ইউনিট ৪

তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া
(Magnetic effects of electric current)

ভূমিকা

তড়িৎ প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি করে। ১৮১৯ খ্রিস্টাব্দে কোপেনহেগেন বিশ্ববিদ্যালয়ের পদার্থবিজ্ঞানের বিখ্যাত বিজ্ঞানী অধ্যাপক হ্যান্স ক্রিশ্চিয়ান ওয়েরস্টেড গুরুত্বপূর্ণ এ ঘটনাটি আবিষ্কার করেন। আধান গতিশীল হলেই তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। আর গতিশীল আধানের চারপাশেই চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। স্থির আধানের চারপাশে তড়িৎক্ষেত্র থাকে কিন্তু আধান গতিশীল হলেই ঐ স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়।

এ অধ্যায়ে আলোচ্য বিষয়গুলো হল:

(i) চুম্বকের ওপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া

(ii) তড়িৎ প্রবাহের ওপর তড়িতের ক্রিয়া

(iii) তড়িৎ প্রবাহের ওপর চুম্বকের ক্রিয়া।

পাঠ ১ তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া

উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়ার সংজ্ঞা বলতে পারবেন
- তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া সংক্রান্ত ওয়েরস্টেড-এর পরীক্ষা বর্ণনা করতে পারবেন।
- তড়িৎ প্রবাহজনিত চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার বিন্যাস সম্পর্কে জানতে পারবেন।

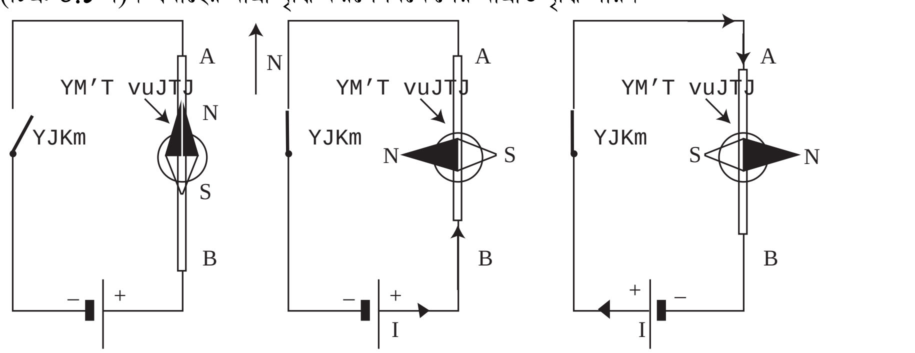
৪.১.১ তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া:

কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে পরিবাহীর চারদিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয়। এই ঘটনাকে তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে।

তড়িৎ প্রবাহের বিভিন্ন ফলগুলোর মধ্যে চৌম্বক প্রভাবই হল সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ। তবে স্থির তড়িৎ আধান কোন চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরী করেনা।

৪.১.২ ওয়েরস্টেড-এর পরীক্ষা (Oersted's Experiment)

NS একটি চুম্বক শলাকা যা AB তারের নীচে তারের সমান্তরালে উত্তর দক্ষিণ বরাবর স্থাপিত। তারটি একটি তড়িৎ কোষ ও চাবির সাথে সংযুক্ত। পরিবাহীতে তড়িৎ না থাকা অবস্থায়ই তারের সাথে চুম্বক শলাকাটি সমান্তরালে থাকে (চিত্র ৪.১(ক))। AB -এর মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে NS চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ ঘটে এবং চুম্বক শলাকাটি একটু ঘুরে স্থির অবস্থায় আসে। পর্যাপ্ত তড়িৎ প্রবাহে শলাকাটি এক পর্যায়ে পরিবাহীর সাথে সমকোনে দাড়ায়। এ অবস্থায় চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু পশ্চিম দিকে অবস্থান করে (চিত্র: ৪.১ খ)। প্রবাহের দিক পরিবর্তিত করলে শলাকার বিক্ষেপের দিকও পরিবর্তিত হয় (চিত্র: ৪.১ গ)। প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি করলে বিক্ষেপের মাত্রাও বৃদ্ধি পায়।



চিত্র: ৪.১

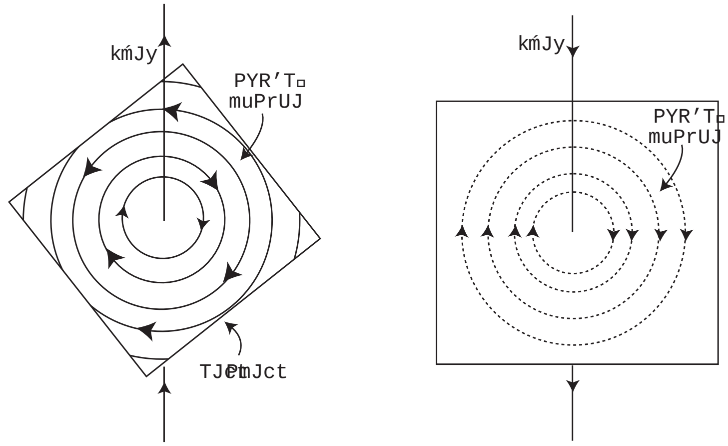
উপরোক্ত পরীক্ষা হতে ওয়েরস্টেড সিদ্ধান্তে আসেন যে, যেহেতু পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহ থাকলেই কেবল চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ হয়, কাজেই তড়িৎ প্রবাহের ফলে চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয়। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও অভিমুখ ঐ তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা ও অভিমুখের ওপর নির্ভরশীল।

৪.১.৩ : তড়িৎ প্রবাহজনিত চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার বিন্যাস:

(a) তড়িৎবাহী লম্বা সোজা পরিবাহীর জন্য চৌম্বকক্ষেত্র:

অনুভূমিকভাবে স্থাপিত একটি মসৃণ কার্ডবোডের ওপর লৌহচূর্ণ সুষমভাবে ছড়িয়ে দেয়া হয় (চিত্র ৪.২)। কার্ড বোর্ডের মধ্যস্থলের সরু ছিদ্র দিয়ে এর অভিলম্বভাবে একটি লম্বা সোজা পরিবাহী তার স্থাপন করে পরিবাহীর মধ্যদিয়ে উচ্চ মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হয়। অতএব বোর্ডটিকে আঙ্গুল দিয়ে আস্তে আস্তে টোকা দিলে লোহার টুকরাগুলো তারটিকে কেন্দ্র করে বহু সংখ্যক বৃত্তাকার বলরেখা প্রবাহের অভিমুখের অভিলম্ব তলে (বোর্ডের তলে) সৃষ্টি হয়। বলরেখার যে কোন বিন্দুতে স্পর্শক অংকন করলে উক্ত স্পর্শক উক্ত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে। চৌম্বক ক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে একটি ক্ষুদ্র চুম্বক শলাকা এরূপ স্পর্শক বরাবর থাকে। পরিবাহী তার

হতে দূরত্বের ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ভর করে। তার হতে দূরত্ব যত বেশি, চৌম্বক ক্ষেত্রের মান তত কম। তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ওপরের দিকে হলে বলরেখাগুলো ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে (চিত্র: ৪.২ ক) এবং নিচ দিকে হলে বলরেখাগুলো ঘড়ির কাটার দিকে হয় (চিত্র: ৪.২ খ)



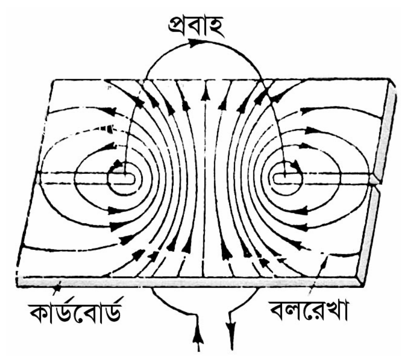
(ক) (খ)

চিত্র: ৪.২

(b) তড়িৎবাহী বৃত্তাকার পরিবাহীর জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র:

একটি মোটা তড়িৎ পরিবাহী তারকে একটি বড় কার্ডবোর্ডের দুটি ছিদ্রের মধ্যদিয়ে এমনভাবে প্রবেশ করানো হয় যেন পরিবাহীটি দেখতে একটি বৃত্তের মত হয়। বৃত্তের কেন্দ্রবিন্দুটি বোর্ডের তলের ওপরে এবং বৃত্তটির তল বোর্ডের তলের সহিত লম্বভাবে রাখতে হবে। এর ফলে বৃত্তটির এক অর্ধাংশ বোর্ডের ওপরে এবং অপর অর্ধাংশ বোর্ডের নিচের দিকে থাকে (চিত্র: ৪.৩)। কার্ডবোর্ডটির ওপরে কিছু লৌহ চূর্ণ ছড়িয়ে দেয়া হয়। তারটির মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে এবং বোর্ডের ওপর ধীরে ধীরে আঘাত করলে বোর্ডের লৌহচূর্ণগুলো চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা বরাবর সজ্জিত হয়। পরীক্ষায় দেখা যায় যে, বৃত্তাকার পরিবাহীর কেন্দ্রের নিকটবর্তী অঞ্চলে বলরেখাগুলো প্রায় সমান্তরাল ও সমদূরবর্তী।

বলরেখাগুলোর সজ্জা হতে মনে হয় তারটি একটি পাতলা চৌম্বক পাত হিসেবে কাজ করে। বৃত্তাকার তারের পৃষ্ঠের দিকে মুখ করে তাকালে যে প্রান্তে তড়িৎ প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে যে প্রান্তে উত্তর মেরু এবং অপর পৃষ্ঠে প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার দিকে প্রবাহিত হয় সে প্রান্তে দক্ষিণ মেরুরসৃষ্টি হয়।



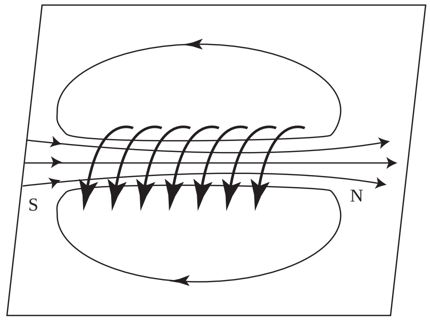
চিত্র: ৪.৩

(c) তড়িৎবাহী সলিনয়েডের চৌম্বক ক্ষেত্র:

একটি লম্বা অন্তরিত পরিবাহী তারকে একটি বেলনাকৃতি অন্তরক পদার্থের ওপর লম্বভাবে ঘন করে জড়ানো হলে তারের যে কুন্ডলী তৈরী হয় তাকে সলিনয়েড (Solenoid) বলে।

একটি তড়িৎবাহী সলিনয়েডকে একটি অনুভূমিক কার্ডবোর্ডের ওপর এমনভাবে স্থাপন করা হয় যাতে এর অর্ধাংশ বোর্ডের ওপরে ও অন্য অর্ধাংশ বোর্ডের নীচে থাকে। ফলে সলিনয়েডের অক্ষ বোর্ডের তল বরাবর থাকে। বোর্ডের ওপর লৌহচূর্ণ টোকা দিলে লৌহচূর্ণগুলো চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা বরাবর সজ্জিত হয় (চিত্রঃ ৪.৪)।

সলিনয়েড একটি বেলনাকৃতির চুম্বকের সহিত তুলনীয়। সলিনয়েডের যে প্রান্তে প্রবাহ বামাবর্তী সেই প্রান্ত উত্তর মেরুর ন্যায় এবং অপর প্রান্ত দক্ষিণ মেরুর ন্যায় আচরণ করে। সলিনয়েডের বাইরে বলরেখাগুলো উদ্ভূত উত্তরমেরুর মধ্যে বলরেখাগুলো দক্ষিণ মেরু হতে উত্তর মেরুর দিকে যায় এবং এরা পরস্পর হতে সমদূরবর্তী ও সমান্তরাল। ফলে সলিনয়েডের মধ্যের চৌম্বক ক্ষেত্রটি প্রায় সুষম।

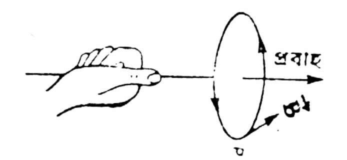


চিত্রঃ ৪.৪

৪.১.৪: চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ নির্ণয়ঃ

(ক) ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়ম (Fleming's right hand rule)

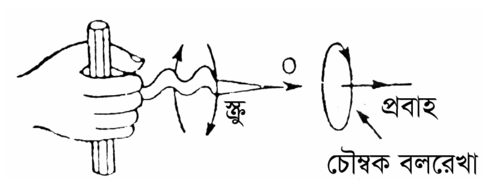
ডান হাতের মুঠোর মধ্যে তড়িৎবাহী তারকে ধরে বৃদ্ধাংগুলটি প্রসারিত করা হয়। বৃদ্ধাংগুলটি তারটির তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ নিদের্শ করলে অন্যান্য আঙ্গুলগুলোর অগ্রভাগ বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করে (চিত্রঃ ৪.৫)



চিত্র; ৪.৫

(খ) ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম (Maxwell's Cork screw rule)

একটি ডানপাকের কর্ক স্ক্রুকে তড়িৎবাহী তারের তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ চালনা করলে বৃদ্ধাংগুলি যে দিকে ঘুরবে চৌম্বক বলরেখা তথা চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখও সেদিকে হবে (চিত্রঃ ৪.৬)।



চিত্রঃ ৪.৬

৪.১.৫: চৌম্বক ফ্লাক্স (Magnetic flux)।

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত কোন তলের মধ্যদিয়ে অতিক্রান্ত মোট বলরেখা বা আবেশ রেখার সংখ্যাকে চৌম্বক ফ্লাক্স বলে। একে φ_B দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক প্রাবল্যকে B দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর মান ও দিক আছে। অতএব এটি একটি ভেক্টর রাশি। একে ভেক্টর চিহ্নে **B** লেখা হয়।

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত কোন তলের একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত আবেশ রেখার সংখ্যাকে চৌম্বক ফ্লাক্স বা ফ্লাক্স ঘনত্ব (Flux density) বলা হয়।

ধরা যাক, কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে স্থাপিত একটি তলের ক্ষেত্রফল = A
যদি ফ্লাক্স ঘনত্ব B হয়, তবে সম্পূর্ণ তলটির মধ্যদিয়ে অতিক্রান্ত আবেশ রেখার সংখ্যা $\phi_B = B_A$
চৌম্বক ফ্লাক্স-এর একক weber এবং B-এর একক Weber/m^2 বা Tesla.

৪.১.৬ অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র:
কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ I এবং এর দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র B-এর মধ্যকার সম্পর্ক অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র থেকে নির্ণয় করা যায়। সূত্রটি নিম্নরূপ:

কোন বদ্ধ পথ বরাবর কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বেষ্টিত ক্ষেত্রফলের মধ্যে প্রবাহিত মোট প্রবাহ মাত্রার μ_o গুণ।

অর্থাৎ, $\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_o I$

এখানে, μ_o = প্রবেশ্যতা ধ্রুবক (Permeability constant)

$\vec{dl}$ = পথের ব্যবকলন সরণ ভেক্টর।

সূত্রের প্রতিবেদন:
একটি বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের সোজা লম্বা পরিবাহী তারের মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর চতুর্দিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হবে। চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে একটি চুম্বক শলাকাকে স্থাপন করলে এর ওপর একটি ঘূর্ণন বল (Torque) ক্রিয়া করবে। এই টর্কের মান হবে,

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

বা $\tau = \mu B \operatorname{Sin}\theta$

এখানে μ = চুম্বক শলাকার চৌম্বক ভ্রামক
B= চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

এবং $\theta = \vec{\mu}$ এবং $\vec{B}$ **Error! Bookmark not defined.** চুম্বক শলাকার জন্য μ একটি ধ্রুবক সংখ্যা।

$\therefore \tau \alpha B$

তারের মধ্যদিয়ে বিভিন্ন মানের প্রবাহমাত্রা চালিয়ে এবং তারটি হতে বিভিন্ন দূরত্বে সংশ্লিষ্ট B এর মান নির্ণয় করলে দেখা যাবে চৌম্বক ক্ষেত্র B, I-এর সমানুপাতে এবং দূরত্ব r এর ব্যাস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

$\therefore B \alpha \frac{I}{r}$ এখানে, $\frac{\mu_o}{2\pi}$ = সমানুপাতিক ধ্রুবক

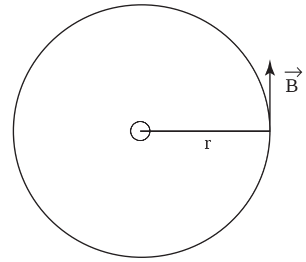
বা $B = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{I}{r}$

বা $B(2\pi r) = \mu o I$ .... (৪.১)

কিন্তু $2\pi r$ হল r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট কোন বৃত্তের পরিধি। যা প্রদত্ত তড়িৎবাহী তারকে ঘিরে থাকে (চিত্র: ৪.৭)। ওপরের r ব্যাসার্ধের বৃত্তের সব বিন্দুতে $\vec{B}$ এর মান সমান (অপরিবর্তিত) এবং প্রত্যেক বিন্দুতে $\vec{B}$ -এর দিক ঐ বিন্দুতে অংকিত স্পর্শক বরাবর। সুতরাং বৃত্তাকার পথের প্রত্যেক বিন্দুতে B এবং বৃত্তের পরিধির ক্ষুদ্র অংশের মধ্যকার কোণের মান শূন্য।

$\therefore$ সমীকরণ (৪.১) কে লেখা যায়।

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_o I \text{ .... } (4.2)$$



চিত্র: ৪.৭

এটিই হল অ্যাম্পিয়ারের সূত্র,

$$[\oint \vec{B}\cdot\vec{dl} = \oint BdlCos\theta = \oint Bdl = B\oint dl = 2\pi rB]$$

৪.১.৭ অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্রের প্রয়োগ:

(ক) একটি লম্বা সোজা তড়িৎ পরিবাহীর তারের নিকটবর্তী কোন বিন্দুতে B-এর মান নির্ণয়:

ধরা যাক, একটি লম্বা সোজা তারের মধ্যদিয়ে I তড়িৎ প্রবাহমাত্রা চালনা করায় তারের চতুর্দিকে একটি চুম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। ফলে বিভিন্ন ব্যাসার্ধের অনেকগুলো বৃত্তাকার বলরেখা (লুপ) তারকে ঘিরে থাকবে। r ব্যাসার্ধের একটি লুপ L বিবেচনা করা যাক (চিত্র: ৪.৮) লুপটির প্রত্যেক বিন্দুতে $\vec{B}$ এর মান সমান এবং দিক ঐ বিন্দুতে অংকিত স্পর্শক বরাবর।

$\vec{B}$ S $\vec{dl}$ এর মধ্যবর্তী কোন শূন্য।

এখানে $\vec{dl}$ = পথের ব্যবকলণ সরণ ভেকটর।

অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র থেকে পাই,

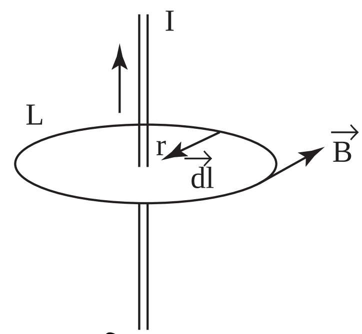
$$\oint \vec{B}\cdot\vec{dl} = \mu_o I$$

বা, $\oint Bdl\cos\theta = \mu oI$

বা, $\oint Bdl = \mu oI$

বা, $B\oint dl = \mu oI$

বা, $B\times 2\pi r = \mu oI$



চিত্র ঃ ৪.৮

$\therefore \quad B = \dfrac{\mu oI}{2\pi r}$ .... (4.3) [$\oint dl$ = বৃত্তের পরিধি = $2\pi r$]

(খ) দুটি সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল:

ধরা যাক, a ও b দুটি তার

যাদের মধ্য দিয়ে I_a ও I_b তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে।

তার দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব d (চিত্র: ৪.৯)।

a তারের মধ্য দিয়ে Ia তড়িৎ প্রবাহের জন্য এর চারপাশে Ba ক্ষেত্রের সৃষ্টি হবে। d দওরত্ব b তারের ওপর এই

মান, $B_a = \dfrac{\mu oIa}{2\pi d}$

এই ক্ষেত্রের দিক দক্ষিণ হস্ত নিয়মানুসারে নিচের দিকে। b তারটি এই বহি:স্থ চৌম্বক ক্ষেত্রে নিমজ্জিত ধরলে তারের একক দৈর্ঘ্যের ওপর প্রযুক্ত বলের মান

$$F_b = IbB_a = \frac{\mu 0 I_b I_a}{2\pi d}$$

এই বল তারদ্বয়ের তলে বাম দিকে ক্রিয়াশীল।

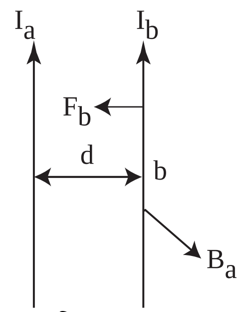
অনুরূপভাবে, b তারে তড়িৎ প্রবাহের জন্য a তারে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং উক্ত ক্ষেত্রের জন্য a তারের একক দৈর্ঘ্যের ওপর আরোপিত বল যথাক্রমে,

$$B_b = \frac{\mu o I_b}{2\pi d}$$

এবং $F_a = I_a B_b = \frac{\mu_o I_b I_a}{2\pi d}$ .... (4.4)

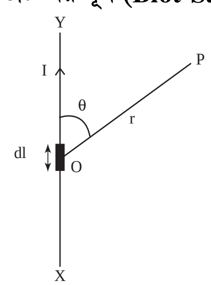
এই বল তারদ্বয়ের তলে ডান দিকে ক্রিয়াশীল।

কাজেই, b তারের ওপর সৃষ্ট বল তারদ্বয়ের তলে বামদিকে এবং a তারের ওপর সৃষ্ট বল ডান দিকে ক্রিয়াশীল। তারদুটি পরস্পরের ওপর যে বল প্রয়োগ করে তা পরস্পর সমান কিন্তু বিপরীতমুখী। ফলে এরা পরস্পরকে আকর্ষণ করবে। বিপরীতমুখী সমান্তরাল তড়িৎ প্রবাহের জন্যে তার দুটি অবশ্যই পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে।



চিত্র: ৪.৯

৪.১.৮: বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র (Biot-Savart's law)



চিত্র: ৪.১০

ধরা যাক, XY একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে I মাত্রার তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে (চিত্র: ৪.১০)। ফলে পরিবাহীর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়েছে। পরিবাহী তারের যে কোন একটি ক্ষুদ্র অংশ dl-এর মধ্য বিন্দু O হতে r দূরে p বিন্দুতে ঐ ক্ষুদ্র অংশের প্রবাহ জনিত চৌম্বক ক্ষেত্রের চৌম্বক আবেশ dB। যদি পরিবাহীর তড়িৎ প্রবাহের দিক ও উক্ত পরিবাহীর মধ্য বিন্দু এবং P বিন্দুর সংযোজক সরল রেখার মধ্যবর্তী কোণ θ হয়। তবে,

(ক) $dB \propto I$

(খ) $dB \propto dl$

(গ) $dB \propto \sin\theta$

(ঘ) $dB \propto \frac{1}{r^2}$

অতএব, প্রবাহখন্ড dl-এর জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের P বিন্দুতে চৌম্বক আবেশের মান,

$$dB \propto \frac{I dl \sin\theta}{r^2}$$

বা, $dB = \frac{\mu o}{4\pi} \frac{I\, dl\, \sin\theta}{r^2}$ ....(৪.৫)

এখানে, $\frac{\mu_o}{4\pi}$ হচ্ছে সমানুপাতিক ধ্রঞ্জবক

এবং এবং $\frac{\mu_o}{4\pi}$ - শূন্য মাধ্যমে প্রবেশ্যতা

$= 4\pi\times10^{-7}$ weber/amp-m

৪.৫ নং সমীকরণকে ভেক্টর রূপে নিম্ন প্রকারে লেখা যায়।

$$\vec{dB} = \frac{\mu oI}{4\pi}\frac{\vec{dl}\times\vec{r}}{r^3} \text{ .... } (৪.৬)$$

এটি ল্যাপ্লাসের সূত্র। সূত্রটিকে পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণ করেন বিজ্ঞানী বায়োট (Biot) এবং স্যাভার্ট (Savart), তাই এই সূত্রকে বায়োট-সার্ভাট সূত্রও বলা হয়।

সম্পূর্ণ তড়িৎবাহী তারের জন্য P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট আবেশ,

$$\vec{B} = \int\vec{dB} = \int\frac{\mu o}{4\pi} I \frac{\vec{dl}\times\vec{r}}{r^3} \text{ .... } (4.7)$$

$\vec{B}$ এর দিক হচ্ছে $\vec{dl}\times\vec{r}$ এর অভিমুখ বরাবর ।

[চিত্র ৪.১০ চিত্র-এ বায়োট-স্যার্ভাট সূত্র সোজা তারের ক্ষেত্রে প্রদর্শিত হলেও বাঁকা তারের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য]

৪.১.৯ বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রের প্রয়োগঃ

(ক) তড়িৎবাহী লম্বা সোজা পরিবাহী তারের নিকটে কোন বিন্দুতে $\vec{B}$ -এর মান নির্ণয়

ধরা যাক, MN একটি দীর্ঘ সোজা পরিবাহী তারের মধ্যদিয়ে I তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি হতে R দূরত্বে P বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ B নির্ণয় করতে হবে। তারটির একটি ক্ষুদ্র অংশ dl-এর জন্য p বিন্দুতে চৌম্বক আবেশের মান, $dB = \frac{\mu o}{4\pi}\frac{Idl\,Sin\theta}{r^2}$

এখানে r হল তারের dl খন্ড হতে p বিন্দুর দূরত্ব।

(চিত্রঃ ৪.১১) হতে পাই,

$Sin\theta = \frac{R}{r}$

$r = \frac{R}{Sin\theta}$

$Cot\theta = \frac{l}{R}$

$l = Rcot\theta$

$\therefore \quad dl = -Rcosec^2\theta d\theta$

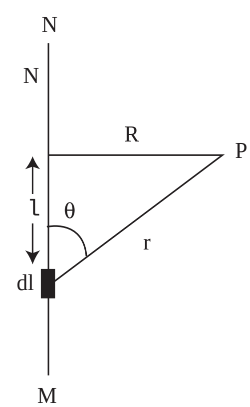
$\therefore \quad dB = \frac{\mu o}{4\pi}\frac{Idl\,Sin\theta}{r^2}$

$= \frac{\mu oI}{4\pi}\frac{(-Rcosec^2\theta d\theta)sin\theta}{\left(\frac{R}{Sin\theta}\right)^2}$

$= -\frac{\mu oI}{4\pi}\times\frac{(-Rcosec^2\theta d\theta)\times sin^3\theta}{R^2}$

$= \frac{\mu oI}{4\pi R}\times\frac{(cosec^2\theta d\theta)\times sin^3\theta}{R}$

$= \frac{-\mu oI}{4\pi R}\times\frac{d\theta}{Sin^2\theta}\times Sin^3\theta$



চিত্রঃ ৪.১১

$$= \frac{-\mu oI}{4\pi R} \text{ Sin}\theta d\theta$$

মোট চৌম্বক আবেশ $B = \int dB$

$$= \frac{-\mu oI}{4\pi R} \int_{\pi}^{O} \text{Sin}\theta d\theta$$

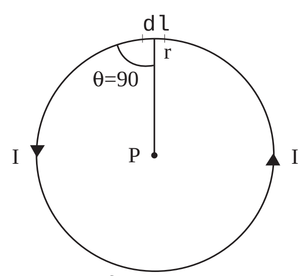
$$= \frac{-\mu oI}{4\pi R} [-\cos\theta]_{\pi}^{0}$$

$$= \frac{\mu oI}{4\pi R} [\cos\theta]_{\pi}^{o} = \frac{\mu oI}{4\pi R} (\text{Coso-Cos}\pi)$$

$$= \frac{\mu oI}{2\pi R}$$

অতএব, $B = \frac{\mu oI}{2\pi R}$ .... (4.8)

(খ) তড়িৎ বাহী বৃত্তাকার পরিবাহীর বা কুণ্ডলীর কেন্দ্রে B-এর মান নির্ণয়।



চিত্র: ৪.১২

ধরা যাক, r ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার পরিবাহীর তথা dl অতিক্ষুদ্র অংশের মধ্যদিয়ে I মাত্রার তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে (চিত্র:৪.১২) ফলে এই ক্ষুদ্র অংশের জন্য কেন্দ্র বিন্দু p-তে সৃষ্ঠ চৌম্বক আবেশ,

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

সমগ্র পরিবাহীর জন্য এর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ,

$$= \Sigma\frac{\mu_o}{4\pi}\frac{Idl\ Sin\theta}{r^2}$$

$$= \Sigma\frac{\mu_o}{4\pi}\frac{Idl\ Sin90}{r^2} [\ \theta = 90\ ]$$

$$= \Sigma\frac{\mu_o}{4\pi}\frac{Idl}{r^2}$$

$$= \frac{\mu_o I}{4\pi r^2}\Re dl$$

$$= = \frac{\mu_o I}{4\pi r^2} \times 2\pi r\ \ [\Sigma dl = l = 2\pi r]$$

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

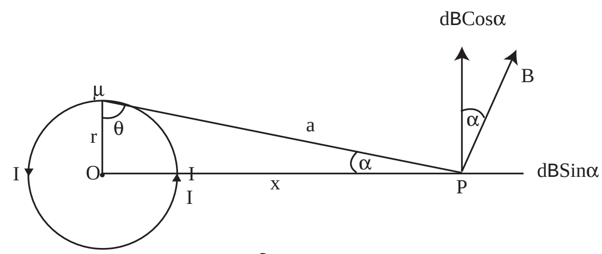
যদি r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট n পাকের বৃত্তাকার কুন্ডলীর মধ্য দিয়ে I মাত্রার তড়িৎ প্রবাহিত হয় তাহলে সেক্ষেত্রে,

$$B = \frac{\mu_o nI}{2r} \text{ .... (৪.৯)}$$

(গ) বৃত্তাকার পরিবাহীর অক্ষের কোন বিন্দুতে B-এর মান নির্ণয়:

ধরা যাক, r ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার পরিবাহীর তথা dl অতিক্ষুদ্র অংশের মধ্যদিয়ে I মাত্রার তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে (চিত্র: ৪.১৩)। কেন্দ্র O হতে x দূরত্বে অক্ষের P বিন্দুতে এই ক্ষুদ্র অংশের জন্য চৌম্বক আবেশ

$$dB = \frac{\mu o}{4\pi}\frac{Idl\ \ Sin\theta}{r^2}$$



চিত্র: ৪.১৩

P বিন্দুতে dB কে দুটি উপাংশে বিভক্ত করা যায়। অভিলম্ব বরাবর উপাংশগুলো (dBCosα) পরস্পর সমান ও বিপরীত বলে পরস্পরকে নাকচ করবে। অক্ষ বরাবর উপাংশগুলোর (dBSinα) একই অভিমুখ থাকায় এদের সমষ্টি হতে P বিন্দুতে লব্ধি চৌম্বক আবেশ,

অর্থাৎ $B = \sum dBSin\alpha$

বা, $$B = \sum\frac{\mu_o}{4\pi}\frac{Idl\ Sin\theta}{a^2}Sin\alpha$$

বা, $$B = \frac{\mu_o ISin\alpha}{4\pi a^2}\ \Re dl[\ Sin\theta = Sin90\ \ =1]$$

বা, $$B = \frac{\mu_o ISin\alpha}{4\pi a^2}\times 2\pi r[\ Sin\theta = Sin90\ \ =1]$$

বা, $$B = \frac{\mu_o IrSin\alpha}{2a^2}$$

বা, $$B = \frac{\mu_o Ir\times r}{2a^3}[\because\ Sin\alpha = \frac{r}{a}]$$

বা, $$B = \frac{\mu_o Ir^2}{2a^3}$$

n পাক বিশিষ্ট কুন্ডলীর ক্ষেত্রে,

$$B = \frac{\mu_o nIr^2}{2a^3}$$

বা, $$B = \frac{\mu_o nIr^2}{2a^3}$$

বা, $$B = \frac{\mu_o nIr^2}{2(r^2+x^2)^{3/2}}\ ....(৪.১০)\ [\ \because\ a = \sqrt{r^2+x^2}\ \ ]$$

অনুসিদ্ধান্তসমূহ:

(i) যদি বৃত্তাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ r বৃত্তের কেন্দ্র হতে P বিন্দুর দূরত্ব x অপেক্ষা খুব ক্ষুদ্র হয়, অর্থাৎ $r<<x$ হয়, তবে

$$B = \frac{\mu_o nIr^2}{2x^3}$$

(ii) যদি x=0 হয় অর্থাৎ যদি P বিন্দুটি বৃত্তের কেন্দ্রের সহিত মিশে যায়, তবে

$$B = \frac{\mu_O n I r^2}{2r^3}$$

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_O n I}{2r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.11)$$

৪.১.১০. গতিশীল চার্জের ওপর চৌম্বক বল (Magnetic force on a moving charge)

ধরা যাক, q পরিমাণ চার্জ $\vec{B}$ চৌম্বক আবেশযুক্ত ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে $\vec{v}$ বেগে গতিশীল। পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে দেখা যায় যে, গতিশীল চার্জের ওপর একটি বল ক্রিয়া করে। এ বলকে চৌম্বক বল বলে। এ বল নিম্নরূপ:

$$\vec{F} = q\vec{v} \infty \vec{B}$$

এ বলের মান ও দিক ভেক্টর গুণনের বিধি দ্বারা নির্ধারিত।

$$F = qvBSin\theta \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.12)$$

এখানে, θ হল $\vec{v}$ এবং $\vec{B}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ।

যদি $v = 0$ হয়, তবে $F=0$

অর্থাৎ স্থির চার্জের ওপর চৌম্বক বল শূন্য।

যদি চার্জটি এমন একটি অঞ্চলের মধ্যদিয়ে গমন করে যেখানে তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ উভয়ই বিদ্যমান। সেক্ষেত্রে, লব্ধিবল,

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.13)$$

এ বলকে লরেঞ্জ বল (Lorentz force) এবং সম্পর্কটিকে লরেঞ্জ সম্পর্ক বলে।

৪.১.১১ : তড়িৎ প্রবাহের ওপর চৌম্বক বল (Magnetic force on a current)

আমরা জানি, $\vec{B}$ আবেশযুক্ত একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যদিয়ে $\vec{v}$ বেগে চলমান একটি চার্জ q-এর ওপর প্রযুক্ত বল,

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

যদি আধানটি l দৈর্ঘ্যের একটি সরল তারের ওপর দিয়ে চলতে থাকে, তবে আধানটির বেগ $\vec{v}$ প্রতি একক সময়ে সরণের সমান অর্থাৎ $\vec{v} = \frac{\vec{l}}{t}$

$$\therefore \quad \vec{F} = q\left(\frac{\vec{l}}{t} \times \vec{B}\right)$$

যদি B এর মান বিবেচনাধীন তারটির সম্পূর্ণ দৈর্ঘ্যের ওপর সুষম হয়, তবে আমরা লিখতে পারি,

$$\vec{F} = \left(\vec{l} \times \vec{B}\right)$$

আবার, $\frac{q}{t}$ = তারের ভিতর প্রবাহ মাত্রা = I

$$\therefore \quad \vec{F} = I\,\vec{l} \times \vec{B} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.14)$$

এখানে, $\vec{l}$ -এর অভিমুখ হচ্ছে তারের দৈর্ঘ্য বরাবর। বল $\vec{F}$ এর অভিমুখ হবে $\vec{l}$ ও $\vec{E}$ উভয়ের অভিলম্ব বরাবর।

তারটি $\vec{B}$ -এর সাথে লম্বভাবে থাকলে,

$$F = Il\,B\,Sin90 \quad = Il\,B = BIl$$

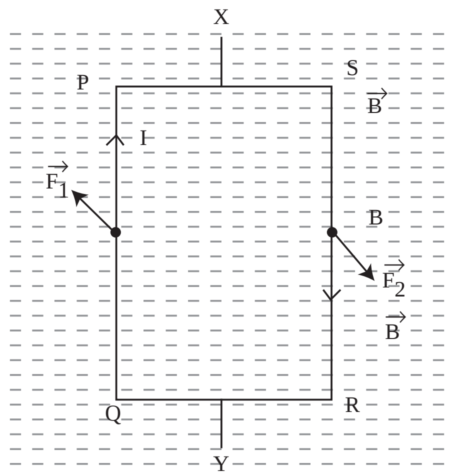
$\therefore \quad F = I/B$ .... (৪.১৫)

সমীকরণ হতে দেখা যায় যে, F বল তারের লম্ব দিকে ক্রিয়া করে।

৪.১.১২: সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত ক্ষুদ্র আয়তকার তড়িৎবাহী বর্তনীর ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের টর্ক

(Torque on current carying small rectangular circuit placed in a uniform magnetic field)

ধরা যাক, a দৈর্ঘ্য ও b প্রস্থের একটি PQRS আয়তকার তারের বর্তনী যা সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ -এর মধ্যে অবস্থিত (চিত্র: ৪.১৪)। ধারনকারী তলটি $\vec{B}$ এর সমান্তরাল। বর্তনীর মধ্যদিয়ে I তড়িৎ প্রবাহ ঘড়ি কাটার দিকে প্রবাহিত হচ্ছে। বর্তনীর PS ও QR বাহুদ্বয় $\vec{B}$ এর সমান্তরাল কিন্তু PQ ও RS বাহুদ্বয় $\vec{B}$ -এর লম্ব বরাবর



চিত্র: ৪.১৪

PS বাহুর ওপর প্রযুক্ত বলের মান = IbBSinθ = 0

QR বাহুর ওপর প্রযুক্ত বলের মান = IbBSinθ = 0

PQ বাহুর ওপর প্রযুক্ত বলের মান, F_1 = IaBSin90 = IaB

এই বলের অভিমুখ কাগজ পৃষ্ঠের লম্ব বরাবর, নিচ দিকে। RS বাহুর ওপর প্রযুক্ত বলের মান, F_2 = IaBSin90

এই বলের অভিমুখ হচ্ছে কাগজ পৃষ্ঠের লম্ব বরাবর, ওপর দিকে।

F_1 ও F_2 বলদ্বয়ের মান সমান কিন্তু অভিমুখ বিপরীত। ফলে এরা একটি দ্বন্দ্ব সৃষ্টি করবে।

দ্বন্দ্বের ভ্রামক, $\tau = IaB \times b = IAB$ [$A = a \times b$ = কুন্ডলীর ক্ষেত্রফল]

ভেক্টর রূপে;

$\vec{\tau} = I\,\vec{A} \times \vec{B}$ ∴

$\vec{\tau}$ -এর দিক হচ্ছে XY বরাবর।

বর্তনীতে একই আকৃতি ও ক্ষেত্রফলের N সংখ্যক পাক থাকলে,

$\vec{\tau} = NI\vec{A} \times \vec{B}$ .... (4.16)

ধরা যাক, $NI\vec{A} = \vec{B}$

$\therefore\ \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ .... (4.17)

$\vec{\mu}$ -কে বর্তনীর চৌম্বক ভ্রামক বলা হয়।

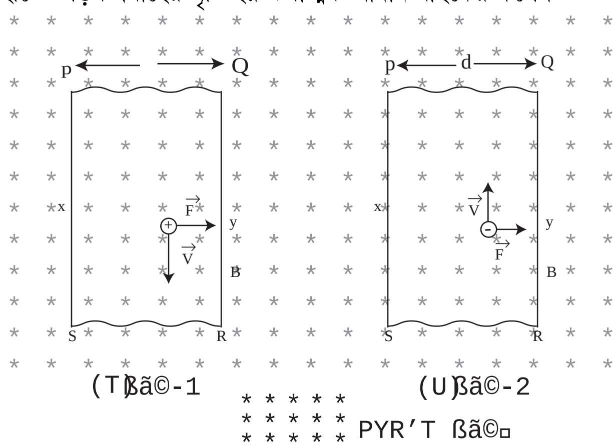
৪.১.১২: হল ক্রিয়া ও হল বিভব (Hall effect and Hall potential):

১৮৪৯ খ্রিস্টাব্দে ই এইচ হল (E.H. Hall) পরীক্ষণ উদ্ভাবন করেন যা থেকে ধনাত্মক আধান না ঋণাত্মক আধানের প্রবাহের ফলে পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হয়, তা স্থির করা যায়।

ধরা যাক, PQRS একটি আয়তাকার পাতলা তামার পাত যার মধ্য দিয়ে ৪.১৫ নং চিত্রে প্রদর্শিত তীর চিহ্নের দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। প্রবাহের দিক হচ্ছে পাতটির ওপর হতে নিচ দিকে। প্রচলিত নিয়ম অনুসারে তীর চিহ্নিত দিকটি ধনাত্মক

আধান প্রবাহের দিক (চিত্রঃ ৪.১৫.ক) অথবা ঋণাত্মক আধান প্রবাহের বিপরীত দিক হতে পারে। হল ক্রিয়ার মাধ্যমে এ দুটি সম্ভাবনার মধ্যে কোনটি সঠিক তা নির্ধারণ করা যায়।

পাতটির তলের উলম্ব দিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয়। এর ফলে, প্রবাহ সৃষ্টি কারী গতিশীল চার্জের ওপর একটি চৌম্বক বল ক্রিয়া করবে। ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম অনুসারে এ বলের অভিমুখ নির্ণয় করা হয়। এ বলের অভিমুখ হবে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক এবং চার্জ প্রবাহের দিক উভয়ের দিকের লম্ব বরাবর। এ বলের প্রভাবে চার্জগুলো পাতটির প্রস্থ বরাবর দক্ষিণ দিকে তাড়িৎ (Drifted) হবে। এর ফলে পাতটির প্রস্থ বরাবর ধরা যাক x এবং y বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হবে। এভাবে সৃষ্ট বিভব পার্থক্যকে ($V_{xy} = V_x - V_y$) হলের অনুপ্রস্থ বিভব পার্থক্য বলা হয়। এই হল বিভব পার্থক্যের চিহ্ন দ্বারাই আধান বাহকের চিহ্ন নির্ধারণ করা হয়। আধান বাহকগুলো ধনাত্মক হলে, y বিন্দুর বিভব x বিন্দুর বিভব অপেক্ষা উচ্চতর অর্থাৎ V_{xy} ঋণাত্মক হবে। আবার আধান বাহকগুলো ঋণাত্মক হলে, x বিন্দুর বিভব y বিন্দুর বিভব অপেক্ষা উচ্চতর অর্থাৎ V_{xy} ধনাত্মক হবে। বর্তমান পরীক্ষা V_{xy} ধনাত্মক হতে দেখা যায়। কাজেই সিদ্ধান্ত করা যায় যে, ধাতুর পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয় ঋণাত্মক আধান বাহকের ফলে।



চিত্রঃ ৪.১৫

ধাতব পাতের চার্জ বাহকের অনুপ্রস্থ বরাবর সরণ 'হল তড়িৎ ক্ষেত্র E_H'-এর জন্ম দেয়, যা পরিবাহীর অভ্যন্তরে বাহকের পার্শ্বাভিমুখ তাড়নকে বাধা দান করে। এই 'হল তড়িৎ ক্ষেত্র' হল বিভব অন্তরের আর একটি বহি প্রকাশ এবং উভয়ে

$$E_H = \frac{V_{xy}}{d}$$

স্পর্শক দ্বারা সম্পর্কিত

উদাহরণঃ ৪.১.১ঃ একটি লম্বা সোজা তারের মধ্য দিয়ে 6 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চললে উক্ত তার থেকে 8 সে.মি. দূরে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বের করুন। ($\mu o = 4\pi \infty 10^{-7}$ weber/amp-m)

ধরা যাক, ফ্লাক্স ঘনত্ব = B

আমরা পাই,

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

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 6}{2\pi \times 8 \times 10^{-2}}$$

$$= 1.5 \times 10^{-5}$$

এখানে,
I = 6 অ্যাম্পিয়ার
r = 8 সে.মি.
$= 8 \times 10^{-2}$ মিঃ

নির্ণেয় চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব 1.5×10^{-5} weber/m^2 বা Tesla.

উদাহরণ ৪.১.২: একটি তড়িৎবাহী তার কুন্ডলীর ব্যাসার্ধ 31 সে.মি. ও পাক সংখ্যা 500; তারটিকে 5 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর কেন্দ্রে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব নির্ণয় করুন।

ধরা যাক, ফ্লাক্স ঘনত্ব = B
আমরা জানি,

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

$$= \frac{4\pi\times10^{-7}\times500\times5}{2\times.31}$$

$= 0.0051$ weber/m^2

এখানে,
$\mu_o = 4\pi\times10^{-7}$ web/amp-m
$n = 500$
$I = 5$ অ্যাম্পিয়ার
$r = 31$ সে.মি.
$= 0.31$ m.

নির্ণেয় চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব 0.0051 weber/m^2

উদাহরণ: ৪.১.৩: 4×10^{-5} চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত 50cm লম্বা একটি সোজা তারের মধ্য দিয়ে 4am তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তড়িৎ প্রবাহের দিক ও চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য সৃষ্ট কোণ 30 হলে তারটির ওপর প্রযুক্ত বল নির্ণয় কর।
ধরা যাক, নির্ণেয় বল F

আমরা পাই,
$F = IlBSin\theta$
$= 4\times50\times10^{-2}\times4\times10^{-5}\times Sin30$ N
$= 800\times10^{-7}\times\frac{1}{2}$ N
$= 400\times10^{-7}$ N
$= 4\times10^{-5}$ N

এখানে,
$I = 4$amp
$B = 4\times10^{-5}$ tesla
$\theta = 30$
$l = 50cm = 50\times10^{-2}$ m

নির্ণেয় বল $4\infty10^{-5}$ N

সারসংক্ষেপ

তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া : কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে পরিবাহীর চারদিকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয়। এই ঘটনাকে তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে।

চৌম্বক ফ্লাক্স : কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত কোন তলের মধ্যদিয়ে অতিক্রান্ত মোট বলরেখা বা আবেশ রেখার সংখ্যাকে চৌম্বক ফ্লাক্স বলে।

চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব : কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত কোন তলের একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত আবেশ রেখাকে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে।

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র : কোন বন্ধ পথ বরাবর কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বেষ্টিত ক্ষেত্রফলের মধ্যে প্রবাহিত মোট প্রবাহমাত্রার μ_o গুণ।

অর্থাৎ $\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_o I$

বায়োট-স্যার্ভাটের সূত্র : $d\vec{B} = = \frac{\mu_o}{4\pi} I \frac{d\vec{l} \infty \vec{r}}{r^3}$

লরেঞ্জ বল: $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v}\times\vec{B}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। ওয়েরস্টেড-এর পরীক্ষার উদ্দেশ্য হল-

(ক) তড়িৎ প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া (খ) তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া

(গ) তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া (ঘ) চৌম্বক ক্ষেত্রে তড়িৎ ক্রিয়া

২। চৌম্বক ফ্লাক্সের একক-

(ক) Weber (খ) Weber/m

(গ) Weber/m^2 (ঘ) Weber/tesla

৩। অ্যাম্পিয়ার এর সূত্রটি হল-

(ক) $\vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_o I$ (খ) $\oint B.dl = \mu o I \therefore$

(গ) $\oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_o I$ (ঘ) $\oint \vec{B} \times \vec{dl} = \mu_o I$

৪। বায়োট-স্যাভার্টের সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়-

(ক) চৌম্বক ক্ষেত্রের আবেশ (খ) তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা

(গ) তড়িৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক (ঘ) চার্জের প্রকৃতি

৫। লরেঞ্জ বল হল-

(ক) $\vec{F} = \vec{E} + q\,\vec{v} \times \vec{B}$ (খ) $\vec{F} = q\,\vec{E} + q\,\vec{v} \times \vec{B}$

(গ) $\vec{F} = q\,\vec{E} + q\,\vec{v} \cdot \vec{B}$ (ঘ) $\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$

সংক্ষিপ্ত উত্তর-প্রশ্নঃ

১। তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়ার সংজ্ঞা দিন।

২। দক্ষিণ হস্তের বৃদ্ধাঙ্গুলির নিয়মটি লিখুন।

৩। চৌম্বক ফ্লাক্স কাকে বলে?

৪। অ্যাম্পিয়ারের সূত্রটি লিখুন।

৫। বায়োট-স্যাভার্টের সমীকরণটি লিখুন।

৬। লরেঞ্জ বলের সমীকরণটি লিখুন।

৭। হল বিভব বলতে কি বুঝায়?

পাঠ ২ গ্যালভানোমিটার (Galvanometer)

উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- গ্যালভানোমিটারের সংজ্ঞা ও তার প্রকারভেদ সম্বন্ধে জানতে পারবেন।
- ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার ও চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের গঠন ও কার্যাবলী জানতে পারবেন।
- অ্যামিমিটার, ভোল্টমিটার, সান্ট, মাল্টিমিটার সম্বন্ধে বর্ণনা করতে পারবেন।

৪.২.১: গ্যালভানোমিটার (Galvanometer)

যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব ও মান দুইই নির্ণয় করা যায় তাকে গ্যালভানোমিটার বলে।

চুম্বকের ওপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া অথবা তড়িৎ প্রবাহের ওপর চৌম্বকের ক্রিয়া ইত্যাদির ওপর ভিত্তি করে এর কার্যণীতি প্রতিষ্ঠিত।

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

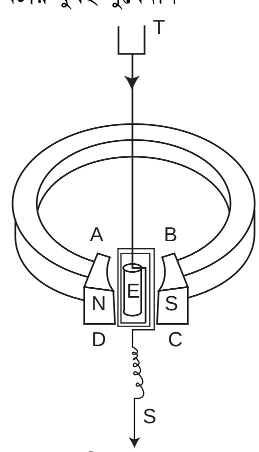
(১) চল চুম্বক গ্যালভানোমিটার: যে গ্যালভানোমিটার কুন্ডলীটি স্থির এবং চুম্বকটি ঘূর্ণনক্ষম, তাকে চল চুম্বক গালভানোমিটার বলে। ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার, অ্যাস্টাটিক গ্যালভানোমিটার ইত্যাদি চলচুম্বক গালভানোমিটার।

(২) চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটার: যে গ্যালভানোমিটারে চুম্বকটি স্থির এবং কুন্ডলীটি ঘূর্ণনক্ষম, তাকে চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটার বলে। ডি আর সোনভ্যাল গ্যালভানোমিটার একটি চলকুন্ডলী জাতীয় গ্যালভানোমিটার।

নিম্নে চলকুন্ডলী গ্যালভানো মিটারের গঠন ও কার্যাবলী আলোচনা করা হল।

(ক) চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটার (Moving Coil Galvanometer):

বিজ্ঞানী ডি-আরসোন ভ্যাল প্রথম এ যন্ত্রটি উদ্ভাবন করেন বলে একে ডি আরসোন ভ্যাল গ্যালভানোমিটার বলা হয়। এ যন্ত্রে একটি তড়িৎবাহী আয়তাকার কুন্ডলীকে শক্তিশালী একটি চুম্বকের চুম্বক ক্ষেত্রে ঝুলিয়ে রাখা হয়। কুন্ডলীটি একটি অক্ষের সাপেক্ষে সহজেই ঘুরতে পারে। এ গ্যালভানোমিটার খুবই সুবেদী।



চিত্র: ৪.১৬

এর সাহায্যে 10^{-3} হতে 10^{-10} অ্যাম্পিয়ারের মত অতিক্ষুদ্র প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করা যায়।

গঠন: এই যন্ত্রের প্রধান অংশ ABCD তারের একটি চতুষ্কোন কুন্ডলী যা কয়েক পাকের অন্তরিত সরু তামার তার একটি হালকা ধাতব ফ্রেমের ওপর জড়িয়ে তৈরী করা হয়। কুন্ডলীটি পাতলা ফসফর-ব্রোঞ্জের সরুতার দ্বারা একটি স্থায়ী অশ্বক্ষুরাকৃতি চুম্বকের অবতলাকৃতি দুই মেরু NS এর মধ্যবর্তী স্থানে ঝুলিয়ে রাখা হয় (চিত্র: ৪.১৬)। কুন্ডলীর নিম্ন প্রান্ত একটি ছোট স্প্রিং S-এর সহিত যুক্ত। এই (চিত্র: ৪.১৬) স্প্রিংটিও ফসফর ব্রোঞ্জের তৈরী। কুন্ডলীটি একটি ব্যবর্ত শির

(Torsion head) T হতে ফসফর ব্রোঞ্জ এর একটি সরু তার দ্বারা ঝুলানো থাকে। নরম লোহার চোঙাকৃতি একটি টুকরা E কুন্ডলীর মাঝখানে কাঠের বোর্ডে আবদ্ধ থাকে। কুন্ডলী ঐ টুকরাকে স্পর্শ না করে টুকরা এবং চুম্বক মেরুদ্বয়ের ফাঁকের মধ্য দিয়ে অবাধে ঘুরতে পারে। চুম্বক মেরুদ্বয়ের অক্ষ এবং চোঙাকৃতি টুকরার অক্ষ একই হতে হবে। এ চোঙাকৃতি টুকরা রাখার ফলে চৌম্বক ক্ষেত্র খুব তীব্র হয়। ঝুলানো তারের সাথে একটি ক্ষুদ্র দর্পণ M লাগানো থাকে। ঐ দর্পণ হতে প্রতিফলিত আলো একটি স্কেলের ওপর ফেলে কুন্ডলীর বিক্ষেপ পরিমাপ করা হয়। বাইরের বাতাসের প্রভাব হতে মুক্ত রাখার জন্য সমগ্র যন্ত্রটিকে একটি ধাতব আবরণের মধ্যে রাখা হয়। আবরণযুক্ত যন্ত্রটি একটি পাটাতনের ওপর রেখে পাটাতনের নিচের স্ক্রু দ্বারা যন্ত্রটিকে লেভেল করা হয়। ঝুলন্ত আয়নার সম্মুখের ধাতব আবরণটিতে একটি গোলাকার ছিদ্র করে ছিদ্রটি কাচদ্বারা বন্ধ করা হয়।

কার্যনীতি:

ধরা যাক, কুন্ডলীতে I তড়িৎ প্রবাহের ফলে AD ও BC বাহুর ওপর প্রযুক্ত বল F=n1lB পরস্পর সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী হবে। ফলে একটি দ্বন্দ্বের সৃষ্টি হবে। এখানে l = কুন্ডলীর দৈর্ঘ্য, n = পাক সংখ্যা; B = চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব। AB ও CD বাহুদ্বয় চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমান্তরাল হওয়ায় বাহুদ্বয়ের ওপর ক্রিয়াশীল বল শূন্য। AD ও BC বাহুদ্বয়ের ওপর প্রযুক্ত দ্বন্দ্ব কুন্ডলীটিকে সাম্যবস্থা থেকে বিক্ষিপ্ত করতে চেষ্টা করে। এ দ্বন্দ্বকে বিক্ষেপক দ্বন্দ্ব (deflecting couple) বলে। এ দ্বন্দ্বের ভ্রামকের মান,

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

$= nIBA$ [ক্ষেত্রফল, $A = l\times b$]

এ দ্বন্দ্বের ক্রিয়ার ফলে ঝুলানো তারে পাক পড়ে। তারের স্থিতিস্থাপকতার ধর্ম ঐ পাক খোলার চেষ্টা করে। ফলে 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,

$C_2 = \tau\theta$

কুন্ডলীর সাম্যবস্থায়,

$C_1 = C_2$

$nIBA = \tau\theta$

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

$= K\theta$

$\therefore$ $I = K\theta$ [এখানে $K = \frac{\tau}{nBA}$, নির্দিষ্ট গ্যালভানোমিটারের জন্য একটি ধ্রুবক]

বা, $I \propto \theta$

অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা কুন্ডলীর বিক্ষেপ কোণের সমানুপাতিক।

৪.২২: চলচুম্বক গ্যালভানোমিটার ও চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের মধ্যে পার্থক্য:

চলচুম্বক গ্যালভানোমিটার		চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটার	
১।	কুন্ডলী স্থির কিন্তু চুম্বক নড়নক্ষম।	১।	কুন্ডলী নড়নক্ষম কিন্তু চুম্বক স্থির।
২।	বাহ্যিক চুম্বক ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয়।	২।	বাহ্যিক চুম্বক ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না।
৩।	স্কেল সুষম হয় না।	৩।	স্কেল সুষম হয়।
৪।	এর সাহায্যে 10^{-5} অ্যাম্পিয়ারের কম মানের তড়িৎ প্রবাহ মাপা যায় না।	৪।	এর সাহায্যে 10^{-9} অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত প্রবাহ মাপা যায়।
৫।	চুম্বক শলাকা সাম্যাবস্থায় আসতে বেশী সময় লাগে।	৫।	কুন্ডলী তাড়াতাড়ি সাম্যাবস্থায় চলে আসে।

৪.২.৩: সান্ট বা বিকল্প পথ (Shunt)

গ্যালভানোমিটার বা অ্যামিটারের মত অত্যন্ত সুবেদী যন্ত্রের মধ্যদিয়ে যাতে অধিক পরিমাণ তড়িৎ না যেতে পারে (বেশী তড়িৎ প্রবাহিত হলে যন্ত্রটি পুড়ে যায়) তার জন্য একটি নিম্ন মানের রোধ যন্ত্রটির সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হয়। স্বল্প মাত্রার এ রোধকে সান্ট বা বিকল্প পথ বলা হয়।

ধরা যাক, G রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের A ও B প্রান্তের সাথে S রোধের একটি সান্ট যুক্ত আছে (চিত্র: ৪.১৭)। বর্তনীর মূল তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা I, A বিন্দুতে এসে গ্যালভানোমিটার ও সান্টের মধ্য দিয়ে যথাক্রমে Ig ও Is এই দুই অংশে বিভক্ত হয়ে পুনরায় B বিন্দুতে এসে I হয়।

অর্থাৎ, $I = Ig+Is$ .... (১)

যদি A ও B বিন্দুদ্বয়ের মধ্য বিভব পার্থক্য ((V_A-V_B) হয়, তাহলে ওহমের সূত্র হতে পাই,

$V_A - V_B = I_g G$ .... (২)

এবং $V_A - V_B = I_s S$ ....(৩)

সমীকরণ (২) ও (৩) হতে পাই,

বা, $IgG = IsS$

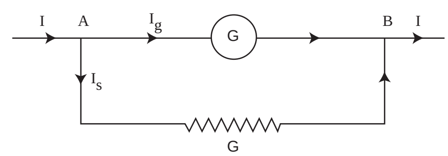
বা, $\frac{Ig}{Is} = \frac{S}{G}$

বা, $1+\frac{Ig}{Is} = \frac{S}{G} +1$

বা, $\frac{Is+Ig}{Is} = \frac{S+G}{G}$

বা, $\frac{I}{Is} = \frac{S+G}{G}$

বা, $Is = \frac{I \times G}{S+G}$ .... (৪.২৩)



KY© ” 4.17

আবার, $Ig+Is = I$

বা, $Ig = I-Is = I-\frac{I \times G}{S+G}$

$= \frac{IS+IG-IG}{S+G}$

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

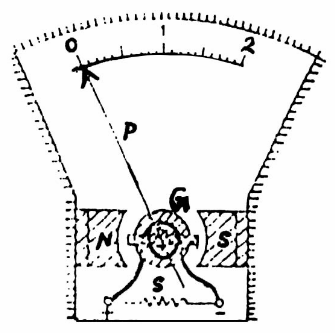
$\therefore \quad Ig = \frac{I \times S}{S+G}$ .... (৪.২৪)

৪.২.৪: অ্যামিমিটার (Ameter)

যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহমাত্রা সরাসরি অ্যাম্পিয়ার এককে পরিমাপ করা হয় তাকে অ্যাম্পিয়ার বলে। এর আসল নাম অ্যাম্পিয়ার মিটার। সংক্ষেপে অ্যামিটার বলে। এটি প্রকৃতপক্ষে একটি বিশেষ ধরনের গ্যালভানোমিটার। কোন বর্তনীর প্রবাহমাত্রা মাপার জন্য একে বর্তনীতে শ্রেণীতে যুক্ত করতে হয়।

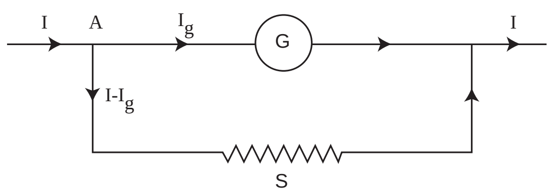
গঠন: গ্যালভানোমিটার G-এর তারে কুন্ডলীর সাথে একটি স্বল্পমানের রোধ S সমান্তরাল সংযুক্ত করে অ্যামিটার গঠন করা হয় (চিত্র ৪.১৮)। যন্ত্রটির দ্বারা পরিমাপ যোগ্য সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা S রোধের ওপর নির্ভর করে। S এর মান হ্রাস করলে প্রবাহমাত্রা পরিমাপের সীমা বৃদ্ধি পায় এবং S-এর মান বৃদ্ধি করলে এই সীমা কমে যায়। কুন্ডলী তলের সমকোণে একটি সূচক P লাগানো থাকে। কুন্ডলীর ঘূর্ণনের সঙ্গে সঙ্গে সূচকটি একটি অ্যাম্পিয়ার এককে দাগ কাটা স্কেলের ওপর ঘুরতে পারে। কোন আদর্শ যন্ত্রের সাথে তুলনা করে এর স্কেলে দাগ কাঁটা হয়। যন্ত্রের সংযোগ স্ক্রু দুটির একটির গায়ে (+) চিহ্ন এবং অন্যটির গায়ে (-) চিহ্ন দেয়া থাকে। তড়িৎ প্রবাহ (+) চিহ্নের স্ক্রুটি দিয়ে যন্ত্রের মধ্যে প্রবেশ করে এবং (−) চিহ্নের স্ক্রু হতে নির্গত হয়। সাধারণ অবস্থায় কাটাঁটি স্কেলের শূন্য দাগের ওপর থাকে। শূন্য দাগটি স্কেলের একেবারে বাম প্রান্তে থাকে এবং যন্ত্রটি সর্বাধিক যে প্রবাহ মাত্রা পরিমাপ করতে পারে তা স্কেলের ডান প্রান্তে লেখা থাকে।

কার্যপ্রণালী: সান্ট ব্যবহার করার ফলে বর্তনীর মোট প্রবাহের একটি অংশমাত্র যন্ত্রের তার কুন্ডলীর মধ্য চালিত হয় এবং প্রবাহের অবশিষ্টাংশ সান্টের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়। সুতরাং মূল প্রবাহের একটি ক্ষুদ্র অংশ তার কুন্ডলীটিকে অর্থাৎ এর ফ্রেমের সহিত যুক্ত নির্দেশক কাটাটিকে বিক্ষিপ্ত করে। এতেও যন্ত্রের স্কেলটি বর্তনীর মূল প্রবাহের হিসাবে দাগ কাটা থাকে।



চিত্র: ৪.১৮

ধরা যাক, গ্যালভানোমিটার কুন্ডলীর রোধ G, এবং এটি সর্বাধিক যে প্রবাহ নিতে পারে তার পরিমাণ Ig। একে সর্বাধিক I প্রবাহ পরিমাপের উপযোগী অ্যামিটারে পরিণত করতে হলে এর সাথে S রোধের সান্ট ব্যবহার করতে হয় (চিত্র: ৪.১৯), দেখা যায়, মূল প্রবাহ I হলে, Ig তড়িৎ প্রবাহ গ্যালভনোমিটারে এবং (I-Ig) সান্টের মধ্য দিয়ে যায়।



চিত্র: ৪.১৯

সান্টের নীতি হতে লেখা যায়;

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

বা, $Ig\,(S+G) = IS$

বা, $S(I-Ig) = IgG$

বা, $S = \frac{IgG}{I-Ig}$ ....(৪.২৫)

সমীকরণ (৪.২৫) এর তাৎপর্য এই যে, যন্ত্রটির পূর্ণস্কেল বিক্ষেপ পেতে হলে মূল প্রবাহ মাত্রার মান হয় I অর্থাৎ যন্ত্রটির প্রবাহ মাত্রার সীমা 0 হতে 1 পর্যন্ত হবে।

আমিটারের পাল্লাবৃদ্ধি:

ধরা যাক, মূল প্রবাহ বৃদ্ধি করে 2I করা হল। গ্যালভানোমিটার প্রবাহ Ig রাখতে হলে সান্টের রোধের মান S_2 করতে হবে। এতে সান্টের মধ্য দিয়ে চালিত তড়িৎ প্রবাহের মান হবে (2I-Ig)।

এক্ষেত্রে আমরা পাই,

$$S_2 = \frac{Ig}{2I-Ig}\ G \text{ .... (৪.২৬)}$$

সমীকরণ (৪.২৫) ও (৪.২৬) হতে পাই।

$$\frac{S}{S_2} = \frac{2I-Ig}{I-Ig} = 2 \qquad (Ig<<I)$$

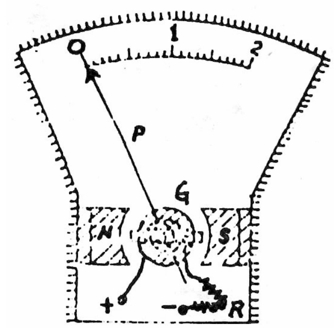
$$S_2 = \frac{S}{2}$$

অর্থাৎ সান্টটির মান S_2 বা $\frac{S}{2}$ করলে যন্ত্রটির পরিমাপ যোগ্য প্রবাহমাত্রার সীমা o হতে 2I হবে। এভাবে সান্টের রোধের মান ক্রমশ হ্রাস করে পরিমেয় প্রবাহমাত্রার সীমা বৃদ্ধি করা হয়।

৪.২.৫: ভোল্ট মিটার (Voltmeter):

যে যন্ত্রের সাহায্যে বর্তনীর যে কোন দুই বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য সরাসরি ভোল্ট এককে পরিমাপ করা হয় তাকে ভোল্টমিটার বলে। এটিও প্রকৃত পক্ষে একটি বিশেষ ধরনের গ্যালভানোমিটার। একে বর্তনীতে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে হয়।

গঠন: গ্যালভানোমিটার G-এর সাথে একটি উচ্চ মানের রোধ R শ্রেণীতে যুক্ত করে ভোল্টমিটার গঠন করা হয় (চিত্র ৪.২০)।



চিত্র: ৪.২০

কুন্ডলী তলের সমকোনে একটি সূচক P লাগানো থাকে। কুন্ডলীর ঘূর্ণনের সঙ্গে সঙ্গে সূচকটি ভোল্টে দাগকাঁটা একটি স্কেলের ওপর ঘুরতে পারে। কোন আদর্শ যন্ত্রের সাথে তুলনা করে এর স্কেলে দাগ কাটা হয়। সাধারণ অবস্থায় কাঁটাটি স্কেলের শূন্য দাগের সাথে মিলে থাকে। বিভব প্রভেদ পরিমাপের সময় বিভব পার্থক্য অনুযায়ী কাঁটাটি বিক্ষিপ্ত হয়।

কার্যপ্রণালী: যন্ত্রের কুন্ডলীর সাথে শ্রেণী সমবায়ে একটি উচ্চ মানের রোধ থাকে বলে কুন্ডলী তারের রোধ কম হওয়া সত্ত্বেও যন্ত্রটির আভ্যন্তরীণ রোধ খুব বেশি হয়। পরিমাপ যোগ্য রোধের মান ভোল্টমিটারের রোধের তুলনায় অনেক কম হওয়া প্রয়োজন। এতে ভোল্টামিটারকে উক্ত বিন্দু দ্বয়ের সমান্তরালে যুক্ত করলেও বিন্দুদ্বয়ের মধ্য দিয়ে চালিত মূল প্রবাহের কোন পরিবর্তন হয় না। যন্ত্রটি সর্বোচ্চ কি পরিমাণ বিভব পার্থক্য পরিমাপ করতে পারে তা এর কুন্ডলীর সাথে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত রোধটির ওপর নির্ভর করে। রোধটির মান যত বৃদ্ধি করা যায় যন্ত্রটির বিভব পার্থক্য পরিমাপ-সীমা ততই বৃদ্ধি পায়।

ধরা যাক, গ্যালভানোমিটারের কুন্ডলী তারের রোধ G। এটি যে সর্বাধিক প্রবাহ নিতে পারে তার পরিমাণ Ig। যন্দ্রটিকে সর্বোচ্চ V ভোল্ট পর্যন্ত বিভব পার্থক্য পরিমাপের উপযোগী ভোল্টামিটারে পরিণত করতে হলে যন্ত্রটি কুন্ডলী তারের সাথে R রোধ যুক্ত করতে হয়। সুতরাং ওহমের সূত্র হতে পাই,

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

অতএব, গ্যালভানোমিটারের কুন্ডলীর সাথে শ্রেণীতে R মানের রোধ যুক্ত হলে ঐ গ্যালভানোমিটার (O-V) পাল্লার ভোল্টমিটার রূপে ব্যবহার করা যাবে।

ভোল্টামিটারের পাল্লা o-V হতে o-2V করতে হলে সমীকরণের V-এর পরিবর্তে 2V বসিয়ে সমীকরণটি সমাধান করলে রোধের নতুন মান পাওয়া যায়। এভাবে যন্ত্রটির যে কোন পরিমাপ সীমার জন্য প্রয়োজনীয় শ্রেণী সজ্জায় যুক্ত রোধের মান নির্ণয় করা যায়।

৪.২.৬: মাল্টিমিটার (Multimeter):

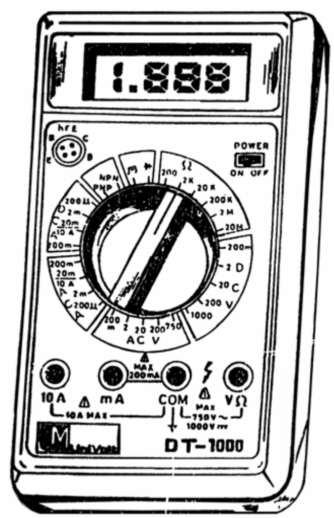
যে যন্ত্রের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ, রোধ ও বিভব পার্থক্য মাপা যায়, তাকে মাল্টিমিটার বলে। মাল্টিমিটার তড়িৎ প্রবাহ, রোধ ও বিভব পার্থক্য মাপর জন্যে পৃথক পৃথক স্কেল আছে। এ যন্ত্রেও 'ও'মস মিটার', ভোল্টমিটার ও অ্যাম্পিয়ার মিটার এক সঙ্গে থাকলেও এদের কাজ কিন্তু ভিন্ন ভিন্ন হয়ে থাকে। প্রত্যেকটি স্কেল বিভিন্ন রেঞ্জে বিভক্ত থাকে। সাধারণ মাল্টিমিটার ও ডিজিটাল মাল্টিমিটার এ দু'ধরনের মাল্টিমিটার সাধারণত পরিমাপ কার্যে ব্যবহৃত হয়ে থাকে। *ডিজিটাল মাল্টিমিটার (Digital Multimeter)* সাধারণ মাল্টিমিটারে পরিমাপের ফলাফল রিডিং প্লেটে ইন্ডিকেটর নিডল দেখে নির্ণয় করতে হয়। এতে পরিমাপে দৃষ্টি ভ্রম ঘটার সম্ভাবনা থাকে। বর্তমানে ডিজিটাল মাল্টিমিটারের ব্যবহার হচ্ছে বহুমুখী এবং এতে বিভিন্ন পরিমাপের ফলাফল পাওয়া যায় অধিক নির্ভুলভাবে। তাছাড়া এতে পরিমাপের ফলাফল সাধারণ মাল্টিমিটারের মত রিডিং

প্লেটে ইন্ডিকেটর নিডল দেখে নির্ণয় করতে হয় না। এতে পরিমাপের ফলাফল মিটারে স্ক্রীনের ওপর সংখ্যার সাহায্যে আপনা থেকেই লেখা হয়ে যায়। ফলে মিটার রিডিং এর সময় দুটি ভ্রম ঘটার সম্ভাবনা থাকে না। এত বহুবিধ সুবিধা থাকায় নিম্নে একটি ডিজিটাল মাল্টিমিটারের বর্ণনা দেয়া গেল।

ডিজিটাল:

মিটারকে বিভিন্ন রেঞ্জে প্রয়োজন অনুযায়ী সহজে ব্যবহার করার জন্য এতে একটি রোটারী সুইচ লাগানো থাকে (চিত্র: ৪.২১)। রোটারী সুইচটির ওপর লাল দাগের চিহ্ন দেয়া একটি নব লাগান থাকে। এ সুইচটিকে ঘড়ির কাঁটার দিকে (Clock wise) অথবা ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে (Anti clock wise) উভয় দিকে ঘুরানো যায়।

পরিমাপের সময় প্রয়োজনীয় রেঞ্জের ওপর রোটারী সুইচের নবের লাল চিহ্ন দেয়া দিকটাকে রাখতে হয়। রোটারী সুইচের নিচে চারটি প্লাগ পয়েন্ট আছে। একটির গায়ে লেখা আছে COM অর্থাৎ Common। এটি হচ্ছে সকল রেঞ্জের জন্য কমন (Common) পয়েন্ট। সকল রেঞ্জে পরিমাপের ক্ষেত্রে তারের প্রড দুটির কালোটিকে এই প্লাগ পয়েন্টে যুক্ত করতে হয়। COM এর ডান দিকের প্লাগ পয়েন্ট ($V\Omega$)-কে ভোল্টেজ ও রোধ পরিমাপের জন্য ব্যবহার করা হয়। COM এর বামদিকের প্রথম প্লাগ পয়েন্ট (mA) ও দ্বিতীয়টি (10A)-কে যথাক্রমে সর্বোচ্চ 200mA ও 10A পর্যন্ত কারেন্ট পরিমাপে ব্যবহৃত হয়।



চিত্র ঃ ৪.২১

সাবধানতা:

১) মাল্টিমিটারকে ব্যবহার করার পূর্বে নিশ্চিত হতে হবে যে মিটারটি কাজের উপযোগী আছে।

২) তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপে মাল্টিমিটারকে সার্কিটের সাথে সমান্তরাল সমবায়ে ব্যবহার করতে হবে।

৩) ভোল্টেজ পরিমাপে একে সার্কিটের সমান্তরালে ব্যবহার করতে হবে।

৪) রোধ পরিমাপের সময় স্কেল সার্কিটের তড়িৎ প্রবাহ বিচ্ছিন্ন করে নিতে হয়।

৫) কম রেঞ্জের স্কেল দিতে বেশি কিছু পরিমাপ করা থেকে সর্বদা সাবধান থাকতে হবে।

উদাহরণ ৪.২.১ একটি চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের ধ্রুবকের মান 18×10^{-3} amp/rad। 3.14 mA তড়িৎ প্রবাহে এর বিক্ষেপ নির্ণয় করুন।

ধরা যাক, নির্ণেয় বিক্ষেপ $= \theta$

আমরা পাই,

$I = K\theta$

$\theta = \frac{I}{K}$

$= \frac{3.14\times10^{-3}}{18\times10^{-3}}$

$= \frac{3.14}{18} \times \frac{180}{3.14}$

$=10$

নির্ণেয় বিক্ষেপ 10

এখানে,

$I = 3.14\times10^{-3}$ amp

$K = 18\times10^{-3}$ amp/rad

উদাহরণ: ৪.২.২ : 10 ওহম রোধের কোন একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত কত রোধের একটি সান্ট জুড়ে দিলে মুল প্রবাহের 10% গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবে?

এখানে,

মোট তড়িৎ প্রবাহ = I amp (ধরা যাক)

গ্যালভানোমিটার প্রবাহ, $I_g = I$ এর $10\% = \frac{10I}{100} = \frac{I}{10}$ amp

$G = 10\Omega$

সান্ট রোধ, $S = ?$

আমরা জানি,

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

বা, $\frac{I}{10} = \frac{I\times S}{S+10}$

বা, $10S = S+10$

বা, $9S = 10$

বা, $S = \frac{10}{9} = 1.11$

নির্ণেয় সান্ট রোধ 1.11Ω.

সারসংক্ষেপ
গ্যালভানোমিটার: যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব ও পরিমাণ নির্ণয় করা হয় তাকে গ্যালভানোমিটার বলে।
চলচুম্বক গ্যালভানোমিটার: যে গ্যালভানোমিটারে কুন্ডলী স্থির থাকে কিন্তু চৌম্বক শলাকা নড়াক্ষম হয় তাকে চলচুম্বক গ্যালভানোমিটার বলে।
চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটার: যে গ্যালভানোমিটারে কুন্ডলী নড়নক্ষম কিন্তু চুম্বক শলাকা স্থির তাকে চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটার বলে।
সান্ট: সুক্ষ সুবেদী যন্ত্রকে উচ্চ তড়িৎ প্রবাহ জনিত ক্ষয়-ক্ষতির হাত থেকে রক্ষার জন্যে এর সমান্তরালে একটি ক্ষুদ্র মানের রোধ ব্যবহৃত হয়। একে সান্ট বলে।
অ্যামিটার: যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহমান মাপা হয় তাকে অ্যামিটার বলে।
ভোল্টমিটার: যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্তনীর দুই বিন্দুর মধ্যবর্তী বিভব পার্থক্য নির্ণয় করা হয় তাকে ভোল্টমিটার বলে।
মাল্টিমিটার: যে যন্ত্রের সাহায্যে রোধ, বিভব পার্থক্য ও তড়িৎ প্রবাহমাত্রা মাপা যায় তাকে মাল্টিমিটার বলে।

পাঠোত্তর মুল্যায়ন-২

সঠিক উত্তরের পাশে টিক ($\surd$) চিহ্ন দিন।

১। তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব ও পরিমাণ জানতে ব্যবহৃত হয়-
(ক) অ্যামিটার (খ) ভোল্টমিটার
(গ) গ্যালভানোমিটার (ঘ) মাল্টিমিটার

২। উচ্চ রোধ বিশিষ্ট যন্ত্র-
(ক) অ্যামিটার (খ) ভোল্টামিটার
(গ) গ্যালভানোমিটার (ঘ) মাল্টিমিটার

৩। $I = K\theta$ সমীকরণটি-
(ক) ভোল্টমিটারের (খ) গ্যালভানোমিটার
(গ) মাল্টিমিটারের (ঘ) চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের

৪। গ্যালভানোমিটারের হ্রাসাংকের একক কি?
(ক) অ্যাম্পিয়ার (খ) ভোল্ট
(গ) ওহম (ঘ) ওয়েরস্টেভ

সংক্ষিপ্ত উত্তর-প্রশ্ন

১। গ্যালভানোমিটার কাকে বলে?

২। চলচুম্বক গ্যালভানোমিটার ও চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের মধ্যকার পার্থক্য লিখুন।

৩। সান্ট কি? সান্ট কেন ব্যবহার করা হয়?

৪। অ্যামিটার কি?

৫। ভোল্টামিটার কি?

৬। অ্যামিটার ও ভোল্টমিটারের মধ্যকার পার্থক্য লিখুন।

৮। গ্যালভানোমিটারকে কিভাবে ভোল্টমিটারে পরিণত করা যায় বর্ণনা করুন।

৯। মাল্টিমিটার কি কাজে লাগে?

১০। মাল্টিমিটার ব্যবহারে কি কি সাবধানতা অবলম্বন করতে হয়।

চূড়ান্ত মুল্যায়ন

বিশদ-উত্তর-প্রশ্ন

১। একটি চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের গঠন ও কার্যাবলী বর্ণনা করুন।

২। সান্ট কি? মূল প্রবাহের সাথে সান্ট প্রবাহ ও গ্যালভানো মিটার প্রবাহের সম্পর্ক বের করুন।

৩। একটি ডিজিটাল মাল্টিমিটারের ব্যবহার আলোচনা করুন।

গাণিতিক সমস্যাঃ

১। একটি লম্বা তারের মধ্যদিয়ে 10amp তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে উক্ত তার হতে 15 সে.মি. দূরের চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বের করুন। ($\mu_o=4\pi\times$ weber/amp-m)

উঃ 1.33×10^{-5} weber/m^2

২। একটি 2.54×10^{-3} m ব্যাসের তামার প্রতি তার উত্তপ্ত না হয়ে 50 amp. তড়িৎ প্রবাহিত করতে পারে। এই প্রকার তড়িৎ প্রবাহে তারের গায়ের ওপর চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বের কর। ($\mu_o = 4\pi\infty10^{-7}$ weber/amp-m)

উঃ 78.71×10^{-4} weber/m^{2})

৩। 6.1 m. ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট এবং 1000 পাক বিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুন্ডলীতে 20 mA প্রবাহ চলিলে এর কেন্দ্রে ফ্লাক্স ঘনত্ব নির্ণয় করুন।

(উ: 12.56×10^{-5} weber/m^{2})

৪। দুটি সমান্তরাল তার যাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2cm এবং প্রতিটি তারে 100 amp প্রবাহমাত্রা চলতেছে। যে কোন একটি তারের 2m দৈর্ঘ্যের ওপর ক্রিয়ারত বল নির্ণয় করুন।

(উ: 0.2 N)

৫। 2×10^{-2} weber/m^2 চৌম্বক আবেশের অভিলম্বভাবে একটি ইলেকট্রন 2×10^{7} m/s বেগে প্রবাহিত হলে এটি কত বল অনুভব করবে? [e=1.6×10^{-19} কুলম্ব]

(উ: 6.4×10^{-14} N)

৬। একটি গ্যালভানোমিটারের রোধ 99Ω। এর সাথে কত সান্ট যুক্ত করলে মূল তড়িৎ প্রবাহের 1% গ্যালভানোমিটারের মধ্যদিয়ে প্রবাহিত হবে?

(উ: 1Ω)

৭। একটি চলকুন্ডলী গ্যালভানোমিটারের ধ্রুবকের মান 5.4×10^{-3} amp/rad। কত তড়িৎ প্রবাহে এর বিক্ষেপ 20 হবে?

[উ: 1.88×10^{-3} amp.]