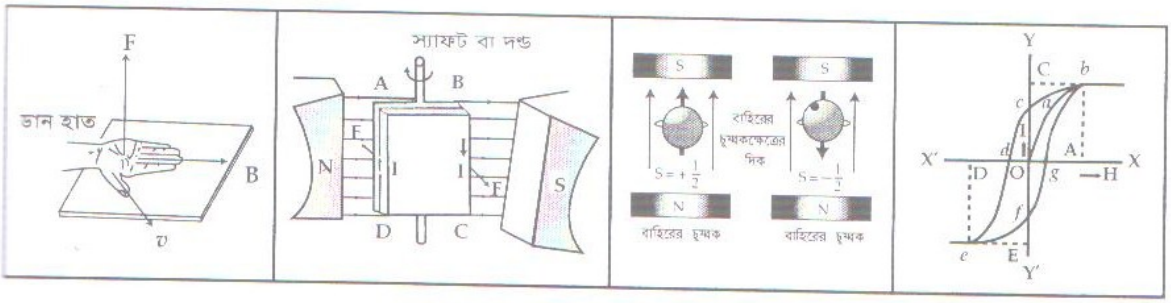
চুম্বকের চারটি মূল ধর্ম:
১. আকর্ষণী ধর্ম
২. দিকদর্শী ধর্ম
৩. বিপরীতধর্মী দুই প্রান্ত
৪. চুম্বকন ধর্ম

# ৪

# তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ও চুম্বকত্ব
## MAGNETIC EFFECTS OF CURRENT AND MAGNETISM

**প্রধান শব্দ (Key Words):** বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া, চৌম্বক ক্ষেত্র, ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা, ওয়েবার, চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা, চৌম্বক ফ্লাক্স ও ফ্লাক্স ঘনত্ব, লরেঞ্জ বল, বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র, অ্যাম্পিয়ার সূত্র, হল ক্রিয়া, গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব, ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র, পৃথিবীর চৌম্বকত্ব, ভূচুম্বকত্বের উপাদান, প্যারাচৌম্বকত্ব, ডায়াচৌম্বকত্ব, ফেরো-চৌম্বকত্ব, এন্টিফেরোচৌম্বকত্ব, চৌম্বক ডোমেইন, তড়িৎ চুম্বক, অস্থায়ী চুম্বক, স্থায়ী চুম্বক, হিসটে-রিসিস চক্র।




### সূচনা
### Introduction

কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়, একে বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে। 1819 খ্রিস্টাব্দে কোপেনহেগেন-এর বিখ্যাত পদার্থবিদ হান্স ক্রিশ্চিয়ান ওয়েরস্টেড (H. C. Oersted) বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। বিদ্যুৎ প্রবাহের বিভিন্ন ফলাফলের মধ্যে চৌম্বক প্রভাবই হলো সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- পরীক্ষার সাহায্যে ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধ ➤
- বায়োট-স্যাভার্টের সূত্র, অ্যাম্পিয়ার সূত্র ব্যাখ্যা কর ➤
- গতিশীল চার্জের উপর চুম্বক ক্ষেত্রের বলের মান ও পারবে। ➤
- হল প্রভাব এবং চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবাহী লুপের উপর ➤
- কক্ষ পথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক মে পারবে। ➤
- পৃথিবীর চৌম্বকত্ব ও এর উপাদান, বিভিন্ন প্রকার ৫
- হিস্টেরিসিসের লেখচিত্রসহ অস্থায়ী ও স্থায়ী চুম্বকে ➤

■ **চৌম্বক বলরেখার বৈশিষ্ট্য/ ধর্ম:** ফ্যারাডের মতে-

➤ চৌম্বক বল রেখা বদ্ধ বক্ররেখা

➤ চুম্বকের বাহিরে চৌম্বক বল রেখা উত্তর মেরু হতে দক্ষিণ মেরুর দিকে গমন করে

➤ চৌম্বক বলরেখা উত্তর মেরুতে চুম্বক পৃষ্ঠ হতে অভিলম্বভাবে বাহিরে এবং দক্ষিণ মেরুতে চুম্বক পৃষ্ঠে অভিলম্বভাবে প্রবেশ করে।

➤ চৌম্বক বলরেখাগুলো কখনই পরস্পরকে ছেদ করে না।

➤ এরা পরস্পরের উপর আড়াআড়িভাবে পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে, সেই জন্য সমমেরু বিকর্ষণ করে।

➤ এরা স্থিতিস্থাপক সুতার ন্যায় দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হয়; এজন্য বিপরীত মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

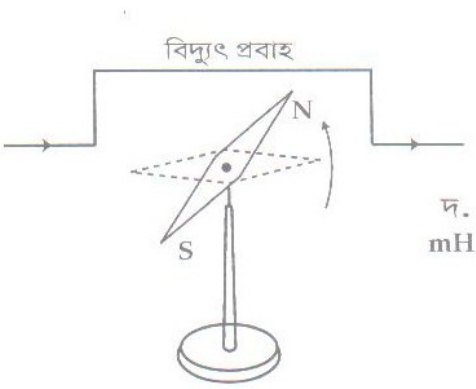
➤ এই রেখা বরাবর সর্ব বাধামুক্ত উত্তরমেরু গমন করে।

## ৪·১ ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা
### Oersted's concept about Magnetic field

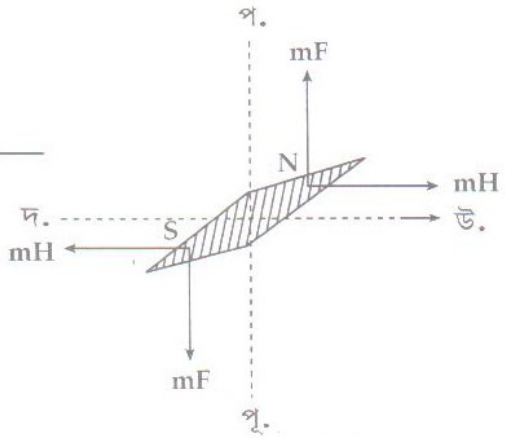
পদার্থবিদ্যার যে শাখায় বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আলোচনা করা হয় তাকে বিদ্যুৎ চুম্বকত্ব (electro-magnetism) বলে। 1828 খ্রিস্টাব্দে ডেনমার্কের পদার্থবিজ্ঞানী **এইচ সি ওয়েরস্টেড** আকস্মিকভাবে আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎবাহী তারের চতুষ্পার্শে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। তিনি দেখিয়েছেন যে, একটি চুম্বক শলাকার নিকটে অবস্থিত একটি তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে শলাকাটি বিক্ষিপ্ত হয়। এই ঘটনাকে একটি পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যায়। বিজ্ঞানী ওয়েরস্টেড সর্বপ্রথম এই পরীক্ষাটি করেন বলে এই পরীক্ষার নাম ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা।

**ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা :**

এ পরীক্ষায় একটি মুক্তভাবে ঘূর্ণনক্ষম চুম্বক শলাকা থাকে [চিত্র ৪·১ (ক)]। এর খানিকটা উপরে একটি পরিবাহী তার সমান্তরালভাবে রাখা হয়। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালালে দেখা যাবে যে, চুম্বক শলাকাটি চৌম্বক




চিত্র ৪·১ (ক)




চিত্র ৪·১ (খ)

মধ্যতল হতে বিচ্যুত হচ্ছে এবং তারের সাথে সমকোণে স্থাপিত হবার চেষ্টা করছে। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র এবং বিদ্যুৎ প্রবাহের দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মিলিত প্রভাবের ফলে এরূপ ঘটছে [চিত্র ৪·১ (খ)]।

বিদ্যুৎ প্রবাহ বন্ধ করলে চুম্বক শলাকা পূর্বাবস্থায় ফিরে আসে। আবার বিদ্যুৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি করলে শলাকার বিচ্যুতি বৃদ্ধি পায়; শুধু তাই নয় বিদ্যুৎ প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করলে শলাকার বিচ্যুতির অভিমুখও পরিবর্তিত হয়। ওয়েরস্টেডের এ পরীক্ষা হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তসমূহে উপনীত হওয়া যায়—

১। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়;
২। বিদ্যুৎ প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রার উপর নির্ভর করে;
৩। বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকের উপর সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ভর করে এবং
৪। বিদ্যুৎ প্রবাহ যতক্ষণ থাকে, এই চৌম্বক ক্ষেত্রও ততক্ষণ থাকে।

**ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা থেকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা পাওয়া যায়। এখন আমরা দেখব চৌম্বক ক্ষেত্র কী ?**

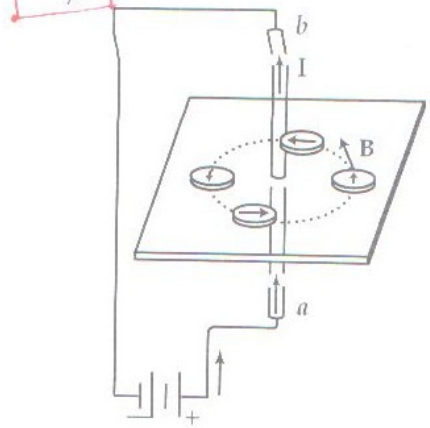
একটি দণ্ড চুম্বকের নিকটে একটি চৌম্বক শলাকা আনলে এটি বিক্ষেপ দেখায়। শলাকাটি চুম্বকের যত নিকটে আনা হয়, বিক্ষেপ তত বৃদ্ধি পায়। আবার দূরে সরিয়ে নিলে বিক্ষেপ কমতে থাকে। ওয়েরস্টেডের পরীক্ষায় দেখা গেছে যে বিদ্যুৎবাহী তারের আশে পাশে চৌম্বক শলাকা রাখলে বিক্ষেপ দেখায়। তারের নিকটে বিক্ষেপ বেশি এবং দূরে বিক্ষেপ কম দেখায়। অনেক দূরে কোনো বিক্ষেপ দেখায় না। উপরের আলোচনা থেকে বুঝা যাচ্ছে যে, দণ্ড চুম্বক ও বিদ্যুৎবাহী তারের আশেপাশের অঞ্চলে এর প্রভাব রয়েছে। এ অঞ্চলকে চৌম্বক ক্ষেত্র বলা হয়। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্রের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে।

**কোনো চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে।**

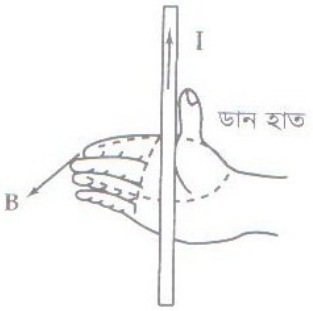
**ব্যাখ্যা :** মনে করি *ab* একটি তারের ভিতর দিয়ে I বিদ্যুৎ প্রবাহ চলছে। এ বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে তারের চতুর্দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে। এখন একটি চৌম্বক শলাকা তারটিকে কেন্দ্র করে সমান দূরত্বে বিভিন্ন অবস্থানে রাখলে এটি সমান বিক্ষেপ দেখাবে; কিন্তু বিক্ষেপের দিক ভিন্নতর হবে [ চিত্র ৪·২]। তারটির চতুর্দিকে যে সকল বিন্দুতে চৌম্বক শলাকাটি সমান বিক্ষেপ দেখায় ঐ বিন্দুগুলো রেখা দ্বারা যুক্ত করলে দ্বিমাত্রিক তলে বৃত্তাকার রেখা পাওয়া যায় [চিত্র ৪·২-এ ডট্ ডট্ ( . . ) রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে]। তারটিকে কেন্দ্র করে বিভিন্ন দূরত্বে চৌম্বক শলাকার সমান বিক্ষেপের বিন্দুগুলোকে যুক্ত করলে অনুরূপ অসংখ্য বৃত্তাকার রেখা অঙ্কন করা যায়। এ বৃত্তাকার রেখাগুলো আবদ্ধ রেখা—মাঝপথে কোথাও শুরু হয় না, শেষও হয় না। এ **রেখাগুলোকে চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা বা চৌম্বক আবেশ রেখা (সংক্ষেপে আবেশ রেখা) বলে।** চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার যে কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—**চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা চৌম্বক ক্ষেত্রে অঙ্কিত কতকগুলো বন্ধ বক্ররেখা যাদের কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক উক্ত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে।**

**চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় :** চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে একটি চার্জ বা আধান গতিশীল হলে ঐ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান F হলে, ঐ বলকে চার্জ এবং বেগের গুণফল দ্বারা ভাগ করলে যে মান পাওয়া যায়, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান। চার্জ $q$ , বেগ $v$ এবং বল F হলে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ -এর মান হবে,

$$B = \frac{F}{qv} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.1)$$




চিত্র ৪·২




চিত্র ৪·৩

অন্যভাবে বলা যায়, **একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান।** [ এ সম্বন্ধে অনুচ্ছেদ ৪·৪-এ বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে]।

**চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ণয় :** একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক। উপরোক্ত আলোচনা থেকে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ -এর নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়

**অর্থাৎ কোনো চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে। একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক।**

একটি বিদ্যুৎবাহী তারের বেলায় ডান হস্ত নিয়ম-২ দ্বারা চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ণয় করা হয় [চিত্র ৪·৩ ]। সূত্রটি নিম্নরূপ :

**ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়ম (Fleming's right hand rule) : একটি বিদ্যুৎবাহী তারকে বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকে বক্ষাঙ্গুলি রেখে দক্ষিণ হস্তে ধরলে অন্য আঙ্গুলগুলি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে তারটিকে ঘিরে থাকবে** [চিত্র ৪·৩ ]। এ নিয়ম ডান হস্ত নিয়ম-২ হিসেবেও পরিচিত।

**কাজ : সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে ক্রিয়াশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল কী কী বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল ?**

সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে ক্রিয়াশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল :

(১) চার্জের মান ($q$)
(২) চৌম্বক ক্ষেত্রের মান (B)
(৩) চার্জের বেগ ($v$)
(৪) চৌম্বক ও চার্জের গতির দিকের মধ্যবর্তী কোণ ($\theta$)।

$F = qvB\sin\theta$

**নিজে কর : কোনো স্থানের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় একটি চার্জিত কণা বিক্ষিপ্ত হলো না। ঐ স্থানে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র নাই। এই সিদ্ধান্ত করা যায় কী? ব্যাখ্যা কর।**

**কাগজ তলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশনা :** অনেক সময় কাগজ তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ নির্দেশ করা সুবিধাজনক। কাগজ তলে উপরের দিকে এবং ভেতরের দিকে দুটি অভিলম্ব দিক রয়েছে। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্র কাগজ তলের বাইরের দিকে না ভেতরের দিকে তা বুঝানোর জন্য একটি পদ্ধতি সর্বত্র ব্যবহৃত হয়। এ পদ্ধতি অনুসারে চৌম্বক ক্ষেত্র কাগজ তলের বাইরের দিকে অর্থাৎ পাঠকের দিকে তা দেখানোর জন্য কতকগুলো ডট

(Dot, .) চিহ্ন দ্বারা [চিত্র ৪·৪ (ক)] এবং ভেতরের দিকে প্রকাশের জন্য কতকগুলো ক্রস (cross, ×) চিহ্ন ব্যবহার করা হয় [চিত্র ৪·৪ (খ)]। এ ধরনের চিহ্ন দেখলেই বুঝা যায় চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক কোন দিকে।

(ক) কাগজ তলের বাইরের দিকে (খ) কাগজ তলের ভেতরের দিকে

চিত্র ৪·৪ : চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশনা।

**কাজ** : একটা চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চার্জ অবস্থিত। চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কোনো বল প্রয়োগ করবে কী? (i) যখন চার্জ স্থির (ii) যখন চার্জ গতিশীল এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে গতিশীল (iii) যখন চার্জ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে গতিশীল হয় ?

(i) স্থির চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কোনো বল প্রয়োগ করবে না।

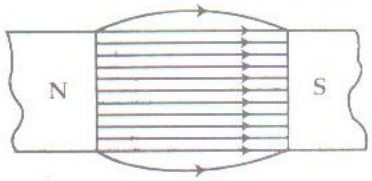
(ii) গতিশীল চার্জের চৌম্বক ক্ষেত্র বল প্রয়োগ করে। চৌম্বক ক্ষেত্রও সৃষ্টি হয়। কিন্তু এক্ষেত্রে যেহেতু প্রবাহের অভিমুখ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ সুতরাং চার্জের উপর কোনো বল প্রযুক্ত হবে না।

(iii) চার্জের অভিমুখ এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পরস্পর লম্ব হলে গতিশীল চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল $= Bev$ হয় এখানে $B$ = চৌম্বক আবেশ, $e$ = চার্জ এবং $v$ = চার্জের বেগ।

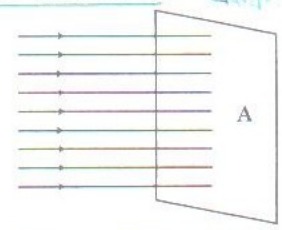
## কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা
## Some Important Definitions

**চৌম্বক ফ্লাক্স** (Magnetic flux) : চৌম্বক ক্ষেত্রকে সাধারণত চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। চিত্র ৪.৫-এ একটি অশ্বখুরাকৃতির দুই মেরুর মধ্যবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা দেখানো হয়েছে। ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের উপর নির্ভর করে।

এখন চৌম্বক ক্ষেত্রে যদি একটি তল (বাস্তব বা কাল্পনিক) নেয়া হয়, তবে ঐ তলের মধ্য দিয়ে যতগুলো চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা অতিক্রম করে তাকে চৌম্বক ফ্লাক্স বলে। একে $\varphi$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। একক Wb




চিত্র ৪·৫ : চৌম্বক ফ্লাক্স।




চিত্র ৪·৬ : চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব।

**চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব** (Magnetic flux density) : চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো একটি তল বা কুণ্ডলী (বাস্তব বা কল্পিত) চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার অভিলম্ব বরাবর স্থাপন করলে [চিত্র ৪.৬] ঐ কুণ্ডলী বা তলের একক ক্ষেত্রফল দিয়ে যতগুলো ক্ষেত্ররেখা অতিক্রম করে তাকে ঐ তলের চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে।

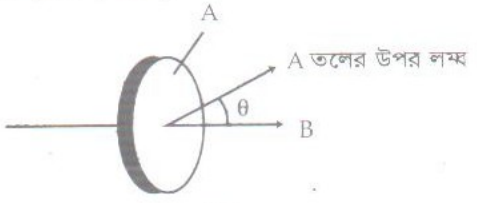
যদি চৌম্বক ফ্লাক্স $\varphi$ এবং তলের ক্ষেত্রফল $A$ হয়, তবে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব $B$ হবে,

$$B = \varphi / A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.2)$$

বা, $\varphi = BA \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.2a)$

এক্ষেত্রে চৌম্বক আবেশ $B$ এবং কুণ্ডলী তল $A$-এর উপরে অঙ্কিত লম্ব পরস্পর সমকোণে অবস্থিত।

এখন চৌম্বক আবেশ $B$ এবং কুণ্ডলী তল $A$-এর উপর অঙ্কিত লম্ব পরস্পর $\theta$ কোণে অবস্থিত [চিত্র ৪.৭] হলে চৌম্বক ফ্লাক্স $\varphi$ হবে,




চিত্র ৪.৭

$$\varphi = AB \cos\theta$$

অতএব, চৌম্বক ফ্লাক্সকে চৌম্বক আবেশ $\vec{B}$ এবং চৌম্বক কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফল $\vec{A}$ এর স্কেলার বা ডট গুণন হিসেবে লেখা যায়,

$$\varphi = \vec{A} \cdot \vec{B}$$

কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা $N$ হলে,

$$\varphi = N AB \cos\theta$$

**একক :** চৌম্বক ফ্লাক্সের এস. আই. একক হলো ওয়েবার (Wb) বা $NmA^{-1}$।
চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্বের একক

$$B = \frac{\varphi}{A} = \frac{\text{ওয়েবার}}{\text{মিটার}^2} \ (Wbm^{-2})$$

একে **টেসলা** (Tesla) বলে। টেসলা T দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

1 টেসলা $= 1\ Wbm^{-2} = 1\ NA^{-1}m^{-1} = 10^4$ gauss

**1 ওয়েবার :** কোনো কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে যত সংখ্যক ফ্লাক্স পরিবর্তনের জন্য ঐ কুণ্ডলীতে 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয় তাকে 1 ওয়েবার বলে।

**1 টেসলা :** যদি কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে সমকোণে 1 কুলম্ব চার্জ 1 $ms^{-1}$ বেগে গতিশীল হয় এবং 1 N বল অনুভব করে, তবে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে 1 টেসলা (T) বলে।

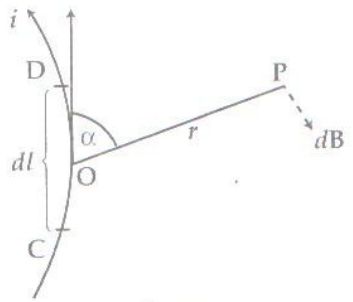
**লরেঞ্জ বল :** কোনো তড়িতাধান (চার্জ) একই সঙ্গে তড়িৎ ক্ষেত্র এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে গেলে মোট যে বল অনুভব করে, তাকে লরেঞ্জ বল বলে। চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এবং বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র $\vec{E}$ হলে উভয় ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রনের গতির জন্য লরেঞ্জ বল $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$.

## ৪·২ বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র বা ল্যাপ্লাস-এর সূত্র
### Biot-Savart Law or Laplace's Law

বিজ্ঞানী ওয়েরস্টেড আবিষ্কার করেন যে, বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। এই চৌম্বক ক্ষেত্রের চৌম্বকীয় আবেশ বা চৌম্বক প্রাবল্য নির্ণয়ের জন্য **বিজ্ঞানী ল্যাপ্লাস** একটি উপপাদ্য বা সূত্র প্রদান করেন। একে **ল্যাপ্লাসের উপপাদ্য** বা **ল্যাপ্লাসের সূত্র** বলে। পরবর্তীতে 1820 খ্রিস্টাব্দে **বিজ্ঞানী বায়োট** এবং **স্যাভার্ট** সূত্রটির একটি পরীক্ষামূলক প্রমাণ দেন। তাই এ সূত্রটিকে **বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র** বলা হয়। যে কোনো আকারের পরিবাহী ও বিভিন্ন তড়িৎ বণ্টনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয়ে এ সূত্র প্রয়োগ করা যায়। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত করা হলো।

**সূত্র : ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় তার কোনো বিন্দুতে চৌম্বকীয় আবেশের মান—**

(i) **বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক,**
(ii) **পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক,**
(iii) **পরিবাহীর মধ্যবিন্দু হতে ওই বিন্দুর সংযোগ রেখা এবং পরিবাহীর অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক,**
(iv) **পরিবাহীর মধ্য বিন্দু হতে ওই বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।**



চিত্র ৪·৮

**ব্যাখ্যা :** মনে করি CD বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ। এর দৈর্ঘ্য $dl$। এই অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন এর মধ্যবিন্দু O হতে $r$ দূরে অবস্থিত P বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে।

চিত্র ৪·৮ অনুযায়ী ধরি DC পরিবাহীর মধ্য দিয়ে I তড়িৎ প্রবাহের ফলে P বিন্দুতে চৌম্বকীয় আবেশ $dB$ হয় এবং O বিন্দুতে বিদ্যুৎ প্রবাহের অভিমুখ ও OP রেখার মধ্যে কৌণিক ব্যবধান $\alpha$ হয়, তবে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রানুসারে চৌম্বকীয় আবেশ—

(i) বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক অর্থাৎ $dB \propto i$, যখন $dl$, $r$ এবং $\alpha$ ধ্রুব,
(ii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক অর্থাৎ $dB \propto dl$, যখন $i$, $r$ এবং $\alpha$ ধ্রুব,
(iii) $\sin\alpha$-এর সমানুপাতিক, অর্থাৎ $dB \propto \sin\alpha$, যখন $i$, $dl$ এবং $r$ ধ্রুব এবং
(iv) দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ $dB \propto \frac{1}{r^2}$, যখন $i$, $dl$ এবং $\alpha$ ধ্রুব।

$$\therefore dB \propto \frac{idl\sin\alpha}{r^2}, \text{ যখন } i, dl, \alpha \text{ এবং } r \text{ পরিবর্তিত হয়।}$$

বা, $dB = \text{ধ্রুবক} \times \frac{i\,dl\sin\alpha}{r^2}$

বা, $dB = K \times \frac{idl\sin\alpha}{r^2}$ ... ... ... (4.3)

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক যার মান নির্ভর করে মাধ্যমের প্রকৃতি এবং রাশিগুলোর এককের উপর। S. I. পদ্ধতিতে বায়ু বা শূন্য মাধ্যমের জন্য

$K = \frac{\mu_0}{4\pi}$, $\mu_0$ হচ্ছে শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা (magnetic permeability).

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{Wbm}^{-1}\text{A}^{-1}$ বা, $\text{Tm A}^{-1}$

এখন সমীকরণ (4.3)-এ K-এর মান বসিয়ে পাই, $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{i\,dl \sin\alpha}{r^2}$ ... (4.4)

অতএব, **(ক) বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র হলো—**

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{i\,dl \sin\alpha}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.5)$$

এবং **(খ) অন্য মাধ্যমে** $dB = \frac{\mu}{4\pi} \times \frac{i\,dl \sin\alpha}{r^2}$ ... ... (4.6)

এখানে, $\mu$ হচ্ছে ওই মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা।

এখন সমগ্র পরিবাহীর দরুন P বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ নির্ণয়ের ক্ষেত্রে পরিবাহীটিকে অনুরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে বিভক্ত করে প্রত্যেক অংশের দরুন ঐ বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ নির্ণয় করে তাদের সমষ্টি নিতে হবে। কাজেই গাণিতিকভাবে সমগ্র পরিবাহীর জন্য লেখা যায়

$$B = \sum dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum \frac{i\,dl \sin\alpha}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{idl \sin\alpha}{r^2} \quad \text{(শূন্য মাধ্যমে)} \quad \ldots \quad (4.7)$$

এবং $B = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{idl \sin\alpha}{r^2}$ (অন্য মাধ্যমে) ... (4.8)

**সূত্রটির ভেক্টর রূপ :** চৌম্বক আবেশের মান এবং অভিমুখ দুইই আছে। অতএব এটি একটি ভেক্টর রাশি। অতএব সূত্রটির ভেক্টর রূপ হলো—

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad \text{(শূন্য মাধ্যমে)} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.9)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad \text{(অন্য মাধ্যমে)} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.10)$$

এখানে ভেক্টর $d\vec{l}$ পরিবাহীর ক্ষুদ্র অংশের মান ও দিক নির্দেশ করে। এর দিক হলো ওই অংশের স্পর্শক বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহের অভিমুখে। $id\vec{l}$-কে প্রবাহ উপাদান বা প্রবাহাংশ (Current Element) বলে। $\hat{r}$ হচ্ছে $\vec{r}$ এর অভিমুখে একক ভেক্টর।

**অনুসন্ধানমূলক কাজ : তড়িৎবাহী পরিবাহীর চতুর্দিকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\cos\alpha$ এর সমানুপাতিক না হয়ে $\sin\alpha$ এর সমানুপাতিক হয় কেন ?**

বায়োট-স্যাভার্টের সূত্র অনুযায়ী তড়িৎবাহী পরিবাহীর চতুর্দিকে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $dB = idl \sin\alpha$। দেখা যায় যে, পরিবাহীর লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান সব থেকে বেশি এবং স্পর্শক বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় না। পরিবাহীর মধ্যবিন্দু ও ঐ বিন্দুর সংযোজক সরলরেখা এবং পরিবাহীর মধ্যবিন্দুতে স্পর্শকের মধ্যবর্তী কোণ শূন্য হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান শূন্য এবং 90° হলে সর্বোচ্চ হয় যা কোণের sine ফাংশনের মানের সাথে সংগতিপূর্ণ—তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $\sin\alpha$ এর সমানুপাতিক।

**কাজ : একটি $l$ দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট ধাতব পরিবাহী B প্রাবল্যের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে এবং সমান্তরালে থাকলে পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল কত হবে ?**

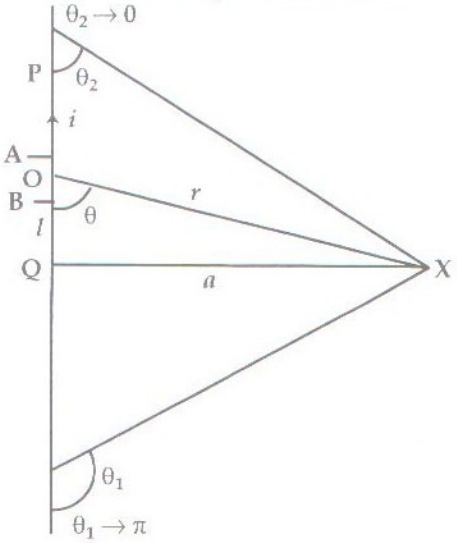
(i) একটি $l$ দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট ধাতব পরিবাহী B প্রাবল্যের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে থাকলে $\theta = 90°$ এবং $\sin\theta = 1$ হয়। অতএব এক্ষেত্রে ক্ষুদ্র অংশ $dl$-এর উপর ক্রিয়ারত বল হলো $Bidl$ এবং সম্পূর্ণ পরিবাহীর উপর ক্রিয়ারত বল $F = Bi\sum dl = Bil$.

(ii) পরিবাহী চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে থাকলে $\theta = 0°$ এবং $\sin\theta = 0$ হয়। কাজেই এক্ষেত্রে পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল শূন্য হবে।

## বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রের প্রয়োগ
**Application of Biot-Savart law**

বিদ্যুৎ চুম্বকত্বে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রের বিভিন্ন প্রয়োগ দেখতে পাওয়া যায়। নিম্নে দুটি আলোচনা করা হলো :

**(ক) বিদ্যুৎবাহী লম্বা সরল তারের জন্যে কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র :** মনে করি PQ একটি লম্বা সরল বা সোজা তার। এর মধ্য দিয়ে $i$ অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। ঐ প্রবাহের দরুন তার হতে $a$ মিটার দূরে অবস্থিত X বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে [ চিত্র ৪·৯ ]।



চিত্র ৪·৯

উক্ত পরিবাহীর একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ AB নেই। ধরি এর দৈর্ঘ্য = $dl$। মনে করি ঐ অংশটির মধ্য বিন্দু O হতে X বিন্দুর দূরত্ব $r$ এবং $\angle XOQ = \theta$। অতএব X বিন্দুতে $i\overrightarrow{dl}$ প্রবাহমাত্রা বা প্রবাহাংশের জন্য বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র হতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান পাই,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i\,dl\sin\theta}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.11)$$

দক্ষিণ হস্ত নিয়ম-২ অনুসারে $dB$-এর অভিমুখ হবে কাগজ তলের লম্ব বরাবর ভিতরের দিকে।

এখন সমকোণী ত্রিভুজ $\Delta OXQ$ হতে পাই,

$$\operatorname{cosec}\theta = \frac{r}{a}$$

$$\therefore \quad r = a\operatorname{cosec}\theta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.12)$$

আবার, ধরি $OQ = l$.

$$\therefore \quad l = a\cot\theta \quad [\because \cot\theta = \frac{OQ}{QX} = \frac{l}{a}]$$

ব্যবকলন করে পাই,

$$dl = -a\operatorname{cosec}^2\theta\, d\theta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.13)$$

এখন (4.11) সমীকরণে $r$ এবং $dl$-এর মান বসিয়ে পাই,

$$dB = -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i\,a\operatorname{cosec}^2\theta\sin\theta\,d\theta}{a^2\operatorname{cosec}^2\theta} = -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{a}\sin\theta\,d\theta$$

সমগ্র পরিবাহীর জন্য X বিন্দুতে মোট ক্ষেত্র প্রাবল্য হবে,

$$B = \int dB = \int_{\theta_1}^{\theta_2} -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{a}\sin\theta\,d\theta$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{a}\int_{\theta_1}^{\theta_2} -\sin\theta\,d\theta$$

$$= \frac{\mu_0 i}{4\pi a}[\cos\theta]_{\theta_1}^{\theta_2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi a}(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)$$

এখন তারটি যদি অসীম দৈর্ঘ্যের হয়, তবে

$\theta_1 = \pi$ এবং $\theta_2 = 0$ হবে

সে ক্ষেত্রে,

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi a}[\cos 0 - \cos\pi]$$

$$= \frac{\mu_0 i}{4\pi a}(1+1) = \boxed{\frac{\mu_0 i}{2\pi a}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.14)$$

সমীকরণ (4.14) হতে বোঝা যাচ্ছে $\overrightarrow{B}$ এর মান শুধুমাত্র বিদ্যুৎ প্রবাহ $i$ এবং তারটি হতে সংশ্লিষ্ট বিন্দুর লম্ব দূরত্বের উপর নির্ভর করে।

**অনুসন্ধান কর :** তড়িৎবাহী তারে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন প্রাবল্য এবং চৌম্বক মেরুর জন্য সৃষ্ট প্রাবল্য কোন রাশির উপর নির্ভরশীল ?

তড়িৎবাহী তারের দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। কিন্তু চৌম্বক মেরুর দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। তারের দৈর্ঘ্য বরাবর যে কোনো বিন্দুতে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান শূন্য হবে।

**(খ) বিদ্যুৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র :** মনে করি কোনো একটি পরিবাহীর $dl$ মিটার দৈর্ঘ্যের অতি ক্ষুদ্র অংশ দিয়ে $i$ অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ চলার ফলে পরিবাহীর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে । মনে করি পরিবাহীর এই অংশের মধ্য বিন্দু হতে উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর দূরত্ব $r$ মিটার। যদি এই দূরত্ব বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকের সাথে $\alpha$ কোণ উৎপন্ন করে, তবে বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র অনুসারে ঐ বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{idl}{r^2}\sin\alpha \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.15)$$

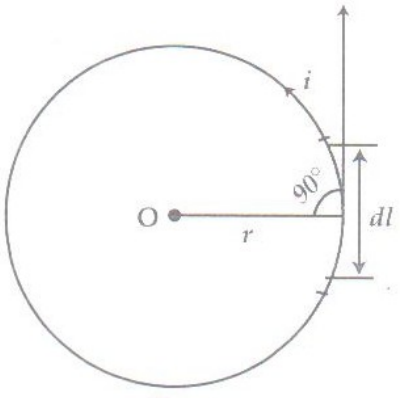
এখন মনে করি $r$ মিটার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট এক পাকের একটি বৃত্তাকার তারের ভেতর দিয়ে $i$ অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৪·১০] । এই বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ নির্ণয় করতে হবে।

বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্রানুসারে বৃত্তাকার পরিবাহীর $dl$ দৈর্ঘ্যের একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য তারের কেন্দ্রে সৃষ্ট চৌম্বক আবেশ —

$$dB = \frac{\mu_0 idl\sin\alpha}{4\pi r^2} = \mu_0\frac{idl\sin 90^\circ}{4\pi r^2}$$

$$= \mu_0\frac{i\,dl}{4\pi r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.16)$$

যেহেতু কুণ্ডলীর সকল বিন্দু থেকে বৃত্তের কেন্দ্র O এর দূরত্ব $r$ সমান এবং কুণ্ডলীর যে কোনো অংশ $dl$ এবং $r$ এর অন্তর্ভুক্ত কোণ সর্বদা $\theta = 90^\circ$, সেহেতু বৃত্তাকার পরিবাহকের দৈর্ঘ্য হচ্ছে কুণ্ডলীর পরিধির দৈর্ঘ্য অর্থাৎ $2\pi r$। সুতরাং $l = 0$ থেকে $l = 2\pi r$ সীমার মধ্যে সমীকরণ (4.16) সমাকলন করে পাই,।



চিত্র ৪·১০

$$dB = \int_{l=0}^{l=2\pi r}\frac{\mu_0 i}{4\pi r^2}dl$$

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}\int_0^{2\pi r} dl = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}[l]_0^{2\pi r}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}\times 2\pi r = \frac{\mu_0 i}{2r} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.17)$$

একটি পাকের পরিবর্তে যদি $r$ মিটার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট $n$ পাকের একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে $i$ অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা হয় তবে বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ বা ক্ষেত্র $n$ গুণ বৃদ্ধি পাবে। কাজেই এস্থলে চৌম্বক আবেশ,

$$B = \frac{\mu_0 ni}{2r} \text{ Wbm}^{-2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.18)$$

**দিক :** বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কুণ্ডলী তলের সাথে লম্ব বরাবর। যদি কুণ্ডলীর দিকে তাকালে প্রবাহের অভিমুখ ঘড়ির কাঁটার দিকে হয় তবে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক হবে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে আর প্রবাহের অভিমুখ ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে থাকলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক হবে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর বাইরের দিকে।

## গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস $31{\cdot}4 \times 10^{-2}$ m এবং প্যাক সংখ্যা 400। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে কত তড়িৎ প্রবাহ চললে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এর চৌম্বক ক্ষেত্র $4 \times 10^{-10}$ $Wbm^{-2}$ সৃষ্টি হয় ? [য. বো. ২০১০, ২০০৬]

আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_0 ni}{2r}$$

বা, $$i = \frac{2Br}{\mu_0 n}$$

$$\therefore \quad i = \frac{2 \times 4 \times 10^{-10} \times 15{\cdot}7 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 400}$$

$$= \frac{2 \times 4 \times 15{\cdot}7 \times 10^{-12} \times 10^{7} \times 10^{-2}}{4 \times 3{\cdot}14 \times 4}$$

$$= 2{\cdot}5 \times 10^{-7} \text{ A}$$

এখানে,

$n = 400$

$r = \frac{31{\cdot}4 \times 10^{-2}}{2}$ m $= 15{\cdot}7 \times 10^{-2}$m

$B = 4 \times 10^{-10}$ $Wbm^{-2}$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ $WbA^{-1}m^{-1}$

$i = ?$

২। 1 মিটার লম্বা একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে 5 A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তার থেকে 5 cm দূরে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বের কর। [রা. বো. ২০০৮]

আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}$$

$$\therefore \quad B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 0{\cdot}05} = 2 \times 10^{-5} \text{ Wb m}^{-2}$$

এখানে,

$i = 5$ A

$a$ = লম্ব দূরত্ব $= 5$ cm $= 0{\cdot}05$ m

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb $A^{-1}$ $m^{-1}$

$B = ?$

৩। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ $31{\cdot}14 \times 10^{-2}$ m এবং পাক সংখ্যা 800। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে $5 \times 10^{-7}$ A বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রবিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব কত হবে ?

আমরা জানি, $n$ পাকের বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য কুণ্ডলীর কেন্দ্র বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা ফ্লাক্স ঘনত্ব

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2r}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 5 \times 10^{-7}}{2 \times 31{\cdot}14 \times 10^{-2}}$$

$$= 8 \times 10^{-10} \text{ T}$$

এখানে,

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm $A^{-1}$

$I = 5 \times 10^{-7}$ A

$n = 800$

$r = 31{\cdot}14 \times 10^{-2}$ m

$B = ?$

## ৪·৩ অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র

### Ampere's Law

এই সূত্রের সাহায্যে কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান অর্থাৎ চৌম্বক প্রাবল্য নির্ণয় করা যায়। এটা উক্ত পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা $i$ এবং এতে সৃষ্ট চৌম্বক $\vec{B}$-এর মধ্যে সম্পর্ক নিরূপণ করে। সূত্রটি নিম্নরূপ :

**"কোনো বন্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বেষ্টিত ক্ষেত্রফলের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত মোট প্রবাহমাত্রার $\mu_0$ গুণ।"**

অর্থাৎ $$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.19)$$

এখানে $\mu_0$ = শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $dl$ = পথের ব্যবধান সরণ ভেক্টর, $\oint$ = প্রতীক দ্বারা বন্ধ পথে যোগফল।

ব্যাখ্যা : মনে করি, একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চৌম্বক শলাকাকে স্থাপন করলে এটি সাম্যাবস্থান হতে বিচ্যুত হবে। কিন্তু শলাকাটিকে সাম্যাবস্থান হতে বিচ্যুত করতে হলে এর উপর একটি ঘূর্ণন বল বা টর্ক (Torque) ক্রিয়া করবে। এই টর্কের মান হবে,

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.20)$$

বা, $$\tau = pB \sin 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.21)$$

এখানে, $p$ = চুম্বক শলাকার চৌম্বক ভ্রামক,
B = চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং
$\theta$ = $\vec{p}$ এবং $\vec{B}$-এর মধ্যবর্তী কোণ।

কোনো চৌম্বক দণ্ডের জন্য $\vec{p}$ একটি ধ্রুব সংখ্যা।

$\therefore \quad \tau \propto B$

তারের মধ্য দিয়ে বিভিন্ন প্রবাহমাত্রা চালনা করে এবং তারটি হতে বিভিন্ন দূরত্বে সংশ্লিষ্ট B-এর মান নির্ণয় করলে দেখা যাবে চৌম্বক ক্ষেত্র B, $i$-এর সমানুপাতে ও দূরত্ব $r$-এর ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হবে।

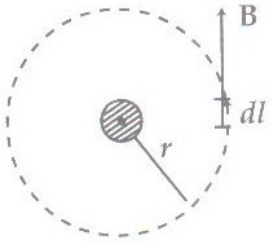
$\therefore \quad B \propto \frac{i}{r}$

বা, $B = \text{ধ্রুব সংখ্যা} \times \frac{i}{r}$ ... ... ... (4.22)

এই ধ্রুব সংখ্যাটিকে $\frac{\mu_0}{2\pi}$ ধরলে সমীকরণ (4.18) সিদ্ধ হয়। সুতরাং এই ধ্রুবকটির মান $\frac{\mu_0}{2\pi}$-ই ধরা হবে। এখানে $\mu_0$= মাধ্যমের প্রবেশ্যতা (Permeability of the medium)। এর মান $4\pi \times 10^{-7}$ ওয়েবার/অ্যাম্পিয়ার-মিটার।

$\therefore$ সমীকরণ (4.22) হতে পাই, $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{i}{r} = \frac{\mu_0}{2\pi r}\, i$ ... ... (4.23)

সমীকরণ (4.23) অনুযায়ী, $B(2\pi r) = \mu_0 i$ ... ... (4.24)



চিত্র ৪·১১

কিন্তু $2\pi r$ হলো $r$ ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধি। আবার ঐ বৃত্তের পরিধির উপর সকল বিন্দুতে B-এর মান সমান [চিত্র ৪·১১] এবং প্রত্যেক বিন্দুতে B-এর দিক ঐ বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক বরাবর। সুতরাং প্রত্যেক বিন্দুতে B এবং বৃত্তের পরিধির ক্ষুদ্র অংশের মধ্যকার কোণের মান শূন্য।

সমীকরণ (4.20) এর বাম পার্শ্বকে $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ হিসেবে প্রকাশ করা যায়।

এখানে, $d\vec{l}$ = পথের ব্যবধান সরণ ভেক্টর।

$\therefore$ আমরা পাই,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i \quad \text{... ... ... (4.25)}$$

**এটাই হলো অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র।**

বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, উপরোক্ত সূত্রটি যে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র, প্রবাহমাত্রা এবং সমাকলন পথের জন্য সত্য।

## গাণিতিক উদাহরণ

**১। একটি সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 2 মিটার এবং গড় ব্যাস 2 সে.মি.। এর ভেতর 10 স্তর আছে। প্রত্যেক স্তরে 1000 পাক আছে। এর মধ্য দিয়ে 5 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ক্ষেত্র প্রাবল্য এবং সলিনয়েডের কেন্দ্রে ফ্লাক্স নির্ণয় কর।**

**১ম ক্ষেত্রে**

মনে করি ক্ষেত্র প্রাবল্য = B

$\therefore B = \mu_0 i \times n$ ... ... ... (i)

এখানে $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ওয়েবার/অ্যাম্পিয়ার মিটার

$i = 5$ অ্যাম্পিয়ার, $n = \frac{10 \times 1000}{2} = 5000$ পাক/মিটার

সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$B = 4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 5000$
$= 3{\cdot}14 \times 10^{-2}$ ওয়েবার/মিটার$^2$

**২য় ক্ষেত্রে**

মনে করি ফ্লাক্স $= \phi_B$

$\therefore \phi_B = B \times A = B \times \pi r^2$

এখানে $r = \frac{2}{2} = 1$ সেমি $= 10^{-2}$ m

$\phi_B = 3{\cdot}14 \times 10^{-2} \times 3{\cdot}14 \times (10^{-2})^2$

$= 9{\cdot}87 \times 10^{-2} \times 10^{-4} = 9{\cdot}87 \times 10^{-6}$ ওয়েবার

## ৪·৪ গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক বল
### Magnetic force on a moving charge

আমরা জানি যে বিদ্যুৎ প্রবাহ বৈদ্যুতিক চার্জের গতির ফলে সৃষ্টি হয়। আবার কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। তাহলে বলা যেতে পারে যে, চলমান বৈদ্যুতিক চার্জ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে।

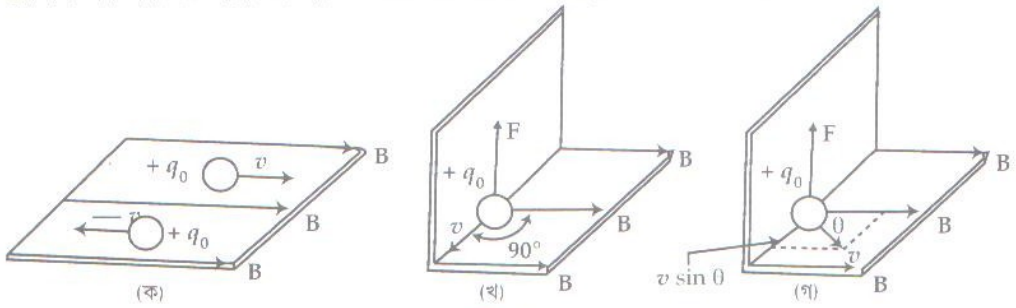
### চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক বলের মান ও দিক
### Magnitude and direction of Magnetic force on a charge moving in a magnetic field

আমরা জানি যে একটি চার্জকে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চার্জটি বৈদ্যুতিক বল অনুভব করে। স্বাভাবিক-ভাবে প্রশ্ন জাগে কোনো চার্জকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে ঐ চার্জটি **চৌম্বক বল** অনুভব করবে কিনা ? এই প্রশ্নের জবাব হলো, হ্যাঁ। তবে অবশ্যই দুটি শর্ত পূরণ করতে হবে :

(১) চার্জটি অবশ্যই গতিশীল হতে হবে। তা স্থির থাকলে চৌম্বক বল ক্রিয়াশীল হবে না।

(২) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর গতিশীল চার্জের বেগের উপাংশ (component) থাকতে হবে।

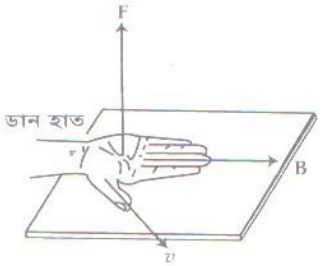
**ব্যাখ্যা :** চিত্র ৪·১২(ক)-এ একটি গতিশলি চার্জ $\vec{v}$ বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে প্রবাহিত হচ্ছে। চার্জটি গতিশীল হওয়া সত্ত্বেও এ অবস্থায় চার্জের উপর কোনো চৌম্বক বল কাজ করবে না। অর্থাৎ চার্জটি কোনো বল অনুভব করবে না। কেননা চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর বেগ শূন্য; সুতরাং উপরে উল্লেখিত ২নং শর্ত পূরণ করেনি। চিত্র ৪·১২(খ) ও ৪·১২(গ)-এ চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে যথাক্রমে $90°$ কোণে এবং $\theta$ কোণে গতিশীল রয়েছে। উভয় ক্ষেত্রেই চার্জটি চৌম্বক বল অনুভব করবে। তবে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এবং চার্জের বেগ $\vec{v}$-এর মধ্যবর্তী কোণ যখন $90°$ তখন চৌম্বক বল সর্বাধিক হবে। কেননা এ অবস্থায় চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর বেগ সর্বাধিক।




চিত্র ৪·১২

চৌম্বক বল $\vec{F}$-এর দিক হবে বেগ $\vec{v}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর উভয়ের উপর লম্ব। অর্থাৎ $\vec{v}$ এবং $\vec{B}$ যে তলে রয়েছে $\vec{F}$ ঐ তলের উপর লম্ব হবে। বল $\vec{F}$ নির্ণয়ের জন্য ডান হস্ত নিয়ম-১ [Right hand rule-1, সংক্ষেপে, RHR–1] প্রয়োগ করতে হবে [চিত্র ৪·১২ ]।

**ডান হস্ত নিয়ম–১ :** ডান হস্ত বিস্তৃত করলে অঙ্গুলিগুলির দিক চৌম্বক ক্ষেত্র এবং বৃদ্ধাঙ্গুলি চার্জের বেগ নির্দেশ করলে ধনাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে হাতের তালুর উপরে বহির্মুখী লম্ব চৌম্বক বলের দিক নির্দেশ করবে। ঋণাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে বল বিপরীতমুখী অর্থাৎ হাতের তালুর ভেতরের দিকে লম্ব বরাবর হবে।




চিত্র ৪·১৩

একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে চার্জিত কণার গতি পরীক্ষা করে জানা যায় যে,

(i) চৌম্বক বল F-এর মান কণাটির চার্জ বা আধান $q$, দ্রুতি $v$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের মান B-এর সমানুপাতিক।

(ii) চার্জিত কণার বেগ $\vec{v}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক।

(iii) চৌম্বক বলের অভিমুখ $\vec{v}$ এবং $\vec{B}$ যে তলে থাকে সেই তলের লম্ব দিকে হয়।

**বলের মান :** উপরের পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে $q$ চার্জ $v$ বেগে গতিশীল [চিত্র ৪·১৩] হলে ঐ চার্জটি F বল লাভ করে; তাহলে একক চার্জ একক বেগে গতিশীল হলে $\frac{F}{qv}$ বল লাভ করবে। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

$$B = \frac{F}{qv} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.26)$$

কিন্তু চার্জটি যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল না হয়ে $\theta$ কোণে গতিশীল হয় [চিত্র ৪·১২(গ)] সেক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান হবে

$$B = \frac{F}{qv \sin\theta}$$

$$\therefore \quad F = qvB \sin\theta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.27)$$

এবং ভেক্টর পদ্ধতিতে,

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.28)$$

(i) যখন $\theta = 0$, তখন $F = 0$ ... ... ... (4.29)

এ অবস্থায় চার্জটি কোনো বল অনুভব করে না।

আবার, (ii) $\theta = 90°$ তখন $F = qvB$ ... ... (4.30)

এ অবস্থায় চার্জটি সর্বাধিক বল অনুভব করে।

সমীকরণ (4.30)-এ, $q = 1$ একক, $v = 1$ একক হলে $F = B$ হয়। অর্থাৎ **একক আধানকে একক বেগে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্বভাবে গতিশীল করলে আধানটির ওপরে ক্রিয়াশীল বলের মান ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলের মানের সমান।**

**দিক :** এই বল চৌম্বক ক্ষেত্র এবং চার্জিত কণার গতি উভয়েরই অভিমুখের সাথে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

**নিজে কর :** দুটি অসীম দীর্ঘ সমান্তরাল তারের মধ্য দিয়ে সমতড়িৎ প্রবাহ $i$ প্রবাহিত হচ্ছে। দুটি তার থেকে সমদূরবর্তী বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র কি হবে যখন (i) উভয় তারে প্রবাহ একই দিক অভিমুখী এবং (ii) প্রবাহদ্বয় বিপরীত দিক অভিমুখী ?

(i) তড়িৎবাহী তার দুটি থেকে সমদূরবর্তী বিন্দুতে উভয় তারে সমমাত্রার একই অভিমুখী প্রবাহের দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায় ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান শূন্য হবে।

(ii) দুটি তারের সমদূরবর্তী বিন্দুতে উভয়ের প্রবাহমাত্রা বিপরীতমুখী হওয়ার দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রদ্বয় সমান ও সমমুখী, ফলে ঐ বিন্দুতে নীট চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বিগুণ হবে।

**অনুসন্ধান কর :** একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি তড়িতাধান অবস্থিত। আধানের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কি কোনো বল প্রয়োগ করবে যদি (i) আধান স্থির অবস্থায় থাকে, (ii) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে আধান গতিশীল হয়, (iii) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে আধান গতিশীল হয় ?

(i) স্থির আধানের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কোনো বল প্রয়োগ করে না। (ii) গতিশীল আধান তড়িৎ প্রবাহের সমতুল্য, ফলে চৌম্বক ক্ষেত্রেরও সৃষ্টি হয়। কিন্তু এক্ষেত্রে যেহেতু প্রবাহের অভিমুখ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে সুতরাং আধানের উপর কোনো বল প্রযুক্ত হবে না। (iii) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে আধান গতিশীল হলে চার্জটি সর্বাধিক বল অনুভব করে।

**জানার বিষয় :** I. যখন $l$ দৈর্ঘ্যের পরিবাহীর মধ্য দিয়ে I পরিমাণ প্রবাহ চৌম্বকক্ষেত্র B এর সাথে লম্বভাবে স্থাপন করা হয় তখন ইলেকট্রনের উপর প্রযুক্ত বল $F = IlB$। এখানে $I = nAqv$, $F = nAlqv = Nqv$, N = মোট ইলেকট্রনের সংখ্যা, $n$ = প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনের সংখ্যা।

II. তড়িৎবাহী পরিবাহক যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে $\theta$ কোণে থাকে, তাহলে $F = IlB \sin\theta$ হয়।

III. দুটি সমান্তরাল বিদ্যুৎবাহী তারের মধ্যবর্তী দূরত্ব $r$ এবং $I_1$ ও $I_2$ প্রবাহের জন্য $l$ দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল, $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$.

IV. দুটি সমমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে আর বিপরীতমুখী প্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

### গাণিতিক উদাহরণ

**১। একটি দীর্ঘ সোজা তারের মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। একটি ইলেকট্রন তার থেকে 0·1m দূরে থেকে তারের সমান্তরালে কিন্তু প্রবাহের বিপরীত দিকে $3 \times 10^5$ ms$^{-1}$ বেগে চলছে। তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র ইলেকট্রনের উপর কত বল প্রয়োগ করবে? ইলেকট্রনের চার্জ $1·6 \times 10^{-19}$ C।**

আমরা জানি,

$$F = qvB \sin\theta$$

এখানে $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1} \times 2\text{A}}{2\pi \times 0·1\ \text{m}}$$

$$= 4 \times 10^{-6}\ \text{T}$$

এখানে,

তড়িৎ প্রবাহ, I = 2A

তার থেকে ইলেকট্রনের দূরত্ব, $a = 0·1$ m

ইলেকট্রনের বেগ, $v = 3 \times 10^5$ ms$^{-1}$

ইলেকট্রনের চার্জ, $q = 1·6 \times 10^{-19}$ C

বল, F = ?

$$\therefore \quad F = 1·6 \times 10^{-19}\ \text{C} \times 3 \times 10^5\ \text{ms}^{-1} \times 4 \times 10^{-6}\ \text{T} \times \sin 90°$$

$$= 1·92 \times 10^{-19}\ \text{N}$$

**২। 0·5 Tesla সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণে একটি ইলেকট্রন $10^5$ ms$^{-1}$ বেগে চলতে থাকলে (i) ইলেকট্রনটির উপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর।**

**(ii) ইলেকট্রনের ত্বরণ কত হবে ?**

[ব. বো. ২০০৭, কু. বো. ২০০৫, রা. বো. ২০০১]

(i) আমরা জানি,

$$F = qvB \sin\theta$$

$$\therefore \quad F = 1·6 \times 10^{-19} \times 10^5 \times 0·5 \times \sin 60°$$

$$= 6·93 \times 10^{-15}\ \text{N}$$

(ii) আবার,

ত্বরণ, $a = F/m_e$

$$\therefore \quad a = \frac{6·93 \times 10^{-15}}{9·11 \times 10^{-31}}$$

$$= 7·6 \times 10^{15}\ \text{ms}^{-2}$$

এখানে,

$q = e = 1·6 \times 10^{-19}$ C

$v = 10^5$ ms$^{-1}$

B = 0·5 Tesla

$m_e = 9·11 \times 10^{-31}$ kg

$\theta = 60°$

F = ?

$a$ = ?

## ৪·৫ হল প্রভাব বা হল ক্রিয়া
## Hall effect

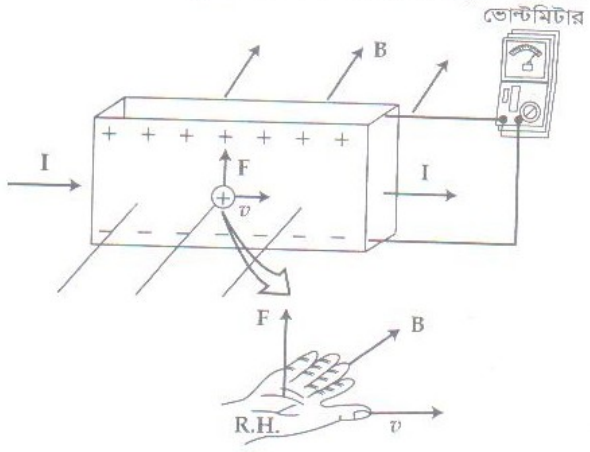
আমরা জানি, ধাতব পরিবাহীতে বিদ্যুৎ সঞ্চালন ইলেকট্রনের গতির জন্য হয়। ইলেকট্রনের চার্জ ঋণাত্মক। তবে সব ক্ষেত্রেই যে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঋণাত্মক চার্জ দ্বারা সৃষ্টি হয় তা নয়। অর্ধপরিবাহী পদার্থ যেমন জার্মেনিয়াম, সিলিকন ইত্যাদিতে বিদ্যুৎ প্রবাহ ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক উভয় ধরনের চার্জ দ্বারা সৃষ্টি হয়। তবে এক্ষেত্রে ঋণাত্মক বা ধনাত্মক চার্জের কোন সঞ্চালন ক্রিয়া সক্রিয় তা নির্ভর করে অর্ধপরিবাহী পদার্থ তৈরির প্রক্রিয়ার উপর। কোনো পদার্থে বিদ্যুৎ সঞ্চালন ঋণাত্মক বা ধনাত্মক কোন প্রকৃতির চার্জ দ্বারা সৃষ্ট তা জানার জন্য এবং চার্জের সংখ্যা নির্ণয়ের জন্য আমেরিকান বিজ্ঞানী ই. এইচ. হল (E. H. Hall) 1879 সালে একটি পরীক্ষা সম্পাদন করেন। বর্তমানে এ পদ্ধতি বিভিন্ন ক্ষেত্রে বহুলভাবে ব্যবহৃত হয়। এই ক্রিয়া থেকে চৌম্বক ক্ষেত্রও পরিমাপ করা যায়। ইলেকট্রনের ধারণার আগে হল ক্রিয়া আবিষ্কৃত হয়। ফলে বিদ্যুৎ প্রবাহ যে ইলেকট্রনের প্রবাহের জন্য তা জানা ছিল না। হল প্রভাব বা হল ক্রিয়ার সংজ্ঞা নিম্নোক্তভাবে দেয়া যায় :

**কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহককে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে তড়িৎ প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্র উভয়ের সাথে লম্ব বরাবর একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় তথা ভোল্টেজ উৎপন্ন হয়। এই ঘটনাকে হল প্রভাব বা হল ক্রিয়া বলে এবং সৃষ্ট বিভব পার্থক্যকে বলা হয় হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ।**

**হল এর পরীক্ষা :** একটি পাতলা ও চওড়া ধাতব পরিবাহী পাত নিয়ে পাতের মধ্য দিয়ে দৈর্ঘ্য বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহিত করি।

পাতটিকে একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র B-এ এমনভাবে স্থাপন করি যেন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পাতের চওড়া পৃষ্ঠের অভিলম্ব বরাবর থাকে। এক্ষেত্রে ধাতব পাতে ধনাত্মক চার্জের সঞ্চালনের জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়েছে হল-এর চার্জের প্রকৃতি এবং সংখ্যা নির্ণয়ের পদ্ধতি চিত্র ৪·১৪-এ দেখানো হলো।

আমরা জানি গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে চার্জ চৌম্বক বল দ্বারা বিক্ষিপ্ত হবে। ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়মানুসারে $\vec{F}$ বল পাতের উর্ধ্বমুখে ক্রিয়াশীল হবে (যেহেতু চার্জ ধনাত্মক)। তবে প্রবাহী চার্জ ঋণাত্মক হলে এর বিপরীত অবস্থা হবে। অর্থাৎ পাতের নিচের দিকে বল ক্রিয়া করবে। এ পরীক্ষণে ধনাত্মক চার্জ পাতের উপরের পৃষ্ঠে জমা হবে এবং সম পরিমাণ ঋণাত্মক চার্জ নিচের পৃষ্ঠে জমবে। বিপরীত পৃষ্ঠদ্বয়ে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জ জমা হওয়ার কারণে পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে বিদ্যুচ্চালক বল উৎপন্ন হবে। উপরের পৃষ্ঠে উচ্চ বিভব এবং নিচের পৃষ্ঠে নিম্ন বিভব সৃষ্টি হবে। পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে সৃষ্ট এ বিদ্যুচ্চালক বল বা বিভব পার্থক্যকে **হল বিদ্যুচ্চালক বল** (Hall emf) বা **হল ভোল্টেজ** (Hall voltage) বলা হয়। হল ভোল্টেজ ভোল্টমিটার দিয়ে পরিমাপ করা যায় (চিত্রে দেখানো হয়েছে)। জমাকৃত এ ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক চার্জ বিদ্যুৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করবে। বিদ্যুৎ ক্ষেত্রের জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার উপর বৈদ্যুতিক বল ক্রিয়াশীল হবে যা চৌম্বক বলের বিপরীতমুখী হবে। এই দুই বলের মান সমান হলে সাম্যাবস্থা সৃষ্টি হবে। পুনঃ প্রবাহ যদি ঋণ চার্জের জন্য হয় তবে হল বিদ্যুচ্চালক বলের অভিমুখ বিপরীতমুখী হবে। এই পরীক্ষণ থেকে চার্জের প্রকৃতি এবং চার্জের সংখ্যা উভয়ই নির্ধারণ করা যায়।



চিত্র ৪·১৪

### (ক) চার্জের প্রকৃতি নির্ণয়

উপরে বর্ণিত পরীক্ষণ হতে দেখা যায় যে বিদ্যুৎ প্রবাহ ধনচার্জের জন্য হলে পাতের প্রস্থ বরাবর উপরের পৃষ্ঠের বিভব ($V_u$) নিচের পৃষ্ঠের বিভব ($V_l$) অপেক্ষা বড় হবে।

অর্থাৎ $V_{ul} = (V_u - V_l)$ = ধনসংখ্যা হবে।

আবার প্রবাহ ঋণচার্জের জন্য হলে বিপরীত অবস্থা হবে।

অর্থাৎ নিচের পৃষ্ঠের বিভব $V_l$ উপরের পৃষ্ঠের বিভব অপেক্ষা বড় হবে ($V_u < V_l$)

সুতরাং $V_{ul} = (V_u - V_l)$ = ঋণাত্মক হবে।

এ থেকে আমরা আধানের প্রকৃতি নির্ণয় করতে পারি।

### (খ) হল ভোল্টেজের সাহায্যে একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা নির্ণয়

ধরা যাক,

$q$ = প্রতিটি চার্জের আধান
$v$ = চার্জের বেগ
$n$ = প্রতি একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা
B = চৌম্বক আবেশ বা ফ্লাক্স ঘনত্ব (Flux density)
E = পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে উৎপন্ন হল ভোল্টেজের জন্য সৃষ্ট বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র
$V_H$ = হল ভোল্টেজ
$d$ = পাতের প্রস্থ
$b$ = পাতের বেধ বা পুরত্ব

সুতরাং, বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র, $E = \frac{V_H}{d}$ ... ... ... (4.31)

বা, $V_H = Ed$ $E = vB$ $V_H = vBd$ $V_H = BVd$ ... ... (4.32)

প্রতিটি চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বৈদ্যুতিক বল $F_e = qE$ হয়। হিসাব করে দেখা যায়, হল বিভবের জন্য প্রতি একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা $n = \frac{JB}{qE}$ ... ... ... (4.33)

বা, $n = \frac{JB}{qE}$ ... ... ... (4.34)

এখানে J = বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘনত্ব $= nqv$ এবং $E = vB$ ... ... ... (4.35)

ইলেকট্রনের বেগ, চুম্বক ক্ষেত্রের মান, পরিবাহীর প্রস্থ, চার্জ ধ্রুব রাশি হওয়ায় গাণিতিকভাবে হল ভোল্টেজের মান পাওয়া যায় $V_H = \frac{BI}{nbq}$ ... ... ... (4.36)

বা, $n = \frac{BI}{V_H bq}$ এটি একক আয়তনে চার্জ বাহকের সংখ্যা নির্দেশ করে।

4.36 সমীকরণে B, I, $b$, $q$ ধ্রুব রাশি, কাজেই $V_H \propto \frac{1}{n}$ ... ... (4.37)

অর্থাৎ হল ভোল্টেজ প্রতি একক আয়তনে চার্জ বাহকের ব্যস্তানুপাতিক।

### গাণিতিক উদাহরণ

**১। অধিপরিবাহী পদার্থের একটি ফলক (slab)-এর প্রস্থ 0·03 m এবং পুরত্ব $1 \times 10^{-3}$ m। ফলকটি 1·2 T চৌম্বক ক্ষেত্রে এমনভাবে স্থাপন করা হলো যেন ফলকটির তল এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পরস্পর লম্ব হয়। ফলকটির ভিতর দিয়ে ইলেকট্রন প্রবাহের জন্য 100 A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে (ক) হল বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র ; (খ) হল বিভব পার্থক্য এবং (গ) প্রতি একক আয়তনে মুক্ত ইলেক্ট্রন সংখ্যা নির্ণয় কর (মুক্ত ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $4 \times 10^{-4}$ ms$^{-1}$)।**

মনে করি হল বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র $= E_H$
হল বিভব পার্থক্য $= V_H$
এবং প্রতি একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা $= n$

(ক) আমরা জানি,
$E_H = vB$
$= (4 \times 10^{-4}\ ms^{-1})\ (1·2T)$
$= 4·8 \times 10^{-4}\ Vm^{-1}$

(খ) $V_H = E_H d$
$= (4·8 \times 10^{-4}\ Vm^{-1})\ (1 \times 10^{-3} m)$
$= 4·8 \times 10^{-7}\ V$

এখানে,
$b = 0·03$ m
$d = 1 \times 10^{-3}$m
$B = 1·2$ T
$i = 100$ A
$v = 4 \times 10^{-4}$ ms$^{-1}$
প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= 0·03 \times 1 \times 10^{-3} m^2$
$= 3 \times 10^{-5} m^2$
$e = 1·6 \times 10^{-19}$ C

(গ) $i = nevA$
বা, $n = \frac{i}{evA} = \frac{100\ A}{(1·6 \times 10^{-19}\ C)\ (4 \times 10^{-4}\ ms^{-1})\ (3 \times 10^{-5} m^2)}$
$= 5·2 \times 10^{28}\ m^{-3}$

**২। 0·02 m প্রস্থের একটি ধাতব পাত 6 Wbm$^{-2}$ চৌম্বক আবেশ ক্ষেত্রে পরস্পরের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত। পাতের মধ্যে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $4 \times 10^{-3}$ ms$^{-1}$ হলে সৃষ্ট হল বিভবের মান নির্ণয় কর।**

[রা. বো. ২০০৭; ঢা. বো. ২০০১]

আমরা জানি, হল বিভব,
$V_H = Bvd$
$\therefore V_H = 6 \times 4 \times 10^{-3} \times 0·02$
$= 4·8 \times 10^{-4}$ Volts

এখানে,
$B = 6$ Wbm$^{-2}$
$v = 4 \times 10^{-3}$ ms$^{-1}$
$d = 0·02$ m
$V_H = ?$

## ৪.৬ পরিবাহী তার ও চৌম্বক ক্ষেত্রের বল
**Conducting wire and force in magnetic field**

আমরা জানি, একটি তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। অ্যালুমিনিয়ামের তৈরি আয়তাকার আয়তনের কাঠামোর উপরে একটি সূক্ষ্ম অন্তরীত তামার তারকে বহুসংখ্যক পাকে জড়িয়ে এরূপ একটি কুণ্ডলী তৈরি করে স্থায়ী অশ্বাকৃতি চুম্বকের NS এর মধ্যে স্থাপন করে তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা হয়। এই কৌশল চল কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারে ব্যবহৃত হয়। নিম্নে চৌম্বক ক্ষেত্রে রক্ষিত এরূপ একটি কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট বল ও টর্ক আলোচনা করা হলো।

### প্রবাহী লুপের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়াশীল টর্ক
**Torque on a current carrying coil in magnetic field**

আমরা জানি যে বিদ্যুৎ প্রবাহবাহী তার কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে অথবা প্রবাহবাহী তারের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে এর উপর চৌম্বক বল ক্রিয়াশীল হয়। এ বলের মান হয়

$F = I\ lB \sin\theta$ ... ... ... (4.38)

এবং ভেক্টর রূপ,

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.39)$$

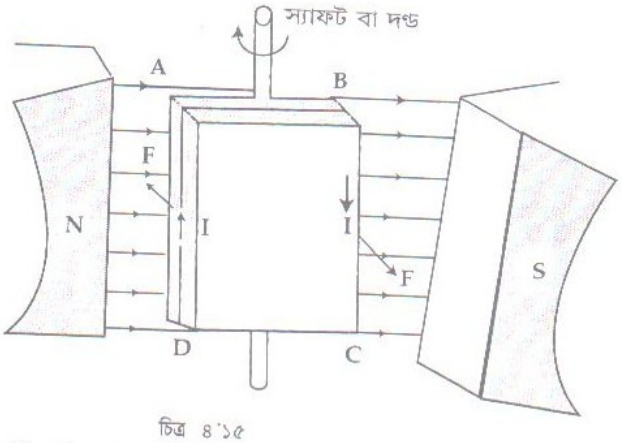
$\vec{l}$ সরণ ভেক্টর যার দিক বিদ্যুৎবাহী সরল তারের ক্ষেত্রে প্রবাহের দিকে।

যদি একটি বিদ্যুৎবাহী তারের লুপ (Loop) সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে যথোপযুক্তভাবে ঝুলিয়ে দেওয়া হয়, তবে চৌম্বক বল লুপের উপর টর্ক বা ব্যবর্তন বল সৃষ্টি করে যা লুপটিকে মোচড় বা ঘুরানোর চেষ্টা করে। এই টর্ক বা ব্যবর্তন বল অনেক ধরনের ডিভাইস (Device) বা যন্ত্র যেমন গ্যালভানোমিটার, বৈদ্যুতিক মোটর, জেনারেটর ইত্যাদি পরিচালনার কাজে ব্যবহৃত হয়। এখন একটি আয়তাকার তারের লুপে টর্কের রাশিমালা বের করব।

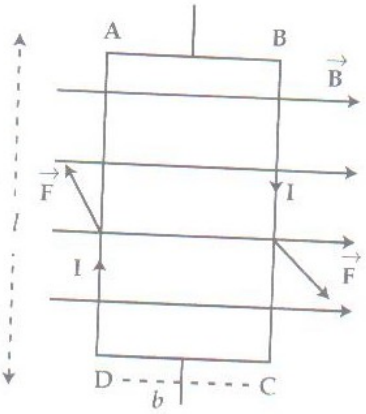
ধরি ABCD একটি ক্ষুদ্র আয়তাকার বিদ্যুৎবাহী লুপ বা কুন্ডলী একটি সুষম চুম্বক ক্ষেত্র B-এর মধ্যে স্থাপন করা হয়েছে। কুন্ডলী তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে রয়েছে। লুপটি একটি স্যাফট বা দন্ডের সাথে এমনভাবে সংযুক্ত করা হয়েছে যাতে এটি মুক্তভাবে ঘুরতে পারে [চিত্র ৪·১৫]। বোঝার সুবিধার্থে চিত্রটি সহজ করে ৪·১৬ চিত্রে দেখান হলো। লুপটির চারটি বাহু AB, BC, CD এবং DA-এর উপর ক্রিয়াশীল বলসমূহের লব্ধি লুপটির উপর নিট বল হিসেবে কাজ করবে। লুপটি আয়তাকার বলে

$AB = DC = b$ (লুপটির প্রস্থ)

এবং $AD = BC = l$ (লুপটির দৈর্ঘ্য)




চিত্র ৪·১৫




চিত্র ৪·১৬

ধরি ঘড়ির কাঁটার দিকে বিদ্যুৎ I প্রবাহিত হচ্ছে। এখন AB বাহুর উপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল [ সমীকরণ (4.38) অনুসারে ]

$F = Ib\,B \sin\theta$

$= 0$ [ $\because$ $\vec{b}$ এবং $\vec{B}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ, $\theta = 0$ ]

আবার,

CD -এর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$F = Ib B \sin\theta = 0$ [ $\because$ $\theta = 180°$ ]

AB ও CD এর উপর ক্রিয়াশীল বল সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায় কোনো সরণ হবে না এবং বলদ্বয়ের ক্রিয়ামুখ একই সরলরেখায় হওয়ায় কোনো দ্বন্দ্ব সৃষ্টি হবে না। AD বাহুর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$F = IlB \sin\theta = IlB$ [ $\because$ $\vec{l}$ ও $\vec{B}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 90°$]

এবং BC-এর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$F = IlB \sin\theta = IlB$ [ $\because$ $\theta = 90°$ ]

বলের দিক নির্ণয়ের ডান হস্ত নিয়ম অনুসারে AD ও BC এর উপর ক্রিয়াশীল বল বিপরীতমুখী হবে এবং এদের ক্রিয়ামুখ একই সরলরেখায় না হওয়ায় লুপটি একটি নিট টর্ক বা ব্যবর্তন বল অনুভব করবে যার ফলে লুপটি দন্ডের সাপেক্ষে ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘুরে যাবে। এখন

নিট টর্ক = বল × ক্রিয়াশীল বলদ্বয়ের মধ্যবর্তী লম্ব দূরত্ব

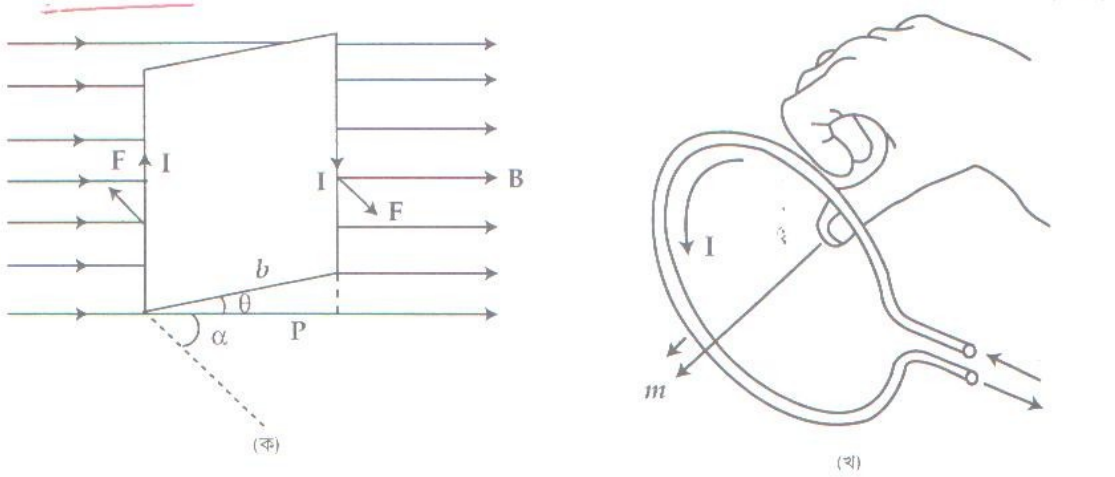
$= F \times b = IlB \times b = Ilb\,B$

$= IAB$

এখানে $A = lb$, লুপের ক্ষেত্রফল।

একটি তারকে পেঁচিয়ে যদি N সংখ্যক লুপের কুণ্ডলী তৈরি করা হয় তবে কুণ্ডলীর প্রত্যেক পার্শ্বে ক্রিয়াশীল বল একটি একক লুপের N গুণ হবে এবং টর্কও N গুণ হবে। সে অবস্থায় নিট টর্ক হবে,

$$\tau = NIAB \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.40)$$




চিত্র ৪·১৭

যদি কুণ্ডলী তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে θ কোণে অবস্থান করে অর্থাৎ $\vec{b}$ ও $\vec{B}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ θ হয় [চিত্র ৪·১৭(ক) ], তবে বলদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব

$$P = b\cos\theta$$

$$\therefore \quad \vec{\tau} = NIAB\cos\theta$$

$$= NIAB\cos(90^\circ - \alpha),\ \alpha \text{ হলো লুপ তলের অভিলম্ব এবং } B\text{-এর মধ্যবর্তী কোণ।}$$

$$= NIAB\sin\alpha \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.41)$$

ভেক্টররূপে লেখা যায়,

$$\vec{\tau} = NI\vec{A} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.42)$$

$\vec{A}$-কে ক্ষেত্রফল ভেক্টর বলে। $NI\vec{A}$ -কে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক (magnetic moment) $\vec{M}$ বলা হয়। $\vec{M}$-এর দিক হবে $\vec{A}$ -এর দিক বরাবর।

$$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.43)$$

অর্থাৎ **কোনো বিদ্যুৎবাহী কুণ্ডলীর বিদ্যুৎ প্রবাহ এবং কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল ভেক্টরের গুণফলকে ঐ কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক বলে।**

**$\vec{M}$-এর দিক নির্ণয় :** ডান হাতের আঙ্গুলগুলো বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করলে বৃদ্ধাঙ্গুলি যে দিক নির্দেশ করে সেটিই হবে $\vec{M}$ -এর দিক [ চিত্র ৪·১৭(খ) ]

বিদ্যুৎবাহী কুণ্ডলীর ভ্রামক যত বেশি হবে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে কুণ্ডলী তত বেশি টর্ক অনুভব করবে। সমীকরণ (4.42) অনুসারে কুণ্ডলীর প্যাঁচ সংখ্যা ও ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক বৃদ্ধি করা যায়।

**অনুসন্ধানমূলক কাজ :** চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর ওপর টর্কের উৎপত্তি ঘটে কেন ?

চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত কোনো তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর ওপর টর্ক উৎপন্ন হয়। এখানে দুই বাহুতে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত দিকে। প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত দিকে হওয়ায় বাহু দুটির ওপর ক্রিয়াশীল বলের দিকও বিপরীতমুখী হয়। সুতরাং কুণ্ডলীর দুই বাহুর ওপর দুটি সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী বল ক্রিয়া করে। এদের ক্রিয়ামুখ একই সরলরেখায় না হওয়ায় এরা একটি দ্বন্দ্বের সৃষ্টি করে। ফলে কুণ্ডলীর উপর টর্ক ক্রিয়া করে।

### গাণিতিক উদাহরণ

**১। 1m দীর্ঘ একটি সোজা তারের মধ্য দিয়ে 5A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি $0\cdot1$ Wb $m^{-2}$ ফ্লাক্স ঘনত্বের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে $30°$ কোণে একই তলে অবস্থান করলে কত মানের বল অনুভব করবে ?**

ধরি নির্ণেয় বল = F

আমরা পাই, $F = Bil \sin 0$

$\therefore$ বল, $F = 0\cdot1 \text{ Wb m}^{-2} \times 5\text{A} \times 1\text{ m} \times \sin 30°$

$= 0\cdot5 \times \frac{1}{2} \frac{\text{Wb.A}}{\text{m}}$

$= 0\cdot25 \frac{\text{Nm}}{\text{m}} = 0\cdot25\text{N}$

এখানে,

$B = 0\cdot1 \text{ Wb m}^{-2}$

$i = 5\text{A}$

$l = 1\text{m}$

$0 = 30°$

**২। 100 পাক ও $5 \times 10^{-2}$ m ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকৃতির কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা 1 অ্যাম্পিয়ার। একে $1\cdot5 \times 10^{-2}$ Wbm$^{-2}$ বিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে $30°$ কোণে রাখলে কত মানের টর্ক কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত হবে ?**

ধরি নির্ণেয় টর্ক = $\tau$

আমরা পাই,

$$\tau = niBA \sin \alpha \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

সমীকরণ (1)-এ মানগুলো বসিয়ে পাওয়া যায়,

এখানে,

$n = 100$

$r = 5 \times 10^{-2}\text{m}$

$A = \pi r^2 = 3\cdot14 \times (5 \times 10^{-2}\text{m})^2$

$i = 1\text{ A}$

$\alpha = 30°$

$B = 1\cdot5 \times 10^{-2} \text{ Wb m}^{-2}$।

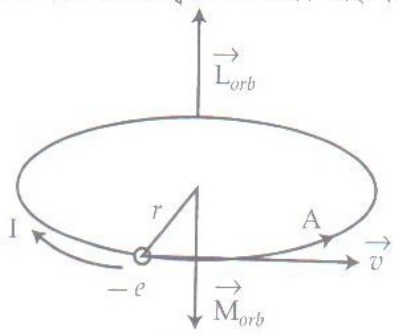
$\tau = 100 \times 1\text{A} \times 1\cdot5 \times 10^{-2} \text{ Wb m}^{-2} \times 3\cdot14 \times (5 \times 10^{-2} \text{ m})^2 \times \sin 30°$

$= 1\cdot5 \times 3\cdot14 \times 25 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} \text{ Wb A}$

$= 5\cdot88 \times 10^{-3} \text{ N m.} \quad [\because \text{Wb A} = \text{N m}]$

## ৪·৭ কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন
**Moving Electron in an orbit**

আমরা জানি, পরমাণুর কেন্দ্রের বাইরে নির্দিষ্ট কক্ষপথে ইলেকট্রন আবর্তন করে। ইলেকট্রনের এই কক্ষীয় গতির জন্য ঘূর্ণায়মান প্রতিটি ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি কক্ষীয় চৌম্বক মোমেন্ট রয়েছে। পরমাণুতে এই কক্ষীয় গতির জন্য পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায়। তাই সকল পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব বিদ্যমান রয়েছে। কিন্তু এর প্রভাব খুবই দুর্বল। যে সকল পদার্থ নিট চৌম্বক মোমেন্টবিশিষ্ট পরমাণু দ্বারা গঠিত অর্থাৎ যে সব পদার্থে প্যারা- বা ফেরোচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায় সেগুলোতে ডায়াচৌম্বকত্ব থাকা সত্ত্বেও দুর্বলতার কারণে এর প্রভাব থাকে না।



চিত্র ৪·১৮

মনে করি, একটি ইলেকট্রন ধ্রুব বেগ $v$ নিয়ে $r$ ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে অর্থাৎ পরমাণুর কক্ষপথে ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে আবর্তন করছে [চিত্র ৪·১৮]। ইলেকট্রনের এই গতিকে প্রচলিত প্রবাহের (I) এর সাথে তুলনা করা যেতে পারে। বৃত্তাকার পথে ঘূর্ণনের জন্য ইলেকট্রনের একটি অরবিটাল কৌণিক ভরবেগ L এবং একটি চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক $\mu_l$ থাকে। এক্ষেত্রে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের দিক তড়িৎ প্রবাহের বিপরীত দিকে। এ ধরনের একটি বিদ্যুৎ প্রবাহিত লুপের বা কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের অরবিটাল চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক

$$\mu_l = \text{IA} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.44)$$

এখানে A = বন্ধ লুপের ক্ষেত্রফল = $\pi r^2$

এই চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামকের দিক ডান হাতি সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। $e$ ঋণ চার্জবিশিষ্ট ইলেকট্রনের সমগ্র বৃত্তাকার পথ ঘুরতে $T = \frac{2\pi r}{v}$ সময়ের প্রয়োজন হলে

প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{\text{চার্জ}}{\text{সময়}} = \frac{e}{2\pi r/v}$

সমীকরণ (4.44) থেকে পাই,

$$\mu_l = \frac{e}{2\pi r/v} \times \pi r^2$$

বা, $\mu_l = \frac{evr}{2}$ ... ... ... (4.45)

$r$ এবং $v$ পরস্পর লম্ব হওয়ায় অরবিটাল কৌণিক ভরবেগ

$$\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v})$$

বা, $L = mrv \sin 90^\circ = mrv$ ... ... ... (4.46)

সমীকরণ (4.45) এবং (4.46) থেকে লেখা যায়

$$\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m}\vec{L} \quad \text{... ... ...} \quad (4.47)$$

– ve চিহ্নের অর্থ হলো $\vec{\mu}_l$ এবং $\vec{L}$ পরস্পর বিপরীতমুখী।

কোয়ান্টাম বলবিদ্যার ক্ষেত্রেও একই ফলাফল পাওয়া যায়।

## ৪·৮ ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র
**Electron Spin and Magnetic Field**

আমরা জানি, যে কোনো অণু বা পরমাণুতে ইলেকট্রন রয়েছে। এই ইলেকট্রনগুলো পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চারদিকে অনবরত ঘুরছে। ঘূর্ণায়মান চার্জিত কণা হিসেবে প্রতিটি ইলেকট্রন চৌম্বক দ্বিমেরুর মতো আচরণ করে।

কক্ষপথে ঘূর্ণন গতি ছাড়াও প্রতিটি ইলেকট্রন নিজের অক্ষের সাপেক্ষে আবর্তন (পৃথিবীর আহ্নিক গতির অনুরূপ) করে বলে ধরা হয়। একে ইলেকট্রনের **স্পিন** বলে। প্রতিটি ইলেকট্রনেরই পরস্পর বিপরীতমুখী দুই ধরনের স্পিনের যে কোনো একটি স্পিন থাকে। এক ধরনের স্পিন দক্ষিণাবর্তী যাকে বলা হয় **ঊর্ধ্বমুখী স্পিন** (up spin) এবং একে ↑ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। বিপরীত ধরনের স্পিন হলো **নিম্নমুখী স্পিন** (down spin) যা ↓ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। স্পিনের দরুন ইলেকট্রনের একটি চৌম্বক ভ্রামক উৎপন্ন হয়। একে অক্ষীয় চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক বলে। যেহেতু ইলেকট্রনের ভর আছে সেহেতু ইলেকট্রনের একটি স্বাভাবিক কৌণিক ভরবেগ থাকবে। এই কৌণিক ভরবেগকে বলা হয় অক্ষীয় কৌণিক ভরবেগ।

একটি ইলেকট্রনের স্বাভাবিক অক্ষীয় কৌণিক ভরবেগ S এবং অক্ষীয় চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক $\mu_s$ হলে এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m}\vec{S} \quad \text{... ... ...} \quad (4.48)$$

ঋণাত্মক চিহ্ন দ্বারা $\vec{\mu}_s$ এবং $\vec{S}$ এর দিক পরস্পর বিপরীতমুখী তা বোঝানো হয়েছে। কক্ষপথে ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতি (orbital motion) ও স্পিন গতি (spin motion) এই দুইয়ের চৌম্বক ভ্রামকের লব্ধি হলো ইলেকট্রনের মোট চৌম্বক ভ্রামক $\vec{\mu}$ [সমীকরণ (4.47) ও (4.48) যোগ করে]।

$$\therefore \quad \vec{\mu} = \vec{\mu}_l + \vec{\mu}_s = \left(\frac{-e}{2m}\right)(\vec{L} + 2\vec{S}) \quad \text{... ... ...} \quad (4.49)$$

এখানে $e$ এবং $m$ যথাক্রমে ইলেকট্রনের চার্জ ও ভর।

### গাণিতিক উদাহরণ

**১। হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন যখন কক্ষপথে ঘূর্ণনশীল হয় তখন এর চৌম্বক ভ্রামক মান কত?**

আমরা জানি,

$$\mu_l = -\left(\frac{e}{2m}\right) L$$

শুধু মান বিবেচনা করে,

$$\mu_l = \frac{eh}{4\pi m} \quad \left(\because L = \frac{h}{2\pi}\right)$$

$$= \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{C} \times 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ \text{Js}}{4 \times 3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31}\ \text{kg}}$$

$$= 9{\cdot}27 \times 10^{-24}\ \text{Am}^2$$

এখানে,

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

প্লাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

চৌম্বক ভ্রামক, $\mu_l = ?$

## ৪·৯ পৃথিবীর চৌম্বকত্ব এবং এর চৌম্বকত্ব উপাদান
## Terrestrial Magnetism and its Magnetic elements

### পৃথিবীর চুম্বকত্ব
### Terrestrial Magnetism

1600 খ্রিস্টাব্দে রাণী এলিজাবেথের পারিবারিক চিকিৎসক ড. গীলবার্ট বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, পৃথিবী একটি চুম্বক। সাধারণ চুম্বকের মতো এর দুটি মেরু আছে। দক্ষিণ মেরু কানাডার উত্তর দিকে **বুথিয়া উপদ্বীপে** এবং উত্তর মেরু অ্যান্টার্কটিকা মহাদেশের দক্ষিণে **ভিকটোরিয়া** অঞ্চলে অবস্থিত। **পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় পৃথিবীর চুম্বকত্ব এবং এতদসংক্রান্ত বিভিন্ন বিষয় জানা যায় তাকে ভূ-চুম্বকত্ব বা পৃথিবীর চৌম্বকত্ব বলে।**

ভূগোলক হিসেবে পৃথিবীর দুটি মেরু আছে। এর উত্তর প্রান্তের মেরুর নাম **ভৌগোলিক উত্তর মেরু** এবং দক্ষিণ প্রান্তের মেরুর নাম **ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরু**। যেহেতু বিপরীত মেরুতে আকর্ষণ ঘটে, সুতরাং মুক্তভাবে ঝুলন্ত চৌম্বক শলাকা বা সাধারণ চুম্বকের উত্তর এবং দক্ষিণ মেরু যথাক্রমে ভূ-চুম্বকের দক্ষিণ এবং উত্তর মেরুর দিকে অবস্থান করে। এজন্য আমরা সাধারণভাবে বলে থাকি যে, ভূ-চুম্বকের দক্ষিণ মেরু ভৌগোলিক উত্তর মেরুর দিকে এবং ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরু ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরুর দিকে থাকে। তবে প্রকৃতপক্ষে **ভূ-চুম্বকের দক্ষিণ মেরু ভৌগোলিক উত্তর মেরু হতে প্রায় 2500 km পশ্চিমে এবং ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরু ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরু হতে 2200 km পূর্বে অবস্থিত।**

চিত্র ৪·১৯

ভৌগোলিক উত্তর এবং দক্ষিণ মেরুর সংযোজক রেখাকে **ভৌগোলিক অক্ষ** বলে। তেমনি ভূ-চুম্বকের উত্তর এবং দক্ষিণ মেরুর সংযোজক রেখাকে **ভূ-চৌম্বক অক্ষ** বলে। **ভৌগোলিক অক্ষের সাথে এই ভূ-চৌম্বক অক্ষ প্রায় 18° কোণ করে আছে** [চিত্র ৪·১৯]।

পুনঃ যেহেতু মুক্তভাবে ঝুলন্ত সাধারণ চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরু যথাক্রমে ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ দিক নির্দেশ করে সেজন্য সাধারণ চুম্বকের উত্তর মেরুকে **উত্তর সন্ধানী** (North-seeking) মেরু এবং দক্ষিণ মেরুকে **দক্ষিণ সন্ধানী** (South-seeking) মেরু বলে। সংক্ষেপে তাদেরকে যথাক্রমে **উত্তর মেরু** এবং **দক্ষিণ মেরু** বলে। অনেকে ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরুকে **নীল মেরু** (Blue pole) এবং দক্ষিণ মেরুকে **লাল মেরু** (Red pole) বলে।

ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ সর্বত্র সমান নয়। বিভিন্ন স্থানে এদের মান বিভিন্ন হয়। এজন্য ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে উল্লম্ব তলে ঘুরতে পারে এমন একটি ছোট চুম্বক শলাকাকে ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে নিয়ে গেলে তার চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকের সাথে বিভিন্ন কোণে হেলে থাকবে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কোনো একটি চৌম্বক শলাকাকে ক্রমাগত ভৌগোলিক উত্তর মেরুর দিকে নিয়ে যাওয়ায় এর উত্তর মেরু ক্রমশ ভূ-পৃষ্ঠের দিকে ঝুঁকে যায় এবং ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরুতে এর চৌম্বক অক্ষ উত্তর মেরু নিচে রেখে সম্পূর্ণ উল্লম্ব হয়ে থাকে।

বিপরীতক্রমে চৌম্বক শলাকাকে দক্ষিণ মেরুতে নিয়ে গেলে এর চৌম্বক অক্ষ দক্ষিণ মেরু নিচে রেখে সম্পূর্ণ খাড়া অবস্থায় অবস্থান করে।

কিন্তু বিষুব রেখা এবং পার্শ্ববর্তী অঞ্চলে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বক শলাকার চৌম্বক অক্ষ প্রায় অনুভূমিক অবস্থায় অবস্থান করবে।

**কাজ :** পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক—ব্যাখ্যা কর।

মুক্তভাবে সুতার সাহায্যে অনুভূমিকভাবে কিছু দিন ধরে ভূপৃষ্ঠের কোনো স্থানে যদি পৃথিবীর উত্তর-দক্ষিণ মেরু বরাবর মুখ করে একটি নরম লোহার দণ্ড ঝুলিয়ে রাখা হয়, তবে দণ্ডটির মধ্যে ক্ষীণ চৌম্বক ধর্মের সৃষ্টি হয়। এছাড়া একটা বন্ধ পরিবাহী পৃথিবীর উপর যে কোনো স্থানে নাড়াচাড়া করলেও এর মধ্য দিয়ে ক্ষীণ তড়িৎ প্রবাহ লক্ষ করা যায়, যেমনটি লক্ষ করা যায় একটি পরিবাহীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে নাড়াচাড়া করলে। এই ঘটনাগুলো পর্যালোচনা করে বিজ্ঞানীরা এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে পৃথিবী নিজেই একটি বিরাট চুম্বক।

## ভূ-চুম্বক সম্পর্কীয় কয়েকটি রাশি
**Some terms relating terrestrial magnet**

(১) **ভূ-চৌম্বক মেরু :** পৃথিবী একটি চুম্বক। এর দুটি মেরু আছে। এদের নাম **ভূ-চৌম্বক মেরু**। পৃথিবীর যে দুটি স্থানে কোনো চৌম্বক শলাকাকে ভারকেন্দ্র হতে ঝুলালে তার চৌম্বক অক্ষ খাড়াভাবে অবস্থান করে ঐ দুটি স্থানেই পৃথিবীর **চৌম্বক মেরু** অবস্থিত।

(২) **চৌম্বক অক্ষ :** ভূ-চৌম্বক দুই মেরুর সংযোজক কাল্পনিক রেখাকে ভূ-চৌম্বকের **চৌম্বক অক্ষ** বলে।

(৩) **চৌম্বক মধ্যতল :** ভূ-চৌম্বকের চৌম্বক অক্ষ দিয়ে অঙ্কিত কাল্পনিক উল্লম্ব তলকে **চৌম্বক মধ্যতল** বলে।

(৪) **ভৌগোলিক অক্ষ :** ভৌগোলিক দুই মেরুর সংযোজক কাল্পনিক রেখার নাম **ভৌগোলিক অক্ষ**।

(৫) **ভৌগোলিক মধ্যতল :** ভৌগোলিক অক্ষের মধ্য দিয়ে যে উল্লম্ব তল কল্পনা করা হয়, তাকে **ভৌগোলিক মধ্যতল** বলে।

## ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান
**Elements of geomagnetism**

**কোনো স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের সঠিক পরিচয় ও পরিমাপের জন্য অর্থাৎ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান এবং দিক নির্ণয়ের জন্য যে সব রাশির মান জানা দরকার তাদেরকে ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান বা মূল রাশি বলে।**

ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান মোট তিনটি; যথা—

(১) বিচ্যুতি কোণ (Declination),

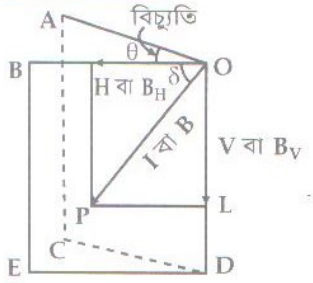
(২) বিনতি কোণ (Angle of Dip or inclination) এবং

(৩) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য (Horizontal intensity of the earth's magnetic field)।

এখন এ তিনটি রাশি বিশদভাবে আলোচনা করা হবে।

(১) **বিচ্যুতি কোণ :** কোনো একটি চুম্বককে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলিয়ে রাখলে ভৌগোলিক মধ্যতলের সাথে তার মধ্যতল মিলে যায় না। একটি মধ্যতল অন্য মধ্যতলকে ছেদ করে। ফলে তাদের মধ্যে একটি কোণ উৎপন্ন হয়। এই কোণকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের **বিচ্যুতি কোণ** বা **চ্যুতি** বলে। একে **সংক্রমণ কোণও** বলা হয়।

**পৃথিবীর কোনো স্থানে চৌম্বক মধ্যতল এবং ভৌগোলিক মধ্যতলের মধ্যবর্তী কোণকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে।** একে 'θ' দ্বারা প্রকাশ করা হয় ও ডিগ্রীতে মাপা হয়। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে বিচ্যুতি কোণ বিভিন্ন। ৪·২০নং চিত্রে O স্থানে AODC তল দ্বারা ভৌগোলিক মধ্যতল ও BODE তল দ্বারা চৌম্বক মধ্যতল নির্দেশ করা হয়েছে। সুতরাং ∠AOB ঐ স্থানের বিচ্যুতি কোণ।



চিত্র ৪·২০

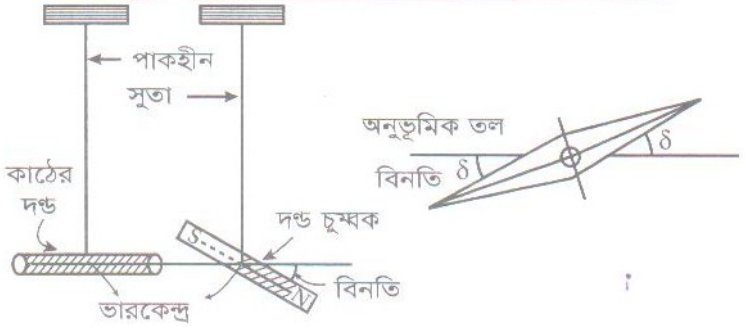
কোনো স্থানে সূচি চুম্বকের উত্তর মেরু ভৌগোলিক অক্ষের সাথে θ কোণে **পূর্বে** থাকলে ঐ স্থানের বিচ্যুতি কোণকে θ°E বা θ° পূর্ব সংক্ষেপে পূ. এবং θ কোণে পশ্চিমে থাকলে ঐ স্থানের বিচ্যুতি কোণকে θ°W বা θ° পশ্চিম সংক্ষেপে প. লেখা হয়।

**উদাহরণ :** মনে করি ঢাকার বিচ্যুতি কোণ $\left(\frac{1}{2}\right)^\circ$ পূর্ব। উক্ত উক্তি দ্বারা বুঝা যায় যে, ঢাকায় মুক্তভাবে নড়নক্ষম কোনো সূচি চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ চৌম্বক মধ্যতলে থেকে ভৌগোলিক অক্ষের সাথে $\left(\frac{1}{2}\right)^\circ$ কোণ উৎপন্ন করে এবং এর উত্তর মেরু ভৌগোলিক অক্ষের পূর্ব দিকে থাকে।

(২) **বিনতি :** একটি কাঠের দণ্ডকে এর ভারকেন্দ্র হতে পাকহীন সুতার সাহায্যে ঝুলিয়ে রাখলে এর অক্ষ অনুভূমিকভাবে অবস্থান করে [ চিত্র ৪·২১ ]। কিন্তু একটি চুম্বক কিংবা চৌম্বক শলাকাকে এর ভারকেন্দ্র হতে পাকহীন সুতার সাহায্যে ঝুলিয়ে দিলে তার চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকভাবে অবস্থান করে না, বরং অনুভূমিক তলের সাথে কিছু কোণ করে থাকে [ চিত্র ৪·২১]। এই কোণকে **বিনতি কোণ** বলে।

**পৃথিবীর কোনো স্থানে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে স্থির থাকে, তাকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিনতি কোণ বা বিনতি বলে।** একে 'δ' দ্বারা ব্যক্ত করা হয়। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানের বিনতি কোণ বিভিন্ন। যদি ঝুলন্ত দণ্ড চুম্বককে ভৌগোলিক উত্তর মেরুর দিকে ক্রমশ নিয়ে যাওয়া হয়, তবে দণ্ড চুম্বকের উত্তর মেরু অনুভূমিকের সাথে ক্রমশ বেশি কোণ করে নিচে অবস্থান করবে এবং এসব

ক্ষেত্রে বিনতি কোণ $\delta°N$ বা $\delta°$ **উত্তর** বা $\delta°$ **উ.** লিখতে হবে। আবার ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরুর দিকে নিয়ে গেলে দণ্ড-চুম্বকের দক্ষিণ মেরু অনুভূমিকের সাথে ক্রমশ বেশি কোণে হেলে নিচে থাকবে। এ সব অবস্থানের বিনতি কোণ $\delta°S$ বা $\delta°$ **দক্ষিণ** বা $\delta°$ **দ.** লিখতে হবে। দুই মেরুতে বিনতি $90°$ এবং বিষুবরেখার বিনতি $0°$ হয়।



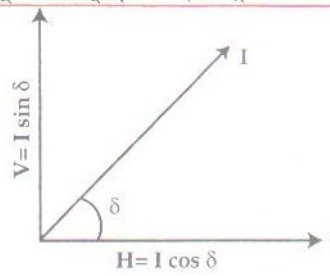

চিত্র ৪·২১

এখন প্রশ্ন জাগে বিষুবরেখায় ছাড়া অন্যত্র মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক তলে থাকে না কেন? পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক। সুতরাং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের একটি দিক আছে। বিষুবরেখায় ছাড়া অন্যত্র তা অনুভূমিকের সাথে হেলে থাকে। মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বক ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক অনুযায়ী নিজকে স্থাপন করে বলে ঝুলন্ত চুম্বক অনুভূমিক তলে না থেকে তলের সাথে কিছু কোণ করে অবস্থান করে।

৪·২০ নং চিত্রে O স্থানে OB রেখা ভূ-চৌম্বক অক্ষ বরাবর অবস্থিত। ওই স্থানে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ OP বরাবর অবস্থান করলে $\angle BOP = \delta$ ঐ স্থানের বিনতি।

**উদাহরণ : "ঢাকার বিনতি কোণ $31°N$" বলতে বুঝায় ঢাকায় একটি দণ্ড চুম্বককে মুক্তভাবে তার ভারকেন্দ্র হতে ঝুলালে, দণ্ড চুম্বকটির উত্তর মেরু অনুভূমিকের নিচের দিকে ঝুলে স্থির থাকবে এবং চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক তলের সাথে $31°$ কোণ উৎপন্ন করবে।**

**৩। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব প্রাবল্য : পৃথিবীর কোনো স্থানে একটি একক মেরুশক্তির উত্তর মেরুর উপর ভূ-চুম্বকত্বের দরুন যে বল ক্রিয়া করে তাকে ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা মোট প্রাবল্য বলে।**




চিত্র ৪·২২

কোনো স্থানে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বক ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে। মনে করি কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য I; এ প্রাবল্য I-কে দুটি উপাংশে ভাগ করা যায়। একটি অনুভূমিক উপাংশ H এবং অপরটি উল্লম্ব উপাংশ V [চিত্র ৪·২২]। **এ অনুভূমিক উপাংশকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য এবং উল্লম্ব উপাংশকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য বলে।** পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে এদের মান বিভিন্ন হয়।

**কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশকে ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য এবং উল্লম্ব উপাংশকে ঐ স্থানের ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য বলে।**

বর্ণনা অনুসারে,

$$H = I\cos\delta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.50)$$

এবং $V = I\sin\delta$ ... ... ... (4.51)

এখানে, $\delta$ = বিনতি কোণ।

সমীকরণ (4.50) এবং সমীকরণ (4.51)-এর বর্গ যোগে পাই,

$I^2\cos^2\delta + I^2\sin^2\delta = H^2 + V^2$

বা, $I^2(\cos^2\delta + \sin^2\delta) = H^2 + V^2$ বা, $I^2 = H^2 + V^2$

$$\therefore \quad I = \sqrt{H^2 + V^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.52)$$

আবার, সমীকরণ (4.51)-কে সমীকরণ (4.50) দ্বারা ভাগ করে পাই, $\frac{I\sin\delta}{I\cos\delta} = \frac{V}{H}$

বা, $\tan\delta = \frac{V}{H}$ ... ... ... (4.53)

$\therefore \quad \delta = \tan^{-1}\frac{V}{H}$ ... ... ... (4.54)

সমীকরণ (4.53) হতে পাই, $V = H \tan\delta$ ... ... ... (4.55)

বা, $\frac{H}{V} = \frac{1}{\tan\delta} = \cot\delta$

$\therefore H = V\cot\delta$ ... ... ... (4.56)

[ বি. দ্র. যদি ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\vec{I}$-এর পরিবর্তে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ ব্যবহার করা হয় তবে উপরের সমীকরণগুলোতে I-এর স্থলে B বসাতে হবে। তখন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ এবং উল্লম্ব উপাংশ যথাক্রমে চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ এবং উল্লম্ব উপাংশ হবে এবং একক $Am^{-1}$ এর স্থলে Tesla (T) বা weber / $m^2$ হবে। ]

**উদাহরণ :** মনে করি **রাজশাহীতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য $H = 29\ A\ m^{-1}$ পরিমাপ করা হয়েছে—** এ উক্তির অর্থ রাজশাহীতে (i) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান $H = 29\ Am^{-1}$। (ii) এক ওয়েবার মেরুশক্তির উত্তর মেরু ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য অনুভূমিক বরাবর 29 N বল অনুভব করবে। (iii) রাজশাহীতে বিনতি কোণ $\delta$ হলে, ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য, $V = 29\tan\delta$ ও মোট প্রাবল্য, $I = 29\sec\delta$।

পৃথিবীর চুম্বক মেরুতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো অনুভূমিক প্রাবল্য নেই। চৌম্বক বিষুবরেখায় এর মান সর্বাধিক 30 $Am^{-1}$ হতে 32 A $m^{-1}$-এর মধ্যে।

ঢাকার বিনতি কোণ 31° হলে, ঢাকায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব ও অনুভূমিক উপাংশের অনুপাত tan 31°-এর সমান।

## গাণিতিক উদাহরণ

**১। কোনো স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান $89\ NWb^{-1}$ এবং বিনতি 60°। ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় কর।** [ব. বো. ২০০৫]

আমরা জানি,

$V = H\tan\delta$

$= 89\tan 60°$

$= 154{\cdot}15\ N\ Wb^{-1}$

এখানে,

$H = 89\ N\ Wb^{-1}$

$\delta = 60°$

$V = ?$

**২। কোনো স্থানে $H = 36\mu T$ এবং বিনতি 45° হলে ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় কর।** [য. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

$H = I\cos\delta$

বা, $36\times10^{-6} = I\cos 45°$

বা, $I = \frac{36\times10^{-6}}{\cos 45°} = \frac{36\times10^{-6}}{\frac{1}{\sqrt{2}}}$

$= 36\times10^{-6}\times\sqrt{2} = 50{\cdot}911\times10^{-6}\ T$

$= 50{\cdot}911\ \mu T$

**৩। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য এবং বিনতি কোণ নির্ণয় ক**

মনে করি মোট প্রাবল্য = I

$\therefore$ আমরা পাই,

$I = \sqrt{H^2 + V^2}$ ...

এবং

$\tan\delta = \frac{V}{H}$ ...

সুতরাং (1) হতে পাই, $I = \sqrt{32^2 + 24^2} = 40\ Am^-$

এবং (2) হতে পাই, $\tan\delta = \frac{V}{H} = \frac{24}{32} = 0{\cdot}75$

$= \tan 36°52'$

$\therefore$ নির্ণেয় বিনতি কোণ $\delta = 36°52'$

### ☐ চুম্বক:

⇨ চুম্বকত্ব চুম্বকের একটি ভৌত ধর্ম।

⇨ চুম্বকের আকরিকের নাম ম্যাগনেটাইট।

চুম্বকের দিকদর্শী ও আকর্ষণী ধর্মকে চুম্বকত্ববলে।

**জেনে রেখো:** চৌম্বক আবেশ = চৌম্বক আবেশক্ষেত্র = চৌম্বকক্ষেত্র = চৌম্বক ফ্লাক্স = চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব।

ইস্পাতের: ১. নিগ্রাহীতা বা সহনশীলতা
২. প্রতি একক আয়তনে শক্তির অপচয় নরম লোহা অপেক্ষা বেশি হবে।

নরম লোহার: ১. চৌম্বক গ্রাহীতা
২. চুম্বকয়ন মাত্রা
৩. চৌম্বক প্রবেশ্যতা
৪. চৌম্বক আবেশ
৬. চৌম্বক ধারকতা ইস্পাত অপেক্ষা বেশি।

ডায়াচৌম্বক পদার্থের উদাহরণ:

আন্টি সোনার পাতে মেয়েকে বিয়ে দিয়ে আনন্দ পেলেন
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
অ্যান্টমনি সোনা পানি মার্বেল বিসমাথ দস্তা অ্যালকোহল পারদ
+
রূপা, সীসা, কাঁচ, নিষ্ক্রিয় গ্যাস (He, Ar) NaCl, H

## ৪·১০ চৌম্বকত্ব
## Magnetism

### চৌম্বক পদার্থের কয়েকটি বিশেষ ধর্ম
### Some special properties of magnetic substance

**চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক (Magnetic dipole moment) :** চৌম্বক দ্বিপোলের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেন্ট বা ভ্রামককে চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক বা সংক্ষেপে চৌম্বক ভ্রামক বলে। একটি দণ্ড চুম্বকের মেরু শক্তি $m$ এবং চৌম্বক দৈর্ঘ্য $2l$ হলে চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক $M = m \times 2l$। চৌম্বক ভ্রামকের একক হলো $Am^2$।

**চৌম্বক আবেশ (Magnetic induction) :** কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চৌম্বক পদার্থ (যেমন এক খণ্ড লোহা) স্থাপন করলে দেখা যায় যে, চৌম্বক পদার্থটি অস্থায়ী চুম্বকে পরিণত হয়েছে। যে প্রক্রিয়ায় চৌম্বক পদার্থ চুম্বকে পরিণত হয় তাকে চৌম্বক আবেশ বলে।

**কুরীবিন্দু :** যে তাপমাত্রায় কোনো একটি চুম্বকের চুম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে বিলুপ্ত হয়, তাকে উক্ত চুম্বকের উপাদানের কুরীবিন্দু বলে।

**চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা (Magnetic field intensity) :** চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র এবং চৌম্বক প্রবেশ্যতার অনুপাতকে চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা বলে। চৌম্বক প্রাবল্য, $\vec{H} = \frac{\vec{B_0}}{\mu_0}$.

**চৌম্বক প্রবেশ্যতা (Magnetic permeability) :** কোনো একটি মাধ্যমে সৃষ্ট চৌম্বক আবেশ এবং চৌম্বক প্রাবল্যের অনুপাতকে ঐ মাধ্যমের পরম প্রবেশ্যতা বা প্রবেশ্যতা বলে। চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu = \frac{\vec{B}}{\vec{H}}$। অন্যভাবে বলা যায় একক প্রাবল্যবিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো চৌম্বক পদার্থ রাখলে উহার ভেতর যে ফ্লাক্স ঘনত্ব বা চৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয়, তাকে ঐ পদার্থের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বলে। শূন্য মাধ্যমে $\mu = 1$ এবং $B = H$ কিন্তু মনে রাখতে হবে B ও H সংখ্যাগতভাবে সমান হলেও মাত্রা সমান নয়।

**চৌম্বক ধারকতা (Magnetic retentivity) :** চুম্বক বলের প্রভাব সরিয়ে নেওয়ার পর যে ধর্মের জন্য চৌম্বক পদার্থের মধ্যে কিছু পরিমাণ চুম্বকত্ব ধরে রাখা যায় তাকে ঐ পদার্থের চৌম্বক ধারকতা বলে।

**চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা (Magnetic coercivity) :** চুম্বকত্ব হ্রাসের কারণসমূহ থাকা সত্ত্বেও কোনো একটি চৌম্বক পদার্থের মধ্যে উৎপন্ন চুম্বকত্ব ধরে রাখার ক্ষমতাকে ঐ পদার্থের চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা বলে।

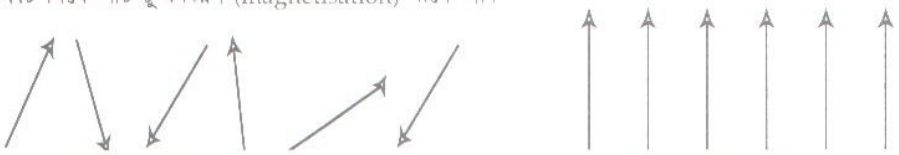
**চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা (Magnetisation intensity) :** চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রতি একক আয়তনের চৌম্বক ভ্রামককে উহার চুম্বকায়ন তীব্রতা বা মাত্রা বলে।

**চৌম্বকত্বের আণবিক মতবাদ :** আমরা জানি পদার্থ অণু-পরমাণু দ্বারা গঠিত। পরমাণুর কেন্দ্রে প্রোটন ও নিউট্রন থাকে এবং ইলেকট্রনগুলো কেন্দ্রের চতুর্দিকে বিভিন্ন কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে। আবার নিজ নিজ অক্ষের সাপেক্ষে ইলেকট্রনগুলোর ঘূর্ণন বা স্পিন গতি (spin motion) রয়েছে। ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতি এবং স্পিন গতির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেন্টকে যথাক্রমে কক্ষীয় গতি ভ্রামক (orbital motion moment) এবং স্পিন গতি ভ্রামক (spin motion moment) বলে। নিউক্লিয়াসের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেন্টকে বলা হয় নিউক্লীয় চৌম্বক মোমেন্ট (Nuclear magnetic moment)। এ সকল মোমেন্টের সমষ্টিগত ক্রিয়ার ফলে পদার্থের ভিন্ন ভিন্ন চৌম্বক বৈশিষ্ট্য ও গুণাবলি প্রকাশ পায়। চৌম্বক আচরণের উপর ভিত্তি করে পদার্থসমূহকে প্যারাচৌম্বক, ডায়াচৌম্বক ও ফেরোচৌম্বক পদার্থ হিসেবে শ্রেণিবিভাগ করা হয়। শক্তিশালী চুম্বক নিয়ে পরীক্ষা করে ফ্যারাডে দেখতে পান যে, কিছু কিছু পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং কিছু কিছু পদার্থ বিকর্ষিত হয়।

### প্যারাচৌম্বকত্ব
### Paramagnetism

প্যারাচৌম্বক পদার্থে অণু, পরমাণু বা আয়নের স্থায়ী চৌম্বক মোমেন্ট থাকে। ইলেকট্রনের কক্ষীয় ভ্রামক এবং স্পিন ভ্রামকের সমষ্টিগত ক্রিয়ার ফলে এ সমস্ত পদার্থের পরমাণু বা আয়নের স্থায়ী ভ্রামক সৃষ্টি হয়। প্যারাচৌম্বক পদার্থকে বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে দেখা যায় প্যারাচৌম্বক পদার্থের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্র

বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের চেয়ে সামান্য বড় হয়। সাধারণ তাপমাত্রায় তাপজনিত কম্পন বেশি হওয়ার কারণে পরমাণুর চৌম্বক দ্বিপোলগুলো ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে থাকে [চিত্র ৪·২৩(ক)]; ফলে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ প্রয়োগ না করলে পদার্থের কোনো একটি দিকে নীট চুম্বকায়ন (magnetisation) থাকে না।



বিক্ষিপ্ত চৌম্বক দ্বিপোলসমূহ (ক)

সজ্জিত চৌম্বক দ্বিপোলসমূহ (খ)

চিত্র ৪·২৩

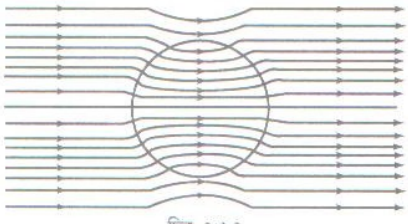
এ সমস্ত পদার্থ চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এ স্থাপন করলে দ্বিপোলসমূহ ক্ষেত্রের অভিমুখ বরাবর সজ্জিত হওয়ার চেষ্টা করে আবার তাপজনিত স্পন্দন এই সজ্জিতকরণ প্রক্রিয়া বাধাগ্রস্ত করে। নীট ফল হিসেবে পদার্থটি একটি চৌম্বক মোমেন্ট অর্জন করে [চিত্র ৪·২৩(খ) ]। এই চৌম্বক মোমেন্টের অভিমুখ প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর দিকে হয়। এ কারণেই প্যারাচৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা $\mu > 1$ এবং প্রবণতা K ধনাত্মক হয়। কোনো একটি শক্তিশালী চুম্বক মেরুর কাছে আনলে এ কারণে এ সমস্ত পদার্থ আকৃষ্ট হয়।

সংক্ষেপে বলা যায় **যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বক ক্ষেত্রের দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলে।** যেমন সোডিয়াম, এন্টিমনি, প্লাটিনাম, ম্যাঙ্গানিজ, তরল অক্সিজেন, ক্রোমিয়াম, অ্যামোনিয়াম ইত্যাদি।

**প্যারাচৌম্বক পদার্থ নিম্নলিখিত ধর্মগুলি প্রদর্শন করে :**

(i) প্যারাচৌম্বক পদার্থগুলি একটি অসম চৌম্বক ক্ষেত্রের দুর্বলতর অঞ্চল হতে অধিকতর শক্তিশালী অঞ্চলে যেতে চেষ্টা করে। অর্থাৎ এরা চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে আকৃষ্ট হয়। (যা ডায়াচৌম্বক পদার্থের উল্টো)

(ii) কোনো প্যারাচৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে বলরেখাগুলি বেঁকে উহার মধ্যে দিয়ে যাওয়ার স্বল্প প্রবণতা প্রদর্শন করে [চিত্র ৪·২৪]।



চিত্র ৪·২৪

(iii) প্যারাচৌম্বক পদার্থের আবেশ B প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H অপেক্ষা সামান্য বেশি।

(iv) প্যারাচৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা ($\mu$) এর মান 1 অপেক্ষা সামান্য বেশি।

(v) প্যারাচৌম্বক পদার্থের প্রবণতা (K) চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উপর নির্ভর করে না।

(vi) প্যারাচৌম্বক পদার্থের আচরণ তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে।

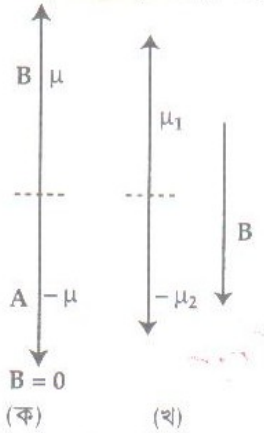
## ডায়াচৌম্বকত্ব
**Diamagnetism**

পরমাণুতে ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতির জন্য পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায়। ডায়াচৌম্বকত্ব সকল পদার্থে বিদ্যমান রয়েছে। কিন্তু এর প্রভাব অত্যন্ত দুর্বল। যে সব পদার্থ নীট চৌম্বক মোমেন্টবিশিষ্ট পরমাণু দ্বারা গঠিত অর্থাৎ যেসব পদার্থে প্যারা বা ফেরোচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায় সেগুলোতে ডায়াচৌম্বকত্ব থাকা সত্ত্বেও এর দুর্বলতার কারণে তা ঢাকা পড়ে যায়।

পূর্বে বলা হয়েছে যে প্রতিটি ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি কক্ষীয় চৌম্বক মোমেন্ট রয়েছে। কিন্তু পরমাণুর কক্ষসমূহের 'দিক ভঙ্গি' ভিন্ন ভিন্ন হওয়ার কারণে পরমাণুটির কক্ষীয় কোনো নীট চৌম্বক প্রভাব নেই। ইলেকট্রনসমূহের চৌম্বক প্রভাব পরস্পরকে একেবারে বিলীন করে দেয়। অর্থাৎ ডায়াচৌম্বক পদার্থের কোনো স্থায়ী চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না।

ডায়াচৌম্বক পদার্থ বহিস্থ কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এ স্থাপন করলে এদের পরমাণুর কক্ষীয় গতির পরিবর্তন হয়। অর্থাৎ চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করার প্রভাব হলো ইলেকট্রনের কৌণিক বেগের হ্রাস বা বৃদ্ধি। এই হ্রাস বা বৃদ্ধি নির্ভর করবে ঘূর্ণনের অভিমুখের উপর। সংক্ষেপে বলা যায়, **যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে**

**চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ডায়াচৌম্বক পদার্থ বলে।** যেমন তামা, রূপা, দস্তা, বিসমাথ, সীসা, কাচ, মার্বেল, হিলিয়াম, পানি, আর্গন, সোডিয়াম ক্লোরাইড ইত্যাদি।



চিত্র ৪·২৫

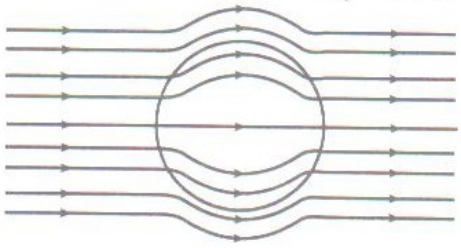
কৌণিক বেগের পরিবর্তনের কারণে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের কক্ষীয় চৌম্বক মোমেন্টও পরিবর্তিত হয়। কৌণিক বেগ হ্রাস পেলে চৌম্বক মোমেন্টের মান হ্রাস পায়, আবার বেগ বৃদ্ধি হলে মোমেন্টের মান বাড়ে। সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে ডায়াচৌম্বক পদার্থের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ প্রয়োগ করলে একটি চৌম্বক মোমেন্ট আবিষ্ট হয় এবং এর অভিমুখ বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর বিপরীত; ফলে বিকর্ষণ হয়। ডায়াচৌম্বক পদার্থ শক্তিশালী চৌম্বক মেরুর কাছে আনলে দূরে সরে যাওয়ার এটাই কারণ।

চিত্র ৪·২৫-এ একটি পরমাণুতে ঘূর্ণায়মান দুটি ইলেকট্রন (A ও B)-এর চৌম্বক মোমেন্ট দেখানো হয়েছে। যখন বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B} = 0$, সেই অবস্থায় ইলেকট্রনদ্বয়ের চৌম্বক মোমেন্ট পরস্পরকে বিলীন করে দেয় [চিত্র ৪·২৫(ক)]। কিন্তু চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে চৌম্বক মোমেন্ট বিলীন হয় না [চিত্র ৪·২৫(খ)]; একটি নীট চৌম্বক মোমেন্ট সৃষ্টি হয়। এই নীট মোমেন্টের অভিমুখ প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর বিপরীত।

**ডায়াচৌম্বক পদার্থের সাধারণ ধর্মগুলি হলো—**

(i) ডায়াচৌম্বক পদার্থগুলি কোনো অসম চৌম্বক ক্ষেত্রের অধিক প্রাবল্যের অঞ্চল হতে স্বল্প প্রাবল্যের অঞ্চলে যাওয়ার চেষ্টা করে। অর্থাৎ এরা চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয়।

(ii) কোনো ডায়াচৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে দেখা যায় যে, বলরেখাগুলি পদার্থটি হতে দূরে সরে যায়। ফলে উহার মধ্যে দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা অপেক্ষাকৃত কম হয় [চিত্র ৪·২৬]।


চিত্র ৪·২৬

(iii) কোনো ডায়াচৌম্বক পদার্থের আবেশ B প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H অপেক্ষা সামান্য কম হয়।

(iv) ডায়াচৌম্বক পদার্থের প্রবণতার মান অত্যন্ত ক্ষুদ্র হয়।

(v) ডায়াচৌম্বক পদার্থের প্রবণতা প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র এবং তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না।

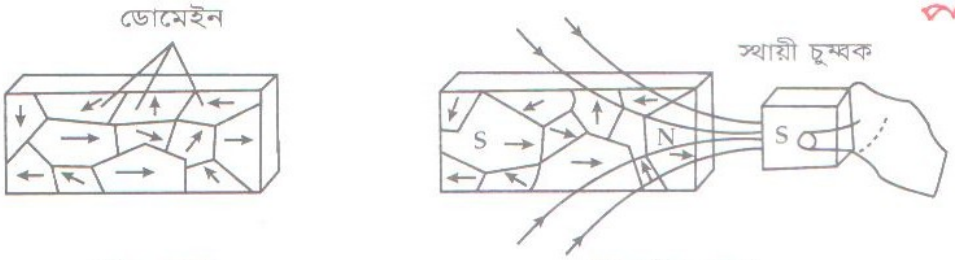
**কাজ : ডায়াচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না কেন ?**

ডায়াচৌম্বক পদার্থের প্রতিটি পরমাণু বা অণুতে ঘড়ির কাটার দিকে যে কয়টি ইলেকট্রন ঘূর্ণনরত থাকে, ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে সমসংখ্যক ইলেকট্রন ঘূর্ণনরত থাকে। এতে নিট চৌম্বক মোমেন্ট শূন্য হয় বলেই ডায়াচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না।

## ফেরোচৌম্বকত্ব
**Ferromagnetism**

ফেরোচৌম্বক পদার্থও প্যারাচৌম্বক শ্রেণিভুক্ত। তবে এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা μ-এর মান অনেক গুণ বেশি হয় এবং চৌম্বকের আকর্ষণ প্রভাব অত্যন্ত বেশি। এ সমস্ত পদার্থে প্যারাচৌম্বক পরমাণু বা আয়নসমূহের চৌম্বক মোমেন্ট অনেকটা জায়গা জুড়ে সংঘবদ্ধ (Locked) অবস্থায় থাকে। পদার্থের এ সমস্ত ছোট ছোট জায়গা বা অঞ্চলকে বলা হয় ডোমেইন (Domain)। এ ধরনের এক একটি অঞ্চলে প্রায় $10^{16} - 10^{19}$ পার্শ্ববর্তী পরমাণু বা আয়ন থাকে। পরমাণু বা আয়নসমূহের তাপীয় গতির ইতস্তত বিক্ষিপ্তকরণের প্রবণতা থাকা সত্ত্বেও একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা পর্যন্ত এ সজ্জিতকরণ বা বিন্যাস বজায় থাকে। সন্নিহিত বা আশেপাশের পরমাণু বা আয়নের মধ্যে এ সজ্জিতকরণ বা বিন্যাস প্রক্রিয়া একটি কোয়ান্টাম (Quantum) প্রক্রিয়া যা সনাতনী পদার্থবিদ্যার সাহায্যে ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয়। এ ধরনের

পদার্থের প্রতিটি ডোমেইনের মধ্যে অবস্থিত পরমাণু বা আয়নের মধ্যে 'বিনিময় যুগলায়ন' (Exchange Integral) নামে পরিচিত এক ধরনের কোয়ান্টাম প্রক্রিয়া ঘটে যা ডোমেইনের মধ্যে ক্রিয়াশীল এবং চৌম্বক মোমেন্টগুলোকে পরস্পর




অচুম্বকায়িত লোহা (ক) চুম্বকায়িত লোহা (খ)

চিত্র ৪·২৭

সমান্তরালে রাখে। একটি অচৌম্বকায়িত ফেরোচৌম্বক পদার্থ সাধারণভাবে কোনো নীট চৌম্বক মোমেন্ট না দেখানোর কারণ হলো যে বিভিন্ন ডোমেইনগুলোর নীট চৌম্বক মোমেন্ট ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে থাকে [চিত্র ৪·২৭ (ক)]। ফলে সমষ্টিগতভাবে পদার্থের নীট মোমেন্ট শূন্য হয়। চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে বা চুম্বকের কাছে আনলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে কিছু কিছু ডোমেইনের আকার বাড়ে আবার কোনোটির আকার কমে যায়। ফলে চৌম্বকত্ব আবিষ্ট হয় এবং বহিঃচৌম্বকত্ব প্রদর্শন করে [চিত্র ৪·২৯ (খ)]।

সংক্ষেপে বলা যায়, **যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে, তাদেরকে ফেরোচৌম্বক পদার্থ বলে। যেমন লোহা, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি।**

**ফেরোচৌম্বক পদার্থ নিম্নলিখিত ধর্ম প্রদর্শন করে :**

(i) কোনো অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি ফেরোচৌম্বক পদার্থ রাখলে উহা ক্ষেত্রটির দুর্বলতর অঞ্চল হতে অধিক শক্তিশালী অঞ্চলের দিকে প্রবলভাবে ধাবিত হয়। ইহা সবলভাবে আকৃষ্ট হয়।

(ii) কোনো ফেরোচৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে উহার বলরেখাগুলি লক্ষণীয়ভাবে বিকৃত হয়ে যায়।

(iii) ফেরোচৌম্বক পদার্থের আবেশ B প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H এর তুলনায় অনেক বেশি হয়।

(iv) ফেরোচৌম্বক পদার্থের প্রবণতা K ধনাত্মক এবং অত্যন্ত বৃহৎ মানের হয়।

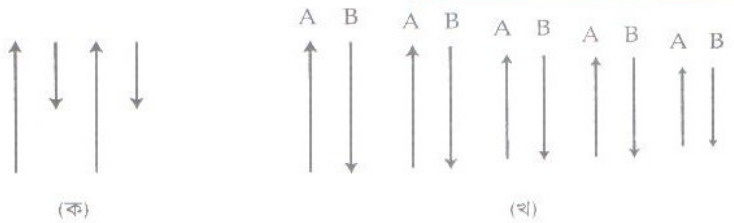
(v) এই চৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা ও প্রবণতা উভয়ই চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সাথে পরিবর্তিত হয়।

(vi) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে ফেরোচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক গ্রাহীতা (K) কমতে থাকে। তাপমাত্রাকে একটি বিশেষ মানের ঊর্ধ্বে উঠালে বিনিময় যুগলায়ন হঠাৎ বিলুপ্ত হয় এবং বস্তুটি প্যারাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। এই বিশেষ বা **ক্রান্তি তাপমাত্রাকে বলা হয় কুরী তাপমাত্রা** (Curie temperature)। লোহার ক্ষেত্রে এই তাপমাত্রা 1043 K।

ফেরোচৌম্বকত্বের শ্রেণিভুক্ত আরও দুই ধরনের চৌম্বক পদার্থ রয়েছে। এদেরকে বলা হয় প্রতি-ফেরোচৌম্বক (Anti-ferromagnetic) পদার্থ এবং ফেরিচৌম্বক (Ferrimagnetic) পদার্থ।

## ফেরিচৌম্বকত্ব
**Ferrimagnetism**

এ ধরনের পদার্থে দুটি ভিন্ন ধরনের আয়ন থাকে। আয়নসমূহের মোমেন্ট প্রতি-সমান্তরাল সজ্জায় থাকলেও মান সমান না হওয়ায় নীট চৌম্বক মোমেন্ট থাকে [চিত্র ৪·২৮(ক)]। ফেরাইট ($Fe_3O_4$) এ ধরনের একটি পদার্থ।




(ক) (খ)

চিত্র ৪·২৮

বিভিন্ন ক্ষেত্রে এ সমস্ত পদার্থের বহুল ব্যবহার রয়েছে। একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার ঊর্ধ্বে উত্তপ্ত করলে এ সমস্ত পদার্থও প্যারাচৌম্বকত্ব লাভ করে। অর্থাৎ বিনিময় যুগলায়ন লোপ পায়।

## প্রতি-ফেরোচৌম্বকত্ব
**Anti-Ferromagnetism**

প্রতি-ফেরোচৌম্বকত্বের উদ্ভব হয় বিনিময় মিথস্ক্রিয়া বা বিনিময় ক্ষেত্র দ্বারা। দুটি পরমাণুর তরঙ্গ ফাংশন পরস্পরের ওপর আপতিত হলে এই বিনিময় ক্ষেত্রের উৎপত্তি হয়। বিনিময় ক্ষেত্র থেকে উৎপত্তি হয় বিনিময় শক্তির। নিকটতম প্রতিবেশী স্পিনসমূহ সমান্তরাল হলে এই শক্তি ধনাত্মক হয়। উল্লেখিত স্পিনসমূহ এন্টি-প্যারালাল বা বিপরীতমুখী সমান্তরাল হলে নিল তাপমাত্রায় গ্রাউন্ড স্টেট পাওয়া যায়।

বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্র অনুপস্থিত থাকলে এবং তাপমাত্রা নিল তাপমাত্রার নিচে হলে নিট চৌম্বক ভ্রামক শূন্য হয়। ধরা যাক একটি ক্রিস্টাল দুটি আন্তঃভেদনীয় উপ-ল্যাটিস A ও B দ্বারা গঠিত। এর একটির পরমাণুর স্পিনসমূহের দিক অন্যটির পরমাণুর স্পিনসমূহের বিপরীত দিকে [চিত্র ৪.২৮(খ)]। এ ধরনের বস্তুকে বলা হয় এন্টি-ফেরোচৌম্বক পদার্থ।

**কাজ :** কোন পরমাণু বা আয়ন প্যারাচৌম্বক পদার্থের ধর্ম দেখায় না ?

যে কোনো পরমাণু বা আয়নের ইলেকট্রন কক্ষগুলি পূর্ণ থাকলে তারা প্যারাচৌম্বক পদার্থের ধর্ম দেখায় না। যেমন He, Ne ইত্যাদির পরমাণু এবং $Na^+$, $Cl^-$ ইত্যাদি আয়ন।

## ফেরোচৌম্বক, প্যারাচৌম্বক এবং ডায়াচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য
**Characteristics of Ferromagnetic, Paramagnetic and Dia-magnetic Substances**

### ফেরোচৌম্বক পদার্থ

(১) এরা চুম্বক দ্বারা খুব বেশি আকর্ষিত হয়।
(২) এরা কঠিন এবং স্ফটিকাকারের হয়।
(৩) এদের চৌম্বক ধারকত্ব ধর্ম রয়েছে।
(৪) এদের নির্দিষ্ট কুরী বিন্দু রয়েছে।
(৫) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা বা প্রবণতা খুব বেশি এবং ধনাত্মক।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম রয়েছে।
(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu >> 1$।
(৮) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ $K \propto \frac{1}{T}$।
(৯) চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করলে এদের চুম্বকত্ব খানিকটা থেকে যায়।
(১০) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এরা দুর্বলতর অংশ হতে প্রবলতর অংশের দিকে গমন করে।

### প্যারাচৌম্বক পদার্থ

(১) এরা চুম্বক দ্বারা কম আকর্ষিত হয়।
(২) এরা কঠিন, তরল ও বায়বীয় হয়।
(৩) এদের চৌম্বক ধারকত্ব ধর্ম নেই।
(৪) এদের কুরী বিন্দু নেই।
(৫) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা বা প্রবণতা কম এবং ধনাত্মক।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম নেই।
(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu > 1$.
(৮) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ $K \propto \frac{1}{T}$।
(৯) চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করলে চুম্বকত্ব লোপ পায়।
(১০) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এরা দুর্বলতর অংশ হতে প্রবলতর অংশের দিকে গমন করে।

### ডায়াচৌম্বক পদার্থ

(১) এরা চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হয়।
(২) এরা কঠিন, তরল এবং বায়বীয় হয়।
(৩) এদের চৌম্বক ধারকত্ব ধর্ম নেই।
(৪) এদের কুরী বিন্দু নেই।
(৫) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা বা প্রবণতা ঋণাত্মক।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম নেই।
(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu < 1$।

(৮) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না।
(৯) চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করলে চুম্বকত্ব লোপ পায়।
(১০) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এরা প্রবলতর অংশ হতে দুর্বলতর অংশের দিকে গমন করে।

**পরীক্ষণ কাজ :** ছোট দণ্ড দেওয়া হলো। সেটা প্যারাচৌম্বক কিংবা ডায়াচৌম্বক কিংবা ফেরোচৌম্বক তা কীভাবে পরীক্ষা করবে ?

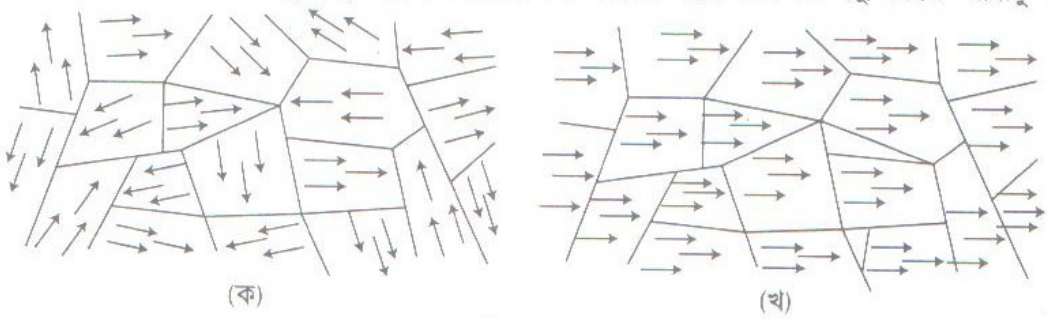
দণ্ডটিকে সুতা দিয়ে অনুভূমিকভাবে একটি শক্তিশালী তড়িৎচুম্বকের দুই প্রান্তের মাঝে ঝুলিয়ে দিতে হবে। এবার তড়িৎচুম্বক চালু করে দিলে (i) দণ্ডটি দ্রুত ঘুরে তড়িৎচুম্বকের N—S বরাবর নিজেকে স্থাপন করলে দণ্ডটি ফেরোচৌম্বক পদার্থ (ii) ধীরে ধীরে ঘুরে N—S বরাবর স্থাপন করলে দণ্ডটি প্যারাচৌম্বক পদার্থ এবং (iii) তড়িৎচুম্বকের N—S অভিমুখের সঙ্গে সমকোণে স্থাপিত হলে দণ্ডটি ডায়াচৌম্বক পদার্থ।

## ৪·১১ চৌম্বক ডোমেইন
### Magnetic Domain

এমন অনেক পদর্থ আছে যাদেরকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বকায়ন ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে। আবার যখন বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করা হয় তখন এসকল পদার্থের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্র বহুগুণে বর্ধিত হয়। আবার তাপমাত্রার একটি নির্দিষ্ট মান অতিক্রম করলেই চুম্বকত্ব হারায়। এই সকল পদার্থ হলো ফেরোচৌম্বক পদার্থ। উদাহরণ— লোহা, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি।

ফেরোচৌম্বক পদার্থের অভ্যন্তরে অজস্র ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অঞ্চল রয়েছে। যাদের মাত্রা $10^{-2}$ cm (প্রায়) এবং প্রতিটি অঞ্চলের মধ্যে থাকে প্রায় $10^{15}$ থেকে $10^{17}$ পরমাণু। এগুলি স্বতঃস্ফূর্তভাবে চুম্বকায়িত হয়। এই ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অঞ্চলগুলোকে বলা হয় **চৌম্বক ডোমেইন** বা **ফেরোচৌম্বক ডোমেইন**।

অন্যভাবে বলা যায় ফেরোচৌম্বক পদার্থে $10^{-12}$ $m^3$ থেকে $10^{-18}$ $m^3$ আয়তনের মধ্যে $10^{15}$ থেকে $10^{19}$ সংখ্যক পরমাণু সম্বলিত অসংখ্য চৌম্বক অঞ্চল থাকে যার মধ্যে চৌম্বক দ্বিপোলগুলি একই দিকে সজ্জিত থাকে; ফলে এরা স্বতন্ত্র চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। এরূপ চুম্বক অঞ্চলকে চৌম্বক ডোমেইন বলে। অচুম্বকায়িত ফেরোচৌম্বক ধাতুখণ্ডে ডোমেইনসমূহ সাধারণভাবে অনিয়মিত বা ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে ছড়ানো থাকে [চিত্র ৪·৩১(ক)]। ফলে এই লৌহ খন্ড চুম্বক হিসেবে আচরণ করে না। আবার বহিঃচৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে ডোমেইনগুলো চৌম্বক ক্ষেত্রে রেখার সাথে সমান্তরালে অবস্থান করে [চিত্র ৪·২৯(খ)]। ফলে লৌহ খণ্ডটি স্থায়ীভাবে চুম্বকত্ব লাভ করে। প্রথম চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলেও এর চুম্বকত্ব থাকে। ফেরোচৌম্বক পদার্থের মধ্যে পাশাপাশি বহু সংখ্যক পরমাণু দ্বিপোল




চিত্র ৪·২৯

মোমেন্টগুলো একদিকে সজ্জিত থাকে। যে অঞ্চলের মধ্যে দ্বিপোল মোমেন্টগুলো একদিকে সজ্জিত থাকে সে অঞ্চলই হলো ডোমেইন। সুতরাং একটি ডোমেইনের নীট মোমেন্ট থাকে। যে কোনো একটি ডোমেইনকে যদি আলাদা করা সম্ভব হতো তবে এটি একটি স্থায়ী চৌম্বক হিসেবে কাজ করত।

কফি কলে কাঁচা লোহা ব্যবহৃত হয়। এতে ডোমেইনগুলো বহিঃচৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে সহজে বিন্যস্ত হয়ে চুম্বকে পরিণত হয়। আবার চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলে চুম্বকত্ব নষ্ট হয়। ফলে ডোমেইনগুলো বিক্ষিপ্ত অবস্থায় থাকে। আবার স্থায়ী চুম্বক পেতে হলে ইস্পাত ব্যবহার করা হয়। বিচুম্বকীয় অবস্থায়ও ডোমেইনগুলো সুসজ্জিত থাকে।

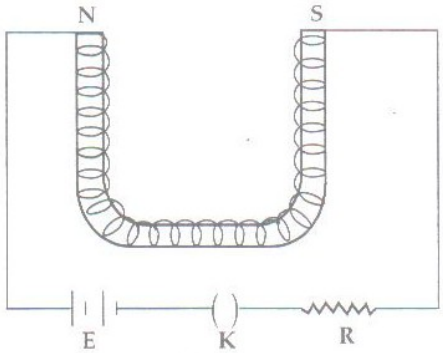
## ৪·১২ তড়িৎচুম্বক ও স্থায়ী চুম্বক
### Electromagnet and Permanent magent

কাঁচা লোহা, নিকেল এবং লোহার সংকর ধাতু দিয়ে তৈরি চুম্বক হলো কৃত্রিম চুম্বক। পরীক্ষাগারে যে চুম্বক ব্যবহৃত হয় সেগুলো কৃত্রিম চুম্বক। এদের বৈশিষ্ট্য হলো এগুলি নিয়মিত আকারের হয়ে থাকে। শিল্পে ও বৈজ্ঞানিক কাজে কৃত্রিম চুম্বক ব্যবহৃত হয়। এদের চুম্বকত্ব খুবই প্রবল। তড়িৎচুম্বক হলো এরকম একটি চুম্বক।

## তড়িৎচুম্বক
**Electromagnet**

যে সকল পদার্থের উচ্চ মানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা, মৃদু চুম্বকায়ন মাত্রা এবং হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল কম, সেই সমস্ত পদার্থ উত্তম তড়িৎচুম্বক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। অর্থাৎ চুম্বকনচক্রের জন্য এসকল চুম্বকের শক্তির অপচয় কম হয়।

নরম লোহাতে উপরিল্লিখিত সকল গুণাগুণ বিদ্যমান থাকায় এটি উত্তম তড়িৎচুম্বক নির্মাণে ব্যবহৃত হয়। কতগুলি সংকর ধাতু যেমন পারম্যালয় (লোহা ও নিকেলের সংকর ধাতু) এবং স্ট্যালয় (Fe+ 4% Silicon) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বেশি হওয়ায় তড়িৎচুম্বক তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়।



চিত্র ৪·৩০

U-আকৃতির কাঁচা লোহাকে অন্তরিত তার জড়িয়ে তারের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে তড়িৎ চুম্বক তৈরি করা হয়। তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ হয়ে গেলে এর চুম্বকত্ব লোপ পায়। তড়িৎবাহী সলিনয়েডের চৌম্বক ক্ষেত্র [চিত্র ৪·৩০] দণ্ড চুম্বক দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের ন্যায় আচরণ করে। সলিনয়েডের মধ্যে লৌহ খণ্ড স্থাপন করলে চুম্বকত্ব বৃদ্ধি পায়। তড়িৎ প্রবাহ চলাকালীন এটি বেশ শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হয়। একে বলা হয় তড়িৎচুম্বক। এই চুম্বকের প্রাবল্য নিম্নোক্তভাবে আরও বাড়ানো যায়—

(১) তড়িৎ প্রবাহ বাড়িয়ে,

(২) সলিনয়েডের প্যাঁচের সংখ্যা বাড়িয়ে।

**কাজ : তড়িৎচুম্বক প্রস্তুতিতে ইস্পাত অপেক্ষা নরম লোহা অধিকতর উপযুক্ত বলে বিবেচিত হয় কেন ?**

তড়িৎচুম্বকের মজ্জার উপাদানের প্রবেশ্যতা খুব বেশি এবং ধারণক্ষমতা কম হওয়া প্রয়োজন। তাই তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ থাকা মাত্র যেন উহার চুম্বকত্ব লোপ পায়। সেই কারণে তড়িৎচুম্বক প্রস্তুতিতে ইস্পাত অপেক্ষা নরম লোহা বেশি ব্যবহৃত হয়।

## স্থায়ী চুম্বক
**Permanent magent**

এমন কিছু চৌম্বক পদার্থ আছে যা দ্বারা কৃত্রিম চুম্বক তৈরি করলে চুম্বকত্ব সহজে বিলুপ্ত হয় না। এই সকল চুম্বকই স্থায়ী চুম্বক। ইস্পাত দ্বারা তৈরি চুম্বকই প্রথম স্থায়ী চুম্বক। এমন অনেক পদার্থ দিয়ে শক্তিশালী চুম্বক তৈরি করা হচ্ছে যাদের চুম্বকত্ব অনেক স্থায়ী এবং শক্তিশালী। যেমন সিরামিক চুম্বক ও লোহা, নিকেল, তামা, অ্যালুমিনিয়াম মিশ্রণে সংকর চুম্বক।

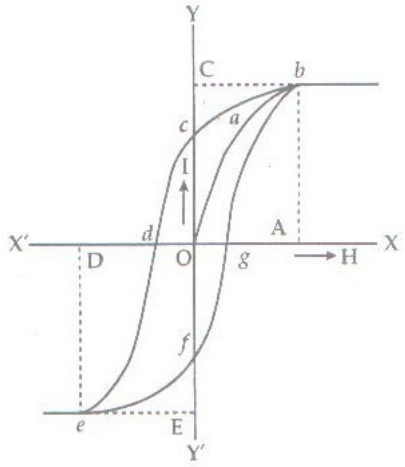
যে চৌম্বক পদার্থ নিয়ে স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হবে তার তিনটি গুণের দিকে অবশ্যই আমাদের লক্ষ রাখতে হবে। (i) উচ্চমানের নিগ্রহ সহনশীলতা (ii) উচ্চমানের ধারণ ক্ষমতা এবং (iii) হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল বেশি হওয়া প্রয়োজন। ইস্পাতের ধারণক্ষমতা কম হলেও নিগ্রহ সহনশীলতা ও হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল বেশি হওয়ায় ইস্পাত স্থায়ী চুম্বক তৈরির জন্য সবচেয়ে উপযোগী। অপরদিকে নরম লোহার ধারণ ক্ষমতা বেশি অথচ নিগ্রহ সহনশীলতা ও হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল কম হওয়ায় স্থায়ী চুম্বক গঠনে একেবারেই উপযোগী নয়। কোবাল্ট, ইস্পাত, টাংস্টেন প্রভৃতি কিছু সংকর ধাতু স্থায়ী চুম্বক গঠনের উপযোগী। ইস্পাত দ্বারা তৈরি চুম্বকই প্রথম স্থায়ী চুম্বক। সিরামিক ও সংকর ধাতু দিয়ে আজকাল স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হচ্ছে। এরূপ কয়েকটি চুম্বক নিম্নে বর্ণনা করা হলো।

**সিরামিক চুম্বক :** আয়রন অক্সাইড ও বেরিয়াম অক্সাইডের মিশ্রণে তৈরি সিরামিক চুম্বক বহুল প্রচলিত। সম্প্রতি উদ্ভাবিত সবচেয়ে শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বক হলো নিয়োডিমিয়াম বোরন আয়রনের চুম্বক। নিকেল দিয়ে সর্ব প্রথম স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হয়। আয়রন অক্সাইড ও বেরিয়াম অক্সাইড মিশ্রণে সিরামিক চুম্বক তৈরি হয়। সিরামিক চুম্বক ফ্যারাইট নামে পরিচিত।

**সংকর চুম্বক :** সংকর ধাতু যেমন— লোহা, নিকেল, কোবাল্ট, তামা ও অ্যালুমিনিয়াম মিশ্রণে তৈরি করা হয় শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বক। এদেরকে সংকর চুম্বক বলে। আয়রনের সংকরের মধ্যে 0·8 ভাগ বা 80% এর বেশি কার্বন থাকলে তা স্থায়ী চুম্বক তৈরি করে।

## চুম্বকায়ন চক্র এবং হিসটেরেসিস বা শৈথিল্য
## Cycle of magnetisation and hysteresis

তিন শ্রেণির পদার্থের মধ্যে একমাত্র ফেরোচৌম্বক পদার্থে হিস্টেরিসিস ধর্ম আছে। ফেরোচৌম্বক পদার্থের একটি দণ্ডকে যেমন লোহাকে সলিনয়েডের ভেতর রেখে ধীরে ধীরে সলিনয়েড কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন করলে I — H লেখ চিত্র পাওয়া যায়।




চিত্র ৪·৩১

**H বনাম I লেখচিত্রটিকে I—H লেখ বলা হয়।** লেখটি নিম্নে আলোচিত হলো [চিত্র ৪·৩১]। একটি ফেরোচৌম্বক পদার্থকে H প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করি এবং একে চুম্বকিত করি। H-এর পরিবর্তনে চুম্বকায়নমাত্রা বা ম্যাগনেটাইজেশন ভেক্টর I-এর পরিবর্তন ঘটবে এবং I বনাম H লেখটিকে O *a b c d e f g b* দিয়ে সূচিত করা গেল। H-কে X-অক্ষে এবং I-কে Y-অক্ষে স্থাপন করে লেখটি অঙ্কন করা হয়েছে। H-এর মান শূন্য হতে ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে চুম্বকায়ন মাত্রা I-এর মান বাড়তে থাকে। চিত্রে *Oab* রেখার সাহায্যে এটি দেখানো হয়েছে। I-এর মান *b* বিন্দুতে উপনীত হবার পর H-এর মান বাড়ালেও I-এর মান আর বাড়ে না। এ অবস্থায় চুম্বকায়ন মাত্রা **সম্পৃক্ত মান** লাভ করে।

সম্পৃক্ত মানে চুম্বকায়ন মাত্রা OC এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য OA। এমতাবস্থায় চৌম্বক পদার্থের **অণুচুম্বকগুলো** সম্পূর্ণ-রূপে এক রেখায় অবস্থান করে।

এখন H-এর মান ক্রমাগত কমাতে থাকলে I-এর মান কমতে থাকে। কিন্তু তা O বিন্দুতে ফিরে আসে না। তখন তা *bc* পথ অনুসরণ করে। *c* বিন্দুতে H-এর মান শূন্য মানে পৌঁছায়, কিন্তু I-এর মান শূন্য হয় না। এ অবস্থায় চৌম্বক পদার্থে চুম্বকায়নের মাত্রা খানিকটা থেকে যায়। চিত্রে তা *Oc* দিয়ে দেখানো হয়েছে। চুম্বকায়ন মাত্রার এ মানকে **অবশিষ্ট চুম্বকত্ব** বা **রিমেনেন্স** (Remanence) বলে এবং চৌম্বক পদার্থের এ ক্ষমতাকে **ধারণ ক্ষমতা** (retentivity) বলা হয়।

এখন H-এর অভিমুখ বিপরীত করে এর ঋণমান ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে I-এর মান ক্রমশ কমতে থাকে। *cd* রেখা দিয়ে তা দেখানো হয়েছে। *d* বিন্দুতে I-এর মান শূন্য হয় এবং এমতাবস্থায় H-কে *Od* দিয়ে নির্দেশ করা হয়েছে। I-এর শূন্য মানে H-এর এ মানকে **নিগ্রহ বল** (coercive force) বলে এবং চৌম্বক পদার্থের এ ধর্মকে **নিগ্রহ-সহনশীলতা** (coercivity) বলে। এমতাবস্থায় চৌম্বক পদার্থটি চুম্বকত্ব হারায়। H-এর এ মান ঋণাত্মক দিকে ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে I-এর মানও ঋণাত্মক হয়। *de* রেখা দিয়ে তা দেখান গেল।

তবে কোনো এক অবস্থায় I-ও ঋণাত্মক সম্পৃক্ত মান লাভ করে। এমতাবস্থায় চুম্বকায়ন মাত্রা = OE এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য = OD। চিত্রে *e* বিন্দু এ অবস্থা প্রকাশ করে। এ অবস্থায় H-এর ঋণমান আরো বাড়ালে I-এর ঋণমান আর বাড়বে না।

পুনঃ, H-এর মান ধীরে ধীরে ধনাত্মক দিকে বাড়ালে I-এর মান বাড়ে এবং *efgb* পথে *b* বিন্দুতে পৌঁছায়। *b* বিন্দুতে পৌঁছে এটি পুনরায় আগের সম্পৃক্ত মান প্রাপ্ত হয়।

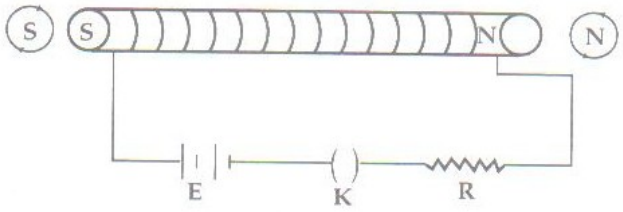
সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, সর্বস্তরে I-এর মান H-এর পশ্চাদবর্তী হচ্ছে। এটি কখনও সমান বা অগ্রবর্তী হয় না। **চুম্বকায়ন পরিমাত্রার** এই পশ্চাদবর্তিতাকে **হিসটেরেসিস** বা **শৈথিল্য** বলে। *b c d e f g b* বন্ধ লুপকে হিসটেরেসিস লুপ (Hysteresis loop) বলে এবং সমগ্র চক্রকে **হিসটেরেসিস চক্র** (Hysteresis cycle) বলে।

**অর্থাৎ কোনো ফেরোচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করে চুম্বকিত করার পর চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করে বিচুম্বকিত করতে গেলে সেটি সহজে বিচুম্বকিত হতে চায় না। চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগের সময় পদার্থের চুম্বকত্ব যেভাবে বৃদ্ধি পায়, চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণের সময় চুম্বকত্ব সেভাবে হ্রাস পায় না। চৌম্বক পদার্থের বিচুম্বকিত হতে অনীহা বা শৈথিল্য প্রদর্শন করাকে হিসটেরেসিস বলে।**

**জেনে রাখ : হিসটেরেসিস লুপের সাহায্যে কোন পদার্থের কি কি বিষয় জানা যেতে পারে?**

চৌম্বক পদার্থের হিসটেরেসিস লুপ পর্যালোচনা করে পদার্থটির ধারণ ক্ষমতা, সহনশীলতা, চৌম্বক গ্রাহীতা ও প্রবেশ্যতা ইত্যাদি বিষয়ে মূল্যবান তথ্য পাওয়া যায়। ঐ তথ্যের সাহায্যে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, ঐ বিশেষ চৌম্বক পদার্থটি কি কাজে ব্যবহৃত হবে। মোটর, ডায়নামো ইত্যাদি যন্ত্রের আর্মেচার কি জাতীয় চৌম্বক পদার্থের হওয়া উচিত তার ধারণা এই লুপ থেকে জানা যায়।

**পরীক্ষণ : বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে কৃত্রিম চুম্বক প্রস্তুতকরণ**




চিত্র ৪·৩২

একটি সোজা ইস্পাত দন্ড NS নিয়ে দন্ডটিকে অনুভূমিকভাবে একটি কাচ নল এর মধ্যে প্রবেশ করিয়ে নলের উপর দিয়ে অন্তরীত তামার তার জড়ানো হয় [চিত্র ৪·৩২], এবং তারের দুই প্রান্তকে একটি চাবির সাহায্যে বিদ্যুৎ কোষের দুই প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হয়। চাবি বন্ধ করে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে দন্ডটি চুম্বকে পরিণত হয়।

ইস্পাত দন্ডের যে প্রান্তে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘড়ির কাটার বিপরীতমুখী হয় সেই প্রান্তে উত্তর মেরু এবং যে প্রান্তে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার দিকে হয় সেই প্রান্তে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হয়।

## ৪·১৩ অস্থায়ী চুম্বক ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার
## Applications of Temporary and Permanent Magnets

কৃত্রিম চৌম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত চৌম্বক পদার্থের উপাদানের উপর নির্ভর করে কৃত্রিম চুম্বককে দুই ভাগে বিভক্ত করা হয়েছে; যথা— (১) অস্থায়ী চুম্বক ও (২) স্থায়ী চুম্বক। এদের ব্যবহার নিম্নে আলোচনা করা হলো—

### অস্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার
### Use of Temporary magnet

কাঁচা লোহা, নিকেল ও লোহার সংকর ধাতুর তৈরি চৌম্বক পদার্থ দিয়ে কোমল চুম্বক তৈরি হয়, এটি অস্থায়ী চুম্বক। এ ধরনের চৌম্বক পদার্থকে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে আনলে তা চুম্বকে পরিণত হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করার সাথে সাথে চুম্বকত্ব বিলুপ্ত হয়। মোটর জেনারেটর, ট্রান্সফরমার ইত্যাদিতে এই ধরনের চুম্বক ব্যবহার করা হয়। তাছাড়া বিভিন্ন আকৃতির তড়িৎচুম্বক বৈদ্যুতিক ঘণ্টা তৈরি, ইস্পাতের ভারী জিনিস উঠানামা বা ময়লা সরানোর জন্য ক্রেন তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। তাছাড়া টেলিফোনের ইয়ার পিচ ও দরজার তড়িৎ চুম্বক তালায় ইহা ব্যবহৃত হয়।

### স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার
### Use of Permanent magnet

স্থায়ী চুম্বকের চুম্বকত্ব সহজে বিলুপ্ত হয় না। তাই একে বিভিন্ন গুরুত্বপূর্ণ কাজে ব্যবহার করা হয়। খুব শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বকের জন্য অ্যালিনিফো, টেপরেকর্ডিং এর ফিতার জন্য ভিক্যালর, লাউড স্পিকারের চুম্বকের জন্য দিকোনাল ব্যবহৃত হয়।

বহুল পরিচিত স্থায়ী চুম্বক হলো সিরামিক চুম্বক। এই চুম্বক কম্পিউটারের স্মৃতির ফিতায়, টেপরেকর্ডারের ফিতায় এবং রেডিওর অ্যান্টেনা তৈরিতে বহুল ব্যবহৃত হয়।

খনিজ থেকে উত্তোলনকৃত প্রাকৃতিক চুম্বকের দিকদর্শী ধর্ম থাকায় দিক নির্ণয়ের কাজে ব্যবহৃত হয়।

কতগুলি সংকর ধাতু যেমন পারমেলয় (লোহা ও নিকেলের সংকর ধাতু) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বেশি হওয়ায় তড়িৎ চুম্বক তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়।

**স্থায়ী চুম্বক নির্মাণের জন্য উপযুক্ত পদার্থ :**

স্থায়ী চুম্বক নির্মাণের জন্য উপযুক্ত চৌম্বক পদার্থের নিম্নলিখিত ধর্মগুলি থাকা প্রয়োজন। যথা—

(i) পদার্থটির ধারণ ক্ষমতা উচ্চমানের হতে হবে যাতে পদার্থটিকে চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে সরিয়ে নিলেও পদার্থটি কিছু পরিমাণ চুম্বকত্ব ধরে রাখতে পারে।

(ii) পদার্থটির সহনশীলতা উচ্চমানের হওয়া প্রয়োজন যাতে পদার্থটিকে যথেচ্ছ ব্যবহারের পরেও আবিষ্ট চুম্বকত্ব ধরে রাখতে পারে।

(iii) পদার্থটির সম্পৃক্ত চুম্বক (Staturation magnetization) উচ্চমানের হতে হবে যা চুম্বকটিকে শক্তিশালী করতে সাহায্য করে।

(iv) পদার্থটির চৌম্বক ভেদ্যতা উচ্চমানের হতে হবে।

ইস্পাতের ক্ষেত্রে উপরোল্লিখিত গুণাবলির সবকটি পরিপূর্ণভাবে না থাকলেও কাছাকাছি ধর্মাবলি থাকায় স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে ইস্পাত বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। ইস্পাত ছাড়া আরও কিছু সংকর ধাতু; যেমন—অ্যালেনিকো (লোহা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল, কোবাল্টের সংমিশ্রণ), টিকোনাল (লোহা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম, টাইটেনিয়াম, কোবাল্ট, নিকেলের সংমিশ্রণ) স্থায়ী চুম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

**তড়িৎ চুম্বক তৈরির জন্য উপযুক্ত পদার্থ :**

যে সকল পদার্থ তড়িৎ চুম্বক তৈরির জন্য ব্যবহার করা হয় সেগুলোর নিম্নলিখিত ধর্মাবলি থাকা প্রয়োজন—

(i) পদার্থটির সম্পৃক্ত চুম্বকন উচ্চমানের হওয়া প্রয়োজন যা তড়িৎ চুম্বকটিকে শক্তিশালী করতে সাহায্য করে।

(ii) পদার্থটির ধারণক্ষমতা কম হওয়া প্রয়োজন যাতে চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলে পদার্থটি তার সম্পূর্ণ চুম্বকত্ব সহজেই হারিয়ে ফেলতে পারে।

(iii) পদার্থটির সহনশীলতা কম হওয়া প্রয়োজন যাতে সহজেই পদার্থটি বিচুম্বকিত হয়।

(iv) পদার্থটির হিসটেরিসেস ক্ষয় (hysteresis loss) কম হওয়া প্রয়োজন যাতে চুম্বক এবং বিচুম্বকনের সময় পদার্থটি উত্তপ্ত না হয়।

কাঁচা লোহা বা স্ট্যালয়ের (সিলিকন ও লোহার সংমিশ্রণ) এই গুণগুলি থাকায় তড়িৎ চুম্বক তৈরিতে এ সমস্ত পদার্থ ব্যবহার করা হয়।

**ট্রান্সফরমার বা ডায়নামোর কোর (core) বা মজ্জা তৈরিতে ব্যবহৃত পদার্থ :**

উচ্চমান চৌম্বকভেদ্যতা সম্পন্ন পদার্থ কোর নির্মাণে আদর্শ বস্তু হিসেবে বিবেচিত হয়। নরম লোহার এই গুণ থাকায় কোর বা মজ্জা তৈরিতে বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া পারমালয় (লোহা ও নিকেলের সংমিশ্রণ) এবং ট্রান্সফরমার ইস্পাত (লোহা ও সিলিকন সংমিশ্রণ) সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়।

**প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি**

$\phi_0 = BA$ ... ... ... (1)

$B = \frac{\phi_B}{A}$, $B = \frac{F}{qV}$, $\vec{B} = \mu\vec{H}$ ... ... (2)

$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu.I$, $B = \mu.I \times n$ ... ... ... (3)

$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{idl\sin\alpha}{r^2}$ ... ... ... (4)

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$ ... ... ... (5)

$B = \frac{\mu_0 nI}{2r}$ ... ... ... (6)

$J = \frac{I}{A}$ ... ... ... (7)

$F = qvB\sin\theta$, $F = ilb\sin\theta$ ... ... ... (8)

$E_H = vB$ ... ... ... (9)

$V_H = E_H d = \frac{BI}{nbq}$ ... ... ... (10)

$i = neVA$ ... ... ... (11)

$F = niBA\sin\alpha = NIAB = NIAB\sin\alpha$ ... ... ... (12)

$L = mrv$, $\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v}) = mvr\sin\theta$ ... ... ... (13)

$\mu_l = \frac{-e}{2m}\vec{L}$ ... ... ... (14)

$\mu_l = \frac{eh}{4\pi m}$ ... ... ... (15)

$H = I\cos\delta$ ... ... ... (16)

$V = I\sin\delta$ ... ... ... (17)

$I = \sqrt{H^2 + V^2}$ ... ... ... (18)

$\frac{V}{H} = \tan\delta$ ... ... ... (19)

$H = V\cot\delta$ ... ... ... (20)

$F = \mu_0\frac{I_1 I_2 l}{2\pi r}$ ... ... ... (21)

## উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

**১। তাসমিন ওয়াশিংটন বিশ্ববিদ্যালয়ে অধ্যয়নের সময় শিক্ষক গিলবার্টসহ ক্লাসের অন্যান্য বন্ধুরা মিলে ভূ-চুম্বকের অনুভূমিক উপাংশ নির্ণয় করে $27.87\mu T$ ও বিনতি বৃত্তের সাহায্যে বিনতি নির্ণয় করে $30°$ পেয়েছিল। শিক্ষক পরীক্ষালব্ধ ফল সঠিক কিনা তা যাচাই করতে বলল।**

**(ক) ওয়াশিংটনে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?**

**(খ) ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান এবং উল্লম্ব উপাংশের তুলনা কর।**

**সমাধান :** (ক) দেওয়া আছে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $H = 27.87\mu T$ এবং বিনতি $\delta = 30°$

এখানে উল্লম্ব উপাংশ, $V = H \tan\delta$

$= (27.87 \tan 30°)\ \mu T$

$\therefore \quad V = 16.1\ \mu T$

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = \sqrt{V^2 + H^2} = \sqrt{(16.1)^2 + (27.87)^2}$

$B = 32.18\ \mu T$

(খ) আমরা জানি কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য H এবং উল্লম্ব উপাংশকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশ বলে।

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ, $V = H \tan\delta$

$= (27.87 \tan 30°)\ \mu T$

$= 16.1\ \mu T$

আবার ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ, $H = 27.87\ \mu T$

$\therefore$ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ ও উল্লম্ব উপাংশের অনুপাত

$H : V = 27.87 : 16.1 = 1.7 : 1$

**উ:** ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান উল্লম্ব উপাংশ অপেক্ষা 1.7 গুণ বেশি।

**২। রফিক I—H লুপ বিশ্লেষণ করে দেখল কোনো পদার্থকে চুম্বকিত করতে যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় বিচুম্বকিত করার সময় সে শক্তি সম্পূর্ণভাবে ফিরে পাওয়া যায় না। একটি লোহার দণ্ডকে প্রতি সেকেন্ডে চক্রের একটি চুম্বক বলের ভেতরে নিয়ে যাওয়ায় প্রতি চক্রে প্রতি ঘনমিটারে $5 \times 10^3$ J শক্তির অপচয় ঘটে। লোহার ঘনত্ব $7.8 \times 10^3$ kg $ms^{-3}$ এবং আপেক্ষিক তাপ 460 J $kg^{-1}$ $K^{-1}$। ধরে নেওয়া হয় সকল উৎপন্ন তাপ লোহা কর্তৃক শোষিত হয়।**

**(ক) প্রতি মিনিটে কত তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে?**

**(খ) হিস্টেরিসিস এর দরুন শক্তির অপচয় ঘটে কিন্তু শক্তির সংরক্ষণশীলতা নীতি কার্যকর হয়—ব্যাখ্যা কর।**

**সমাধান :** (ক) ধরি লোহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে $= \theta$ K

প্রশ্নানুযায়ী প্রতি সেকেন্ডে প্রতি ঘনমিটারে শক্তির অপচয় $= 5 \times 10^3$ J

প্রতি মিনিটে শক্তির অপচয় $= 60 \times 5 \times 10^3 = 3 \times 10^5$ J

প্রতি মিনিটে উৎপন্ন তাপশক্তি, $H = ms\theta = (V \times \rho) \times s \times \theta$

$= 1 \times 7.8 \times 10^3 \times 460 \times \theta$

$\therefore$ শক্তির অপচয় = উৎপন্ন তাপশক্তি

$3 \times 10^5 = 1 \times 7.8 \times 10^3 \times 460 \times \theta$

$\therefore \quad \theta = \dfrac{3 \times 10^5}{7.8 \times 10^3 \times 460}$

$\therefore$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি = 0.08 K

(খ) হিস্টেরিসিস চক্র পর্যালোচনা করলে দেখা যায় যে, কোনো পদার্থকে চুম্বকিত করতে যে শক্তির প্রয়োজন বিচুম্বকিত করতে সেই শক্তি ফিরে পাওয়া যায় না। চুম্বক ক্ষেত্র সম্পূর্ণ সরিয়ে নেওয়ার পরেও পদার্থের মধ্যে কিছুটা চুম্বকত্ব থেকে যায়। এর নাম অবিশষ্ট চুম্বকত্ব। একে বিলুপ্ত করতে হলে বিপরীত দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করতে হয়। সুতরাং সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, কোনো পদার্থে চুম্বকায়ন চক্রের অনুসরণ করলে কিছু পরিমাণ শক্তির অপচয় ঘটে। এই অপচয় হিস্টেরিসিস লস বলে। শক্তির এ অপচয়ের পরিমাণ I—H লুপ কর্তৃক বেষ্টিত তলের ক্ষেত্রফলের সমান। হিস্টেরিসিস এর জন্য শক্তির যে অপচয় ঘটে, তা তাপে রূপান্তরিত হয় এবং বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ব্যয় হয়। এভাবে শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি কার্যকর হয়।

**৩। একটি লম্বা ও সোজা তারে 60A তড়িৎ সরবরাহ করা হলো, তার থেকে 40 cm দূরে P একটি বিন্দু। পরবর্তীতে তারটিকে বাঁকিয়ে 40 cm ব্যাসার্ধের এক পাকের বৃত্তাকার কুণ্ডলী করা হলো যার কেন্দ্র হলো Q।**

[ঢা. বো. ২০১৫]

**(ক) P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।**

**(খ) পরিবাহী থেকে P এবং Q বিন্দু সমদূরে থাকলেও চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ভিন্ন হতে পারে কী? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও।**

(ক) আমরা জানি,

$$B_P = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7}\ TmA^{-1}}{2\pi \times 0.4\ m}$$

$$= 3 \times 10^{-5}\ T$$

এখানে,
$I = 60A$
$r = 40\ cm = 0.4\ m$
$B_P = ?$

(খ) উদ্দীপকে, $n = 1$, $I = 60A$,

অতএব বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র, $\beta_Q = \frac{\mu_0 nI}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 60}{2 \times 0.4} = 9.425 \times 10^{-5}\ T$

$\therefore B_Q > B_P$, সুতরাং পরিবাহী থেকে P এবং Q বিন্দু সমদূরত্বে থাকলেও চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ভিন্ন হতে পারে।

**৪। $5 \times 10^{-3}$ kg ভর 0.6 m দৈর্ঘ্য এবং 0.1 Ω রোধবিশিষ্ট একটি পরিবাহী তার $1.8 \times 10^{-3}$ T ফ্লাক্স ঘনত্বের সুষম চৌম্বকক্ষেত্রে লম্বভাবে রাখা আছে। তারটির দুই প্রান্তে 4.5 V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করে এতে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করা হলো। ($H = 1.8 \times 10^{-5}T$)**

[রা. বো. ২০১৫]

**(ক) চৌম্বক প্রবেশ্যতা কত?**

**(খ) তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় থাকবে—উক্তিটির যথার্থতা ব্যাখ্যা কর।**

(ক) দেওয়া আছে, $B = 1.8 \times 10^{-3}$ T, $H = 1.8 \times 10^{-5}$ T, $\mu = ?$

আমরা জানি, $B = \mu H$

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.8 \times 10^{-3}}{1.8 \times 10^{-5}} = 100\ \text{weber/amp-m}$$

(খ) আমরা জানি, B মানের চৌম্বক ক্ষেত্রে $l$ দৈর্ঘ্যের কোনো পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে I মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর ওপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল, $\vec{F} = \hat{\eta} I \vec{l} \times \vec{B} = IlB \sin\theta \hat{\eta}$

উদ্দীপকের তথ্য অনুযায়ী, $I = \frac{V}{R} = \frac{4.5}{0.1} = 45A$

আবার, $l = 0.6$ m, $B = 1.8 \times 10^{-3}$ T, $\theta = 90°$

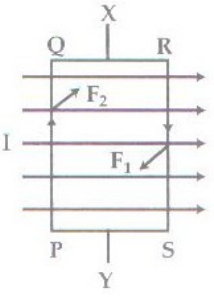
$\therefore F = IlB \sin\theta = 45 \times 0.6 \times 1.8 \times 10^{-3} \sin 90° = 0.0486$ N

সুতরাং তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় থাকবে উক্তিটি সঠিক নয়। বরং এর উপর 0.0486 N মানের চৌম্বক বল ক্রিয়া করবে, যার দিক হবে ওপরের দিকে যা ফ্লেমিং এর বাম হস্ত নিয়ম থেকে পাওয়া যায়।

**৫। উদ্দীপকে একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে $5 \times 10^{-3}$ Wb/m² মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলো। কুণ্ডলীটির দৈর্ঘ্য 50 cm এবং প্রস্থ 20 cm। এর মধ্য দিয়ে 10 A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে।**

**(ক) কুণ্ডলীর প্রতিটি বাহুতে ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর।**

**(খ) কুণ্ডলীটিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে ঘুরালে এর ওপর ক্রিয়াশীল টর্কের কোনো পরিবর্তন হবে কী? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।**




এখানে,
$B = 5 \times 10^{-3}\ Wb/m^2$
$l = 50\ cm = 0.5\ m$
$b = 20\ cm = 0.2\ m$
$I = 10A$
$F_1 = ?$
$F_2 = ?$

(ক) QR বাহু এবং PS বাহু অর্থাৎ প্রবাহের দিক চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমান্তরালে অবস্থিত, $\theta = 0°$

এই দুই বাহুতে প্রযুক্ত বল, $F_1 = IbB \sin\theta = IbB \sin 0° = 0$

RS বা PQ বাহু অর্থাৎ প্রবাহের দিক চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত, $\theta = 90°$। এই দুই বাহুর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$F_2 = IlB \sin 90°$, এখানে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক এবং বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক পরস্পর লম্ব, $\theta = 90°$

$= 10 \times 0{\cdot}5 \times 5 \times 10^{-3} \sin 90°$

$= 0{\cdot}025$ N

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত আয়তাকার কুণ্ডলীতে টর্কের মান

$\tau_2 = F_2 \times b = 0{\cdot}025 \times 0{\cdot}2 = 0{\cdot}0050$ Nm

কুণ্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে ঘুরালে QR ও PS বাহুর উপর ক্রিয়াশীল বল

$F_1' = Ib\ B \sin 30° = 10 \times 0{\cdot}2 \times 5 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} = 0{\cdot}005$ N

$\therefore$ টর্ক, $\tau'_1 = F'_1 \times l = 0{\cdot}005 \times 0{\cdot}5 = 0{\cdot}0025$ N

পরিবর্তিত অবস্থানে PQ বা RS বাহুর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত প্রবাহের দিক এবং $\vec{B}$ এর মধ্যবর্তী কোণ 90°-ই থাকবে। তাই বাহুদ্বয়ের মধ্যে টর্কের মানও অপরিবর্তিত থাকবে।

## সার-সংক্ষেপ

**বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া** : কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে তার চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্ট হয়। একে বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে।

**চৌম্বক ক্ষেত্র** : কোনো চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে। একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক।

**1 ওয়েবার** : কোনো কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে যত সংখ্যক ফ্লাক্স পরিবর্তনের জন্য ঐ কুণ্ডলীতে 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয় তাকে 1 ওয়েবার বলে।

**চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা আবেশ রেখা** : চৌম্বক ক্ষেত্র (বা আবেশ) রেখা চৌম্বক ক্ষেত্রে অঙ্কিত কতকগুলো বন্ধ বক্ররেখা যাদের কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে।

**চৌম্বক ফ্লাক্স ও ফ্লাক্স ঘনত্ব** : কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে বাস্তব বা কল্পিত কোনো তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখা বা আবেশ রেখার সংখ্যাকে চৌম্বক ফ্লাক্স বলে। কোনো একটি তলের একক ক্ষেত্রফলের উপরে যতসংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স বা আবেশ রেখা লম্বভাবে আপতিত হয় তাকে ঐ তলের ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে।

**1 টেসলা** : যদি কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে সমকোণে 1 কুলম্ব চার্জ $1\ ms^{-1}$ বেগে গতিশীল হয় এবং 1 N বল অনুভব করে তবে সেই চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে 1 টেসলা বলে।

**এক অ্যাম্পিয়ার** : শূন্য মাধ্যমে পরস্পর হতে 1m দূরত্বে অবস্থিত দুটি অসীম দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল তারের প্রত্যেকের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ একই দিকে প্রবাহিত হলে উভয় তারের প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যের উপর আকর্ষণ বলের মান $2 \times 10^{-7}$ N-এর সমান হবে তাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলে।

**লরেঞ্জ বল** : কোনো স্থানে একই সঙ্গে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র বিদ্যমান থাকলে একটি গতিশীল চার্জ যে লব্ধি বল অনুভব করে তাকে লরেঞ্জ বল বলে।

**বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র** : ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় তার কোনো বিন্দুতে চৌম্বকীয় আবেশের মান—(i) বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক, (ii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক, (iii) পরিবাহীর মধ্যবিন্দু হতে ঐ বিন্দুর সংযোগ রেখা এবং পরিবাহীর অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক, (iv) পরিবাহীর মধ্য বিন্দু হতে ঐ বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

**হল ক্রিয়া ও হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ** : কোনো বিদ্যুৎবাহীর প্রবাহের দিকের সাথে অভিলম্ব বরাবর একটি চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে ঐ প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্র উভয়ের অভিলম্ব অভিমুখে একটি বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। এ ক্রিয়াকে বলা হয় হল ক্রিয়া এবং সৃষ্ট বিভব পার্থক্যকে বলা হয় হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ।

**অ্যাম্পিয়ারের সূত্র** : কোনো বন্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বেষ্টিত ক্ষেত্রফলের ভেতর প্রবাহিত মোট প্রবাহমাত্রার $\mu_0$ গুণ।

**ভূ-চৌম্বক অক্ষ** : ভূ-চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরু সংযোজক সরলরেখাকে ভূ-চৌম্বক অক্ষ বলে।

**চৌম্বক মধ্যতল** : ভূ-চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ দিয়ে অঙ্কিত কাল্পনিক উল্লম্ব তলকে চৌম্বক মধ্যতল বলে।

**বিচ্যুতি কোণ** : পৃথিবীর কোনো স্থানে চৌম্বক মধ্যতল ও ভৌগোলিক মধ্যতলের মধ্যবর্তী কোণকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে।

**বিনতি কোণ** : পৃথিবীর কোনো স্থানে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে স্থির থাকে, তাকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিনতি কোণ বলে।

**ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা মোট প্রাবল্য** : পৃথিবীর কোনো স্থানে একটি একক মেরুশক্তির উত্তর মেরুর উপর ভূ-চুম্বকত্বের দরুন যে বল ক্রিয়া করে তাকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা মোট প্রাবল্য বলে।

**অনুভূমিক প্রাবল্য** : কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য বলে।

**উল্লম্ব প্রাবল্য** : কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য বলে।

**চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক** : চৌম্বক দ্বিপোলের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেন্ট বা ভ্রামককে চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক বলে।

**চৌম্বক আবেশ** : যে প্রক্রিয়ায় একটি চৌম্বক পদার্থ চুম্বকে পরিণত হয়, তাকে চৌম্বক আবেশ বলে।

**কুরী বিন্দু** : যে তাপমাত্রায় কোনো একটি চুম্বকের চুম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে বিলুপ্ত হয়, তাকে উক্ত চুম্বকের উপাদানের কুরী বিন্দু বলে।

**চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা** : চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র এবং চৌম্বক প্রবেশ্যতার অনুপাতকে চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা বলে।

**চৌম্বক ধারকতা** : চুম্বক বলের প্রভাব সরিয়ে নেওয়ার পর যে ধর্মের জন্য চৌম্বক পদার্থের মধ্যে কিছু পরিমাণ চুম্বকত্ব ধরে রাখা যায় তাকে ঐ পদার্থের চৌম্বক ধারকতা বলে।

**চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা** : চুম্বকত্ব হ্রাসের কারণসমূহ থাকা সত্ত্বেও কোনো একটি চৌম্বক পদার্থের মধ্যে উৎপন্ন চুম্বকত্ব ধরে রাখার ক্ষমতাকে ঐ পদার্থের নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা বলে।

**চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা** : চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রতি একক আয়তনের চৌম্বক ভ্রামককে তার চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা বলে।

**ইলেকট্রন স্পিন** : একটি ইলেকট্রনের কক্ষপথে ঘূর্ণনের জন্য যে সহজাত কৌণিক ভরবেগ উৎপন্ন হয় ইহাই ইলেকট্রন স্পিন।

**পৃথিবীর চৌম্বকত্ব** : পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় পৃথিবীর চুম্বকত্ব এবং এতদসংক্রান্ত বিভিন্ন দিক জানা যায়, তাকে ভূ-চুম্বকত্ব বা পৃথিবীর চুম্বকত্ব বলে।

**প্যারাচৌম্বক পদার্থ** : যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলে।

**ডায়াচৌম্বক পদার্থ** : যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ডায়াচৌম্বক পদার্থ বলে।

**ফেরোচৌম্বক পদার্থ** : যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ফেরোচৌম্বক পদার্থ বলে।

**চৌম্বক ডোমেইন** : ফেরোচৌম্বক পদার্থের মধ্যে অসংখ্য চৌম্বক অঞ্চল থাকে যার মধ্যে চৌম্বক দ্বিপোলগুলি একই দিকে সজ্জিত থাকে। এরূপ চুম্বক অঞ্চলকে চৌম্বক ডোমেইন বলে।

**তড়িৎ চৌম্বক** : কাঁচা লোহাতে অন্তরীত তার জড়িয়ে তারের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে যে চুম্বক তৈরি হয় তাকে তড়িৎ চৌম্বক বলে।

**অস্থায়ী চুম্বক** : কিছু চৌম্বক পদার্থ আছে যাদেরকে চৌম্বক ক্ষেত্রে আনলে তা চুম্বকে পরিণত হয় আবার চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করলে চৌম্বক ধর্ম বিলুপ্ত হয়। এই ধরনের চুম্বকই অস্থায়ী চুম্বক।

**স্থায়ী চুম্বক** : এমন কিছু চৌম্বক পদার্থ আছে যা দ্বারা কৃত্রিম চুম্বক তৈরি করলে চুম্বকত্ব সহজে বিলুপ্ত হয় না। এই সকল চুম্বককে কৃত্রিম চুম্বক বলে।

## বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো গতিশীল চার্জ যে বল লাভ করে তা নির্ভর করে (ক) চার্জের পরিমাণের ওপর বা চার্জের ওপর (খ) চৌম্বক ক্ষেত্রের ওপর। চৌম্বক প্রাবল্যের একক $Am^{-1}$ বা $NWb^{-1}$

২। অনুভূমিকভাবে ঝুলানো একটি চুম্বক উত্তর-দক্ষিণ বরাবর থাকতে চায় কারণ সে বরাবর—
(ক) টর্ক শূন্য হয় (খ) লব্ধি বল শূন্য হয় (গ) বলরেখা সমান্তরাল হয়।

৩। মেরু শক্তির একক A-m। চৌম্বক প্রাবল্য B এর একক Tesla বা $Weber/m^2$ বা N/A-m।

৪। একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের $(\vec{B})$ মধ্যে স্থাপিত $l$ দৈর্ঘ্যের একটি সোজা তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ I হলে তারের উপর চৌম্বক বল $= \vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}$

৫। যে তাপমাত্রায় চুম্বকের চুম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে নষ্ট হয় তাকে কুরীবিন্দু বলে।

৬। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চার্জ গতিশীল হলে সেটি যে বল লাভ করে তার মান আধানের পরিমাণ, আধানের বেগ, চৌম্বক ক্ষেত্রের মান-এর উপর নির্ভর করে। আধানের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না।

৭। গ্যালভানোমিটারকে অ্যামিটারে পরিণত করতে হলে সমান্তরালে রোধ সংযোগ করতে হবে।

৮। দুটি সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্য দিয়ে পরস্পরের বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হলে তারদ্বয়ে সৃষ্ট বল পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। আর একই দিকে প্রবাহিত হলে আকর্ষণ করে।

৯। তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কার করেন ওয়েরস্টেড।

১০। কুরী বিন্দু পাওয়া যায় ফেরোচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে।

১১। চার্জিত একটি কণার উপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বলের মান শূন্য হবে যদি—
(ক) চার্জিত কণা প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে গতিশীল হয় (খ) চার্জিত কণা স্থির থাকে

১২। একটি চুম্বকের মধ্যে একটি বৃহদাকার ছিদ্র করা হলে তার চৌম্বক ভ্রামকের মান হ্রাস পাবে।

১৩। প্যারাচৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে আকর্ষিত হয়।

১৪। হল বিভবের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান হলো $E = \frac{V_H}{d}$ এবং $V_H \propto \frac{1}{n}$.

১৫। হিসটেরেসিসের ফলে শক্তির অপচয় ঘটে এবং বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

১৬। চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক চৌম্বক মেরুর মেরুশক্তি ও চৌম্বক দৈর্ঘ্যের গুণফলের সমান। ইহা একটি ভেক্টর রাশি। ইলেকট্রনের কৌণিক বেগ বেড়ে গেলে চৌম্বক মোমেন্ট বাড়ে।

১৭। সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র একটি গতিশীল ধনাত্মক আধানের উপর যে কাজ করে তার মান শূন্য হয়।

১৮। একটি পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে এটি যে চৌম্বক শক্তির সামর্থ্য অর্জন করে তা নির্ভর করে চৌম্বক গ্রাহীতার উপর। শূন্য স্থানে চৌম্বক প্রবেশ্যতার মান $4\pi \times 10^{-7}\ TmA^{-1}$.

১৯। ফেরোচৌম্বক পদার্থকে কুরি তাপমাত্রায় নিলে প্যারাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। ফেরোচৌম্বকের ক্ষেত্রে $\mu >> 1,\ K >> 1$.

২০। কক্ষপথে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রন (ক) নিজ অক্ষের সাপেক্ষে আবর্তন করে (খ) স্পিনের দরুন ইলেকট্রনের একটি চৌম্বক ভ্রামক উৎপন্ন হয়।

২১। ভূ-পৃষ্ঠের যে স্থানে ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ সমান সেখানে বিনতি কোণ 45°।

২২। ডায়াচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য হলো—(ক) এরা চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয় (খ) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu < 1$ এবং $K < 0$ হয়। প্যারা চৌম্বকের পদার্থের ক্ষেত্রে $\mu > 1$, $K > 1$.

২৩। একটি পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলো। এর চৌম্বক শক্তি অর্জন করার সামর্থ্য নির্ভর করে চৌম্বক গ্রাহীতার উপর। তড়িৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $B = \frac{\mu_0 I}{2r}$.

২৪। চুম্বকের জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য = চৌম্বক দৈর্ঘ্য ÷ 0·85, গাউস হলো চৌম্বক ক্ষেত্রের একক, $1T = 10^4$ Gauss বা, 1 Gauss = $10^{-4}$ T। পৃথিবীর উভয় মেরুতে বিনতির মান 90°।

২৫। বিষুবীয় অঞ্চলে বিনতি কোণের মান 0°। ঢাকার বিনতি 31°N।

২৬। কোনো কুণ্ডলীতলকে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার সংখ্যাকে বলা হয় ঐ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স। চৌম্বক পদার্থের প্রতি একক আয়তনে চৌম্বক ভ্রামককে চুম্বকায়ন তীব্রতা বলে।

২৭। লোহা ফেরোচৌম্বক, সোডিয়াম প্যারাচৌম্বক, সোনা ডায়াচৌম্বক পদার্থ। ডায়াচৌম্বক পদার্থ কঠিন, তরল ও বায়বীয় হতে পারে।

২৮। হিসটেরেসিস পর্যালোচনা করে পদার্থের ধারণ ক্ষমতা, সহনশীলতা, প্রবেশ্যতা জানা যায়।

২৯। একটি পরিবাহীর ভেতর দিকে I তড়িৎ প্রবাহের জন্য পরিবাহীর নিকটে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র $B \propto I$। কোনো স্থানে বিনতি কোণ 60° হলে H ও V এর মধ্যে সম্পর্ক হবে $V = \frac{\sqrt{3}}{2}H$।

৩০। ট্রান্সফরমারে অস্থায়ী চুম্বক ব্যবহার করা হয় না। ডায়াচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে $B < H$।

৩১। স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে সেই সকল পদার্থ অধিক উপযোগী যাদের চৌম্বক ধারণ ক্ষমতা ও চৌম্বক সহনশীলতা উচ্চ মানের হয়।

৩২। প্যারাম্যাগনেটিক পদার্থ দুর্বলভাবে চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকর্ষিত হয়।

৩৩। টর্ক ব্যবহৃত হয় গ্যালভানোমিটার, জেনারেটর এবং বৈদ্যুতিক মোটরে।

## অনুশীলনী

### (ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। ওয়েবস্টেডের পরীক্ষা থেকে জানা যায়—

(i) পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এর চারদিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়

(ii) চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকের ওপর নির্ভর করে

(iii) একই বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রের দিক ও মান নির্দিষ্ট নাও হতে পারে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২। যদি কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে সমকোণে 1 কুলম্ব চার্জ 1 $ms^{-1}$ বেগে গতিশীল হয় এবং 1 N বল অনুভব করে তবে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে কী বলে ?

ক 1 ওয়েবার

খ 1 টেসলা

গ 1 গাউস

ঘ 1 অ্যাম্পিয়ার

৩। চৌম্বক বলরেখার ধর্ম হলো—

(i) বলরেখাগুলো বন্ধ বক্ররেখা

(ii) বলরেখাগুলো পরস্পরকে ছেদ করে

(iii) বলরেখাগুলো উত্তর মেরু হতে দক্ষিণ মেরুর দিকে যায়

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

৪। $2l$ দৈর্ঘ্য, M চৌম্বক ভ্রামক এবং m মেরু শক্তি-বিশিষ্ট একটি দীর্ঘ চুম্বক শলাকাকে সমান দুভাগে ভাগ করা হলো। প্রত্যেক টুকরার চৌম্বক ভ্রামক ও মেরু শক্তি হবে—

ক M, m

খ M/2, m/2

গ M/2, m

ঘ M, m/3

৫। স্থির চার্জের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য—

(i) স্থির চার্জের ওপর তড়িৎক্ষেত্র বল প্রয়োগ করে

(ii) স্থির চার্জের ওপর চৌম্বক বল প্রযুক্ত হয়

(iii) গতিশীল চার্জের ওপরে চৌম্বক বল প্রযুক্ত হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

৬। দুটি তড়িৎবাহী তারে $I_1$ এবং $I_2$ প্রবাহ বিপরীত দিকে প্রবাহিত হচ্ছে এরা—

ক কোনো বল অনুভব করে না
খ এরা পরস্পর আকর্ষণ অনুভব করবে
গ এরা পরস্পর বিকর্ষণ অনুভব করবে
ঘ কোনোটিই নয়

৭। লরেঞ্জ বল হচ্ছে—

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

৮। চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-তে $\vec{v}$ বেগে গতিশীল একটি আধান $q$-এর উপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}$।

ক $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$
খ $\vec{F} = q(\vec{v} \cdot \vec{B})$
গ $\vec{F} = q\left(\frac{\vec{v}}{\vec{B}}\right)$
ঘ $\vec{F} = \vec{v}(\vec{q} \cdot \vec{B})$

৯। একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে কুণ্ডলীটি একটি টর্ক অনুভব করে। এই টর্কের মান—

(i) চৌম্বক ক্ষেত্রের সমানুপাতিক
(ii) কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক
(iii) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১০। $v$ বেগে একটি গতিশীল একটি চার্জিত কণা চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর অভিলম্ব বরাবর ওই ক্ষেত্রে প্রবেশ করার ফলে $r$ ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরতে থাকে। $\vec{B}$ এর মান বৃদ্ধি করলে কী ঘটবে ?

ক $v$ বৃদ্ধি পাবে
খ $v$ হ্রাস পাবে
গ $r$ বৃদ্ধি পাবে
ঘ $r$ হ্রাস পাবে

১১। চৌম্বকক্ষেত্র রেখার বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) দুটি ক্ষেত্র রেখা কোথাও পরস্পরকে ছেদ করে না
(ii) চুম্বকের অভ্যন্তরে কোনো ক্ষেত্র রেখার অস্তিত্ব নেই
(iii) যে অঞ্চলে ক্ষেত্র রেখার সংখ্যা বেশি, সেখানে চৌম্বক ক্ষেত্রও প্রবল

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১২। কোনো ঋজু তড়িৎবাহী তারের সন্নিহিত কোনো বিন্দুতে উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্র নির্ভর করে—

(i) তারের উপাদানের উপর
(ii) তার হতে বিন্দুটির দূরত্বের উপর
(iii) তড়িৎ প্রবাহের মান ও অভিমুখ

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৩। কক্ষপথে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রন—

(i) নিজ অক্ষের সাপেক্ষে আবর্তন করে
(ii) প্রতিটি কক্ষে দুটি ঊর্ধ্বমুখী স্পিন বা দুটি নিম্নমুখী স্পিনসম্পন্ন ইলেকট্রন থাকতে পারে
(iii) স্পিনের দরুন ইলেকট্রনের একটি চৌম্বক ভ্রামক উৎপন্ন হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৪। চৌম্বক ক্ষেত্র বা ফ্লাক্স ঘনত্ব B-এর একক হলো— [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) Tesla
(ii) $Weber/m^2$
(iii) $NAm^{-1}$

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৫। একটি চুম্বক ও একটি চার্জিত কণা আছে। কণার উপর বল ক্রিয়া করবে যদি—

(i) চুম্বক ও চার্জিত কণা উভয়েই স্থির থাকে
(ii) চুম্বকটি স্থির থাকে, কিন্তু চার্জিত কণা গতিশীল হয়
(iii) চুম্বকটি গতিশীল হয়, কিন্তু চার্জিত কণাটি স্থির থাকে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

১৬। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব উপাদান—

(i) বিচ্যুতি

(ii) বিনতি

(iii) ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ ii ও iii

গ i ও iii

ঘ i, ii ও iii

১৭। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 27·87 μT এবং বিনক্ষিত কোণ 30° হলে, ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ?

[রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

ক 32·18 μT

খ 16·09 μT

গ 24·18 μT

ঘ 55·74 μT

১৮। পৃথিবীর চৌম্বক নিরক্ষরেখায় কোনো স্থানে ভূচৌম্বক প্রাবল্য 35μT হলে ওই স্থানে ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান—

ক 35μT

খ < 35μT

গ >35μT

ঘ শূন্য

১৯। ভূপৃষ্ঠের যে স্থানে ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ সমান, সেখানে—

ক বিনতি কোণ 0°

খ বিনতি কোণ 90°

গ বিনতি কোণ 45°

ঘ বিনতি কোণ 60°

২০। যদি H এবং V যথাক্রমে কোনো স্থানের চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক এবং উল্লম্ব উপাংশ হয় যেখানে বিনতি কোণ 60°, তবে—

ক $V = H$

খ $V = \sqrt{3}H$

গ $V = \frac{1}{\sqrt{3}}H$

ঘ $V = \frac{\sqrt{3}}{2}H$

২১। ভূ-পৃষ্ঠের কোনো স্থানের বিনতি 31°N বলতে বুঝায় ঐ স্থানে ভারকেন্দ্র থেকে মুক্তভাবে ঝুলানো একটি চুম্বক শলাকা—

(i) অক্ষ স্থির অবস্থায় অনুভূমিক তলের সাথে 31° কোণ আনত থাকবে

(ii) উত্তর মেরু নিচের দিকে ঝুঁকে থাকবে

(iii) অক্ষ স্থির অবস্থায় উল্লম্ব তলের সাথে 59° কোণে আনত থাকবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২২। একটি প্যারাচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে—

ক $\mu > 1$ এবং $K < 1$

খ $\mu > 1$ এবং $K > 1$

গ $\mu = 1$ এবং $K > 1$

ঘ $\mu > 1$ এবং $K = 1$

২৩। ডায়াচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) এরা চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয়

(ii) এদের কুরি বিন্দু আছে

(iii) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $\mu < 1$.

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২৪। প্যারা চৌম্বক পদার্থ—

ক চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে আকর্ষিত হয়

খ চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয়

গ চুম্বক দ্বারা প্রবলভাবে আকর্ষিত হয়

ঘ চুম্বক দ্বারা প্রবলভাবে বিকর্ষিত হয়

২৫। হিসটেরেসিসের ফলে—

(i) শক্তির অপচয় ঘটে

(ii) বস্তুর তাপমাত্রা হ্রাস পায়

(iii) বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২৬। ফেরোচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) এরা চুম্বক দ্বারা খুব বেশি আকর্ষিত হয়

(ii) এদের কুরি বিন্দু আছে

(iii) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২৭। তড়িৎ চুম্বক নির্মাণের জন্য পদার্থের নিম্নোক্ত গুণাবলি থাকা উচিত—

(i) পদার্থটির সম্পৃক্ত চুম্বকন উচ্চমানের হওয়া প্রয়োজন

(ii) পদার্থটির সহনশীলতা বেশি হওয়া প্রয়োজন

(iii) পদার্থটির হিসটেরিসিস ক্ষয় কম হওয়া প্রয়োজন

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

২৮। স্থায়ী চুম্বক নির্মাণের জন্য উপযুক্ত পদার্থের—

(i) ধারণ ক্ষমতা উচ্চ মানের হতে হবে

(ii) পদার্থটির চৌম্বক ভেদ্যতা উচ্চ মানের হতে হবে

(iii) পদার্থটির সহনশীলতা কম মানের হতে হবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

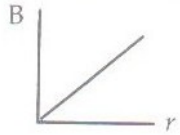
ক i ও ii

খ i ও iii

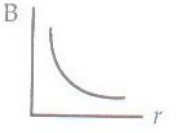
গ ii ও iii

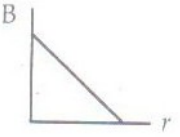
ঘ i, ii ও iii

২৯। একটি লম্বা সোজা পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের ফলে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব B এবং দূরত্ব $r$ এর মধ্যে লেখচিত্র নিচের কোনটি নির্দেশ করে?

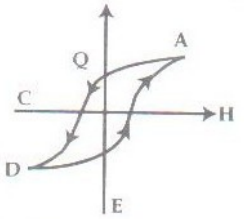
ক 


খ


গ 


ঘ 


৩০। নিচের চিত্রে OA হচ্ছে— [কু. বো. ২০১৫]




ক নিগ্রহবল

খ হিস্টেরিসিস

গ অবশিষ্ট চুম্বকত্ব

ঘ সম্পৃক্ত মান

৩১। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল চার্জবাহক ধনাত্মক হলে এর গতির দিক কোন দিকে হবে?

ক তড়িৎ প্রবাহের দিকে

খ চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে

গ চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে

ঘ তড়িৎ প্রবাহের বিপরীত দিকে

৩২। ফেরোচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে— [ঢা. বো. ২০১৫]

ক $\mu > 1, K >> 1$

খ $\mu << 1, K >> 1$

গ $\mu >> 1, K \leq 1$

ঘ $\mu < 1, K = 1$

৩৩। কোনো কুণ্ডলী তলকে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যাকে বলা হয় ঐ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট— [সি. বো. ২০১৫]

ক চৌম্বক আবেশ

খ চৌম্বক ফ্লাক্স

গ তড়িৎ আবেশ

ঘ তড়িৎ ফ্লাক্স

৩৪। 45 $cm^2$ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি তল $5 \times 10^{-5}$ T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণ তৈরি করে। তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স বের কর। [চ. বো. ২০১৫]

ক $1.95 \times 10^{-7}$ Tesla

খ $1.95 \times 10^{-7}$ Wb

গ $1.25 \times 10^{-7}$ Tesla

ঘ $1.25 \times 10^{-7}$ Wb

৩৫। 0.02 m ব্যাসার্ধের ও 6 পাকের একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে অবস্থিত। ক্ষেত্রের মান 0.5 T এবং কুণ্ডলী তল 60° কোণে অবস্থিত। কুণ্ডলীর সাথে জড়িত মোট ফ্লাক্স কত? [ব. বো. ২০১৫]

ক $9 \times 10^{-5}$ Wb

খ $3.15 \times 10^{-4}$ Wb

গ $5.44 \times 10^{-4}$ Wb

ঘ $3.26 \times 10^{-3}$ Wb

৩৬। স্পিন-একবিশিষ্ট কণার একবার পূর্ণ আবর্তনে আবর্তন কোণের মান কত?

ক 360°
খ 270°
গ 180°
ঘ 90°

৩৭। স্পিন $\frac{1}{2}$বিশিষ্ট কণাকে কত কোণে ঘুরালে একই রকম দেখা যাবে?

ক 0°
খ 45°
গ 90°
ঘ 120°

৩৮। চৌম্বক দিকের সাথে কত কোণে একটি চার্জিত কণা গতিশীল হলে সর্বোচ্চ বল অনুভব করবে?

ক 0°
খ 45°
গ 90°
ঘ 180°

৩৯। স্পিন-২বিশিষ্ট কণা দেখতে—

ক এক মাথা তীরের মতো। 180° আবর্তনে একই রকম দেখায়
খ 360° ঘুরালে একই রকম দেখাবে
গ একমুখী তীরের মতো
ঘ সবদিক থেকে একই দেখায়

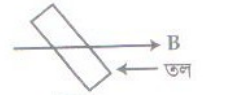
৪০। কৃত্রিম চুম্বক ব্যবহার করা হয়—

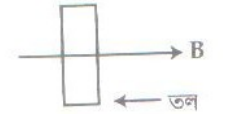
ক পরীক্ষাগারে
খ শিল্পে
গ বৈজ্ঞানিক কাজে
ঘ সবগুলোতে

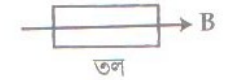
৪১। হল বিভবের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান হলো— [কু. বো. ২০১৫]

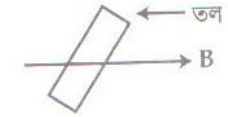
ক $E = V_H d$
খ $E = \frac{d}{V_H}$
গ $E = \frac{V_H}{d}$
ঘ $E = \frac{V_H}{V}$

৪২। কোন ক্ষেত্রে ফ্লাক্স সর্বাধিক ? [ঢা. বো. ২০১৫]

ক 


খ 


গ 

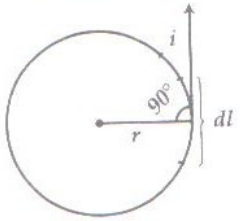

ঘ 


**উত্তর :**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ১। ক | ২। খ | ৩। খ | ৪। গ | ৫। গ | ৬। গ | ৭। গ | ৮। ক | ৯। ক | ১০। ঘ |
| ১১। ঘ | ১২। গ | ১৩। খ | ১৪। ক | ১৫। গ | ১৬। ঘ | ১৭। ক | ১৮। ক | ১৯। গ | ২০। খ |
| ২১। ক | ২২। ক | ২৩। খ | ২৪। ক | ২৫। খ | ২৬। ঘ | ২৭।খ | ২৮। ক | ২৯। গ | ৩০। ঘ |
| ৩১। ক | ৩২। ক | ৩৩। খ | ৩৪। খ | ৩৫। ঘ | ৩৬। খ | ৩৭। গ | ৩৮। গ | ৩৯। ক | ৪০। ঘ |
| ৪১। গ | ৪২। খ | | | | | | | | |

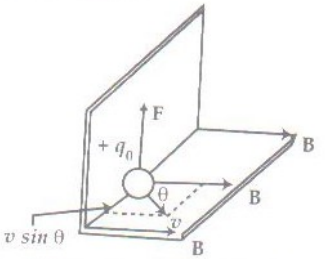
## (খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। পাশের চিত্রে একটি বৃত্তাকার পরিবাহী কুণ্ডলী দেখানো হয়েছে। পরিবাহীর $dl$ মিটার দৈর্ঘ্যের অতিক্ষুদ্র অংশ দিয়ে $i$ অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহ চলার ফলে পরিবাহীর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে। পরিবাহীর এই অংশের মধ্যবিন্দু হতে উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর দূরত্ব $r$ মিটার। ঐ বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য বা চৌম্বক ক্ষেত্র $dB$।




(ক) বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রটি বিবৃত কর।
(খ) শূন্য স্পিন, স্পিন-এক, স্পিন-দুই কাকে বলে চিত্রসহ লিখ।
(গ) উদ্দীপকের চিত্রের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 40 এবং ব্যাস 32 cm। কুণ্ডলীতে কত মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে 300 $\mu Wb/m^2$ চৌম্বক প্রাবল্য সৃষ্টি হবে?
(ঘ) উদ্দীপকের চিত্রের কুণ্ডলীতে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে গাণিতিকভাবে বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এবং কৃত্তাকার কুণ্ডলীর পরিবর্তে দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের বা ফ্লাক্স ঘনত্বের রাশিমালার তুলনা কর।

২। নিচের চিত্রে একটি চার্জ $q_0$ চৌম্বক ক্ষেত্র B-এর সাথে $\theta$ কোণে $v$ বেগে গতিশীল রয়েছে।




(ক) চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব কী ?

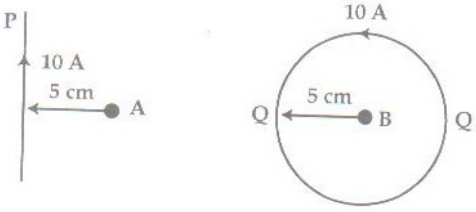
(খ) সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল কী কী বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?

(গ) উদ্দীপকের চিত্রের চৌম্বক ক্ষেত্র 0·5 টেস্‌লা এবং একটি ইলেকট্রন চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে $80°$ কোণে $10^5 ms^{-1}$ বেগে গতিশীল থাকলে ইলেকট্রনটির উপরে চৌম্বক বলের মান নির্ণয় কর।

(ঘ) চার্জটি যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে $90°$ কোণে এবং $0°$ কোণে গতিশীল হয় তবে বলের মান কীরূপ পরিবর্তন হবে ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৩।

চিত্রে P ও Q দুটি যথাক্রমে সরল তড়িৎবাহী ও বৃত্তাকার পরিবাহী তার। উভয়ের মধ্য দিয়ে 10A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে।



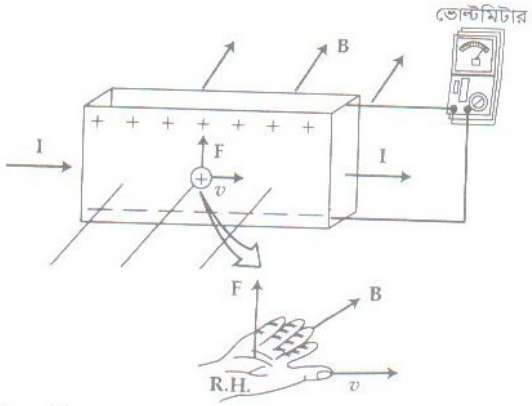

(ক) 1 টেসলা বলতে কী বোঝ ?

(খ) তড়িৎবাহী পরিবাহীর চতুর্দিকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\cos\alpha$ এর সমানুপতিক না হয়ে $\sin\alpha$ এর সমানুপাতিক হয় কেন ?

(গ) A বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকে তড়িৎবাহী তার হতে A ও B বিন্দুর দূরত্ব সমান হলে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বেশি হবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে মতামত দাও।

৪। নিচের চিত্রে একটি পাতলা ও চওড়া ধাতব পরিবাহী পাত নেয়া হয়েছে। পাতের মধ্য দিয়ে দৈর্ঘ্য বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। পাতটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র B-এ এমনভাবে স্থাপন করা হয়েছে যেন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পাতের চওড়া পৃষ্ঠের অভিলম্ব বরাবর থাকে।




$l = 60$ cm
$d = 0·02$ m
$t = 5$ cm
$B = 6$ Wb m$^{-2}$
$I = 5$A

(ক) হল ক্রিয়া কী?

(খ) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর ওপর টর্কের উৎপত্তি ঘটে কেন ?

(গ) উদ্দীপকের চিত্রের 0·02m প্রস্থের ধাতব পাতটি $6 Wbm^{-2}$ চৌম্বক আবেশ ক্ষেত্রে পরস্পরের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত। পাতের মধ্যে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $4 \times 10^{-3} ms^{-1}$ হলে সৃষ্ট হল বিভবের মান নির্ণয় কর।

(ঘ) চৌম্বক ক্ষেত্রকে তড়িৎ প্রবাহের দিকের সাথে উদ্দীপকের মানের অর্ধেক কোণ প্রয়োগ করা হলে কোন ক্ষেত্রে হল তড়িৎ ক্ষেত্রের মান বেশি পাওয়া যাবে ? উত্তরের সপক্ষে গাণিতিক যুক্তি দাও।

৫। একটি চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B} = 6\hat{i}$T, উক্ত ক্ষেত্রে একটি খোলা পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল $\vec{A} = (2\hat{i} + 3\hat{j} - \sqrt{3}\hat{k})$।

(ক) চৌম্বক হিসটেরেসিস এবং চৌম্বক সম্পৃক্তি কী ?

(খ) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্যের বৈশিষ্ট্যগুলো লিখ।

(গ) উদ্দীপকে বর্ণিত পৃষ্ঠের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

(ঘ) যদি উদ্দীপকে বর্ণিত A ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট পৃষ্ঠের তলটি চৌম্বক ক্ষেত্র B এর সাথে 30° কোণে অবস্থিত হয়, তবে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের কোনো পরিবর্তন হবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

## (গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। 1 ওয়েবস্টেড বলতে কী বোঝ ? বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র বিবৃত কর।

২। একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 1·5T বলতে কী বোঝ ? হল ক্রিয়া কী ?

৩। চৌম্বক ক্ষেত্রের একক কী ?

৪। 1 টেসলা বলতে কী বোঝ ?

৫। চৌম্বক ফ্লাক্স কী ? এর একক কী ?

৬। ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়ম ব্যাখ্যা কর।

৭। চৌম্বক বলের দিক নির্ণয়ে ডান হস্ত নিয়ম বিবৃত কর।

৮। চৌম্বক বলরেখা কাকে বলে ?

৯। কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ও দিক কীভাবে বলরেখা দ্বারা নির্দেশিত হয় ?

১০। লরেঞ্জ বল কী ? এর রাশিমালা লিখ।

১১। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের জন্য উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র সম্পর্কে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র বিবৃত কর।

১২। বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে একটি তড়িৎবাহী বৃত্তাকার লুপের কেন্দ্র বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।

১৩। বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে একটি অসীম দৈর্ঘ্যের তড়িৎবাহী সোজা তার থেকে $r$ দূরত্বে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।

১৪। অ্যাম্পিয়ারের সূত্র বিবৃত কর। চৌম্বক বল ও চৌম্বক ক্ষেত্রের সংজ্ঞা দাও।

১৫। বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র এবং অ্যাম্পিয়ার সূত্র কোন কোন ক্ষেত্রে প্রযোজ্য ?

১৬। 'চৌম্বক বল দ্বারা কৃত কাজ শূন্য'—ব্যাখ্যা কর।

১৭। চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল একটি আহিত কণার উপর ক্রিয়াশীল বলের রাশিমালা নির্ণয় কর।

১৮। পরিবাহী তারে ইলেকট্রন চলাচলের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের ব্যাখ্যা কর।

১৯। অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা দাও।

২০। হল ক্রিয়া কী ?

২১। হল ভোল্টেজ এর সংজ্ঞা দাও। হল ক্রিয়ার সাহায্যে চার্জের প্রকৃতি কীভাবে নির্ণয় করা যায়?

২২। ইলেকট্রনের স্পিন বলতে কী বুঝ ?

২৩। ইলেকট্রনের কক্ষীয় এবং অক্ষীয় দ্বিমেরু ভ্রামক ব্যাখ্যা কর।

২৪। স্পিন বলতে কী বোঝ ? স্পিন $1, \frac{1}{2}, 2$ বলতে কী বুঝ ?

২৫। সংজ্ঞা দাও :

(ক) চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক, (খ) চৌম্বক আবেশ, (গ) কুরি বিন্দু (ঘ) চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা, (ঙ) চৌম্বক প্রবেশ্যতা, (চ) চৌম্বক ধারকতা, (ছ) চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা, (জ) চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা।

২৬। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব ব্যাখ্যা কর।

২৭। ঢাকার বিচ্যুতি কোণ $\left(\frac{1}{2}\right)^{\circ}$ পূর্ব বলতে কী বোঝ ?

২৮। ঢাকার বিনতি কোণ 31°N বলতে কী বোঝ ?

২৯। চৌম্বক মধ্যতল ও ভৌগোলিক মধ্যতল বলতে কী বুঝ ?

৩০। ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান কয়টি এবং কী কী ?

৩১। ভূ চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্যের সংজ্ঞা দাও।

৩২। বিনতি কোণ কাকে বলে ?

৩৩। বিচ্যুতি বলতে কী বোঝ ?

৩৪। হিসটেরিসিস লুপ কী ?

৩৫। পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাদানসমূহ বর্ণনা কর।
৩৬। প্যারা, ডায়া, ফেরা, ফেরি, এন্টিফেরো চৌম্বক এর সংজ্ঞা দাও।
৩৭। চৌম্বক ডোমেইন কী ? ডোমেইন তত্ত্বের সাহায্যে ফেরো চৌম্বক এবং আবিষ্ট চৌম্বকত্ব ব্যাখ্যা কর।
৩৮। তড়িৎ চুম্বক, স্থায়ী চুম্বক এবং অস্থায়ী চুম্বকের সংজ্ঞা দাও ও এদের ব্যবহার উল্লেখ কর।
৩৯। স্থায়ী চুম্বকের জন্য কী ধরনের পাদার্থ নেওয়া হয় ?
৪০। তড়িৎ চুম্বক কী ? এ ধরনের চুম্বক কীভাবে তৈরি করা হয় ?
৪১। স্থায়ী চুম্বক ও অস্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার লিখ।

## (ঘ) ক্রিয়াকর্ম

পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক এ সম্বন্ধে একটি প্রতিবেদন রচনা করে শ্রেণিকক্ষে উপস্থাপন কর।

## (ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। 1 m দীর্ঘ একটা ঋজু তারের মধ্য দিয়ে 1A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি $0.02\ \text{Wb. m}^{-2}$ মানের একটা সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্র রেখার সাথে কত কোণে অবস্থান করলে 0.01N বল অনুভব করবে ? [ উত্তর : 30° ]

২। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 0.02m এবং পাকসংখ্যা 100। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 5A কারেন্ট প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশের মান নির্ণয় কর। [ উত্তর : $15.7 \times 10^{-3}\ \text{Wb m}^{-2}$ ]

৩। $2.5\ \text{Wbm}^{-2}$ ফ্লাক্স ঘনত্বের একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে একটি প্রোটন $1.5 \times 10^{7}\ \text{ms}^{-1}$ বেগে প্রবেশ করলে কত বল অনুভব করবে ? [ উত্তর : $3 \times 10^{-12}$ N ]

৪। 25A বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাবাহী 0.1 m দৈর্ঘ্যের একটি পরিবাহী তার 1.6T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে অবস্থান করলে কত বল অনুভব করবে ? [ উত্তর : 4N ]

৫। 4.175 kV বিভব পার্থক্যে একটি $\alpha$-কণা স্থিরাবস্থা হতে ত্বরিত হওয়ার পর 0.4T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে প্রবাহিত হলে কণাটির গতিপথের ব্যাসার্ধ কত হবে ? [ $m = 6.68 \times 10^{-27}$ kg ]
[Hints : $\frac{1}{2}mv^2 = 2eV$, $\frac{mv^2}{r} = qvB$, $r = 0.033$ m, $v = 6.32 \times 10^{5}\ \text{ms}^{-1}$] [ উত্তর : 0.033 m ]

৬। 50 পাকের একটি আয়তাকার কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য 0.25 m ও প্রস্থ 0.20 m। 0.2T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের কুণ্ডলী দিয়ে 4 A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর উপর কত টর্ক ক্রিয়া করবে ? [উত্তর : 2 Nm]

৭। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস 0.1 m ও পাক সংখ্যা 25। কুণ্ডলী দিয়ে 4A বিদ্যুৎ প্রবাহ চললে কেন্দ্রে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব কত হবে ? [ উত্তর : $1.2568 \times 10^{-3}$ T ]

৮। 1m দীর্ঘ একটি তারের মধ্য দিয়ে 10A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি $0.15\ \text{Wbm}^{-2}$ মানের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে অবস্থান করলে কত বল অনুভব করবে ? [ উত্তর : 0.75N ]

৯। 5A মাত্রার একটা বর্গাকার বিদ্যুৎবাহী এক পাকের কুণ্ডলী ABCD-এর ক্ষেত্রফল $10^{-2}\ \text{m}^2$। কুণ্ডলীটি $2 \times 10^{-3}\ \text{Wbm}^{-2}$ মানের একটা সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখার সমান্তরালে স্থাপিত। কুণ্ডলীর পরস্পর বিপরীত AB ও CD বাহু ক্ষেত্ররেখার সমকোণ থাকাকালীন AB বা CD-এর উপর কত বল ক্রিয়া করবে ? এমতাবস্থায় কত মোমেন্টের দ্বন্দ্ব কুণ্ডলীর উপর ক্রিয়া করবে ? [ উত্তর : $10^{-3}$ N ও $10^{-4}$ N.m ]

১০। 6 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর ব্যাস 4 cm। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 2A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামকের মান কত হবে ? [ উত্তর : $1.5 \times 10^{-2}\ \text{Am}^2$ ]

১১। 100 পাকের একটি বর্গাকার ঝুলন্ত তারকুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল $0.09\ \text{m}^2$; 2.4A বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে কুণ্ডলীকে $1.8\ \text{A. m}^{-1}$ প্রাবল্যের একটা অনুভূমিক সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখার সমান্তরালে স্থাপন করলে কুণ্ডলীতে টর্ক কত হবে? কুণ্ডলীর তল বল রেখার সাথে (ক) 60°, (খ) 90° কোণে স্থাপন করলে টর্কের মান কত হবে ?
[ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{Wb.A}^{-1}\text{.m}^{-1}$] [উত্তর : $488.56 \times 10^{-7}$ N.m ; $423.12 \times 10^{-7}$ Nm ; শূন্য ]

১২। $10^{-3}$T চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত একটি সোজা তার দিয়ে 5A তড়িৎ প্রবাহ চলে। তারটির একক দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল নির্ণয় কর। [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০১১-১২] [উত্তর : $5 \times 10^{-3}$ N ]

১৩। যখন 0.5 H বিশিষ্ট একটি কয়েলের তড়িৎ প্রবাহ 50 ms সময়ে 0.5 A থেকে 2.5 A এ বর্ধিত করা হয় তখন গড় স্বকীয় আবেশের তড়িৎচালক বল কত হবে ? [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০-১১] [উত্তর : 20V]

১৪। একটি সলিনয়েডে প্রবাহিত বিদ্যুৎ 167 A/m মানের চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সলিনয়েডের ভেতর 5000 মানের চৌম্বক প্রবেশ্যতাবিশিষ্ট লোহার কোর থাকলে সলিনয়েডের ভেতর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে ?
[ Hints : $\mu = \frac{B}{H}$, $B = \mu \times H$ ] [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১১-১২] [উত্তর : 835000 T]

১৫। একটি ইলেকট্রন $\vec{E} = (\hat{i} + 2\hat{j} - 8\hat{k})$ $Vm^{-1}$ তড়িৎক্ষেত্রে ও $\vec{B} = (2\hat{i} + 3\hat{k})$ T চৌম্বকক্ষেত্রে $(2\hat{i} + 2\hat{j})$ $ms^{-1}$ বেগে প্রবেশ করল। ইলেকট্রনের উপর বলের মান বের কর।
[ Hints : $\vec{F}_2 = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q\vec{E} + q\vec{V} \times \vec{B}$ ] [উত্তর : $2.313 \times 10^{-18}$ N ]

১৬। 80 cm দীর্ঘ একটি সলিনয়েডে পরপর খুব কাছাকাছি পাঁচটি স্তরে তার জড়ানো আছে। প্রতিটি স্তরের পাকসংখ্যা 400। সলিনয়েডের ব্যাস 1.8 cm। প্রবাহমাত্রা 8A হলে সলিনয়েডের কেন্দ্রের নিকটবর্তী অঞ্চলে $\vec{B}$-এর মান কত ? [উত্তর : .2234 J ]

১৭। একটি দীর্ঘ ঋজু পরিবাহী থেকে 20 cm দূরত্বে $10^{-6}$ T চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হলে পরিবাহীতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। [উত্তর : 1A]

১৮। একটি দীর্ঘ ঋজু সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 1m এবং পাক সংখ্যা 5000। এদের মধ্য দিয়ে 10A মানের প্রবাহ গেলে সলিনয়েডের অক্ষস্থিত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : $6.28 \times 10^{-2}$ T]

১৯। একটি $10^{-3}$ T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বে রাখা একটি 1 m দীর্ঘ তারের মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটির উপর চৌম্বক বল কত হবে ? [উত্তর : $2 \times 10^{-3}$ N]

২০। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 0.1 m। এর মধ্য দিয়ে 100 mA তড়িৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এর কেন্দ্র থেকে $x = 0.1$ m দূরত্বে কুণ্ডলীর অক্ষের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।
[উত্তর : $6.28 \times 10^{-7}$ T, $2.22 \times 10^{-7}$ T]

২১। $(2\hat{i} + 3\hat{k})$ T চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে একটি ইলেকট্রন $(3\hat{i} + 3\hat{j})$ $ms^{-1}$ বেগ নিয়ে গতিশীল হলে ইলেকট্রনের উপর প্রযুক্ত বলের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : $22.5 \times 10^{-19}$N]

২২। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বৃত্তাকার কক্ষপথটির ব্যাসার্ধ $0.53 \times 10^{-10}$ m। এই কক্ষপথে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রনের বেগ $2.186 \times 10^6$ $ms^{-1}$। ইলেকট্রনটির চৌম্বক ভ্রামক কত ? [উত্তর : $9.27 \times 10^{-24}$ $Am^2$]

২৩। একটি ক্ষুদ্র দণ্ড চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক $2Am^2$। চুম্বকটির কেন্দ্র থেকে 10 cm দূরে লম্ব দ্বিখণ্ডকের উপর কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : $2 \times 10^{-4}$ T]

২৪। কোনো স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য মোট প্রাবল্যের অর্ধেক হলে ওই স্থানের বিনতি কোণ কত হবে ? [উত্তর : 60°]

২৫। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $4 \times 10^{-4}$ T এবং বিনতি 60°। ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ বের কর। [উত্তর : 20 μT; 34.64 μT]

২৬। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান 30 μT এবং বিনতি 60°। ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 51.96 μT]

২৭। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 28 $Am^{-1}$ এবং বিনতি 30°। ঐ স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য কত ? [উত্তর : 32.33 $Am^{-1}$]

২৮। কোনো স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য 22.5 μT। ঐ স্থানের বিনতি 30° হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য কত ? [উত্তর : 19.49 μT]

২৯। 20 cm চওড়া ও 1.0 mm পুরু একটি ধাতব পাতকে 1.5 T চৌম্বকক্ষেত্রে এমনভাবে স্থাপন করা হলো যেন পাতের সমতল চৌম্বকক্ষেত্রের লম্বভাবে থাকে। পাতের মধ্য দিয়ে 200A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে উদ্ভূত হল ভোল্টেজ নির্ণয় কর। পাতের প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনে সংখ্যা $8.4 \times 10^{28}$ $m^{-3}$।
[উত্তর : $22.32 \times 10^{-6}$ V]

৩০। একটি ধাতব পাতের প্রস্থ 0.02 m এবং পুরুত্ব 0.001 m। পাতটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $8.4 \times 10^{-4}$ $ms^{-1}$। পাতটি 4 $Wb/m^2$ চৌম্বকক্ষেত্রে অবস্থিত। চৌম্বকক্ষেত্র পাত ধারণকারী তলের লম্ব বরাবর। তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র এবং হল ভোল্টেজ নির্ণয় কর।
[উত্তর : 67.2 μV, $33.6 \times 10^{-4}$ volt $m^{-1}$]

৩১। 250 পাকবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কয়েলের ব্যাসার্ধ 5 cm। যদি কয়েলের মধ্যে 20A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় তবে কয়েলের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ? $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ $TmA^{-1}$
[ Hints : $B = \frac{\mu NI}{2r}$ ] [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০-১১] [ উত্তর : 0.063 T]