তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া
Magnetic effect of Current

ইউনিট
৩

ভূমিকা (Introduction)

কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়, একে তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে। ১৮২০ সালে কোপেনহেগেন বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক হ্যান্স ক্রিশ্চিয়ান ওয়েরস্টেড আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎবাহী তারের চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। আমাদের দৈনন্দিন জীবনে তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়ার গুরুত্ব অনেক। তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া যান্ত্রিক বল উৎপন্ন করে। বৈদ্যুতিক ফ্যান, মোটর ইত্যাদিতে চৌম্বক ক্রিয়া ব্যবহৃত হয়।

পাঠ-১: তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র: ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা
Magnetic effects of current: Oersted's Experiment.

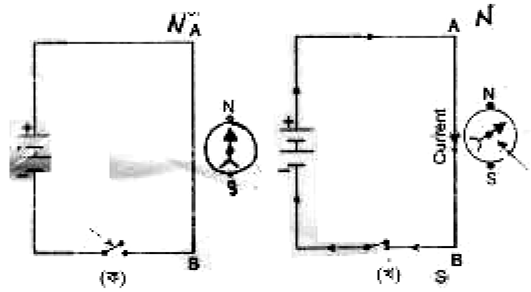
উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- পরীক্ষার সাহায্যে ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- চৌম্বক ক্ষেত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক সংক্রান্ত ম্যাক্সওয়েলের কর্ক স্ক্রু সূত্র এবং ফ্লেমিঙের ডান সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৩.১.১ ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা

এই পরীক্ষায় NS একটি চুম্বক শলাকা (চিত্র ৩.১ক)। এটি উত্তর-দক্ষিণ বরাবর মুক্তভাবে স্থাপন করা আছে। এর দৈর্ঘ্য বরাবর একটি পরিবাহী তার সমান্তরালভাবে রাখা হয়। পরিবাহীরর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হলে দেখা যায় যে, শলাকাটি চৌম্বক মধ্যতল হতে বিচ্যুত হচ্ছে এবং তারের সাথে সমকোণে স্থাপিত হওয়ার চেষ্টা করছে (চিত্র: ৩.১খ)। বিদ্যুৎ প্রবাহ বন্ধ করলে চুম্বক শলাকা পূর্বাবস্থায় ফিরে আসে (চিত্র ৩.১ক)। প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি করলে বিক্ষেপের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। প্রবাহের দিক পরিবর্তন করলে শলাকার বিক্ষেপের দিক পরিবর্তন হয়।



চিত্র : ৩.১

ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা থেকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা পাওয়া যায়

এই পরীক্ষা হতে ওয়েরস্টেড সিদ্ধান্তে আসেন যে, যেহেতু কেবলমাত্র কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবেই চুম্বক শলাকাটির বিক্ষেপ সম্ভব, অতএব নিশ্চয়ই ঐ তড়িৎ প্রবাহের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয় এবং এর প্রাবল্য ও অভিমুখ ঐ তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা ও অভিমুখের উপর নির্ভরশীল।

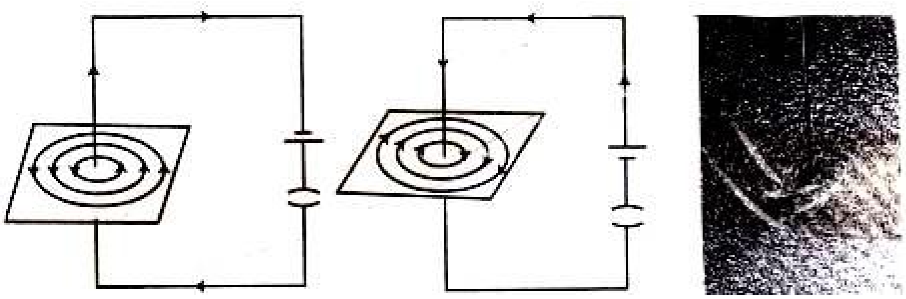
কোনো তড়িৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে।

ব্যাখ্যা: লম্বা সোজা পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত করা হলে এর চারদিকে যে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়, তা চুম্বক শলাকার সাহায্যে চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা (বা চৌম্বক আবেশ রেখা) অঙ্কিত করে দেখানো যায়। রেখাগুলিকে চৌম্বক বলরেখাও বলা হয়ে থাকে।

আনুভূমিকভাবে স্থাপিত একটি মসৃণ কার্ড বোর্ডের উপর একটি সাদা কাগজ বসানো হয় (চিত্র-৩.২ক) । বোর্ডের মাঝখানে ছিদ্রের মধ্য দিয়ে একটি তামার তার বোর্ডের সাথে লম্বভাবে স্থাপন করা হয়। এবার তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত করা হয় এবং চুম্বক শলাকার সাহায্যে চৌম্বক বলরেখা অঙ্কন করা হয়। চুম্বক শলাকার উত্তর মেরুর দিক অনুসরণ করে বলরেখা অঙ্কন করা হয়। তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত হলে চৌম্বক বলরেখার দিকও বিপরীত হবে (চিত্র ৩.২খ)।

লম্বা সোজা পরিবাহীর জন্য কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান (১) পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের সমানুপাতিক এবং (২) বিন্দু থেকে পরিবাহীর দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক।

বিকল্প পদ্ধতি : আনুভূমিকভাবে স্থাপিত একটি মসৃণ কার্ডবোর্ডের উপর লৌহচূর্ণ সুষমভাবে ছড়ানো হয় (চিত্র ৩.২গ)। বোর্ডকে ভেদ করে এর সাথে অভিলম্বভাবে কোনো তড়িৎবাহী লম্বা সোজা পরিবাহী স্থাপন করে বোর্ডটিকে আঙ্গুল দিয়ে আস্তে আস্তে টোকা দিলে লোহার টুকরাগুলি বিশেষ সজ্জায় সজ্জিত হয়। লোহার গুঁড়ার এ সজ্জা চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখার চিত্র নির্দেশ করে (চিত্র ৩.২গ)।

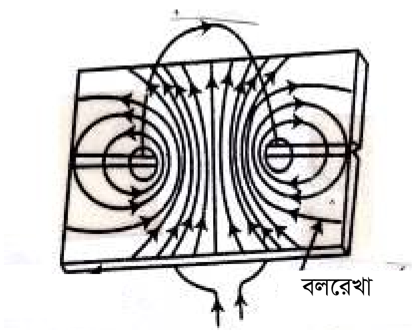


(ক) (খ) (গ)

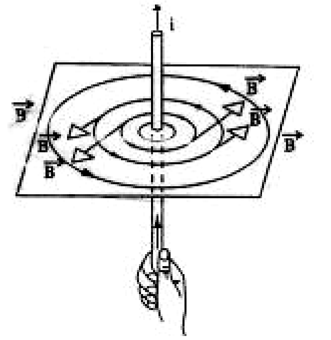
চিত্র : ৩.২

তড়িৎবাহী বৃত্তাকার পরিবাহীর সৃষ্ট চৌম্বক বলরেখা :

অনুভূমিকভাবে স্থাপিত মসৃণ কার্ডবোর্ডের উপর সাদা কাগজ স্থাপন করে দুটি ছিদ্রের মধ্য দিয়ে পরিবাহী তারের 10 পাক বিশিষ্ট বৃত্তাকার কুন্ডুলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত করা হল এবং চুম্বক শলাকার সাহায্যে চৌম্বক বলরেখা অঙ্কন করা হল (চিত্র ৩.৩)। দেখা যায় যে, যে বিন্দু দুটি ভেদ করে পরিবাহী স্থাপিত সে বিন্দুদুটির নিকটবর্তী স্থানে বলরেখাগুলি বৃত্তাকার। বৃত্তাকার পরিবাহীর কেন্দ্র বরাবর ক্ষুদ্র অঞ্চলের বলরেখাগুলি সোজা ও প্রায় সমান্ড়রাল। তাই কেন্দ্রের এ ক্ষুদ্র অঙ্কন চৌম্বকক্ষেত্র সুষম চৌম্বক বল রেখার যেকোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে (চিত্র ৩.৪)। চৌম্বক ক্ষেত্রকে $\vec{B}$ দ্বারা সূচিত করা হয়। B-এর একক weber/m^2 অথবা tesla (T).



চিত্র : ৩.৩


চিত্র ৩.৪

$\vec{B}$ -এর মান

একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

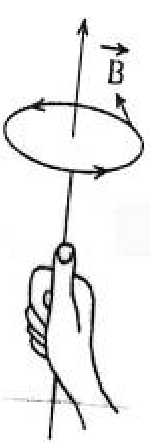
$$B = \frac{F}{qv} \quad \text{...}(৩.১)$$

এখানে, F = বল
q = চার্জ
v = চার্জের বেগ

(৩.১) নং সমীকরণের ডান পাশের রাশিগুলোর একক বসালে চৌম্বকক্ষেত্রের B-এর একক পাওয়া যায়। এ একক হলো $\frac{N}{(Cms^{-1})}$। ক্রোয়েশিয়ার বিজ্ঞানী নিকোলা টেসলা এর নামানুসারে একে টেসলা (T) বলে। টেসলা হচ্ছে চৌম্বকক্ষেত্রের এসআই একক।

টেসলা: এক চৌম্বকক্ষেত্র 1 কুলম্ব (C) আধান ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে $1ms^{-1}$ গতিশীল হলে 1N বল অনুভব করে সেই চৌম্বকক্ষেত্রের মানকে 1 টেসলা বলে।

$$1T = \frac{1N}{Cms^{-1}} = \frac{1N}{Cs^{-1}m} = \frac{1N}{Am} = 1NA^{-1}m^{-1}$$



চিত্র: ৩.৫

অতএব, চৌম্বকক্ষেত্র সম্পর্কে আমরা যা জানতে পেরেছি তা হল,

(১) কোনো চুম্বক অথবা একটি গতিশীল চার্জের, চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চুম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ চুম্বক বা গতিশীল চার্জের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে।

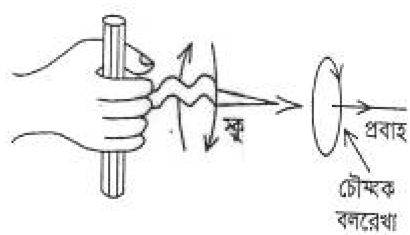
(২) একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান।

(৩) একটি চুম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মের¦ যে দিক নির্দেশ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক। তড়িৎবাহী তারের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক ফ্লেমিঙের দক্ষিণ হস্ড় নিয়ম দ্বারা নির্ণয় করা হয়।

৩.১.২ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ নির্ণয়

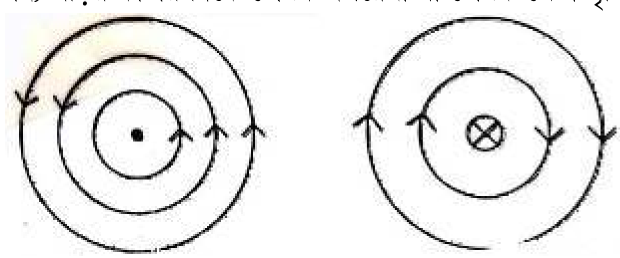
(ক) দক্ষিণ হস্তের বৃদ্ধাঙ্গুলের নিয়ম (Right hand thumb rule) : কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ডান হাতের মুঠোর বৃদ্ধাঙুলি দ্বারা নির্দেশ করলে অন্যান্য আঙুলগুলির অগ্রভাগ বলরেখা তথা চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ নির্দেশ করে [চিত্র: ৩.৫]।

(খ) ম্যাক্সওয়েলের কর্ক স্ক্রু নিয়ম (Maxwell's cork-screw rule) : একটি ডান পাকের কর্ক স্ক্রুকে তড়িৎবাহী তারের তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখে চালনা করলে বৃদ্ধাঙুলি যে দিকে ঘুরবে চৌম্বক বলারেখা তথা চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ সেদিকে হবে [চিত্র: ৩.৬]।



চিত্র : ৩.৬

কাগজতলের লম্ব বরাবর দুটি দিক আছে। কাগজতলের বাইরের দিকে বুঝানোর জন্য ডট চিহ্ন (.) ব্যবহার করা হয় এবং ভেতরের দিক প্রকাশের জন্য ক্রস চিহ্ন (×) ব্যবহার করা হয়। কাগজতলের বাইরের দিকে অর্থাৎ পর্যবেক্ষকের (observer) দিকে তড়িৎ প্রবাহের জন্য ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে চৌম্বক বলরেখা বা চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি হয় [চিত্র: ৩.৭(ক)]। আর কাগজতলের ভিতরের দিকে অর্থাৎ পর্বেক্ষক (observer) থেকে বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহের জন্য ঘড়ির কাঁটার দিকে চৌম্বক বলরেখা বা চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় [চিত্র : ৩.৭ (খ)]।


(ক) (খ)

চিত্র ৩.৭

সার-সংক্ষেপ :

চৌম্বকক্ষেত্র: কোনো তড়িৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে।

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান; একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান।

চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক : একটি চুম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মের“ যে দিক নির্দেশ করে তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৩.১

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কার করেন,
   ক. ফ্লেমিং   খ. ম্যাক্সওয়েল   গ. ওয়েরস্টেড   ঘ. ফ্যারাডে

২. চৌম্বকক্ষেত্রের একক,
   ক. watt   খ. tesla   গ. weber   ঘ. A-m

পাঠ-২: বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র ও অ্যাম্পিয়ারের সূত্র
Biot-Savart Law and Ampere's Law

উদ্দেশ্য

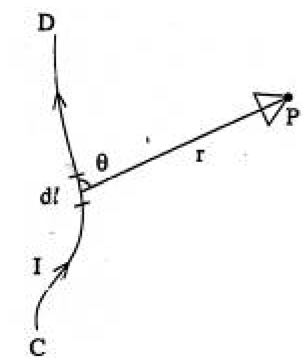
এ পাঠ শেষে আপনি-

- বিয়োঁ-স্যার্ভার সূত্র বর্ণনা করতে পারবেন।
- অ্যাম্পিয়ারের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৩.২.১ বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র (Biot-Savart Law):

কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চললে এর চারপাশে কোনো বিন্দুর চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ -এর মান বের করার জন্য লাপণ্টাস একটি সূত্র প্রদান করেন, যা লাপণ্টাসের সূত্র নামে পরিচিত। জীন ব্যাপ্টিস্ট বিয়োঁ এবং ফেলিক্স স্যাভাঁ সর্বপ্রথম পরীক্ষার মাধ্যমে লাপণ্টাসের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করেন। তাই এ সূত্রটিকে বিয়োঁ-স্যাভাঁর এর সূত্রও বলা হয়।

সূত্র : কোনো পরিবাহীর ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে যে চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় তার কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রের মান পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক, তড়িৎ প্রবাহের সমানুপাতিক, প্রবাহের দিক এবং পরিবাহীর ঐ অংশের মধ্যবিন্দু ও বিবেচিত বিন্দুর সংযোগ সরলরেখার মধ্যবর্তী কোণের সাইনের সমানুপাতিক এবং দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।



চিত্র: ৩.৮

ব্যাখ্যা: ধরা যাক, CD একটি তড়িৎবাহী তার এবং এর মধ্য দিয়ে I তড়িৎ প্রবাহ চলছে (চিত্র ৩.৮)। এ তড়িৎ প্রবাহের জন্য পরিবাহীর চারপাশে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। পরিবাহী তারের যে কোনো ক্ষুদ্র অংশের (dl) তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট, যে কোনো P বিন্দুতে, চৌম্বকক্ষেত্রের মান (dB).

(১) দৈর্ঘ্য dl-এর সমানুপাতিক ($dB \propto dl$),

(২) প্রবাহমাত্রা I-এর সমানুপাতিক ($dB \propto l$),

(৩) $\sin\theta$-এর সমানুপাতিক ($dB \propto \sin\theta$),

(৪) দূরত্ব r-এর বর্গের ব্যস্তানুপাতিক ($dB \propto \sin\theta$)।

অতএব, প্রবাহখণ্ড Idl-এর জন্য সৃষ্ট P বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রের মান,

$$dB \propto \frac{Idl\sin\theta}{r^2} \quad \text{...}(৩.২)$$

$$\text{বা, } dB = K\frac{Idl\sin\theta}{r^2} \quad \text{..... ....}(৩.৩)$$

এখানে, K হচ্ছে সমানুপাতিক ধ্রুবক এবং এর মান I ও r কোন এককে নেয়া হচ্ছে তার উপর এবং মাধ্যমের উপর নির্ভর করে।

S I পদ্ধতিতে, শূন্য মাধ্যমের ক্ষেত্রে, $K = \frac{\mu_0}{4\pi}$

এখানে, μ_o হচ্ছে শূন্য মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা। [$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ weber/(Am)]
অতএব, (৩.৩) নং সমীকরণ হতে,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\theta}{r^2} \quad \text{...(৩.৪)}$$

(৩.৪) নং সমীকরণকে ভেক্টররূপে নিম্ন প্রকারে লেখা যায়:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad \text{................. ....(৩.৫)}$$

সম্পূর্ণ তড়িৎবাহী তারের জন্য P বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র,

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

I ধ্রুব হলে,

$$\vec{B} = \frac{\mu_o I}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

যে কোনো মাধ্যমে,

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$ [এখানে, μ হচ্ছে মাধ্যমটির চৌম্বক প্রবেশ্যতা।] .... (৩.৬)

[বিঃ দ্রঃ (১) এ সূত্র বাঁকা বা সোজা যে কোনো আকৃতির তারের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।]
(২) $d\vec{B}$-এর অভিমুখ হচ্ছে, $d\vec{l} \times \vec{r}$ ভেক্টরের অভিমুখ বরাবর।
(৩) যে দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হয় সে দিকে $d\vec{l}$-এর অভিমুখ ধরতে হবে।]

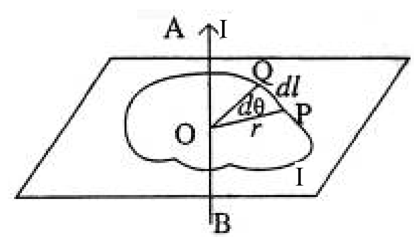
৩.২.২ অ্যাম্পিয়ারের সূত্র

স্থির তড়িতে যেমন কুলম্ব সূত্রের সাহায্যে স্থির তড়িৎ ক্ষেত্র সংক্রান্ত সহজ সমস্যার সমাধান করা সম্ভব কিন্তু জটিল সমস্যা সমাধানের জন্য গাউস-এর সূত্রের প্রয়োজন হয়। তেমনি তড়িৎ চৌম্বকত্বের ক্ষেত্রে সহজ সমস্যা সমাধানের জন্য বিয়োঁ-স্যাভার সূত্র ব্যবহার করা হয়। কিন্তু জটিল সমস্যা সমাধানের জন্য অ্যাম্পিয়ারের সূত্র প্রয়োগ করা হয়।

সূত্রটি নিম্নরূপঃ

"কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহীকে কেন্দ্র করে কাল্পনিক কোনো বদ্ধ পথ বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, ঐ পরিবাহীর মধ্যে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার μ_o গুণ।

অর্থাৎ $\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_O I$



চিত্র: ৩.৯

ব্যাখ্যা: একটি দীর্ঘ সোজা পরিবাহী AB কাগজতলের সাথে লম্বা বরাবর I প্রবাহমাত্রার তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। I এর অভিমুখ উপরের দিকে কাগজতলের উপর। একটি বদ্ধ বক্র রেখার উপর একটি ক্ষুদ্র অংশ PQ.

তড়িৎবাহী পরিবাহী AB এর জন্য এই অংশে চুম্বকক্ষেত্র

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$

$$\therefore \oint \vec{B}.d\vec{l} = \oint Bdl\cos 0^o = \oint Bdl$$

$$= \frac{\mu_o I}{2\pi r}\oint dl$$

PQ অংশের, $dl = rd\theta$

$$\therefore \oint \vec{B}.d\vec{l} = \frac{\mu_o I}{2\pi r}\oint rd\theta = \frac{\mu_o I}{2\pi}\times 2\pi = \mu_o I$$

সার্কিটে মোট প্রবাহমাত্রা = I

$$\therefore \oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_o I \quad \text{...... ....(৩.৭)}$$

এটিই-অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র।

গাণিতিক উদাহরণ

.১। উত্তর-দক্ষিণ দিক বরাবর স্থাপিত একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে 5A তড়িৎপ্রবাহ প্রবাহিত হচ্ছে দক্ষিণ থেকে উত্তর দিকে। তারের 1cm দৈর্ঘ্য থেকে 45° কোণে উত্তর-পশ্চিম দিকে 1 metre দূরের একটি বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ কত হবে?

বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র অনুসারে P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi}.\frac{Idl\sin\theta}{r^2}$$

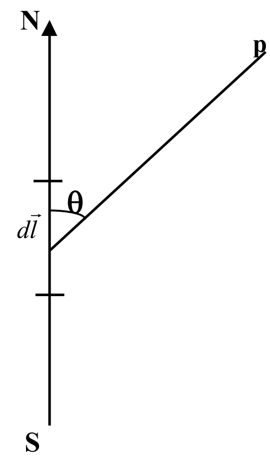
এখানে, I = 5A, dl=1cm=10^{-2}m.

r = 1m, θ =45°

$$\therefore dB = \frac{4\pi\times10^{-7}}{4\pi}\times\frac{5\times10^{-2}\times\sin45^o}{(1)^2}\ \text{tesla}$$

$$= \frac{5}{\sqrt{2}}\times10^{-9}\ \text{tesla} = 3.54\times10^{-9}\ \text{T.}$$

উঃ 3.54×10^{-9} T.



সার-সংক্ষেপ :

বিয়োঁ-স্যাভার সূত্র : কোনো পরিবাহীর ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে যে চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় তার কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রের মান পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক, তড়িৎ প্রবাহের সমানুপাতিক, প্রবাহের দিক এবং পরিবাহীর ঐ অংশের মধ্যবিন্দু ও বিবেচিত বিন্দুর সংযোগ সরলরেখার মধ্যবর্তী কোণের সাইনের সমানুপাতিক এবং দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র : কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহীকে কেন্দ্র করে কাল্পনিক কোনো বদ্ধপথ বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, ঐ পরিবাহীর মধ্যে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রার μ_o গুণ। অর্থাৎ, $\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_o I$

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ৩.২

বহু নির্বাচনী প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. পরিবাহী তারের ক্ষুদ্র অংশের (dl) তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট যে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান dB

ক. দৈর্ঘ্য dl-এর ব্যস্তানুপাতিক　　খ. প্রবাহমাত্রা I-এর সমানুপাতিক
গ. দূরত্ব r-এর সমানুপাতিক　　ঘ. sinθ-এর ব্যস্তানুপাতিক।

২. অ্যাম্পিয়ারের সূত্র

ক. $\oint \vec{B}.d\vec{l} = \frac{\mu_o}{I}$　　খ. $\oint \vec{B}.d\vec{l} = \frac{I}{\mu_o}$　　গ. $\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_o I$　　ঘ. $\oint \vec{B}.d\vec{l} = 4\mu I$

বহুপদী সমাপ্তিসূচক

পরিবাহী তারের যেকোনো ক্ষুদ্র অংশের (dl) তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট, যেকোনো বিন্দুতে, চৌম্বক ক্ষেত্রের মান (dB)

i. দৈর্ঘ্য dl-এর সমানুপাতিক　　ii. প্রবাহমাত্রা I এবং ব্যস্তানুপাতিক
iii. দূরত্ব r-এর বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii　　খ. ii ও iii　　গ. i ও iii　　ঘ. ii

পাঠ-৩.৩ : বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্রের প্রয়োগ
Applications of Biot-Savart's Law

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

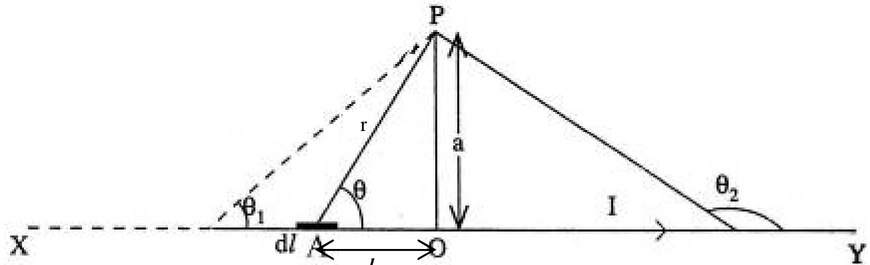
- বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্রের সাহায্যে অসীম দৈর্ঘ্যের তড়িৎবাহী সরল তারের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র হিসাব করতে পারবেন।
- বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্রের সাহায্যে তড়িৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র হিসাব করতে পারবেন ।
- দুটি তড়িৎবাহী সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল হিসাব করতে পারবেন।

৩.৩.১ (ক) তড়িৎবাহী লম্বা সোজা পরিবাহী তারের নিকটে কোনো বিন্দুতে $\vec{B}$ এর মানঃ

ধরা যাক, শূন্য মাধ্যমে অবস্থিত একটি দীর্ঘ সোজা পরিবাহী তার XY-এর মধ্য দিয়ে I A প্রবাহমাত্রার তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে।

তার থেকে a লম্ব দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র বা চৌম্বক আবেশ B নির্ণয় করতে হবে। তার থেকে a লম্ব দূরত্বে অবস্থিত P একটি বিন্দু [চিত্রঃ ৩.১০]। স্বল্প দৈর্ঘ্য dl এর জন্য P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$dB = \frac{\mu_o I dl \sin\theta}{4\pi r^2} \quad ....(১)$$



চিত্র : ৩.১০

চিত্র থেকে পাই,

OP = a

PA = r

এবং PA তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ XY-এর সাথে θ কোণ তৈরি করে।

$$r = \frac{a}{\sin\theta}$$

এবং $\cot\theta = \frac{OA}{a} = -\frac{l}{a}$

$\because l = a\cot\theta$

এবং OA = $-l$ [$\because l$ হচ্ছে O বিন্দুর বাম দিকে]

বা, $l = -a\cot\theta$

ব্যবকলন করে পাই-

$$dl = a\,\mathrm{cosec}^2\theta\, d\theta$$

১নং সমীকরণে r ও dl-এর মান বসিয়ে পাই,

$$dB = \frac{\mu_o I(a\cos ec^2\theta\, d\theta)\sin\theta}{4\pi(a/\sin\theta\, d\theta)^2}$$

বা, $dB = \frac{\mu_o I(a\cos ec^2\theta)\sin\theta}{4\pi(a^2\cos ec^2\theta)}$

বা, $dB = \frac{\mu_o I}{4\pi a}\sin\theta\, d\theta$.

সম্পূর্ণ তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের জন্য মোট চৌম্বকক্ষেত্র হবে এরকম ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র dl-এর জন্য চৌম্বকক্ষেত্রের সমষ্টি। অর্থাৎ,

$$B = \frac{\mu_o I}{4\pi a}\int_{\theta_1}^{\theta_2}\sin\theta d\theta$$

$$= \frac{\mu_o I}{4\pi a}\left[-\cos\theta\right]_{\theta_1}^{\theta_2} = \frac{\mu_o I}{4\pi a}\left[-\cos\theta\right]_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$= \frac{\mu_o I}{4\pi a}[\cos\theta_1 - \cos\theta_2]$$

দীর্ঘ লম্বা তারের জন্য তারটি $-\infty$ থেকে $+\infty$ পর্যন্ড় বিস্ড়ৃত ধরা হয় অর্থাৎ অসীম দৈর্ঘ্য হিসাবে বিবেচিত হয়।

যখন $l \to -\infty, \theta_1 \to 0$

এবং যখন $l \to +\infty, \theta_2 \to \pi$

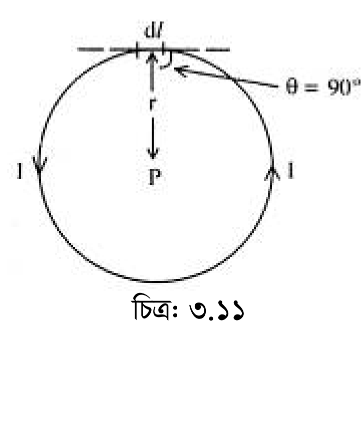
$$\therefore B = \frac{\mu_o I}{4\pi a}[\cos 0 - \cos\pi]$$

$$= \frac{\mu_o I}{2\pi a} \quad \text{......................................} \; (৩.৮)$$

[বিঃ দ্রঃ এক্ষেত্রে, $\vec{B}$-এর অভিমুখ হচ্ছে কাগজ পৃষ্ঠের লম্ব বরাবর, নিচ দিকে।]

(খ) তড়িৎবাহী বৃত্তাকার পরিবাহীর বা কুন্ডলীর কেন্দ্রে $\vec{B}$-এর মানঃ

ধরা যাক, একটি বৃত্তাকার পরিবাহীর মধ্য দিয়ে ঘড়ির গতির বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে (চিত্র : ৩.১১)। বৃত্তের ব্যাসার্ধ = r; প্রবাহমাত্রা = I; বিয়োঁ-স্যাভোঁর সূত্রানুসারে dl দৈর্ঘ্যের ক্ষুদ্র অংশের জন্য কেন্দ্র বিন্দু P-তে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র,



চিত্রঃ ৩.১১

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

সম্পূর্ণ বৃত্তাকার পরিবাহীকে এরকম ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে বিভক্ত বিবেচনা করা যাক। এসব অংশের ফলে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের সমষ্টি নিলে সমগ্র কুণ্ডলীর জন্য এর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্র B-এর মান পাওয়া যাবে।

প্রতিটি অংশ, P বিন্দু থেকে সমান দূরত্বে (r) অবস্থিত; এবং প্রতি অংশ dl, ব্যাসার্ধ r-এর সাথে 90° কোণ তৈরি করে। প্রতি অংশের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ একই দিকে।

অতবএ, $B = \frac{\mu_o I \sin 90^\circ}{4\pi r^2} \int_{l=0}^{l=2\pi r} dl$

বা, $B = \frac{\mu_o I}{4\pi r^2} 2\pi r$

বা, $B = \frac{\mu_o I}{2r}$ ....(৩.৯)

যদি r ব্যাসার্ধবিশিষ্ট N পাকের বৃত্তাকার কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে I ampere তড়িৎ প্রবাহিত হয় তা হলে সেক্ষেত্রে,

$B = \frac{\mu_o NI}{2r}$ ....(৩.১০)

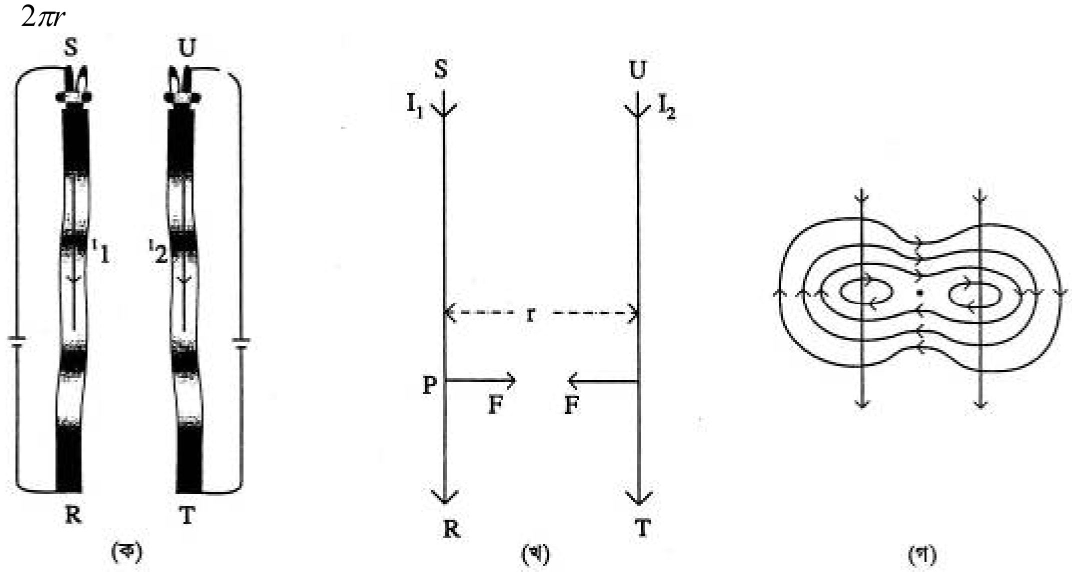
[বিঃ দ্রঃ এক্ষেত্রে, $\vec{B}$-এর দিক হচ্ছে কাগজ পৃষ্ঠের লম্ব বরাবর উপর দিক।]

(গ) দুটি তড়িৎবাহী সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল:

ধরা যাক, শূন্যস্থানে অবস্থিত RS ও TU লম্বা সোজা সমান্তরাল দুটি পরিবাহী তারে যথাক্রমে I_1 ও I_2 তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারদ্বয়ের মধ্যবর্তী লম্ব দূরত্ব $= r$ [চিত্র ঃ ৩.১২ (খ)]।

ধরা যাক, RS তারের উপর P একটি বিন্দু। TU তারের I_2 তড়িৎ প্রবাহের জন্য P বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র,

$B= \frac{\mu_o I_2}{2\pi r}$



চিত্র ৩.১২

তড়িৎবাহী RS তার উক্ত ক্ষেত্রে অবস্থিত হওয়ায় RS তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে যে বল ক্রিয়া করবে তার মান,

$F=BI_1$

বা, $F = \dfrac{\mu_o I_1 l_2}{2\pi r}$ ....(৩.১১)

RS তারের l দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল, $F=\dfrac{\mu_o I_1 I_2 l}{2\pi r}$ ....(৩.১২)

এই বলের অভিমুখ হবে দ্বিতীয় তারের (TU) দিকে।

I_1-এর জন্য TU তারের l দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বলের মানও একই হবে (চিত্র ৩.১২ খ)।

এই বলের অভিমুখ হবে প্রথম তারের (RS) দিকে (চিত্র ৩.১২ খ)।

দুটি সমমুখী সমান্ড়রাল প্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে এবং দুটি বিপরীতমুখী সমান্ড়রাল প্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

[৩.১২ (গ)] নং চিত্রে সমমুখী সমান্ড়রাল প্রবাহের জন্য সমন্বিত চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা দেখানো হলো।

যদি $I_1 = I_2 = 1A$, $r = 1$ হয়, তাহলে,

$$F/l = \frac{\mu_o}{2\pi} = 2\times10^{-7}\,\mathrm{Nm}^{-1}$$

অতএব, তড়িৎ প্রবাহের একক অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা নিম্নরূপ:

সংজ্ঞা: শূন্য মাধ্যমে 1m দূরত্বে অবস্থিত অসীম দৈর্ঘ্যের এবং উপেক্ষণীয় প্রস্থচ্ছেদের দুটি সমান্ড়রাল সরল পরিবাহীর প্রত্যেকটিতে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চললে পরস্পরের মধ্যে প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে 2×10^{-7} N বল উৎপন্ন হয় তাকে 1 ampere বলে।

[বিঃ দ্রঃ একটি তড়িৎবাহী তার নিজের দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে বল অনুভব করবে না। অন্য কোনো উৎস দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে বল অনুভব করবে।]

গাণিতিক উদাহরণ:

৩.২। একটি লম্বা সোজা তারের মধ্য দিয়ে 4 A. তড়িৎ প্রবাহ চললে উক্ত তার থেকে 0.05 m দূরে চৌম্বক ক্ষেত্র B এর মান নির্ণয় করুন। ($\mu_o=4\pi\times10^{-7}$ weber/A-m)

আমরা জানি, $B = \dfrac{\mu_o I}{2\pi a}$

এখানে, I = তড়িৎ প্রবাহমাত্রা = 4 A

a = লম্ব দূরত্ব = 0.05m = 5×10^{-2}m

μ_o = শূন্য মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা = $4\pi\times10^{-7}$ weber/A-m

$$\therefore\ B = \frac{4\pi\times10^{-7}\times4}{2\pi\times5\times10^{-2}}\ \text{weber/m}^2 = 1.6\times10^{-5}\ \text{weber/m}^2$$

উ: 1.6×10^{-5} weber/m^2

৩.৩। একটি তড়িৎবাহী বৃত্তাকার তার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 31.4×10^{2}m ও পাক সংখ্যা 400; তারটিতে 5×10^{-7}A. তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর কেন্দ্রে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব নির্ণয় করুন।

আমরা জানি, $B = \dfrac{\mu_o NI}{2r}$

এখানে,

শূন্য মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা = $\mu_o = 4\pi\times10^{-7}$ weber/A-m

পাক সংখ্যা = $N = 400$

তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা = $I = 5\times10^{-7}$ A

ব্যাসার্ধ = $r = 31.4\times10^{-2}$m

B = চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব = ?

$$\therefore B = \frac{4\pi\times10^{-7}\times400\times5\times10^{-7}}{2\times31.4\times10^{-2}}$$

$$= \frac{4\times3.14\times400\times5\times10^{-12}}{2\times31.4}$$

$$= 4.0\times10^{-10}\text{ weber/m}^2$$

উ: 4.0×10^{-10} weber/m^2

৩.৪। দুটি সমান্তরাল তারের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.03m এবং প্রতিটি তারে 120 A. প্রবাহমাত্রা চলছে। যেকোনো একটি তারের 1m দৈর্ঘ্যের উপর ক্রিয়ারত বল নির্ণয় করুন।

মনে করি, বল =F

আমরা জানি, এ ক্ষেত্রে,

ক্রিয়াশীল বল, $F = \dfrac{\mu_o I_1 I_2 l}{2\pi r}$

এখানে, μ_o = শূন্য মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা = $4\pi\times10^{-7}$ weber/A–m

$I_1 = I_2$ = তড়িৎ প্রবাহমাত্রা = 120 A

r = দূরত্ব = 0.03m = 3×10^{-2}m

l = দৈর্ঘ্য = 1 m.

$$\therefore F = \frac{4\pi\times10^{-7}\times120\times120\times1}{2\pi\times3\times10^{-2}}$$

$$= 9600\times10^{-5}$$

$$= 9.6\times10^{-2}\text{N}$$

উ: 9.6×10^{-2}N.

সার-সংক্ষেপ :

- তড়িৎবাহী লম্বা সোজা পরিবাহী তার থেকে a লম্ব দূরত্বের কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র বা চৌম্বক আবেশ $B = \dfrac{\mu_o I}{2\pi a}$
- তড়িৎবাহী বৃত্তাকার পরিবাহীর কেন্দ্রে $B = \dfrac{\mu_o N I}{2r}$
  এখানে N = বৃত্তাকার কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা।
- দুটি লম্বা সোজা সমান্তরাল পরিবাহী তারের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল, $F = \dfrac{\mu_o I_1 I_2 l}{2\pi r}$

এখানে, I_1 ও I_2 = পরিবাহী তারের মধ্যে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ
r = তার দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব

1 amper- এর সংজ্ঞাঃ → শূন্য মাধ্যমে 1m দূরত্বে অবস্থিত অসীম দৈর্ঘ্যের এবং উপেক্ষণীয় প্রস্থচ্ছেদের দুটি সমান্ড়রাল সরল পরিবাহীর প্রত্যেকটিতে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চললে পরস্পরের মধ্যে প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে 2×10^{-7}N বল উৎপন্ন হয় তাকে 1 ampere বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ৩.৩

বহু নির্বাচনি প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. একটি তড়িৎবাহী লম্বা সোজা পরিবাহী তারের নিকটে কোনো বিন্দুতে $\vec{B}$ -এর মান,

ক. $\frac{\mu_o a}{2\pi I}$ খ. $\frac{\mu_o I}{2\pi a}$ গ. $\frac{\mu_o I}{4\pi a}$ ঘ. $\frac{4\pi a}{\mu_o I}$

২. তড়িৎবাহী বৃত্তাকার পরিবাহীর বা কুন্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্রের মান,

ক. $\frac{\mu_o r}{2nI}$ খ. $\frac{2\mu_o r}{2nI}$ গ. $\frac{\mu_o NI}{2r}$ ঘ. $\frac{\mu_o nI}{4r}$

৩. শূন্য মাধ্যমে পরস্পর হতে 1m দূরত্বে অবস্থিত খুব দীর্ঘ ও সরু দুটি সমান্ড়রাল সরল পরিবাহীর প্রত্যেকটিতে 1amp তড়িৎপ্রবাহ চললে পরস্পরের মধ্যে প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে যে বল উৎপন্ন হয় তা হল,

ক. 1×10^{7} N খ. 1×10^{-7} N গ. 2×10^{-7} N ঘ. 2×10^{7} N

পাঠ-৩.৪ : চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল আধান : লরেন্টজ বল
Moving charge in a magnetic field; Lorentz force.

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল আধানের উপর ক্রিয়াশীল লরেন্টজ বল ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

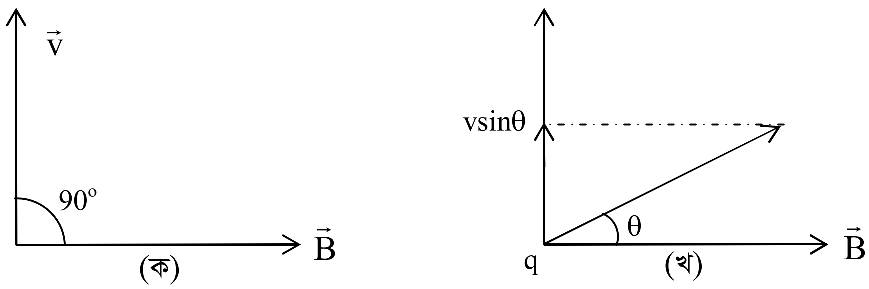
৩.৪.১ চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল আধানের উপর চৌম্বক বল

কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চার্জকে গতিশীল করলে চার্জটি একটি বল অনুভব করে কারণ গতিশীল চার্জও একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। এই বলকেই চৌম্বক বল বলা হয়। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চার্জ গতিশীল হলে গতিশীল চার্জটি যে বল অনুভব করে তা নির্ভর করে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান B, চার্জের পরিমাণ q, চার্জের বেগ v এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক ও চার্জের বেগের দিকের মধ্যবর্তী কোণের (θ) এর উপর।

পরীক্ষার মাধ্যমে দেখা গেছে যে,

চৌম্বক বল, $\vec{F} = q(\vec{v}\times\vec{B})$ ....(৩.১৩)

$\vec{F}$ এর মান ও দিক সাধারণ ভেক্টর গুণন নিয়মানুসারে নির্ধারিত।



চিত্র ৩.১৩

যদি $\vec{v}$ ও $\vec{B}$ পরস্পরের সাথে লম্ব বরাবর X–Y সমতলে হয়, $\vec{F}$ এর অভিমুখ হবে $\vec{v}$ ও $\vec{B}$ এর সাথে লম্ব বরাবর অর্থাৎ Z অক্ষ বরাবর। চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে θ কোণে গতিশীল হলে $\vec{B}$ এর সমকোণে চার্জটির বেগের উপাংশ হবে vsinθ বলের মান, $F = qvB\sin\theta$ ....(৩.১৪)

যখন $\theta = 0$, $F = 0$

অর্থাৎ, যখন $\vec{v}$ ও $\vec{B}$ এর সমান্তরাল হয়

$\theta = 0^o$ বা $180°$ তখন চৌম্বক বল, $F = 0$

যখন $\theta = 90°$, $F = qvB$

বা, $B = \dfrac{F}{qv}$ ....(৩.১৫)

B এর একক $= \left[\dfrac{F}{qv}\right]$ এর একক

$= \dfrac{N}{Cms^{-1}}$

$= \dfrac{N}{Am} \quad (\because Cs^{-1} = A)$

আবার, চৌম্বক ক্ষেত্রের একক

$= Wbm^{-2}$ বা tesla (T)

$\therefore \quad 1\ T = 1\ Wbm^{-2} = 1\ NA^{-1}m^{-1}$

$1\ T = 10^4$ gauss.

1 tesla ঃ যদি 1C চার্জ কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্ব বরাবর $1\ ms^{-1}$ বেগে গতিশীল হয় এবং 1N বল অনুভব করে, তাহলে উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 1 tesla.

লরেন্টজ বল

ধরা যাক একটি চার্জ q এমন স্থানে বিচরণ করছে যেখানে তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং একটি চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ বিদ্যমান।

আমরা জানি, $\vec{E}$ তড়িৎক্ষেত্রে q চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল,

$\vec{F}e = q\vec{E}$

চৌম্বক ক্ষেত্রে (B) q চার্জের উপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বল,

$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B})$

অতএব, q চার্জের উপর লব্ধি বল

$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$ ....(৩.১৬)

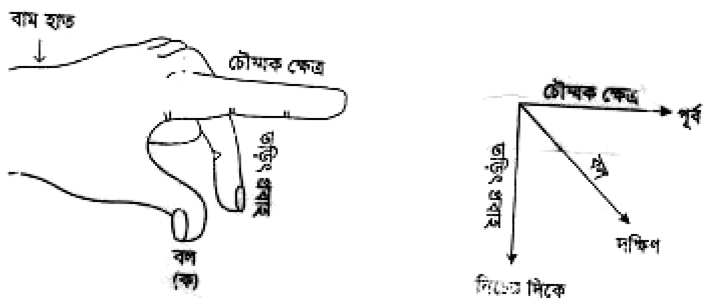
এই বলকে লরেন্টজ বল বলা হয়।

সংজ্ঞা: কোনো স্থানে তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বকক্ষেত্র যুগপৎ বিদ্যমান থাকলে সেখানে একটি গতিশীল চার্জ যে লব্ধি বল অনুভব করে, তাকে লরেন্টজ বল (Lorentz force) বলা হয়।

লরেন্টজ বলের দিক ফ্লেমিঙের বামহস্ত নিয়ম দ্বারা নির্ধারিত হয়।

ফ্লেমিঙের বাম হস্ত নিয়ম

বাম হাতের তর্জনী, মধ্যমা ও বৃদ্ধাঙ্গুলি পরস্পর সমকোণে প্রসারিত করে তর্জনীকে চৌম্বকক্ষেত্রের দিকে এবং মধ্যমাকে প্রবাহের অভিমুখে স্থাপন করলে বৃদ্ধাঙ্গুলি পরিবাহকের উপর প্রযুক্ত বলের অভিমুখ নির্দেশ করে।



চিত্র ৩.১৪

গাণিতিক উদাহরণ

৩.৫। 0.2 T সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে একটি ইলেকট্রন 10^6ms^{-1} বেগে গতিশীল। বেগের অভিমুখ চৌম্বকক্ষেত্রের লম্ব বরাবর। ইলেকট্রনটির উপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল নির্ণয় করুন (ইলেকট্রনের চার্জ = $-1.6 \times 10^{-19} C$)।

আমরা জানি,

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \text{ ....(১)}$$
$$= qvB \sin 90° (\because \vec{v} \perp \vec{B})$$
$$= qvB \text{ ....(২)}$$

$$\therefore \quad \vec{F} = -1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 0.2\text{N}$$

$$\therefore \quad |\vec{F}| = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 0.2\text{N}$$
$$= 3.2 \times 10^{-14}\text{N}$$

এখানে,
q = কণার চার্জ = -1.6×10^{-19}C
v = কণার বেগ = 10^6ms^{-1}
B = চৌম্বক ক্ষেত্র = 0.2 tesla

উ: 3.2×10^{-14}N। $\vec{F}$ এর অভিমুখ হবে $\vec{v}$ ও $\vec{B}$ উভয়ের উপর লম্ব বরাবর।

৩.৬। $\vec{B}(0.30\hat{j} + 0.5\hat{k})$T চৌম্বকক্ষেত্রে 3.0μC চার্জ, $2.0 \times 10^6 \text{ms}^{-1}$ বেগে X-অক্ষের ধনাত্মক দিকে গতিশীল চার্জটির উপর চৌম্বক বল নির্ণয় করুন।

চার্জের উপর চৌম্বক বল,

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$
$$\therefore \quad \vec{F} = -3.0 \times 10^{-6}\text{C}\left[(2.0 \times 10^6 \text{ms}^{-1})\hat{i} \times (0.30\hat{j} + 0.50\hat{k})\text{T}\right]$$
$$= 6.0(0.30\hat{i} \times \hat{j} + 0.50\hat{i} \times \hat{k})\text{N}$$
$$= (1.8\hat{k} - 3\hat{j})\text{N}$$

উ: $(1.8\hat{k} - 3\hat{j})$N

এখানে,
q = $3\mu\text{C} = 3.0 \times 10^{-6}$C
$\vec{v}$ = $(2.0 \times 10^6 \text{ms}^{-1})\hat{i}$
$\vec{B}$ = $(0.30\vec{j} + 0.50\hat{k})$T

সার-সংক্ষেপ :

- কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে ($\vec{B}$) একটি চার্জ (q), $\vec{v}$ বেগে গতিশীল থাকলে চার্জের উপর চৌম্বক বল, $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$
- কোনে স্থানে তড়িত ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র যুগপৎ বিদ্যমান থাকলে সেখানে একটি গতিশীল চার্জ যে লব্ধি বল অনুভব করে তাকে লরেন্টজ বল (Lorentz force) বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৩.৪

বহু নির্বাচনি প্রশ্ন:

১। q আধান, $\vec{B}$ চৌম্বকক্ষেত্র, $\vec{v}$ বেগে গতিশীল হলে আধানটির উপর প্রযুক্ত বলের রাশিমালা

ক. $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ খ. $\vec{F} = \dfrac{\vec{v} \times \vec{B}}{q}$ গ. $\vec{F} = \vec{v} \times \vec{B}$ ঘ. $\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$

২। লরেন্টজ বল হল:

ক. $\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$ খ. $\vec{F} = q\vec{B} + q(\vec{E} \times \vec{B})$ গ. $\vec{F} = q\vec{v} + q(\vec{E} \times \vec{B})$ ঘ. $F = qvB$

পাঠ-৩.৫ : হল প্রভাব
Hall effect.

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- হল প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- হল প্রভাবের সাহায্যে আধানের প্রকৃতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- হল ভোল্টেজের রাশিমালা প্রতিপাদন করতে পারবেন।

৩.৫.১ হল প্রভাব (Hall Effect)

১৮৭৯ খ্রীষ্টাব্দে মার্কিন বিজ্ঞানী এডুইন হল সর্বপ্রথম পর্যবেক্ষণ করেন যে, যখন কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করা হয়, তখন পরিবাহীতে প্রবাহ এবং চৌম্বকক্ষেত্র উভয়ের দিকের সাথে সমকোণে একটি বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। এ ঘটনাকে হল প্রভাব এবং উৎপন্ন বিভব পার্থক্যকে হল বিভব বা হল ভোল্টেজ বলা হয়।

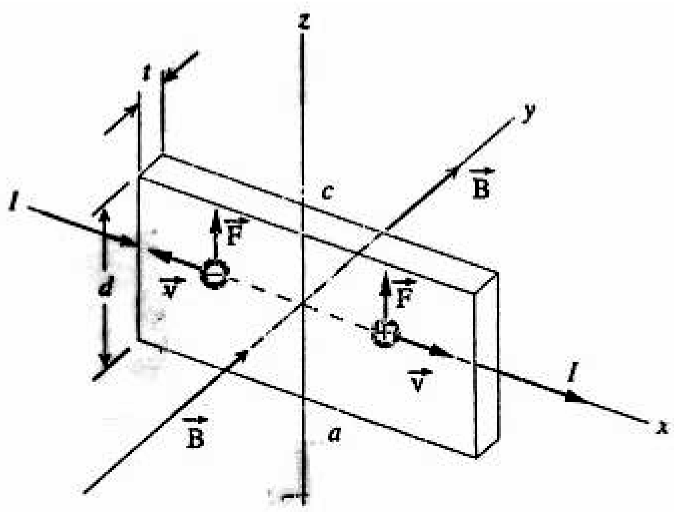
সংজ্ঞা: কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করলে তড়িৎপ্রবাহ ও চৌম্বকক্ষেত্র উভয়ের সমকোণে একটি বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। এই ঘটনাকে হল ক্রিয়া বলে।

ব্যাখ্যা: হল ক্রিয়া পর্যবেক্ষণের জন্য একটি আয়তাকার পাতলা ধাতব পরিবাহী পাত নিয়ে পাতের দৈর্ঘ্য বরাবর (ধরা যাক X-অক্ষ) I তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। পাতটিকে একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র B-তে এমনভাবে স্থাপন করি যেন চৌম্বক ক্ষেত্রের

অভিমুখ প্রবাহের সমকোণে (Y-অক্ষ বরাবর) থাকে। ধরা যাক, ধাতব পাতে ধনাত্মক চার্জের সঞ্চালনের জন্য তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়েছে।

গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে চার্জ চৌম্বক বল দ্বারা বিক্ষিপ্ত হবে। ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম অনুসারে $\vec{F}$ বল পাতের উর্ধ্বমুখে ক্রিয়াশীল হবে। ফলে ধনাত্মক চার্জ পাতের উপরের পৃষ্ঠে জমা হবে এবং সমপরিমাণ ঋণাত্মক চার্জ নিচের পৃষ্ঠে জমা হবে। বিপরীত চার্জ জমা হওয়ার কারণে পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে তড়িৎচালক বল উৎপন্ন হবে। পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে সৃষ্ট বিভব পার্থক্যকে হল ভোল্টেজ বলা হয়।

উক্ত পরীক্ষায় প্রবাহী চার্জ ঋণাত্মক হলে এর বিপরীত অবস্থা পরিলক্ষিত হবে। অর্থাৎ হল তড়িৎ চালক বলের অভিমুখ বিপরীতমুখী হবে।



চিত্র : ৩.১৫

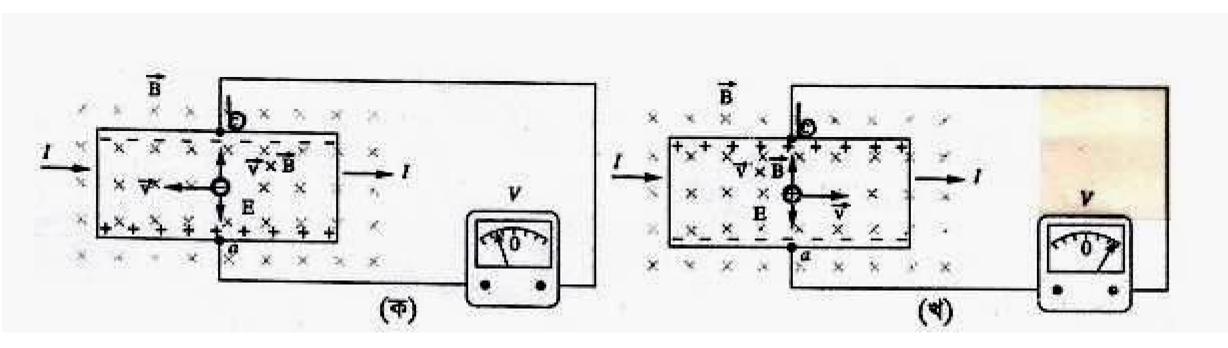
৩.৫.২ হল প্রভাবের সাহায্যে আধানের প্রকৃতি নির্ণয়:

উপরের পরীক্ষণ থেকে বুঝা যাচ্ছে যে, যদি X-অক্ষ বরাবর তড়িৎ প্রবাহিত হয়, Y-অক্ষ বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ থাকে; তাহলে Z-অক্ষ বরাবর হল ভোল্টেজ সৃষ্টি হবে। যদি উপরের পৃষ্ঠের বিভব (V_b) নিচের পৃষ্ঠের বিভব (V_a) অপেক্ষা বেশি হয়, অর্থাৎ যদি $V_b > V_a$ হয়,

$V_H = V_b - V_a$ ধনাত্মক হয়, আধান বাহক ধনাত্মক।

যদি, নিচের পৃষ্ঠের বিভব V_a উপরের পৃষ্ঠের বিভব (V_b) অপেক্ষা বেশি হয় অর্থাৎ যদি $V_a > V_b$ হয়,

$V_H = V_b - V_a =$ ধনাত্মক হয়, আধান বাহক ঋণাত্মক।



চিত্র: ৩.১৬

কোনো অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে, হল ভোল্টেজ ধনাত্মক হলে, চার্জ বাহক ধনাত্মক চার্জ (হোল) এবং অর্ধপরিবাহীটি P টাইপ, হল ভোল্টেজ ঋণাত্মক হলে চার্জ বাহক ইলেকট্রন এবং অর্ধপরিবাহীটি n টাইপ।

৩.৫.৩ হল ভোল্টেজের রাশিমালা

একটি পাতলা ধাতব পরিবাহী পাতের মধ্য দিয়ে ধনাত্মক X-অক্ষ বরাবর তড়িৎ প্রবাহ I চলছে। এর সমকোণে অর্থাৎ ধনাত্মক Y-অক্ষ বরাবর একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ প্রয়োগ করা হল।

ধরা যাক,

d = পরিবাহী পাতের প্রস্থ অর্থাৎ উপর ও নিচের দুই প্রান্তের দূরত্ব

B = চৌম্বক ক্ষেত্র

t = পাতের পুরুত্ব

q = প্রতিটি আধান বাহকের আধান

v = আধান বাহকের বেগ

n = একক আয়তনে আধান সংখ্যা

V_H= হল ভোল্টেজ

E = হল তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য।

$\therefore$ হল ভোল্টেজের জন্য সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র

$$E = \frac{V_H}{d}$$

বা, $V_H = Ed.$

আবার, আধান বাহকের উপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বল $= qvB$ (($\because v \perp B$)

সাম্যাবস্থায়,

$$qE = qvB$$

বা, $E = vB$

বা, $\frac{V_H}{d} = vB$

বা, $V_H = Bvd$ ....(৩.১৭)

আবার, $I = nAvq$

বা, $v = \frac{I}{nAq}$ ....(৩.১৮)

সমীকরণ (৩.১৭) ও (৩.১৮) হতে পাই,

$$V_H = B.\frac{I}{nAq}.d = \frac{BI}{ndtq}.d \quad (\because A = d \times t)$$

$$\therefore\ V_H = \frac{BI}{ntq} \text{ ....(৩.১৯)}$$

এটিই হল ভোল্টেজের রাশিমালা

$$\text{বা, } n = \frac{BI}{V_H tq} \text{ ....(৩.২০)}$$

এই সমীকরণের সাহায্যে একক আয়তনের আধান বাহকের সংখ্যা n নির্ণয় করা যায়।

হল বিভবের ব্যবহার

১. অর্ধ পরিবাহীর আধান বাহকের প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়।

২. হল ভোল্টেজ পরিমাপ করে পরিবাহীর প্রতি একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা নির্ণয় করা যায়।

৩. অর্ধ-পরিবাহীর আধান বাহকের ঘনত্ব নির্ণয় করা যায়।

গাণিতিক উদাহরণ

৩.৭। একটি ধাতব পাতের প্রস্থ 0.2m এবং পুরুত্ব 0.001m। পাতটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $8.4\times10^{-4}\text{ms}^{-1}$, পাতটি 4 weber/m^2 চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত। চৌম্বকক্ষেত্র পাত ধারণকারী তলের লম্ব বরাবর। তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট হল তড়িৎ ক্ষেত্র এবং হল বিভব পার্থক্য নির্ণয় করুন।

হল তড়িৎ ক্ষেত্র,

$E = vB$

$= 8.4\times10^{-4}\text{ms}^{-1}\times 4\text{Wbm}^{-2}$

$= 33.6\times10^{-4}\text{ Vm}^{-1}$

এখানে,

v = তাড়ন বেগ = $8.4\times10^{-4}\text{ms}^{-1}$

B = চৌম্বক ক্ষেত্র = 4Wbm^{-2}

d = পাতের প্রস্থ = $0.02\text{m} = 2\times10^{-4}\text{m}$

হল বিভব পার্থক্য,

$V = Ed$

$= 33.6\times10^{-4}\text{ Vm}^{-1}\times2\times10^{-2}\text{m}$

$= 67.2\times10^{-6}\text{ V}$

$= 67.2\ \mu\text{V}$

উত্তরঃ 67.2 μV

৩.৮। একটি অর্ধপরিবাহীর পাতকে 1 T চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হয়েছে। এর মেজরিটি বাহক ইলেকট্রন এবং $n = 10^{25}$, পাতটির পুরুত্ব 10^{-4}m, 1 A তড়িৎ প্রবাহের জন্য হল ভোল্টেজ নির্ণয় করুন।

$$V_H = \frac{BI}{ntq}$$

$$\therefore\ V_H = \frac{1\text{T}\times1\text{A}}{10^{25}\text{m}^{-3}\times1.6\times10^{-19}\text{C}\times10^{-4}\text{m}}$$

$= 6.67\times10^{-3}\text{V}$

$= 6.67$ mV.

এখানে,

$B = 1$ T

$I = 1$ A

$n = 10^{25}\text{m}^{-3}$

উঃ 6.67 mV.

$t = 10^{-4}$ m

$q = 1.6 \times 10^{-19}$C

সার-সংক্ষেপ :

- **হল প্রভাব:** তড়িৎবাহী-পরিবাহীর উপর অভিলম্বভাবে চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করলে তড়িৎ প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্র উভয়ের লম্বদিকে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। এই ক্রিয়াকে হল প্রভাব এবং সৃষ্ট বিভব পার্থক্যকে হল ভোল্টেজ বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৩.৫

বহু নির্বাচনি প্রশ্ন

সঠিক উত্তরে পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। হল ভোল্টেজের রাশিমালা নিচের কোনটি?

ক. $V_H = \dfrac{BI}{ntq}$ খ. $V_H = \dfrac{nI}{Btq}$ গ. $V_H = \dfrac{nq}{BtI}$ ঘ. $V_H = \dfrac{Bq}{ntI}$

২। একটি ধাতব পাতের প্রস্থ 0.02m। পাতটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ 4.2×10^{-4}ms^{-1}। পাতটি 8 weber/m^2. চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে রাখা হয়েছে। তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট হল তড়িৎ ক্ষেত্র-

ক. 33.6×10^{-4} volt/metre খ. 16.8×10^{-6} volt/metre

গ. 16.8×10^{-7} volt/metre ঘ. 16×10^{-2} volt/metre

পাঠ-৩.৬ : চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী পরিবাহী ও কুণ্ডলীর উপর বল ও টর্ক (Force on a Current carrying conductor and torque on a current carrying coil in a Magnetic Field)

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর বল হিসাব করত পারবেন।
- চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো ক্ষুদ্র লুপের উপর টর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

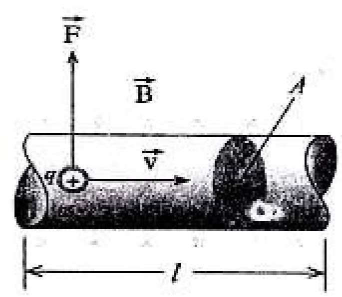
৩.৬.১ চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর বল (Force on a current carrying conductor in a megnetic field).

ধরা যাক, l দৈর্ঘ্যের একটি পরিবাহী সোজা তার যার মধ্য দিয়ে I প্রবাহমাত্রার তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মধ্যে অবস্থিত।

তারটির দৈর্ঘ্য $= l$

চার্জের তাড়ন বেগ $= \vec{v}$

তারের প্রস্থচ্ছেদ $= A$



চিত্র: ৩.১৭

প্রতিটি চার্জ বাহকে চার্জের পরিমাণ $= q$
একক আয়তনে চার্জ বাহকের সংখ্যা $= n$
তারের আয়তন $= Al$
তারের মধ্যে মোট চার্জ বাহকের সংখ্যা, $N = nAl$
তারের মধ্যে মোট চার্জের পরিমাণ, $Q = qnAl$

একটি চার্জ বাহকের উপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বল $= q\vec{v} \times \vec{B}$.
পরিবাহীটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে স্থাপন করা হয়েছে, তাই পরিবাহীর প্রতিটি চার্জ বাহকের উপর চৌম্বক বলের মান $qvB \sin 90° = qvB$.
প্রত্যেকটি চার্জ বাহকের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান ও দিক অভিন্ন।
অতএব, সকল চার্জবাহক N এর উপর তথা তারটির উপর ক্রিয়াশীল বল,

$$F = nAlqvB \qquad (\because Q = nAlq)$$

কিন্তু $I = nAqv$

$$\therefore\ F = IlB \text{ ....}(৩.২১)$$

যদি তড়িৎবাহী পরিবাহী চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে সমকোণে না থেকে θ কোণ উৎপন্ন করে, তাহলে একটি চার্জ বাহকের উপর প্রযুক্ত বল হবে

$$= qvB \sin\theta$$

অতএব, সমগ্র পরিবাহীর উপর বল হবে

$$F = IlB \sin\theta \text{ ....}(৩.২২)$$

এই সমীকরণকে ভেক্টররূপে লিখলে প্রযুক্ত বলের মান ও দিক উভয়ই পাওয়া যায়।

পরিবাহীর দৈর্ঘ্য l কে তড়িৎ প্রবাহের দিকে (ধনাত্মক আধানের গতির দিকে) $\vec{l}$ দ্বারা সূচিত করলে আমরা (৩.২২) সমীকরণটিকে নিম্নোক্তভাবে লিখতে পারি-

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \text{ ....}(৩.২৩)$$

N পাকের কোনো কুন্ডলী হলে এর উপর প্রযুক্ত বল

$$\vec{F} = NI\vec{l} \times \vec{B} \text{ ....}(৩.২৪)$$

$\vec{F}$ এর অভিমুখ ক্রস ও গুণনের নিয়ম দ্বারা নির্ধারিত।
যদি তড়িৎ প্রবাহ তথা পরিবাহী চৌম্বকক্ষেত্রের সমকোণে থাকে, তাহলে বলের দিক ফ্লেমিঙের বামহস্ড় সূত্র থেকে পাওয়য় যায়।
যদি তড়িৎবাহী পরিবাহী চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্ড়রালে থাকে (যখন, $\theta = 0°$ বা $180°$)

$$F = IlB \sin 0° = 0$$

অর্থাৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্ড়রালে স্থাপিত তড়িৎবাহী পরিবাহী কোনো বল অনুভব করে না।

চিত্র: ৩.১৮

৩.৬.২ চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো ক্ষুদ্র লুপের উপর টর্ক (Torque on a small coil in a magnetic field)

ধরা যাক, PQRS একটি N পাকের ক্ষুদ্র আয়াতাকার বর্তনী (চিত্র ৩.১৯)। এটি একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মধ্যে অবস্থিত। বর্তনীর দৈর্ঘ্য $PQ = RS = l$ এবং; প্রস্থ $QR = SP = b$

$\therefore$ বর্তনীর ক্ষেত্রফল, $A = l \times b$.

ধরা যাক বর্তনীর মধ্য দিয়ে I তড়িৎপ্রবাহ প্রবাহিত হচ্ছে।

QR ও SP বাহুর উপর প্রযুক্ত বল শূন্য কারণ বাহু দুটি $\vec{B}$ এর সমান্তরাল।

এ ক্ষেত্রে বল $F = lbB \sin 0° = 0$ [$\because \vec{b}$ ও $\vec{B}$ এর মধ্যবর্তী কোণ শূন্য]

কিন্তু l দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট্য PQ ও RS বাহুর উপর প্রযুক্ত বল $F_1 = F_2 = F = IlB \sin 90° = IlB$

যেহেতু বাহুদুটির মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহের দিক পরস্পরের বিপরীত; ফ্লেমিং এর বাম হস্ত সূত্রানুযায়ী PQ ও RS বাহুর উপর প্রযুক্ত বলের দিক পরস্পরের বিপরীত হবে।

অর্থাৎ, F_1 ও F_2 এর মান সমান কিন্তু অভিমুখ বিপরীতমুখী। এ বলদ্বয় একটি দ্বন্দ্ব সৃষ্টি করে। এই দ্বন্দ্ব বর্তনীটিকে ঘুরানোর চেষ্টা করে।

দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা টর্ক

τ = বল × F_1 ও F_2 বলের মধ্যবর্তী লম্ব দূরত্ব

$= F \times b$

$= IlB \times b = IlbB$

বা, $\tau = IAB$

বর্তনীতে N পাকের জন্য

$\tau = NIAB.$

যদি কুণ্ডলী তল চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে ϕ কোণে অবস্থান করে।

অর্থাৎ $\vec{b}$ ও $\vec{B}$ এর মধ্যবর্তী কোণ হয় ϕ তাহলে বলদ্বয়ের মধ্যবর্তী দুরত্ব

$LM = b\cos\phi$ [চিত্র ৩.১৯]

$\therefore \tau = NIAB \cos\phi$

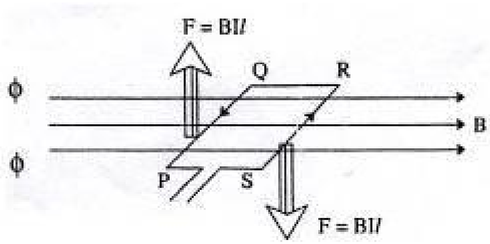
যদি বর্তনী তলের অভিলম্ব (বর্তনীর অক্ষ) এবং B এর মধ্যবর্তী কোণ θ হয়।

$\phi = (90° - \theta)$

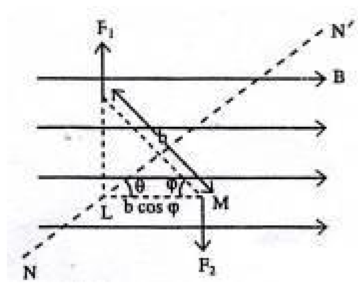
অতএব, $\tau = NIAB \cos (90° - \theta)$

বা, $\tau = NIAB \sin\theta$

টর্ক একটি ভেক্টর রাশি।



(ক)



(খ)

চিত্র : ৩.১৯

$\therefore$ ভেক্টররূপে লেখা যায়–

$\vec{\tau} = NI\vec{A} \times \vec{B}$ ....(৩.২৫)

$NI\vec{A}$ কে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক (Magnetic moment) $\vec{\mu}$ বলা হয়। $\vec{\mu}$ এর দিক হবে $\vec{A}$ এর দিক বরাবর এবং এর একক Am^2.

$\therefore \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ ....(৩.২৬)

তড়িৎবাহী কোনো কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল A কে ক্ষেত্রফল ভেক্টর ($\vec{A}$) বলা হয়।

$\vec{A}$ এর মান কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফলের সমান এবং অভিমুখ কুণ্ডলীতলের উপর অভিলম্ব বরাবর।

ডান হস্তের বৃদ্ধাঙ্গুলীর নিয়ম দ্বারা $\vec{A}$ এর অভিমুখ নির্ণীত হয়।

উপরোক্ত সমীকরণ অনুসারে কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা ও ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করলে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক বৃদ্ধি পায়। মোটর, গ্যালভানোমিটার এবং আরো কিছু কিছু বৈদ্যুতিক যন্ত্রে চৌম্বক টর্ক কাজে লাগানো হয়।]

উদাহরণ ৩.৯: পূর্বমুখী এবং 1T ফ্লাক্স ঘনত্বের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে 8A তড়িৎবাহী ও 1.5m দীর্ঘ একটি সোজা তারকে পশ্চিম দিকে স্থাপন করলে কত মানের বল অনুভব করবে?

এক্ষেত্রে, পরিবাহী তারটি চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে সমান্তরালে অবস্থান করে।

অতএব, $\theta = 0$

নির্ণেয় বল, $F = BIl\sin\theta$

এখানে, $\theta = 0$

$\therefore F = BI\,l \times (0)$

$= 0$

$\therefore F = 0$

উ: 0

উদাহরণ ৩.১০: 20 পাক ও 3cm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে 6A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক কত?

আমরা জানি, চৌম্বক ভ্রামক

$\mu = NIA$

$\therefore \mu = 20 \times (6\text{A}) \times (3.14 \times 9 \times 10^{-4}\text{m}^2)$

$= 0.339\ \text{Am}^2$

উত্তর : $0.339\ \text{Am}^2$

এখানে,

N = পাক সংখ্যা =20

I = তড়িৎ প্রবাহমাত্রা = 6A

r = কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ = 3cm = 3×10^{-2}m

$A = \pi r^2 = 3.14 \times 9 \times 10^{-4}\text{m}^2$

সার-সংক্ষেপ :

একটি পরিবাহী সোজা তারকে একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে তারটির উপর প্রযুক্ত বল,

$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$

এখানে, $I =$ পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ

$l =$ পরিবাহীর দৈর্ঘ্য

$B =$ চৌম্বকক্ষেত্র।

N পাকের পরিবাহী কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে, বল $\vec{F} = NI\vec{l} \times \vec{B}$

একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের ($\vec{B}$) মধ্যে অবস্থিত N পাকের ক্ষুদ্র আয়তাকার বর্তনীর উপর প্রযুক্ত টর্ক $\vec{\tau} = NI\vec{A} \times \vec{B} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

এখানে, $\vec{\mu} =$ কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৩.৬

১। সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মধ্যে স্থাপিত l দৈর্ঘ্যের একটি সোজা তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহ মাত্রা I হলে তারের উপর চৌম্বক বল,

ক. $\vec{F} = \vec{l} \times I\vec{B}$

খ. $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$

গ. $\vec{F} = q\vec{l} \times \vec{B}$

ঘ. $\vec{F} = \dfrac{\vec{l} \times \vec{B}}{I}$

২। একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর মধ্যে স্থাপিত A ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট ক্ষুদ্র বর্তনীর উপর চৌম্বকক্ষেত্রের টর্ক-

ক. $I\vec{A} \times \vec{B}$

খ. $I\vec{B} \times \vec{A}$

গ. $\dfrac{\vec{A} \times \vec{B}}{\vec{I}}$

ঘ. $\dfrac{I\vec{A}}{\vec{B}}$

পাঠ-৩.৭ : কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র

Magnetic Field Due to Orbital Motion of Electron

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র বর্ণনা করতে পারবেন;
- ইলেকট্রন স্পিনের জন্য চৌম্বকক্ষেত্র বর্ণনা করতে পারবেন।

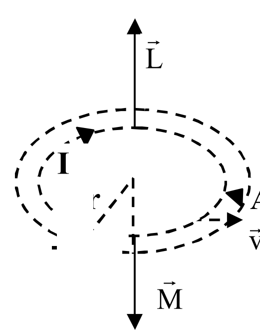
৩.৭.১ কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic Field Due to Orbital Motion of Electron)

আমরা জানি প্রকৃতিতে প্রাপ্ত পদার্থগুলির মধ্যে কিছু কিছু পদার্থ চৌম্বকত্ব প্রদর্শন করে এবং কিছু পদার্থ চৌম্বকত্ব প্রকাশ করে না। এর কারণ জানতে হলে পদার্থের পারমাণকি গঠন এবং পরমাণুদের মধ্যে মিথষ্ক্রিয়া বুঝতে হবে।

প্রত্যেক পদার্থই পরমাণুর সমন্বয়ে গঠিত এবং পরমাণুতে রয়েছে ইলেকট্রন। ইলেকট্রনগুলি বিভিন্ন কক্ষপথে ঘুরে এবং ইলেকট্রন নিজ অক্ষকে কেন্দ্র করে স্পিন গতির অধিকারী।

ইলেকট্রন যখন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ঘুরে তখন তা একটি প্রবাহ লুপ তৈরি করে। আবার কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চারদিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয়। ইলেকট্রণের কক্ষীয় গতির ফলে যে প্রবাহ লুপ তৈরি হয়, তা পারমাণবিক প্রবাহ সৃষ্টি করে। একে কখনো অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ বলা হয়। এই অ্যাম্পিয়ার প্রবাহের জন্য উৎপন্ন কক্ষীয় চৌম্বক ভ্রামকই পদার্থের চৌম্বকত্ব সৃষ্টির কারণ। কক্ষীয় গতির জন্য পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায়। ঘূর্ণায়মান চার্জিত কণা হিসাবে প্রতিটি ইলেকট্রন চৌম্বক দ্বিমেরুর মতো আচরণ করে।

ধরা যাক, কোনো পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন v ধ্রুব বেগে r ব্যাসার্ধের কক্ষপথে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে আবর্তন করছে।



ইলেকট্রনের এই গতি ঘড়ির কাঁটার দিকে I তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করেছে।

$I = \dfrac{e}{T}$ [এখানে e = ইলেকট্রনের চার্জ, T= ইলেকট্রনের আবর্তনকাল]

ধরা যাক, ইলেকট্রনের কৌণিক বেগ = ω

$\therefore\ I = \dfrac{l}{2\pi/\omega} = \dfrac{\omega e}{2\pi}$

কোনো প্রবাহ লুপের চৌম্বক ভ্রামক,

$M = IA$ [A = কক্ষপথ দ্বারা আবদ্ধ লুপের ক্ষেত্রফল = πr^2]

অতএব, ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতির ফলে সৃষ্ট প্রবাহলুপের দ্বিপোল-চৌম্বক ভ্রামক

$$\mu_l = I \times \pi r^2 = \frac{\omega e}{2\pi} \times \pi r^2 = \frac{\omega e r^2}{2}$$

ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ, $L = mr^2\omega$ [এখানে, $m =$ ইলেকট্রনের ভর]

বা $\omega r^2 = \frac{l}{m}$

$\therefore\ \mu_l = \frac{\omega e r^2}{2} = \frac{e}{2m} L$

ভেক্টররূপে, $\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m}\vec{L}$

এখানে ঋণাত্মক চিহ্ন বুঝায় যে, চৌম্বক ভ্রামকের অভিমুখ কৌণিক ভরবেগের বিপরীত দিকে,
বিয়োঁ-স্যাভার সূত্র থেকে জানি, একটি তড়িৎবাহী বৃত্তাকার পরিবাহীর কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B = \frac{\mu_o I}{2r}$$

$\therefore$ এখানে $B = \frac{\mu_o}{2r}\frac{e}{T}$

$$= \frac{\mu_o}{2r}\frac{ev}{2\pi r}$$

$$= \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{ev}{r^2} \quad \text{...}(৩.২৭)$$

যেহেতু তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ঘড়ির কাঁটার দিকে অতএব প্রবাহলুপের উপরের পৃষ্ঠে দক্ষিণ মের“ হিসাবে এবং নিচের পৃষ্ঠ উত্তর মের“ হিসাবে কাজ করে। যেহেতু চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামকের দিক দক্ষিণ মের“ থেকে উত্তর মের“র দিকে, অতএব বলা যায় যে, ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ভ্রামকের অভিমুখ লুপের সমতলের সাথে লম্ব বরাবর নিচের দিকে।

৩.৭.২ ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বকক্ষেত্র
Electron spin and Magnetic field

স্পিন কথাটির অর্থ আমরা জানি, একটা বস্তুর নিজ অক্ষের সাপেক্ষে ঘূর্ণন। ইলেকট্রনের স্পিনও শুর“তে সে অর্থে ব্যবহার করা হতো। কিন্তু দেখা গেল, এতে করে ইলেকট্রন ও অন্যান্য সকল মৌল কণিকা ও ক্ষুদ্র কণিকার চুম্বক দ্বিমের“ ভ্রামকের মান পেতে বস্তুর বেগ আলোর বেগ পার হয়ে যায়। তাই স্পিনকে কণিকাটির কোয়ান্টাম বলবিদ্যার ধর্ম বলেই অভিহিত করা হয়। স্পিনের জন্য চৌম্বক ভ্রামক ও কৌণিক ভরবেগের মধ্যে সম্পর্ক হল,

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m}\vec{S}$$

কক্ষীয় গতি ও স্পিনের জন্য চৌম্বকে ভ্রামকের লব্ধি বা ইলেকট্রনের মোট চৌম্বক ভ্রামক,

$$\vec{\mu} = \vec{\mu}_l + \vec{\mu}_s = \left(\frac{-e}{2m}\right)\left(\vec{L} + 2\vec{S}\right)$$

প্রতিটি ইলেকট্রনের পরস্পর বিপরীতমুখী দুই ধরনের স্পিনের মধ্যে যেকোনো একটি স্পিন থাকে। একটি আপ স্পিন (↑) ও অন্যটি ডাউন স্পিন (↓) ।

যে পরমাণুতে সমান সংখ্যক ইলেকট্রনের ঘূর্ণন বিপরীতমুখী থাকে ঐ পরমাণুতে কোনো লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্র থাকে না। এ ধরনের পরমাণু দ্বারা গঠিত পদার্থ অচৌম্বক পদার্থ, এ সকল পদার্থকে শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপন করলে পদার্থের পরমাণুর ইলেকট্রনের ঘূর্ণন সামান্য প্রভাবিত হয়ে খুব ক্ষীণ চৌম্বকত্ব দেখা দিতে পারে, যাকে ডায়াচৌম্বকত্ব বলা হয়।

কোনো পদার্থের পরমাণুতে যদি বিপরীত দিকে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সংখ্যা সমান না হয়, প্রত্যেক ইলেকট্রন দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র পরস্পরের ক্রিয়া নাকচ করতে পারে না। পরমাণু লব্ধি চৌম্বকক্ষেত্র লাভ করে এবং ক্ষুদ্র চুম্বকের মতো আচরণ করে যাকে চৌম্বক দ্বিমেরু বলা হয়। বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করলে এই চুম্বক মেরুগুলি আংশিকভাবে বিন্যস্ত হয়ে চুম্বকত্ব প্রদর্শন করে। এদের প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলা হয়।

কক্ষীয় চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক (Orbital magnetic dipole moment)

$\vec{\mu}_l$ এবং কক্ষীয় কৌণিক ভরবেগ $\vec{L}$ কোনো ইলেকট্রনের সুনির্দিষ্ট কোনো গতীয় অবস্থা বুঝায়। কিন্তু কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুযায়ী একটি ইলেকট্রনের স্পিন $\vec{S}$ এবং স্পিনের জন্য চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক, $\vec{\mu}_S$ ইলেকট্রনের সম্পূর্ণ মৌলিক ধর্ম প্রদর্শন করে। যেমনঃ ইলেকট্রনের ভর চার্জ দ্বারা মৌলিক বৈশিষ্ট্য প্রকাশ করা হয়।

সার-সংক্ষেপ :

- ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতির জন্য সৃষ্ট প্রবাহ লুপের দ্বিপোল-চৌম্বক ভ্রামক

  $$\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m}\vec{L}$$

  $\vec{L}$ = ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ
- ইলেকট্রনের স্পিনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ভ্রামক

  $$\vec{\mu}_S = -\frac{e}{m}\vec{S}$$

  $\vec{S}$ = ইলেকট্রনের স্পিনের জন্য কৌণিক ভরবেগ

  m = ইলেকট্রনের ভর

  e = ইলেকট্রনের চার্জ

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ৩.৭

বহু নির্বাচনি প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. ইলকট্রনের কক্ষীয় গতির জন্য প্রবাহলুপের দ্বিপোল চৌম্বক ভ্রামক,

ক. $\vec{\mu}_L = -\frac{e}{m}\vec{L}$ খ. $\vec{\mu}_L = -\frac{e}{2m}\vec{L}$ গ. $\vec{\mu}_L = -\frac{2e}{m}\vec{L}$ ঘ. $\vec{\mu}_L = -\frac{m}{e}\vec{L}$

২. ইলেকট্রনের স্পিনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ভ্রামক

ক. $\vec{\mu}_S = -\frac{e}{m}\vec{S}$ খ. $\vec{\mu}_S = -\frac{e}{2m}\vec{S}$ গ. $\vec{\mu}_S = -\frac{2e}{m}\vec{S}$ ঘ. $\vec{\mu}_S = -\frac{m}{e}\vec{S}$

পাঠ-৩.৮ : গ্যালভানোমিটারঃ চল কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার
Galvanometer : Moving Coil Galvanometer

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- একটি চল কুণ্ডলীর গঠন ও কার্যাবলী বর্ণনা করতে পারবেন।

৩.৮.১ গ্যালভানোমিটার (Galvanometer)

যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহের অস্তিত্ব ও পরিমাণ নির্ণয় করা হয়, তাকে গ্যালভানোমিটার বলে। ইতালিয় বিজ্ঞানী গ্যালভানীর নামানুসারে এ যন্ত্রের এরূপ নামকরণ করা হয়েছে। চুম্বকের উপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া অথবা তড়িৎ প্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়ার উপর ভিত্তি করে এর কার্যনীতি প্রতিষ্ঠিত।

সকল গ্যালভানোমিটারকে সাধারণত দু'শ্রেণীতে ভাগ করা হয়। যথা:

(১) **চল চুম্বক গ্যালভানোমিটার :** যে গ্যালভানোমিটারে কুণ্ডলী স্থির থাকে, কিন্তু চুম্বক শলাকা মুক্ত অবস্থায় থাকে, তাকে চল চুম্বক গ্যালভানোমিটার বলে। অ্যাস্টাটিক গ্যালভানোমিটার, ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার, সাইন গ্যালভানোমিটার ইত্যাদি চলচুম্বকে গ্যালভানোমিটার।

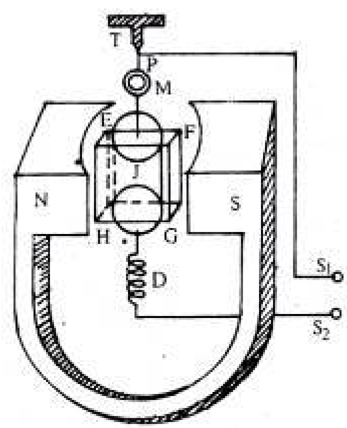
(২) **চল কুন্ডলী গ্যালভানোমিটার :** যে গ্যালভানোমিটার কুন্ডলী মুক্ত অবস্থায় থাকে, কিন্তু চুম্বক স্থির থাকে তাকে চল কুন্ডলী গ্যালভানোমিটার বলে। ডি আরসোঁভ্যাল গ্যালভানোমিটার একটি চল কুন্ডলী জাতীয় গ্যালভানোমিটার।

নিচে বহুল ব্যবহৃত একটি চল কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের বর্ণনা দেয়া হলো।

চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার (Moving coil galvanometer) ঃ ফরাসি বিজ্ঞানী ডি আরসোঁভাল (D. Arsonval) এ যন্ত্রটি আবিষ্কার করেন বলে একে ডি আরসোঁভ্যাল গ্যালভানোমিটারও বলা হয়। এ যন্ত্রের সাহায্যে অতি অল্প পরিমাণের প্রবাহমাত্রাও (10^{-10} A হতে 10^{-9}A পর্যন্ত) মাপা যায়।

গঠন: এ গ্যালভানোমিটারে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে কোন অক্ষ সাপেক্ষে ঘূর্ণনক্ষম অবস্থায় একটি তারের কুণ্ডলী ঝুলানো থাকে। এ কুণ্ডলীতে যখন তড়িৎ প্রবাহ চলে তখন চৌম্বকক্ষেত্র কর্তৃক প্রযুক্ত বলের প্রভাবে এতে একটি দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করে। ফলে কুণ্ডলীটি ঘুরে এবং এ ঘূর্ণনের পরিমাণ হতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করা যায়।

গঠন: এ যন্ত্রে একটি হালকা ধাতব আয়তাকার ফ্রেমের উপর অন্তরিত তামার তার জড়িয়ে অনেকগুলো পাক বিশিষ্ট একটি কুণ্ডলী EFGH তৈরি করা হয় (চিত্র: ৩.২১)। কুণ্ডলীটি একটি ব্যবর্ত প্রান্ত (Torsion head) T হতে ফসফর ব্রোঞ্জ (Phosphor Bronze) এর একটি সরু তার P দ্বারা U আকৃতির একটি শক্তিশালী অশ্বখুরাকৃতি চুম্বকের N–S মেরুদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে ঝুলানো থাকে। কুণ্ডলীটির নিচের প্রান্ত ফসফর ব্রোঞ্জ-এর আর একটি স্প্রিং D-এর সাথে যুক্ত। T ও D এর নিম্নপ্রান্ত যন্ত্রের পাটাতনের উপর দুটি সংযোজক স্ক্রুর (S_1,S_2) সাথে আটকানো থাকে। এ স্ক্রু দুটি দিয়ে যন্ত্রের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হয়।



চিত্র: ৩.২১

নরম লোহার চোঙাকৃতি একটি টুকরা (J) কুণ্ডলীর মাঝখানে কাঠের বোর্ডে আবদ্ধ থাকে। কুণ্ডলী ঐ লোহার টুকরাকে স্পর্শ না করে টুকরা এবং চুম্বক মেরুদ্বয়ের ফাঁকের মধ্য দিয়ে অবাধে ঘুরতে পারে। চুম্বক মেরুদ্বয়ের অক্ষ এবং চোঙাকৃতি টুকরার অক্ষ একই হতে হবে। লোহার টুকরা রাখার ফলে চৌম্বকক্ষেত্র খুব তীব্র হয়।

N–S মেরুদ্বয় অবতল আকৃতির। এর ফলে, কুণ্ডলীর যে কোনো অবস্থানে কুণ্ডলীতল চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার সমান্তরালে থাকে। ঝুলানো তার P-এর সাথে একটি ক্ষুদ্র দর্পণ M লাগানো থাকে। কোন উৎস হতে আলোকে রশ্মি দর্পণে ফেলা হয়। দর্পণ হতে প্রতিফলিত রশ্মি একটি স্কেলের উপর ফেলে কুণ্ডলীর বিক্ষেপ পরিমাপ করা হয়।

কার্যনীতি: ধরা যাক, কুণ্ডলীতে I A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। EF ও GH বাহু চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল হওয়ায় বাহু দ্বয়ের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান শূন্য [চিত্র : ৩.২২]।

EH ও FG বাহু দুটিতে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীতমুখী হওয়ায় বাহুদুটির উপর ক্রিয়াশীল বলের দিকও বিপরীতমুখী। সুতরাং কুন্ডলীর দু'বাহুর উপর দুটি সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী বল ক্রিয়া করায় একটি দ্বন্দ্বের সৃষ্টি হয় এবং এ দ্বন্দ্ব কুন্ডলীকে সাম্যাবস্থা থেকে বিক্ষিপ্ত করতে চেষ্টা করে। এ দ্বন্দ্বকে বিক্ষেপক দ্বন্দ্ব (deflecting couple) বলে।

EH ও FG এর প্রত্যেক বাহুর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$$F = nIBl$$

এখানে, l = কুন্ডলীর দৈর্ঘ্য, n = পাক সংখ্যা, B = চৌম্বক ক্ষেত্র।

অতএব, বিক্ষেপক দ্বন্দ্বের মান,

$C_1 = F\times b = nIB\, l\times b$ [এখানে, b = কুন্ডলীর প্রস্থ]

$= nIBA$ [$\because$ কুন্ডলীর ক্ষেত্রফল, $A = l \times b$]

এ দ্বন্দ্বের ক্রিয়ার ফলে ঝুলানো তারে পাক পড়ে। ঝুলানো তারের স্থিতিস্থাপকতার ধর্ম ঐ পাক খোলার চেষ্টা করে বলে একটি বিপরীত দ্বন্দ্বের সৃষ্টি হয়। এ দ্বন্দ্বকে নিয়ন্ত্রক দ্বন্দ্ব (controlling couple) বলে। এ দ্বন্দ্ব ঘূর্ণনের বিরুদ্ধে ক্রিয়া করে। কুন্ডলীটি θ কোণে ঘুরে স্থির হলে, নিয়ন্ত্রক দ্বন্দ্বের ভ্রামক,

$$C_2 = \tau\theta$$

এখানে τ হলো ঝুলনতারের একক মোচড় বা কৌণিক বিক্ষেপের জন্য নিয়ন্ত্রক দ্বন্দ্বের ভ্রামক। একে পাক ধ্রুবক বা ব্যবর্তন ধ্রুবকও বলে।

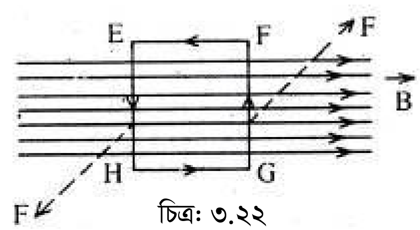
কুন্ডলীর সাম্যাবস্থায়,

বিক্ষেপক দ্বন্দ্বের মান = নিয়ন্ত্রক দ্বন্দ্বের মান

বা, $C_1 = C_2$

বা, $nIBA = \tau\theta$

বা, $I = \left(\dfrac{\tau}{nBA}\right)\theta$



চিত্র: ৩.২২

ধরি, $\dfrac{\tau}{nBA} = k$ = ধ্রুবক (একটি নির্দিষ্ট গ্যালভানোমিটারের জন্য)

$\therefore\ I = k\theta$ ....(৩.২৮)

বা, $I \propto \theta$

অর্থাৎ, বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা বিক্ষেপ কোণের সমানুপাতিক। k-কে গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক বলা হয়।

গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক:

যখন $\theta = 1$ একক তখন $I = k$ হয়।

অর্থাৎ, **চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুন্ডলীর বিক্ষেপ এক একক হয় তাকে গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক বলে।**

একটি চল কুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের ধ্রুবক 2×10^{-5} Arad^{-1}' -এ কথার তাৎপর্য এই যে, উক্ত গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে 2×10^{-5}A তড়িৎপ্রবাহ প্রবাহিত হলে এর বিক্ষেপ 1 rad হবে।

[বিঃ দ্রঃ (১) I পরিমাপের জন্য, বাস্তবে, কোণ পরিমাণ করা হয় না। স্কেলের উপর প্রতিফলিত আলোর সরণ (d) পরিমাপ করা হয়। সেক্ষেত্রে, $I \propto d$

(২) গ্যালভানোমিটার দ্বারা সাধারণতঃ তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিতি নির্ণয় করা হয় এবং দুটি প্রবাহের তুলনা করা হয়; প্রবাহের সঠিক মান নির্ণয় করা হয় না। সঠিক মান নির্ণয়ের জন্য অ্যামমিটার ব্যবহার করা হয়।

চল কুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের সুবিধা

(১) এই গ্যালভানোমিটারে কুন্ডলী একটি শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত থাকে। ফলে, বাইরের কোন চুম্বকের প্রভাব এর উপর পড়ে না।

(২) প্রবাহমাত্রা (I) বিক্ষেপ কোণের (θ) সমানুপাতিক হবার কারণে I পরিমাপে সুষম দাগাঙ্কিত স্কেল ব্যবহার করা যায়।

(৩) যন্ত্রটি 'ডেড বীট' (dead beat) প্রকৃতির। তড়িৎ প্রবাহিত হলে কুন্ডলী বিক্ষিপ্ত হয়; আবার, প্রবাহ বন্ধ করলে কুন্ডলী বিশেষ কোন দোল না খেয়ে সাম্যাবস্থায় ফিরে আসে।

সার-সংক্ষেপ :

- **গ্যালভানোমিটারঃ** যে যন্ত্রের সাহায্যে কোনো বর্তনীর তড়িৎ, প্রবাহের অস্তিত্ব ও পরিমাণ নির্ণয় করা হয়, তাকে গ্যালভানোমিটার বলে।
- **চল কুন্ডলী গ্যালভানোমিটার :** যে গ্যালভানোমিটারে কুন্ডলী মুক্ত অবস্থায় থাকে, কিন্তু চুম্বক স্থির থাকে- তাকে চল কুন্ডলী গ্যালভানোমিটার বলে।
- **গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক :** চল কুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুন্ডলীর বিক্ষেপ এক একক হয় তাকে গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ৩.৮

বহুপদী সমাপ্তিসূচক বহু নির্বাচনি প্রশ্ন

১। চল কুন্ডলী গ্যালভানোমিটারে

(i) প্রবাহমাত্রা (I) বিক্ষেপ কোণের (θ) সমানুপাতিক

(ii) যন্ত্রটি ডেড বীট প্রকৃতির

(iii) চুম্বক শলাকা মুক্ত অবস্থায় থাকে।

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii　　খ. i ও iii

গ. ii ও iii　　ঘ. iii

পাঠ-৩.৯ : অ্যামমিটার ও ভোল্টমিটার (Ammeter and Voltmeter)

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- অ্যামমিটারের গঠন ও কার্যাবলী বর্ণনা করতে পারবেন;

- ভোল্টমিটারের গঠন ও কার্যাবলী বর্ণনা করতে পারবেন।

৩.৯.১ অ্যামমিটার (Ammeter)

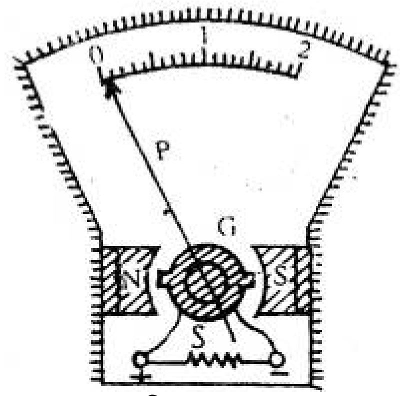
যে যন্ত্রের সাহায্যে কোনো বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহমাত্রা সরাসরি অ্যাম্পিয়ার এককে পরিমাপ করা হয়, তাকে অ্যামমিটার বলে। এর আসল নাম অ্যাম্পিয়ার মিটার। সংক্ষেপে একে অ্যামমিটার বলে। এটি প্রকৃতপক্ষে একটি বিশেষ ধরনের গ্যালভানোমিটার। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয়ের জন্য অ্যামমিটারকে বর্তনীর সাথে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হয়।

গঠন: সাধারণত একটি চল কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার G এর তারকুণ্ডলীর সাথে একটি স্বল্পমানের রোধ S সমান্তরালে সংযুক্ত করে অ্যামমিটার গঠন করা হয় (চিত্র ৩.২৩)। কুণ্ডলীটি একটি স্থায়ী চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত থাকে।

কুণ্ডলী তলের সমকোণে একটি সূচক P লাগানো থাকে। তড়িৎ প্রবাহের কারণে কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের সাথে সাথে সূচকটি একটি অ্যাম্পিয়ার এককে দাগ কাটা স্কেলের উপর ঘুরতে পারে। কোন আদর্শ যন্ত্রের সাথে তুলনা করে এর স্কেলে দাগ কাটা হয়। যন্ত্রের সংযোগ স্ক্রু দুটির একটি গায়ে (+) চিহ্ন এবং অন্যটির গায়ে (-) চিহ্ন দেয়া থাকে। বহিঃবর্তনীর উচ্চ বিভব বিন্দুকে '+' চিহ্নিত স্ক্রুর সাথে এবং নিম্ন বিভব বিন্দুকে '-' চিহ্নিত স্ক্রুর সাথে সংযুক্ত করতে হয়। সাধারণ অবস্থায় কাঁটাটি স্কেলের শূন্য দাগের উপরে থাকে। শূন্য দাগটি স্কেলের একেবারে বাম প্রান্তে থাকে এবং যন্ত্রটি সর্বাধিক যে প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করতে পারে তা স্কেলের ডান প্রান্তে লেখা থাকে।

কার্যনীতি : গ্যালভানোমিটার কুণ্ডলীর সাথে স্বল্প মানের রোধ সান্ট হিসেবে যুক্ত থাকায় যন্ত্রের তুল্য রোধ খুব কম হয়।

এর ফলে, অ্যামমিটারকে বর্তনীতে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করলেও পরিমেয় প্রবাহমাত্রার কার্যত কোন পরিবর্তন হয় না এবং যন্ত্রটি নষ্ট হওয়ার হাত থেকে রক্ষা পায়। আবার, যন্ত্রটির সাহায্যে পরিমাপযোগ্য সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা সান্ট রোধের উপর নির্ভর করে। সান্ট রোধ হ্রাস করলে তাপমাত্রা পরিমাপের সীমা বৃদ্ধি পায় এবং সান্ট রোধ বৃদ্ধি করলে এ সীমা কমে যায়। ধরা যাক, গ্যালভানোমিটার রোধ G এবং এটি সর্বাধিক যে প্রবাহ নিতে পারে তার পরিমাণ I_g-এ প্রবাহের জন্য সূচক কাঁটার বিক্ষেপ পুরো স্কেল হয়। এখন, ধরা যাক, G এর সাথে S রোধের এমন একটি সান্ট যুক্ত করা হলো যার ফলে বর্তনীতে মূল প্রবাহ I হলে G এর মধ্য দিয়ে প্রবাহ হয় I_g। স্কেল এমনভাবে তৈরী করা হয় যাতে সূচকের সর্বাধিক বিক্ষেপ I প্রবাহমাত্রা নির্দেশ করে। স্কেল থেকে সর্বদা বর্তনীর মূল প্রবাহের পাঠ পাওয়া যাবে। মূল প্রবাহ কমলে বিক্ষেপও কম হবে।



চিত্র : ৩.২৩

এখন, সান্টের নীতি অনুযায়ী,

$$I_g = \frac{IS}{S+G}$$

বা, $I_g(S+G) = IS$

বা, $S(I-I_g) = I_gG$

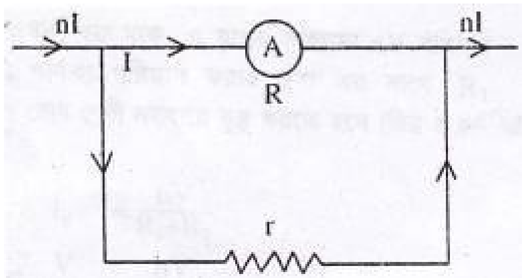
বা, $S = \dfrac{I_gG}{I-I_g}$ ....(৩.২৯)

গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর সমান্তরালে উক্ত মানের রোধ S যুক্ত করলে ঐ গ্যালভানোমিটার (0–I) পাল্লার অ্যামমিটার রূপে ব্যবহার করা যাবে।

অ্যামমিটারের পাল্লা বৃদ্ধি : একটি স্বল্প পাল্লার অ্যামমিটারকে বেশি পাল্লার অ্যামমিটারে পরিণত করতে হলে অ্যামমিটারের সাথে সমান্তরাল সমবায়ে একটি অত্যন্ত স্বল্প মাত্রার রোধ যুক্ত করতে হয় (চিত্র : ৩.২৪)।

ধরা যাক, পালণ্ডা বৃদ্ধির পূর্বে, অ্যামমিটারটির কার্যকরী রোধ R[R = (GS) / (G+S)] এবং এটি সর্বোচ্চ I প্রবাহ মাপতে পারে। এ যন্ত্রের সাহায্যে I এর n গুণ অর্থাৎ nI প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করার জন্য এর সাথে সমান্ড়রালে r রোধ যুক্ত করতে হবে।

সান্টের নীতি হতে এ ক্ষেত্রে আমরা লিখতে পারি,



চিত্র : ৩.২৪

$$I = \frac{r}{R+r} \times nI$$

বা, $I = \frac{nr}{R+r}$

বা, $nr = R+r$

বা, $r(n-1)=R$

$\therefore \; r = \frac{R}{n-1}$ ....(৩.৩০)

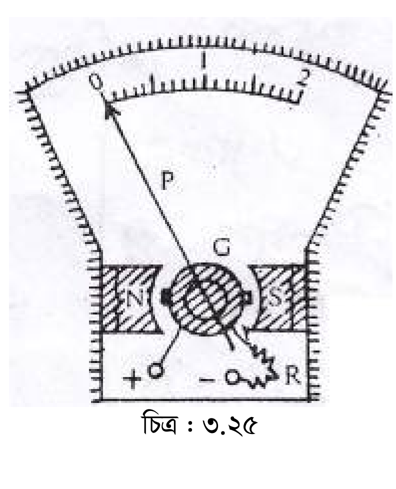
অর্থাৎ n গুণ তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপ করতে হলে অ্যামমিটারের সাথে $\frac{R}{n-1}$ মানের রোধ সমান্ড়রাল সমবায়ে যোগ করতে হবে।

৩.৯.২ ভোল্টমিটার (Voltmeter)

যে যন্ত্রের সাহায্যে বর্তনীর যেকোনো দু'বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য সরাসরি ভোল্ট এককে পরিমাপ করা হয়, তাকে ভোল্টমিটার বলে। এটিও প্রকৃতপক্ষে একটি বিশেষ ধরনের গ্যালভানোমিটার। একে বর্তনীতে সমান্ড়রাল সমবায়ে যুক্ত করতে হয়।

গঠন: গ্যালভানোমিটার G এর সাথে একটি উচ্চ মানের রোধ R শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করে ভোল্টমিটার গঠন করা হয় [চিত্রঃ ৩.২৫]। অ্যামমিটারের ন্যায় কুন্ডলীটি একটি স্থায়ী চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত থাকে। কুন্ডলী তলের সমকোণে একটি সূচক P লাগানো থাকে। বিভব পার্থক্যের জন্য সৃষ্ট তড়িৎ প্রবাহের কারণে কুন্ডলীর ঘুর্ণনের সাথে দাগ কাটা হয়ে থাকে। সাধারণ অবস্থায় কাঁটাটি স্কেলের শূন্য দাগের উপর থাকে। কিন্তু কোনো বিভব প্রভেদ পরিমাপের সময় বিভব পার্থক্য অনুযায়ী কাঁটাটি বিক্ষিপ্ত হয়।

কার্যনীতি: গ্যালভানোমিটার কুন্ডলীর সাথে শ্রেণী সমবায়ে একটি উচ্চ মানের রোধ থাকে বলে যন্ত্রটির অভ্যন্ড়রীণ রোধ খুব বেশি হয়। বর্তনীর যে বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য পরিমাপ করতে হবে তাদের মধ্যকার রোধ ভোল্টমিটারের রোধের তুলনায় অনেক কম হওয়া প্রয়োজন। এর ফলে, ভোল্টমিটারটি উক্ত সংযোগ বিন্দুদ্বয়ের সমান্ড়রালে যুক্ত করলেও বিন্দুদ্বয়ের মধ্য দিয়ে চালিত মূল প্রবাহের কোনো তারতম্য ঘটে না। যন্ত্রটি সর্বোচ্চ কত পরিমাণ বিভব পার্থক্য পরিমাপ করতে পারবে তা R এর উপর নির্ভর করে।



চিত্র : ৩.২৫

ধরা যাক, গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলী তারের রোধ G, এটি যে সর্বাধিক প্রবাহ নিতে পারে তার পরিমাণ I_g; এ প্রবাহের জন্য সূচক কাঁটার বিক্ষেপ পুরো স্কেল হয়। এখন, ধরা যাক, G এর সাথে R মানের এমন একটি উচ্চ রোধ শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হলো যার ফলে সংযোগ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য V হলে G এর মধ্য দিয়ে প্রবাহ হয় I_g। স্কেল এমনভাবে তৈরী করা হয় যাতে সূচকের সর্বাধিক বিক্ষেপ V বিভব পার্থক্য নির্দেশ করে। স্কেল থেকে সর্বদা সংযোগ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যকার বিভব পার্থক্যের পাঠ পওয়া যাবে। বিভব পার্থক্য কমলে বিক্ষেপও কম হবে।

এখন, ও'মের সূত্র হতে,

$$I_g = \frac{V}{R+G}$$

বা, $R = \frac{V}{I_g} - G$ ....(৩.৩১)

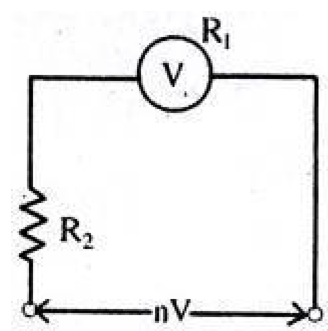
অতএব, গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর সাথে শ্রেণীতে R মানের রোধ যুক্ত করলে ঐ গ্যালভানোমিটার $(0-V)$ পাল্লার ভোল্টমিটার রূপে ব্যবহার করা যাবে।

ভোল্টমিটারের পাল্লা বৃদ্ধি : একটি স্বল্প পাল্লার ভোল্টমিটারকে বেশি পাল্লার ভোল্টমিটারে পরিণত করতে হলে যন্ত্রের সাথে শ্রেণী সমবায়ে এমন একটি রোধ যুক্ত করতে হবে যাতে যন্ত্রের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত তড়িতের মানের কোনো পরিবর্তন না হয়।

ধরা যাক, পাল্লা বৃদ্ধির পূর্বে, ভোল্টমিটারের কার্যকরী রোধ $R_1(R_1=R+G)$, এবং সংযোগ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে সর্বোচ্চ বিভব পার্থক্য V বজায় থাকলে ভোল্টমিটারের মধ্য দিয়ে সর্বোচ্চ প্রবাহ I_g হয়।

$$\therefore\ I_g = \frac{V}{R_1}$$

এখন, ধরা যাক, এ যন্ত্রের সাহায্যে nV পরিমাণ বিভব পার্থক্য পরিমাপ করার জন্য এর সাথে R_2 মানের রোধ শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করতে হবে [চিত্রঃ ৩.২৬]।



চিত্র : ৩.২৬

$$\therefore\ I_g = \frac{nV}{R_1 + R_2}$$

বা, $\frac{V}{R_1} = \frac{nV}{R_1 + R_2}$

বা, $\frac{1}{R_1} = \frac{n}{R_1 + R_2}$

বা, $nR_1 = R_1 + R_2$

বা, $R_2 = R_1(n-1)$ ....(৩.৩২)

সুতরা n গুণ বিভব পার্থক্য পরিমাপ করতে হলে ভোল্টমিটারের সাথে এর বর্তমান কার্যকরী রোধের $(n-1)$ গুণ রোধকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করতে হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

৩.১২। 20Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে কত রোধের একটি শান্ট যুক্ত করলে মোট তড়িৎ প্রবাহমাত্রার 1% গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে?

আমরা জানি,

$$I_g = \frac{I \times S}{S+G}$$

বা, $\dfrac{1}{100} = \dfrac{1 \times S}{S+20}$

বা, $\dfrac{1}{100} = \dfrac{S}{S+20}$

বা, $100S = S+20$

বা, $99S = 20$

$\therefore$ $S = \dfrac{20}{99} = 0.20\Omega$

উ: 0.20Ω

এখানে,

I = মোট তড়িৎ প্রবাহমাত্রা =1A (ধরা যাক)

I_g = গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ =1এর 1% = $\dfrac{1}{100}$A

G = গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ রোধ= 20 Ω

৩.১৩। 99Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের পাল্লা আদি পাল্লার 100 গুণ করতে গ্যালভানোমিটারের সাথে কত মানের শান্ট যুক্ত করতে হবে?

আমরা জানি, R ohm রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের পাল্লা n গুণ বৃদ্ধি করতে হলে যে শান্ট যুক্ত করতে হয়,

আমরা জানি,

$$r = \frac{R}{n-1}$$
$$= \frac{99}{100-1}\Omega$$
$$= \frac{99}{99}\Omega$$
$$= 1\Omega$$

উ: 1Ω.

এখানে,

R= গ্যালভানোমিটারের রোধ = 99Ω

n = গুণক =100

r = শান্ট =?

সার-সংক্ষেপ :

- **অ্যামমিটার:** যে যন্ত্রের সাহায্যে কোনো বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহমাত্রা সরাসরি অ্যাম্পিয়ার এককে পরিমাপ করা হয়, তাকে অ্যামমিটার বলে।
- **ভোল্টমিটার :** যে যন্ত্রের সাহায্যে বর্তনীর যেকোনো দুই বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য সরাসরি ভোল্ট এককে পরিমাপ করা হয়, তাকে ভোল্টমিটার বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৩.৯

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। যে যন্ত্রের সাহায্যে কোনো বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহমাত্রা সরাসরি পরিমাপ করা হয় তাকে বলে,

ক. গ্যালভানোমিটার খ. ভোল্টমিটার

গ. অ্যামমিটার ঘ. ভোল্টামিটার

২। গ্যালভানোমিটারকে কিভাবে অ্যামমিটারে রূপান্তরিত করা যাবে যার সাহায্যে 1A পর্যন্ত মাপা যাবে?

ক. গ্যালভানোমিটারের সাথে 1Ω রোধ সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত করতে হবে

খ. গ্যালভানোমিটারের সাথে 10Ω রোধ শ্রেণী সমবায়ে সংযুক্ত করতে হবে

গ. গ্যালভানোমিটারের সাথে 10Ω রোধ সমান্তরালে সংযুক্ত করতে হবে

ঘ. গ্যালভানোমিটারের সাথে 1Ω রোধ শ্রেণী সমবায়ে সংযুক্ত করতে হবে।

পাঠ-৩.১০ : মিটার ব্রিজ ব্যবহার করে কোনো তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- মিটার ব্রিজের সাহায্যে একটি তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করতে পারবেন।

ব্যবহারিক-২

পরীক্ষণের নাম: মিটার ব্রিজ ব্যবহার করে কোনো তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়

তত্ত্ব: যদি X ও R যথাক্রমে মিটার ব্রিজের বাম ও ডান ফাঁকে প্রদত্ত অজানা ও জানা রোধ হয় এবং মিটার ব্রিজের বাম প্রান্ত থেকে নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দুরত্ব $l_1$cm হয়, তা হলে হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি [চিত্র: ৩.২৭] থেকে পাওয়া যায়:

$$\frac{X}{R}=\frac{\text{ব্রিজ তারের } l_1\text{cm দৈর্ঘ্যের রোধ}}{\text{ব্রিজ তারের } (100-l_1) \text{ দৈর্ঘ্যের রোধ}}$$

বা, $$\frac{X}{R}=\frac{l_1\sigma}{(100-l_1)\sigma}$$

[এখানে, $\sigma =$ ব্রিজ তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ]

বা, $$\frac{X}{R}=\frac{l_1}{(100-l_1)}$$

বা, $$X=\frac{Rl_1}{(100-l_1)} \quad ....(৩.৩৩)$$

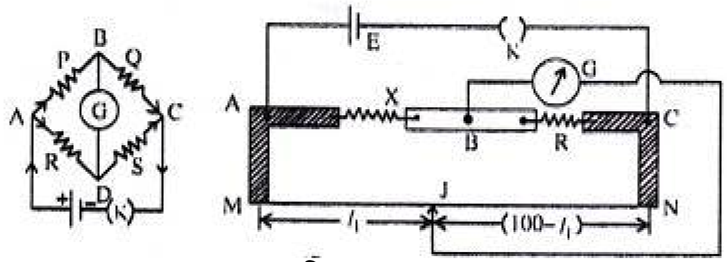
এবার X ও R রোধের স্থান বিনিময় করে R বাম ফাঁকে ও X ডান ফাঁকে স্থাপন করলে যদি বাম প্রান্ত থেকে নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব l_2 পাওয়া যায়, তা হলে,

$$\frac{R}{X}=\frac{l_2\sigma}{(100-l_2)\sigma}$$

বা, $$\frac{R}{X}=\frac{l_2}{(100-l_2)}$$

বা, $$X=\frac{R(100-l_2)}{l_2} \quad . ...(৩.৩৪)$$

সমীকরণ (৩.৩৩) ও (৩.৩৪) হতে প্রাপ্ত X-এর মানদ্বয়ের গড় নিয়ে অজানা রোধ X নির্ণয় করা যায়।



চিত্র : ৩.২৭

পরীক্ষণীয় তারের দৈর্ঘ্য L, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A এবং উপাদানের আপেক্ষিক রোধ ρ হলে, রোধের সূত্র থেকে পাই,

$$X = \frac{\rho L}{A} \quad \text{বা, } \rho = \frac{XA}{L}$$

$$\text{বা, } \rho = \frac{X\pi r^2}{L} \quad \text{.................. ....(৩.৩৫)}$$

এখানে, A = তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = πr^2,

r = তারের ব্যাসার্ধ।

(৩.৩৫) নং সমীকরণে X, r ও l–এর মান বসিয়ে আপেক্ষিক রোধের (ρ) মান নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রপাতি: মিটার ব্রিজ, তড়িৎ কোষ, গ্যালভানোমিটার, জকি, চাবি, রোধ বাক্স, মিটার স্কেল, পরীক্ষণীয় তার ইত্যাদি।

মিটার ব্রিজ

যন্ত্রের বিবরণ: এই যন্ত্রে 1m লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের আবরণহীন একটি তার (MN) থাকে [চিত্র : ৩.২৭]। তারটি একটি কাঠের বোর্ডের উপর শায়িত থাকে। তার বরাবর একটি মিটারস্কেল থাকে। তারটির দুই প্রান্ড় L-আকারের দুটি তামার পাতের সাথে যুক্ত। আর একটি সোজা তামার পাত তারের মাঝ বরাবর তার থেকে একটু দুরে কাঠের পাটাতনের উপর আটকানো থাকে। এর ফলে, এই পাত ও L পাতের মধ্যে বামদিকে একটি ও ডানদিকে একটি ফাঁক সৃষ্টি হয়। বাম ও ডান ফাঁকে রোধ অন্ড়র্ভুক্ত করা যায়।

গ্যালভানোমিটারের এক প্রান্ড় একটি চলনশীল জকি J এর সাথে যুক্ত থাকে। J-এর মাথা MN তারের যে কোনো বিন্দুতে স্পর্শ করানো যায়।

এই যন্ত্রের কার্যনীতি হুইটস্টোন ব্রিজ নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত।

[৩.২৭ নং চিত্রের ডান দিকের বর্তনী সরলীকৃত করলে বাম দিকের বর্তনীর মতো হয়।]

কার্যপ্রণালী:

(১) প্রথমে খাতায় বর্তনী চিত্র (চিত্র: ৩.২৭) অঙ্কন করা হয়।

(২) সংযোজনী তারের প্রান্ড়গুলো সিরিশ কাগজ দিয়ে ঘষে পরিষ্কার করা হয়।

(৩) অজানা রোধ X ও রোধ বাক্স যথাক্রমে ব্রিজের বাম ও ডান ফাঁকে সংযুক্ত করা হয়। ব্রিজের B বিন্দু ও জকির (J) মধ্যে গ্যালভানোমিটার (G) সংযুক্ত করা হয়।

(৪) তড়িৎ কোষ E (চাবিসহ) ব্রিজের দুই প্রান্ড় A ও C এর মধ্যে যুক্ত করা হয়। রোধ বাক্সে কিছু রোধ (R) দেওয়া হয়। (চাবি বন্ধ করে, একবার জকিকে ব্রিজ তারের বাম প্রান্ড়ে ও আরেক বার ডান প্রান্ড়ে স্পর্শ করে গ্যালভানোমিটারে বিপরীতমুখী বিক্ষেপ পাওয়া গেলে বুঝা যায় যে, সংযোগ সঠিক হয়েছে)।

(৫) এবার জকি ধীরে ধীরে তারের বাম প্রান্ড় থেকে সরিয়ে তারের উপর জকির এমন একটি অবস্থান নির্ণয় করা হয় যেখানে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ থাকে না। এটিই নিষ্ক্রিয় বিন্দু (Null Point)। মিটার ব্রিজের স্কেল থেকে বাম প্রান্ড় ও নিষ্ক্রিয় বিন্দুর মধ্যবর্তী তারের দৈর্ঘ্য l_1 ও অন্য অংশের দৈর্ঘ্য $(100–l_1)$ বের করা হয়। (১) নং সমীকরণ ব্যবহার করে অজানা রোধ X এর মান নির্ণয় করা হয়।

(৬) এবার X ও R রোধের স্থান বিনিময় করে (বাম ফাঁকে R ও ডান ফাঁকে X স্থাপন করে) ৫নং প্রক্রিয়ার মতো নিষ্ক্রিয় বিন্দু বের করা হয়।
ব্রিজ তারের বাম প্রান্ড় ও নিষ্ক্রিয় বিন্দুর মধ্যবর্তী তারের দৈর্ঘ্য l_2 ও অন্য অংশের দৈর্ঘ্য $(100–l_2)$ বের করে (২) নং সমীকরণের সাহায্যে X-এর মান নির্ণয় করা হয়।

(৭) রোধ বাক্সে R রোধের মান পরিবর্তন করে উপরিউক্ত (৫) ও (৬) নং প্রক্রিয়ার মতো X-এর মান নির্ণয় করা হয়।

(৮) পরীক্ষণীয় তারটির রোধের গড় মান বের করা হয়।

(৯) পরীক্ষণীয় তারটি মিটার ব্রিজ থেকে খুলে মিটারস্কেলের সাহায্যে এর দৈর্ঘ্য ও স্ক্রুগজের সাহায্যে এর ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয়।

(১০) (৩) নং সমীকরণে X, L ও r এর মান বসিয়ে পরীক্ষণীয় তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় করা হয়।

উপাত্ত

স্ক্রুগজের পিচ =...................mm =............cm.

বৃত্তাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা =............

লঘিষ্ঠ ধ্রুবক, $K = \dfrac{\text{পিচ}}{\text{বৃত্তাকার স্কেলের মোট ভাগসংখ্যা}}$ = ...cm.

ছক: ৩-১: প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রৈখিক স্কেল পাঠ= M cm	চক্রাকার স্কেলের পাঠ =C	লঘিষ্ঠ ধ্রুবক =K cm	চক্রাকার স্কেল পাঠের মান, F=(C×K) cm	মোট পাঠ= (M+F) cm	গড় পাঠ = D′ cm	যান্ত্রিক ত্রুটি = ±e cm	প্রকৃত ব্যাস D= [D′-(±)e] cm	ব্যাসার্ধ $r=\frac{D}{2}$ cm	প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $A=\pi r^2$ cm^2
1										
2										
3										

ছক: ৩-২: রোধ নির্ণয়

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	রোধ ohm		নিষ্ক্রিয় বিন্দুর অবস্থান		অজানা রোধ X ohm	গড় রোধ X ohm
	বাম ফাঁকে	ডান ফাঁকে	l_1 cm	l_2 cm		
1	X	R_1		–		
2	X	R_2		–		
3	X	R_3		–		
4	R_1	X	–			
5	R_2	X	–			
6	R_3	X	–			

পরীক্ষণীয় তারের দৈর্ঘ্য, L = ...cm

হিসেব

পরীক্ষণীয় তারের আপেক্ষিক রোধ, $\rho = \dfrac{X\pi r^2}{L}$ ohm-cm = ... ohm-m

ফলাফল

প্রদত্ত তারের আপেক্ষিক রোধ, ρ = ...ohm-m

সতর্কতা

(১) সংযোজনী তারের প্রান্ত সিরিশ কাগজ দ্বারা ভালোভাবে পরিষ্কার করা হয়।

(২) সকল সংযোগ দৃঢ়ভাবে দেওয়া হয়।

(৩) তুলে নেওয়া প্লাগ বাদে, রোধ বাক্সের অন্যান্য প্লাগগুলো টাইট করে লাগানো হয়।

(৪) পরীক্ষণীয় তার যাতে উত্তপ্ত না হয় সে জন্য একটানা অনেকক্ষণ তড়িৎ প্রবাহিত করা হয় না এবং তড়িৎ প্রবাহের মান কম রাখা হয়।

[বিঃ দ্রঃ পাঠ নেওয়ার পূর্বে পরীক্ষাণীয় তারের রোধের মান (X) আন্দাজ করে নিয়ে R এর মান X এর কাছাকাছি রাখতে হবে। এর ফলে, নিষ্ক্রিয় বিন্দুর অবস্থান ব্রিজ তারের মাঝামাঝি পাওয়া যায় এবং ফলাফলে ত্রুটি কম হয়।]

সার-সংক্ষেপ :

মিটার ব্রিজ: যে যন্ত্রে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের আবরণহীন একটি তার থাকে এবং তারকে কাজে লাগিয়ে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে মিটার ব্রিজ বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ৩.১০

১. মিটার ব্রিজের তারের দৈর্ঘ্য

ক. 100 cm
খ. 1000 cm
গ. 500 cm
ঘ. 10 cm

২. মিটার ব্রিজের সাহায্যে-

ক. দুটি তারের দৈর্ঘ্যের তুলনা করা হয়
খ. তড়িচ্চালক শক্তি পরিমাপ করা হয়
গ. রোধ নির্ণয় করা হয়
ঘ. বিভব পার্থক্য পরিমাপ করা হয়।

পাঠ-৩.১১ : পোস্ট অফিস বাক্স ব্যবহার করে রোধ নির্ণয়

উদ্দেশ্য

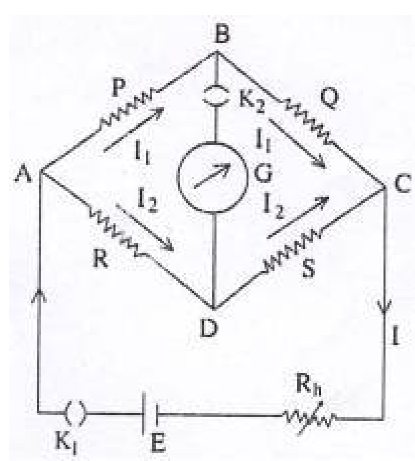
এ পাঠ শেষে আপনি-

- পোস্ট অফিস বাক্স ব্যবহার করে রোধ নির্ণয় করতে পারবেন।

ব্যবহারিক-৩

পরীক্ষণের নামঃ পোস্ট অফিস বাক্স ব্যবহার করে অজানা রোধ নির্ণয়

তত্ত্বঃ পোস্ট অফিস বাক্স হুইটস্টোন ব্রিজের একটি বিশেষ রূপ। এর তিনটি বাহু AB, BC, AD-তে জানা রোধ P, Q, R থাকে। AB ও BC বাহুকে অনুপাত বাহু (ratio arm) বলা হয়। S অজানা রোধ C ও D এর মধ্যে স্থাপন করা হয়। G গ্যালভানোমিটার B ও D এর মধ্যে এবং E তড়িৎ কোষ A ও C এর মধ্যে স্থাপন করা হয় (চিত্রঃ ৩.২৮)।



চিত্রঃ ৩.২৮

অনুপাত বাহুদ্বয়ে P ও Q রোধ স্থাপন করে তৃতীয় বাহুর রোধ R এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যাতে গ্যালভানোমিটারে শূন্য বিক্ষেপ হয়। এ অবস্থায় হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি অনুসারে,

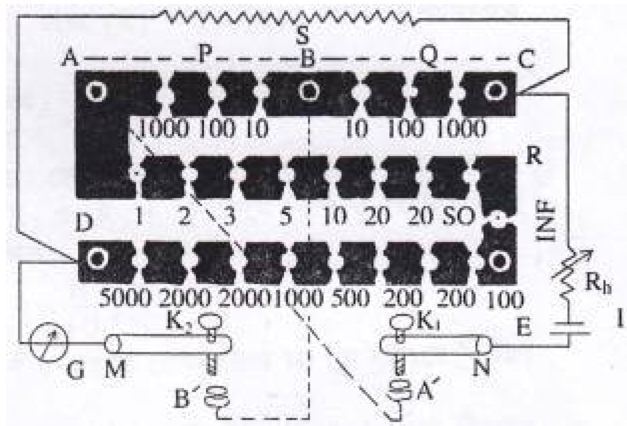
$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S} \text{ বা, } S=\frac{QR}{P} \quad \text{.............................(১)}$$

P, Q এবং R-এর মান জেনে অজানা রোধ S-এর মান পাওয়া যায়।

যন্ত্রপাতি

পোস্ট অফিস বাক্স, তড়িৎ কোষ, গ্যালভানোমিটার, কয়েকটি অজানা রোধ, সংযোজনী তার, সিরিশ কাগজ ইত্যাদি।

যন্ত্রের বর্ণনা



চিত্র: ৩.২৯

পোস্ট অফিস বাক্স দেখতে অনেকটা রোধ বক্সের ন্যায় (চিত্র: ৩.২৯)। এতে কতকগুলো স্থির মানের রোধ তিনটি সারিতে থাকে। রোধগুলো (AB, BC ও AD) এমনভাবে যুক্ত করা হয় যে, এরা ৩.২৮ নং চিত্রে প্রদর্শিত হুইটস্টোন ব্রিজের P, Q এবং R বাহুর ন্যায় ক্রিয়া করে। যে রোধের মান পরিমাপ করতে হবে সে রোধটি (S) হল ব্রিজের চতুর্থ বাহু এবং এটি বাক্সটির C ও D স্ক্রুর সাথে যুক্ত থাকে। AB ও BC বাহুতে 10, 100 ও 1000 ও'মের তিনটি করে রোধ শ্রেণি সমবায়ে সাজানো থাকে। এ দু'টি অংশকে হুইটস্টোন ব্রিজের P ও Q বাহুর সাথে তুলনা করা যায়। পোস্ট অফিস বাক্সের এ দুটি অংশকে অনুপাত বাহু (ratio arm) বলা হয়। বাক্সটির তৃতীয় অংশের বিস্তৃতি হল A হতে D স্ক্রু পর্যন্ত। এ বাহুটি হুইটস্টোন ব্রিজের R বাহুর সাথে তুলনীয়। তৃতীয় বাহুতে একটি পণ্গাগের নিচে কোনো রোধ কুণ্ডলী না থাকায় পণ্গাগটি খুললে একটি অসীম রোধ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হয়। একে INF লেখা দ্বারা বুঝানো হয়েছে। এ বাহুতে 1 ও'হম হতে 5000 ওহম পর্যন্ত মোট 16 টি সসীম মানের রোধ থাকে। পরীক্ষাধীন রোধটি C ও D বিন্দুর সাথে যুক্ত করা হয়। এটিই হবে ব্রিজের চতুর্থ বাহু S। A বিন্দু চাবি K_1 এর নিচের অংশের (A′) সাথে অভ্যন্তরীণভাবে সংযুক্ত। অনুরূপভাবে B বিন্দু চাবি K_2-এর নিচের অংশের (B′) সাথে সংযুক্ত। K_1 কে ব্যাটারি চাবি ও K_2 কে গ্যালভানোমিটার চাবি বলা হয়।

কার্যপ্রণালী

(১) প্রথমে খাতায় বর্তনী চিত্র অঙ্কন করা হয়।

(২) সংযোজনী তারের প্রান্ত সিরিশ কাগজ দ্বারা পরিষ্কার করা হয় এবং চিত্রানুযায়ী অজানা রোধ (S) CD বাহুতে অন্তর্ভুক্ত করা হয়।

(৩) AB ও BC বাহুর প্রতিটিতে 10 ohm রোধ স্থাপন করে তৃতীয় বাহু AD তে রোধ শূন্য রেখে চাবির সাহায্যে সংযোগ সম্পূর্ণ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ্য করা হয়। এরপর তৃতীয় বাহুতে অসীম রোধ দিয়ে ও সংযোগ সম্পূর্ণ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ্য করা হয়। দুই বিক্ষেপ পরস্পরের বিপরীত দিকে হলে বুঝা যায় যে সংযোগ সঠিক হয়েছে।

(৪) অনুপাত বাহুদ্বয়ে P =10 ohm ও Q = 10 ohm রোধ স্থাপন করে তৃতীয় বাহুতে পর্যায়ক্রমে ছোট ও বড় রোধ স্থাপন করে রোধ এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যাতে R_1 এবং (R_1+1) রোধে গ্যালভানোমিটারে বিপরীতমুখী বিক্ষেপ হয়।

অতএব, অজানা রোধের মান R_1 ও (R_1+1) এর মধ্যে অবস্থিত।

(৫) অনুপাত বাহুদ্বয়ে 100 ohm ও 10 ohm রোধ স্থাপন করা হয়। যেহেতু প্রথম বাহুতে রোধ 10 গুণ বেড়েছে অতএব তৃতীয় বাহুতে রোধ 10 গুণ বাড়িয়ে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন, R_2 ও (R_2+1) রোধে বিপরীত বিক্ষেপ হয়। অতএব ভারসাম্য রোধ R এর মান R_2 ও (R_2+1) এর মধ্যে অবস্থিত।

[৩য় বাহুতে রোধ R এর জন্য যদি বিক্ষেপ শূন্য হয়, তা হলে, $S = \dfrac{R}{10}$]

(৬) $P = 1000$ ohm ও $Q = 10$ ohm রোধ স্থাপন করা হয়। তৃতীয় বাহুতে রোধ আরও 10 গুণ বাড়িয়ে নিয়ন্ত্রণ করা হয়।

এবার R_3 রোধে সূচক কোনো এক দিকে d_1 ভাগ ও R_3+1 রোধে সূচক বিপরীত দিকে d_2 ভাগ বিক্ষেপ দেয়। এক্ষেত্রে অজানা রোধ, $S = \frac{Q}{P}\left(R_3 + \frac{d_1}{d_1 + d_2}\right) = \frac{1}{100} = \left[R_3 + \frac{d_1}{d_1 + d_2}\right]$ ohm

[৩য় বাহুতে রোধ R এর জন্য যদি বিক্ষেপ শূন্য হয়, তা হলে $S = \frac{R}{100}$

উপাত্ত

ছক: ৩-৩ (অজানা রোধ নির্ণয়)

রোধের পরিমাণ ohm		তৃতীয় বাহুতে অন্তর্ভুক্ত রোধ R ohm	গ্যালভানোমিটার বিক্ষেপের দিক	মন্তব্য	রোধের মান $S = \frac{Q}{P}\left(R_3 + \frac{d_1}{d_1 + d_2}\right)$
P বাহুতে	Q বাহুতে				
10	10	০	বাম	বর্তনী সংযোগ সঠিক	$S = ...$ ohm
10	10	অসীম	ডান		
10	10				
10	10				
100	10				
100	10				
100	10				
100	10				
1000	10				
1000	10				
1000	10				
1000	10				

হিসেব

অজানা রোধের মান S = ... ohm

ফলাফল

S = ... ohm

সতর্কতা

(১) সিরিশ কাগজ দ্বারা সংযোজনী তারের প্রান্ত ভালোভাবে পরিষ্কার করা হয়।

(২) স্বকীয় আবেশ পরিহারের জন্য পাঠ নেওয়ার সময় তড়িৎ কোষের বর্তনী আগে ও গ্যালভানোমিটারের বর্তনী পরে সংযোগ দেওয়া হয়।

(৩) সকল সংযোগ শক্তভাবে দেওয়া হয়।

(৪) রোধ বাক্সের চাবিগুলো টাইট করে লাগানো হয়।

(৫) রোধগুলো যাতে উত্তপ্ত না হয় সে জন্য একটানা অনেকক্ষণ তড়িৎ প্রবাহিত করা অনুচিৎ।

রোধ নির্ণয়ের ছক [নমুনা (অনুকরণীয় নয়): ৩-৪

<table>
<tr><th rowspan="2">রোধ</th><th colspan="2">রোধের পরিমাণ ohm</th><th rowspan="2">তৃতীয় বাহুতে রোধ R ohm</th><th rowspan="2">বিক্ষেপের দিক</th><th rowspan="2">মন্তব্য</th><th rowspan="2">রোধের মান $S=\frac{Q}{P}\left(R_3+\frac{d_1}{d_1+d_2}\right)$</th></tr>
<tr><th>P বাহুতে</th><th>Q বাহুতে</th></tr>
<tr><td rowspan="12"></td><td>10</td><td>10</td><td>০</td><td>বাম</td><td rowspan="2">বর্তনী সংযোগ সঠিক।</td><td rowspan="12">$S=\frac{1}{100}\left[1212+\frac{2}{5}\right]\Omega$
$=\frac{1}{100}[1212.4]\Omega$
$=12.124\Omega$</td></tr>
<tr><td>10</td><td>10</td><td>অসীম</td><td>ডান</td></tr>
<tr><td>10</td><td>10</td><td>12</td><td>বাম</td><td rowspan="2">অজানা রোধ (S)-এর মান 12Ω ও 13Ω এর মধ্যে।</td></tr>
<tr><td>10</td><td>10</td><td>13</td><td>ডান</td></tr>
<tr><td>100</td><td>10</td><td>120</td><td>বাম</td><td rowspan="4">ভারসাম্য রোধ (R) 121Ω ও 122Ω এর মধ্যে। অজানা রোধ (S)121Ω ও 12.2Ω এর মধ্যে।</td></tr>
<tr><td>100</td><td>10</td><td>130</td><td>ডান</td></tr>
<tr><td>100</td><td>10</td><td>121</td><td>বাম</td></tr>
<tr><td>100</td><td>10</td><td>122</td><td>ডান</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>10</td><td>1210</td><td>বাম</td><td rowspan="4">ভারসাম্য রোধ (R)1212Ω ও 1213Ω এর মধ্যে। অজানা রোধ (S)12.12Ω ও 12.13Ω এর মধ্যে। $d_1=2;\ d_2=3$</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>10</td><td>1211</td><td>বাম</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>10</td><td>1212</td><td>বাম (দুই ঘর)</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>10</td><td>1213</td><td>ডান (তিন ঘর)</td></tr>
</table>

সার-সংক্ষেপ :

- **পোস্ট অফিস বক্স:** যে রোধ বাক্সের তিনটি বাহুর রোধকে হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহু হিসাবে বিবেচনা করে এর সাহায্যে হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি অবলম্বন করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে পোস্ট অফিস বক্স বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৩.১১

১। রোধ মাপার যন্ত্র হলো:

ক. অ্যামমিটার

খ. ভোল্টমিটার

গ. পোস্ট অফিস বক্স

ঘ. পোটেনশিও মিটার

২। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের তিন বাহুতে যথাক্রমে 12, 6 ও 8Ω রোধ আছে। চতুর্থ বাহুর রোধ কত হলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় থাকবে?

ক. 6Ω

খ. 4Ω

গ. 2Ω

ঘ. 3Ω

পাঠ-৩.১২ : পোটেনশিওমিটার ব্যবহার করে দুটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির তুলনা

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- পোটেনশিওমিটার ব্যবহার করে দুটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির তুলনা করতে পারবেন।

ব্যবহারিক-৪

পরীক্ষণের নামঃ পোটেনশিওমিটার ব্যবহার করে দুটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির (e.m.f) তুলনা

তত্ত্ব (Theory) ঃ মুক্ত বর্তনীতে কোনো তড়িৎ কোষের দুটি মেরুর বিভব পার্থক্যকে ঐ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি (e.m.f) বলা হয়।

মনে করি,

E_1= প্রথম তড়িৎ কোষ E_1-এর তড়িচ্চালক শক্তি

E_2= দ্বিতীয় তড়িৎ কোষ E_2-এর তড়িচ্চালক শক্তি

l_1= প্রথম কোষের জন্য পোটেনিশওমিটারের A বিন্দু হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু M পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য (চিত্রঃ ৩.৩০)

l_2= দ্বিতীয় কোষের জন্য পোটেনিশওমিটারের A বিন্দু হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু N পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য (চিত্রঃ ৩.৩০)

σ = পোটেনশিওমিটার তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ

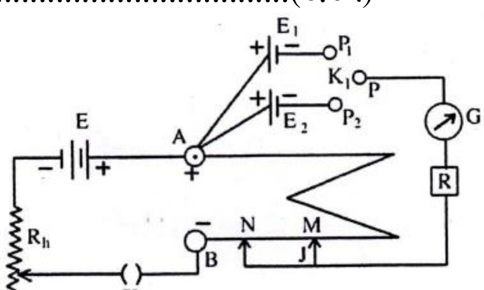
I = পোটেনশিওমিটার তারে তড়িৎ প্রবাহ

প্রথমে E_1 তড়িচ্চালক বলের কোষ বর্তনীতে সংযুক্ত করলে যদি পোটেনশিওমিটার তারের l_1 দৈর্ঘ্যে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য পাওয়া যায়, তা হলে, ও'মের সূত্রানুসারে,

E_1= তারের l_1 দৈর্ঘ্যের বিভব পতন

$=l_1$ দৈর্ঘ্যের রোধ $\times$ তড়িৎ প্রবাহ

$=l_1\sigma I$ ....(৩.৩৭)



[চিত্র ঃ ৩-২৯]

চিত্র : ৩.৩০

অনুরূপভাবে, E_2 তড়িচ্চালক বলের কোষের জন্য যদি l_2 দৈর্ঘ্যে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য পাওয়া যায়, তা হলে,

$E_2 = l_2\sigma I$ ....(৩.৩৮)

সমীকরণ (৩.৩৭) কে (৩.৩৮) দ্বারা ভাগ করে,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} \quad \text{...... ....}(৩.৩৯)$$

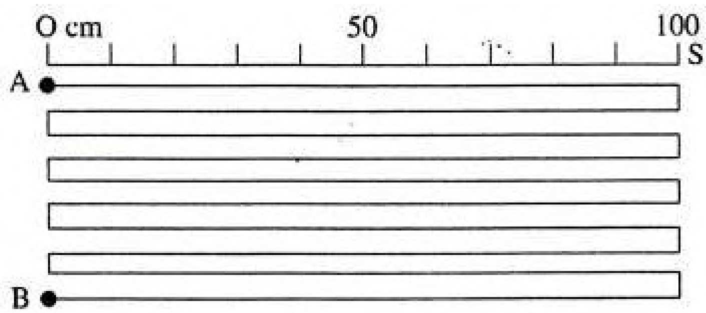
উপরের (৩.৩৯) নং সমীকরণে l_2 ও l_2 এর মান বসিয়ে E_1 এবং E_2-এর অনুপাত নির্ণয় করা যায়। অর্থাৎ তড়িচ্চালক বলের তুলনা করা যায়।

যন্ত্রপাতি

(১) পোটেনশিওমিটার, (২) সঞ্চয়ী কোষ বা ব্যাটারি, (৩) গ্যালভানোমিটার, (৪) দুটি পরীক্ষাধীন প্রাথমিক কোষ, (৫) রোধ বাক্স, (৬) পরিবর্তনশীল রোধ (R_h), (৭) তিনমুখী চাবি, (৮) জকি, (৯) চাবি, (১০) সংযোজনী তার, (১১) সিরিশ কাগজ।

পোটেনশিওমিটার

যন্ত্রের বর্ণনা: একটি কাঠের পাটাতনের উপর সুষম প্রস্থচ্ছেদের প্রত্যেকটি 1 মিটার লম্বা 10 টি মাঙ্গানিজ বা কনস্ট্যানট্যানের তার পরস্পর সমান্ড়রালভাবে বিন্যস্ড় থাকে এবং শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত করা থাকে (চিত্র: ৩.৩১)



চিত্র : ৩.৩১

প্রথম ও শেষ তারের মুক্ত প্রান্ড় দুটি যথাক্রমে A ও B সংযোজক স্ক্রু দুটির সাথে যুক্ত। কাঠের পাটাতনের পিছনে প্রথম তারটির পাশে একটি মিটারস্কেল S বসানো থাকে। মিটারস্কেলটি তারগুলোর সাথে সমান্ড়রাল এবং স্কেলটির 0 ও 100 সে.মি.-এর দাগ তারগুলোর দুপ্রান্ড় বরাবর থাকে।

পোটেনশিওমিটার ব্যবহার করার সময় বর্তনীতে গ্যালভানোমিটার থাকে। একটি জকির মাধ্যমে গ্যালভানোমিটারের সাথে পোটেনশিওমিটার তারের যে কোনো বিন্দুর সংযোগ ঘটানো হয়।

[কোনো কোনো পোটেনশিওমিটারে একটি টেপা চাবিকে জকি হিসেবে ব্যবহার করা হয়।]

কার্যাবলী

(১) প্রথমে সংযোজনী তারসমূহের প্রান্ড়গুলো সিরিশ কাগজ দ্বারা পরিষ্কার করে নেওয়া হয়।

(২) সঞ্চয়ী কোষ বা ব্যাটারি E এবং প্রাথমিক কোষ E_1 ও E_2-এর ধনাত্মক (+বন্ধনী) মের"গুলো পোটেনশিওমিটারের A প্রান্ড়ের সাথে সংযোগ করা হয়। প্রাথমিক কোষ E_1 ও E_2 এর ঋণাত্মক (-বন্ধনী) মের"গুলো তিনমুখী চাবির (K_1) দুটি মুখের (P_1, P_2) সাথে সংযোগ করা হয় (চিত্র ৩.৩০)।

(৩) গ্যালভানোমিটার G তিনমুখী চাবির তৃতীয় মুখের (P) সাথে রোধ বাক্স R এবং টেপা চাবি বা জকি (J) সহ শ্রেণি সমবায়ে সংযোগ করা হয়। সঞ্চয়ী কোষের ঋণাত্মক মের" (-বন্ধনী) পরিবর্তন ীয় রোধ (R_h) এবং চাবি (K_2) সহ শ্রেণি সমবায়ে পোটেনশিওমিটারের B প্রান্ড়ের সাথে সংযোগ করা হয়।

(৪) গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে রোধ বাক্সে 1000 ohm বা এর চেয়ে বেশী রোধ নিয়ে তিনমুখী চাবি K_1 এর P P_1 সংযোগ করে প্রাথমিক কোষ E_1 সংযোগ করা হয়।

(৫) সঞ্চয়ী কোষের বর্তনীতে চাবি (K_2) স্থাপন করে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হয়। টেপা চাবি বা জকি J-কে পোটেনশিওমিটারের প্রথম ও শেষ তারে পরপর সংযোগ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ্য করা হয়। বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হলে সংযোগ ঠিক হয়েছে ধরা হয়।

(৬) রোধ বাক্স (R) এবং পরির্তনীয় রোধ (R_h)-এর মান কমিয়ে বা বাড়িয়ে টেপা চাবি বা জকি J-কে পোটেনশিওমিটারের তারে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ না থাকে। এটিই প্রথম কোষ E_1-এর নিষ্ক্রিয় বিন্দু (M)।

(৭) পোটেনশিওমিটারের A প্রান্ড় হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু (M) পর্যন্ড় তারের দৈর্ঘ্য যন্ত্রের স্কেল হতে নেওয়া হয়। এটিই E_1 কোষের জন্য তারের ভারসাম্য দৈর্ঘ্য l_1। একই রোধে তিনটি পাঠের গড় নিয়ে গড় l_1 নির্ণয় করা হয়।

(৮) এখন তিনমুখী চাবি K_1 এর সংযোগ E_1 হতে সরিয়ে P P_2 সংযোগ করে প্রাথমিক কোষ E_2 সংযোগ করা হয়। সঞ্চয়ী কোষের বর্তনীর রোধ এবং গ্যালভানোমিটারের বর্তনীর রোধ ঠিক রেখে টেপা চাবি বা জকি J কে সরিয়ে এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ না থাকে। এটিই দ্বিতীয় কোষের নিষ্ক্রিয় বিন্দু (N)।

(৯) পোটেনশিওমিটারের A প্রান্ড় হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু (N) পর্যন্ড় তারের দৈর্ঘ্য যন্ত্রের স্কেল হতে নেওয়া যায়। এটিই E_2 কোষের জন্য তারের ভারসাম্য দৈর্ঘ্য l_2। একই রোধে তিনটি পাঠের গড় নিয়ে গড় l_2 নির্ণয় করা হয়।

(১০) উভয় বর্তনীতে বিভিন্ন মানের রোধ নিয়ে উপরোক্ত প্রণালীতে কয়েকবার l_1 ও l_2 এর মান নির্ণয় করা হয়। প্রতি ক্ষেত্রে l_1 কে l_2 দ্বারা ভাগ করে E_1 ও E_2 এর অনুপাত নির্ণয় করে এদের গড় বের করলে প্রকৃত অনুপাত পাওয়া যায়।

[**বিঃ দ্রঃ** ব্যাটারি বর্তনীতে যদি পরিবর্তনীয় রোধ হিসেবে রিওস্ট্যাট ব্যবহার করা হয় তা হলে উক্ত রোধের সঠিক মান পাওয়া যাবে না। এক্ষেত্রে, ছকে রোধের মানের পরিবর্তে **১ম, ২য় ও ৩য়** অবস্থান লিখলেই চলবে।]

উপাত্ত

ছক: ৩-৫: তড়িচ্চালক বলের তুলনা

রোধের নাম		পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পটেনশিওমিটারের A প্রান্ড় হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু পর্যন্ড় দৈর্ঘ্য				$\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}$	গড় $\frac{E_1}{E_2}$
ব্যাটারি বর্তনীতে রোধ ohm	গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে রোধ ohm		কোষ E_1-এর জন্য		কোষ E_2-এর জন্য			
			l_1 cm.	গড় l_1 cm.	l_2 cm.	গড় l_2 cm.		
		1						
		2						
		3						

হিসেব

(১) $\frac{E_1}{E_2} =$......... (২) $\frac{E_1}{E_2} =$......... (৩) $\frac{E_1}{E_2} =$......... $\therefore$ গড়, $\frac{E_1}{E_2} =$.........

ফলাফল: পরীক্ষণীয় কোষ দুটির তড়িচ্চালক বলের অনুপাত, $\frac{E_1}{E_2} =$.........

সতর্কতা

১. পোটেনশিওমিটারের A প্রান্ডে সকল ধনাত্মক মেরু (+বন্ধনী) সংযোগ করা হয়।

২. গ্যালভানোমিটারের কাঁটা স্থির অবস্থায় পাঠ নেওয়া হয়।

৩. সংযোজনী তারের প্রান্ডগুলো সিরিশ কাগজ দ্বারা পরিষ্কার করা হয়।

৪. গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে প্রয়োজনমতো বড় রোধ রাখা হয়।

৫. সঞ্চয়ী কোষের e. m. f. প্রাথমিক কোষ E_1 এবং E_2 অপেক্ষা বড় নেওয়া হয়।

৬. নিষ্ক্রিয় বিন্দু সঠিকভাবে নির্ণয় করা হয়।

৭. পোটেনশিওমিটারের সর্বশেষ তারে নিষ্ক্রিয় বিন্দু পাবার চেষ্টা করা হয়।

সার-সংক্ষেপ :

পোটেনশিওমিটার: যে যন্ত্রের সাহায্যে বিভব পতন পদ্ধতিতে বিভব পার্থক্য ও তড়িচ্চালক শক্তি পরিমাপ করা হয় তাকে পোটেনশিওমিটার বলে। পোটেনশিওমিটার তারের মধ্য দিয়ে ধ্রুব মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চললে তারের যে কোনো দুই অংশের বিভব পার্থক্য ঐ অংশদ্বয়ের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

চূড়ান্ড মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

ক. সাধারণ বহু নির্বাচনী প্রশ্ন: সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে 1C চার্জ চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে 1ms^{-1} বেগে গতিশীল হলে 1N বল অনুভব করে সেই চৌম্বকক্ষেত্রের মানকে বলা হয় এক-

ক. ওয়েবার খ. টেসলা

গ. এম্পিয়ার মিটার ঘ. এম্পিয়ার/মিটার

২. দুটি সমমুখী সমান্ড্রাল তড়িৎবাহী পরিবাহী পরস্পরকে

ক. আকর্ষণ করে খ. বিকর্ষণ করে

গ. কোনো বল প্রয়োগ করেনা ঘ. উপরের কোনটিই নয়।

৩. $3\mu\text{T}$ চৌম্বকক্ষেত্রে লম্বভাবে অবস্থিত একটি সোজা তারের মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎপ্রবাহ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটির একক দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল-

ক. $6\times10^{-6}\text{Nm}^{-1}$ খ. 6Nm^{-1}

গ. 1.5Nm^{-1} ঘ. $15\times10^{-7}\text{Nm}^{-1}$

খ. বহুপদী সমাপ্তিসূচক বহু নির্বাচনী প্রশ্ন

৪ অ্যামমিটার একটি তড়িৎযন্ত্র যা-

(i) একটি বিশেষ ধরনের গ্যালভানোমিটার

(ii) বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয়ের জন্য বর্তনীর সাথে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হয়

(iii) অ্যামমিটারের সাহায্যে বর্তনীর দুই বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য পরিমাপ করা হয়।

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. iii খ. ii ও iii

গ. ii ঘ. i ও iii

৫ ভোল্টমিটার একটি তড়িৎযন্ত্র যা-

(i) একটি বিশেষ ধরনের গ্যালভানোমিটার

(ii) বর্তনীর সমান্ড়্রাল সমবায়ে যুক্ত করতে হয়।

(iii) বর্তনীতে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করতে হয় ।

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. i ও iii

গ. iii ঘ. ii ও iii

(গ) অভিন্ন তথ্যভিত্তিক বহু নির্বাচনী প্রশ্ন

একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুতে যথাক্রমে 100, 200, 30 এবং 50 ওমের রোধ আছে।

৬ চতুর্থ বাহুর রোধ কত হলে ব্রিজটি ভারসাম্য অবস্থায় থাকবে?

ক. 60 ohm খ. 15 ohm

গ. 90 ohm ঘ. 20 ohm

৭ চতুর্থ বাহুতে কত রোধ কীভাবে সংযুক্ত করলে ব্রিজটি ভারসাম্য অবস্থায় আসবে?

ক. শ্রেণি সংযোগে 20 ohm খ. শ্রেণি সংযোগে 10 ohm

গ. সমান্ড়্রাল সংযোগে 20 ohm ঘ. সমান্ড়্রাল সংযোগে 10 ohm

সৃজনশীল প্রশ্ন

১. কোন স্থানে উত্তরমুখী চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 0.4 tesla। একটি ইলেকট্রন $10^6 ms^{-1}$ বেগে ঐ স্থানে পূর্বদিকে গতিশীল ইলেকট্রনের আধান 1.6×10^{-14}C.

ক. তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া কাকে বলে?

খ. কোনো চার্জকে চৌম্বকক্ষেত্রে রাখলে কোন শর্তে চার্জটি চৌম্বক বল অনুভব করবে?

গ. উদ্দীপকে বর্ণিত ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর‍ুন।

ঘ. ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয়ের জন্য যে সূত্র ব্যবহার করবেন সেটি প্রতিপাদন কর‍ুন।

২. একটি প্রোটন $(6\hat{i}+4\hat{j}+2\hat{k})Vm^{-1}$ তড়িৎ প্রাবল্য বিশিষ্ট তড়িৎক্ষেত্র ও $(3\hat{i}+4\hat{j})$ tesla প্রাবল্য বিশিষ্ট চুম্বকক্ষেত্রে $(3\hat{i}+4\hat{j})ms^{-1}$ বেগে গতিশীল।

ক. লরেন্টজ বল কী?

খ. ফ্লেমিঙের বামহস্ড় সূত্রটি কী?

গ. উদ্দীপকে প্রোটন কণাটির উপর লরেণ্টজ বল নির্ণয় করে বলের মান বের কর‍ুন।

ঘ. একটি চার্জিত কণার উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া ও স্থির বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের ক্রিয়ার পার্থক্য আলোচনা কর‍ুন।

সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন

১. চৌম্বক ক্ষেত্র কাকে বলে?

২. চৌম্বক ক্ষেত্র কি রাশি?

৩. চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক সম্পর্কে আলোচনা কর‍ুন।

৪. দক্ষিণ হস্তের বৃদ্ধাঙ্গুলের নিয়ম কাকে বলে?

৫. বিয়োঁ-স্যাভার-সূত্রটি কী?

৬. 1 ampere এর আধুনিক সংজ্ঞা দিন।

বিশদ-উত্তর প্রশ্ন

১. পরীক্ষার সাহায্যে ওয়েরস্টডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা ব্যাখ্যা কর‍ুন।

২. q চার্জ $\vec{B}$ চৌম্বক ক্ষেত্রে $\vec{V}$ বেগে গতিশীল হলে দেখান যে, চার্জটির উপর ক্রিয়াশীল বল, $\vec{F} = q(\vec{V} \times \vec{B})$। এই বলের দিক নির্ণয় কর‍ুন।

৩. বিয়োঁ-স্যাভার সূত্র বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর‍ুন।

৪. অ্যাম্পিয়ারের সূত্র বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর‍ুন।

৫. হল প্রভাব কাকে বলে? হল ভোল্টেজ কী? হল ভোল্টেজ পরিমাপ করে কীভাবে চার্জ বাহকের প্রকৃতি নির্ণয় করা যায় ব্যাখ্যা কর‍ুন।

৬. কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী পরিবাহীর উপর ক্রিয়াশীল বলের রাশিমালা নির্ণয় কর‍ুন।

৭. চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত প্রবাহবাহী কুন্ডুলীর ক্রিয়াশীল টর্ক ব্যাখ্যা কর‍ুন।

৮. কক্ষপথে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র ব্যাখ্যা কর‍ুন।

৯. ইলেকট্রনের স্পিনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র ব্যাখ্যা কর‍ুন।

১০. একটি চল কুন্ডুলী গ্যালভানোমিটারের গঠন ও কার্যাপ্রণালী বর্ণনা কর‍ুন।

১১. গ্যালভানোটিমারকে কিভাবে ভোল্টমিটার ও অ্যামিটারে রূপান্তরিত করা যায়- তা ব্যাখ্যা কর‍ুন।

১২. একটি অ্যামিটারের গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা কর‍ুন।

গাণিতিক সমস্যাবলী

১. একটি লম্বা সোজা তারের মধ্য দিয়ে 6 amp তড়িৎপ্রবাহ চললে উক্ত তার থেকে 0.03m দূরে চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় কর‍ুন। [$\mu_o=4\pi\times10^{-7}WbA^{-1}m^{-1}$] [উঃ $4\times10^{-5}\,Wb/m^2$]

২. একটি লম্বা সোজা তারের মধ্য দিয়ে 6 amp তড়িৎ প্রবাহ চললে উক্ত তার থেকে 0.06m দূরে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব নির্ণয় কর‍ুন। [উঃ $2\times10^{-5}\,Wb/m^2$]

৩. 15m ও 20m দৈর্ঘ্যের দুটি তারের মধ্য দিয়ে যথাক্রমে 5.0A ও 7.0A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। তারদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 4cm হলে এদের প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যের ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর‍ুন। [উঃ $1.75\times10^{-4}\,N$]

৪. 10.4 Wbm^{-2} বা 0.4T সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে একটি প্রোটন 10^6ms^{-1} বেগে গতিশীল। চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে বেগের অভিমুখ 30^o কোণ সৃষ্টি করে। প্রোটনটির উপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল নির্ণয় কর‍ুন। [উঃ $3.2\times10^{-14}\,N$]

৫. একটি ধাতব পাতের প্রস্থ 0.01m এবং পুর‍ুত্ব 0.001m পাত ধারণকারী তলের লম্ব বরাবর একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে পাতটি রাখলে 40 microvolt হল বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয়। হল তড়িৎ ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর‍ুন। [উঃ $4\times10^{-3}\,Vm^{-1}$]

৬. একটি বর্তনীতে 5 টি সমান আকারের পাক আছে। প্রতিটি পাকের ক্ষেত্রফল $0.02m^2$ বর্তনীর মধ্য দিয়ে 3 A তড়িৎ প্রবাহ প্রবাহিত হলে এর চৌম্বক ভ্রামকের মান কত হবে? [উঃ $0.3Am^2$]

৭. 0.5m লম্বা একটি সোজা তার $2 weber/m^2$ চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলো। তারটির মধ্য দিয়ে 5A তড়িৎ প্রবাহ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটির উপর প্রযুক্ত বল নির্ণয় করুন, যখন-

(ক) তারটির চৌম্বক ক্ষেত্রের লম্ব বরাবর

(খ) তড়িৎ প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক একই

(গ) তড়িৎ প্রবাহ এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক পরস্পর বিপরীতমুখী [উঃ (ক) 5N, (খ) 0, (গ) 0]

৮. একটি চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের ধ্রুবক 2×10^{-4} A rad^{-1} হলে কত তড়িৎ প্রবাহে এর বিক্ষেপ 54^o হবে?

[উ : 1.884×100^{-4}]

উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.১ : ১.(গ), ২. (খ), ৩.(গ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.২ : ১.(খ), ২.(গ), ৩.(গ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.৩ : ১.খ, ২.গ ৩.গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.৪ : ১.ক, ২.ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.৫ : ১.ক, ২.ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.৬ : ১.খ, ২.ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.৭ : ১.খ, ২.ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.৮ : ১.ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.৯ : ১.গ, ২.ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.১০ : ১.ক, ২.গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৩.১১ : ১.গ, ২.খ

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

বহু নির্বাচনী প্রশ্নের উত্তরমালা

১.খ, ২.ক, ৩.ক, ৪.গ, ৫.ক, ৬.ক, ৭.ঘ

ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন: ১ (ক), (খ), (ঘ), নিজে করুন: ১.গ 6.4×10^{-14} N

সৃজনশীল প্রশ্ন-২ (ক), (খ), (ঘ) নিজে করুন: ২-গ, 26.58×10^{-19} N