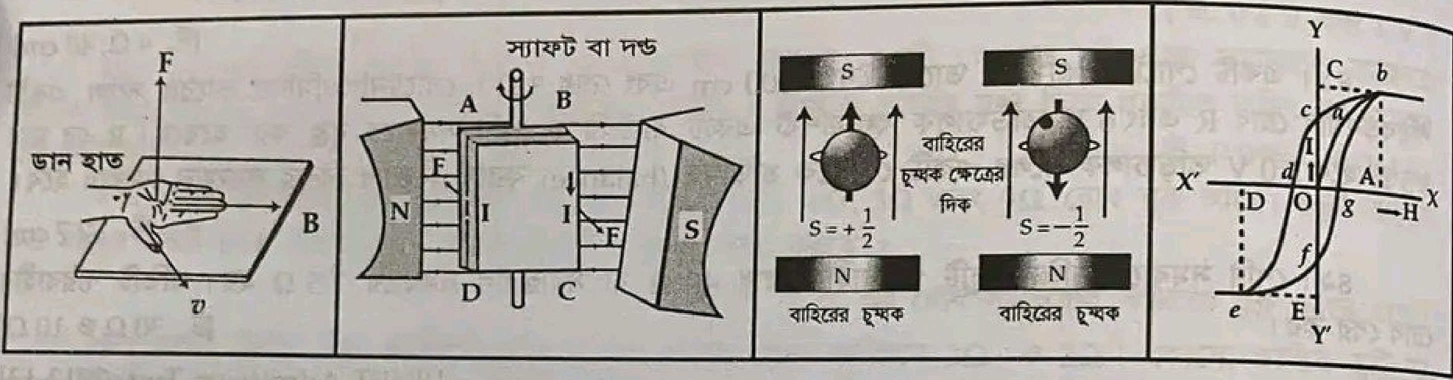
৪ তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ও চুম্বকত্ব
MAGNETIC EFFECTS OF CURRENT AND MAGNETISM

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 ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব, ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র, পৃথিবীর চৌম্বকত্ব, ভূচুম্বকত্বের উপাদান, প্যারাচৌম্বকত্ব, ডায়াচৌম্বকত্ব, ফেরোচৌম্বকত্ব, এন্টিফেরোচৌম্বকত্ব, চৌম্বক ডোমেইন, তড়িৎ চুম্বক, অস্থায়ী চুম্বক, স্থায়ী চুম্বক, হিসটেরিসিস 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 ডেনমার্কের 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 প্রাবল্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বায়োট-স্যাভার্টের সূত্র, অ্যাম্পিয়ার সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- গতিশীল চার্জের ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের বলের মান ও দিক, পরিবাহী তারের ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের বল নির্ণয় করতে পারবে।
- হল প্রভাব এবং চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবাহী লুপের ওপর ক্রিয়াশীল টর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কক্ষ পথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র এবং ইলেকট্রনের স্পিনের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র বর্ণনা করতে পারবে।
- পৃথিবীর চৌম্বকত্ব ও এর উপাদান, বিভিন্ন প্রকার চৌম্বকত্ব, চৌম্বক ডোমেইনের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- হিস্টেরিসিসের লেখচিত্রসহ অস্থায়ী ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবে।

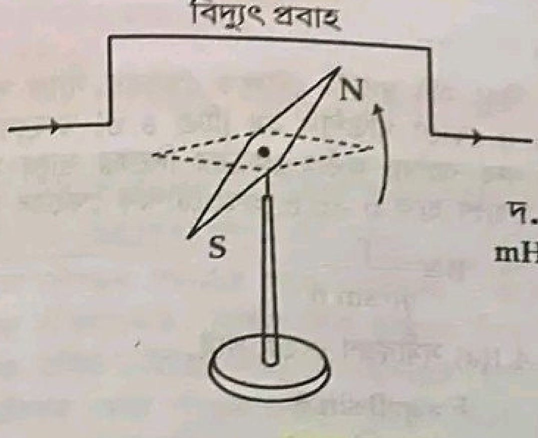
৪·১ ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা
Oersted's concept about magnetic field

পদার্থবিদ্যার যে শাখায় বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আলোচনা করা হয় তাকে বিদ্যুৎ চুম্বকত্ব (electromagnetism) বলে। বিজ্ঞানী **এইচ সি ওয়েরস্টেড** আকস্মিকভাবে আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎবাহী তারের চতুর্পার্শে 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 বর্ণনা করা যায়। বিজ্ঞানী ওয়েরস্টেড সর্বপ্রথম এই পরীক্ষাটি করেন বলে এই পরীক্ষার নাম **ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা।**

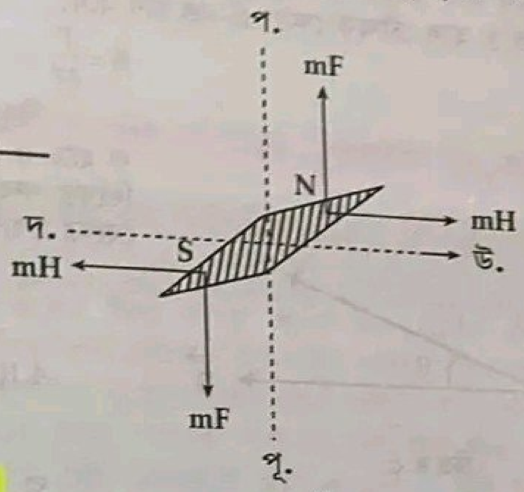
তড়িৎ এবং বিদ্যুৎ দুটি শব্দ একই অর্থ বহন করে। এই অধ্যায়ে আমরা বিদ্যুৎ ও তড়িৎ দুটি শব্দই ব্যবহার করেছি। এতে বিভ্রান্ত হওয়ার কিছু নেই।

৪·১·১ ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা

এই পরীক্ষায় একটি মুক্তভাবে ঘূর্ণনক্ষম চুম্বক শলাকা থাকে [চিত্র ৪·১ (ক)]। এর খানিকটা ওপরে 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 ওপর নির্ভর করে;

৩। বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকের ওপর সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ভর করে এবং

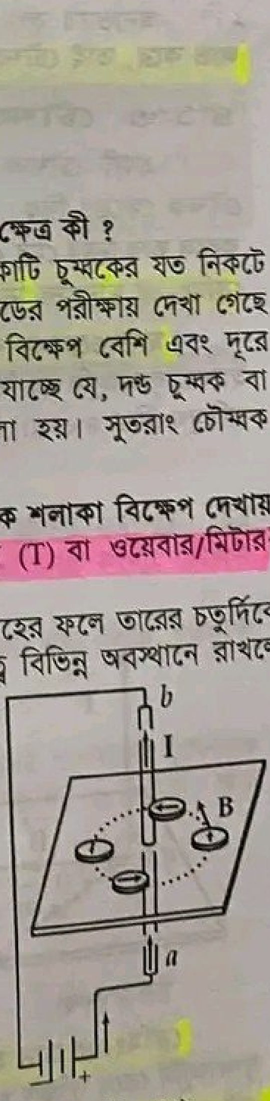
৪। বিদ্যুৎ প্রবাহ যতক্ষণ থাকে, এই চৌম্বক ক্ষেত্রও ততক্ষণ থাকে।

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। ওপরের আলোচনা থেকে বুঝা যাচ্ছে যে, দণ্ড চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের আশেপাশের অঞ্চলে এর প্রভাব রয়েছে। এ অঞ্চলকে চৌম্বক ক্ষেত্র বলা হয়। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্রের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে।

সংজ্ঞা : কোনো চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ওই চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে। চৌম্বক ক্ষেত্রের একক টেসলা (T) বা ওয়েবার/মিটার^2 (Wb/m^2)।

ব্যাখ্যা : মনে করি ab একটি তারের ভিতর দিয়ে I বিদ্যুৎ প্রবাহ চলছে। এই 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 ওই 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—



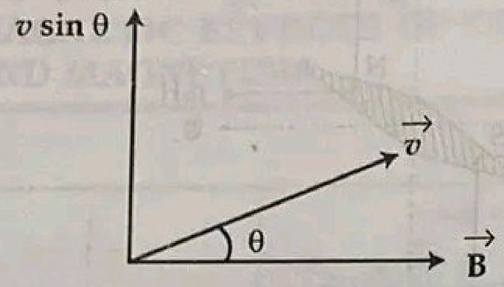
চিত্র ৪·২

সংজ্ঞা : চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা চৌম্বক ক্ষেত্রে অঙ্কিত কতকগুলো বদ্ধ বক্ররেখা যাদের কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক উক্ত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে।

৪·১·২ চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয়

চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে একটি চার্জ বা আধান গতিশীল হলে এবং ওই চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান F হলে, ওই 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 ৪·৩

কিন্তু যদি চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল না হয়ে θ কোণে গতিশীল হয় [চিত্র ৪·৩] তাহলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের লম্ব বরাবর অর্থাৎ ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে চার্জটির বেগের উপাংশ হবে $v \sin\theta$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের মান হবে,

$$B = \frac{F}{qv \sin\theta} \quad \ldots \quad \ldots \quad [4.1(a)]$$

4.1(a) সমীকরণ থেকে পাই,

$$F = qvB \sin\theta$$

বা, $$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad [4.1(b)]$$

[4.1(b)] সমীকরণ গতিশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বলের রাশিমালা।

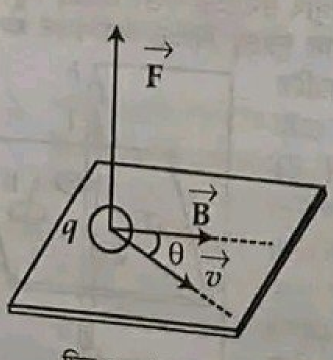
এই বলের দিক নির্ণয়ে একটি ডানহাতি স্ক্রুকে বেগ $\vec{v}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এর সমতলে লম্বভাবে স্থাপন করে $\vec{v}$ থেকে $\vec{B}$ এর দিকে ক্ষুদ্রতম কোণে ঘুরালে যে দিকে অগ্রসর হবে সেই দিক হবে গতিশীল ধনাত্মক চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বল $\vec{F}$ এর দিক [চিত্র ৪·৩(ক)]।

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]।

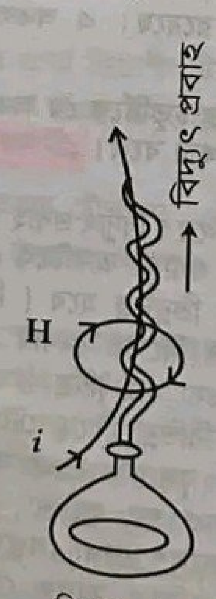
৪·১·৩ চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ণয়

একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক। চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ একটি ভেক্টর রাশি। **একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক।** এই দিক ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র এবং ফ্লেমিং-এর ডানহস্ত নিয়ম দ্বারা নির্ণয় করা যায়।

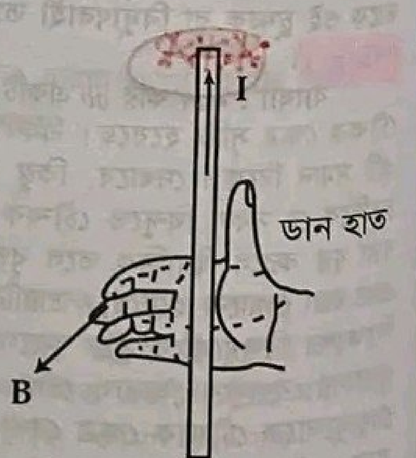
ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র : একটি তড়িৎবাহী তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখে ডান পাকের কর্ক-স্ক্রুকে ঘুরালে হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলি যে দিকে ঘুরে চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু সেদিকে বিক্ষিপ্ত হবে। অর্থাৎ ওই দিক হবে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ [চিত্র ৪·৩(খ)]।



চিত্র ৪·৩(ক)



চিত্র ৪·৩(খ)



চিত্র ৪·৩(গ)

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

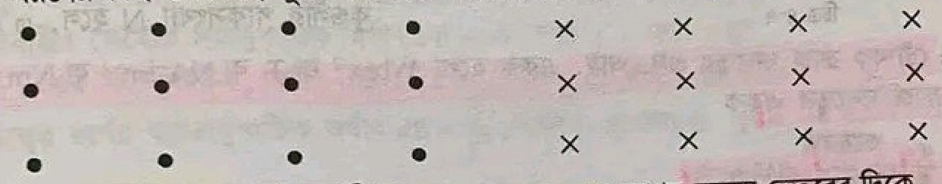
কাজ : সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল কী কী বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল ?

সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল, $F = qvB \sin \theta$। এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে বল নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল :

(১) চার্জের মান (q)
(২) চৌম্বক ক্ষেত্রের মান (B)
(৩) চার্জের বেগ (v)
(৪) চৌম্বক ক্ষেত্র ও চার্জের গতির দিকের মধ্যবর্তী যে কোণ (θ) উৎপন্ন করে তার sin অর্থাৎ sin θ এর সমানুপাতিক।

নিজে কর : কোনো স্থানের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় একটি চার্জিত কণা বিক্ষিপ্ত হলো না। ওই 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 ওপরের 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। এই পদ্ধতি অনুসারে চৌম্বক ক্ষেত্র কাগজ তলের বাইরের দিকে অর্থাৎ পাঠকের দিকে তা দেখানোর জন্য কতকগুলো ডট (Dot, .) চিহ্ন [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 ওপর 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 ওপর 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 ওপর কোনো বল প্রযুক্ত হবে না।
(iii) চার্জের অভিমুখ এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পরস্পর লম্ব হলে গতিশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল = Bqv হয়; এখানে B = চৌম্বক আবেশ, q = চার্জ এবং v = চার্জের বেগ।

৪·১·৪ কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা
Some important definitions

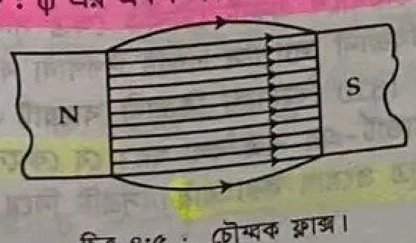
চৌম্বক ফ্লাক্স (Magnetic flux) : চৌম্বক ক্ষেত্রকে সাধারণত চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। চিত্র ৪·৫–এ একটি অশ্বখুরাকৃতির দুই মেরুর মধ্যবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা দেখানো হয়েছে। ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের ওপর নির্ভর করে।

এখন চৌম্বক ক্ষেত্রে যদি একটি তল (বাস্তব বা কাল্পনিক) নেয়া হয়, তবে ওই তলের মধ্য দিয়ে যতগুলো চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা অতিক্রম করে তাকে **চৌম্বক ফ্লাক্স** বলে। একে φ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

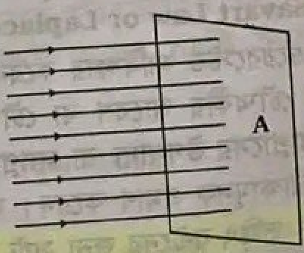
$\varphi = BA$; এখানে B = চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, A = তলের ক্ষেত্রফল।

অন্যভাবে বলা যায় কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ওই তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ওই তলের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স বলে। চৌম্বক ক্ষেত্র তলের সাথে লম্বভাবে ক্রিয়া করলে, $\varphi = AB$। আর লম্বের সাথে θ কোণে ক্রিয়াশীল হলে, $\varphi = AB \cos \theta$ হয়।

একক : φ এর একক Wb বা Tm^2 বা NmA^{-1}



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] ওই কুণ্ডলী বা তলের একক ক্ষেত্রফল দিয়ে যতগুলো ক্ষেত্ররেখা অতিক্রম করে তাকে ওই তলের **চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব** বলে।

যদি চৌম্বক ফ্লাক্স φ এবং তলের ক্ষেত্রফল A হয়, তবে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব B হবে,

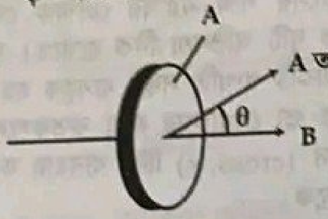
$$B = \varphi/A \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.2)$$

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

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

এখন চৌম্বক আবেশ B এবং কুণ্ডলী তল A-এর ওপর অঙ্কিত লম্ব পরস্পর θ কোণে অবস্থিত [চিত্র ৪.৭] হলে চৌম্বক ফ্লাক্স φ হবে,

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



চিত্র ৪.৭

অতএব, চৌম্বক ফ্লাক্সকে চৌম্বক আবেশ 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, $\varphi = NAB\cos\theta$

একক : চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্বের এস. আই. একক হলো Wbm^{-2} বা T বা $NA^{-1}m^{-1}$ বা $Nm^{-1}C^{-1}s$

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 ওই 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 হয়ে এবং 1 N বল অনুভব করে, তবে ওই চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে 1 টেসলা (T) বলে। 1 T = 1 Wbm^{-2}.

গাউস (Gauss) : গাউস হলো চৌম্বক ক্ষেত্র পরিমাপের অন্য একটি একক। এই একক পূর্বে ব্যবহার করা হতো। এটি এস আই একক নয়। 1 T = 10^4 gauss

গাণিতিক উদাহরণ ৪.১

৪। $0.5\ m^2$ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি তল 4×10^{-5} T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণ উৎপন্ন করে। ওই তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\begin{aligned}\varphi &= AB\cos\theta \\ &= 0.5 \times 4 \times 10^{-5} \cos 60° \\ &= 10 \times 10^{-6}\ Wb\end{aligned}$$

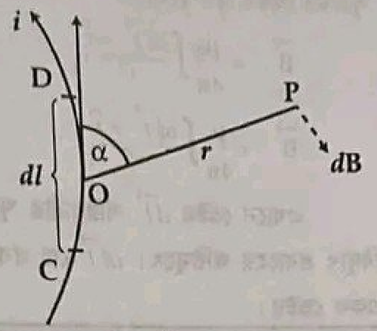
এখানে,
$A = 0.5\ m^2$
$B = 4 \times 10^{-5}$ T
$\theta = 90° - 30° = 60°$
$\varphi = ?$

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 করেন। তাই এ সূত্রটিকে বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র বলা হয়। যে কোনো আকারের পরিবাহী ও বিভিন্ন তড়িৎ বণ্টনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয়ে এই 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 মধ্য বিন্দু হতে ওই বিন্দুর সংযোগ রেখা এবং পরিবাহীর অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক,
(iv) পরিবাহীর মধ্য বিন্দু হতে ওই বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।



চিত্র ৪৮

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

চিত্র ৪৮ 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 α হয়, তবে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রানুসারে চৌম্বকীয় আবেশ—

(i) বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক অর্থাৎ $dB \propto i$, যখন dl, r এবং α ধ্রুব,
(ii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক অর্থাৎ $dB \propto dl$, যখন i, r এবং α 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 α ধ্রুব।

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

S. I. পদ্ধতিতে বায়ু বা শূন্য মাধ্যমের জন্য

$K = \frac{\mu_0}{4\pi}$, μ_0 হচ্ছে শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা (magnetic permeability)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{Wbm}^{-1}\text{A}^{-1}$ বা, 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, μ 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 ওই 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 $$B = \frac{\mu}{4\pi}\int\frac{idl\sin\alpha}{r^2} \quad \text{(অন্য মাধ্যমে)} \quad \ldots \quad (4.8)$$

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

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

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

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 ওই 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 ওপর 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 ওপর ক্রিয়ারত বল হলো $Bidl$ এবং সম্পূর্ণ পরিবাহীর ওপর ক্রিয়ারত বল $F = Bi\sum dl = Bil$.

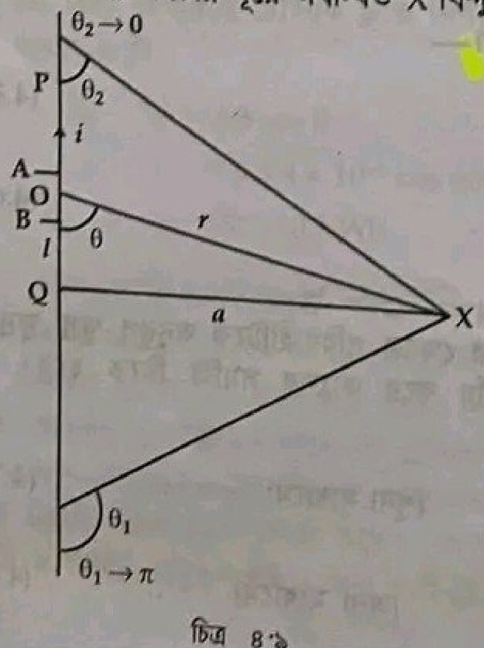
(ii) পরিবাহী চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে থাকলে $\theta = 0°$ এবং $\sin\theta = 0$ হয়। কাজেই এক্ষেত্রে পরিবাহীর ওপর প্রযুক্ত বল শূন্য হবে।

৪·২·১ বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রের প্রয়োগ
Application of Biot-Savart law

বিদ্যুৎ চুম্বকত্বে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রের বিভিন্ন প্রয়োগ দেখতে পাওয়া যায়। নিম্নে দুটি প্রয়োগ 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। ওই 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 লই। ধরি এর দৈর্ঘ্য $= dl$। মনে করি ওই অংশটির মধ্যবিন্দু O হতে X বিন্দুর দূরত্ব r এবং $\angle XOQ = \theta$। অতএব X বিন্দুতে $id\vec{l}$ 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 ΔOXQ হতে পাই,

$\operatorname{cosec}\theta = \frac{r}{a}$; a = পরিবাহীর মধ্যবিন্দু হতে X বিন্দুর দূরত্ব।

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

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,

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

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0 i}{4\pi a}(1+1)$$

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.14)$$

সমীকরণ (4.14) হতে বোঝা যাচ্ছে $\vec{B}$ এর মান শুধুমাত্র বিদ্যুৎ প্রবাহ i এবং তারটি হতে সংশ্লিষ্ট বিন্দুর লম্ব দূরত্বের ওপর নির্ভর করে। অর্থাৎ অসীম দৈর্ঘ্যের সরল তড়িৎবাহী তারের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = \frac{\mu_0 i}{4\pi a}$।

দিক : চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক পাওয়া যায় ফ্লেমিং এর ডান হস্ত সূত্র অনুযায়ী। এই দিক হবে বিবেচিত বিন্দুতে পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সাথে লম্ব বরাবর।

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

তড়িৎবাহী তারের দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে না। কিন্তু চৌম্বক মেরুর দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতির ওপর 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 মধ্যবিন্দু হতে উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর দূরত্ব r মিটার। যদি এই দূরত্ব বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকের সাথে α কোণ উৎপন্ন করে, তবে বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র অনুসারে ওই বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র

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

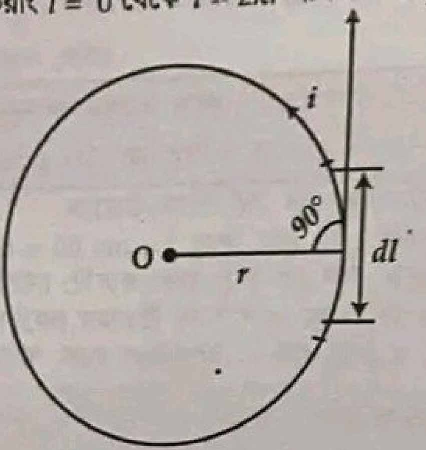
এখন মনে করি r মিটার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট এক পাকের একটি বৃত্তাকার তারের ভেতর দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৪.১০]। এই বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ নির্ণয় করতে হবে।

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

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

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

যেহেতু কুণ্ডলীর সকল বিন্দু থেকে বৃত্তের কেন্দ্র O এর দূরত্ব r সমান এবং কুণ্ডলীর যে কোনো অংশ dl ও r এর অন্তর্ভুক্ত কোণ সর্বদা $\theta = 90°$, 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 ৪.২

১। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস 31.4×10^{-2} m এবং পাক সংখ্যা 400। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে কত তড়িৎ প্রবাহ চললে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এর চৌম্বক ক্ষেত্র 4×10^{-10} Wbm^{-2} সৃষ্টি হয় ? [য. বো. ২০১০, ২০০৬]

আমরা জানি,

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

বা, $$i = \frac{2Br}{\mu_0 n}$$

$$\therefore \quad i = \frac{2 \times 4 \times 10^{-10} \times 15.7 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 400}$$

$$= \frac{2 \times 4 \times 15.7 \times 10^{-12} \times 10^{7} \times 10^{-2}}{4 \times 3.14 \times 4}$$

$$= 2.5 \times 10^{-7} \text{ A}$$

এখানে,

$n = 400$

$r = \frac{31.4 \times 10^{-2}}{2} \text{ m} = 15.7 \times 10^{-2} \text{ m}$

$B = 4 \times 10^{-10}$ 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. ২০০৬]

আমরা জানি,

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

$$\therefore \quad B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 0.05} = 2 \times 10^{-5} \text{ Wb m}^{-2}$$

এখানে,

$i = 5$ A

a = লম্ব দূরত্ব = 5 cm = 0.05 m

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

B = ?

৩। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 31.14×10^{-2} m এবং পাক সংখ্যা 800। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 5×10^{-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,

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 5 \times 10^{-7}}{2 \times 31.14 \times 10^{-2}} = 8 \times 10^{-10}\ \text{T}$$

এখানে,
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm A^{-1}
$I = 5 \times 10^{-7}$ A
$n = 800$
$r = 31.14 \times 10^{-2}$ m
$B = ?$

৪। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 0.5 Å। এই কক্ষপথে ইলেকট্রনটি 2.2×10^6 m/s সমগতিতে চলমান। এই ইলেকট্রনের গতির ফলে নিউক্লিয়াসের কেন্দ্রে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত? $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am এবং ইলেকট্রনের চার্জ $= 1.6 \times 10^{-19}$ C. [BUET Admission Test, 2016–17]

আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} \text{ এবং } I = \frac{Q}{T} = \frac{Q \times \omega}{2\pi}, \left(\because T = \frac{2\pi}{\omega}\right)$$

$$= \frac{Q \times v}{2\pi r} \quad (\because v = \omega r)$$

$$\therefore B = \frac{\mu_0 \times Q v}{2\pi r \times 2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 2.2 \times 10^6}{4\pi \times (0.5 \times 10^{-10})^2} = 14.08\ \text{T}$$

এখানে,
$r = 0.5$ Å $= 0.5 \times 10^{-10}$ m
$v = 2.2 \times 10^6$ ms^{-1}
$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ WbA^{-1}m^{-1}

৫। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 40 এবং ব্যাস 320 mm। কুণ্ডলীতে কত মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে 300 μWb/m^2 বা (μT) চৌম্বক প্রাবল্য সৃষ্টি হবে? [BUET Admission Test, 2009–10]

আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_0 I n}{2r}$$

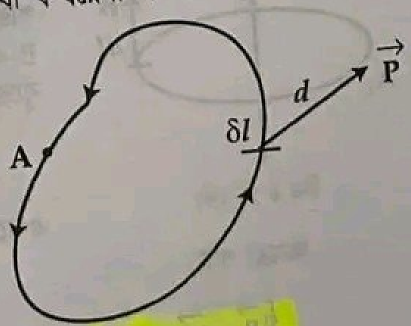
$$\text{বা, } I = \frac{2rB}{\mu_0 n} = \frac{2 \times 160 \times 10^{-3} \times 300 \times 10^{-6}}{4\pi \times 10^{-7} \times 40} = 1.9108\ \text{A}$$

এখানে,
$r = \frac{d}{2} = \frac{320}{2} = 160$ mm $= 160 \times 10^{-3}$ m
$B = 300$ μWb $= 300 \times 10^{-6}$ Wb
$n = 40$

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।

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র আলোচনা করার পূর্বে বন্ধপথ এবং বন্ধপথ সমাকল বা বন্ধরেখা সমাকল কী জানা দরকার। কোনো রেখা বা পথ যদি একটি বিন্দুতে শুরু হয়ে আবার ওই বিন্দুতেই শেষ হয় তবে ওই পথকে বন্ধপথ বলা হয়। চিত্র ৪.১১-এ একটি বন্ধপথ দেখানো হয়েছে। এখানে প্রারম্ভিক বিন্দু A-ই হলো অন্তিম বা শেষ বিন্দু। এই ধরনের বন্ধপথ বরাবর কোনো ভেক্টরের রেখা সমাকল বা পথ সমাকলকে বন্ধপথ বা বন্ধরেখা সমাকল (integration in a closed path) বলা হয়। বন্ধকপথ বা বন্ধরেখা সমাকলকে $\oint$ চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। চিত্র ৪.১১-এ $\vec{P}$ ভেক্টরটির বন্ধপথ সমাকল হলো,



চিত্র ৪.১১

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = P \cos\theta\, dl$$

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র নিম্নরূপে বিবৃত করা যায় :

অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র : "কোনো বন্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বেষ্টিত ক্ষেত্রফলের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত মোট প্রবাহমাত্রার μ_0 গুণ।"

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

এখানে μ_0 = শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা,

dl = পথের ব্যবধান সরণ ভেক্টর এবং

$\oint$ = প্রতীক দ্বারা বন্ধ পথে সমাকলন।

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 ওপর একটি ঘূর্ণন বল বা টর্ক (Torque) ক্রিয়া করবে। এই টর্কের মান হবে,

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

$$\text{বা, } \tau = pB\sin\theta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.21)$$

এখানে, p = চুম্বক শলাকার চৌম্বক ভ্রামক,

B = চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং

θ = $\vec{p}$ 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।

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

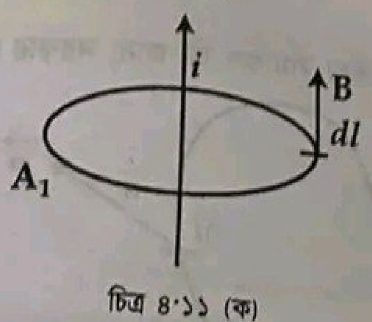
$$\text{বা, } B = \text{ধ্রুব সংখ্যা} \times \frac{i}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.22)$$

এই ধ্রুব সংখ্যাটিকে $\dfrac{\mu_0}{2\pi}$ ধরলে সমীকরণ (4.18) সিদ্ধ হয়। সুতরাং এই ধ্রুবকটির মান $\dfrac{\mu_0}{2\pi}$-ই ধরা হবে। এখানে μ_0 = মাধ্যমের প্রবেশ্যতা (Permeability of the medium)। এর মান $4\pi \times 10^{-7}$ ওয়েবার/অ্যাম্পিয়ার-মিটার।

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

$$\text{সমীকরণ (4.23) অনুযায়ী, } B(2\pi r) = \mu_0 i \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.24)$$

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



চিত্র ৪.১১ (ক)

কিন্তু $2\pi r$ হলো r ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধি। আবার ওই বৃত্তের পরিধির ওপর সকল বিন্দুতে B-এর মান সমান [চিত্র ৪.১১(ক)] এবং প্রত্যেক বিন্দুতে B-এর দিক ওই বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক বরাবর। সুতরাং প্রত্যেক বিন্দুতে B ও বৃত্তের পরিধির ক্ষুদ্র অংশের মধ্যকার কোণের মান শূন্য।

সমীকরণ (4.24) 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,

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

এটিই হলো অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র।

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র নিম্নরূপে বিবৃত করা যায় :

অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র : "কোনো বন্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বে... ক্ষেত্রফলের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত মোট প্রবাহমাত্রার μ_0 গুণ।"

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

এখানে μ_0 = শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা,

dl = পথের ব্যবধান সরণ ভেক্টর এবং

$\oint$ = প্রতীক দ্বারা বন্ধ পথে সমাকলন।

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

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

বা, $\tau = pB \sin \theta$ ... ... (4.21)

এখানে, p = চুম্বক শলাকার চৌম্বক ভ্রামক,

B = চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং

θ = $\vec{p}$ 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 নি... করলে দেখা যাবে চৌম্বক ক্ষেত্র B, i-এর সমানুপাতে ও দূরত্ব r-এর ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হবে।

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

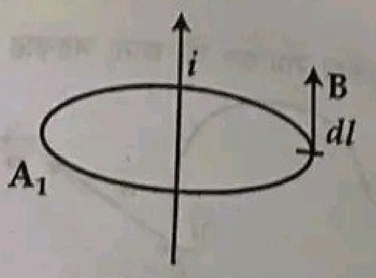
বা, B = ধ্রুব সংখ্যা $\times \frac{i}{r}$ ... ... (4.22)

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। এ... μ_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)

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



চিত্র ৮·১১ (ক)

কিন্তু $2\pi r$ হলো r ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধি। আবার ওই বৃ... পরিধির ওপর সকল বিন্দুতে B-এর মান সমান [চিত্র ৮·১১(ক)] এবং প্রত্যেক বি... B-এর দিক ওই বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক বরাবর। সুতরাং প্রত্যেক বিন্দুতে B ও বৃত্তের পরিধির ক্ষুদ্র অংশের মধ্যকার কোণের মান শূন্য।

সমীকরণ (4·24) এর বাম পার্শ্বকে $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ হিসেবে প্রকাশ করা যা... এখানে, $d\vec{l}$ = পথের ব্যবধান সরণ ভেক্টর।

$\therefore$ আমরা পাই,

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

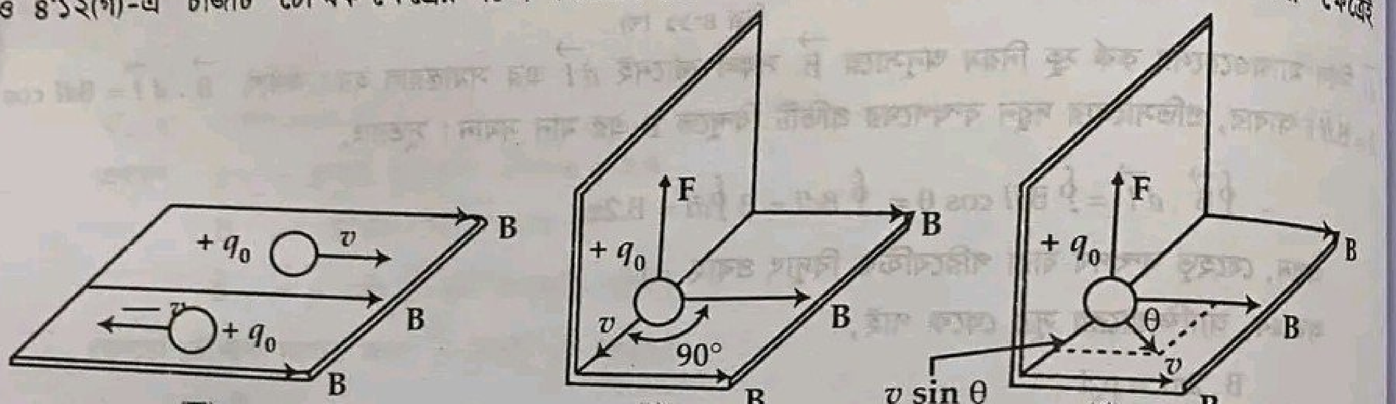
এটিই হলো অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র। ... ... (4.25)

৪.৪ গতিশীল চার্জের ওপর চৌম্বক বল : লরেঞ্জ বল
Magnetic force on a moving charge : Lorentz force

আমরা জানি যে একটি চার্জকে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চার্জটি বৈদ্যুতিক বল অনুভব করে। স্বাভাবিকভাবে প্রশ্ন জাগে কোনো চার্জকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে ওই চার্জটি চৌম্বক বল অনুভব করবে কি না ? 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।

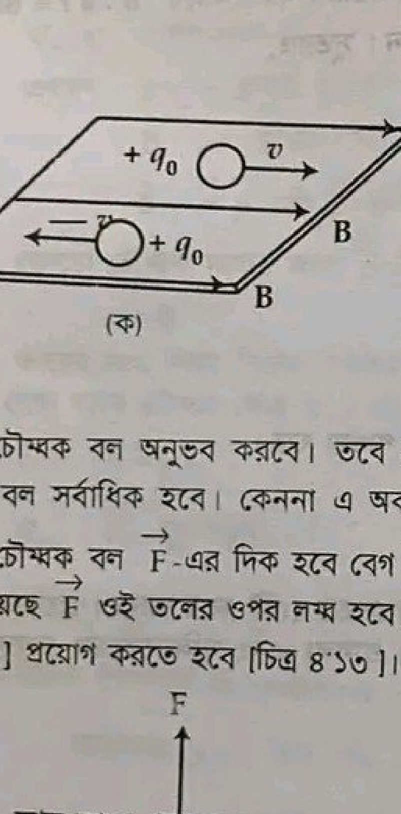
ব্যাখ্যা : চিত্র ৪.১২(ক)-এ একটি গতিশীল চার্জ $\vec{v}$ বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে প্রবাহিত হচ্ছে। চার্জটি গতিশীল হওয়া সত্ত্বেও এ অবস্থায় চার্জের ওপর কোনো চৌম্বক বল কাজ করবে না। অর্থাৎ চার্জটি কোনো বল অনুভব করবে না। কেননা চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর বেগ শূন্য; সুতরাং উল্লিখিত ২নং শর্ত পূরণ করেনি। চিত্র ৪.১২(খ) ও ৪.১২(গ)-এ চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে যথাক্রমে 90° কোণে এবং θ কোণে গতিশীল রয়েছে। উভয় ক্ষেত্রেই



চিত্র ৪.১২

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।

চৌম্বক বল $\vec{F}$-এর দিক হবে বেগ $\vec{v}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর উভয়ের ওপর লম্ব। অর্থাৎ $\vec{v}$ এবং $\vec{B}$ যে তলে রয়েছে $\vec{F}$ ওই তলের ওপর লম্ব হবে। বল $\vec{F}$ নির্ণয়ের জন্য ডান হস্ত নিয়ম-১ [Right hand rule-1, সংক্ষেপে, RHR–1] প্রয়োগ করতে হবে [চিত্র ৪.১৩]।



চিত্র ৪.১৩

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

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 : ওপরের পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে q চার্জ v বেগে গতিশীল [চিত্র ৪.১৩] হলে ওই 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 θ কোণে গতিশীল হয় [চিত্র ৪'১২(গ)] সেক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান হবে

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

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

এবং ভেক্টর পদ্ধতিতে,

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

বিশেষ ক্ষেত্র :

(i) যখন $\theta = 0°$ বা $180°$, তখন $F = 0$. এ অবস্থায় চার্জটি কোনো বল অনুভব করে না। অর্থাৎ চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে গতিশীল হয়। ... ... (4.29)

(ii) যখন $\theta = 90°$, তখন $F = qvB$. এ অবস্থায় চার্জটি সর্বাধিক বল অনুভব করে। অর্থাৎ চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে গতিশীল হয়। ... ... (4.30)

(iii) যখন $v = 0$ হয় বা চার্জটি যদি স্থির থাকে তখন $F = 0$ হয়।

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 ওই চৌম্বক ক্ষেত্রের বলের মানের সমান।**

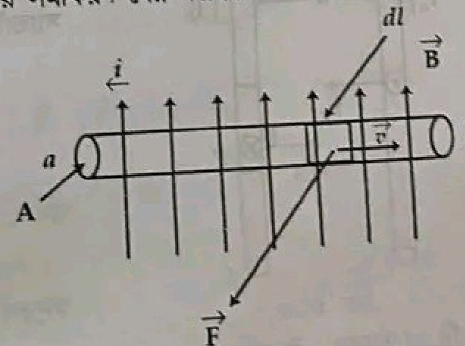
দিক : এই বল চৌম্বক ক্ষেত্র এবং চার্জিত কণার গতি উভয়েরই অভিমুখের সাথে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

লরেঞ্জ বল : কোনো তড়িতাধান (চার্জ) একই সঙ্গে তড়িৎ ক্ষেত্র এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে গতিশীল হলে সেটি 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, $\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$.

৪'৫ চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত বিদ্যুৎবাহী তারের ওপর চৌম্বক বল
Magnetic force on a current-carrying wire placed in a magnetic field

৪'৪ অনুচ্ছেদে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে গতিশীল চার্জের ওপর চৌম্বক বলের সমীকরণ পেয়েছি। এখন আমরা চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত একটি বিদ্যুৎবাহী তারের ওপর চৌম্বক বলের সমীকরণ বের করব।

মনে করি ab একটি বিদ্যুৎবাহী তার চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এ স্থাপিত এবং এর ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ i প্রবাহিত [চিত্র ৪'১৪]।



চিত্র ৪'১৪

আমরা জানি, বিদ্যুৎ প্রবাহ হচ্ছে গতিশীল চার্জের নিট বল। যদি বিদ্যুৎবাহী তারের একক আয়তনে n সংখ্যক চার্জ থাকে, তবে আয়তন dV-এ চার্জের সংখ্যা $= n\,dV$।

সুতরাং ndV সংখ্যক চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বল $d\vec{F}$-এর সমীকরণ পাওয়া যায়,

$$d\vec{F} = ndV(q\vec{v} \times \vec{B}) \qquad [\text{ সমীকরণ (4.28) ব্যবহার করে }] \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (4.31)$$

$$= nq(\vec{v} \times \vec{B})\,dV \quad \ldots \qquad [\text{ অনুচ্ছেদ ৩'৪ দ্রষ্টব্য}]$$

কিন্তু $nq\vec{v} = \vec{j}$,

$\vec{j}$ হল বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘনত্ব। ... ... (4.32)

সুতরাং, $d\vec{F} = (\vec{j} \times \vec{B})\,dV$

এখন তারের প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল যদি A এবং ক্ষুদ্র অংশের দৈর্ঘ্য dl হয়, তবে $dV = Adl$

$$\therefore d\vec{F} = \vec{j}\; Adl \times \vec{B} \qquad [\because j = \frac{i}{A}] \qquad \ldots \qquad (4.33)$$

$$= id\vec{l} \times \vec{B}$$

৬। পরস্পর হতে 25 × 10^{-2} m ব্যবধানে অবস্থিত 5m দৈর্ঘ্যের দুটি তারের উভয়ের মধ্য দিয়ে 50A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০০৮]

আমরা জানি,

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi d} . l$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 50 \times 5}{2\pi \times 25 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.01\text{N}$$

এখানে,

$d = 25 \times 10^{-2}$ m

$l = 5$m

$i_1 = i_2 = 50$ A

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

৭। একটি 5 MeV প্রোটন খাড়া নিচের দিকে এমন একটি স্থানে গতিশীল যেখানে একটি চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ অনুভূমিক বরাবর দক্ষিণ থেকে উত্তর দিকে বিদ্যমান। $\vec{B}$ এর মান 15 T। প্রোটনের ওপর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয় কর। প্রোটনের ভর এবং চার্জ যথাক্রমে 1.7×10^{-27} kg এবং 1.6×10^{-19} C. [BUET Admission Test, 2012-13]

আমরা জানি,

$$F = qvB \sin\theta$$

আবার, $K = \frac{1}{2}mv^2$, এখানে, $K = 5\text{ MeV} = 5 \times 10^6 eV = 5 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}\text{ J} = 8 \times 10^{-13}\text{ J}$

$$\therefore \quad v^2 = \frac{2K}{m} = \frac{2 \times 8 \times 10^{-13}}{1.7 \times 10^{-27}} = 9.41 \times 10^{14}$$

$$\therefore \quad v = 3.07 \times 10^7\text{ ms}^{-1}$$

$$\therefore \quad F = 1.6 \times 10^{-19} \times 3.07 \times 10^7 \times 15 \sin 90°$$

$$= 7.4 \times 10^{-11}\text{ N}$$

এখানে,

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

B = 15 T

$\theta = 90°$

৪.৭ 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 ওপর। 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 এই 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 ক্রিয়া এবং হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ-এর সংজ্ঞা নিম্নোক্তভাবে দেয়া যায় :

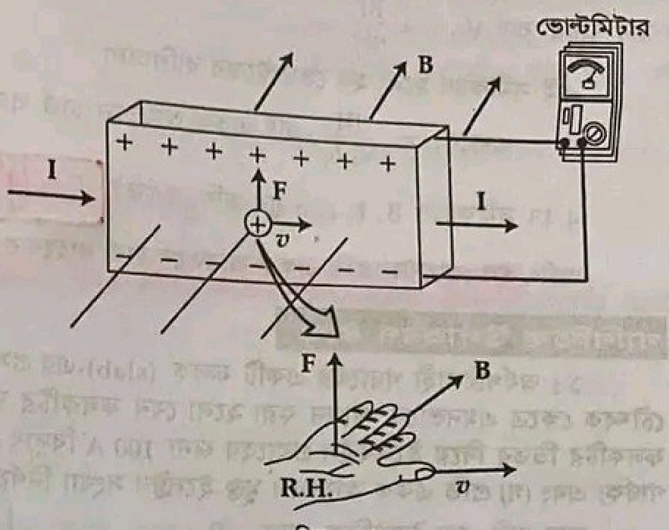
হল প্রভাব বা হল ক্রিয়া এবং হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ :

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।

৪.৭.১ হল-এর পরীক্ষা
Hall experiment

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 ৪.১৬-এ দেখানো হলো।

আমরা জানি গতিশীল চার্জের ওপর 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 ওপরের 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। ওপরের পৃষ্ঠে উচ্চ বিভব এবং নিচের পৃষ্ঠে নিম্ন বিভব সৃষ্টি হবে। পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে সৃষ্ট এই 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 এই ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক চার্জ বিদ্যুৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করবে। বিদ্যুৎ ক্ষেত্রের জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার ওপর 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 ৪.১৬

ক. চার্জের প্রকৃতি নির্ণয়

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

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

এই ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মান থেকে আমরা আধানের প্রকৃতি নির্ণয় করতে পারি।

খ. হল ভোল্টেজের সাহায্যে একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা নির্ণয় বা হল ভোল্টেজের রাশিমালা

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

t = পাতের বেধ বা পুরুত্ব

সুতরাং, বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র, $E = \frac{V_H}{d}$ ... ... (4.38)

বা, $\boxed{V_H = Ed}$ ... ... (4.39)

প্রতিটি চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বৈদ্যুতিক বল $F_e = qE$ হয়। ... ... (4.40)

হিসাব করে দেখা যায়, হল বিভবের জন্য প্রতি একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা $n = \frac{JB}{qE}$ ... ... (4.41)

বা, $n = \frac{JB}{qE}$

এখানে J = বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘনত্ব $= nqt$ এবং $E = vB$ ... ... (4.42)

ইলেকট্রনের বেগ, চুম্বক ক্ষেত্রের মান, পরিবাহীর প্রস্থ, চার্জ ধ্রুব রাশি হওয়ায় গাণিতিকভাবে হল ভোল্টেজের

মান পাওয়া যায় $V_H = \frac{BI}{ntq}$ ... ... (4.43)

এই সমীকরণ হলো হল ভোল্টেজের রাশিমালা

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

4.43 সমীকরণে B, I, t, q ধ্রুব রাশি, কাজেই $\boxed{V_H \propto \frac{1}{n}}$ ... ... (4.44)

অর্থাৎ হল ভোল্টেজ প্রতি একক আয়তনে চার্জ বাহকের সংখ্যার ব্যস্তানুপাতিক।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৬

১। অর্ধপরিবাহী পদার্থের একটি ফলক (slab)-এর প্রস্থ 0·03 m এবং পুরুত্ব 1×10^{-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 4×10^{-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,

$$E_H = vB = (4 \times 10^{-4}\ \text{ms}^{-1})(1{\cdot}2\text{T}) = 4{\cdot}8 \times 10^{-4}\ \text{Vm}^{-1}$$

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

(গ) $$i = nevA$$

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

এখানে,

$t = 0{\cdot}03$ m

$d = 1 \times 10^{-3}$ m

$B = 1{\cdot}2$ T

$i = 100$ A

$v = 4 \times 10^{-4}$ ms^{-1}

প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, $A = dt = 0{\cdot}03 \times 1 \times 10^{-3}$ m^2 $= 3 \times 10^{-5}$ m^2

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

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

[রা. বো. ২০০৭; ঢা. বো. ২০০১]

আমরা জানি, হল বিভব,

$$V_H = Bvd$$

$$\therefore V_H = 6 \times 4 \times 10^{-3} \times 0{\cdot}02 = 4{\cdot}8 \times 10^{-4}\ \text{Volts}$$

এখানে,

$B = 6$ Wbm^{-2}

$v = 4 \times 10^{-3}$ ms^{-1}

$d = 0{\cdot}02$ m

$V_H = ?$

৩। একটি 2·0 cm প্রস্থ এবং 1·0 mm পুরুত্বের কপারের পাতকে $B = 1{\cdot}5$ Wb/m^2 চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা হলো। এই পাতের ভেতর দিয়ে 200 A বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা হলে এর প্রস্থ বরাবর কী পরিমাণ হল বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হবে? কপারের মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা $n = 8{\cdot}4 \times 10^{28}$ electrons/m^3।

[BUET Admission Test, 2014-15]

আমরা জানি,

$$V_H = \frac{BI}{ntq} = \frac{1{\cdot}5 \times 200}{8{\cdot}4 \times 10^{28} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{-3}} = 0{\cdot}02232 \times 10^{-3}\ \text{volt}$$

এখানে,

$d = 2{\cdot}0$ cm $= 0{\cdot}02$ m

$t = 1{\cdot}0$ mm $= 1 \times 10^{-3}$ m

$n = 8{\cdot}4 \times 10^{28}$ electrons/m^3

$I = 200$ A

সমীকরণ (4.52) এবং (4.53) থেকে লেখা যায়

$$\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m}\vec{L} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (4.54)$$

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

কোয়ান্টাম বলবিদ্যার ক্ষেত্রেও একই ফলাফল পাওয়া যায়।

বোরের তত্ত্ব হতে আমরা জানি যে স্থির কক্ষে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$ রাশির সরল গুণিতক।

$$\therefore \quad L = mr^2\omega = n\left(\frac{h}{2\pi}\right)$$

চৌম্বক ভ্রামক M দ্বারা প্রকাশ করলে,

$$M = -\frac{e}{2m}L$$

$$\therefore \quad M = -\frac{e}{2m}n\left(\frac{h}{2\pi}\right) = n\left(\frac{eh}{4\pi m}\right), \quad n = 1, 2, 3 \ldots\ldots\ldots\ldots$$

সুতরাং, চৌম্বক ভ্রামকের ন্যূনতম মান বা বোর প্রথম কক্ষের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ভ্রামকের মান,

$$M = \frac{eh}{4\pi m} \qquad [\because n = 1]$$

এটিই হলো কক্ষীয় গতির জন্য ইলেকট্রনের চৌম্বক ভ্রামক। চৌম্বক ভ্রামকের এই ন্যূনতম মানকে বোর ম্যাগনেটন (Bohr magneton) বলে।

1 বোর ম্যাগনেটন = $9{\cdot}27 \times 10^{-24}$ Am²

৪·১০ 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 দরুণ 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 μ_s হলে এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m}\vec{S} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (4.55)$$

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 (4.50) ও (4.51) যোগ করে]।

$$\therefore \quad \vec{\mu} = \vec{\mu}_l + \vec{\mu}_s = \left(\frac{-e}{2m}\right)(\vec{L} + 2\vec{S}) \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (4.56)$$

এখানে e এবং m যথাক্রমে ইলেকট্রনের চার্জ ও ভর।

কোনো পরমাণুতে যদি সমান সংখ্যক ইলেকট্রন বিপরীত অভিমুখে ঘূর্ণনরত থাকে তাহলে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্র থাকে না। এ ধরনের পদার্থই হচ্ছে অচৌম্বক পদার্থ। এদেরকে খুব শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রে আনলে পদার্থের পরমাণুর ইলেকট্রন সামান্য প্রভাবিত হয় এবং ওই সকল পদার্থে ক্ষীণ চৌম্বকত্ব দেখা যেতে পারে। এ ধরনের পদার্থ ডায়াচৌম্বক পদার্থ। আর যদি কোনো পরমাণুতে সমান সংখ্যক ... তাহলে

র্মি চৌম্বকত্ব লাভ করে ফলে পরমাণুটি একটি ক্ষুদ্র চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। তখন একে চৌম্বক দ্বিমেরু বা চৌম্বক দ্বিপোল বলে। এরকম পরমাণু দ্বারা গঠিত পদার্থে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হলে এই চুম্বক দ্বিমেরুগুলো আংশিকভাবে বিন্যস্ত হয় এবং সামান্য পরিমাণ চুম্বকত্ব প্রদর্শন করে। এদেরকে প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলে।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৮

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

আমরা জানি,

$$\mu_1 = -\left(\frac{e}{2m}\right) L$$

শুধু মান বিবেচনা করে,

$$\mu_1 = \frac{eh}{4\pi m} \quad \left(\because L = \frac{h}{2\pi}\right)$$

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

$$= 9{\cdot}28 \times 10^{-24}\ \text{Am}^2$$

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, $\mu_1 = ?$

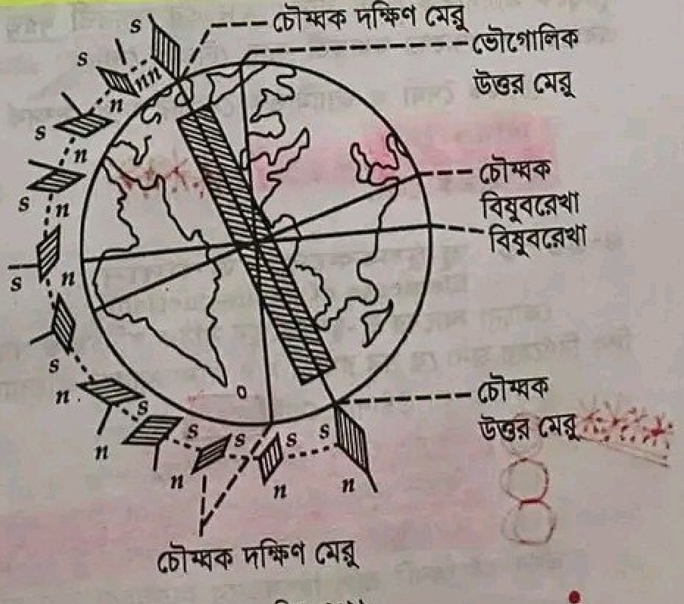
৪.১১ ভূ-চৌম্বকত্ব বা পৃথিবীর চৌম্বকত্ব এবং এর উপাদান
Terrestrial magnetism and its elements

৪.১১.১ পৃথিবীর চুম্বকত্ব
Terrestrial Magnetism

1600 খ্রিস্টাব্দে রানি 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।

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 ৪.২১]।



চিত্র ৪.২১

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। একটি 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 ভূপৃষ্ঠের 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 ওপর 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।

৪·১১·২ 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 ওই দুটি স্থানেই পৃথিবীর চৌম্বক মেরু অবস্থিত।

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

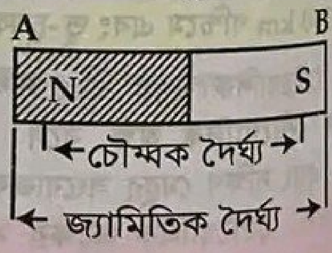
(৩) **চৌম্বক মধ্যতল :** ভূ-চৌম্বকের চৌম্বক অক্ষ দিয়ে অঙ্কিত কাল্পনিক উল্লম্ব তলকে **চৌম্বক মধ্যতল** বলে।

(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।

(৬) **চৌম্বক দৈর্ঘ্য :** চৌম্বক অক্ষ বরাবর কোনো একটি চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যবর্তী দূরত্বকে তার চৌম্বক দৈর্ঘ্য বলে। চৌম্বক দৈর্ঘ্য একটি দিক রাশি। এর দিক চুম্বকের অক্ষ বরাবর দক্ষিণ হতে উত্তর মেরুর দিকে।

(৭) **জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য :** কোনো একটি চুম্বকের দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী দূরত্বকে জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য বলে। AB এর মধ্যবর্তী দূরত্ব জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য এবং N ও S পোলের মধ্যবর্তী দূরত্ব চৌম্বক দৈর্ঘ্য।



চৌম্বক দৈর্ঘ্য ও জ্যামিতিক দৈর্ঘ্যের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

$$\frac{\text{চৌম্বক দৈর্ঘ্য}}{\text{জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য}} = 0.85$$

৪·১১·৩ 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—

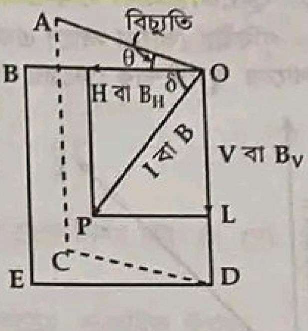
১. বিচ্যুতি কোণ (Declination),
২. বিনতি কোণ (Angle of Dip or inclination) এবং
৩. ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য (Horizontal intensity of the earth's magnetic field)।

এখন এই তিনটি রাশি বিশদভাবে আলোচনা করা হবে।

১. বিচ্যুতি কোণ

কোনো একটি চুম্বককে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলিয়ে রাখলে ভৌগোলিক মধ্যতলের সাথে তার মধ্যতল মিলে না (does not coincide)। একটি মধ্যতল অন্য মধ্যতলকে ছেদ করে। ফলে তাদের মধ্যে একটি কোণ উৎপন্ন হয়। এই কোণকে ওই স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিচ্যুতি কোণ বা চ্যুতি বলে। একে সংক্রমণ কোণও বলা হয়।

সংজ্ঞা : পৃথিবীর কোনো স্থানে চৌম্বক মধ্যতল এবং ভৌগোলিক মধ্যতলের মধ্যবর্তী কোণকে ওই স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে। একে 'θ' দ্বারা প্রকাশ করা হয় ও ডিগ্রিতে মাপা হয়। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে বিচ্যুতি কোণ বিভিন্ন। ৪.২২নং চিত্রে O স্থানে AODC তল দ্বারা ভৌগোলিক মধ্যতল ও BODE তল দ্বারা চৌম্বক মধ্যতল নির্দেশ করা হয়েছে। কাজেই ∠AOB ওই স্থানের বিচ্যুতি কোণ।



চিত্র ৪.২২

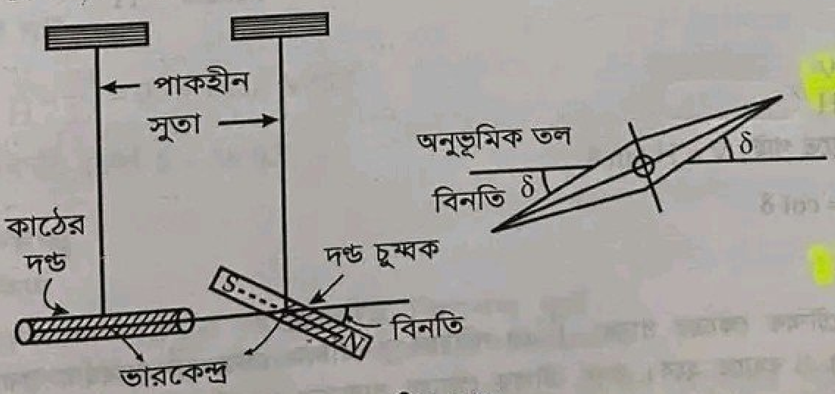
কোনো স্থানে সূচি চুম্বকের উত্তর মেরু ভৌগোলিক অক্ষের সাথে θ কোণে পূর্বে থাকলে ওই স্থানের বিচ্যুতি কোণকে θ°E বা θ° পূর্ব সংক্ষেপে পূ. এবং θ কোণে পশ্চিমে থাকলে ওই স্থানের বিচ্যুতি কোণকে θ°W বা θ° পশ্চিম সংক্ষেপে প. লেখা হয়।

উদাহরণ : মনে করি ঢাকার বিচ্যুতি কোণ $(\frac{1}{2})^\circ$ পূর্ব। উক্ত উক্তি দ্বারা বুঝা যায় যে, ঢাকায় মুক্তভাবে নড়নক্ষম কোনো সূচি চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ চৌম্বক মধ্যতলে থেকে ভৌগোলিক অক্ষের সাথে $(\frac{1}{2})^\circ$ 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 ৪.২৩]। 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 ৪.২৩]। এই কোণকে **বিনতি কোণ** বলে।

সংজ্ঞা : পৃথিবীর কোনো স্থানে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে স্থির থাকে, তাকে ওই 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 δ°N বা δ° **উত্তর** বা δ° **উ.** লিখতে হবে। আবার ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরুর দিকে নিয়ে গেলে দণ্ড চুম্বকের দক্ষিণ মেরু অনুভূমিকের সাথে ক্রমশ বেশি কোণে হেলে নিচে থাকবে। এসব অবস্থানের বিনতি কোণ δ°S বা δ° **দক্ষিণ** বা δ° **দ.** লিখতে হবে। দুই মেরুতে বিনতি 90° এবং বিষুবরেখার বিনতি 0° হয়।



চিত্র ৪.২৩

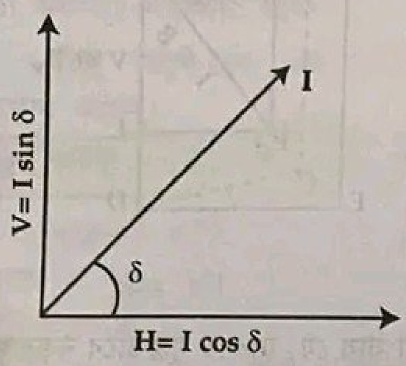
এখন প্রশ্ন জাগে বিষুবরেখায় ছাড়া অন্যত্র মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক তলে থাকে না কেন? পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক। সুতরাং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের একটি দিক আছে। বিষুবরেখায় ছাড়া অন্যত্র তা অনুভূমিকের সাথে হেলে থাকে। মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বক ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক অনুযায়ী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

৪.২২ নং চিত্রে O স্থানে OB রেখা ভূ-চৌম্বক অক্ষ বরাবর অবস্থিত। ওই স্থানে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ OP বরাবর অবস্থান করলে $\angle BOP = \delta$ ওই 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 ওপর ভূ-চুম্বকত্বের দরুন যে বল ক্রিয়া করে তাকে ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা মোট প্রাবল্য বলে।



চিত্র ৪.২৪

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 ৪.২৪]। এই অনুভূমিক উপাংশকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য এবং উল্লম্ব উপাংশকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য বলে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে এদের মান বিভিন্ন হয়।

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

বর্ণনা অনুসারে,

$$H = I\cos\delta \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.57)$$

এবং $V = I\sin\delta \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.58)$

এখানে, δ = বিনতি কোণ।

সমীকরণ (4.57) এবং সমীকরণ (4.58)-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, $I^2 = H^2 + V^2$

$$\therefore \quad I = \sqrt{H^2 + V^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.59)$$

আবার, সমীকরণ (4.58)-কে সমীকরণ (4.57) দ্বারা ভাগ করে পাই, $\dfrac{I\sin\delta}{I\cos\delta} = \dfrac{V}{H}$

বা, $\tan\delta = \dfrac{V}{H}$

$$\therefore \quad \delta = \tan^{-1}\frac{V}{H} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.60)$$

সমীকরণ (4.60) হতে পাই, $V = H\tan\delta \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.61)$

বা, $\dfrac{H}{V} = \dfrac{1}{\tan\delta} = \cot\delta \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.62)$

$$\therefore \quad H = V\cot\delta \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.63)$$

[বি. দ্র. যদি ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\vec{I}$-এর পরিবর্তে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ ব্যবহার করা হয় তবে ওপরের 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 Wbm^{-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 δ 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 $32\ Am^{-1}$-এর মধ্যে।

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

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৯

১। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক 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,

$$V = H \tan \delta = 89 \tan 60° = 154{\cdot}15 \text{ N Wb}^{-1}$$

এখানে,
$H = 89 \text{ N Wb}^{-1}$
$\delta = 60°$
$V = ?$

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, $36 \times 10^{-6} = I \cos 45°$

বা, $I = \dfrac{36 \times 10^{-6}}{\cos 45°} = \dfrac{36 \times 10^{-6}}{\frac{1}{\sqrt{2}}}$

$= 36 \times 10^{-6} \times \sqrt{2} = 50{\cdot}911 \times 10^{-6} \text{ T}$

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

এখানে,
ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ,
$H = 36\mu T = 36 \times 10^{-6} T$
বিনতি, $\delta = 45°$
ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য, $I = ?$

৩। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য 32 Am^{-1} এবং উল্লম্ব প্রাবল্য 24 Am^{-1}। ওই স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য এবং বিনতি কোণ নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০১১; রা. বো. ২০০৯]

মনে করি মোট প্রাবল্য = I

∴ আমরা পাই,

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

এবং

$$\tan \delta = \frac{V}{H} \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

এখানে,
$H = 32 \text{ Am}^{-1}$
$V = 24 \text{ Am}^{-1}$

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

এবং (ii) হতে পাই,

$$\tan \delta = \frac{V}{H} = \frac{24}{32} = 0{\cdot}75 = \tan 36°52'$$

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

৪.১২ চৌম্বকত্ব
Magnetism

৪.১২.১ 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। কোনো চুম্বকের যে কোনো একটি মেরুর মেরুশক্তি ও চৌম্বক দৈর্ঘ্যের গুণফলকে ওই চুম্বকের দ্বিমেরু 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। গাণিতিকভাবে চৌম্বক আবেশকে $(\vec{B})$ চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B_0}$ এবং চৌম্বক পদার্থের চুম্বকায়নের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র $\mu_0 \vec{I}$ এর সমষ্টি।

$$\therefore \vec{B} = \vec{B_0} + \mu_0 \vec{I} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{I} = \mu_0(\vec{H} + \vec{I})$$

চৌম্বক আবেশ $\vec{B}$ কে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বা চৌম্বক ক্ষেত্রও বলে। চৌম্বক ক্ষেত্র সবল হয় যখন $\vec{H}$ ও $\vec{I}$ একই দিকে অবস্থান করে আর চৌম্বক ক্ষেত্র দুর্বল হয় যখন $\vec{H}$ ও $\vec{I}$ বিপরীতমুখি হয়। চৌম্বক আবেশের একক T বা Wbm^{-2}। এই এককগুলো $Nm^{-1}A^{-1}$ বা $JA^{-1}m^{-2}$ এর সমতুল্য।

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

চৌম্বক ক্ষেত্র বা চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব (Magnetic field or magnetic flux density) : একটি গতিশীল চার্জ বা স্থায়ী চুম্বক তার চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে একক বেগে চলমান একটি একক চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বলকে ওই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বলে। একে $\vec{B}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর একক Tesla বা $NA^{-1}m^{-1}$। চৌম্বক ক্ষেত্রকে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বা আবেশ ক্ষেত্র বলা হয়।

চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা (Magnetic field intensity or intensity) : চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র এবং চৌম্বক প্রবেশ্যতার অনুপাতকে চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা বলে। শূন্য মাধ্যমে চৌম্বক প্রাবল্য, $\vec{H} = \frac{\vec{B_0}}{\mu_0}$। অন্য কোনো মাধ্যমে চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা, $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$। এর একক Am^{-1}। চৌম্বক তীব্রতার পুরাতন একক ওয়েরস্টেড। 1 ওয়েরস্ট $= 80\ Am^{-1}$।

চৌম্বক প্রবেশ্যতা (Magnetic permeability) : কোনো একটি মাধ্যমে সৃষ্ট চৌম্বক আবেশ এবং চৌম্বক প্রাবল্যের অনুপাতকে ওই 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 তার ভেতর যে ফ্লাক্স ঘনত্ব বা চৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয়, তাকে ওই পদার্থের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বলে। শূন্য মাধ্যমে $\mu = 1$ এবং $B = H$ কিন্তু মনে রাখতে হবে B ও H সংখ্যাগতভাবে সমান হলেও মাত্রা সমান নয়। শূন্য মাধ্যমে $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ WbA^{-1}m^{-1}$।

μ এর একক : TmA^{-1} বা $WbA^{-1}m^{-1}$.

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

চৌম্বক গ্রাহিতা বা প্রবণতা বা তীব্রতা (Magnetic susceptibility) : কোনো চৌম্বক পদার্থের চুম্বকায়ন তীব্রতা ও চৌম্বক তীব্রতার অনুপাতকে ওই পদার্থের চৌম্বক গ্রাহিতা বা প্রবণতা বলে। কোনো পদার্থের চুম্বকায়ন তীব্রতা I এবং চৌম্বক তীব্রতা H হলে চৌম্বক প্রবণতা, $\chi_m = \frac{I}{H}$।

চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা (Magnetisation intensity) : চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রতি একক আয়তনের চৌম্বক ভ্রামককে তার চুম্বকায়ন তীব্রতা বা মাত্রা বলে। এর একক Am^{-1}। গাণিতিকভাবে চুম্বকায়ন মাত্রা, $I = \frac{\vec{M}}{\vec{T}} = \frac{m \cdot 2l}{2lA} = \frac{m}{A}$। A = প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা : কোনো পদার্থের চৌম্বক প্রবেশ্যতা ও শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতার অনুপাতকে ওই পদার্থের আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা বলে। কোনো মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা μ এবং শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা μ_0 হলে, আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$।

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 ... সকল মোমেন্টের সমষ্টিগত ক্রিয়ার

আচরণের ওপর 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।

কাজ : দেখাও যে, কোনো চৌম্বক পদার্থের আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা (μ_r) চৌম্বক গ্রাহিতা χ_m এর চেয়ে বড়।

আমরা জানি,

$$B = \mu_0 (H + I)$$

বা, $\dfrac{B}{H} = \mu_0 \left(1 + \dfrac{I}{H}\right)$

বা, $\mu = \mu_0 \left(1 + \dfrac{I}{H}\right)$

বা, $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$

বা, $\dfrac{\mu}{\mu_0} = (1 + \chi_m)$

$\therefore \quad \mu_r = 1 + \chi_m$

এবং $\mu_r > \chi_m$; অর্থাৎ আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা μ_r চৌম্বক গ্রাহিতা χ_m-এর চেয়ে বড়।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.১০

১। 0.001 m² প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একখণ্ড ইস্পাতকে চুম্বকায়ন করার জন্য একটি চুম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলো। চৌম্বক প্রাবল্যের মান যত বৃদ্ধি করা হয় চুম্বকায়ন মাত্রা তত বৃদ্ধি পায়। কিন্তু চুম্বকায়ন মাত্রা একটি সম্পৃক্ত মানে পৌঁছার পর চৌম্বক প্রাবল্যের বৃদ্ধির সাথে চুম্বকায়ন মাত্রা আর বৃদ্ধি পায় না। ইস্পাত খণ্ডটি 1 Am মেরু শক্তিবিশিষ্ট একখণ্ড চুম্বকে পরিণত হলে চুম্বকায়ন মাত্রা কত হবে ?

আমরা জানি,

$$I = \frac{M}{V} = \frac{\text{চৌম্বক ভ্রামক}}{\text{আয়তন}}$$

$$= \frac{m \times 2l}{A \times 2l} = \frac{m}{A} = \frac{1}{0.001}$$

$$= 1000 \text{ Am}^{-1}$$

এখানে,

প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, $A = 0.001 \text{ m}^2$

মেরুশক্তি, $m = 1 \text{ Am}$

চুম্বকায়ন মাত্রা, $I = ?$

২। 5×10^{-3} kg ভর, 0.6 m দৈর্ঘ্য এবং 0.1Ω রোধবিশিষ্ট একটি পরিবাহী তার 1.8×10^{-3} T ফ্লাক্স ঘনত্বের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে লম্বভাবে রাখা আছে। তারটির দুই প্রান্তে 4.5 V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করে এতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা হলো। চৌম্বক প্রাবল্য $H = 1.8 \times 10^{-5}$ T হলে চৌম্বক প্রবেশ্যতা কত হবে ?

আমরা জানি, চৌম্বক প্রবেশ্যতা

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.8 \times 10^{-3}}{1.8 \times 10^{-5}}$$

$$= 100 \text{ TmA}^{-1}$$

এখানে,

$H = 1.8 \times 10^{-5} \text{ Am}^{-1}$

$B = 1.8 \times 10^{-3} \text{ T}$

৪.১২.২ চৌম্বক পদার্থের শ্রেণিবিভাগ
Classification of magnetic substance

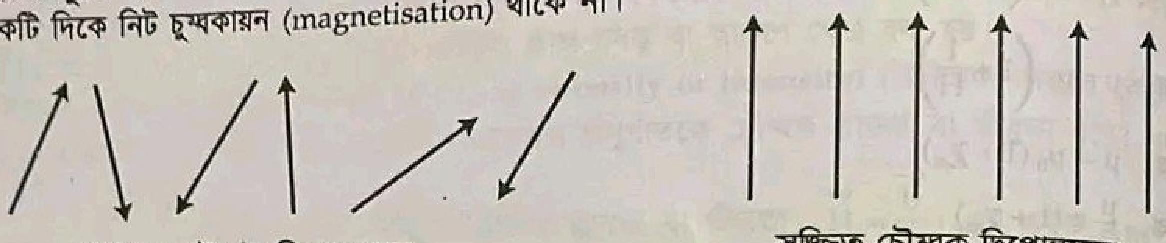
সকল পদার্থেরই চৌম্বক ধর্ম আছে এবং সকল পদার্থই চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা কমবেশি প্রভাবিত হয়। চৌম্বক আচরণের ওপর ভিত্তি করে চৌম্বক পদার্থসমূহকে নিম্নলিখিত উপায়ে শ্রেণিবিভাগ করা হয়েছে।

(১) প্যারাচৌম্বকত্ব
(২) ডায়াচৌম্বকত্ব
(৩) ফেরোচৌম্বকত্ব
(৪) ফেরিচৌম্বকত্ব ও

নিচে এগুলো পরপর আলোচনা করা হলো।

৪·১২·২·১ 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 ৪·২৫(ক)]; ফলে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ প্রয়োগ না করলে পদার্থের কোনো একটি দিকে নিট চুম্বকায়ন (magnetisation) থাকে না।



বিক্ষিপ্ত চৌম্বক দ্বিপোলসমূহ (ক) সজ্জিত চৌম্বক দ্বিপোলসমূহ (খ)

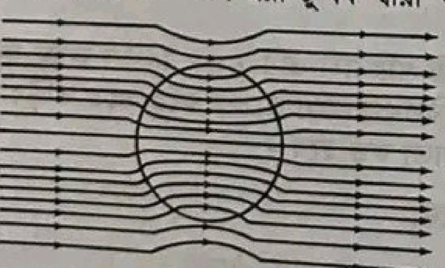
চিত্র ৪·২৫

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। নিট ফল হিসেবে পদার্থটি একটি চৌম্বক মোমেন্ট অর্জন করে [চিত্র ৪·২৫(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)।



চিত্র ৪·২৬

(ii) কোনো প্যারাচৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে বলরেখাগুলি বেঁকে উহার মধ্য দিয়ে যাওয়ার স্বল্প প্রবণতা প্রদর্শন করে [চিত্র ৪·২৬]।

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

(iv) প্যারাচৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা (μ) এর মান 1 অপেক্ষা সামান্য বেশি।

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

(vi) প্যারাচৌম্বক পদার্থের আচরণ তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে।

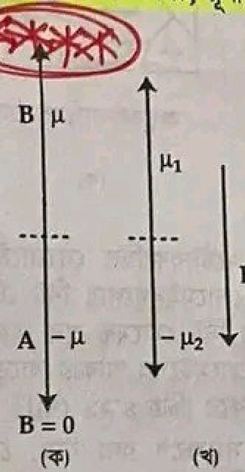
৪·১২·২·২ ডায়াচৌম্বকত্ব
Diamagnetism

পরমাণুতে ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতির জন্য পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায়। ডায়াচৌম্বকত্ব সকল পদার্থে ...্যমান রয়েছে। কিন্তু এর প্রভাব অত্যন্ত দুর্বল। যে সব পদার্থ নিট চৌম্বক মোমেন্টবিশিষ্ট পরমাণু দ্বারা গঠিত অর্থাৎ ...ব পদার্থে প্যারা বা ফেরোচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায় সেগুলোতে ডায়াচৌম্বকত্ব থাকা সত্ত্বেও এর দুর্বলতার কারণে তা ...কা 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 নিট চৌম্বক প্রভাব নেই। ইলেকট্রন-

সমূহের 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 ওপর। 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।



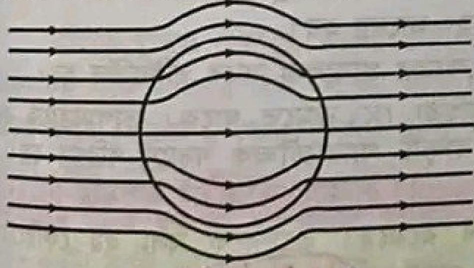
চিত্র ৪.২৭

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 ওপর 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 ৪.২৭-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 ৪.২৭(ক)]। কিন্তু চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে চৌম্বক মোমেন্ট বিলীন হয় না [চিত্র ৪.২৭(খ)]; একটি নিট চৌম্বক মোমেন্ট সৃষ্টি হয়। এই নিট 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।


চিত্র ৪.২৮

(ii) কোনো ডায়াচৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে দেখা যায় যে, বলরেখাগুলি পদার্থটি হতে দূরে সরে যায়। ফলে উহার মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা অপেক্ষাকৃত কম হয় [চিত্র ৪.২৮]।

(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 ওপর নির্ভর করে না।

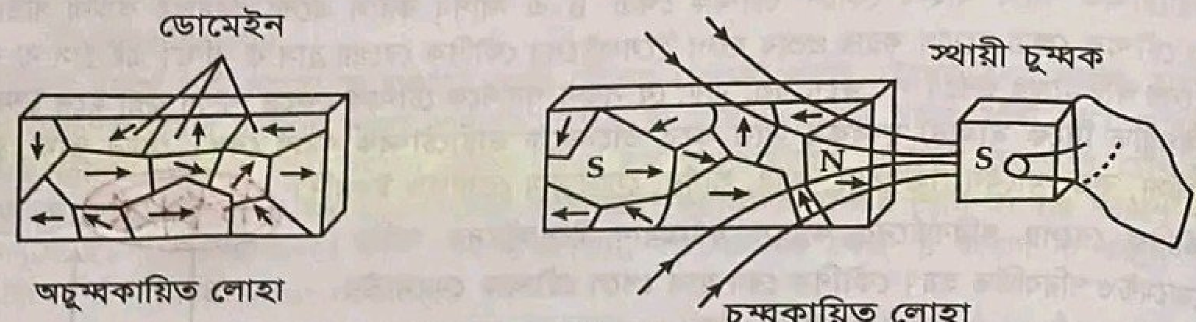
কাজ : ডায়াচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না কেন ?

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

৪.১২.২.৩ ফেরোচৌম্বকত্ব
Ferromagnetism

ফেরোচৌম্বক পদার্থও প্যারাচৌম্বক শ্রেণিভুক্ত। তবে এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা μ-এর মান অনেক গুণ বেশি হয় এবং চুম্বকের 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 সমান্তরালে রাখে।



(ক) (খ)

চিত্র ৪.২৯

একটি অচৌম্বকায়িত ফেরোচৌম্বক পদার্থ সাধারণভাবে কোনো নিট চৌম্বক মোমেন্ট না দেখানোর কারণ হলো যে বিভিন্ন ডোমেইনগুলোর নিট চৌম্বক মোমেন্ট ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে থাকে [চিত্র ৪.২৯ (ক)]। ফলে সমষ্টিগতভাবে পদার্থের নিট মোমেন্ট শূন্য হয়। চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে বা চুম্বকের কাছে আনলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে 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 প্রবাল্য H এর তুলনায় অনেক বেশি হয়।

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

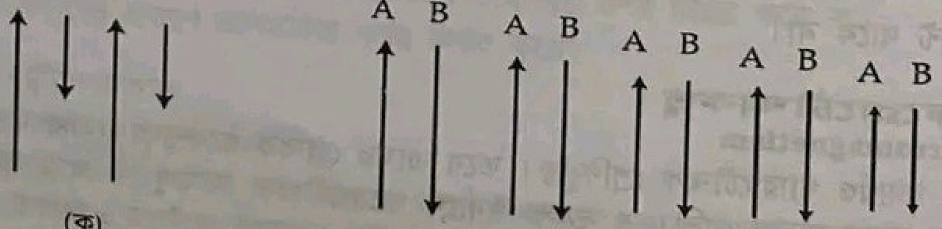
(v) এই চৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা ও প্রবণতা উভয়ই চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সাথে পরিবর্তিত হয়।

(vi) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে ফেরোচৌম্বক পদার্থের চৌম্বকগ্রাহিতা (K) কমতে থাকে। তাপমাত্রাকে একটি বিশেষ মানের উর্ধ্বে 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 ফেরিচৌম্বক (ferrimagnetic) পদার্থ এবং প্রতি-ফেরোচৌম্বক (anti-ferromagnetic) পদার্থ।

৪.১২.২.৪ ফেরিচৌম্বকত্ব
Ferrimagnetism

এ ধরনের পদার্থে দুটি ভিন্ন ধরনের আয়ন থাকে। আয়নসমূহের মোমেন্ট প্রতি-সমান্তরাল (anti-parallel) সজ্জায় থাকলেও মান সমান না হওয়ায় নিট চৌম্বক মোমেন্ট থাকে [চিত্র ৪.৩০(ক)]। ফেরাইট (Fe_3O_4) এ ধরনের একটি পদার্থ।



(ক) (খ)

চিত্র ৪.৩০

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

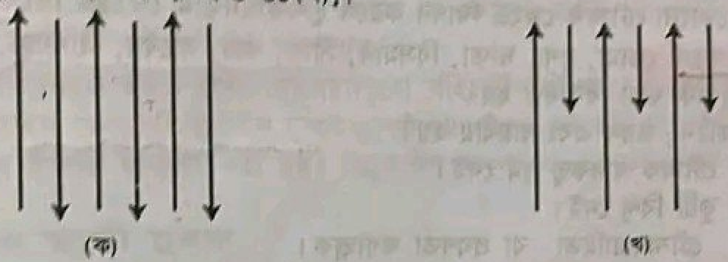
৪.১২.২.৫ প্রতি-ফেরোচৌম্বকত্ব
Anti-Ferromagnetism

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। উল্লিখিত স্পিনসমূহ এন্টি-প্যারালাল বা বিপরীতমুখী সমান্তরাল হলে নিম্ন তাপমাত্রায় গ্রাউন্ড স্টেট পাওয়া যায়।

বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্র অনুপস্থিত থাকলে এবং তাপমাত্রা নিল (neel) 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 ৪.৩০(খ)]। এ ধরনের বস্তুকে বলা হয় এন্টি-ফেরোচৌম্বক পদার্থ।

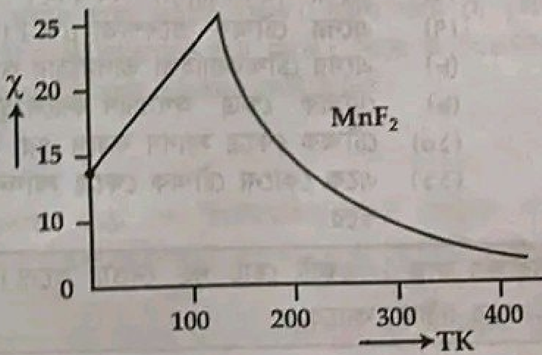
৪.১৩ এন্টিফেরোচৌম্বক পদার্থ
Antiferromagnetic substance

এন্টিফেরোচৌম্বকত্ব প্রদর্শন করে এমন সব কেলাসে যেখানে দুই ধরনের সাবল্যাটিস থাকে, যার একটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে একদিকে চুম্বকিত থাকে অন্যটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিপরীতদিকে চুম্বকিত থাকে। এ ধরনের চুম্বকত্ব প্রদর্শিত হয়—ম্যাঙ্গানিজ অক্সাইড (MnO), ম্যাঙ্গানিজ ফ্যারাইড (MnF_2) ইত্যাদিতে। এন্টিফেরোচৌম্বকত্বের উদ্ভব হয় যখন পার্শ্ববর্তী পরমাণুসমূহের স্পিন ভ্রামকগুলো প্রতিটি সমান্তরালভাবে সজ্জিত হয় [চিত্র ৪.৩১(ক)] বা যখন বিনিময় ইন্টিগ্রাল (exchange integral) ঋণাত্মক হয় [চিত্র ৪.৩১(খ)]।



চিত্র ৪.৩১

বাহ্যিক চুম্বক ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে পার্শ্ববর্তী চৌম্বক ভ্রামকগুলো একে অপরের ক্রিয়া নাকচ করে দেয়, ফলে পদার্থটি সামগ্রিকভাবে কোনো চুম্বকত্ব প্রদর্শন করে না। আবার বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হলে ক্ষেত্রের দিক বরাবর সামান্য চুম্বকত্বের উদ্ভব হয় যা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে বৃদ্ধি পায়। একটা ক্রান্তি তাপমাত্রায় চুম্বকত্ব সর্বাধিক হয় যাকে নিল তাপমাত্রা (Neel temperature) বলে। এই তাপমাত্রার ওপরে চুম্বকত্ব ধারাবাহিকভাবে হ্রাস পেতে থাকে [চিত্র ৪.৩২] এবং এক সময় প্যারাচৌম্বক পদার্থের ন্যায় আচরণ করে।



চিত্র ৪.৩২

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 1000
Characteristics of ferromagnetic, paramagnetic and dia-magnetic substances

ফেরোচৌম্বক পদার্থ (লোহা, নিকেল, কোবাল্ট)

(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। কুরী বিন্দুর ওপরে এর কোনো চুম্বকত্ব থাকে না।
(৫) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা বা প্রবণতা খুব বেশি এবং ধনাত্মক ($\chi_m >> 0$)।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম রয়েছে।

(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu >> 1$।

(৮) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার ওপর 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।

(১১) একে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে।

প্যারাচৌম্বক পদার্থ (সোডিয়াম, অ্যান্টিমনি, ম্যাঙ্গানিজ, তরল অক্সিজেন, ক্রোমিয়াম, অ্যামোনিয়া)

(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। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে এটি এর চুম্বকত্ব হারাতে শুরু করে।

(৫) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা বা প্রবণতা কম এবং ধনাত্মক ($\chi_m > 0$)।

(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম নেই।

(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu > 1$।

(৮) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার ওপর 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।

(১১) একে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করবে।

ডায়াচৌম্বক পদার্থ (তামা, রূপা, দস্তা, বিসমাথ, সীসা, কাচ, মার্বেল, হিলিয়াম, পানি, আর্গন, NaCl)

(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 ওপর 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।

(১১) একে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে।

পরীক্ষণ কাজ : একটি 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।

৪·১৪ 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।

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 হওয়া মাত্র যেন উহার চুম্বকত্ব লোপ পায়। সেই কারণে তড়িৎচুম্বক প্রস্তুতিতে ইস্পাত অপেক্ষা নরম লোহা বেশি ব্যবহৃত হয়।

৪.১৫.২ স্থায়ী চুম্বক 1000%
Permanent magnet

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) হিস্টেরিসিস 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। পারম্যালয় (নিকেল ও লোহার সংকর), মামমেটাল (নিকেল, কপার, লোহা ও ক্রোমিয়াম সংকর) ইত্যাদির আদি চৌম্বক প্রবেশ্যতা অনেক বেশি হওয়ায় স্থায়ী চুম্বক তৈরিতে বেশি উপযোগী। সিরামিক ও সংকর ধাতু দিয়ে আজকাল স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হচ্ছে। এরূপ কয়েকটি চুম্বক নিম্নে বর্ণনা করা হলো।

সিরামিক চুম্বক (Ceramic magnet) : আয়রন অক্সাইড ও বেরিয়াম অক্সাইডের মিশ্রণে তৈরি সিরামিক চুম্বক বহুল প্রচলিত। সম্প্রতি উদ্ভাবিত সবচেয়ে শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বক হলো নিয়োডিমিয়াম বোরন আয়রনের চুম্বক। নিকেল দিয়ে সর্বপ্রথম স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হয়। আয়রন অক্সাইড ও বেরিয়াম অক্সাইড মিশ্রণে সিরামিক চুম্বক তৈরি হয়। সিরামিক চুম্বক ফ্যারাইট নামে পরিচিত।

সংকর চুম্বক (Alloy magnet) : 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। ভিকালয় (লোহা, কোবাল্ট ও ভ্যানাডিয়াম এর একটি সংকর) চুম্বক উদ্ভাবন করা হয়েছে যার নিগ্রহ সহনশীলতা অনেক বেশি।

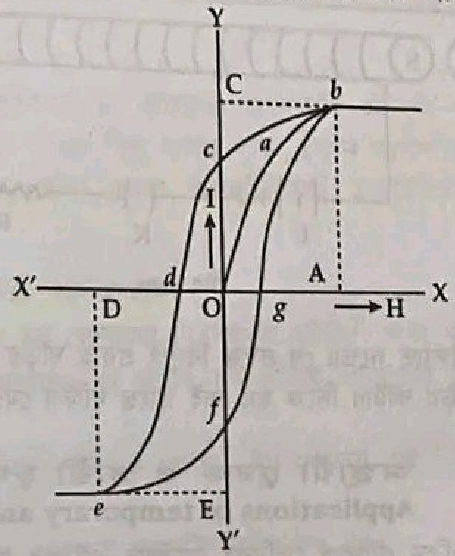
সারণি ১ : বিভিন্ন ধরনের স্থায়ী চুম্বক, চুম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত পদার্থ এবং এদের ব্যবহার

স্থায়ী চুম্বক	সংকর ধাতু	ব্যবহার
পারমেলয়	লোহা, নিকেল সংকর ধাতু	তড়িৎ চুম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।
সিরামিক চুম্বক	আয়রন অক্সাইড, বেরিয়াম অক্সাইড	কম্পিউটারের স্মৃতির ফিতায়, টেপরেকর্ডারের ফিতায়, রেডিওর অ্যান্টেনা তৈরিতে ব্যবহার করা হয়।
স্ট্যালয় বা কাঁচা লোহা	লোহা এবং 4% সিলিকন মিশ্রণ	ট্রান্সফর্মারের মজ্জা, টেলিফোনের ডায়াফ্রাম, ডায়নামো ও মোটরের আর্মেচার তৈরিতে ব্যবহার হয়।
ভিকালয়	লোহা, কোবাল্ট, ভ্যানাডিয়াম	টেপরেকর্ডিং এর ফিতা তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।
মাম মেটাল	নিকেল, কপার, লোহা ও ক্রোমিয়াম	তড়িৎচৌম্বক তৈরিতে ব্যবহার করা হয়।
ফিকোনাল		
অ্যালিনিকো	লোহা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল ও কোবাল্টের মিশ্রণ	লাউড স্পিকারে ব্যবহৃত হয়। শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বকের জন্য ব্যবহার করা হয়।
টিকোনাল	লোহা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম, টাইটেনিয়াম, কোবাল্ট, নিকেলের মিশ্রণ	স্থায়ী চুম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

...৫.৩ চুম্বকায়ন চক্র এবং হিস্টেরিসিস বা শৈথিল্য Cycle of magnetisation and hysteresis

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

চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য (H) বনাম চুম্বকায়ন তীব্রতা (I) লেখচিত্রটিকে I—H লেখ বলা হয়। লেখটি নিম্নে ...চিত হলো [চিত্র ৪.৩৫]। বিজ্ঞানী **জে. এ. ইউং** নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে এই ঘটনা আবিষ্কার করেন। ...ফেরোচৌম্বক পদার্থকে H প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করি এবং একে চুম্বকায়িত করি। H-এর ...বর্তনে চুম্বকায়নমাত্রা বা ম্যাগনেটাইজেশন ভেক্টর I-এর পরিবর্তন ঘটবে এবং I বনাম H লেখটিকে O a b c d e f g b ...সূচিত করা গেল। H-কে X-অক্ষে এবং I-কে Y-অক্ষে স্থাপন করে লেখটি অঙ্কন করা হয়েছে। H-এর মান শূন্য ...ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে চুম্বকায়ন মাত্রা I-এর মান ...তে থাকে। চিত্রে Oab রেখার সাহায্যে এটি দেখানো ...হে। I-এর মান b বিন্দুতে উপনীত হবার পর H-এর মান ...লেও I-এর মান আর বাড়ে না। এ অবস্থায় চুম্বকায়ন ...সম্পৃক্ত মান লাভ করে।



চিত্র ৪.৩৫

সম্পৃক্ত মানে চুম্বকায়ন মাত্রা OC এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের ...OA। এমতাবস্থায় চৌম্বক পদার্থের **অণুচুম্বকগুলো** ...পূর্ণরূপে এক রেখায় অবস্থান করে।

এখন H-এর মান ক্রমাগত কমাতে থাকলে I-এর মান ...তে থাকে। কিন্তু তা O বিন্দুতে ফিরে আসে না। তখন তা bc ...অনুসরণ করে। c বিন্দুতে H-এর মান শূন্য মানে পৌঁছায়, ...I-এর মান শূন্য হয় না। এই অবস্থায় চৌম্বক পদার্থে ...কায়নের মাত্রা খানিকটা থেকে যায়। চিত্রে তা Oc দিয়ে ...নো হয়েছে। চুম্বকায়ন মাত্রার এই মানকে **অবশিষ্ট** ...কত্ব বা রিমেনেন্স (remanence) বলে এবং চৌম্বক পদার্থের ...তাকে ধারণ ক্ষমতা (retentivity) বলা হয়।

এখন H-এর অভিমুখ বিপরীত করে এর ঋণমান ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে I-এর মান ক্রমশ কমতে থাকে। cd ...দিয়ে তা দেখানো হয়েছে। d বিন্দুতে I-এর মান শূন্য হয় এবং এমতাবস্থায় H-কে Od দিয়ে নির্দেশ করা হয়েছে। ...শূন্য মানে H-এর এ মানকে **নিগ্রহ বল** (coercive force) বলে এবং চৌম্বক পদার্থের এ ধর্মকে **নিগ্রহ-সহনশীলতা** ...ercivity) বলে। এমতাবস্থায় চৌম্বক পদার্থটি চুম্বকত্ব হারায়। H-এর এ মান ঋণাত্মক দিকে ক্রমাগত বাড়াতে ...লে 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 ...ত্রের প্রাবল্য = OD। চিত্রে e বিন্দু এ অবস্থা প্রকাশ করে। এ অবস্থায় H-এর ঋণমান আরো বাড়ালে I-এর ঋণমান ...র 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। $b\,c\,d\,e\,f\,g\,b$ বদ্ধ লুপকে হিসটেরেসিস লুপ (Hysteresis loop) বলে এবং সমগ্র চক্রকে **হিসটেরেসিস চক্র** (Hysteresis cycle) বলে।

কাঁচা লোহার হিসটেরেসিস জনিত অপচয় ইস্পাতের চেয়ে কম বলে ট্রান্সফরমার, ডায়নামো ইত্যাদির অন্তর্বস্তু ...নির্মাণে ইস্পাতের পরিবর্তে কাঁচা লোহা ব্যবহার করা হয়।

সংজ্ঞা : কোনো ফেরোচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করে চুম্বকিত করার পর চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ ...রে বিচুম্বকিত করতে গেলে সেটি সহজে বিচুম্বকিত হতে চায় না। চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগের সময় পদার্থের চুম্বকত্ব ...ভাবে বৃদ্ধি পায়, চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণের সময় চুম্বকত্ব সেভাবে হ্রাস পায় না। চৌম্বক পদার্থের বিচুম্বকিত হতে ...শীহা বা শৈথিল্য প্রদর্শন করাকে হিসটেরেসিস বলে।

...নে রাখ : হিসটেরেসিস লুপের সাহায্যে কোনো পদার্থের কী কী বিষয় জানা যেতে পারে?

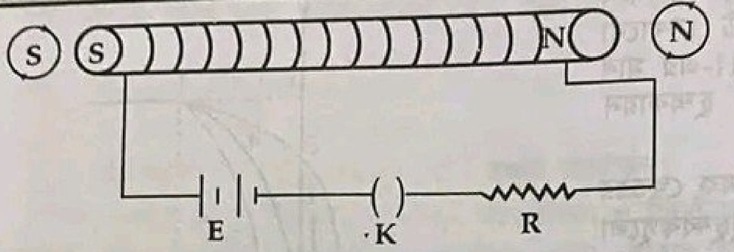
চৌম্বক পদার্থের হিসটেরেসিস লুপ পর্যালোচনা করে পদার্থটির ধারণ ক্ষমতা, সহনশীলতা, চৌম্বকগ্রাহিতা ও ...বশ্যতা ইত্যাদি বিষয়ে মূল্যবান তথ্য পাওয়া যায়। ওই তথ্যের সাহায্যে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, ওই বিশেষ চৌম্বক

পদার্থটি কি কাজে ব্যবহৃত হবে। মোটর, ডায়নামো ইত্যাদি যন্ত্রের আর্মেচার কি জাতীয় চৌম্বক পদার্থের হওয়া উচিত তার ধারণা এই লুপ থেকে জানা যায়।

জানা দরকার : যে সমস্ত চৌম্বক পদার্থের B — H লুপের ক্ষেত্রফল কম হয়, তাদের বলা হয় **নরম চৌম্বক পদার্থ** (soft magnetic material)। এদের অবশিষ্ট চুম্বকত্ব (residual magnetism বা remanent induction) ও নিগ্রহ বল (coercive force) নিম্ন মানের হয়, কিন্তু চৌম্বক ভেদ্যতা (magnetic permeability) উচ্চ মানের হয়।

যে সমস্ত চৌম্বক পদার্থের B — H লুপের ক্ষেত্রফল বেশি হয় তাদের বলা হয় **কঠিন চৌম্বক পদার্থ** (hard magnetic material)। এদের অবশিষ্ট চুম্বকত্ব ও নিগ্রহ বল উচ্চ মানের হয়।

পরীক্ষণ : বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে কৃত্রিম চুম্বক প্রস্তুতকরণ।



চিত্র ৪·৩৬

একটি সোজা ইস্পাত দন্ড NS নিয়ে দন্ডটিকে অনুভূমিকভাবে একটি কাচ নল এর মধ্যে প্রবেশ করিয়ে নলের ওপর দিয়ে অন্তরীত তামার তার জড়ানো হয় [চিত্র ৪·৩৬] এবং তারের দুই প্রান্তকে একটি চাবির সাহায্যে বিদ্যুৎ কোষের দুই প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হয়। চাবি বন্ধ করে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হয়।

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

৪·১৬ অস্থায়ী চুম্বক ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার
Applications of temporary and permanent magnets

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

৪·১৬·১ 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।

৪·১৬·২ 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 অ্যালিনিকো, রেডিওর অ্যান্টেনা ও টেপরেকর্ডিং এর ফিতার জন্য ভিক্যালয় (Vicalloy) (লোহা, কোবাল্ট, ভ্যানাডিয়াম এর সংকর), লাউড স্পিকারের চুম্বকের জন্য ডিকোনাল ব্যবহৃত হয়।

বহুল পরিচিত স্থায়ী চুম্বক হলো সিরামিক চুম্বক। এই চুম্বক কম্পিউটারের স্মৃতির ফিতায়, টেপরেকর্ডারের ফিতায় এবং রেডিওর অ্যান্টেনা তৈরিতে বহুল ব্যবহৃত হয়। এই সিরামিক চুম্বক আয়রন অক্সাইড ও বেরিয়াম অক্সাইডের মিশ্রণে তৈরি করা হয়।

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

কতগুলি সংকর ধাতু যেমন পারম্যালয় (লোহা ও নিকেলের সংকর ধাতু) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বেশি হওয়ায় তড়িৎ চুম্বক তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়। তাছাড়া মাম মেটাল (নিকেল, কপার, লোহা, ক্রোমিয়াম সংকর)-ও এই কাজে ব্যবহৃত হয়। ট্রান্সফরমারের কোর, টেলিফোনের ডায়ফ্রাম, ডাইনামো ও মোটরের আর্মেচার তৈরির জন্য ইস্পাত অপেক্ষা কাঁচা লোহা অনেক বেশি উপযোগী। কারণ কাঁচা লোহার হিসটেরেসিস অপচয় ইস্পাত অপেক্ষা কম, চৌম্বক প্রবেশ্যতা প্রায় 250। লোহার সাথে 4% সিলিকন মিশিয়ে এর প্রবেশ্যতা বেশি করা হয়। এ রকম সংকর ধাতুকে স্ট্যালয় বলে।

এ ছাড়া পারম্যালয় (নিকেল ও লোহার সংকর), মামমেটাল (নিকেল, কপার, লোহা ও ক্রোমিয়ামের সংকর) ইত্যাদির আদি প্রবেশ্যতা অনেক বেশি হওয়ায় উপরোক্ত কাজে এগুলো ব্যবহার করা হয়।

স্থায়ী চুম্বক নির্মাণের জন্য উপযুক্ত পদার্থের ধর্মাবলি

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 (saturation 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 পদার্থের ধর্মাবলি

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 হিসটেরিসিস 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 পারমেলয় (লোহা ও নিকেলের সংমিশ্রণ) এবং ট্রান্সফরমার ইস্পাত (লোহা ও সিলিকন সংমিশ্রণ) সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়।

প্রয়োজনীয় গানিতিক সূত্রাবলি

$$\varphi_B = BA \quad \cdots \quad (1)$$

$$B = \frac{\varphi_B}{A}, B = \frac{F}{qV}, \vec{B} = \mu\vec{H} \quad \cdots \quad (2)$$

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 I, B = \mu_0 I \times n \quad \cdots \quad (3)$$

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

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

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2r} \quad \cdots \quad (6)$$

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