিত করা হয়েছে যে, এর একটি তলে উত্তরমেরু এবং অন্যতলটিতে দক্ষিণমেরু সৃষ্টি হয়েছে [চিত্র 4.15]। অর্থাৎ পাতচুম্বকে চুম্বক পদার্থের পাতটিকে এর তলের সমকোণে চুম্বকিত করা হয়েছে। পাতচুম্বকের চৌম্বক ক্রিয়া যে রাশির সাহায্যে প্রকাশ করা হয় তাকে পাতচুম্বকের দৃঢ়তা (strength of the shell) σ বলে। **পাতচুম্বকের একক ক্ষেত্রফলে চৌম্বক ভ্রামককে দৃঢ়তা (σ) বলা হয়।** অর্থাৎ



চিত্র 4.15

$$\sigma = \frac{\text{চৌম্বক ভ্রামক}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{M}{A} \qquad (4.16)$$

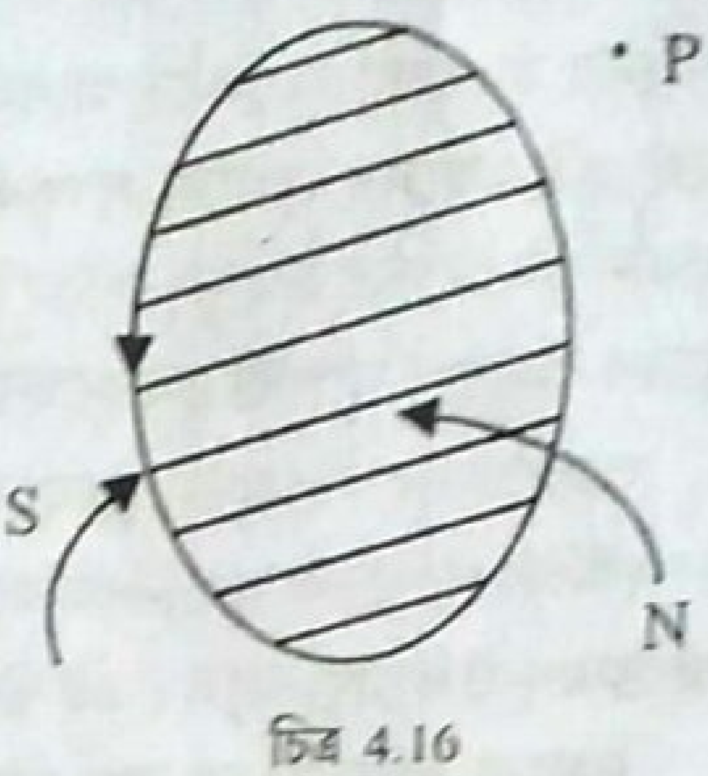
4.15 নং চিত্রে পাতচুম্বকের বেধ t এবং একক ক্ষেত্রফলে মেরুশক্তি m হলে

$$\sigma = \frac{m\,A\,t}{A} = mt$$

$\therefore$ **চৌম্বক দৃঢ়তা** (σ) = একক ক্ষেত্রফলে মেরুশক্তি × পাতচুম্বকের বেধ

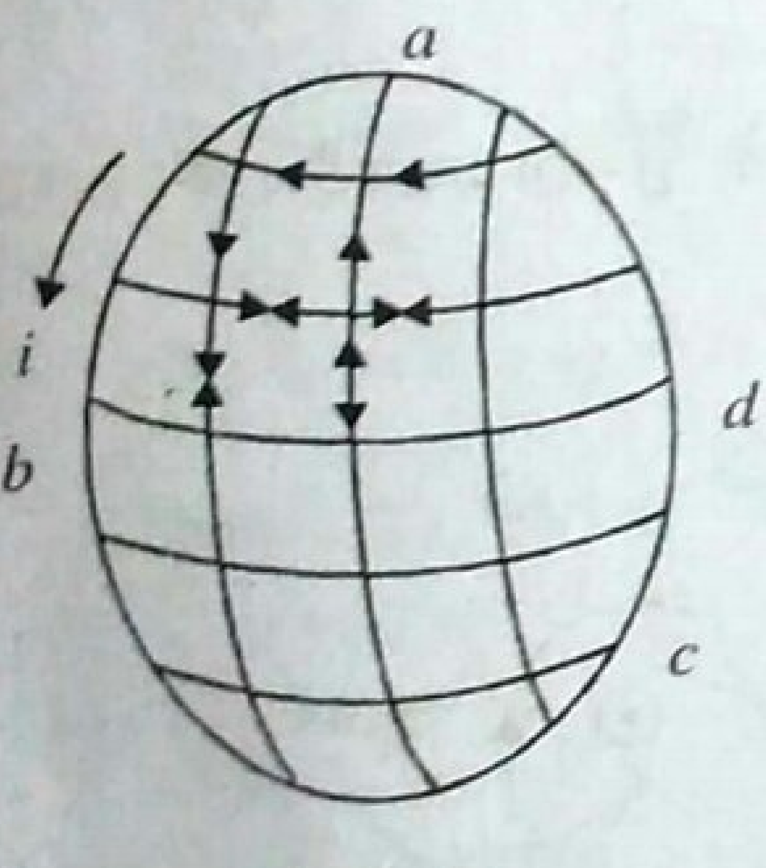
= **মেরুর তলমাত্রিক ঘনত্ব × বেধ**

অ্যাম্পিয়ারের তুল্য পাতচুম্বক উপপাদ্য তড়িদ্‌বাহী যে-কোনো আকারের পরিবাহী বর্তনীতে প্রযোজ্য। আমরা জানি যে, একটি তড়িৎবাহী বৃত্তাকার তারকুণ্ডলী পাতচুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। ওই কুণ্ডলীর যে মুখে প্রবাহ বামাবর্তী (anti-clockwise) সেই মুখে উত্তর মেরু এবং যে মুখে প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী (clockwise) সেই মুখে দক্ষিণ মেরু উৎপন্ন হয় [চিত্র 4.16]। ওই বর্তনী নিকটবর্তী P বিন্দুতে যে চুম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন করে তার মান একটি তুল্য পাতচুম্বক (উপযুক্ত দৃঢ়তা সম্পন্ন) ওই বিন্দুতে যে চুম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন করে তার সমান হবে।



চিত্র 4.16

প্রবাহবর্তনী খুব ক্ষুদ্র আকারের হলে তুল্য পাতচুম্বকটি একটি ক্ষুদ্র চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে এবং বহিস্থ যে-কোনো বিন্দুতে চৌম্বক বিভব এবং প্রাবল্য চুম্বক সম্পর্কিত সূত্রাবলির সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। বর্তনী আকারে বৃহৎ হলে বর্তনীটিকে ছোটো ছোটো বর্তনীতে বিভক্ত বলে কল্পনা করা হয় [চিত্র 4.17]। এই চিত্রে $abcd$ একটি সংহত বর্তনী এবং এর প্রবাহমাত্রা i। এখন বর্তনীটিকে বহুসংখ্যক সম আকারের বর্গাকৃতি তারজালিতে (meshes) বিভক্ত বলে মনে করা হল এবং প্রত্যেক ক্ষুদ্র জালিতে প্রবাহমাত্রার অভিমুখ একই। এই অবস্থায় সমস্ত জালিগুলির মোট ফলাফল $abcd$ বর্তনীর ফলাফলের সমান হবে, কারণ—কোনো একটি ক্ষুদ্র জালির যে-কোনো তারে প্রবাহমাত্রা পার্শ্ববর্তী ক্ষুদ্র জালির দরুণ ওই তারের প্রবাহমাত্রার সমান এবং বিপরীত হবে। কেবলমাত্র সীমারেখা বরাবর প্রবাহমাত্রা একই দিকে হবে। সুতরাং $abcd$ বর্তনী যে চৌম্বক ক্রিয়া উৎপন্ন করবে তা সমআকার এবং আকৃতির পাতচুম্বকের চৌম্বক ক্রিয়ার সমান।



চিত্র 4.17

মনে করি, একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ r, পাকসংখ্যা n এবং প্রবাহমাত্রা i । ওই কুণ্ডলীর কেন্দ্র থেকে x দূরত্বে অক্ষের উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\ \frac{2\pi n r^2 i}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

যদি $x >> r$ হয় তাহলে $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi n r^2 i}{x^3}$ .... (i)

এখন ধরি যে, তুল্য পাতচুম্বকের ব্যাসার্ধ r এবং দৃঢ়তা σ । এটিকে বৃত্তাকার বর্তনীর স্থানে রাখা হল। ওই পাতচুম্বকের কেন্দ্র থেকে x দূরে ($x >> r$) অবস্থিত কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য,

$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2M}{x^3}$ .... (ii) [M = পাতচুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক]

সমীকরণ (i) এবং (ii) তুলনা করলে, $M = in\,\pi r^2 = in\,A$ [A = বর্তনীর ক্ষেত্রফল]

সুতরাং তড়িদ্‌বাহী কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক, $M = in\,A$

এর একক SI পদ্ধতিতে $A\text{-}m^2$.

4.9. অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্য (Ampere's circuital theorem)

আমরা জেনেছি যে, কুলম্বের সূত্র স্থির তড়িৎ বিজ্ঞানে একটি মৌলিক সূত্র। এই সূত্রের সাহায্যে যে কোনো ধরনের আধান বন্টনের দরুণ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করা যায়। গাউসের সূত্র আর একটি সাধারণ সূত্র। এই সূত্রের সাহায্যে তড়িৎক্ষেত্রের বদ্ধ পৃষ্ঠ সমাকল (Surface integral) এবং ওই তলে আবদ্ধ আধানের মধ্যে একটি সম্পর্ক পাওয়া যায়। এই সূত্র প্রয়োগে প্রতিসম (Symmetric) তড়িৎ আধান বন্টনের দরুণ তড়িৎক্ষেত্রে প্রাবল্য সহজে নির্ণয় করা যায়। এখন প্রশ্ন হল : **চুম্বকক্ষেত্র এবং প্রবাহমাত্রার মধ্যে এই ধরনের কোনো সম্পর্ক আছে কি ?** যেহেতু স্থির আধান তড়িৎক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং গতিশীল আধান চুম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন করে (ওরস্টেড পরীক্ষা) তাই ধরে নেওয়া যায় যে, তড়িতাধান সম্পর্কিত গাউসের সূত্রের অনুরূপ সম্পর্ক চুম্বকক্ষেত্রের বেলাতেও পাওয়া যাবে।

অ্যাম্পিয়ার সর্বপ্রথম চুম্বক আবেশ $\vec{B}$ এবং প্রবাহমাত্রা I এর মধ্যে সম্পর্ক আবিষ্কার করেন এবং এই সম্পর্কটির গাণিতিক রূপ নির্ণয় করেন **ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল** (Clarke Maxwell)। এই সম্পর্কটিকে অ্যাম্পিয়ারের **পরিক্রমণ উপপাদ্য** বলে। এই উপপাদ্য অনুসারে,

কোনো চুম্বকক্ষেত্রে বদ্ধ রেখা সমাকলের (closed line integral) **মান ওই বদ্ধ রেখা দ্বারা জড়িত প্রবাহমাত্রার μ_0 গুণ।** μ_0 = শূন্য মাধ্যমের ভেদ্যতা

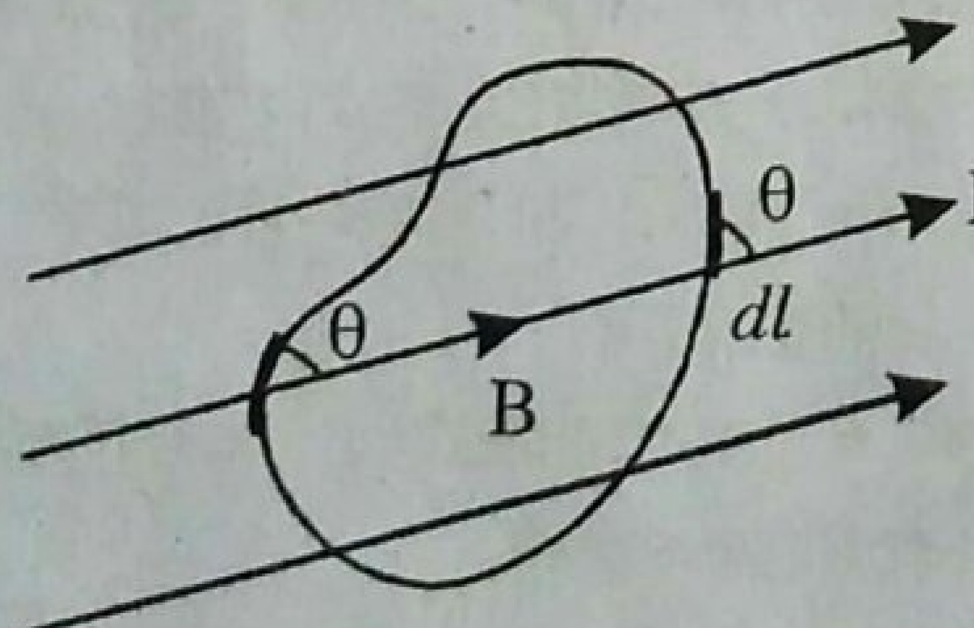
$$\therefore \quad \int_C \vec{B}\cdot\vec{dl} = \mu_0 i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.17)$$

এখানে i হল বদ্ধ পথ কর্তৃক আবদ্ধ মোট প্রবাহমাত্রা।

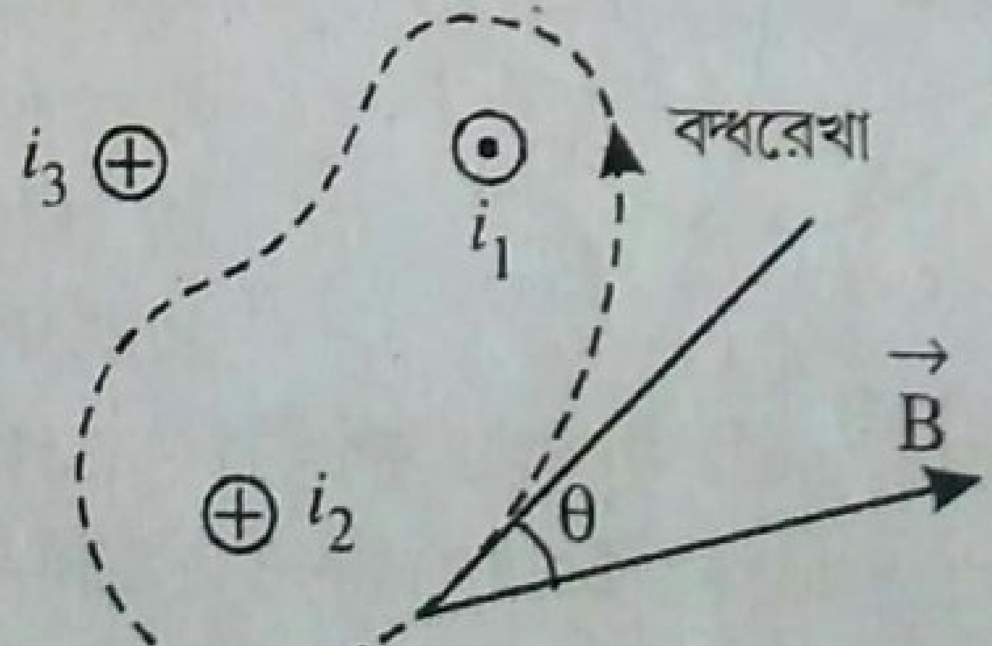
4.17 নং সমীকরণে বামদিকে সমাকলটি বদ্ধরেখা সমাকল। $\vec{dl}$ এবং $\vec{B}$-এর মধ্যবর্তী কোণ θ হলে

$$\int_C \vec{B}\cdot\vec{dl} = \int_C B\, dl\, \cos\theta$$

B চুম্বকক্ষেত্রের বদ্ধ পথসমাকল 4.18 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 4.18



চিত্র 4.19

4.19 নং চিত্রে তড়িদ্‌বাহী তিনটি তার দেখানো হয়েছে। চুম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ সমস্ত তারে প্রবাহমাত্রাগুলির মোট ফল। এক্ষেত্রে 'সমাকল'টি নির্ণয় করতে কেবলমাত্র i_1 এবং i_2 প্রবাহমাত্রা বিবেচনা করতে হবে। যেহেতু i_3 প্রবাহমাত্রা বদ্ধরেখার বাইরে অবস্থিত তাই এটির প্রভাব বিবেচনা করা হবে না। এক্ষেত্রে মোট প্রবাহমাত্রা $i = i_1 - i_2$ (কারণ প্রবাহমাত্রা দুটি বিপরীতমুখী)।

Scanned with CamScanner