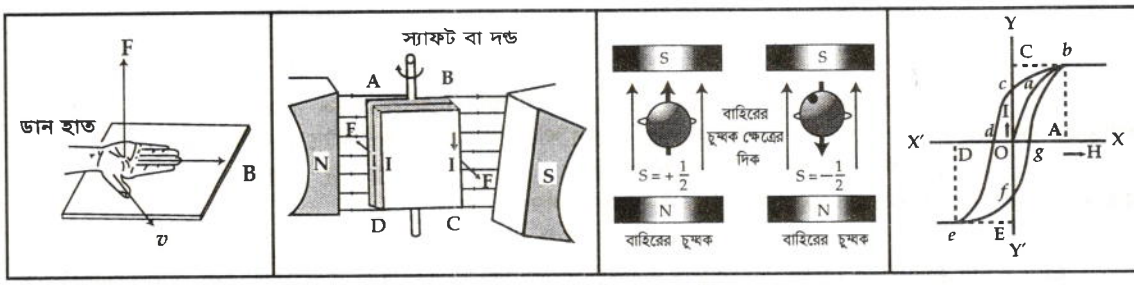
RMDAC

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

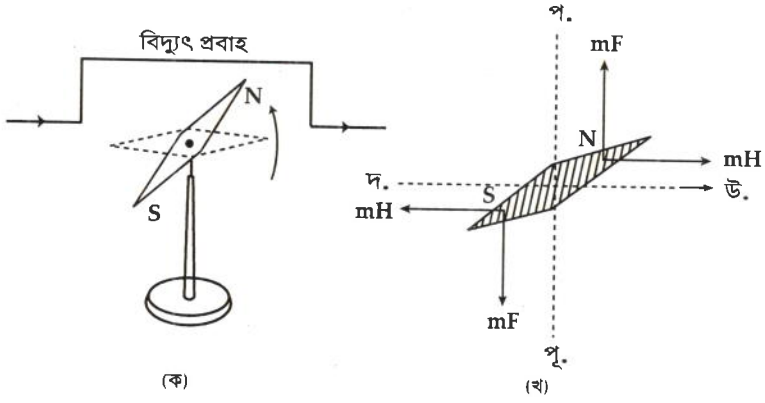
পদার্থবিদ্যার যে শাখায় বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আলোচনা করা হয় তাকে বিদ্যুৎ চুম্বকত্ব (electro-magnetism) বলে। বিজ্ঞানী **এইচ সি ওয়েরস্টেড** আকস্মিকভাবে আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎবাহী তারের চতুষ্পার্শে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। তিনি দেখিয়েছেন যে, একটি চুম্বক শলাকার নিকটে অবস্থিত একটি তারের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

Made with Goodnotes

৪·১·১ ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা
Oersted's experiment

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

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।

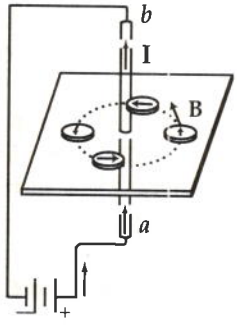
ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা থেকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা পাওয়া যায়। এখন আমরা দেখব চৌম্বক ক্ষেত্র কী ?

একটি দণ্ড চুম্বকের নিকটে একটি চুম্বক 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 চুম্বক 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।

[MAT: 18-19]

সংজ্ঞা : কোনো চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চুম্বক 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 চুম্বক শলাকা তারটিকে কেন্দ্র করে সমান দূরত্বে বিভিন্ন অবস্থানে রাখলে এটি সমান বিক্ষেপ দেখাবে; কিন্তু বিক্ষেপের দিক ভিন্নতর হবে [চিত্র ৪·২]। তারটির চতুর্দিকে যেসব বিন্দুতে চুম্বক 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 চুম্বক 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 যেকোনো 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 বন্ধ বক্ররেখা যাদের কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক উক্ত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে।

Made with Goodnotes

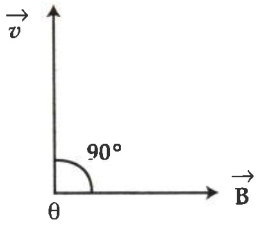
৪·১·২ চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয়
Determination of magnitude of magnetic field

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,

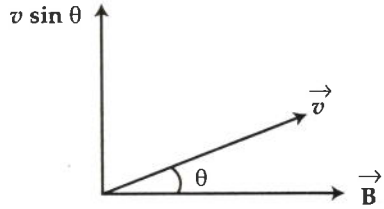
$$B = \frac{F}{qv} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.1)$$

যদি কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে q চার্জ v বেগে গতিশীল হয় তাহলে একক চার্জ একক বেগে গতিশীল হলে $\frac{F}{qv}$ বল লাভ করবে [চিত্র ৪·৩(ক)। কিন্তু যদি চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল না হয়ে θ কোণে গতিশীল হয় [চিত্র ৪·৩(খ)] তাহলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের লম্ব বরাবর অর্থাৎ ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে চার্জটির বেগের উপাংশ হবে $v \sin\theta$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের মান হবে,

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



চিত্র ৪·৩(ক)



চিত্র ৪·৩(খ)

4.1(a) সমীকরণ থেকে পাই,

$$F = qvB \sin\theta$$

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

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

সুতরাং বলা যায় চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল চার্জের ওপর বল (F) সর্বদা চার্জের বেগের দিকের সাথে লম্ব বরাবর ক্রিয়া করে এই বলের মান—

(i) চার্জের মানের (q) সমানুপাতিক (ii) চার্জের বেগের সমানুপাতিক (iii) চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের সমানুপাতিক (iv) চার্জের বেগের দিক চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে $\sin\theta$ কোণের সমানুপাতিক।

দিক : 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]।

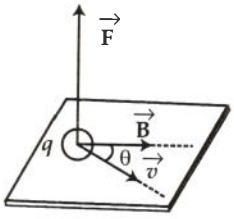
৪·১·৩ চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ণয়
Determination of direction of the magnetic field

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

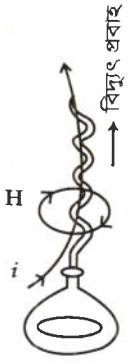
ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র : একটি তড়িৎবাহী তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখে ডান পাকের কর্ক-স্ক্রুকে ঘুরালে

Made with Goodnotes

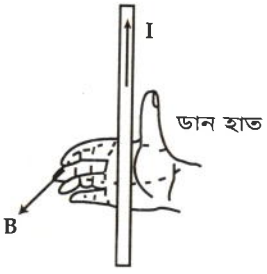
হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলি যে দিকে ঘুরে চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু সেদিকে বিক্ষিপ্ত হবে। অর্থাৎ ওই দিক হবে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ [চিত্র ৪·৩(ঘ)]।



চিত্র ৪·৩(গ)



চিত্র ৪·৩(ঘ)



চিত্র ৪·৩(ঙ)

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

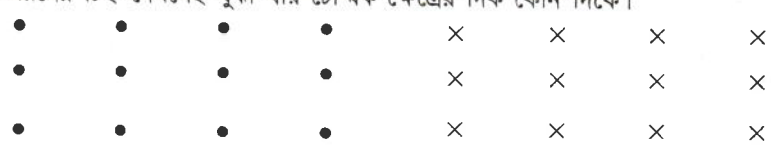
কাজ : সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল কী কী বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল ?

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 $\sin\theta$ 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 ডট্ (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।

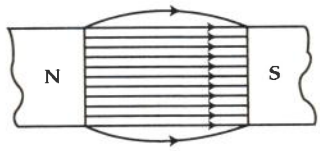
Made with Goodnotes

৪·১·৪ কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা
Some important definitions

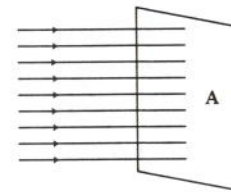
চৌম্বক ফ্লাক্স (Magnetic flux) : চৌম্বক ক্ষেত্রকে সাধারণত চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। চিত্র ৪·৫–এ একটি অশ্বখুরাকৃতির দুই মেরুর মধ্যবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা দেখানো হয়েছে। ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের ওপর নির্ভর করে।

সংজ্ঞা : 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।



চিত্র ৪·৫ : চৌম্বক ফ্লাক্স।



চিত্র ৪·৬ : চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব।

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}

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,

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

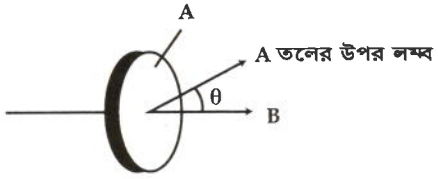
বা, $$\varphi = BA \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.2a)$$

এক্ষেত্রে চৌম্বক আবেশ B এবং কুণ্ডলী তল A-এর 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,

$\varphi = AB\cos\theta$

RMDAC



চিত্র ৪·৭

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

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

কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা N হলে, $\varphi = N AB\cos\theta$

একক : চৌম্বক 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 হয় 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।

B এর মাত্রা সমীকরণ $[MT^{-2}I^{-1}]$

[DAT: 20-21]

Made with Goodnotes

গাণিতিক উদাহরণ ৪.১

১। 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,

$$\varphi = AB\cos\theta$$
$$= 0{\cdot}5 \times 4 \times 10^{-5} \cos 60°$$
$$= 1 \times 10^{-5}\ \text{Wb}$$

এখানে,

$A = 0{\cdot}5\ m^2$
$B = 4 \times 10^{-5}$ T
$\theta = 90° - 30° = 60°$
$\varphi = ?$

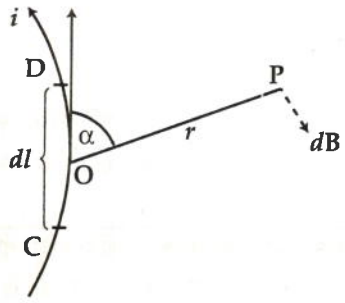
৪·২ বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র বা ল্যাপ্লাস-এর সূত্র

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। যেকোনো 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 ৪·৮

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 ৪·৮ অনুযায়ী ধরি DC পরিবাহীর মধ্য দিয়ে I তড়িৎ প্রবাহের ফলে P বিন্দুতে চৌম্বকীয় আবেশ dB হয় এবং O বিন্দুতে বিদ্যুৎ প্রবাহের অভিমুখ ও OP রেখার মধ্যে কৌণিক ব্যবধান 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।

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

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

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

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, $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{i\,dl\sin\alpha}{r^2} \quad \ldots \quad (4.4)$

Made with Goodnotes

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

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

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

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

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

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

বায়োট-স্যাভার্টের সূত্র অনুযায়ী তড়িৎবাহী পরিবাহীর চতুর্দিকে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $dB = idl \sin\alpha$। দেখা যায় যে, পরিবাহীর লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান সব থেকে বেশি এবং স্পর্শক বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় না। পরিবাহীর মধ্যবিন্দু ও 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]।

Made with Goodnotes

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 $i\vec{dl}$ প্রবাহমাত্রা বা প্রবাহাংশের জন্য বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র হতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান পাই,

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

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

এখন সমকোণী ত্রিভুজ ΔOXQ হতে পাই,

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

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

আবার, ধরি $OQ = l$

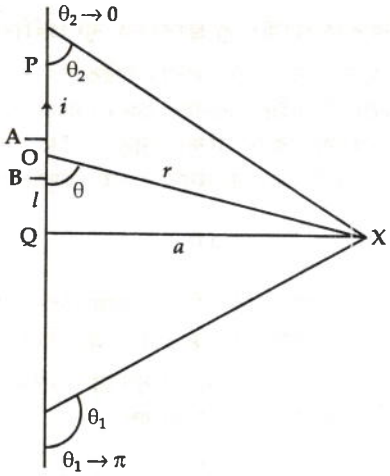
$$\therefore \quad l = a\cot\theta \quad [\because \cot\theta = \frac{OQ}{QX} = \frac{l}{a}]$$

ব্যবকলন করে পাই,

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

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

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



চিত্র ৪·৯

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

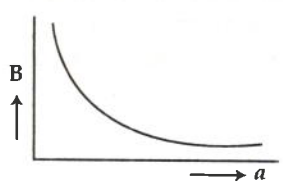
সে ক্ষেত্রে,

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

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

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

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, $B = \frac{\mu_0 i}{4\pi a}$।



চিত্র ৪·৯(ক)

অসীম দৈর্ঘ্যের তারের মধ্য দিয়ে স্থির তড়িৎ। প্রবাহের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র B দূরত্ব a-এর সঙ্গে $B \propto \frac{1}{a}$ হিসেবে পরিবর্তিত হয় [$\because \mu_0$ ধ্রুব]।

সুতরাং, B বনাম a লেখচিত্র হবে পরাবৃত্ত [চিত্র ৪·৯(ক)]।

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

Made with Goodnotes

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 যেকোনো 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,

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

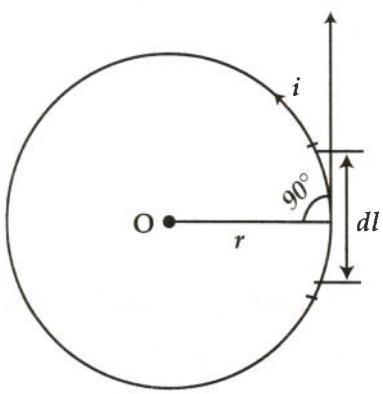
এখন মনে করি r মিটার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট এক পাকের একটি বৃত্তাকার তারের ভেতর দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৪·১০] । এই বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ নির্ণয় করতে হবে।

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

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

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

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



চিত্র ৪·১০

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

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

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}[l]_0^{2\pi r}$$

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

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

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

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

Made with Goodnotes

গাণিতিক উদাহরণ ৪.২

১। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস $31{\cdot}4 \times 10^{-2}$ 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, $$i = \frac{2Br}{\mu_0 n}$$

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

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

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

এখানে,

$n = 400$

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

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

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

$i = ?$

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

আমরা জানি,

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

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

এখানে,

$i = 5$ A

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

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

$B = ?$

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

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

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 5 \times 10^{-7}}{2 \times 31{\cdot}14 \times 10^{-2}}$$

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

এখানে,

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

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

$n = 800$

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

$B = ?$

৪। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 0·5 Å। এই কক্ষপথে ইলেকট্রনটি $2{\cdot}2 \times 10^{6}$ 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 $= 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C। [BUET Admission Test, 2016–17]

আমরা জানি,

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

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

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0 \times Qv}{2\pi r \times 2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 2{\cdot}2 \times 10^{6}}{4\pi \times (0{\cdot}5 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 14{\cdot}08 \text{ T}$$

এখানে,

$r = 0{\cdot}5$ Å $= 0{\cdot}5 \times 10^{-10}$ m

$v = 2{\cdot}2 \times 10^{6}$ ms^{-1}

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ 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 $\mu Wb/m^2$ বা (μT) চৌম্বক প্রাবল্য সৃষ্টি হবে? [BUET Admission Test, 2009–10]

আমরা জানি,

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

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

$$= 1{\cdot}9108 \text{ A}$$

এখানে,

$r = \frac{d}{2} = \frac{320}{2} = 160$ mm

$= 160 \times 10^{-3}$ m

$B = 300$ $\mu Wbm^{-2} = 300 \times 10^{-6}$ Wbm^{-2}

$n = 40$

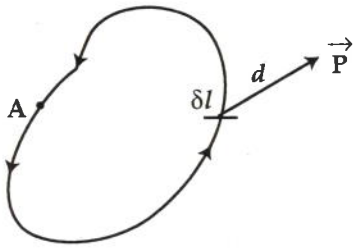
Made with Goodnotes

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।



চিত্র ৪·১১

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,

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

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,

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

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 নির্ণয় করলে দেখা যাবে চৌম্বক ক্ষেত্র B, i-এর সমানুপাতে ও দূরত্ব r-এর ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হবে।

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

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

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

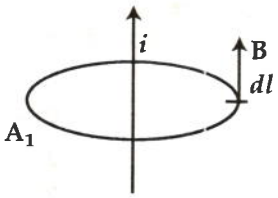
$\therefore$ সমীকরণ (4.22) হতে পাই, $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{i}{r} = \frac{\mu_0}{2\pi r} i$ ... ... (4.23)

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

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

Made with Goodnotes

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 এবং বৃত্তের পরিধির ক্ষুদ্র অংশের মধ্যকার কোণের মান শূন্য।



চিত্র ৪·১১ (ক)

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।

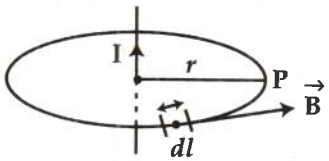
∴ আমরা পাই,

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

এটিই হলো অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র।

অ্যাম্পিয়ারের সূত্রের প্রয়োগ
Applications of Ampere's Law

দীর্ঘ ও সোজা তড়িৎবাহী পরিবাহীর নিকটে কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র : ধরা যাক, একটি সরল পরিবাহীর মধ্য দিয়ে I সুষম বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৪·১১(খ)]। তারটি থেকে r দূরত্বে P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে। তারটিকে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের P বিন্দুগামী বৃত্তপথটি নেওয়া হলো। এর সমতলটি তারের অভিলম্ব বরাবর অবস্থিত। এই বৃত্তপথটিকেই অ্যাম্পিয়ারের বন্ধপথ বিবেচনা করা যায়। এই বন্ধপথের ওপরিস্থিত যেকোনো ক্ষুদ্রাংশ



চিত্র ৪·১১ (খ)

$d\vec{l}$ নিলে ম্যাক্সওয়েলের কর্ক স্ক্রু নিয়ম অনুসারে $\vec{B}$ সকল স্থানেই $d\vec{l}$ এর সমান্তরাল হয়। অর্থাৎ $\vec{B} \cdot d\vec{l} = Bdl \cos\theta = Bdl$। আবার, প্রতিসাম্যের দরুন বন্ধপথের প্রতিটি বিন্দুতে B-এর মান সমান। সুতরাং,

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint Bdl \cos\theta = \oint Bdl = B\oint dl = B.2\pi r$$

এখন, যেহেতু বন্ধপথ দ্বারা পরিবেষ্টিত বিদ্যুৎ প্রবাহ = I

অতএব, অ্যাম্পিয়ারের সূত্র থেকে পাই,

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 I$$

বা, $$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r}$$

বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করেও চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য অনুরূপ রাশি পাওয়া যায়।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৩

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

১ম ক্ষেত্রে

মনে করি, ক্ষেত্র প্রাবল্য = B

$$\therefore B = \mu_0 i \times n \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

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

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

সমীকরণ (i) থেকে পাই,

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

Made with Goodnotes

২য় ক্ষেত্রে

মনে করি, ফ্লাক্স = ϕ_B

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

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

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

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

৪·৪ গতিশীল চার্জের ওপর চৌম্বক বল : লরেঞ্জ বল

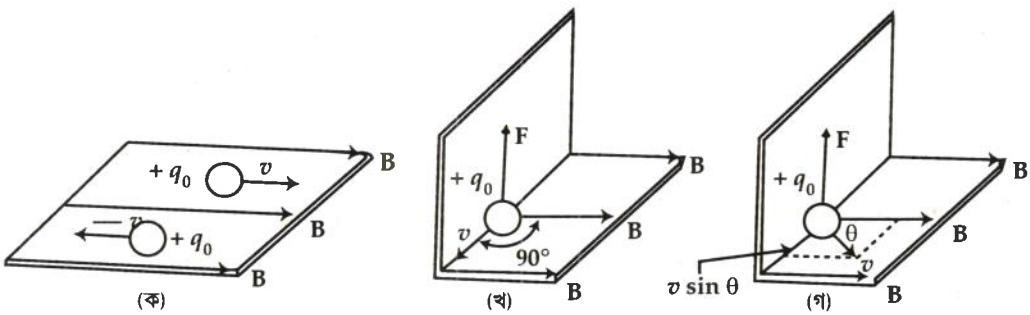
Magnetic force on a moving charge : Lorentz force

আমরা জানি যে একটি চার্জকে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চার্জটি বৈদ্যুতিক বল অনুভব করে। স্বাভাবিক-ভাবে 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।

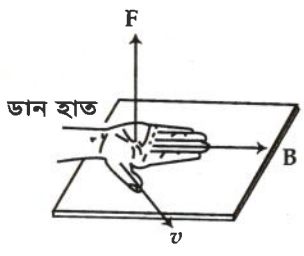
ব্যাখ্যা : চিত্র ৪·১২(ক)-এ একটি গতিশীল চার্জ $\vec{v}$ বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে প্রবাহিত হচ্ছে। চার্জটি গতিশীল হওয়া সত্ত্বেও এ অবস্থায় চার্জের ওপর কোনো চৌম্বক বল কাজ করবে না। অর্থাৎ চার্জটি কোনো বল অনুভব করবে না। কেননা চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর বেগ শূন্য; সুতরাং উল্লিখিত ২নং শর্ত পূরণ 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 অঙ্গুলিগুলোর দিক চৌম্বক ক্ষেত্র এবং বৃদ্ধাঙ্গুল 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।

Made with Goodnotes

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

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

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

এবং ভেক্টর পদ্ধতিতে,

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

বিশেষ ক্ষেত্র :

(i) যখন $\theta = 0°$ বা $180°$, তখন $F = 0$ ... ... (4.29)

এ অবস্থায় চার্জটি কোনো বল অনুভব করে না। অর্থাৎ চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে গতিশীল হয়।

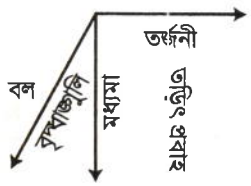
(ii) যখন $\theta = 90°$, তখন $F = qvB$ ... ... (4.30)

এ অবস্থায় চার্জটি সর্বাধিক বল অনুভব করে। অর্থাৎ চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে গতিশীল হয়।

(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। এই দিক ফ্লেসিং এর বাম হস্ত সূত্র থেকে জানা যায়। সূত্রটি হলো : বাম হাতের তর্জনী মধ্যমা ও বৃদ্ধাঙ্গুলি পরস্পর সমকোণে প্রসারিত করে তর্জনীকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ($\vec{B}$) অভিমুখে এবং মধ্যমাকে প্রবাহের অভিমুখে স্থাপন করলে বৃদ্ধাঙ্গুলি পরিবাহীর ওপর প্রযুক্ত বলের অভিমুখ তথা চৌম্বক ক্ষেত্র পরিবাহীর গতির বা বিক্ষেপের দিক নির্দেশ করে [চিত্র ৪·১৩(ক)।



চিত্র ৪·১৩(ক)

লরেঞ্জ বল : কোনো তড়িতাধান (চার্জ) একই সঙ্গে তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ 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, $\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$।

অনুসন্ধান কর : কোনো অঞ্চল দিয়ে গমনকালে একটি ইলেকট্রন বিক্ষিপ্ত হয় না। আমরা কী নিশ্চিত হতে পারি যে ওই স্থানে চৌম্বকক্ষেত্র নেই।

চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ বরাবর ইলেকট্রনের বেগ $\vec{v}$ থাকলে ইলেকট্রনের ওপর চৌম্বক বল শূন্য হবে। কেননা, $\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$। তখন ইলেকট্রন বিক্ষিপ্ত হবে না যদিও ওই স্থানে চৌম্বকক্ষেত্র থাকে।

জানা দরকার : (i) যদি চার্জিত কণা স্থির অবস্থায় থাকে, তবে তড়িৎ বল ক্রিয়া করবে কিন্তু যেহেতু $\vec{v} = 0$ অতএব চার্জের ওপর কোনো চৌম্বক বল ক্রিয়াশীল হবে না।

(ii) ঋণাত্মক কণার (যেমন ইলেকট্রন বা ঋণাত্মক আয়ন) q-কে $-q$ দ্বারা প্রতিস্থাপিত করলে প্রতিটি বল (যেমন, $\vec{F}_e$, $\vec{F}_m$, $\vec{F}$) বিপরীত হবে।

Made with Goodnotes

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৪

১। 5×10^6 ms^{-1} বেগে একটি ইলেকট্রন চৌম্বকক্ষেত্রে প্রবেশ করে। ইলেকট্রনটি যদি 10 cm ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে আবর্তন করে তবে চৌম্বক বলের মান কত হবে? (ইলেকট্রনের ভর, $m = 9 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

যেহেতু ইলেকট্রন বৃত্তাকার পথে আবর্তিত হয় সুতরাং ইলেকট্রনের বেগের দিক চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর। এখন আমরা জানি,

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} = evB \; [\because \; v \perp B]$$

এখানে,
$m = 9 \times 10^{-31}$ kg
$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C
$v = 5 \times 10^6$ ms^{-1}
$r = 10$ cm $= 0.1$ m

এই বল ইলেকট্রনকে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করে প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বল সরবরাহ করে। সুতরাং,

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

বা, $$B = \frac{mv}{qr} = \frac{9 \times 10^{-31} \times 5 \times 10^6}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.1} = \frac{9 \times 5 \times 10^{-25}}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.1}$$

$$= 2.8 \times 10^{-4} \text{ T}$$

২। একটি প্রোটন 0.4 Wbm^{-2} প্রাবল্যের চুম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরছে। আবর্তন কম্পাঙ্ক 6.10×10^6 rev/sec। প্রোটনের আধান 1.6×10^{-19} C হলে প্রোটনের ভর কত?

আমরা জানি,

$$\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B} = qvB\sin\theta$$

বা, $F = qvB$

আবার,

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

এখানে,
$B = 0.4$ Wbm^{-2}
$n = 6.10 \times 10^6$ rev sec^{-1}
$q = e = 1.6 \times 10^{-19}$ C
$\theta = 90°$

$$\therefore \frac{mv^2}{r} = qvB \text{ বা, } m = \frac{Bqr}{v} = \frac{qB}{\omega} \; [\because v = r\omega]$$

এখন, $\omega = 2\pi n = 2 \times 3.14 \times 6.10 \times 10^6 = 38.3 \times 10^6$

$$\therefore n = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 0.4}{38.3 \times 10^6} = \frac{1.6 \times 0.4 \times 10^{-27}}{0.383} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

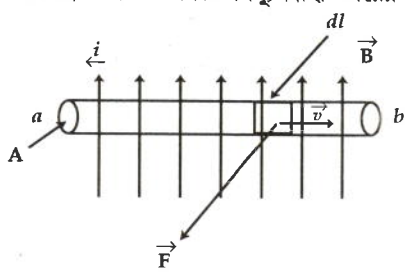
কাজ : একটি বিন্দু চার্জ স্থির ও চলন্ত অবস্থায় থাকলে তড়িৎ প্রভাবের কী পার্থক্য হয়?

একটি স্থির ইলেকট্রনের চতুর্দিকে তড়িৎক্ষেত্র উৎপন্ন হয়। যদি ইলেকট্রন চলন্ত অবস্থায় থাকে তবে এটা তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বকক্ষেত্র উভয়ই সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে লব্ধি ক্ষেত্র তড়িচ্চুম্বকীয় ক্ষেত্র হয়।

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।

চিত্র ৪.১৪



মনে করি ab একটি বিদ্যুৎবাহী তার সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এ স্থাপিত এবং এর ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ i প্রবাহিত [চিত্র ৪.১৪]।

আমরা জানি, বিদ্যুৎ প্রবাহ হচ্ছে গতিশীল চার্জের নিট ফল। 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,

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

$$= nq(\vec{v} \times \vec{B})\,dV \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.31)$$

Made with Goodnotes

কিন্তু $nq\vec{v} = \vec{j}$, [অনুচ্ছেদ ৩'৪ দ্রষ্টব্য]

$\vec{j}$ হলো বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘনত্ব।

সুতরাং, $d\vec{F} = (\vec{j} \times \vec{B})\, dV$ ... ... (4.32)

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

$$\therefore d\vec{F} = \vec{j}\, Adl \times \vec{B}$$

$$= id\vec{l} \times \vec{B} \qquad [\because j = \frac{i}{A}] \quad \ldots \quad (4.33)$$

অতএব, তারের দৈর্ঘ্য l হলে সমীকরণ (4.33)-কে সমাকলন করে সম্পূর্ণ তারের জন্য লব্ধি বল $\vec{F}$-এর সমীকরণ পাওয়া যাবে।

$$\therefore \vec{F} = \int d\vec{F} = \int id\vec{l} \times \vec{B}$$

$$= i\vec{l} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.34)$$

N পাকের কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে এই বল $\vec{F} = Ni\vec{l} \times \vec{B}$ ... ... [4.34(a)]

এখানে $\vec{l}$ সরণ ভেক্টর যা প্রবাহের দিকে তারের দৈর্ঘ্য নির্দেশ করে। 'idl'-কে প্রবাহ উপাদান বা প্রবাহাংশ (current element) বলা হয়। সমীকরণ (4.33)-এ বল $d\vec{F}$-এর দিক হবে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এবং কারেন্ট উপাদান $id\vec{l}$ এর লম্ব বরাবর। অর্থাৎ $\vec{B}$ এবং $id\vec{l}$ যে তলে রয়েছে $d\vec{F}$ ওই তলের অভিলম্ব বরাবর হবে।

তারটি সহজেই চলনক্ষম হলে এ বলের জন্য তা নিজ অবস্থান হতে সরে যাবে।

বিশেষ ক্ষেত্র :

I. বিদ্যুৎবাহী তারটি যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে লম্বভাবে অবস্থান করে, তবে $\theta = 90°$ হয়। সেক্ষেত্রে সমীকরণ (4.34) থেকে চৌম্বক বলের মান পাওয়া যাবে,

$$F = ilB \sin\theta = ilB \sin 90° = ilB \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.35)$$

II. বিদ্যুৎবাহী তারটি যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমান্তরালে থাকে তবে $\theta = 0$ বা $180°$ হয়। সেক্ষেত্রে সমীকরণ (4.34) থেকে চৌম্বক বলের মান পাওয়া যাবে,

$$F = ilB \sin\theta = ilB \sin 0 = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [4.35(a)]$$

সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে স্থাপিত বিদ্যুৎ পরিবাহীর ওপর কোনো বল ক্রিয়া করবে না।

৪'৬ দুটি বিদ্যুৎবাহী সমান্তরাল তারের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল
Force acting between two current-carrying wires

ধরি ab ও cd দুটি লম্বা সরল পরিবাহী তার, d হলো তার দুটির মধ্যবর্তী লম্ব দূরত্ব এবং I_a ও I_b যথাক্রমে ab ও cd তারের মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহ [চিত্র ৪'১৫]।

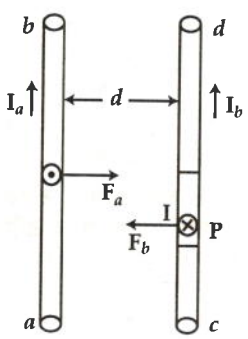
মনে করি cd তারের ওপর P একটি বিন্দু। ab তারের মধ্যে I_a বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য P বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$$B_a = \frac{\mu_0 I_a}{2\pi d} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.36)$$

দক্ষিণ হস্ত নিয়ম অনুসারে B_a-এর দিক হবে নিচের দিকে, অর্থাৎ কাগজ তলের অভিলম্ব বরাবর নিচের দিকে।

cd তারটি উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত হওয়ায় চৌম্বক বল অনুভব করবে।

চিত্র ৪'১৫



ধরি cd তারের l দৈর্ঘ্যের ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান হবে,

$$F_b = I_b l B_a \sin 90° = I_b l B_a \quad [\because \vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}_a, \text{ এখানে } l \text{ এবং } B_a \text{ পরস্পর লম্ব।}]$$

Made with Goodnotes

সমীকরণ (4.36) হতে B_a-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$F_b = \frac{I_b l \mu_0 I_a}{2\pi d} = \frac{\mu_0 I_a I_b l}{2\pi d} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.37)$$

এখন cd এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে বল $= \frac{F_b}{l} = \frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi d}$

এখন ডান হস্ত নিয়ম-১ অনুসারে F_b-এর দিক হবে বাম দিকে।

ওপরে বর্ণিত নিয়ম অনুসরণ করে ab তারের কোনো বিন্দুতে I_b প্রবাহের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্র বের করা যায় এবং ওই চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য ab তারের ওপর ক্রিয়াশীল বল F_a নির্ণয় করা যায়। F_a ও F_b এর মান পরস্পর সমান হবে। F_a-এর দিক হবে ডান দিকে।

অতএব দেখা যাচ্ছে যে তার দুটির বিদ্যুৎ প্রবাহ সমমুখী হলে এদের ওপরে ক্রিয়াশীল বল F_a এবং F_b-এর মান সমান এবং বিপরীতমুখী। ফলে তার দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ করবে। পক্ষান্তরে তার দুটির মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহ বিপরীতমুখী হলে পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে।

সমীকরণ (4.37) থেকে দেখা যায় যে, দুটি সরল সমান্তরাল তড়িৎবাহী পরিবাহীর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল নিম্নলিখিত নিয়মগুলো মেনে চলে।

I. দুটি সমমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে এবং দুটি বিপরীতমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। [MAT: 15-16]

II. দুটি সমান্তরাল তড়িৎবাহী পরিবাহীর মধ্যকার ক্রিয়াশীল বল প্রবাহদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক, পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক এবং পরিবাহীদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের ব্যাস্তানুপাতিক।

অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা : সমীকরণ (4.37) অনুসারে,

$I_a = I_b = 1\text{A}$ ও $d = 1\text{ m}$ হলে,

$$F/l = \frac{4\pi \times 10^{-7}\text{ Wb A}^{-1}\text{m}^{-1} \times 1\text{A} \times 1\text{A}}{2\pi \times 1\text{ m}}$$

$$= 2 \times 10^{-7}\text{ Nm}^{-1} \quad [\because \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ WbA}^{-1}\text{m}^{-1} \text{ ও } 1\text{Wb. A} = 1\text{N. m}]$$

কাজেই দুটি বিদ্যুৎবাহী তারের পারস্পরিক ক্রিয়া থেকে অ্যাম্পিয়ার (A)-এর নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে :

সংজ্ঞা : শূন্য মাধ্যমে পরস্পর হতে 1 m দূরত্বে অবস্থিত অসীম দৈর্ঘ্যের এবং উপেক্ষণীয় প্রস্থচ্ছেদের দুটি সমান্তরাল তারের প্রত্যেকের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে উভয় তারের প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে 2×10^{-7} N বল উৎপন্ন হয় তাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলে।

এটিই অ্যাম্পিয়ারের আধুনিক সংজ্ঞা।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৫

১। 10^{-2} T এর চৌম্বক ক্ষেত্র 40 cm দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি তারের ভেতর দিয়ে 3A তড়িৎ প্রবাহ চালালে এটি $8{\cdot}5 \times 10^{-3}$ N বল অনুভব করে। চৌম্বক ক্ষেত্র ও পরিবাহকের মধ্যবর্তী কোণের পরিমাণ কত?

[CUET Admission Test, 2004–05]

আমরা জানি,

$F = IlB \sin\theta$

বা, $8{\cdot}5 \times 10^{-3} = 10^{-2} \times 3 \times 0{\cdot}4 \times \sin\theta$

বা, $\sin\theta = \frac{8{\cdot}5 \times 10^{-3}}{3 \times 0{\cdot}4 \times 10^{-2}} = 0{\cdot}708$

$\therefore \quad \theta = 45{\cdot}099°$

এখানে,

$B = 10^{-2}\text{ T}$

$l = 40\text{ cm} = 0{\cdot}4\text{ m}$

$I = 3\text{A}$

$F = 8{\cdot}5 \times 10^{-3}\text{ N}$

২। 1 m লম্বা সোজা তারে 5A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। যদি তারটি $0{\cdot}1\text{ Wbm}^{-2}$ ফ্লাক্স ঘনত্বের চৌম্বকক্ষেত্রে তলের 30° কোণে থাকে, তবে এটি কী পরিমাণ বল অনুভব করবে?

মনে করি নির্ণেয় বল, F

আমরা জানি,

$F = Bil \sin\theta$

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

$= 0{\cdot}5 \times \frac{1}{2}\frac{\text{WbA}}{\text{m}}$

$= 0{\cdot}25\frac{\text{WbA}}{\text{m}} = 0{\cdot}25\text{N}$

এখানে,

$B = 0{\cdot}1\text{ Wbm}^{-2}$

$i = 5\text{A}$

$l = 1\text{m}$

$\theta = 30°$

Made with Goodnotes

৩। শূন্য মাধ্যমে দুটি অতি দীর্ঘ পরিবাহী তার 5 cm ব্যবধানে রাখা আছে। তারদ্বয়ের মধ্য দিয়ে যথাক্রমে 20A ও 5A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। প্রতিটি তারে দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর যা 120×10^{-5} N বল অনুভব করে।

আমরা জানি তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ক্রিয়াশীল বল,

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{2I_1I_2}{r}$$
$$= \frac{4\pi \times 10^{-7}}{4\pi} \times \frac{2 \times 20 \times 5}{0.05}$$
$$= 4 \times 10^{-4}\ \text{Nm}^{-1}$$

এখানে,

$r = 5\ \text{cm} = 0.05\ \text{m}$
$I_1 = 20\text{A}$
$I_2 = 5\text{A}$
$F = 120 \times 10^{-5}\ \text{N}$

20×10^{-5} N বলের জন্য কার্যকর দৈর্ঘ্য,

$$l = \frac{120 \times 10^{-5}}{4 \times 10^{-4}} = 3\text{m}$$

৪। একটি 2m লম্বা তারের মধ্য দিয়ে 10A তড়িৎ প্রবাহিত হয়। তারটিকে বায়ু মাধ্যমে 1.5 T চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে অভিলম্বভাবে স্থাপন করা হলো।

(ক) তরটির ওপর মোট কত বল ক্রিয়া করবে বের কর।

(খ) তারটিকে একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে রূপান্তরিত করলে এর ভেতর কত তড়িৎ প্রবাহিত করলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে $3.14 \times 10^{-7}\ \text{Wbm}^{-2}$ চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি হবে।

(ক) উদ্দীপকের বর্ণনানুযায়ী তারটির দৈর্ঘ্য, $l = 2\text{m}$, প্রবাহ মাত্রা, $I = 10\text{A}$ এবং চৌম্বক্ষেত্র, $B = 1.5\text{T}$। তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রে লম্বভাবে স্থাপন করায় নির্ণেয় বল,

$$F = BlI = 1.5 \times 2 \times 10 = 30\ \text{N}$$

(খ) তারটিকে একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী তৈরি করলে এর পরিধি,

$$2\pi r = 2$$
$$\therefore\ r = \frac{2}{2\pi} = \frac{2}{2 \times 3.14}$$

আমরা জানি, কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্র,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r},\ \text{এখানে}\ B = 3.14 \times 10^{-7}\ \text{Wbm}^{-2}$$

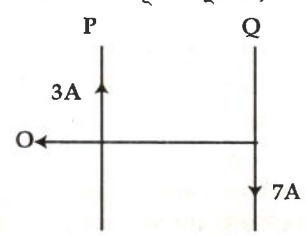
$$\therefore\ I = \frac{2rB}{\mu_0} = \frac{2 \times 2 \times 3.14 \times 10^{-7}}{2 \times 3.14 \times 4\pi \times 10^{-7}} \simeq 0.16\text{A}$$

৫। P এবং Q দুটি তারের মধ্যবর্তী দূরত্ব 24 cm এবং এদের মধ্য দিয়ে যথাক্রমে 5A এবং 7A বিদ্যুৎ পরস্পরের বিপরীত দিকে প্রবাহিত হচ্ছে। P তারটি হতে এমন একটি বিন্দু নির্ণয় কর যেখানে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান শূন্য হবে।

[BuTex Adission Test, 2020-21]

ধরা যাক, P তার হতে r দূরত্বে O বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান শূন্য। সুতরাং,

$$\frac{\mu_0 I_P}{2\pi r} = \frac{\mu_0 I_Q}{2\pi(24+0)}$$
$$\frac{5}{r} = \frac{7}{24+r}$$
বা, $5r + 5 \times 24 = 7r$
বা, $2r = 120$
$$\therefore\ r = \frac{120}{2} = 60\ \text{cm}$$



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

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

Made with Goodnotes

জানার বিষয় :

I. যখন l দৈর্ঘ্যের পরিবাহীর মধ্য দিয়ে I পরিমাণ প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র B এর সাথে লম্বভাবে স্থাপন করা হয় তখন ইলেকট্রনের ওপর প্রযুক্ত বল $F = IlB \sin\theta$, $\theta = 90°$ হলে $F = IlB$। এখানে $I = nAqvB$, $F = nAlqvB = Nqv$, N = মোট ইলেকট্রনের সংখ্যা, n = প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনের সংখ্যা।

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

III. দুটি সমান্তরাল বিদ্যুৎবাহী তারের মধ্যবর্তী দূরত্ব r এবং I_1 ও I_2 প্রবাহের জন্য l দৈর্ঘ্যের ওপর প্রযুক্ত বল, $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$ এবং প্রতি একক দৈর্ঘ্যে বল $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 \times I_2}{2\pi r}$। **[MAT: 15-16]**

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

V. দুটি সরল সমান্তরাল তড়িৎবাহী পরিবাহীর মধ্যকার ক্রিয়াশীল বল প্রবাহদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক, বিবেচিত পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক এবং পরিবাহীদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক।

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৬

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

আমরা জানি,

$F = qvB \sin\theta$

এখানে $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1} \times 2\text{A}}{2\pi \times 0·1\ \text{m}}$

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

এখানে,

তড়িৎ প্রবাহ, $I = 2A$

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

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

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

বল, $F = ?$

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

$= 1·92 \times 10^{-19}$ N

২। 6×10^6 ms^{-1} বেগে গতিশীল একটি প্রোটনের ওপর 0·50 T চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করা হলো। চৌম্বকক্ষেত্র প্রোটনের বেগের সাথে 30° কোণে ক্রিয়াশীল, প্রোটনের ত্বরণ কত হবে? (প্রোটনের ভর = $1·6 \times 10^{-27}$ kg)

আমরা জানি, প্রোটনের ওপর ক্রিয়াশীল বল,

$F = q\upsilon B \sin\theta$

$\therefore$ প্রোটনের ত্বরণ, $a = \frac{\text{বল}}{\text{প্রোটনের ভর}}$

বা, $a = \frac{qB\upsilon \sin\theta}{m}$

এখানে,

$B = 0·50$ T

$v = 6 \times 10^6$ ms^{-1}

$\theta = 30°$

$m_p = 1·6 \times 10^{-27}$ kg

$q = 1·6 \times 10^{-19}$ C

$\therefore a = \frac{1·6 \times 10^{-19} \times 0·50 \times 6 \times 10^6 \times \sin 30°}{1·6 \times 10^{-27}}$

$= \frac{1·6 \times 6 \times 0·50 \times 0·5 \times 10^{-13}}{1·6 \times 10^{-27}} = 1·5 \times 10^{14}$ ms^{-2}

৩। 0·5 Tesla সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণে একটি ইলেকট্রন 10^5 ms^{-1} বেগে চলতে থাকলে (i) ইলেকট্রনটির ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর। (ii) ইলেকট্রনের ত্বরণ কত হবে ?

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

(i) আমরা জানি,

$F = qvB \sin\theta$

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

$= 6·93 \times 10^{-15}$ N

(ii) আবার,

ত্বরণ, $a = F/m_e$

$\therefore a = \frac{6·93 \times 10^{-15}}{9·11 \times 10^{-31}} = 7·6 \times 10^{15}$ ms^{-2}

এখানে,

$q = e = 1·6 \times 10^{-19}$ C

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

B = 0·5 Tesla

$m_e = 9·11 \times 10^{-31}$ kg

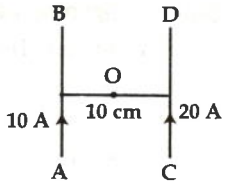
$\theta = 60°$

$F = ?$

$a = ?$

Made with Goodnotes

৪।



চিত্র অনুযায়ী O বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র, বলের মান নির্ণয় কর এবং বলের প্রকৃতি কীরূপ হবে ? প্রতিটি তারের দৈর্ঘ্য 1 m।

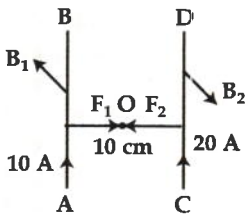
10 A প্রবাহের জন্য O বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2 \times \pi \times 5} = 4 \times 10^{-7}\ T$$

আবার 20 A প্রবাহের জন্য O বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2 \times \pi \times 5} = 8 \times 10^{-7}\ T$$

এই দুটি চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক পরস্পর বিপরীত দিকে যা ডান হস্ত স্ক্রু সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। তাই লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্র,



$$B = B_2 - B_1$$
$$= 8 \times 10^{-7} - 4 \times 10^{-7}$$
$$= 4 \times 10^{-7}\ T$$

CD তারের মধ্য দিয়ে I_2 তড়িৎ প্রবাহের দরুন AB তারে l দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল,

$$F_1 = I_2 l B_1 \sin 90°$$
$$= 20 \times 1 \times 4 \times 10^{-7} \times 1$$
$$= 8 \times 10^{-6}\ N$$

আবার AB তারের মধ্য দিয়ে I_1 তড়িৎ প্রবাহের দরুন CD তারে l দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল,

$$F_2 = I_1 l B_2 \sin 90° = 10 \times 1 \times 8 \times 10^{-7}$$
$$= 8 \times 10^{-6}\ N$$

দেখা যাচ্ছে যে, $F_1 = F_2$। অর্থাৎ বলদ্বয় পরস্পর সমান কিন্তু বল দুটির দিক পরস্পরের দিকে অর্থাৎ মুখোমুখি। সুতরাং দুটি সমমুখী সমান্তরাল প্রবাহের ফলে তার দুটি পরস্পরের দিকে আকর্ষণ বল অনুভব করবে এবং লব্ধি বল $F = F_1 + F_2 = 8 \times 10^{-6}\ N + 8 \times 10^{-6}\ N = 1{\cdot}6 \times 10^{-5}\ N$ হবে।

৫। 15m এবং 20m দৈর্ঘ্যের দুটি তারের মধ্য দিয়ে যথাক্রমে 5·0A এবং 7·0A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। তারদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 4 cm হলে এদের প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে বা প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর।

[কু. বো. ২০০৮; ঢা. বো. ২০০৬]

আমরা পাই,

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 7}{2\pi \times 0{\cdot}04}$$
$$= \frac{70 \times 10^{-5}}{4} = 17{\cdot}5 \times 10^{-5}\ Nm^{-1}$$

এখানে,

$I_a = 5\ A$
$I_b = 7\ A$
$d = 4\ cm = 0{\cdot}04\ m$
$\mu = 4\pi \times 10^{-7}\ WbA^{-1}m^{-1}$
$F/l = ?$

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. ২০০৪; Agri (clustrer) unit-A Admission Test, 2020-21 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi d} \cdot l = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 50 \times 5}{2\pi \times 25 \times 10^{-2}}$$
$$= 0{\cdot}01N$$

এখানে,

$d = 25 \times 10^{-2}\ m$
$l = 5\ m$
$i_1 = i_2 = 50\ A$
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ Wb\ A^{-1}\ m^{-1}$

Made with Goodnotes

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 $1{\cdot}7 \times 10^{-27}$ kg এবং $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C. [BUET Admission Test, 2012-13]

আমরা জানি,

$$F = qvB \sin\theta$$

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

$$\therefore \quad v^2 = \frac{2K}{m} = \frac{2 \times 8 \times 10^{-13}}{1{\cdot}7 \times 10^{-27}} = 9{\cdot}41 \times 10^{14}$$

$$\therefore \quad v = 3{\cdot}07 \times 10^7\ ms^{-1}$$

$$\therefore \quad F = 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 3{\cdot}07 \times 10^7 \times 15 \sin 90°$$

$$= 7{\cdot}4 \times 10^{-11}\ N$$

এখানে,

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

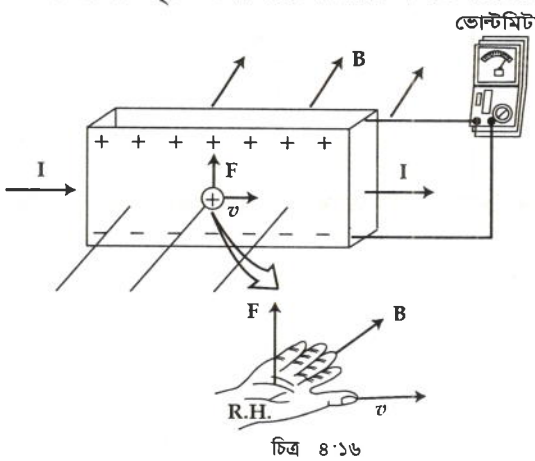
কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহককে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে তড়িৎ প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্র উভয়ের সাথে লম্ব বরাবর একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় তথা ভোল্টেজ উৎপন্ন হয়। এই ঘটনাকে হল প্রভাব বা হল ক্রিয়া বলে এবং সৃষ্ট বিভব পার্থক্যকে বলা হয় হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ।

৪·৭·১ হল-এর পরীক্ষা
Hall experiment

RMDAC

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।



চিত্র ৪·১৬

আমরা জানি গতিশীল চার্জের ওপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে চার্জ চৌম্বক বল দ্বারা বিক্ষিপ্ত হবে। ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়মানুসারে $\vec{F}$ বল পাতের ঊর্ধ্বমুখে 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 পৃষ্ঠ-দ্বয়ের মধ্যে বিদ্যুচ্চালক বল উৎপন্ন হবে। ওপরের পৃষ্ঠে উচ্চ বিভব এবং নিচের পৃষ্ঠে নিম্ন বিভব সৃষ্টি হবে। পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে সৃষ্ট এই বিদ্যুচ্চালক বল বা বিভব

Made with Goodnotes

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। পুনরায় 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।

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 পুরত্ব

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

বা, $V_H = Ed$ ... ... (4.39)

প্রতিটি চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বৈদ্যুতিক বল $F_e = qE$ হয়। হিসাব করে দেখা যায়, হল বিভবের জন্য প্রতি একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা $n = \frac{JB}{qE}$ ... ... (4.40)

বা, $n = \frac{JB}{qE}$ ... ... (4.41)

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 $V_H \propto \frac{1}{n}$ ... ... (4.44)

অর্থাৎ **হল ভোল্টেজ প্রতি একক আয়তনে চার্জ বাহকের সংখ্যার ব্যস্তানুপাতিক।**

হল ভোল্টেজের চিহ্ন থেকে আমরা যেমন চার্জের প্রাকৃতি অর্থাৎ চার্জ বাহক $+ve$ বা $-ve$ যেমন জানতে পারি তেমনি অর্ধপরিবাহিতে (Si, Ge ইত্যাদি) যে চার্জ বাহকের গতির জন্য তড়িৎ প্রবাহ চলে তা $+ve$ বা $-ve$ বা উভয়ই হতে পারে একথা জানতে পারি।

Made with Goodnotes

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৭

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

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 $= dt = 0{\cdot}03 \times 1 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$
$= 3 \times 10^{-5}\ \text{m}^2$
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ 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,

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

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 = 1·5 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,

$$V_H = \frac{BI}{ntq}$$
$$= \frac{1{\cdot}5 \times 200}{8{\cdot}4 \times 10^{28} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{-3}}$$
$$= 2{\cdot}232 \times 10^{-5}\ \text{volt}$$

এখানে,
$d = 2{\cdot}0\ \text{cm} = 0{\cdot}02$ m
$t = 1{\cdot}0\ \text{mm} = 1 \times 10^{-3}$ m
$n = 8{\cdot}4 \times 10^{28}$ electrons/m^3
I $= 200$ A
$q = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

৪। $\vec{E} = (\hat{i} + 2\hat{j} - 8\hat{k})$ Vm^{-1} তড়িৎ ক্ষেত্রে এবং $\vec{B} = (2\hat{j} + 3\hat{k})$ T চৌম্বক ক্ষেত্রে $(2\hat{i} + 2\hat{j})$ ms^{-1} বেগে গতিশীল, ইলেকট্রনের ওপর ক্রিয়ারত বলের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$
$$\therefore \vec{F} = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\{(\hat{i} + 2\hat{j} - 8\hat{k}) + (2\hat{i} + 2\hat{j}) \times (2\hat{j} + 3\hat{k})\}\ \text{T}$$

এখন, $\vec{v} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 3 \end{vmatrix} = \hat{i}(6 - 0) - \hat{j}(6 - 0) + \hat{k}(4 - 0)$
$= 6\hat{i} - 6\hat{j} + 4\hat{k}$

এখানে,
$q = e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$\vec{E} = (\hat{i} + 2\hat{j} - 8\hat{k})$ Vm^{-1}
$\vec{B} = (2\hat{j} + 3\hat{k})$ T
$v = (2\hat{i} + 2\hat{j})$ ms^{-1}

Made with Goodnotes

বা, $\vec{F} = 1.6 \times 10^{-19} (\hat{i} + 2\hat{j} - 8\hat{k} + 6\hat{i} - 6\hat{j} + 4\hat{k})$

$= 1.6 \times 10^{-19} \times (7\hat{i} - 4\hat{j} - 4\hat{k})$

∴ বলের মান,

$F = 1.6 \times 10^{-19} (\sqrt{(7)^2 + (-4)^2 + (-4)^2})$

$= 1.6 \times 10^{-19} \times 9 = 1.44 \times 10^{-18}$ N

৪.৮ পরিবাহী তার ও চৌম্বক ক্ষেত্রের বল
Conducting wire and force in magnetic field

আমরা জানি, একটি তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। অ্যালুমিনিয়ামের তৈরি আয়তাকার আয়তনের কাঠামোর ওপরে একটি সূক্ষ্ম অন্তরীত তামার তারকে বহুসংখ্যক পাকে জড়িয়ে এরূপ একটি কুণ্ডলী তৈরি করে স্থায়ী অশ্বাকৃতি চুম্বকের NS এর মধ্যে স্থাপন করে তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা হয়। এই কৌশল চল কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারে ব্যবহৃত হয়।

নিম্নে চৌম্বক ক্ষেত্রে রক্ষিত এরূপ একটি কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট বল ও টর্ক আলোচনা করা হলো।

৪.৮.১ প্রবাহী লুপের ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়াশীল টর্ক
Torque on a current carrying coil in magnetic field

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

$$F = I\,lB \sin\theta \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (4.45)$$

এবং ভেক্টর রূপ,

$$\vec{F} = I\,\vec{l} \times \vec{B} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (4.46)$$

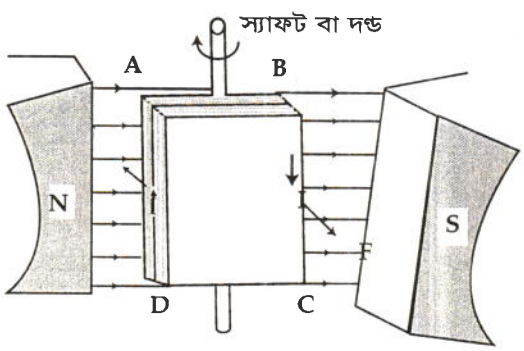
$\vec{l}$ সরণ ভেক্টর যার দিক বিদ্যুৎবাহী সরল তারের ক্ষেত্রে প্রবাহের দিকে।

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

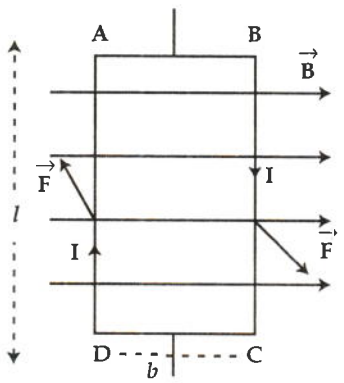
ধরি ABCD একটি ক্ষুদ্র আয়তাকার বিদ্যুৎবাহী লুপ বা কুণ্ডলী একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র B-এর মধ্যে স্থাপন করা হয়েছে। কুণ্ডলী তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে রয়েছে। লুপটি একটি স্যাফট বা দণ্ডের সাথে এমনভাবে সংযুক্ত করা হয়েছে যাতে এটি মুক্তভাবে ঘুরতে পারে [চিত্র ৪.১৭]। বোঝার সুবিধার্থে চিত্রটি সহজ করে ৪.১৮ চিত্রে দেখান হলো। লুপটির চারটি বাহু AB, BC, CD এবং DA-এর ওপর ক্রিয়াশীল বলসমূহের লব্ধি লুপটির ওপর নিট বল হিসেবে কাজ করবে। লুপটি আয়তাকার বলে,

$AB = DC = b$ (লুপটির প্রস্থ)

এবং $AD = BC = l$ (লুপটির দৈর্ঘ্য)



চিত্র ৪.১৭



চিত্র ৪.১৮

Made with Goodnotes

ধরি ঘড়ির কাঁটার দিকে বিদ্যুৎ I প্রবাহিত হচ্ছে। এখন AB বাহুর ওপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল [সমীকরণ (4.45) অনুসারে]

$F = IbB\sin\theta$

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

আবার,

CD -এর ওপর ক্রিয়াশীল বল,

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

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

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

এবং BC-এর ওপর ক্রিয়াশীল বল,

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

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

নিট টর্ক = বল × ক্রিয়াশীল বলদ্বয়ের মধ্যবর্তী লম্ব দূরত্ব

$\tau = F \times b = IlB \times b = IlbB$

$= IAB$

এখানে $A = lb$, লুপের ক্ষেত্রফল।

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

$\tau = NIAB$ ... ... (4.47)

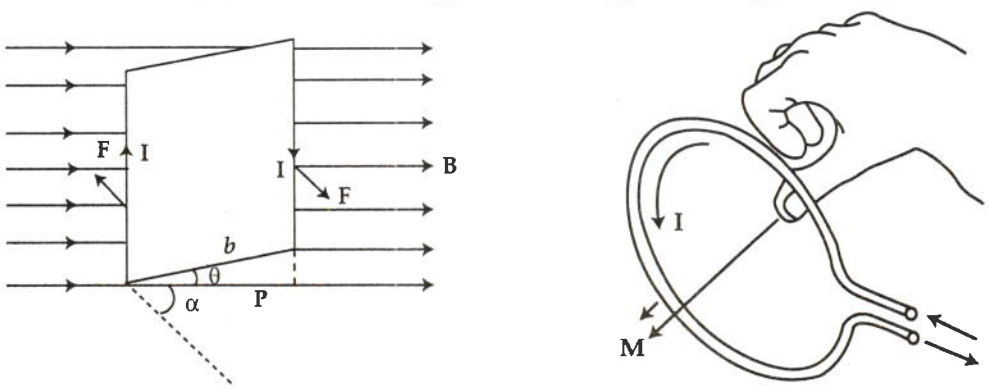
যদি কুণ্ডলী তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে θ কোণে অবস্থান করে অর্থাৎ $\vec{b}$ ও $\vec{B}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ θ হয় [চিত্র ৪.১৯(ক)], তবে বলদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$P = b\cos\theta$

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

$= NIAB\cos(90° - \alpha)$, α হলো লুপ তলের অভিলম্ব এবং B-এর মধ্যবর্তী কোণ।

$= NIAB\sin\alpha$ ... ... (4.48)



(ক) (খ)

চিত্র ৪.১৯

ভেক্টররূপে লেখা যায়,

$\tau = NI\vec{A} \times \vec{B}$ ... ... (4.49)

$\vec{A}$-কে ক্ষেত্রফল ভেক্টর বলে। $NI\vec{A}$ -কে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক (magnetic moment) $\vec{M}$ বলা হয়। $\vec{M}$-এর দিক হবে $\vec{A}$ -এর দিক বরাবর। তড়িৎ প্রবাহবাহী কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল A কে একটি ভেক্টর $\vec{A}$ হিসেবে গণ্য করা হয় যার

Made with Goodnotes

মান কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফলের সমান এবং দিক হবে কুণ্ডলীর তলের সাথে লম্ব। কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার দিকে চললে $\vec{A}$ এর দিক হবে কুণ্ডলীর লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে। আর বিপরীত ক্ষেত্রে হবে বাইরের দিকে।

$$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.50)$$

এখানে $\vec{M}$ = চৌম্বক ভ্রামক।

সংজ্ঞা : কোনো বিদ্যুৎবাহী কুণ্ডলীর বিদ্যুৎ প্রবাহ এবং কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল ভেক্টরের গুণফলকে ওই কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক ($\vec{M}$) বলে।

একক : চৌম্বক ভ্রামকের একক হচ্ছে অ্যাম্পিয়ার–মিটার২ (Am^2)।

$\vec{M}$-এর দিক নির্ণয় :

ডান হাতের আঙ্গুলগুলো বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করলে বৃদ্ধাঙ্গুলি যে দিক নির্দেশ করে সেটিই হবে $\vec{M}$-এর দিক [চিত্র ৪·১৯(খ)] অর্থাৎ চৌম্বক ভ্রামকের দিক হবে ক্ষেত্রফল ভেক্টর $\vec{A}$ এর দিকে।

বিদ্যুৎবাহী কুণ্ডলীর ভ্রামক যত বেশি হবে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে কুণ্ডলী তত বেশি টর্ক অনুভব করবে। সমীকরণ (4.46) অনুসারে কুণ্ডলীর প্যাঁচ সংখ্যা (number of turns of the coil) ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল (area of cross-section) বৃদ্ধি করে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক বৃদ্ধি করা যায়।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর ওপর টর্কের উৎপত্তি ঘটে কেন ?

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

গাণিতিক উদাহরণ ৪.৮

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

ধরি নির্ণেয় বল = F

আমরা পাই, $F = Bil \sin\theta$

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

$= 0{\cdot}5 \times \frac{1}{2}\frac{\text{Wb.A}}{\text{m}}$

$= 0{\cdot}25\ \frac{\text{Nm}}{\text{m}} = 0{\cdot}25\text{N}$

এখানে,
$B = 0{\cdot}1\ \text{Wb m}^{-2}$
$i = 5\text{A}$
$l = 1\text{m}$
$\theta = 30°$

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

[RUET Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]

ধরি নির্ণেয় টর্ক = τ

আমরা পাই,

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

সমীকরণ (i)-এ মানগুলো বসিয়ে পাওয়া যায়,

এখানে,
$n = 100$
$r = 5 \times 10^{-2}\text{m}$
$A = \pi r^2 = 3{\cdot}14 \times (5 \times 10^{-2}\text{m})^2$
$i = 1\text{ A}$
$\alpha = 30°$
$B = 1{\cdot}5 \times 10^{-2}\ \text{Wb m}^{-2}$।

$\tau = 100 \times 1\text{A} \times 1{\cdot}5 \times 10^{-2}\ \text{Wb m}^{-2} \times 3{\cdot}14 \times (5 \times 10^{-2}\ \text{m})^2 \times \sin 30°$

$= 1{\cdot}5 \times 3{\cdot}14 \times 25 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2}\ \text{Wb A}$

$= 5{\cdot}887 \times 10^{-3}\ \text{N m}.$ [$\because$ Wb A = N m]

বি.দ্র. আয়তাকার কুণ্ডলী হলে ক্ষেত্রফল $A = L \times b$ এবং বৃত্তাকার কুণ্ডলী হলে $A = \pi r^2$ হবে।

Made with Goodnotes

৩। একটি সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 0·5 m, পাক সংখ্যা 500 এবং প্রবাহমাত্রা 4 A। একটি ক্ষুদ্র কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 0·01 m, পাক সংক্যা 15 এবং প্রবাহমাত্রা 0·5 A। কুণ্ডলীকে সলিনয়েডের মধ্যে এমনভাবে রাখা হলো যেন কুণ্ডলীর অক্ষ এবং সলিনয়েডের অক্ষ সমান্তরাল থাকে। এই অবস্থায় কুণ্ডলীর ওপর কত টর্ক ক্রিয়া করবে ? ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Hm^{-1})

আমরা জানি,

$$\tau = NIA \times B = NIAB \sin\theta$$
$$= \mu_0 ni\, NIA \sin\theta$$
$$= 4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times 4 \times 15 \times 0{\cdot}5 \times \pi \times 10^{-4} \times 1$$
$$= 4\pi^2 \times 4 \times 0{\cdot}5 \times 15 \times 10^{-8}$$
$$= 4 \times 9{\cdot}87 \times 4 \times 0{\cdot}5 \times 15 \times 10^{-8}$$
$$= 1{\cdot}18 \times 10^{-5}\ Nm$$

এখানে,

$n = \frac{500}{0{\cdot}5} = 1000$
$i = 4$ A
I = 0·5A
N = 15
r = 0·01 m
$A = \pi r^2 = \pi(0{\cdot}01)^2 = \pi \times 10^{-4} m^2$
$\sin\theta = 1$, θ হলো কুণ্ডলী তলের অভিলম্ব এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের (B) মধ্যবর্তী কোণ

৪। একটি আয়তাকার কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য 15 cm এবং প্রস্থ 10 cm। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 500। কুণ্ডলীর তলকে 5×10^{-3} T এর চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে স্থাপন করে এর ভেতর 5 A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হলো। কুণ্ডলীর ওপর প্রযুক্ত টর্কের মান কত ?

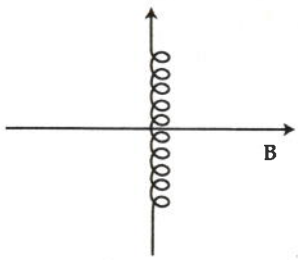
আমরা পাই,

$$\tau = NIAB = NIlbB$$
$$= 500 \times 5 \times 15 \times 10^{-2} \times 10 \times 10^{-2} \times 5 \times 10^{-3}$$
$$= 0{\cdot}1875\ Nm$$

এখানে,

দৈর্ঘ্য, $l = 15\ cm = 15 \times 10^{-2}$ m
প্রস্থ, $b = 10\ cm = 10 \times 10^{-2}$ m
পাকসংখ্যা, N = 500, $B = 5 \times 10^{-3}$ T
প্রবাহ, I = 5 A
টর্ক, τ = ?

৫। ঘনভাবে জড়ানো একটি সলিনয়েডের পাক সংখ্যা 800 এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $2{\cdot}2 \times 10^{-5}$ m^2 । এতে 2·5 A প্রবাহমাত্রা চলছে। 0·16 T প্রাবল্যের একটি অনুভূমিক চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 45° কোণে স্থাপন করলে সলিনয়েডে কত টর্ক ক্রিয়া করবে ?



এখানে,

পাক সংখ্যা, $n = 800$
তড়িৎ প্রবাহ, I = 2·5 A
প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল,
$A = 2{\cdot}2 \times 10^{-5}\ m^2$
কোণ, $\theta = 45°$

আমরা জানি, সলিনয়েডের চৌম্বক ভ্রামক,

$M = IAn$
$\therefore\ M = 2{\cdot}5 \times 2{\cdot}2 \times 10^{-5} \times 800 = 0{\cdot}044\ Am^2$

আবার, ক্রিয়াশীল টর্ক,

$\tau = MB \sin\theta$
$\therefore\ \tau = 0{\cdot}044 \times 0{\cdot}16 \times \sin 45°$
$= 0{\cdot}044 \times 0{\cdot}16 \times 0{\cdot}707$
$= 4{\cdot}98 \times 10^{-3}\ Nm$

৬। 10 cm ব্যাসার্ধের একটি অন্তরিত তারের তৈরি 150 পাকবিশিষ্ট বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে 5A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে।

(i) যদি পরিবাহীর বৃত্তাকার তল অভিলম্ব বরাবর 0·25 Wbm^{-2} চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা হয় তবে কুণ্ডলীর ওপর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয় কর।

(ii) যদি পরিবাহীটি চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে রাখা হয় তবে এর ওপর ক্রিয়াশীল টর্ক নির্ণয় কর।

(i) বৃত্তাকার কুণ্ডলীর পরিধি,

$L = 2\pi r = 2 \times 3{\cdot}14 \times 0{\cdot}1 = 0{\cdot}628$ m

এক্ষেত্রে, পরিধি চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর রয়েছে। অতএব চৌম্বক বল,

$F = NILB = 150 \times 2{\cdot}5 \times 0{\cdot}628 \times 0{\cdot}25 = 58{\cdot}875$ N

এখানে,

I = 2·5A
r = 10 cm = 0·1 m
B = 0·25 Wbm^{-2}
N = 150 সংখ্যক

Made with Goodnotes

(ii) এখানে, বৃত্তাকার লুপের ক্ষেত্রফল, $A = \pi r^2 = 3{\cdot}14 \times (0{\cdot}1)^2 = 0{\cdot}0314\ m^2$

যদি বৃত্তাকার তলকে একটি ভেক্টর ধরা হয়, এর দিক হবে তলের অভিলম্ব বরাবর অর্থাৎ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর। ফলে, পরিবাহীর ওপর ক্রিয়াশীল টর্ক,

$$\tau = NIAB = 150 \times 2{\cdot}5 \times 0{\cdot}0314 \times 0{\cdot}25 = 2{\cdot}94\ Nm$$

৭। 2 m দীর্ঘ একটি তারের মধ্য দিয়ে 10A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি 1·5 T চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর বায়ু মাধ্যমে স্থাপন করা হয়েছে।

(a) তারটির ওপর ক্রিয়াশীল মোট বল নির্ণয় কর।

(b) যদি তারটিকে একটি বৃত্ত তৈরি করা হয়, তবে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে $3{\cdot}14 \times 10^{-7}\ Wbm^{-2}$ চৌম্বকক্ষেত্র পাওয়ার জন্য কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত করতে হবে?

(a) উদ্দীপকের বর্ণনা অনুসারে, তারের দৈর্ঘ্য, $l = 2\ m$, তড়িৎ প্রবাহ, $I = 10\ A$ এবং চৌম্বকক্ষেত্র, $B = 1{\cdot}5\ T$। যেহেতু তার চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর স্থাপন করা হয়েছে।

অতএব নির্ণেয় বল, $F = BlI = 1{\cdot}5 \times 2 \times 10 = 30\ N$

(b) যদি তারটি দ্বারা বৃত্ত তৈরি করা হয়, তবে এর পরিধি, $2\pi r = 2\ m$

এখানে, r = কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ

$$\therefore \quad r = \frac{2}{2\pi} = \frac{2}{2 \times 3{\cdot}14}$$

আমরা জানি, কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্র,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}$$ এখানে, $B = 3{\cdot}4 \times 10^{-7}\ Wbm^{-2}$

$$\therefore \quad I = \frac{2rB}{\mu_0} = \frac{2 \times 2 \times 3{\cdot}14 \times 10^{-7}}{2 \times 3{\cdot}14 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 0{\cdot}16A$$

৮। একটি সোজা চুম্বকীয় তারের চৌম্বক ভ্রামক M। যদি তারটিকে অর্ধবৃত্তাকারে বাঁকানো হয়, তবে তারটির চৌম্বক ভ্রামক কত হবে ?

ধরা যাক, চুম্বকীয় তারটির দৈর্ঘ্য l এবং মেরুশক্তি m

$\therefore$ এর চৌম্বক ভ্রামক $= ml = M$ ... ... (i)

এখন তারটিকে অর্ধবৃত্তাকারে বাঁকালে চৌম্বক দৈর্ঘ্য হবে,

অর্ধবৃত্তের ব্যাস $= 2r$

এখন প্রশ্নানুসারে, $l = \pi r$ ($\because$ বৃত্তের পরিধি $= 2\pi r$; অর্ধবৃত্তের পরিধি, $l = \pi r$)

$$\therefore \quad r = \frac{l}{\pi}$$

সুতরাং অর্ধবৃত্তাকার তারটির চৌম্বক ভ্রামক = মেরুশক্তি × চৌম্বক দৈর্ঘ্য

$$= m \times 2r = m \times \frac{2l}{\pi} = \frac{2ml}{\pi}$$

$$= \frac{2M}{\pi} \qquad [\because\ ml = M]$$

৯। একটি ইস্পাত নির্মিত দণ্ড চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক $4{\cdot}6\ Am^2$ এবং ভর 8·4 gm। যদি ইস্পাতের ঘনত্ব $8 \times 10^3\ kg\ m^{-3}$ হয়, তবে চুম্বকটির চুম্বকায়ন মাত্রা নির্ণয় কর।

চুম্বকটির আয়তন,

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{8{\cdot}4 \times 10^{-3}}{8 \times 10^3}$$

$$= 1{\cdot}05 \times 10^{-6}\ m^3$$

আমরা জানি চুম্বকায়ন মাত্রা,

$$I = \frac{M}{V}$$

$$\therefore \quad I = \frac{4{\cdot}6}{1{\cdot}05 \times 10^{-6}} = 4{\cdot}38 \times 10^6\ Am^{-1}$$

এখানে,

$M = 4{\cdot}6\ Am^2$

$m = 8{\cdot}4\ gm = 8{\cdot}4 \times 10^{-3}\ kg$

$\rho = 8 \times 10^3\ kgm^{-3}$

$I = ?$

Made with Goodnotes

হিসাব কর : দুটি বৃত্তাকার লুপের ব্যাসার্ধের অনুপাত 1 : 3। এদের চৌম্বক ভ্রামক পরস্পর সমান হলে, তার দুটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের অনুপাত কত ?

আমরা জানি, চৌম্বক ভ্রামক = IA। তার দুটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান I_1 এবং I_2 এবং ক্ষেত্রফল A_1 ও A_2 হলে প্রশ্নানুসারে, $I_1A_1 = I_2A_2$

অর্থাৎ, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2}$

$= \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{3}{1}\right)^2 = \frac{9}{1}$

সুতরাং, বৃত্তাকার পরিবাহী দুটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের অনুপাত 9 : 1।

৪·৯ কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন
Moving electron in an orbit

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

ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র

সকল পরমাণুতে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে নির্দিষ্ট কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে। যেখানে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ হচ্ছে $\frac{h}{2\pi}$ এর গুণিতক। ইলেকট্রন যখন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ঘুরে তখন তা একটি প্রবাহ লুপ তৈরি করে। অর্থাৎ পরিবাহীর মধ্যে দিয়ে যখন তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন তার চারদিকে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্ট হয়।

বিয়ো–স্যাভার সূত্র থেকে আমরা জানি, বিদ্যুৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [4.50(a)]$$

এখন e চার্জবিশিষ্ট একটি ইলেকট্রন T সময়ে একবার কক্ষপথ আবর্তন করলে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা $I = \frac{e}{T}$

কিন্তু r ব্যাসার্ধের কক্ষপথে ইলেকট্রনের বেগ v এর জন্য $T = \frac{2\pi r}{v}$

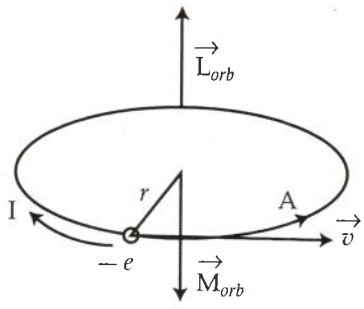
$\therefore \quad I = \frac{ev}{2\pi r}$

I এর মান 4.5(a) সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$$B = \frac{\mu_0}{2r} \times \frac{ev}{2\pi r}$$

$\therefore \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{ev}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [4.50(b)]$

ইহাই সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র।



চিত্র ৪·২০

কক্ষপথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের সৃষ্ট চৌম্বক ভ্রামক

মনে করি, একটি ইলেকট্রন ধ্রুব বেগ v নিয়ে r ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে অর্থাৎ পরমাণুর কক্ষপথে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে আবর্তন করছে [চিত্র ৪·২০]। ইলেকট্রনের এই গতিকে প্রচলিত প্রবাহের (I) এর সাথে তুলনা করা যেতে পারে। বৃত্তাকার পথে ঘূর্ণনের জন্য ইলেকট্রনের একটি অরবিটাল কৌণিক ভরবেগ (orbital angular momentum) L এবং একটি চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক μ_l থাকে। এক্ষেত্রে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের দিক তড়িৎ প্রবাহের বিপরীত দিকে। এ ধরনের একটি বিদ্যুৎ প্রবাহিত লুপের বা কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের অরবিটাল চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক,

$$\mu_l = IA \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.51)$$

Made with Goodnotes

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

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

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

সমীকরণ (4.51) থেকে পাই,

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

বা, $\mu_l = \frac{evr}{2}$

বা, $\mu_l = \frac{e}{2m} \times mvr$ ... ... (4.52)

r এবং v পরস্পর লম্ব হওয়ায় অরবিটাল কৌণিক ভরবেগ,

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

বা, $L = mrv \sin 90° = mrv = mr^2\omega$ $[\because v = r\omega]$ ... ... (4.53)

সমীকরণ (4.52) এবং (4.53) থেকে লেখা যায়

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

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

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

প্রথম কক্ষের জন্য $n = 1$

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

$$M = \frac{eh}{4\pi m}$$

এটিই হলো কক্ষীয় গতির জন্য ইলেকট্রনের চৌম্বক ভ্রামক। চৌম্বক ভ্রামকের এই ন্যূনতম মান $\frac{eh}{4\pi m}$ কে বোর ম্যাগনেটন (Bohr magneton) বলে। একে μ_B দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

এটি চৌম্বক ভ্রামকের পারমাণবিক একক। $1\mu_B = \frac{eh}{4\pi m} = \frac{e\hbar}{2m} = \frac{(1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ C) \times (1{\cdot}05 \times 10^{-34}\ Js^{-1})}{2 \times (9{\cdot}1 \times 10^{-31}\ kg)}$

$= 9{\cdot}23 \times 10^{-24}\ Am^2$

সুতরাং বোর ম্যাগনেটনের মান $9{\cdot}23 \times 10^{-24}\ Am^2$। একে চৌম্বক ভ্রামকের পারমাণবিক একক বলে।

ইলেকট্রনের কৌণিক বেগ বেড়ে গেলে চৌম্বক মোমেন্টের মান বেড়ে যায়।

৪·১০ ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র
Electron spin and magnetic field

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

Made with Goodnotes

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

একটি ইলেকট্রনের স্বাভাবিক স্পিন কৌণিক ভরবেগ S এবং অক্ষীয় স্পিন চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক μ_s হলে এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

$$S = \frac{h}{4\pi} = \frac{\hbar}{2\pi}, \text{ এখানে } \hbar = \text{হ্রাসকৃত প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক} = 1{\cdot}055 \times 10^{-34}\ \text{Js}।$$

আবার, স্পিন চৌম্বক ভ্রামকের মান এক বোর ম্যাগনেটোন **(μB)** এর সমান অর্থাৎ,

$$\mu_s = 1\mu \ \therefore\ \mu_s = \frac{eh}{4\pi m} = \frac{e\hbar}{2m}$$

বা $\mu s = \frac{e}{m} S$

$$\therefore \text{ ভেক্টর রূপ, } \vec{\mu_s} = -\frac{e}{m}\vec{S} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (4.55)$$

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]।

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

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 ইলেকট্রন বিপরীত অভিমুখে ঘূর্ণনরত না থাকে তাহলে লব্ধি 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 ৪.৯

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

আমরা জানি,

$$\mu_l = -\left(\frac{e}{2m}\right) L\ ;\ \text{এখানে L কৌণিক ভরবেগ।}$$

শুধু মান বিবেচনা করে,

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

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

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

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, $\mu_l = ?$

Made with Goodnotes

২। 0·05 nm ব্যাসার্ধের কক্ষে একটি ইলেকট্রন প্রতি সেকেন্ডে 10^{10} সংখ্যক আবর্তন করছে। এর চৌম্বক ভ্রামক কত?

আমরা জানি, চৌম্বক ভ্রামক,

$\mu_l = IA = qnA = neA$

$\therefore \mu_l = 1·6 \times 10^{-19} \times 10^{10} \times (\pi r^2)$

$= 1·6 \times 10^{-19} \times 10^{10} \times 3·14 \times (0·05 \times 10^{-9})^2$

$= 1·6 \times 3·14 \times 0·05 \times 0·05 \times 10^{-27}$

$= 1·256 \times 10^{-29}\ Am^2$

এখানে,

$r = 0·05\ nm = 0·05 \times 10^{-9}\ m$

$n = 10^{10}/$সে.

$q = e = 1·6 \times 10^{-19}\ C$

$\mu_l = ?$

৪·১১ ভূ-চৌম্বকত্ব বা পৃথিবীর চৌম্বকত্ব এবং এর উপাদান
Terrestrial magnetism and its elements

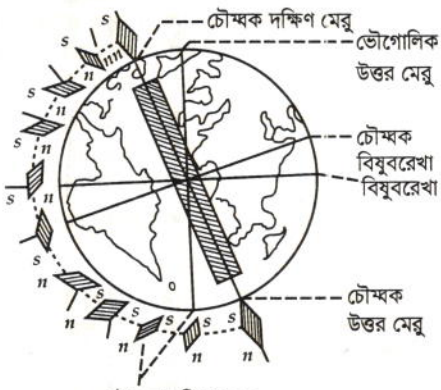
৪·১১·১ পৃথিবীর চুম্বকত্ব
Terrestrial Magnetism [MAT: 12-13]

1600 খ্রিস্টাব্দে রানি এলিজাবেথের পারিবারিক চিকিৎসক **ড. গিলবার্ট** 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]।

[MAT: 14-15]



চিত্র ৪·২১

যেহেতু মুক্তভাবে ঝুলন্ত সাধারণ চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরু যথাক্রমে ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ দিক নির্দেশ করে সেজন্য সাধারণ চুম্বকের উত্তর মেরুকে **উত্তর সন্ধানী** (north-seeking) মেরু এবং দক্ষিণ মেরুকে **দক্ষিণ সন্ধানী** (south-seeking) মেরু বলে। সংক্ষেপে তাদেরকে যথাক্রমে **উত্তর মেরু** এবং **দক্ষিণ মেরু** বলে। অনেকে ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরুকে **নীল মেরু** (blue pole) এবং দক্ষিণ মেরুকে **লাল মেরু** (red pole) বলে।

ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ সর্বত্র সমান নয়। বিভিন্ন স্থানে এদের মান বিভিন্ন হয়। এজন্য ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে উল্লম্ব তলে ঘুরতে পারে এমন একটি ছোট চুম্বক শলাকাকে ভূপৃষ্ঠের 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।

Made with Goodnotes

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।

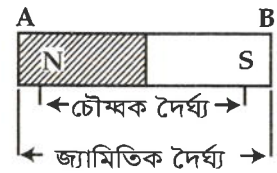
(৩) **চৌম্বক মধ্যতল :** ভূ-চৌম্বকের চৌম্বক অক্ষ দিয়ে অঙ্কিত কাল্পনিক উল্লম্ব তলকে **চৌম্বক মধ্যতল** বলে।

(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—

$$\frac{\text{চৌম্বক দৈর্ঘ্য}}{\text{জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য}} = 0{\cdot}85$$

$\therefore$ চৌম্বক দৈর্ঘ্য $= 0{\cdot}85 \times$ জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য।

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

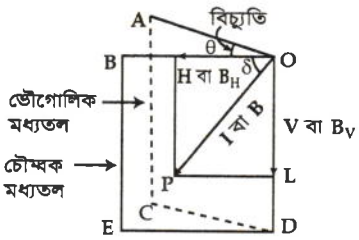
(৩) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য (Horizontal intensity of the earth's magnetic field)।

[MAT: 24-25]

এখন এই তিনটি রাশি বিশদভাবে আলোচনা করা হবে।

১. বিচ্যুতি কোণ

স্পষ্টত ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানের বিচ্যুতি বিভিন্ন। যে স্থানে চৌম্বক মধ্যতল এবং ভৌগোলিক মধ্যতল পরস্পরের সঙ্গে মিশে যায়, সেখানে বিচ্যুতি শূন্য হয়। 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।



চিত্র ৪·২২

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।

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।

[MAT: 17-18]

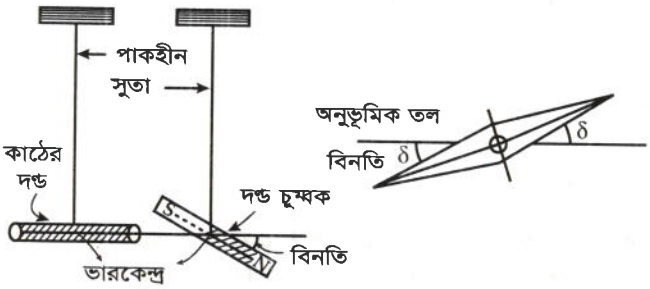
উদাহরণ : মনে করি ঢাকার বিচ্যুতি কোণ $(\frac{1}{2})^\circ$ পূর্ব। উক্ত উক্তি দ্বারা বুঝা যায় যে, ঢাকায় মুক্তভাবে নড়নক্ষম কোনো সূচি চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ চৌম্বক মধ্যতলে থেকে ভৌগোলিক অক্ষের সাথে $(\frac{1}{2})^\circ$ কোণ উৎপন্ন করে এবং এর উত্তর মেরু ভৌগোলিক অক্ষের পূর্ব দিকে থাকে।

Made with Goodnotes

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



চিত্র ৪·২৩

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। [DAT: 22-23]

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 ∠ BOP = δ ওই স্থানের বিনতি।

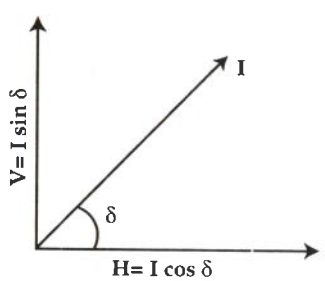
[DAT: 16-17]

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।

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।



চিত্র ৪·২৪

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।

Made with Goodnotes

বর্ণনা অনুসারে,

$H = I\cos\delta$ ... ... (4.57)

এবং $V = I\sin\delta$ ... ... (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, $I^2 = H^2 + V^2$

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

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

বা, $\tan\delta = \frac{V}{H}$ ... ... (4.60)

$\therefore \quad \delta = \tan^{-1}\frac{V}{H}$ ... ... (4.61)

সমীকরণ (4.60) হতে পাই, $V = H\tan\delta$ ... ... (4.62)

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

$\therefore \quad H = V\cot\delta$ ... ... (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, $I = 29\sec\delta$।

[MAT: 22-23]

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 ৪.১০

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

আমরা জানি,

$V = H\tan\delta$

$= 89\tan 60°$

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

এখানে,

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

$\delta = 60°$

$V = ?$

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

আমরা জানি,

$H = I\cos\delta$

বা, $36\times10^{-6} = I\cos 45°$

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

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

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

এখানে,

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ,

$H = 36\mu T = 36\times10^{-6}\ T$

বিনতি, $\delta = 45°$

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য, $I = ?$

Made with Goodnotes

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,

$H = 32\ Am^{-1}$

$V = 24\ Am^{-1}$

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

এবং (ii) হতে পাই,

$$\tan\delta = \frac{V}{H} = \frac{24}{32} = 0.75 = \tan 36°52'$$

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

৪। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ অনুভূমিক উপাংশের $\sqrt{3}$ গুণ। ওই স্থানের বিনতি কোণ কত ?

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য I এবং বিনতি কোণ θ হলে, অনুভূমিক উপাংশ,

$H = I\cos\theta$ এবং

উল্লম্ব উপাংশ, $V = I\sin\theta$

এখানে, $V = \sqrt{3}H$

বা, $\frac{V}{H} = \sqrt{3}$

বা, $\frac{I\sin\theta}{I\cos\theta} = \sqrt{3}$

বা, $\tan\theta = \sqrt{3} = \tan 60°$

∴ $\theta = 60°$

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 যেকোনো 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 $\vec{I}$ বিপরীতমুখী হয়। চৌম্বক আবেশের একক T বা Wbm^{-2}। এই এককগুলো $Nm^{-1}A^{-1}$ বা $JA^{-1}m^{-2}$ এর সমতুল্য।

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

Made with Goodnotes

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।

[MAT:18-19] **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 নিগ্রহীতা বা সহনশীলতা (Magnetic coercivity) : চুম্বকত্ব হ্রাসের কারণসমূহ থাকা সত্ত্বেও কোনো একটি চৌম্বক পদার্থের মধ্যে উৎপন্ন চুম্বকত্ব ধরে রাখার ক্ষমতাকে ওই পদার্থের চৌম্বক নিগ্রহীতা বা সহনশীলতা বলে।

চৌম্বক গ্রহীতা বা প্রবণতা বা তীব্রতা (Magnetic susceptibility) : কোনো চৌম্বক পদার্থের চুম্বকায়ন তীব্রতা ও চৌম্বক তীব্রতার অনুপাতকে ওই পদার্থের চৌম্বক গ্রহীতা 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, $I = \frac{\vec{M}}{V} = \frac{m \cdot 2l}{2lA} = \frac{m}{A}$। 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 মোমেন্ট (nuclear magnetic moment)। এ সকল মোমেন্টের সমষ্টিগত ক্রিয়ার ফলে পদার্থের ভিন্ন ভিন্ন চৌম্বক বৈশিষ্ট্য ও গুণাবলি প্রকাশ পায়। চৌম্বক 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।

Made with Goodnotes

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

আমরা জানি,

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

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

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

বা, $\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$

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

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

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

গাণিতিক উদাহরণ ৪.১১

১। $0{\cdot}001\ m^2$ 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,

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

$$= \frac{m \times 2l}{A \times 2l} = \frac{m}{A} = \frac{1}{0{\cdot}001}$$

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

এখানে,

প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, $A = 0{\cdot}001\ m^2$

মেরুশক্তি, $m = 1\ Am$

চুম্বকায়ন মাত্রা, $I = ?$

২। 5×10^{-3} kg ভর, 0·6 m দৈর্ঘ্য এবং 0·1Ω রোধবিশিষ্ট একটি পরিবাহী তার $1{\cdot}8 \times 10^{-3}$ 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 $H = 1{\cdot}8 \times 10^{-5}$ T হলে চৌম্বক প্রবেশ্যতা কত হবে ?

আমরা জানি, চৌম্বক প্রবেশ্যতা

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1{\cdot}8 \times 10^{-3}}{1{\cdot}8 \times 10^{-5}}$$

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

এখানে,

$H = 1{\cdot}8 \times 10^{-5}\ Am^{-1}$

$B = 1{\cdot}8 \times 10^{-3}$ 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
(৫) প্রতি-ফেরোচৌম্বকত্ব।

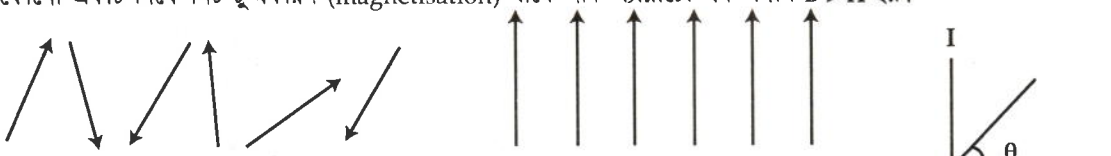
Made with Goodnotes

RMDAC

নিচে এগুলো পরপর আলোচনা করা হলো।

৪·১২·২·১ প্যারাচৌম্বকত্ব
Paramagnetism

প্যারাচৌম্বক পদার্থে অণু, পরমাণু বা আয়নের স্থায়ী চৌম্বক মোমেণ্ট 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। **প্যারাচৌম্বক পদার্থ B > H হয়।**



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

চিত্র ৪·২৫

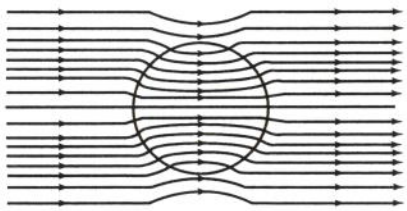
এ সমস্ত পদার্থ চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এ স্থাপন করলে দ্বিপোলসমূহ ক্ষেত্রের অভিমুখ বরাবর সজ্জিত হওয়ার চেষ্টা করে আবার তাপজনিত স্পন্দন এই সজ্জিতকরণ প্রক্রিয়া বাধাগ্রস্ত করে। নিট ফল হিসেবে পদার্থটি একটি চৌম্বক মোমেণ্ট অর্জন করে [চিত্র ৪·২৫(খ)]। এই চৌম্বক মোমেণ্টের অভিমুখ প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর 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। প্যারা চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা 'λ' এবং পরম তাপমাত্রা T হলে এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো λT = ধ্রুবক।

সংজ্ঞা : যেসব পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বক ক্ষেত্রের দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলে। যেমন অ্যালোমেনিয়া, সোডিয়াম, এন্টিমনি, প্লাটিনাম, ম্যাঙ্গানিজ, তরল অক্সিজেন, ক্রোমিয়াম, অ্যামোনিয়াম ইত্যাদি। চুম্বকায়ন মাত্রা I এবং চৌম্বক তীব্রতা H এর মধ্যে সম্পর্ক ৪·২৫(গ) চিত্রে দেখানো হলো।

[DAT: 24-25]

প্যারাচৌম্বক পদার্থ নিম্নলিখিত ধর্মগুলি প্রদর্শন করে :

(i) প্যারাচৌম্বক পদার্থগুলো 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 বলরেখাগুলো 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

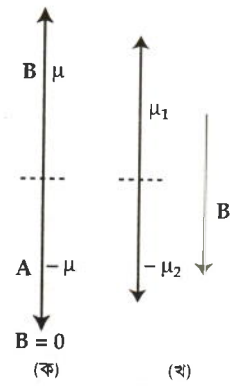
পরমাণুতে ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতির জন্য পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায়। ডায়াচৌম্বকত্ব সকল পদার্থে বিদ্যমান রয়েছে। কিন্তু এর প্রভাব অত্যন্ত দুর্বল। যে সব পদার্থ নিট চৌম্বক মোমেণ্টবিশিষ্ট পরমাণু দ্বারা গঠিত অর্থাৎ যেসব পদার্থে প্যারা বা ফেরোচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায় সেগুলোতে ডায়াচৌম্বকত্ব থাকা সত্ত্বেও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

Made with Goodnotes

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, **যেসব পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ডায়াচৌম্বক পদার্থ বলে।** যেমন তামা, রূপা, দস্তা, বিসমাথ, সিসা, কাচ, মার্বেল, হিলিয়াম, পানি, আর্গন, সোডিয়াম ক্লোরাইড ইত্যাদি।

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।

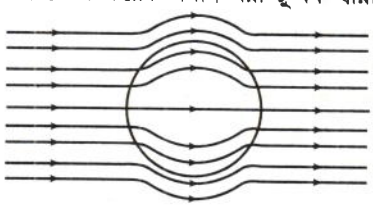


চিত্র ৪·২৭

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; একটি নিট চৌম্বক মোমেন্ট সৃষ্টি হয় [চিত্র ৪·২৭(খ)]। এই নিট মোমেন্টের অভিমুখ প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর বিপরীত।

ডায়াচৌম্বক পদার্থের সাধারণ ধর্মগুলো হলো—

(i) ডায়াচৌম্বক পদার্থগুলো 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, বলরেখাগুলো 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।

(vi) ডায়াচৌম্বক পদার্থে দ্বিমেরু ভ্রামক শূন্য।

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।

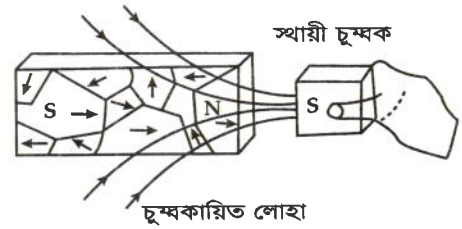
৪·১২·২·৩ ফেরোচৌম্বকত্ব
Ferromagnetism

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

Made with Goodnotes

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।

চিত্র ৪·২৯(ক)



চিত্র ৪·২৯(খ)

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 কিছু ডোমেইনের আকার বাড়ে আবার কোনোটির আকার কমে যায়। ফলে চৌম্বকত্ব আবিষ্ট হয় এবং বহিঃচৌম্বকত্ব প্রদর্শন করে [চিত্র ৪·২৯ (খ)]।

সংজ্ঞা : যেসব পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে, তাদেরকে ফেরোচৌম্বক পদার্থ বলে। যেমন লোহা, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি। লোহার কুরি তাপমাত্রা 1043K, কোবাল্টের 1400K এবং নিকেলের কুরি তাপমাত্রা 627K।

[DAT: 21-22; 17-18]

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 বলরেখাগুলো লক্ষণীয়ভাবে বিকৃত হয়ে যায়।

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

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

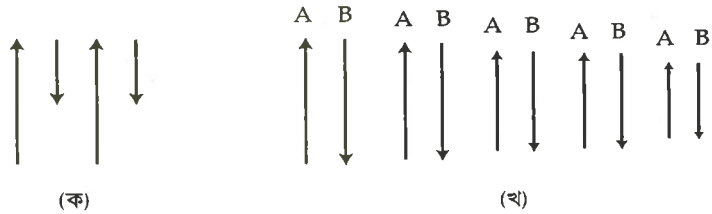
(v) এই চৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা ও প্রবণতা উভয়ই চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সাথে পরিবর্তিত হয়।

(vi) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে ফেরোচৌম্বক পদার্থের 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 কুরি 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। ফেরিচৌম্বক পদার্থ অ্যান্টি

Made with Goodnotes

ফেরোচৌম্বক পদার্থের অনুরূপ। তবে শুধুমাত্র পার্থক্য এই যে প্রতি সমান্তরালে সাজানো এর পাশ্ববর্তী পরমাণুসমূহের স্পিন ভ্রামকগুলোর মান অসমান ফলে একটা লব্ধি চৌম্বকত্বের উদ্ভব হয়।

৪.১২.২.৫ প্রতি-ফেরোচৌম্বকত্ব
Anti-Ferromagnetism

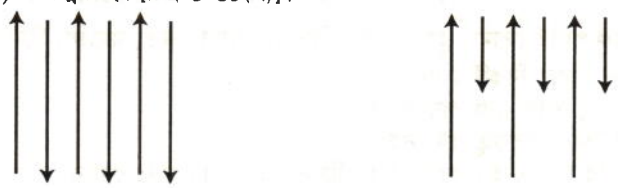
প্রতি-ফেরোচৌম্বকত্বের উদ্ভব হয় বিনিময় মিথস্ক্রিয়া বা বিনিময় ক্ষেত্র দ্বারা। দুটি পরমাণুর তরঙ্গ ফাংশন পরস্পরের ওপর আপতিত হলে এই বিনিময় ক্ষেত্রের উৎপত্তি হয়। বিনিময় ক্ষেত্র থেকে উৎপত্তি হয় বিনিময় শক্তির। নিকটতম প্রতিবেশী স্পিনসমূহ সমান্তরাল হলে এই শক্তি ধনাত্মক হয়। উল্লিখিত স্পিনসমূহ এন্টি-প্যারালাল বা বিপরীতমুখী সমান্তরাল হলে নিল 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 অ্যান্টিফেরোচৌম্বক পদার্থ
Antiferromagnetic substance

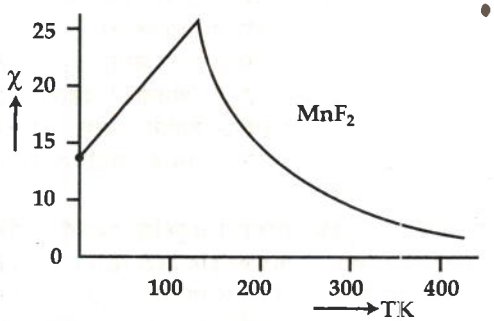
অ্যান্টিফেরোচৌম্বকত্ব প্রদর্শন করে এমন সব কেলাসে যেখানে দুই ধরনের সাবল্যাটিস থাকে, যার একটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে একদিকে চুম্বকিত থাকে অন্যটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিপরীতদিকে চুম্বকিত থাকে। এ ধরনের চুম্বকত্ব প্রদর্শিত হয়—ম্যাঙ্গানিজ অক্সাইড (MnO), ম্যাঙ্গানিজ ফ্যারাইড (MnF_2) ইত্যাদিতে। অ্যান্টিফেরোচৌম্বকত্বের 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)]।

(ক) (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 নীল 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 ?

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

ফেরোচৌম্বক, প্যারাচৌম্বক এবং ডায়াচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of ferromagnetic, paramagnetic and dia-magnetic substances

A 11

❒ ফেরোচৌম্বক পদার্থ (লোহা, নিকেল, কোবাল্ট)

[DAT: 21-22:17-18]

(১) এরা চুম্বক দ্বারা খুব বেশি আকর্ষিত হয়।
(২) এরা কঠিন এবং স্ফটিকাকারের হয়।
(৩) এদের চৌম্বক ধারকত্ব ধর্ম রয়েছে।
(৪) এদের নির্দিষ্ট কুরি বিন্দু রয়েছে। কুরি বিন্দুর ওপরে এর কোনো চুম্বকত্ব থাকে না।

Made with Goodnotes

(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 চৌম্বকগ্রহীতা 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 কুরি বিন্দু নেই। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে এটি এর চুম্বকত্ব হারাতে শুরু করে।
(৫) এদের চৌম্বকগ্রহীতা বা প্রবণতা কম এবং ধনাত্মক ($\chi_m > 0$)।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম নেই।
(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu > 1$।
(৮) এদের চৌম্বকগ্রহীতা 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, সিসা, 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 কুরি বিন্দু নেই। তাপমাত্রার পরিবর্তনে এর আচরণের কোনো পরিবর্তণ হয় না।
(৫) এদের চৌম্বকগ্রহীতা বা প্রবণতা ঋণাত্মক ($\chi_m < 0$)।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম নেই।
(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu < 1$।
(৮) এদের চৌম্বকগ্রহীতা 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।

আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা অনুসারে পদার্থের শ্রেণিবিভাগ
Classification of materials according to relative permeability

আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা μ_r-এর ওপর ভিত্তি করে বিভিন্ন পদার্থকে তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায় :

(i) $\mu_r < 1$, অর্থাৎ $\mu < \mu_0$ — ডায়াচৌম্বক পদার্থ
(ii) $\mu_r > 1$, অর্থাৎ $\mu > \mu_r$ — প্যারাচৌম্বক পদার্থ
(iii) $\mu_r >> 1$, অর্থাৎ $\mu >> \mu_0$ —ফেরোচৌম্বক পদার্থ

$\because \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$, যেখানে μ_0 = শূন্যস্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা এবং μ = শূন্য বা বায়ু মাধ্যম ছাড়া অন্য মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা।

জানার বিষয় :
I. লোহার কুরী তাপমাত্রা —770°C.
II. I ও T এর মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করেন পিয়োর কুরী।
III. কুরী তাপমাত্রার উপরে ফেরো চৌম্বক পদার্থ প্যারা চৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়।
IV. শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা মৃদু আকর্ষিত হয় প্যারা চৌম্বক পদার্থ।
V. শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হয় ডায়া চৌম্বক পদার্থ।
VI. চুম্বকত্বের উৎস হচ্ছে ইলেকট্রনের গতি ও স্পিন।
VII. প্যারা চৌম্বক পদার্থে $B > H$।

Made with Goodnotes

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

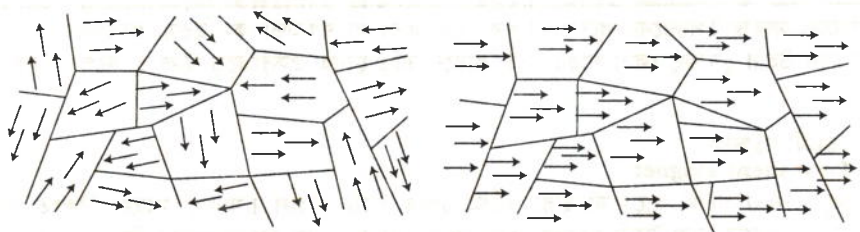
(iii) তড়িৎচুম্বকের N—S অভিমুখের সঙ্গে সমকোণে স্থাপিত হলে দণ্ডটি ডায়াচৌম্বক পদার্থ।

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। এসব পদার্থ হলো ফেরোচৌম্বক পদার্থ। উদাহরণ— লোহা, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি।

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

অন্যভাবে বলা যায় ফেরোচৌম্বক পদার্থে 10^{-12} m^3 থেকে 10^{-8} m^3 আয়তনের মধ্যে 10^{16} থেকে 10^{19} সংখ্যক পরমাণু সম্বলিত অসংখ্য চৌম্বক অঞ্চল থাকে যার মধ্যে চৌম্বক দ্বিপোলগুলো একই দিকে সজ্জিত থাকে; ফলে এরা



চিত্র ৪·৩৩

স্বতন্ত্র চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। এরূপ চুম্বক অঞ্চলকে চৌম্বক ডোমেইন বলে। অচুম্বকায়িত ফেরোচৌম্বক ধাতুখণ্ডে ডোমেইনসমূহ সাধারণভাবে অনিয়মিত বা ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে ছড়ানো থাকে [চিত্র ৪·৩৩(ক)]। ফলে এই লৌহ খন্ড চুম্বক হিসেবে আচরণ করে না। আবার বহিঃচৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে ডোমেইনগুলো চৌম্বক ক্ষেত্রে রেখার সাথে সমান্তরালে অবস্থান করে [চিত্র ৪·৩৩(খ)]। ফলে লৌহ খণ্ডটি স্থায়ীভাবে চুম্বকত্ব লাভ করে। প্রথম চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলেও এর চুম্বকত্ব থাকে। ফেরোচৌম্বক পদার্থের মধ্যে পাশাপাশি বহু সংখ্যক পরমাণু দ্বিপোল মোমেণ্টগুলো একদিকে সজ্জিত থাকে। যে অঞ্চলের মধ্যে দ্বিপোল মোমেণ্টগুলো একদিকে সজ্জিত থাকে সে অঞ্চলই হলো ডোমেইন। সুতরাং একটি ডোমেইনের নিট মোমেণ্ট থাকে। যেকোনো একটি ডোমেইনকে যদি আলাদা করা সম্ভব হতো তবে এটি একটি স্থায়ী চৌম্বক হিসেবে কাজ করত।

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

৪·১৫ তড়িৎচুম্বক ও স্থায়ী চুম্বক
Electromagnet and permanent magnet

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

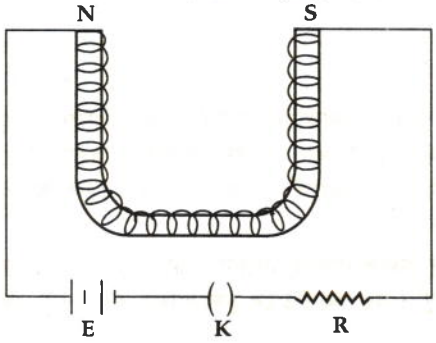
RMDAC
Made with Goodnotes

RMDAC

৪·১৫·১ তড়িৎচুম্বক
Electromagnet

যেসব পদার্থের উচ্চ মানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা, মৃদু চুম্বকায়ন মাত্রা এবং হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল কম, সেই সমস্ত পদার্থ উত্তম তড়িৎচুম্বক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। অর্থাৎ চুম্বকনচক্রের জন্য এসব চুম্বকের শক্তির অপচয় কম হয়। [DAT: 23-24]

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



চিত্র ৪·৩৪

U-আকৃতির কাঁচা লোহাকে অন্তরিত তার জড়িয়ে তারের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে তড়িৎ চুম্বক তৈরি করা হয়। তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ হয়ে গেলে এর চুম্বকত্ব লোপ পায়। তড়িৎবাহী সলিনয়েডের চৌম্বক ক্ষেত্র [চিত্র ৪·৩৪] দণ্ড চুম্বক দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের ন্যায় আচরণ করে। সলিনয়েডের মধ্যে লৌহ খণ্ড স্থাপন করলে চুম্বকত্ব বৃদ্ধি পায়। তড়িৎ প্রবাহ চলাকালীন এটি বেশ শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হয়। একে বলা হয় **তড়িৎচুম্বক**। এই চুম্বকের প্রাবল্য নিম্নোক্তভাবে আরও বাড়ানো যায়—

(১) তড়িৎ প্রবাহ বাড়িয়ে,

(২) সলিনয়েডের প্যাঁচের সংখ্যা বাড়িয়ে।

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

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

৪·১৫·২ স্থায়ী চুম্বক
Permanent magnet

এমন কিছু চৌম্বক পদার্থ আছে যা দ্বারা কৃত্রিম চুম্বক তৈরি করলে চুম্বকত্ব সহজে বিলুপ্ত হয় না। এসব 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, অ্যালু-মিনিয়াম 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

Made with Goodnotes

বেশি কার্বন থাকলে তা স্থায়ী চুম্বক তৈরি করে। ভিকালয় (লোহা, কোবাল্ট ও ভ্যানডিয়াম এর একটি সংকর) চুম্বক উদ্ভাবন করা হয়েছে যার নিগ্রহ সহনশীলতা অনেক বেশি।

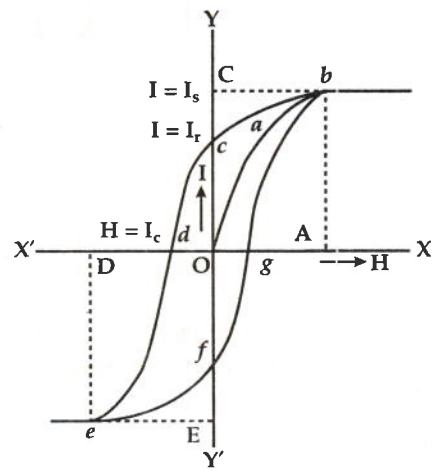
সারণি ১ : বিভিন্ন ধরনের স্থায়ী চুম্বক, চুম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত পদার্থ এবং এদের ব্যবহার

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		লাউড স্পিকারে ব্যবহৃত হয়।
অ্যালিনিকো	লোহা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল ও কোবাল্টের মিশ্রণ	শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বকের জন্য ব্যবহার করা হয়।
টিকোনাল	লোহা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম, টাইটেনিয়াম, কোবাল্ট, নিকেলের মিশ্রণ	স্থায়ী চুম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

৪·১৫·৩ চুম্বকায়ন চক্র এবং হিসটেরিসিস বা শৈথিল্য
Cycle of magnetisation and hysteresis

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

চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য (H) বনাম চুম্বকায়ন তীব্রতা (I) লেখচিত্রটিকে I—H লেখ বলা হয়। লেখটি নিম্নে আলোচিত হলো [চিত্র ৪·৩৫]। বিজ্ঞানী **জে. এ. ইউং** নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে এই ঘটনা আবিষ্কার করেন। একটি ফেরোচৌম্বক পদার্থকে H প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করি এবং একে চুম্বকায়িত করি। H-এর পরিবর্তনে চুম্বকায়নমাত্রা বা ম্যাগনেটাইজেশন ভেক্টর I-এর পরিবর্তন ঘটবে এবং I বনাম H লেখটিকে O *a b c d e f g b* দিয়ে সূচিত করা গেল। H-কে X-অক্ষে এবং I-কে Y-অক্ষে স্থাপন করে লেখটি অঙ্কন করা হয়েছে। H-এর মান শূন্য হতে ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে চুম্বকায়ন মাত্রা I-এর মান বাড়তে থাকে। চিত্রে O*ab* রেখার সাহায্যে এটি দেখানো হয়েছে। I-এর মান *b* বিন্দুতে উপনীত হবার পর H-এর মান বাড়ালেও I-এর মান আর বাড়ে না। এ অবস্থায় চুম্বকায়ন মাত্রা **সম্পৃক্ত মান** (I_S) লাভ করে।



চিত্র ৪·৩৫

সম্পৃক্ত মানে চুম্বকায়ন মাত্রা OC এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য OA। এমতাবস্থায় চৌম্বক পদার্থের **অণুচুম্বকগুলো** সম্পূর্ণরূপে এক রেখায় অবস্থান করে। অর্থাৎ C বিন্দুতে $I = I_S$ হয়।

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

এখন H-এর অভিমুখ বিপরীত করে এর ঋণমান ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে I-এর মান ক্রমশ কমতে থাকে। *cd* রেখা দিয়ে তা দেখানো হয়েছে। *d* বিন্দুতে I-এর মান শূন্য হয় এবং এমতাবস্থায় H-কে O*d* দিয়ে নির্দেশ করা হয়েছে। I-এর শূন্য মানে H-এর এ মানকে **নিগ্রহ বল** (I_C) (coercive force) বলে এবং চৌম্বক পদার্থের এ ধর্মকে **নিগ্রহ-**

Made with Goodnotes

RMDAC

সহনশীলতা (coercivity) বলে। এমতাবস্থায় চৌম্বক পদার্থটি চুম্বকত্ব হারায়। H-এর এ মান ঋণাত্মক দিকে ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে I-এর মানও ঋণাত্মক হয়। *de* রেখা দিয়ে তা দেখান গেল। *d* বিন্দুতে $H = I_C$ হয়।

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

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

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

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 করে বিচুম্বকিত করতে গেলে সেটি সহজে বিচুম্বকিত হতে চায় না। চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগের সময় পদার্থের চুম্বকত্ব যেভাবে বৃদ্ধি পায়, চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণের সময় চুম্বকত্ব সেভাবে হ্রাস পায় না। চৌম্বক পদার্থের বিচুম্বকিত হতে অনীহা বা শৈথিল্য প্রদর্শন করাকে হিসটেরেসিস বলে।

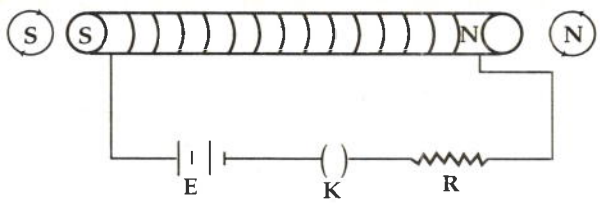
জেনে রাখ : হিসটেরেসিস লুপের সাহায্যে কোনো পদার্থের কী কী বিষয় জানা যেতে পারে?

চৌম্বক পদার্থের হিসটেরেসিস লুপ পর্যালোচনা করে পদার্থটির ধারণ ক্ষমতা, সহনশীলতা, চৌম্বকগ্রহীতা ও প্রবেশ্যতা 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 দন্ডটি 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

Made with Goodnotes

[DAT: 20-21;19-20]

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। ট্রান্সফরমারের ফোর এবং মোটর জেনারেটরের আর্মেচারেও এদের ব্যবহর করা 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।

কতগুলো 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 ধর্মগুলো 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

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

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

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

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

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

কাঁচা লোহা বা স্ট্যালয়ের (সিলিকন ও লোহার সংমিশ্রণ) এই গুণগুলো 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।

Made with Goodnotes

সার-সংক্ষেপ

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

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

চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক : একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক।

ম্যাক্সওয়েলের কর্ক স্ক্রু সূত্র : একটি তড়িৎবাহী তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখে ডান পাকের কর্ক-স্ক্রুকে ঘুরান হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলি যেদিকে ঘুরে চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু সেদিকে বিক্ষিপ্ত হবে। ওই দিক হবে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ। এটি ম্যাক্সওয়েলের কর্ক স্ক্রু সূত্র।

ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়ম : একটি বিদ্যুৎবাহী তারকে বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকে বৃদ্ধাঙ্গুলি রেখে দক্ষিণ হস্তে ধরলে অন্য আঙ্গুলগুলো চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে বারটিকে ঘিরে থাকবে। এটি ফ্লেমিংয়ের ডান হস্ত নিয়ম। এটি ডান হস্ত নিয়ম–২ নামেও পরিচিত।

ডান হস্ত নিয়ম–১ : ডান হস্ত বিস্তৃত করলে অঙ্গুলিগুলোর দিক চৌম্বকক্ষেত্র এবং বৃদ্ধাঙ্গুলি চার্জের বেগ নির্দেশ করলে ধনাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে হাতের তালুর ওপরে বহির্মুখী লম্ব চৌম্বক বলে দিক নির্দেশ করবে এবং ঋণাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে বল বিপরীতমুখী অর্থাৎ হাতের তালুর ভেতরের দিকে লম্ব বরাবর হবে।

চৌম্বক ভ্রামক : কোনো বিদ্যুৎবাহী কুণ্ডলীর বিদ্যুৎ প্রবাহ এবং কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল ভেক্টরের গুণফলকে ওই কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক বলে।

বোর ম্যাগনেটন : চৌম্বক ভ্রামকের ন্যূনতম মানকে বোর ম্যাগনেটন বলে। এই মান, $M = \frac{\rho h}{4\pi m}$

$= 9{\cdot}23 \times 10^{-24}\ Am^2$।

ভৌগোলিক অক্ষ : ভৌগোলিক দুই মেরুর সংযোজক কাল্পনিক রেখার নাম ভৌগোলিক অক্ষ।

ভৌগোলিক মধ্য তল : ভৌগোলিক অক্ষের মধ্য দিয়ে যে উল্লম্ব তল কল্পনা করা হয়, তাকে ভৌগোলিক মধ্য তল বলে।

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।

জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য : কোনো একটি চুম্বকের দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী দূরত্বকে জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য বলে।

$\frac{\text{চৌম্বক দৈর্ঘ্য}}{\text{জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য}} = 0{\cdot}85$

চৌম্বক প্রবেশ্যতা : কোনো একটি মাধ্যমে সৃষ্ট চৌম্বক আবেশ এবং চৌম্বক প্রাবল্যের অনুপাতকে ওই মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বা প্রবেশ্যতা বলে। $\mu = \frac{\vec{B}}{\vec{A}}$।

চৌম্বক গ্রহিতা বা প্রবণতা বা তীব্রতা : কোনো চৌম্বক পদার্থের চুম্বকায়ন তীব্রতা ও চৌম্বক তীব্রতার অনুপাতকে ওই পদার্থের চৌম্বক গ্রহিতা বা প্রবণতা বলে। $\chi_m = \frac{I}{H}$।

আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা : কোনো পদার্থের চৌম্বক প্রবেশ্যতা ও শূন্যস্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতার অনুপাতকে ওই পদার্থের আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা বলে।

Made with Goodnotes

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

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

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

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

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

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

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

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

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

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র : কোনো বন্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বেষ্টিত ক্ষেত্রফলের ভেতর প্রবাহিত মোট প্রবাহমাত্রার μ_0 গুণ।

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

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

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

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

Made with Goodnotes

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা মোট 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।

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

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

চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক : চৌম্বক দ্বিপোলের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেণ্ট বা ভ্রামককে চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক বলে।

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

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

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

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

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

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

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

1 বোর ম্যাগনেটন : হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন প্রথম বোর কক্ষে থাকলে পরমাণুর চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামককে 1 বোর ম্যাগনেটন বলে।

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

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

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

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

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

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

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

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

Made with Goodnotes

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$B = \frac{F}{qv}$ ... ... (1)

$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ ... ... (2)

$F = qvB \sin\theta$ ... ... (3)

$\varphi_B = BA$ ... ... (4)

$\varphi = \vec{A} \cdot \vec{B}$ ... ... (5)

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu . I,\ B = \mu . I \times n$ ... ... (6)

$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{idl \sin\alpha}{r^2}$ ... ... (7)

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$ ... ... (8)

$B = \frac{\mu_0 nI}{2r}$ ... ... (9)

$J = \frac{I}{A}$ ... ... (10)

$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{B}$ ... ... (11)

$\tau = pB \sin\theta$ ... ... (12)

$\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}$ ... ... (13)

$n = \frac{JB}{qE}$ ... ... (14)

$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$ ... ... (15)

$\vec{\mu}_s = \frac{e}{m} \vec{S}$ ... ... (16)

$\mu = \mu_l + \mu_s = \left(\frac{-e}{2m}\right) (\vec{L} + 2\vec{S})$ ... ... (17)

$\mu_1 = \frac{-e}{2m} \vec{L}$ ... ... (18)

$\mu_1 = \frac{eh}{4\pi m}$ ... ... (19)

$H = I \cos\delta$ ... ... (20)

$E_H = vB$ ... ... (21)

$V_H = E_H d = \frac{BI}{ntq}$ ... ... (22)

$V = I \sin\delta$ ... ... (23)

$I = \sqrt{H^2 + V^2}$ ... ... (24)

$\frac{V}{H} = \tan\delta$ ... ... (25)

$H = V \cot\delta$ ... ... (26)

$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{I})$ ... ... (27)

$F = \mu_0 \frac{I_1 I_2 l}{2\pi r}$ ... ... (28)

Made with Goodnotes

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। রফিক এবং আবির দুই বন্ধু 20 m লম্বা একটি তারে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে তারের মধ্য বিন্দু থেকে 40 cm দূরে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান পরিমাপ করল 6×10^{-6} T। পরবর্তীতে তারটিকে পেঁচিয়ে তারা একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী তৈরি করল যার ব্যাসার্ধ 45 cm। রফিক বলল কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের একই মান অর্থাৎ 6×10^{-6} T হবে। কিন্তু আবির দ্বিমত পোষণ করল।

(ক) তারে প্রবাহিত তড়িতের মান নির্ণয় কর।

(খ) দুই বন্ধুর বক্তব্যের মধ্যে কার বক্তব্য সঠিক—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও।

(ক) আমরা জানি, তার হতে a m দূরত্বে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times i}{2\pi \times 0.4}$$

$$\therefore\ 6 \times 10^{-6} = \frac{2 \times 10^{-7} i}{0.4}$$

বা, $$i = \frac{6 \times 10^{-6} \times 0.4}{2 \times 10^{-7}} = 1.2 \times 10^{1} = 12\text{A}$$

এখানে,

$l = 20\text{m}$

$a = 40\text{ cm} = 0.4\text{m}$

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

$r = 45\text{ cm} = 0.45\text{m}$

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

(খ) এখন, কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_1 = \frac{\mu_0 i}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 12}{2 \times 0.45}$$

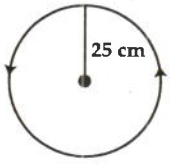
$$= \frac{4 \times 3.14 \times 12 \times 10^{-7}}{0.90}$$

$$= 16.7 \times 10^{-6}\text{ T}$$

এখানে, $B \neq B_1$

সুতরাং, আবিরের বক্তব্য সঠিক।

২। চিত্রটি লক্ষ কর এবং প্রশ্নগুলো উত্তর দাও :



কুণ্ডলীর কেন্দ্রে $B = 3 \times 10^{-3}$ T

$I = 2.5$A

(ক) উদ্দীপকে ব্যবহৃত কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা বের কর।

(খ) উদ্দীপকের প্রবাহ যদি অর্ধেক করা হয় তবে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্বের কীরূপ পরিবর্তন হবে— গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র,

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

∴ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা,

$$n = \frac{B \times 2r}{\mu_0 I} = \frac{3 \times 10^{-3} \times 2 \times 0.25}{4\pi \times 10^{-7} \times 2.5}$$

$= 477.7 = 478$ সংখ্যক

এখানে,

$r = 25\text{ cm} = 0.25\text{ m}$

$I = 2.5\text{ A}$

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

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

$n = ?$

(খ) আবার $$B = \frac{\mu_0 n i_1}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 478 \times 1.25}{2 \times 0.25}$$

$$= \frac{4 \times 3.14 \times 478 \times 1.25 \times 10^{-7}}{2 \times 0.25}$$

$$= 15 \times 10^{-4} = 1.5 \times 10^{-3}\text{ T}$$

এখানে,

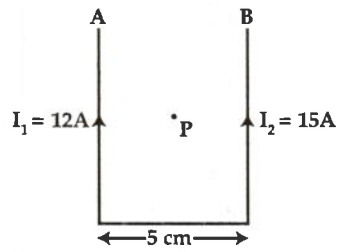
$n = 478$

$i_1 = \frac{2.5}{2} = 1.25\text{ A}$

প্রবাহ অর্ধেক হলে কেন্দ্রে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব অর্ধেক হবে।

Made with Goodnotes

৩।



চিত্রে পরস্পরের সমান্তরালে 10 m সম দৈর্ঘ্যের প্রবাহবাহী দুটি পরিবাহীর মধ্যবর্তী দূরত্ব 5 cm। P বিন্দুটি তার দুটির মধ্য বিন্দুতে অবস্থিত। ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ TmA^{-1}$)

(ক) A তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে চৌম্বক বলের মান কত ?

(খ) B তারের প্রবাহ বিপরীতমুখী করলে P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র পরিবর্তিত হবে কি ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 12 \times 15}{2\pi \times 5 \times 10^{-2}} = \frac{2 \times 12 \times 15 \times 10^{-5}}{5}$$

$$= 72 \times 10^{-5} = 7.2 \times 10^{-4}\ N/m$$

এখানে,

$d = 5\ cm = 5 \times 10^{-2}\ m$

$I_1 = 12A$

$I_2 = 15A$

$l = 10\ m$

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

(খ) এখন, A তারের জন্য P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 12}{2\pi \times 2.5 \times 10^{-2}} = 9.6 \times 10^{-5}\ Wbm^{-2}$$

ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত সূত্র অনুসারে B_1 এর দিক হবে কাগজ তলের ভেতরের দিকে।

এখানে,

$a_1 = \frac{d}{2} = \frac{5}{2} = 2.5\ cm$

$= 2.5 \times 10^{-2}\ m$

আবার, B তারের জন্য P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 15}{2\pi \times 2.5 \times 10^{-2}} = 1.2 \times 10^{-4}\ Wbm^{-2} = 12 \times 10^{-5}\ Wbm^{-2}$$

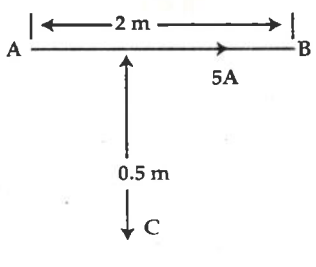
এর দিক হবে ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত সূত্র অনুসারে কাগজ তলের বাইরের দিকে।

$B_2 > B_1$ হওয়ায় লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্র B হবে, $B = B_2 - B_1 = 1.2 \times 10^{-4}\ Wbm^{-2} - 9.6 \times 10^{-5}\ Wbm^{-2} = 2.4 \times 10^{-5}\ Wbm^{-2}$ এবং দিক হবে B_2 এর দিকে। অর্থাৎ কাগজ তলের লম্ব বরাবর বাইরের দিকে।

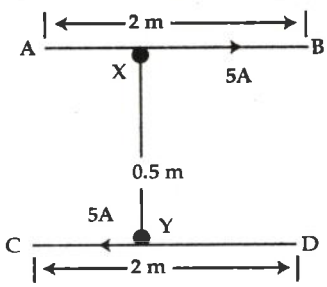
এখন, তড়িৎ প্রবাহের দিক পরিবর্তন করলে P বিন্দুতে A ও B তারের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্রের মান একই থাকলেও B_2 এর দিক বিপরীতমুখী হবে অর্থাৎ B_1 ও B_2 একই দিকে হবে। B_1 ও B_2 একই দিকে হওয়ায় লব্ধি হবে,

$B = B_1 + B_2 = 9.6 \times 10^{-5}\ T + 1.2 \times 10^{-4}\ T = 2.16 \times 10^{-4}\ T$ এবং দিক হবে কাগজ তলের লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে।

৪।



চিত্র (i)



চিত্র (ii)

(ক) চিত্র (i)-এ C বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ?

Made with Goodnotes

(খ) চিত্র (ii)-এর X ও Y বিন্দুতে চৌম্বক বলের দিকের তুলনা কর। [ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 0.5}$$

$$= \frac{10 \times 10^{-7}}{0.5} = 2 \times 10^{-6}\ \text{Wbm}^{-2}$$

এখানে,
$I = 5A$
$a = 0.5m$
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$

(খ) চিত্র (ii) অনুসারে CD তারের জন্য X বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 0.5}$$

$\therefore B = 2 \times 10^{-6}\ \text{Wbm}^{-2}$

এখানে,
$I = 5A$
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$
$B = ?$
$a = 0.5m$

ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়ম অনুসারে X বিন্দুতে B-এর দিক কাগজ তলের সাথে লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে।

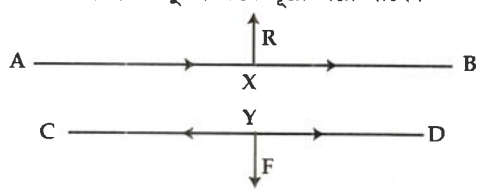
এখন এই চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য AB তার বল অনুভব করবে,

$$F = IlB \sin\theta = IlB$$

$$= 5 \times 2 \times 2 \times 10^{-6} = 2 \times 10^{-5}\ \text{N}$$

এখানে,
$I = 5A$
$l = 2m$
$B = 2 \times 10^{-6}\ \text{Wbm}^{-2}$
$\theta = 90°$

ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র অনুসারে এই বলের অভিমুখ হবে অভিলম্বভাবে বাইরের দিকে বা ওপরের দিক। সুতরাং AB তারটি CD তারের জন্য বিকর্ষন বল অনুভব করে দূরে সরে যাবে।



চিত্র (ii) এর উপাত্ত থেকে দেখা যায় যে, AB তারের জন্য Y বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র পাওয়া যায়,

$B = 2 \times 10^{-6}\ \text{Wbm}^{-2}$

ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত সূত্র অনুসারে এই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক কাগজ তলের লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে।

এই চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য CD তার $F = 2 \times 10^{-5}$ N বল অনুভব করে এবং ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র অনুসারে এই বলের দিক নিচের দিকে। অর্থাৎ CD তারটি AB তারের জন্য বিকর্ষণ লাভ করে দূরে সরে যাবে।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, X ও Y বিন্দুতে বলের দিক বিপরীতমুখী অর্থাৎ তারদ্বয় বিকর্ষণ বল লাভ করবে।

উত্তর : (ক) $B = 2 \times 10^{-6}\ \text{Wbm}^{-2}$ (খ) বলের দিক বিপরীতমুখী।

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

(ক) প্রতি মিনিটে কত তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে?

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

(ক) ধরি লোহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে = θ K

প্রশ্নানুযায়ী প্রতি সেকেন্ডে প্রতি ঘনমিটারে শক্তির অপচয় = 5×10^3 J

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

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

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

$\therefore$ শক্তির অপচয় = উৎপন্ন তাপশক্তি

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

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

$\therefore$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি = 0.08 K

Made with Goodnotes

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

৬। 5×10^{-3} kg ভর 0·6 m দৈর্ঘ্য এবং 0·1 Ω রোধবিশিষ্ট একটি পরিবাহী তার $1·8 \times 10^{-3}$ T ফ্লাক্স ঘনত্বের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে লম্বভাবে রাখা আছে। তারটির দুই প্রান্তে 4·5 V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করে এতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা হলো। [$H = 1·8 \times 10^{-5}$T] [রা. বো. ২০১৫]

(ক) চৌম্বক প্রবেশ্যতা কত?

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

(ক) দেওয়া আছে, $B = 1·8 \times 10^{-3}$ T, $H = 1·8 \times 10^{-5}$ T, $\mu = ?$

আমরা জানি, $B = \mu H$

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1·8 \times 10^{-3}}{1·8 \times 10^{-5}} = 100 \text{ weber/amp-m}$$

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

উদ্দীপকের তথ্য অনুযায়ী, $I = \frac{V}{R} = \frac{4·5}{0·1} = 45A$

আবার, $l = 0·6$ m, $B = 1·8 \times 10^{-3}$ T, $\theta = 90°$

$\therefore \quad F = IlB \sin\theta$

$= 45 \times 0·6 \times 1·8 \times 10^{-3} \sin 90°$

$= 0·049$ N

সুতরাং তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত হওয়ায় এর ওপর 0·0486 N মানের চৌম্বক বল ক্রিয়া করবে, যার দিক হবে ওপরের দিকে যা ফ্লেমিং এর ডান হস্ত নিয়ম-১ থেকে পাওয়া যায়।

এখন তারটির ওজন,

$W = mg = 5 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 9·8 \text{ mg}^{-2} = 0·049$ N

এই ওজন W বা বলের দিক খাড়া নিচের দিকে। চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তারটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হওয়ায় এটি খাড়া ওপরের দিকে বল অনুভব করে; আবার তারের নিচের দিকে অভিকর্ষীয় বল ক্রিয়া করে। এই দুই বল সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায়, তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় থাকবে।

৭। পদার্থবিজ্ঞান গবেষণাগারে একদল শিক্ষার্থী 5 cm ব্যাসার্ধ এবং 250 পাকবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে 20A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে এবং কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র B এর মান নির্ণয় করে। পরে কুণ্ডলীর তারটিকে সোজা করে একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চালিয়ে কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধের সমান দূরত্বের কোনো বিন্দুতে B-এর মান নির্ণয় করে। এমতাবস্থায় প্রবাহ স্থির রেখে পরিবাহীকে 5 tesla মানের চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে স্থাপন করা হলো।

(ক) উদ্দীপকে তারটি সোজা করার পর চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত অবস্থায় এর ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান কত ?

(খ) উদ্দীপকের আলোকে কোন ক্ষেত্রে B এর মান বেশি পাবে ? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [কু. বো. ২০১৬]

(ক) তারটিকে সোজা করলে এর দৈর্ঘ্য $l = 2\pi r$

n সংখ্যক তারের মোট দৈর্ঘ্য $= 2\pi rn$

আমরা জানি,

$F = IlB \sin\theta$

$\therefore \quad F = 20 \times 2 \times 3·14 \times 5 \times 10^{-2} \times 5 \times \sin 90° \times 250$

$= 7850$N

(খ) বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_1 = \frac{\mu_0 nI}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 250 \times 20}{2 \times 5 \times 10^{-2}}$$

$$= \frac{4 \times 3·14 \times 5000 \times 10^{-7}}{10 \times 10^{-2}} = 6·28 \times 10^{-2} \text{ T}$$

এখানে,

$n = 250$

$r = 5 \text{ cm} = 0·05 \text{ m} = 5 \times 10^{-2}$ m

$I = 20$A

$l = 2\pi r$

$= 2 \times 3·14 \times 5 \times 10^{-2} \times 250$

$B = 5$T

$\theta = 90°$

$n = 250$

Made with Goodnotes

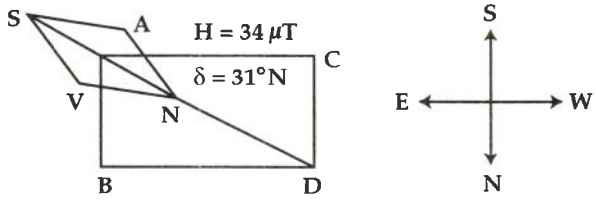
সোজা তারের ক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4 \times 3{\cdot}14 \times 10^{-7} \times 20}{2 \times 3{\cdot}14 \times 5 \times 10^{-2}} = 8 \times 10^{-5}\ T$$

$\therefore \quad B_1 > B_2$

অর্থাৎ বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে B এর মান বেশি হবে।

৮।



(ক) উদ্দীপকের আলোকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র B এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ V_A-এর মান নির্ণয় কর।

(খ) বিনতি কোণের মান দ্বিগুণ করা হলে অনুভূমিক উপাংশের মান দ্বিগুণ হবে কিনা ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে সত্যতা যাচাই কর।

(ক) আমরা জানি,

$H = B\cos\delta$

বা, $B = \frac{H}{\cos\delta} = \frac{34}{\cos 31°} = 39{\cdot}67\ \mu T$

এখানে,
$H = 34\ \mu T$
$\delta = 31°$
$B = ?$

আবার $V = B\sin\delta$
$= 39{\cdot}67 \times \sin 31°$
$= 39{\cdot}67 \times 0{\cdot}515038$
$= 20{\cdot}4315\ \mu T$

এখানে,
$B = 39{\cdot}67\ \mu T$
$\delta = 31°$
$V = ?$

(খ) আমরা জানি,

$H' = B\cos\delta' = 39{\cdot}67 \times \sin 62°$
$= 18{\cdot}62\ \mu T$

সুতরাং, $\frac{H'}{H} = \frac{18{\cdot}67}{34} = \frac{1}{1{\cdot}82} \simeq \frac{1}{2}$

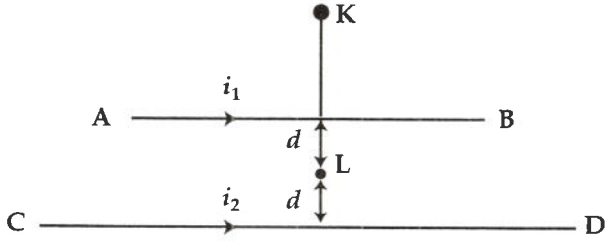
$\therefore \quad H' = \frac{H}{2}$

বা, $H = 2H'$

এখানে,
উদ্দীপকে বিনতি কোণ, $\delta = 31°$
বিনতি দ্বিগুণ করা হলে, $\delta' = 2 \times 31° = 62°$
এ থেকে প্রাপ্ত, $B = 39{\cdot}67\ T$
উদ্দীপক হতে, $H = 34\ \mu T$
এক্ষেত্রে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ, $H' = ?$

অর্থাৎ ১ম ক্ষেত্রে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান ২য় ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মানের দ্বিগুণ হবে। অর্থাৎ বিনতি কোণ দ্বিগুণ করলে অনুভূমিক উপাংশের মান অর্ধেক হবে।

৯। চিত্রে i_1 প্রবাহের জন্য K বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 8 $NA^{-1}m^{-1}$



$i_1 = 2\ A$

$i_2 = 3\ A$

(ক) AB পরিবাহী তার হতে K বিন্দুর দূরত্ব d নির্ণয় কর।

Made with Goodnotes

(খ) i_1 প্রবাহের দিক বিপরীত করলে L বিন্দুতে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ও দিক কীরূপ হবে ? বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

$$\therefore \quad d = \frac{\mu_0 I}{2\pi B_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 8} = 5 \times 10^{-8}\,\text{m}$$

$\therefore$ AB পরিবাহী থেকে K বিন্দুর দূরত্ব 5×10^{-8} m

এখানে,

তড়িৎ প্রবাহ, $i_1 = 2$ A

$B_1 = 8\,\text{NA}^{-1}\text{m}^{-1} = 8$ T

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\text{TmA}^{-1}$

$d = ?$

(খ) এখানে, AB এর প্রবাহ $I_1 = 2$A

CD এর প্রবাহ $I_2 = 3$ A

$\therefore$ উভয় তার থেকে L বিন্দুর দূরত্ব $d = 5 \times 10^{-8}$ m (ক থেকে প্রাপ্ত)

এখন AB তারের জন্য L বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 5 \times 10^{-8}} = 8\,\text{T}$$

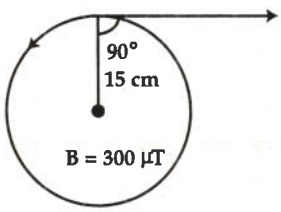
এখন I_1 প্রবাহের দিক বিপরীতমুখী করলে B_1 এর দিকও বিপরীতমুখী হয়ে যাবে। অর্থাৎ B_1 এর পরিবর্তিত দিক হবে বাইরের দিকে।

আবার, CD তারের জন্য L বিন্দুতে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রের মান,

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3}{2\pi \times 5 \times 10^{-8}} = 12\,\text{T}$$

$\therefore$ L বিন্দুতে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রের মান হবে 20 T এবং দিক হবে বাইরের দিকে।

১০। একটি তড়িৎবাহী তার কুন্ডলী যার ব্যাসার্ধ 15 cm।



(ক) উদ্দীপকের বৃত্তাকার কুন্ডলীর 62 পাকের জন্য তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) তার কুন্ডলী থেকে পরিধির সমান অংশ নিয়ে সোজা করে লম্বা তারটি থেকে বৃত্তাকার কুন্ডলীর ব্যাসার্ধের সমান দূরত্বে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্বের কী পরিবর্তন ঘটবে ? বিশ্লেষণ কর। [দি. বো. ২০১৭; ঢা. বো. ২০১৫ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি, চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব,

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

$$\therefore \quad i = \frac{2Br}{\mu_0 n} = \frac{2 \times 0{\cdot}15 \times 300 \times 10^{-6}}{4\pi \times 10^{-7} \times 62}$$

$$= \frac{2 \times 15 \times 3 \times 10^{-6} \times 10^{7}}{4 \times 3{\cdot}14 \times 62} = 1{\cdot}156\,\text{A}$$

সুতরাং কুন্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ 1·156 A

এখানে,

কুন্ডলী তারের ব্যাসার্ধ,

$r = 15\,\text{cm} = 0{\cdot}15\,\text{m}$

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান,

$B = 300\,\mu\text{T} = 300 \times 10^{-6}$ T

পাক সংখ্যা, $n = 62$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\text{TmA}^{-1}$

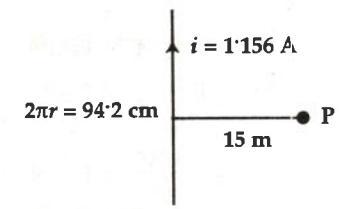
কুন্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ, $i = ?$

(খ) কুন্ডলীটি সোজা করলে পরিধির সমান দৈর্ঘ্য হবে,

$2\pi r = 2 \times 3{\cdot}14 \times 15 = 94{\cdot}2$ cm

এখন প্রশ্নানুসারে, সোজা তার থেকে কুন্ডলীর ব্যাসার্ধের সমান দূরত্ব অর্থাৎ 15 cm দূরে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব হবে,

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



Made with Goodnotes

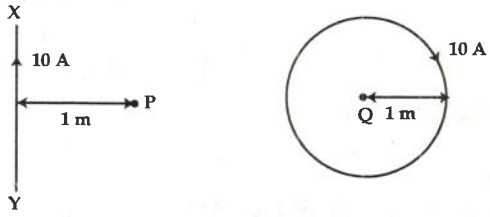
$\therefore \quad B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1{\cdot}156}{2\pi \times 0{\cdot}15} = \frac{2 \times 1{\cdot}156 \times 10^{-7}}{0{\cdot}15}$

$= 1{\cdot}54 \times 10^{-6}\ T = 1{\cdot}54\ \mu T$

সুতরাং চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হবে, $(300\ \mu T - 1{\cdot}54\mu T) = 298{\cdot}46\ \mu T$

অর্থাৎ চৌম্বক ফ্লাক্স কম হবে।

১১।



(ক) XY তারের দরুন P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বের কর।

(খ) "P ও Q বিন্দুর যে কোনো একটি বিন্দুর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বেশি হবে"—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[মাদরাসা বোর্ড, ২০১৮ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

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

$\therefore \quad B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 1} = 2 \times 10^{-6}\ T = 2\ \mu T$

সুতরাং P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $2\mu T$

এখানে,

তড়িৎ প্রবাহ, $i = 10\ A$

তার হতে P বিন্দুর দূরত্ব, $Q = 1\ m$

চৌম্বক ক্ষেত্র, $B = ?$

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

(খ) আবার Q বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান,

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

$\therefore \quad B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2 \times 1} = 2 \times 3{\cdot}14 \times 10^{-6}$

$= 6{\cdot}28 \times 10^{-6}\ T = 6{\cdot}28\ \mu T$

এখানে,

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

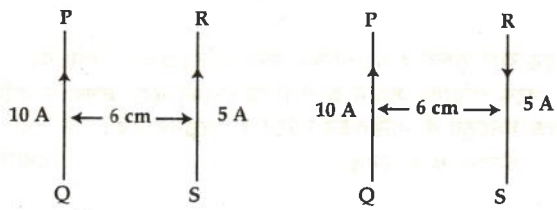
$i = 10\ A$

$r = 1\ m$

$B = ?$

'ক'-এ প্রাপ্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের সঙ্গে তুলনা করলে দেখা যায় Q বিন্দুর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বেশি।

১২।



চিত্র ১ চিত্র ২

চিত্র ১ ও চিত্র ২ এ PQ ও RS দুটি সমান্তরাল তড়িৎ প্রবাহবাহী তার।

(ক) উদ্দীপকের তার দুটির প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর।

(খ) চিত্র ১ ও চিত্র ২ এর RS পরিবাহীর একক দৈর্ঘ্যের ওপর ক্রিয়াশীল বলের দিক একই হবে না—উপযুক্ত সূত্র প্রয়োগে ব্যাখ্যা কর।

[কু. বো. ২০১৭]

(ক) ধরি প্রত্যেকটি তারে ক্রিয়াশীল বল F′

আমরা জানি, $F' = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$

$\therefore$ প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ক্রিয়াশীল,

$\frac{F'}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 5}{2\pi \times 0{\cdot}06}$

$= \frac{1 \times 10^{-5}}{0{\cdot}06} = 1{\cdot}67 \times 10^{-4}\ N$

সুতরাং, তার দুটির একক দৈর্ঘ্যে ক্রিয়াশীল বল $= 1{\cdot}67 \times 10^{-4}\ N$

এখানে,

PQ তারে তড়িৎ প্রবাহ, $I_1 = 10\ A$

PS তারে তড়িৎ প্রবাহ, $I_2 = 5\ A$

তার দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব, $r = 6\ cm = 0{\cdot}06\ m$

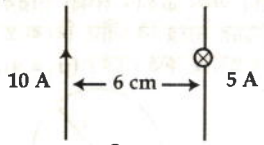
চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ Wbm^{-1}A^{-1}$

প্রতিটি তারের দৈর্ঘ্য $= l$

Made with Goodnotes

(খ) চিত্র ১ ও চিত্র ২ এর RS তারে তড়িৎ প্রবাহের দিক পরস্পর বিপরীতমুখী। PQ তারের জন্য RS তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে প্রযুক্ত বলের মান একই কিন্তু দিক ভিন্নতর। ম্যাক্সওয়েলের কর্ক স্ক্রু সূত্র বা ম্যাক্সওয়েলের ডান হাতি সূত্র অনুযায়ী, PQ পরিবাহীর জন্য RS পরিবাহীর তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে প্রযুক্ত বল

$$\frac{F}{l}=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times10\times5}{2\pi\times0.06}$$
$$=1.67\times10^{-4}\ \text{N}$$

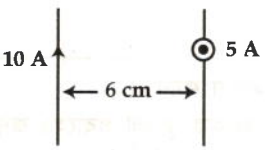


চিত্র ১

এই বলের দিক ম্যাক্সওয়েলের ডান হস্ত সূত্র অনুযায়ী কাগজ তলের সমকোণে এবং ভেতরের দিকে ক্রিয়া করে যা (×) চিহ্ন দ্বারা নির্দেশ করা হয়েছে।

আবার, চিত্র ২ এ প্রতি এককে দৈর্ঘ্যে প্রযুক্ত বলের মান একই। তবে ম্যাক্সওয়েলের সূত্র অনুযায়ী এই বলের দিক হবে কাগজ তলের বাইরের দিকে যা (●) চিহ্ন দ্বারা নির্দেশ করা হয়েছে।

সুতরাং, চিত্র ১ ও চিত্র ২ এর RS পরিবাহীর একক দৈর্ঘ্যের ওপর ক্রিয়াশীল বলের দিক একই হবে না।



চিত্র ২

১৩। 2 m লম্বা সোজা তারের মধ্য দিয়ে 4 A তড়িৎ প্রবাহিত করলে তার হতে 0·16 m দূরে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান তারটি বৃত্তাকার করলে কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের চেয়ে কম। আবার তারটি পেঁচিয়ে 10 পাকের কুণ্ডলী তৈরি করলে কেন্দ্রে যে চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি হয় তা এক পাকের ক্ষেত্রের 100 গুণ।

(ক) উদ্দীপকের তারটি হতে 0·16 m দূরে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ?

(খ) উদ্দীপকের বক্তব্যের সঠিকতা যাচাই কর।

[ব. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি, সোজা তারে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র,

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

$$\therefore\quad B=\frac{4\pi\times10^{-7}\times4}{2\pi\times0.16}=5\times10^{-6}\ \text{T}$$

সুতরাং তারটি হতে 0·16 m দূরে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B=5\times10^{-6}$ T

এখানে,
তারের দৈর্ঘ্য, $l=2$ m
তারে তড়িৎ প্রবাহ, $I=4$ A
নির্দিষ্ট বিন্দুর দূরত্ব, $a=0.16$ m
চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ \text{TmA}^{-1}$
চৌম্বক ক্ষেত্র, $B=?$

(খ) 2 m দৈর্ঘ্যের তারকে পেঁচিয়ে এক পাকের কুণ্ডলী করলে কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ হবে,

$$2\pi r=2\ \text{m}$$

$$\therefore\quad r=\frac{2}{2\pi}\text{m}=0.32\ \text{m}$$

এখন, বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B'=\frac{\mu_0 I}{2r}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times4}{2\times0.32}$$
$$=\frac{4\times3.14\times4\times10^{-7}}{2\times0.32}=7.85\times10^{-6}\ \text{T}$$

এখানে,
কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ $=r$
তড়িৎ প্রবাহ, $I=4$ A
$\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ \text{TmA}^{-1}$
চৌম্বক ক্ষেত্র, $B=?$

দেখা যাচ্ছে, (ক)-এ প্রাপ্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের চেয়ে এর মান বেশি।

এখন 2 m তারকে পেঁচিয়ে 10 পাকের কুণ্ডলী তৈরি করলে কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ হবে,

$$2\pi r_1\times10=2\ \text{m}$$

$$\therefore\quad r_1=\frac{2}{20\pi}=0.032\ \text{m}$$

অতএব এই কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_1=\frac{\mu_0 NI}{2r_1}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times10\times4}{2\times0.032}\ \text{T}=7.85\times10^{-4}\ \text{T}$$

এখন, $\frac{B'}{B_1}=\frac{7.85\times10^{-6}}{7.8\times10^{-4}}=100$

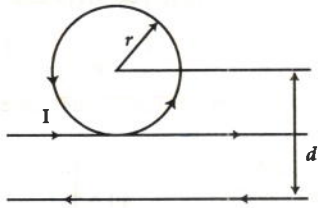
$$\therefore\quad B'=100\ B_1$$

এখানে,
পাক সংখ্যা, $N=10$
তড়িৎ প্রবাহ, $I=4$ A
$\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ \text{TmA}^{-1}$
চৌম্বক ক্ষেত্র, $B_1=?$

Made with Goodnotes

অর্থাৎ 10 পাকের কুণ্ডলীর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এক পাকের কুণ্ডলীর চৌম্বক ক্ষেত্রের 100 গুণ। সুতরাং উদ্দীপকের বক্তব্য সঠিক।

১৪। একটি লম্বা পরিবাহী তারে $r = 0.15$ m ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী তৈরি করে তার বাকি অংশ সোজা রাখা হলো। অন্য একটি লম্বা পরিবাহী উক্ত কুণ্ডলীর কেন্দ্র থেকে $d = 0.25$ m দূরে সমান্তরালে থেকে একই পরিমাণ বিদ্যুৎ চিত্রের ন্যায় বিপরীত দিকে প্রবাহিত হচ্ছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে $4.72\ \mu T$ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করতে প্রতিটি পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ কত হবে? ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ mA^{-1}$) [BUET Admission Test, 2017–18]



এখানে,

$r = 0.15$ m

$d = 0.25$ m

$B = 4.72\ \mu T = 4.72 \times 10^{-6}$ T

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

আমরা জানি,

বৃত্তাকার কুণ্ডলী প্রবাহের জন্য কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2r} = \frac{\mu_0 I}{2 \times 0.15}$$

কুণ্ডলী সংলগ্ন তারটিতে প্রবাহের জন্য কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{\mu_0 I}{2\pi \times 0.15}$$

কুণ্ডলীর কেন্দ্র থেকে d দূরত্বের তারটিতে প্রবাহের জন্য কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র,

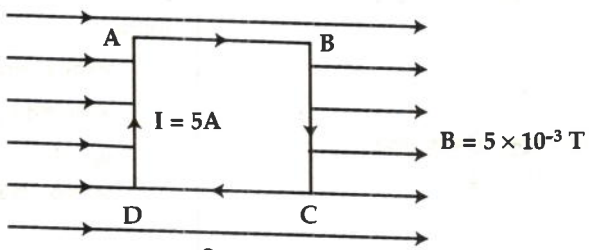
$$B_3 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{\mu_0 I}{2\pi \times 0.25}$$

মোট চৌম্বক ক্ষেত্র $B = B_1 + B_2 - B_3$

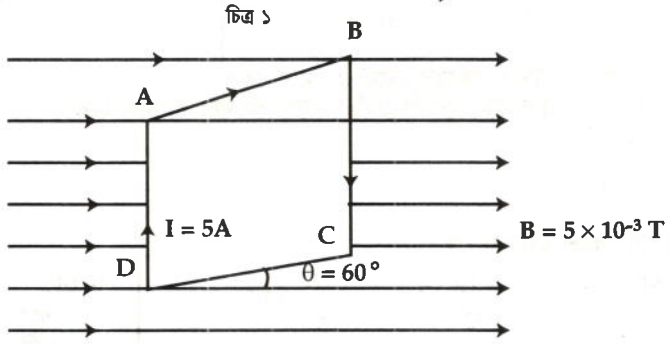
বা, $4.72 \times 10^{-6} = \mu_0 I \left(\frac{1}{2 \times 0.15} + \frac{1}{2\pi \times 0.15} - \frac{1}{2\pi \times 0.25}\right)$

$\therefore \quad I = 0.75$ A

১৫।



চিত্র ১



চিত্র ২

উভয় চিত্রে ABCD আয়তাকার কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য 15 cm এবং প্রস্থ 10 cm। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 500।

(ক) ১নং চিত্রে কুণ্ডলীর ওপর প্রযুক্ত টর্কের মান কত ?

Made with Goodnotes

(খ) ২য় চিত্রে পাকসংখ্যার কত পরিবর্তন করলে উভয় টর্কের মান একই থাকবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণে দেখাও।

[য. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, টর্ক

$\tau = NIAB$

$\therefore \tau = 500 \times 5 \times 0.15 \times 0.10 \times 5 \times 10^{-3}$
$= 0.1875 \text{ Nm}$

(খ) এখানে, $\theta = 60°$

এখন, $\tau = NIAB \cos\theta$

$\therefore \tau = N \times 5 \times 0.15 \times 0.10 \times 5 \times 10^{-3} \times \cos 60°$

বা, $0.1875 = N \times 5 \times 0.15 \times 0.10 \times 5 \times 10^{-3} \times 0.5$

বা, $N = \dfrac{0.1875 \times 10^3}{5 \times 0.15 \times 0.10 \times 5 \times 0.5} = 1000$

সুতরাং, পাকসংখ্যা $1000 - 500 = 500$ বৃদ্ধি করলে উভয় ক্ষেত্রে টর্কের মান একই থাকবে।

এখানে,
$N = 500$
$I = 5 \text{ A}$
$l = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$
$b = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$
$A = l \times b = 0.15 \times 0.10 \text{ m}^2$
$B = 5 \times 10^{-3} \text{ T}$

১৬। 50 m লম্বা একটি সোজা তারের মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি হতে 2 m লম্ব-দূরত্বের P বিন্দুতে আবিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান B। সমান লম্বা অপর একটি তার দিয়ে একটি আয়তাকার কুণ্ডলী তৈরি করে কুণ্ডলী তলকে B চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে রাখা হলো। আয়তাকার কুণ্ডলীর প্রস্থ = 10 cm, দৈর্ঘ্য = 15 cm এবং $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ TmA}^{-1}$।

(ক) চৌম্বক ক্ষেত্র B-এর মান কত ?

(খ) আয়তাকার কুণ্ডলী ঘুরবে কি না যাচাই কর।

[ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, d বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র,

$B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi d} = \dfrac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 2}$
$= 2 \times 10^{-7} \text{ T}$

এখানে,
$l = 50 \text{ m}$
$I = 2 \text{A}$
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ TmA}^{-1}$
$d = 2 \text{m}$

(খ) প্রশ্নানুসারে আয়তাকার কুণ্ডলীতে পরিসীমা, $S = 2(l_1 + b)$

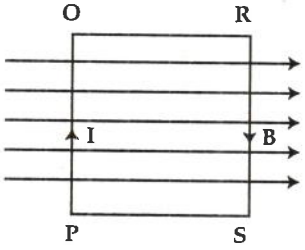
$\therefore S = 2(0.15 + 0.10)$
$= 2 \times 0.25 = 0.50 \text{ m}$

সুতরাং, কুণ্ডলীর এক পাকের দৈর্ঘ্য $= 0.50 \text{ m}$

অতএব, মোট পাকসংখ্যা, $n = \dfrac{50}{0.50} = 100$

এখানে,
$l_1 = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$
$b = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$

কুণ্ডলীটি চিত্রের অনুরূপভাবে চৌম্বকক্ষেত্র B-এ স্থাপন করা হয়েছে। OR ও PS বাহু অর্থাৎ প্রবাহের দিক চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমান্তরালে অবস্থিত। অর্থাৎ $\theta = 0°$।



সুতরাং, এই দুই বাহুতে প্রযুক্ত বল,

$F_1 = nIb \text{ B} \sin\theta = 0$

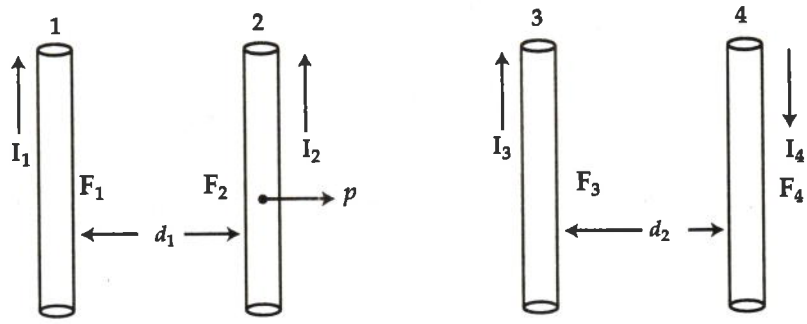
RS এবং OP বাহু প্রবাহের দিকের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত, অর্থাৎ $\theta = 90°$, এই দুই বাহুতে ক্রিয়াশীল বল,

$F_2 = nIl_1 \text{ B} \sin\theta = nIl_1 \text{ B} = 100 \times 2 \times 0.15 \times 2 \times 10^{-7} = 6 \times 10^{-6} \text{ N}$

বলের দিক নির্ণয়ের ডান হস্ত নিয়ম অনুসারে RS এবং OP এর ওপর ক্রিয়াশীল বল বিপরীতমুখী হবে এবং এদের ক্রিয়ামুখ একই সরলরেখায় না হওয়ায় কুণ্ডলীটি একটি নিট টর্ক বা ব্যবর্তন বল অনুভব করবে যার ফলে কুণ্ডলীটি দণ্ডের সাপেক্ষে ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘুরে যাবে। অর্থাৎ কুণ্ডলীটি চৌম্বক ক্ষেত্রে ঘুরবে।

Made with Goodnotes

১৭।



ব্যবস্থা-a ব্যবস্থা-b

1, 2, 3, 4 প্রত্যেক ধাতব তারের মধ্য দিয়ে উদ্দীপক অনুসারে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 1$ amp; $d_1 = d_2 = 0{\cdot}5$ m; প্রত্যেক তারের দৈর্ঘ্য 10 m এবং $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ $WbA^{-1}m^{-1}$।

(ক) উদ্দীপকে ব্যবস্থা a-এর p বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?

(খ) ব্যবস্থা-a এবং ব্যবস্থা b-এর তারগুলোর মধ্যে কোনো পার্থক্য সৃষ্টি হবে কি? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মন্তব্য কর। [সি. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, তড়িৎবাহী তারের d দূরত্বে চৌম্বক ক্ষেত্র,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

এখানে P বিন্দুতে ব্যবস্থা a-তে তার 1 ও তার 2 এর জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র, $B = B_1 + B_2$

এখানে,

$d_1 = 0{\cdot}5\,m = d_2$

$I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 1A$

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

$l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = 10\,m$

ধরা যাক, তার 2 থেকে P বিন্দুর দূরত্ব $= a$। সুতরাং তার 1 থেকে P বিন্দুর দূরত্ব, $d' = d_1 + a = (0{\cdot}5 + a)$

এখন, $$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d'} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1}{2\pi \times (0{\cdot}5 + a)}$$

$$= \frac{2 \times 10^{-7}}{(0{\cdot}5 + a)}$$

এবং $$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1}{2\pi \times a}$$

$$= \frac{2 \times 10^{-7}}{a}$$

সুতরাং মোট চৌম্বক ক্ষেত্র, $$B = B_1 + B_2 = \frac{2 \times 10^{-7}}{0{\cdot}5 + a} + \frac{2 \times 10^{-7}}{a}$$

$$= \frac{(0{\cdot}5 + 2a) \times 2 \times 10^{-7}}{a\,(0{\cdot}5 + a)}\ T$$

(খ) ব্যবস্থা a-এর তার দুটিতে তড়িৎ প্রবাহ একই দিকে এবং ব্যবস্থা B-এর তার দুটিতে তড়িৎ প্রবাহ পরস্পর বিপরীতমুখী।

তার 1-এ তড়িৎ প্রবাহের জন্য তার 2-এর একক দৈর্ঘ্যে বল,

$$= \frac{F_2}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d'}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1}{2\pi \times 0{\cdot}5}$$

$$= \frac{2 \times 10^{-7}}{0{\cdot}5} = 4 \times 10^{-7}\ N/m$$

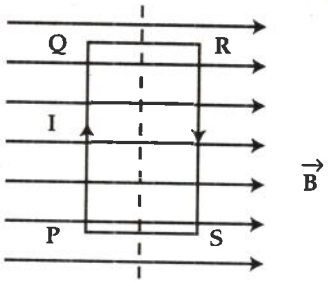
Made with Goodnotes

এখন ডান হস্ত নিয়ম-১ অনুসারে F_2 এর দিক হবে বাম দিকে। তার 1-এর একক দৈর্ঘ্যে I_2 প্রবাহের জন্য বল,

$$= \frac{F_1}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1}{2\pi \times 0{\cdot}5} = 4 \times 10^{-7}\ \text{N/m}$$

F_1 এর দিক হবে ডানদিকে। F_1 ও F_2 এর মান পরস্পর সমান এবং বিপরীতমুখী। ফলে তার দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ করবে। অন্যদিকে, ব্যবস্থা-b এর তার দুটির তড়িৎ প্রবাহ বিপরীতমুখী হওয়ায় পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে।

১৮।



চিত্রে, PQ = RS = 0·1 m; QR = PS = 0·05 m; পাকসংখ্যা, N = 50; প্রবাহমাত্রা, I = 1 A; চৌম্বক ক্ষেত্র, B = 0·2 T।

(ক) আয়তাকার কয়েলটির চৌম্বক মোমেন্ট কত হবে?

(খ) আয়তাকার কয়েলটি সমান সংখ্যক পাকবিশিষ্ট বৃত্তাকার কয়েলে পরিণত করা হলে টর্কের মান বাড়বে কি না—বিশ্লেষণপূর্বক মতামত দাও। [দি. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, চৌম্বক মোমেন্ট,

$$M = NIA$$

সুতরাং আয়তাকার কয়েলটির চৌম্বক মোমেন্ট,

$$M = 50 \times 1 \times (0{\cdot}1 \times 0{\cdot}05)$$
$$= 50 \times 5 \times 10^{-3} = 0{\cdot}250\ \text{Am}^2$$

এখানে,

$PQ = RS = 0{\cdot}1$ m
$QR = PS = 0{\cdot}05$ m
$N = 50$
$I = 1$ A
$B = 0{\cdot}2$ T

(খ) আয়তাকার কয়েলের প্রতি পাকের পরিসীমা $= 2(l + b)$

$$= 2 \times (0{\cdot}1 + 0{\cdot}05) = 0{\cdot}3\ \text{m}$$

এখন বৃত্তাকার কয়েলের পরিসীমা $= 2\pi r$

প্রশ্নানুসারে,

$$2\pi r = 0{\cdot}3$$

বা, $$r = \frac{0{\cdot}3}{2\pi} = \frac{0{\cdot}3}{2 \times 3{\cdot}14} = 0{\cdot}04777\ \text{m}$$

আয়তাকার কয়েলের জন্য টর্ক,

$$\tau = NIA \times B = 50 \times 1 \times (0{\cdot}1 \times 0{\cdot}05) \times 0{\cdot}2$$
$$= 50 \times 5 \times 10^{-3} \times 0{\cdot}2 \quad [\because A = 0{\cdot}1 \times 0{\cdot}05]$$
$$= 0{\cdot}050\ \text{Nm}$$

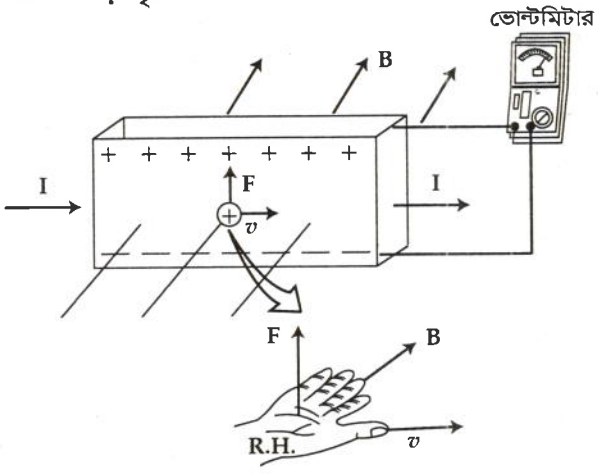
আবার, বৃত্তাকার কয়েলের পাকসংখ্যা = 50 এবং এর টর্কের মান,

$$\tau = NIA \times B$$
$$= NI \times \pi r^2 \times B = 50 \times 1 \times 3{\cdot}14 \times (0{\cdot}04777)^2 \times 0{\cdot}2$$
$$= 0{\cdot}072\ \text{Nm}$$

সুতরাং, বৃত্তাকার কয়েলের সৃষ্ট টর্কের মান বেশি হবে।

Made with Goodnotes

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



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

(ক) উদ্দীপকের চিত্রের $0{\cdot}02$m প্রস্থের ধাতব পাতটি 6Wbm^{-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।

(খ) চৌম্বক ক্ষেত্রকে তড়িৎ প্রবাহের দিকের সাথে উদ্দীপকের মানের অর্ধেক কোণে প্রয়োগ করা হলে কোন ক্ষেত্রে হল তড়িৎ ক্ষেত্রের মান বেশি পাওয়া যাবে ? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

(ক) আমরা জানি বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে,

$$\vec{E}_H = \vec{v} \times \vec{B} = vB \sin 90° = vB$$

$$E_H = vB = 4 \times 10^{-3} \times 6 = 24 \times 10^{-3} \text{ volt m}^{-1}$$

এবং হল ভোল্টেজ,

$$V_H = E_H d = 24 \times 10^{-3} \times 0{\cdot}02$$
$$= 4{\cdot}8 \times 10^{-4} \text{ volt}$$

এখানে,

$l = 60 \text{ cm} = 0{\cdot}6 \text{ m}$
$d = 0{\cdot}02\text{m}$
$B = 6 \text{ Wbm}^{-2}$
$\theta = 90°$
$v = 4 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$
$t = 5 \text{ cm} = 0{\cdot}05 \text{ m}$

(খ) $\vec{E}_H = \vec{v} \times \vec{B} = vB \sin\theta \, \hat{n}$

$\therefore E_H = 4 \times 10^{-3} \times 6 \times \sin 45°$
$= 24 \times 0{\cdot}707 \times 10^{-3}$
$= 16{\cdot}97 \times 10^{-3}$ volt m^{-1}

এখানে,

$\theta' = \frac{90°}{2} = 45°$

১ম ক্ষেত্রে হল তড়িৎ ক্ষেত্রের মান বেশি।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

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

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

৩। মেরু শক্তির একক A-m। চৌম্বক প্রাবল্য বা চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব B এর একক Tesla বা Weber/m^2 বা N/A-m বা $Nm^{-1}C^{-1}s$.

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

Made with Goodnotes

৫। যে তাপমাত্রায় চুম্বকের চুম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে নষ্ট হয় তাকে কুরি বিন্দু বলে।

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

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

৮। কুরি বিন্দু পাওয়া যায় ফেরোচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে।

৯। ওয়েরস্টেড তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কার করেন।

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

১১। একটি চার্জিত কণার ওপর ক্রিয়াশীল বল শূন্য হবে যদি—

(ক) চার্জিত কণাটি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ বরাবর গতিশীল হয়।

(খ) চার্জিত কণা স্থির থাকে।

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

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

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

১৫। সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল একটি ধনাত্মক চার্জের ওপর কৃত কাজ শূন্য।

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

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

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

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

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

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

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

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

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

২৫। হিসটেরিসিস পর্যালোচনা করে পদার্থের ধারণ ক্ষমতা, সহনশীলতা, প্রবেশ্যতা জানা যায়।

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

২৭। অস্থায়ী চুম্বক ট্রান্সফরমারে ব্যবহৃত হয়। ডায়াচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে $B < H$।

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

২৯। প্যারাচৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে আকৃষ্ট হয়।

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

Made with Goodnotes

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। যদি কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে সমকোণে 1 কুলম্ব চার্জ 1 ms^{-1} বেগে গতিশীল হয় এবং 1 N বল অনুভব করে তবে ওই চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে কী বলে ?
ক 1 ওয়েবার
খ 1 টেসলা
গ 1 গাউস
ঘ 1 অ্যাম্পিয়ার

২। চৌম্বক বলরেখার ধর্ম হলো— [রা. বো. ২০১৯]
(i) বলরেখাগুলো বন্ধ বক্ররেখা
(ii) বলরেখাগুলো পরস্পরকে ছেদ করে না
(iii) বলরেখাগুলো উত্তর মেরু হতে দক্ষিণ মেরুর দিকে যায়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩। দুটি তড়িৎবাহী তারে I_1 এবং I_2 প্রবাহ বিপরীত দিকে প্রবাহিত হচ্ছে এরা—
ক কোনো বল অনুভব করে না
খ এরা পরস্পর আকর্ষণ অনুভব করবে
গ এরা পরস্পর বিকর্ষণ অনুভব করবে
ঘ কোনোটিই নয়

৪। লরেঞ্জ বল হচ্ছে— [রা. বো. ২০১৯, ২০১৭; য. বো. ২০১৯, ২০১৭; কু. বো. ২০১৬; Admission Test : JUST 2016-17; DU-A 2020-21]
ক $q\vec{E}$
খ $q(\vec{v} \times \vec{B})$
গ $q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
ঘ $q(\vec{E} \times \vec{v} \times \vec{B})$

৫। চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-তে $\vec{v}$ বেগে গতিশীল একটি আধান q-এর ওপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}$। [Admission Test : MBSTU 2019-20; DU Unit-A 2019-20; RU 2017-18; JnU 2012-13; BRUR 2009-10]
ক $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$
খ $\vec{F} = q(\vec{v} \cdot \vec{B})$
গ $\vec{F} = q\left(\frac{\vec{v}}{\vec{B}}\right)$
ঘ $\vec{F} = \vec{v}(q \cdot \vec{B})$

৬। একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে কুণ্ডলীটি একটি টর্ক অনুভব করে। এই টর্কের মান—
(i) চৌম্বক ক্ষেত্রের সমানুপাতিক
(ii) কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক
(iii) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৭। কক্ষপথে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রন—
(i) নিজ অক্ষের সাপেক্ষে আবর্তন করে
(ii) প্রতিটি কক্ষে দুটি ঊর্ধ্বমুখী স্পিন বা দুটি নিম্নমুখী স্পিনসম্পন্ন ইলেকট্রন থাকতে পারে
(iii) স্পিনের দরুন ইলেকট্রনের একটি চৌম্বক ভ্রামক উৎপন্ন হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৮। চৌম্বক ক্ষেত্র বা ফ্লাক্স ঘনত্ব B-এর একক হলো— [ব. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৫; Medical Admission Test, 2009-10; Admission Test : DU (7 College), 2017-18; BRUR 2017-18]
(i) Tesla
(ii) $Weber/m^2$
(iii) NAm^{-1}
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৯। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব উপাদান— [কু. বো. ২০১৯; দি. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৭; সকল বোর্ড ২০১৮]
(i) বিচ্যুতি
(ii) বিনতি
(iii) ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

Made with Goodnotes

১০। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 27·87 μT এবং বিনতি কোণ 30° হলে, ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ?
[দি. বো. ২০১৬ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫; Medical Admission Test, 2009-10; IU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]
ক 32·18 μT
খ 16·09 μT
গ 24·18 μT
ঘ 55·74 μT

১১। ভূ-চুম্বকত্বের মৌলিক উপাদান কয়টি ?
[সকল বোর্ড ২০১৮]
ক 3
খ 2
গ 4
ঘ 5

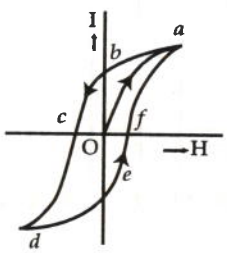
১২। ভূপৃষ্ঠের যে স্থানে ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ সমান, সেখানে—
[Admission Test : RU 2014-15, 2012-13; BSMRSTU 2015-16; BDS 2017-18]
ক বিনতি কোণ 0°
খ বিনতি কোণ 90°
গ বিনতি কোণ 45°
ঘ বিনতি কোণ 60°

১৩। যদি H এবং V যথাক্রমে কোনো স্থানের চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক এবং উল্লম্ব উপাংশ হয় যেখানে বিনতি কোণ 60°, তবে— [দি. বো. ২০১৬; Admission Test : RU 2016-17; CU 2018-19]
ক $V = H$
খ $V = \sqrt{3}H$
গ $V = \frac{1}{\sqrt{3}}H$
ঘ $V = \frac{\sqrt{3}}{2}H$

১৪। একটি প্যারাচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে—
[CU Admission Test , 202009-10]
ক $\mu > 1$ এবং $K < 1$
খ $\mu > 1$ এবং $K > 1$
গ $\mu = 1$ এবং $K > 1$
ঘ $\mu > 1$ এবং $K = 1$

১৫। হিসটেরিসিসের ফলে— [ঢা. বো. ২০১৯]
(i) শক্তির অপচয় ঘটে
(ii) বস্তুর তাপমাত্রা হ্রাস পায়
(iii) বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

১৬। ফেরোচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য হলো—
(i) এরা চুম্বক দ্বারা খুব বেশি আকর্ষিত হয়
(ii) এদের কুরি বিন্দু আছে
(iii) এদের চৌম্বকগ্রহীতা তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

১৭। [ঢা. বো. ২০১৬]


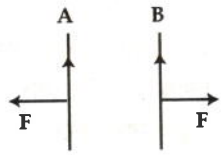
উদ্দীপকে OC রেখা নির্দেশ করে—
ক রিমেনেন্স
খ চুম্বক সম্পৃক্তি
গ নিগ্রহ সহনশীলতা
ঘ হিসটেরিসিস

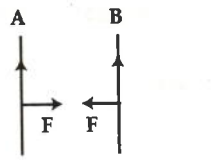
১৮। 1 গাউস = কত টেসলা ?
[রা. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৫; Admission Test : RU 2017-18; CU 2015-16; IU 2017-18]
ক 10^{-5}
খ 10^{-4}
গ 10^{-3}
ঘ 10^{-2}

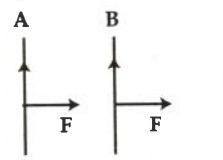
১৯। পানি একটি কী পদার্থ ? [রা. বো. ২০১৬]
ক ফেরোচৌম্বক
খ ডায়াচৌম্বক
গ প্যারাচৌম্বক
ঘ অ্যান্টিফেরোচৌম্বক

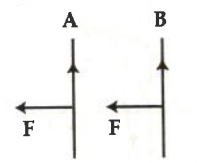
Made with Goodnotes

২০। দুটি সমান্তরাল পরিবাহী A ও B এর মধ্যে দিয়ে একই তড়িৎ প্রবাহ একই দিকে প্রবাহিত হচ্ছে। কোন চিত্রটি তরঙ্গ দুটির ওপর ক্রিয়াশীল বল নির্দেশ করে ? [কু. বো. ২০১৬]

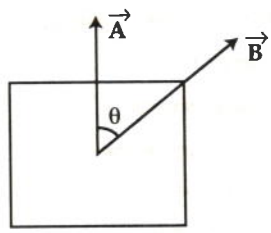
ক 

খ 

গ 

ঘ 

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ২১নং ও ২২নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০১৬]



$\vec{A}$ = ক্ষেত্রফল ভেক্টর, $\vec{B}$ = চৌম্বক ক্ষেত্র, $|\vec{A}| = 2m^2$, B = 2 tesla

২১। $\theta = 60°$ হলে A তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাংশের মান কত ?

ক 1 tesla
খ $\sqrt{3}$ tesla
গ 2 tesla
ঘ $2\sqrt{3}$ tesla

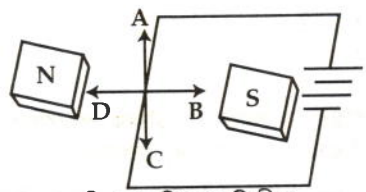
২২। $\vec{A}$ ও $\vec{B}$ এর মধ্যবর্তী কোণ θ হলে, নিচের কোনটি সঠিক ?

ক $\theta = 45°$ হলে চৌম্বক ফ্লাক্স শূন্য হবে
খ $\theta = 90°$ হলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বোচ্চ হবে
গ $\theta = 0°$ হলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বোচ্চ হবে
ঘ $\theta = 180°$ হলে চৌম্বক ফ্লাক্স শূন্য হবে

২৩। তড়িৎবাহী একটি লম্বা তারের a লম্ব দূরত্বে কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ?
[য. বো. ২০১৬; Admission Test : MBSTU 2019-20; BuTex 2016-17]

ক $B = \frac{\mu_0 a}{2\pi}$
খ $B = \frac{\mu_0 a}{2\pi i}$
গ $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}$
ঘ $B = \frac{\mu_0 \pi}{2ia}$

২৪। [য. বো. ২০১৬]



চিত্রে তারটি কোনদিকে গতিশীল হবে ?

ক A
খ C
গ D
ঘ A

২৫। দুটি সমান্তরাল পরিবাহী তারের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত হলে, তার দুটি— [য. বো. ২০১৬]
(i) পরস্পরকে আকর্ষণ করবে
(ii) পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে
(iii) পরস্পরের দ্বারা প্রভাবিত হবে না
নিচের কোনটি সঠিক ?

ক iii
খ i ও ii
গ i ও iii
ঘ ii ও iii

২৬। নিচের কোনটি চৌম্বক ফ্লাক্সের একক ?
[কু. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৬; Admission Test : JnU 2014-15; CU 2015-16]

ক টেসলা
খ ওয়েবার
গ ভোল্ট
ঘ অ্যাম্পিয়ার

২৭। একটি তড়িৎ পরিবাহীর দৈর্ঘ্য 50 mm। এর ভেতর দিয়ে 3·0A কারেন্ট প্রবাহিত হচ্ছে। যদি এটিকে 0·40T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে 30° কোণে স্থাপন করা হয় তবে এর ওপর প্রযুক্ত বলের মান কত ?
[চ. বো. ২০১৬]

ক 0·030 N
খ 0·050 N
গ 30 N
ঘ 52 N

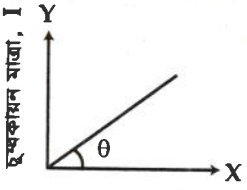
Made with Goodnotes

২৮। নিচের কোনটি লোহার কুরি তাপমাত্রা ? [ব. বো. ২০১৬; Medical Admission Test, 2005-06]
ক 37·0°C
খ 770°C
গ 1000°C
ঘ 1100°C

২৯। নিচের কোনটি একটি কুন্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক নির্দেশ করে ? [ব. বো. ২০১৬]
ক NIL*b*
খ NIA*b*
গ $\frac{\mu_0}{4\pi}$
ঘ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

৩০। ডায়াচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে নিচের কোন শর্তটি প্রযোজ্য ? [ব. বো. ২০১৬; Admission Test : MBSTU 2015-16; Com.U 2015-16, 2010-11; DU (HEC) 2020-21]
ক $\mu < 1$ ও $k < 0$
খ $\mu < 1$ ও $k > 1$
গ $\mu > 1$ ও $k < 1$
ঘ $\mu > 1$ ও $k > 1$

উদ্দীপকের লেখচিত্র থেকে ৩১নং ও ৩২নং প্রশ্নের উত্তর দাও: [ব. বো. ২০১৬]



৩১। লেখচিত্রটি কোন ধরনের চৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য ?
ক ডায়াচৌম্বক
খ প্যারাচৌম্বক
গ ফেরোচৌম্বক
ঘ প্রতি-ফেরোচৌম্বক

৩২। লেখচিত্রে $\tan\theta = ?$ উত্তরের প্রতীকগুলো প্রচলিত অর্থ বহন করে।
ক μ
খ χ
গ ε
ঘ B

৩৩। কোনটি প্যারাচৌম্বক পদার্থ ? [দি. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৬; D.U. (Technology Unit) Admission Test, 2016-17; IU Admission Test, 2017-18]
ক প্লাটিনাম
খ সোনা
গ রূপা
ঘ নিকেল

৩৪। [য. বো. ২০১৭; সি. বো. ২০১৬; KU Admission Test, 2019-20]

চিত্রের কুন্ডলীর কেন্দ্রে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক কোনটি হবে ?
ক কাগজ তলের সমান্তরাল বরাবর বাম দিকে
খ কাগজ তলের সমান্তরাল বরাবর ডান দিকে
গ কাগজ তলের লম্ব বরাবর ওপরের দিকে
ঘ কাগজ তলের লম্ব বরাবর নিচের দিকে

৩৫। কোনো স্থানে $H = 40\mu T$ এবং $\delta = 45°$। ওই স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ? [দি. বো. ২০১৬]
ক 50·5 μT
খ 53·3 μT
গ 55·5 μT
ঘ 56·57 μT

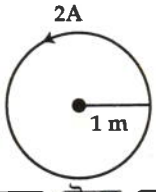
৩৬। 50 পাকের একটি বৃত্তাকার কুন্ডলীর ব্যাস 30 cm। কুন্ডলীর কেন্দ্রে 100 μT-এর একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টির জন্য কুন্ডলীর মধ্য দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত করতে হবে ? [চ. বো. ২০১৫; JU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]
ক $4·7 \times 10^{-5}$ A
খ 0·48A
গ 47 A
ঘ 94 A

৩৭। একটি পরিবাহীর ভেতর দিয়ে I তড়িৎ প্রবাহের জন্য পরিবাহীর নিকটে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র— [সি. বো. ২০১৫]
ক $B \propto I^2$
খ $B \propto I$
গ $B \propto \frac{1}{I}$
ঘ $B \propto \frac{1}{I^2}$

৩৮। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের একক নিচের কোনটি? [চ. বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৫]
ক Am^{-1}
খ NWb^{-1}
গ T
ঘ TmA^{-1}

Made with Goodnotes

৩৯। [চ. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৫]



উদ্দীপকের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ?

ক $\frac{\mu_0}{2}$

খ μ_0

গ $2\mu_0$

ঘ $4\mu_0$

৪০। কোনটি ফেরোচৌম্বক পদার্থ ? [য. বো. ২০১৫; Medical Admission Test, 2017–18; DU (প্রযুক্তি) Admission Test, 2019-20]

ক তামা

খ রূপা

গ দস্তা

ঘ লোহা

৪১। স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে সেই সকল পদার্থ অধিক উপযোগী যাদের চৌম্বক ধারণ ক্ষমতা ও চৌম্বক সহনশীলতা যথাক্রমে— [রা. বো. ২০১৫]

ক উচ্চ ও উচ্চ

খ উচ্চ ও নিম্ন

গ নিম্ন ও উচ্চ

ঘ নিম্ন ও নিম্ন

৪২। ডায়াচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য— [কু. বো. ২০১৫; Medical Admission Test, 2011-12]

(i) এরা কঠিন, তরল ও বায়বীয় হতে পারে

(ii) এদের কুরি বিন্দু আছে

(iii) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা I-এর কম

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

নিচের উদ্দীপকটি পড় এবং ৪৩নং ও ৪৪নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০১৫]

3·14 m লম্বা একটি ঋজু তারের মধ্য দিয়ে 4A তড়িৎ প্রবাহ চলছে।

৪৩। তারটি থেকে 3 cm দূরে একটি ইলেকট্রন তারের সমান্তরালে কিন্তু প্রবাহের বিপরীত দিকে 3×10^5 ms^{-1} বেগে চলছে। ইলেকট্রনটি কত বল অনুভব করে ?

ক $5{\cdot}76 \times 10^{-18}$ N

খ $3{\cdot}84 \times 10^{-18}$ N

গ $2{\cdot}56 \times 10^{-18}$ N

ঘ $1{\cdot}28 \times 10^{-18}$ N

৪৪। তারটিকে 1 পাকের একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে পরিণত করলে বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশের মান হবে—

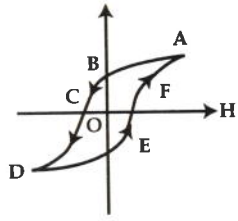
ক $5{\cdot}02 \times 10^{-6}$ Wbm^{-2}

খ $4{\cdot}02 \times 10^{-6}$ Wbm^{-2}

গ $3{\cdot}02 \times 10^{-6}$ Wbm^{-2}

ঘ $1{\cdot}02 \times 10^{-6}$ Wbm^{-2}

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



ক নিগ্রহ বল

খ হিসটেরিসিস

গ অবশিষ্ট চুম্বকত্ব

ঘ সম্পৃক্ত মান

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

ক তড়িৎ প্রবাহের দিকে

খ চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে

গ চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে

ঘ তড়িৎ প্রবাহের বিপরীত দিকে

৪৭। ফেরোচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে— [ঢা. বো. ২০১৫; DU (7 college) Admission Test, 2019-20]

ক $\mu > 1, K >> 1$

খ $\mu << 1, K >> 1$

গ $\mu >> 1, K \leq 1$

ঘ $\mu < 1, K = 1$

৪৮। কোনো কুণ্ডলী তলকে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্র-রেখার সংখ্যাকে বলা হয় ওই কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট— [সি. বো. ২০১৫]

ক চৌম্বক আবেশ

খ চৌম্বক ফ্লাক্স

গ তড়িৎ আবেশ

ঘ তড়িৎ ফ্লাক্স

৪৯। 45 cm^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি তল 5×10^{-5} T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণ তৈরি করে। তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স বের কর। [চ. বো. ২০১৫]

ক $1{\cdot}95 \times 10^{-7}$ Tesla

খ $1{\cdot}95 \times 10^{-7}$ Wb

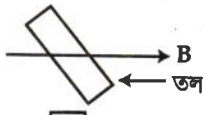
গ $1{\cdot}25 \times 10^{-7}$ Tesla

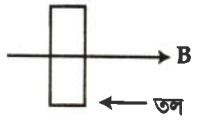
ঘ $1{\cdot}25 \times 10^{-7}$ Wb

Made with Goodnotes

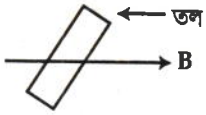
৫০। চৌম্বক দিকের সাথে কত কোণে একটি চার্জিত কণা গতিশীল হলে সর্বোচ্চ বল অনুভব করবে?
[Admission Test : KU 2019-20; CU 2019-20; JUST 2018-19]
ক 0°
খ 45°
গ 90°
ঘ 180°

৫১। হল বিভবের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান হলো— [কু. বো. ২০১৫]
ক $E = V_H d$
খ $E = \frac{d}{V_H}$
গ $E = \frac{V_H}{d}$
ঘ $E = \frac{V_H}{V}$

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

খ 

গ

ঘ 

৫৩। হল বিভব— [সকল বোর্ড ২০১৮; BRU Admission Test, 2017-18]
i. $V_H = Bvd$
ii. $V_H = \frac{BI}{nqt}$
iii. $V_H \propto E$
নিচের কোনটি সঠিক?
ক i
খ i ও ii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৫৪। ঢাকার ভূ-চুম্বকত্বের বিচ্যুতি কোণ কত ?
[Medical Admission Test, 2017-18; JU Admission Test, 2019-20]
ক 31° N
খ $\frac{1}{2}$° E
গ 13° S
ঘ $\frac{1}{2}$° W

৫৫। কোবাল্টের কুরি বিন্দু কত ?
[Medical Admission Test, 2016-17]
ক 320°C
খ 400°C
গ 500°C
ঘ 1100°C

৫৬। ফেরোচৌম্বক পদার্থের বেলায় কোন উক্তিটি সঠিক নয় ? [Medical Admission Test, 2006-07]
ক নির্দিষ্ট কুরি বিন্দু নেই
খ এসব পদার্থ কঠিন ও স্ফটিকার
গ তাদের চৌম্বক ধারকত্ব ধর্ম আছে
ঘ চৌম্বক প্রবণতার মান ধনাত্মক

৫৭। নরম লোহা কোনটি তৈরিতে বেশি উপযোগী ?
[Medical Admission Test, 2002-03]
ক তড়িৎ চুম্বক
খ অস্থায়ী চুম্বক
গ স্থায়ী চুম্বক
ঘ চুম্বক শলাকা

৫৮। ডায়াচৌম্বক পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে— [কু. বো. ২০১৭]
ক পদার্থের অভ্যন্তরে বলরেখার সংখ্যা বেড়ে যায়
খ পদার্থটির নিট চৌম্বক মোমেন্ট সৃষ্টি হয়
গ পদার্থটির তাপমাত্রা বেড়ে যায়
ঘ পদার্থটি শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে

৫৯। নিচের কোনটি চুম্বক দ্বারা সামান্য বিকর্ষিত হয়? [য. বো. ২০১৭]
ক নিকেল
খ বিসমাথ
গ পিতল
ঘ কোবাল্ট

৬০। 2T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে একটি আলফা কণা 10^4 ms^{-1} বেগে চলতে থাকলে কণাটির ওপর ক্রিয়াশীল বল কত ?
[ব. বো. ২০১৭]
ক 0
খ 1.6×10^{-15} N
গ 3.2×10^{-15} N
ঘ 6.4×10^{-15} N

৬১। বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রটি নিচের কোন সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা যায়?
[BUET Admission Test, 2019-20, 2013–14]
ক $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$
খ $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \sin\theta}{r^3}$
গ $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$
ঘ $dB = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

Made with Goodnotes

৬২। B মানের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার সমান্তরালে অপরিবর্তনীয় বেগ v-তে চলমান একটি চার্জ e-এর ওপর ক্রিয়াশীল বল হলো–
[BUET Admission Test, 2013–14]

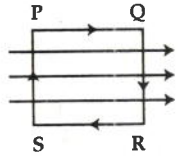
ⓚ Bev
ⓚ 0
ⓖ er/B
ⓖ e/Bv

৬৩। হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন 5×10^{-11} m ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে প্রতি সেকেন্ডে 6.8×10^{15} বার ঘুরছে। বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান হবে– [BUET Admission Test, 2009–10]

ⓚ 2.01×10^{-15} Wb/m^2
ⓚ 13.67 Wb/m^2
ⓖ 8.54 Wb/m^2
ⓖ 12.56 Wb/m^2

৬৪। একটি ধারকের অভ্যন্তরীণ বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে বৈদ্যুতিক প্রাবল্য $\vec{E}$ কোনো চার্জ q-কে নিচের চিত্রানুযায়ী বন্ধপথ PQRS বরাবর পরিচালিত করতে কাজের পরিমাণ কত?
[BUET Admission Test, 2006–07]

ⓚ 2 units
ⓚ — 2 units
ⓖ 0
ⓖ None



৬৫। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ যথাক্রমে 32.46 μT এবং 48.27 μT। ওই স্থানের বিনতি নির্ণয় কর।
[KUET Admission Test, 2016–17]

ⓚ 33.92°
ⓚ 50°18.6′
ⓖ 56°4.8′
ⓖ 60°51′

৬৬। 1m দীর্ঘ এবং 1 cm প্রস্থ 500 পাকবিশিষ্ট একটি আয়তাকার কুণ্ডলীর মধ্যে দিয়ে 10A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। কুণ্ডলীটিকে 15T-এর সুষম চুম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে স্থাপন করলে এর ওপর ক্রিয়াশীল টর্ক কত?
[KUET Admission Test, 2016–17]

ⓚ 10 Nm
ⓚ 15 Nm
ⓖ 500 Nm
ⓖ 750 Nm
ⓤ 75 Nm

৬৭। একটি 6 MeV প্রোটন খাড়া নিচের দিকে এমন একটি স্থানে গতিশীল যেখানে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র B অনুভূমিক বরাবর দক্ষিণ থেকে উত্তর দিকে বিদ্যমান। B-এর মান 1.5T। প্রোটনের ওপর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয় কর। প্রোটনের ভর এবং চার্জ যথাক্রমে 1.7×10^{-27} kg এবং 1.6×10^{-19} C
[KUET Admission Test, 2017–18]

ⓚ 8.06×10^{-12} N
ⓚ 7.4×10^{-12} N
ⓖ 9.1×10^{-8} N
ⓖ 4.65×10^{-12} N
ⓤ 5.04×10^{-12} N

৬৮। 0.56 Am^2 চৌম্বক ভ্রামকবিশিষ্ট কোনো দণ্ড চুম্বককে অনুভূমিক ও মুক্তভাবে দোল দিলে তা প্রতি মিনিটে ছয়বার পূর্ণ দোলন দেয়। ওই চুম্বকের জড়তার ভ্রামক নির্ণয় কর। H = 32 μT
[KUET Admission Test, 2014–15]

ⓚ 4.6×10^{-5} Am^2
ⓚ 5.8×10^{-5} kgm^2
ⓖ 45.39×10^{-6} kgm^2
ⓖ 4.54×10^{-5} Am^2
ⓤ 4.6×10^{-4} kgm^2

৬৯। তড়িৎ প্রবাহ I বহন করা L দৈর্ঘ্যের একটি তারকে বৃত্তাকার করা হলো। এই বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?
[Admission Test : RUET 2013–14; BUET 2009-10]

ⓚ $\frac{\mu_0 I}{2\pi L}$
ⓚ $\frac{\mu_0 I}{\pi L}$
ⓖ $\frac{\mu_0 I}{2L}$
ⓖ $\frac{\mu_0 I\pi}{L}$
ⓤ None

৭০। একটি তারের মধ্য দিয়ে 3 Amp বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি থেকে 0.05 মিটার দূরে চৌম্বক প্রাবল্য কত?
[CUET Admission Test, 2012–13]

ⓚ 0.12 gauss
ⓚ 0.24 gauss
ⓖ 0.36 gauss
ⓖ None

Made with Goodnotes

৭১। একই বেগে চলমান একটি ইলেকট্রন এবং একটি প্রোটনকে একটি অভিন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে 90° কোণে প্রেরণ করা হলো। তাদের ওপর প্রযুক্ত প্রারম্ভিক চৌম্বকীয় বল হবে–
[DU Admission Test, 2017–18]
(ক) সমান এবং একই দিকে
(খ) সমান এবং বিপরীত দিকে
(গ) সমান এবং পারস্পরিক লম্বভাবে
(ঘ) ভিন্ন এবং বিপরীত দিকে

৭২। 10 cm দৈর্ঘ্যের 2A তড়িৎ প্রবাহবিশিষ্ট একটি তারকে 0·2T চৌম্বকক্ষেত্রে লম্বভাবে স্থাপন করা হলো। তারের ওপর প্রযুক্ত বল কত?
[DU Admission Test, 2015-16, 2011-12; SUST Admission Test, 2012-13, 2001-02]
(ক) 4N
(খ) 0·04N
(গ) 25N
(ঘ) 40N

৭৩। একটি অনুভূমিক বিদ্যুৎ সরবরাহ লাইনে 70A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। লাইনের 2m নিচে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?
[DU Admission Test, 2015-16]
(ক) 2×10^{-5} T
(খ) 4×10^{-6} T
(গ) 10^{-8} T
(ঘ) 7×10^{-6} T

৭৪। 0·5T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণে একটি ইলেকট্রন 10^5 m/s বেগে চলমান হলে ইলেকট্রনের ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয়ের সমীকরণ— [JU Admission Test, 2017-18]
(ক) $qvB \sin \theta$
(খ) $\mu_0 vB \sin \theta$
(গ) $\in_0 qvB \sin \theta$
(ঘ) কোনোটিই নয়

৭৫। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 20 cm। এর মধ্যে 2A তড়িৎ প্রবাহ চললে এবং $3{\cdot}14 \times 10^{-3}$ T এর চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি হলে, কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা— [JU Admission Test, 2017-18]
(ক) 4
(খ) 40
(গ) 400
(ঘ) 600
(ঙ) 500

৭৬। নিচের কোনটি অ্যাম্পিয়ারের সূত্র?
[Admission Test : CU–A-1 2016-17; IU 2019-20; CU 2020-21]
(ক) $\oint \vec{B} . d\vec{l} = \mu_0 I$
(খ) $\vec{\nabla} \vec{B} = 0$
(গ) $\vec{B} = \mu \vec{H}$
(ঘ) $\vec{\nabla} \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
(ঙ) $\oint \vec{B} \times \mu = \mu_0 I$

৭৭। বৈদ্যুতিক পাখা তৈরিতে কোন সূত্রটি ব্যবহার করা হয়েছে?
[CU–A-1 Admission Test, 2016-17]
(ক) বায়োট–স্যাভার্টের সূত্র
(খ) গাউসের সূত্র
(গ) ও'মের সূত্র
(ঘ) কির্শফের সূত্র

৭৮। 1 টেসলা সমান কত?
[CU Admission Test, 2015-16]
(ক) 1 gauss
(খ) 1 weber
(গ) 1 weber-m
(ঘ) 1 $Wb\text{-}m^{-1}$
(ঙ) 1 $Wb\text{-}m^{-2}$

৭৯। সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে গতিশীল কোনো বিন্দু চার্জের বেলায় কোনটি সত্য? [SUST Admission Test, 2017-18]
(ক) প্রযুক্ত চৌম্বক বল সর্বনিম্ন
(খ) চৌম্বক বল দ্বারা কৃত কাজ ধনাত্মক
(গ) চার্জের গতির দিক অপরিবর্তিত
(ঘ) চৌম্বক বল দ্বারা কৃত কাজ ঋণাত্মক
(ঙ) চৌম্বক বল দ্বারা কৃত কাজ শূন্য

৮০। একটি সুষম 0·04T চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্ব তলে গতিশীল 5×10^{-8} C চার্জবিশিষ্ট একটি কণা 4 μN বল অনুভব করে। কণাটি কত ms^{-1} বেগে চলছে? [SUST Admission Test, 2016-17]
(ক) 1600
(খ) 2000
(গ) 4000
(ঘ) 6000
(ঙ) 8000

৮১। দুটি সমান্তরাল তারের মধ্যে একই মানের তড়িৎ প্রবাহিত হয় এবং তার দুটি প্রতি একক দৈর্ঘ্য F বল দ্বারা একে অপরকে বিকর্ষণ করে। যদি প্রবাহিত তড়িৎ দ্বিগুণ এবং তারদ্বয়ের মধ্যে

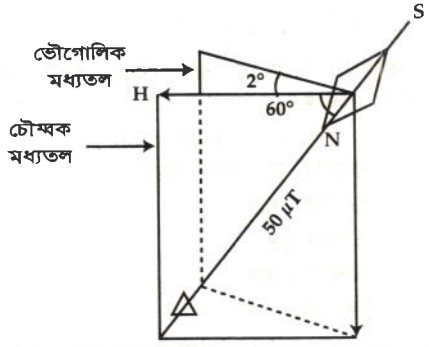
Made with Goodnotes

দূরত্বকে তিনগুণ করা হয় তবে প্রতি একক দৈর্ঘ্য বলের মান হবে—
[DU Admission Test, 2018-19]

ক 2F/3
খ 4F/3
গ 2F/9
ঘ 4F/9

নিচের উদ্দীপক অনুসারে ৮২ ও ৮৩নং প্রশ্নের উত্তর দাও :
[কু. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৯]

চিত্রে কোনো স্থানে মুক্তভাবে ঝুলন্ত একটি দণ্ড চুম্বকের চৌম্বক মধ্যতল ও ভৌগোলিক মধ্যতল নির্দেশ করা হয়েছে।



৮২। ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ H-এর মান কত?

ক 100 μT
খ 50 μT
গ 49·9 μT
ঘ 25 μT

৮৩। উদ্দীপক অনুসারে—

i. বিচ্যুতি 2°
ii. স্থানটি উত্তর গোলার্ধে অবস্থিত
iii. স্থানটির ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান 40 μT

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i
খ i ও ii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

৮৪। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মৌলিক উপাদান নিচের কোনগুলি? [কু. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৯]

ক বিনতি, ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতল
খ ভৌগোলিক মধ্যতল, চৌম্বক মধ্যতল ও বিচ্যুতি
গ বিনতি, বিচ্যুতি ও ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ
ঘ ভৌগোলিক মধ্যতল, ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ ও বিনতি

৮৫। নিচের কোনটি ভূ-চৌম্বকত্বের উপাদান নয়? [ব. বো. ২০১৯]

ক বিচ্যুতি
খ বিনতি
গ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ
ঘ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ

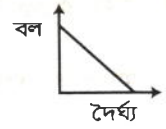
৮৬। চৌম্বক ক্ষেত্র (B) এর একক— [চ. বো. ২০১৯]

i. Am^{-1}
ii. T
iii. Wb

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i
খ ii
গ i ও ii
ঘ ii ও iii

৮৭। একটি l দৈর্ঘ্যের তড়িৎবাহী তার একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে স্থাপিত হলে তারের ওপর প্রযুক্ত বল ও দৈর্ঘ্যের লেখচিত্র কোনটি সঠিক? [যখন B ও I ধ্রুবক] [চ. বো. ২০১৯]

ক 

খ

গ

ঘ

৮৮। তড়িৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র— [য. বো. ২০১৯; JU-H Admission Test, 2020-21]

ক $B = \frac{\mu_0 iN}{2r}$
খ $B = \frac{\mu_0 N}{2r}$
গ $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}$
ঘ $B = \frac{\mu_0 iN}{2\pi}$

Made with Goodnotes

৮৯। কোনো মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতার একক কী? [রা. বো. ২০১৯; BAU Admission Test, 2014-15]

ক T
খ TmA^{-1}
গ Am^{-1}
ঘ Am^2

৯০। একটি বন্ধ তার কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহিত হতে পারে— [রা. বো. ২০১৯]

i. কোষ যুক্ত করার কারণে
ii. একটি গতিশীল চুম্বকের কারণে
iii. গতিশীল তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর কারণে

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i
খ i ও ii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৯১। হল বিভব দ্বারা নির্ণয় করা যায়— [ঢা. বো. ২০১৯]

i. চৌম্বক ক্ষেত্রের মান
ii. একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা
iii. চার্জের প্রকৃতি

নিচের কোনটি সঠিক?

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

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ৯২ ও ৯৩নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৯]

0·5 T চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে একটি ইলেকট্রন 5×10^7 ms^{-1} বেগে ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল।

৯২। ইলেকট্রনটি কত চৌম্বক বলের ক্রিয়া অনুভব করবে ?

ক 4×10^{-12} N
খ $4·8 \times 10^{-12}$ N
গ $5·6 \times 10^{-12}$ N
ঘ $8·7 \times 10^{-12}$ N

৯৩। ইলেকট্রনটি যে বৃত্তাকার পথে ঘুরবে তার ব্যাসার্ধ কত ?

ক 0·33 mm
খ 0·45 mm
গ 0·57 mm
ঘ 0·88 mm

৯৪। চৌম্বকক্ষেত্রে X-অক্ষ বরাবর 3 μC আধানের একটি বস্তু 2×10^6 ms^{-1} বেগে চলছে। চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B} = (0·20\,\hat{j} - 0·40\,\hat{k})$T হলে আধানটির ওপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বল কত ? [KUET Admission Test, 2016-17]

ক $(1·2\,\hat{k} + 2·4\,\hat{j})$N
খ $(0·8\,\hat{k} + 1·6\,\hat{j})$N
গ $(-1·2\,\hat{k} + 2·4\,\hat{j})$N
ঘ $(-0·8\,\hat{k} + 1·6\,\hat{j})$N
ঙ $(-1·2\,\hat{k} - 2·4\,\hat{j})$N

৯৫। একটি ধাতব পাতের প্রস্থ 2 cm এবং পুরুত্ব 0·4 cm। পাত ধারণকারী তলের লম্ব বরাবর একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে পাতটিকে রাখলে 50 μV বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি করে। হল তড়িৎ ক্ষেত্রের মান কত ? [KUET Admission Test, 2014-15]

ক 50 μ V/m
খ 130×10^{-6} μ V/m
গ $2·5 \times 10^{-3}$ V/m
ঘ 2×10^{-3} V/m
ঙ $2·5 \times 10^{-3}$ μ V/m

৯৬। কোনো কম্পমান চুম্বকের দোলনকাল 2 sec এবং জড়তার ভ্রামক $8·8 \times 10^{-6}$ kgm^2। ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান 45 μT হলে চুম্বকটির চৌম্বক ভ্রামক নির্ণয় কর। [KUET Admission Test, 2015-16]

ক $2·63$ Am^3
খ $1·75$ Am^2
গ $1·92 \times 10^{-6}$ Am^2
ঘ $2·16$ Am^2
ঙ $1·93$ Am^{-2}

৯৭। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান শূন্য হয়—

ক নিরক্ষীয় অঞ্চলে
খ মেরু অঞ্চলে
গ 60° অক্ষাংশে
ঘ 90° অক্ষাংশে

৯৮। প্যারাচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা χ এবং পরম উষ্ণতা T হলে—

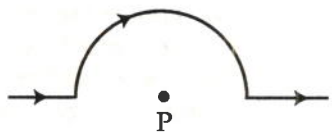
ক $\chi \propto T$
খ $\chi \propto \frac{1}{T}$
গ $\chi \propto \sqrt{T}$
ঘ $\chi \propto \frac{1}{\sqrt{T}}$

Made with Goodnotes

৯৯। কোনো স্থানে ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ, উল্লম্ব উপাংশের $\sqrt{3}$ গুণ। ওই স্থানের বিনতি কোণ—

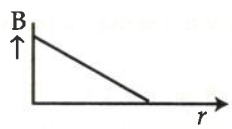
ক $30°$
খ $45°$
গ $60°$
ঘ $75°$

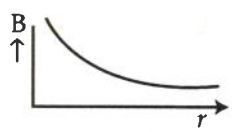
১০০। নিচের চিত্রে দেখানো অর্ধ বৃত্তাকার পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে I প্রবাহমাত্রা যাচ্ছে। ওই অর্ধ বৃত্তের কেন্দ্র বিন্দু P-তে চৌম্বক আবেশের মান কত ?



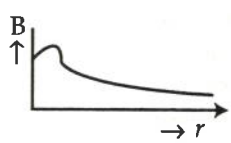
ক $\frac{\mu I}{4\pi r}$
খ $\frac{\mu_0 I}{4r}$
গ $\frac{\mu_0 I}{r}$
ঘ $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

১০১। একটি দীর্ঘ ঋজু পরিবাহী তারের অক্ষ থেকে দূরত্বের সঙ্গে চৌম্বক প্রাবল্যের পরিবর্তন কীরূপ হবে ?

ক 

খ 

গ

ঘ 

১০২। একটি বৃত্তাকার তারের ব্যাসার্ধ 10 cm এবং প্রবাহমাত্রা 5A হলে চৌম্বক ভ্রামক S.I. এককে কত ?

ক 0·5
খ 5
গ 0·05
ঘ 50

১০৩। হাইড্রোজেন পরমাণুতে e আধানযুক্ত একটি ইলেকট্রন r ব্যাসার্ধের বৃত্ত বরাবর ঘুরছে। ইলেকট্রনের কক্ষের চৌম্বক ভ্রামক কত ?

ক erv
খ $\frac{1}{2}evr$
গ $\frac{ev}{r}$
ঘ $\frac{1}{2}evr^2$

১০৪। কোনো স্থানে ভূ-চুম্বকত্বের অনুভূমিক উপাংশ এর উল্লম্ব উপাংশের $\sqrt{2}$ গুণ। ওই স্থানে বিনতি কোণ—

ক $75°$
খ $60°$
গ $45°$
ঘ $30°$

১০৫। আপেক্ষিক ভেদ্যতা এবং চৌম্বক প্রবণতার মধ্যে সম্পর্ক—

ক $\mu_r = 1 - \chi_m$
খ $\mu_r = 1 + \chi_m$
গ $\mu_r = 3(1 + \chi_m)$
ঘ $\mu_r = 1 - 2\chi_m$

১০৬। চৌম্বক মেরুতে বিনতি কোণ কত ?

[Admission Test : IU, 2012-13; CU 2005-06; JU-A 2020-21]

ক $45°$
খ $30°$
গ $0°$
ঘ $90°$

১০৭। বৃত্তপথে একটি ইলেকট্রন সেকেন্ডে 6×10^{15} বার পাক খায়। তুল্য প্রবাহমাত্রা কত ?
($e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C)

ক 0·96 mA
খ 0·96 μA
গ 2·88 A
ঘ কোনোটিই নয়

১০৮। একটি সোজা চুম্বকীয় তারের চৌম্বক ভ্রামক যদি M হয়, তাহলে তারটিকে অর্ধবৃত্তাকারে বাঁকানো হলে তারটির চৌম্বক ভ্রামক কত হবে ?

ক $\frac{M}{\pi}$
খ $M\pi$
গ $\frac{2M}{\pi}$
ঘ $2M\pi$

Made with Goodnotes

১০৯। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক 0·02 Am^2। এর ব্যাসার্ধ 5 cm এবং পাক সংখ্যা 10 হলে কুণ্ডলীতে প্রবাহমাত্রা কত ?
ক 2·54 A
খ 25·4 A
গ 0·254 A
ঘ 0·0254 A

১১০। একটি চুম্বকের পরিমাপ 10 cm × 2 cm × 1 cm এবং চৌম্বক ভ্রামক 1·0 Am^2। চুম্বকের চুম্বকন মাত্রা কত ?
ক $5 \times 10^2\ Am^{-1}$
খ $5 \times 10^4\ Am^{-1}$
গ $5 \times 10^3\ Am^{-1}$
ঘ $50\ Am^{-1}$

১১১। পৃথিবীর বিনতি কোণ শূন্য—
ক চৌম্বক মেরুতে
খ চৌম্বক নিরক্ষরেখায়
গ ভৌগোলিক মেরুতে
ঘ 90° অক্ষাংশে

১১২। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 4 cm এবং পাক সংখ্যা 20, কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক—
ক 3000 Am^2
খ 0·3 Am^2
গ 300 Am^2
ঘ 75 Am^2

১১৩। 8·0 MeV শক্তিসম্পন্ন একটি প্রোটন 5·0 T প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে সমকোণে প্রবেশ করল। প্রোটনের ওপর চৌম্বক বল কত ?
ক 3.2×10^{11} N
খ 3.2×10^{-11} N
গ 1.6×10^5 N
ঘ 1.6×10^{-5} N

১১৪। একটি প্রোটন 30° কোণে $2 \times 10^7\ ms^{-1}$ গতিবেগে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবেশ করল। প্রোটনের ওপর চৌম্বক বল কত ?
ক 0.24×10^{-12} N
খ 2.4×10^{-12} N
গ 24×10^{-12} N
ঘ 0.024×10^{-12} N

১১৫। 10 cm দীর্ঘ এবং 0·3 g ভরের একটি তার অনুভূমিকভাবে আছে এবং এতে প্রবাহমাত্রা 5 A। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হলে তারটি ভাসমান থাকবে ? ($g = 10\ ms^{-2}$)
ক 3×10^{-3} T
খ 6×10^{-3} T
গ 3×10^{-4} T
ঘ 6×10^{-4} T

১১৬। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন প্রোটনের চরদিকে $2.0 \times 10^6\ ms^{-1}$ বেগে 0·5 Å ব্যাসার্ধের বৃত্ত বরাবর ঘুরছে। কক্ষের তুল্য চৌম্বক ভ্রামক কত ?
ক $2 \times 10^{-14}\ Am^2$
খ $4 \times 10^{-24}\ Am^2$
গ $8 \times 10^{-24}\ Am^2$
ঘ $16 \times 10^{-24}\ Am^2$

১১৭। পূর্ব-পশ্চিমে প্রসারিত একটি তারে প্রবাহমাত্রা 20 A। ভূ-চুম্বকত্বের অনুভূমিক উপাংশের জন্য ($H = 10^{-4}$ T) তারের একক দৈর্ঘ্যে কত বল ক্রিয়া করবে ?
ক 2×10^{-3} N
খ 5×10^{-3} N
গ 5×10^{-5} N
ঘ শূন্য

১১৮। ভূ-চুম্বকত্বের অনুভূমিক উপাংশ H = 0·3 Oe। S.I. পদ্ধতিতে এর মান—
ক 0·3 Am^{-1}
খ 300 Am^{-1}
গ 24 Am^{-1}
ঘ কোনোটিই নয়

১১৯। কোন স্থানে ভূ-চুম্বকত্বের উল্লম্ব উপাংশ শূন্য ?
ক চৌম্বক মেরু
খ চৌম্বক নিরক্ষরেখা
গ ভৌগোলিক মেরু
ঘ 45° অক্ষাংশে

১২০। কোনো স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের অনুভূমিক উপাংশ এর মোট প্রাবল্যের অনুপাত $\frac{1}{\sqrt{2}}$। ওই স্থানের বিনতি কোণ কত?
ক 30°
খ 45°
গ 60°
ঘ 90°

১২১। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 10 cm এবং পাক সংখ্যা 50। এতে 0·5 A প্রবাহমাত্রা পাঠালে চৌম্বক ভ্রামক কত?
ক $0.25\,\pi Am^2$
খ $0.25\ Am^2$
গ πAm^2
ঘ 0

১২২। নিচের কোন সম্পর্কটি ঠিক নয় ?
ক $B = \mu_0(H + 1)$
খ $B = \mu_0 H(1 + \chi)$
গ $I = \frac{B - \mu_0 H}{\mu_0}$
ঘ $\chi = \mu - 1$

Made with Goodnotes

১২৩। একই দৈর্ঘ্যের দুটি তারের একটি বর্গাকার এবং অন্যটিকে বৃত্তাকার বাঁকানো হলো। ওদের মধ্যে একই প্রবাহামাত্রা পাঠানো হলে এদের চৌম্বক ভ্রামকের অনুপাত কত ?

ক $2:\pi$
খ $\pi:2$
গ $\pi:4$
ঘ $8:\pi$

১২৪। কোনো বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ $6{\cdot}28\times10^{-4}$ m এবং পাকসংখ্যা 240, কুণ্ডলীর মধ্যে দিয়ে 5A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে? [কু. বো. ২০১৫]

ক 0·005 T
খ 0·382 T
গ 1·2 T
ঘ 2·4 T

১২৫। 1000 পাকের 1·57cm ব্যাসার্ধের কোনো কুণ্ডলীতে 2A তড়িৎ প্রবাহ চললে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে ? [সি. বো. ২০১৭]

ক $1{\cdot}275\times10^{-2}$ T
খ $2{\cdot}55\times10^{-2}$ T
গ 4×10^{-2} T
ঘ 8×10^{-2} T

১২৬। তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলীতে শক্তি সঞ্চিত থাকে—

ক তড়িৎ ক্ষেত্রে
খ চৌম্বক ক্ষেত্রে
গ তাপশক্তি হিসেবে
ঘ যান্ত্রিক শক্তি হিসেবে

১২৭। একটি অনুভূমিক তারের দৈর্ঘ্য 10 cm এবং ভর 0·3 g। এর মধ্য দিয়ে 5A প্রবাহমাত্রা চলছে। কত প্রাবল্যের চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করলে তারটি ভাসমান অবস্থায় থাকবে ? ($g = 10\ ms^{-2}$)

ক 3×10^{-3} T
খ 6×10^{-3} T
গ 3×10^{-4} T
ঘ 6×10^{-4} T

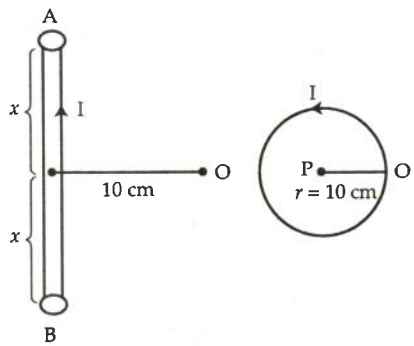
১২৮। 2 MeV শক্তির একটি প্রোটন 2T প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে চলছে। প্রোটনের ওপর যে বল ক্রিয়া করে তার মান—

ক $2{\cdot}5\times10^{-10}$ N
খ $7{\cdot}84\times10^{-11}$ N
গ $2{\cdot}5\times10^{-11}$ N
ঘ $7{\cdot}84\times10^{-12}$ N

১২৯। দুটি সমান্তরাল তারের ব্যবধান 0·5 m। এদের প্রাবহমাত্রা 2A এবং 4A। তার দুটির একক দৈর্ঘ্যের মধ্যে পারস্পরিক বল কত ?

ক $1{\cdot}6\times10^{-7}$ N
খ $3{\cdot}2\times10^{-7}$ N
গ $1{\cdot}6\times10^{-8}$ N
ঘ $3{\cdot}2\times10^{-8}$ N

১৩০।

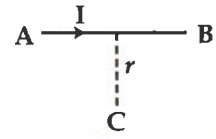


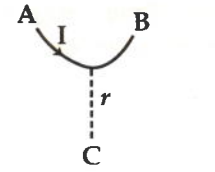
O ও P বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুপাত কত? [সকল বোর্ড ২০১৮]

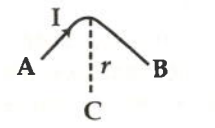
ক 31·4
খ 3·14
গ 0·334
ঘ 0·0314
ঙ 0·318

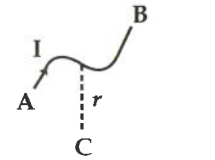
Hints : $\frac{B_0}{B_P}=\frac{\mu_0 I}{2\pi\times10}\times\frac{2\times10}{\mu_0 I}=\frac{I}{\pi}=0{\cdot}318$

১৩১। AB তারের কোন আকৃতির জন্য C বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান সর্বোচ্চ হবে? [কু. বো. ২০১৭]

ক


খ


গ


ঘ


Made with Goodnotes

১৩২। চৌম্বকক্ষেত্রের দিকের সাথে কত কোণে একটি চার্জিত কণা গতিশীল হলে সর্বোচ্চ বল অনুভব করবে?
ⓚ 0°
ⓚ 45°
ⓖ 90°
ⓖ 180°

১৩৩। 5 gaucs = কত Tesla?
ⓚ 5×10^4 T
ⓚ 5×10^{-4} T
ⓖ $0{\cdot}5 \times 10^{-13}$ T
ⓖ $0{\cdot}5 \times 10^6$ T

১৩৪। চৌম্বক ভ্রামকের একক কী?
ⓚ Tesla
ⓚ Webar m^2
ⓖ $NA^{-1}m^{-1}$
ⓖ Am^{-2}

১৩৫। কোনো তল দ্বারা আবদ্ধকৃত 2 একক চার্জের জন্য শূন্য স্থানে বৈদ্যুতিক ফ্লাক্স—
[GSTU Admission Test, 2020-21]
ⓚ $2\epsilon_0$
ⓚ ϵ_0
ⓖ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
ⓖ $\frac{2}{\epsilon_0}$

১৩৬। শূন্য স্থানে চুম্বকীয় ব্যাপ্তি যোগ্যতা (permiability) কত?
[CU Admission Test, 2020-21]
ⓚ $4\pi \times 10^{-7}\ Tm^{-1}A$
ⓚ $\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{V} \times \vec{B})$
ⓖ $\vec{F} = q\vec{V} + \vec{E} \times \vec{B}$
ⓖ $\vec{F} = \vec{E} + q \times \vec{B}$

১৩৭। কুরি বিন্দুর নিচের কোনটি পাওয়া যায়?
[RU Admission Test, 2017-18]
ⓚ ডায়া চৌম্বক পদার্থ
ⓚ ফেরো চৌম্বক পদার্থ
ⓖ প্যারা চৌম্বক পদার্থ
ⓖ ফেরো চৌম্বক

১৩৮। 2×10^{-17} C চার্জের একটি কণা 4×10^{-7} Wbm^{-2} মানের চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থির অবস্থায় কত নিউটন বল অনুভব করবে?
[GSTU Admission Test, 2020-21]
ⓚ 8×10^{-26}
ⓚ 5×10^{-8}
ⓖ 2×10^{-8}
ⓖ 0

১৩৯। পূর্ব-পশ্চিম বরাবর একটি বৈদ্যুতিক তার বিদ্যুৎ বহন করে এবং 10^{-4} T ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য প্রতিমিটার তারের উপর 10^{-3} N বল প্রযুক্ত হয়। তারটি কী পরিমাণ বিদ্যুৎ বহন করে?
[Merine Academy 2015-16]
ⓚ 5 A
ⓚ 15 A
ⓖ 10 A
ⓖ 20 A

১৪০। স্থির চার্জের উপর চৌম্বক বল—
[Admission Test, CU 2021-22; DU 2015-16]
ⓚ শূন্য
ⓚ অত্যন্ত বেশি
ⓖ অত্যন্ত কম
ⓖ কোনোটিই নয়
Hints : $F = qvB\sin\theta,\ V = 0 \therefore F = 0$

১৪১। অ্যাম্পিয়ারের সূত্র—
[Admission Test, CU 2021-22; JU 2018-19; RU 2016-17]
ⓚ তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় করে
ⓚ তড়িৎ প্রবাহের সাথে চৌম্বক ক্ষেত্রের সম্পর্ক নির্নয় করে
ⓖ তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ব্যাখ্যা করে
ⓖ পরিবাহিতার সূত্র নির্ণয় করে
Hints : $\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 I$

১৪২। ভূ চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান শূন্য হয়— [Medical Admission Test, 2022-23]
ⓚ নিরক্ষীয় অঞ্চলে
ⓚ 90° অক্ষাংশে
ⓖ মেরু অঞ্চলে
ⓖ 60° অক্ষাংশে
Hints : ভূ-চুম্বকের দুই মেরুতে বিনতি কোণ 90· এবং বিভব অঞ্চলে 0°। কাজেই $H = I\cos\delta = 0$

১৪৩। Stainless Steel এ Steel ছাড়া আর কী থাকে?
[Medical Admission Test, 2019-20]
ⓚ ক্রোমিনিয়াম
ⓚ ভেনাডিয়াম
ⓖ ম্যাঙ্গানিজ
ⓖ নিকেল

১৪৪। নরম লোহা নিচের কোনটি তৈরিতে বেশি উপযোগী?
[Dental Admission Test, 2023-24]
ⓚ তড়িৎ চুম্বক
ⓚ অস্থায়ী চুম্বক
ⓖ স্থায়ী চুম্বক
ⓖ চুম্বক শলাকা

১৪৫। পৃথিবীর বিনতি কোন শূন্য হয়—
[Dental Admission Test, 2022-23]
ⓚ 90° অক্ষাংশে
ⓚ ভৌগোলিক মেরুতে
ⓖ চৌম্বক নিরক্ষ রেখায়
ⓖ চৌম্বক মেরুতে

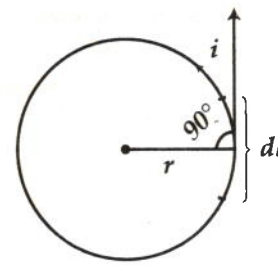
Made with Goodnotes

উত্তর :

১। খ	২। ঘ	৩। গ	৪। গ	৫। ক	৬। ক	৭। খ	৮। ক	৯। ঘ	১০। ক
১১। ক	১২। গ	১৩। খ	১৪। ক	১৫। খ	১৬। ঘ	১৭। গ	১৮। খ	১৯। খ	২০। খ
২১। ক	২২। গ	২৩। গ	২৪। ক	২৫। খ	২৬। খ	২৭। ক	২৮। খ	২৯। ক	৩০। ক
৩১। খ	৩২। খ	৩৩। ক	৩৪। ঘ	৩৫। ঘ	৩৬। খ	৩৭। খ	৩৮। গ	৩৯। খ	৪০। ঘ
৪১। ক	৪২। খ	৪৩। ঘ	৪৪। ক	৪৫। ঘ	৪৬। ক	৪৭। ক	৪৮। খ	৪৯। খ	৫০। গ
৫১। গ	৫২। খ	৫৩। ঘ	৫৪। খ	৫৫। ঘ	৫৬। ক	৫৭। ক	৫৮। খ	৫৯। খ	৬০। গ
৬১। ক	৬২। খ	৬৩। খ	৬৪। গ	৬৫। গ	৬৬। ঘ	৬৭। ক	৬৮। গ	৬৯। ঘ	৭০। ক
৭১। খ	৭২। খ	৭৩। ঘ	৭৪। ক	৭৫। ঙ	৭৬। ক	৭৭। গ	৭৮। ঙ	৭৯। ঙ	৮০। খ
৮১। গ	৮২। ঘ	৮৩। খ	৮৪। গ	৮৫। গ	৮৬। খ	৮৭। গ	৮৮। ক	৮৯। খ	৯০। ঘ
৯১। ঘ	৯২। ক	৯৩। গ	৯৪। ক	৯৫। গ	৯৬। ঙ	৯৭। খ	৯৮। খ	৯৯। ক	১০০। খ
১০১। গ	১০২। ক	১০৩। খ	১০৪। গ	১০৫। খ	১০৬। ঘ	১০৭। ক	১০৮। গ	১০৯। গ	১১০। খ
১১১। খ	১১২। খ	১১৩। খ	১১৪। খ	১১৫। খ	১১৬। গ	১১৭। ক	১১৮। গ	১১৯। খ	১২০। খ
১২১। ক	১২২। ঘ	১২৩। গ	১২৪। গ	১২৫। ঘ	১২৬। খ	১২৭। খ	১২৮। ঘ	১২৯। খ	১৩০। ঙ
১৩১।	১৩২। গ	১৩৩। খ	১৩৪। ঘ	১৩৫। ঘ	১৩৬। খ	১৩৭। খ	১৩৮। ঘ	১৩৯। গ	১৪০। ক
১৪১। খ	১৪২। গ	১৪৩। ক, ঘ		১৪৪। ক	১৪৫। গ				

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

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



(ক) উদ্দীপকের চিত্রের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 40 এবং ব্যাস 32 cm। কুণ্ডলীতে কত মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে 300 $\mu Wb/m^2$ চৌম্বক প্রাবল্য সৃষ্টি হবে?

(খ) উদ্দীপকের চিত্রের কুণ্ডলীতে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে গাণিতিকভাবে বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এবং বৃত্তাকার কুণ্ডলীর পরিবর্তে দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের বা ফ্লাক্স ঘনত্বের রাশিমালার তুলনা কর।

২। একজন বিজ্ঞানমনস্ক ছাত্র 3 cm দৈর্ঘ্য ও 2 cm প্রস্থবিশিষ্ট একটি আয়তাকার কুণ্ডলীকে 1.5×10^3 Am^{-1} চৌম্বক ক্ষেত্রের তলের সমকোণে স্থাপন করল। তারপর কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে 2 amp তড়িৎ প্রবাহিত করে দেখল যে, কুণ্ডলীটি চৌম্বক ক্ষেত্র হতে 30° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়েছে। [য. বো. ২০১৬]

(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত কুণ্ডলীটির ওপর ক্রিয়াশীল টর্কের মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের কুণ্ডলীটি যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের তলের সাথে 90° কোণে বিক্ষিপ্ত হয় তবে কৃত কাজের হিসাব বের করা সম্ভব কিনা গাণিতিক বিশ্লেষণে দেখাও।

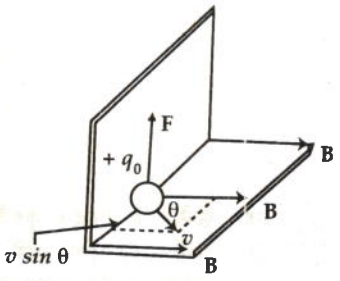
৩। পদার্থবিজ্ঞান গবেষণাগারে একদল শিক্ষার্থী 5 cm ব্যাসার্ধ এবং 250 পাকবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে 20A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে এবং কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র B এর মান নির্ণয় করে। পরে কুণ্ডলীর তারটিকে সোজা করে একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চালিয়ে কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধের সমান দূরত্বের কোনো বিন্দুতে B-এর মান নির্ণয় করে। এমতাবস্থায় প্রবাহ স্থির রেখে পরিবাহীকে 5 tesla মানের চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে স্থাপন করা হলো। [কু. বো. ২০১৬]

(গ) উদ্দীপকে তারটি সোজা করার পর চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত অবস্থায় এর ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান কত ?

(ঘ) উদ্দীপকের আলোকে কোন ক্ষেত্রে B এর মান বেশি পাবে ? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও।

Made with Goodnotes

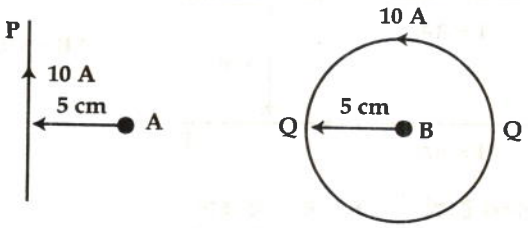
৪। নিচের চিত্রে একটি চার্জ q_0 চৌম্বক ক্ষেত্র B-এর সাথে θ কোণে v বেগে গতিশীল রয়েছে।



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

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

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



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

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

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

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

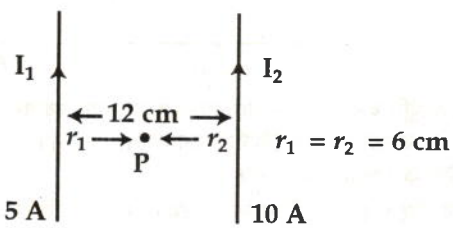
(খ) যদি উদ্দীপকে বর্ণিত A ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট পৃষ্ঠের তলটি চৌম্বক ক্ষেত্র B এর সাথে 30° কোণে অবস্থিত হয়, তবে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের কোনো পরিবর্তন হবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৭। নাফিস 50 পাক সংখ্যা এবং 20 cm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে 350 μT মানের চৌম্বক ক্ষেত্র পেল। এর পর প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে সে কুণ্ডলীকে সোজা তারে পরিণত করে তারটি হতে 22 cm লম্ব দূরত্বে চৌম্বক ক্ষেত্র পরিমাপ করল।

(ক) নাফিস তারটিতে কত তড়িৎ প্রবাহিত করেছিল ?

(খ) উদ্দীপকের কুণ্ডলী ও সোজা তার এর জন্য কোন ক্ষেত্রে শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হবে ? —মতামত দাও।

৮।



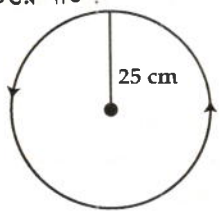
ওপরের চিত্র লক্ষ কর এবং নিম্নের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :

(ক) উদ্দীপকে ব্যবহৃত কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা বের কর।

(খ) উদ্দীপকে তারদ্বয়ের মধ্য বিন্দু P-তে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ও দিক নির্ণয় কর।

Made with Goodnotes

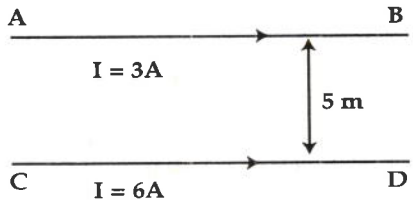
৯। চিত্রটি লক্ষ কর এবং প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



কুণ্ডলীর কেন্দ্রে $B = 3\times10^{-3}$ T
$I = 2{\cdot}5$ A

(ক) উদ্দীপকে ব্যবহৃত কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা বের কর।
(খ) উদ্দীপকের প্রবাহ যদি অর্ধেক করা হয় তবে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্বের কীরূপ পরিবর্তন হবে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

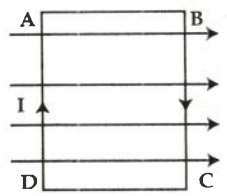
১০।



AB = CD = 12 m

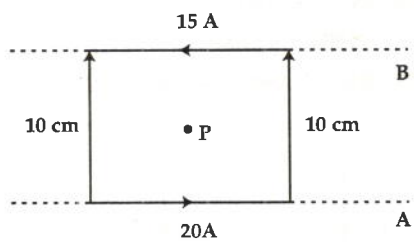
(ক) তার দুটির প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ক্রিয়াশীল বল কত হবে ?
(খ) উভয় তারকে পেঁচিয়ে 0·22 m ব্যাসার্ধের কুণ্ডলী তৈরি করলে কুণ্ডলীদ্বয়ের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের তুলনা কর।

১১। চিত্রে ABCD একটি আয়তাকার কুণ্ডলী। এর পাকসংখ্যা = 100। প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র = $1{\cdot}5\times10^{-2}$ T, দৈর্ঘ্য = 15 cm, প্রস্থ = 10 cm এবং প্রবাহ = 1A।



(ক) কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক নির্ণয় কর।
(খ) কুণ্ডলীটিকে বৃত্তাকার করা হলে টর্কের কীরূপ পরিবর্তন হবে বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৭]

১২।



B তারকে A তারের ওপর অন্তরিত খুঁটি দ্বারা 10 cm ব্যবধানে পৃথক করে স্থাপন করা হয়। চিত্রানুযায়ী P বিন্দুটি A ও B তারের ঠিক মাঝখানে অবস্থিত। B তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর 0·06122 gm। [অভিন্ন প্রশ্ন (ক সেট), ২০১৮]

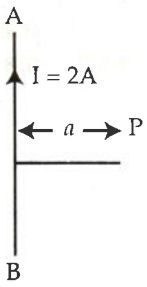
(ক) P বিন্দুতে লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ?
(খ) অন্তরক খুটি সরিয়ে নিলে B তারটি শূন্যে ভাসমান থাকবে কি না গাণিতিক বিশ্লেষণসহ যাচাই কর।

১৩। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 200 এবং কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 20 μT।

(ক) কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 0·5A তড়িৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।
(খ) পাক সংখ্যা ও তড়িৎ প্রবাহমাত্রা স্থির রেখে যদি ব্যাসার্ধ তিনগুণ করা হয় তবে বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বৃদ্ধি পাবে কি না—গাণিতিকভাবে দেখাও।

Made with Goodnotes

১৪।

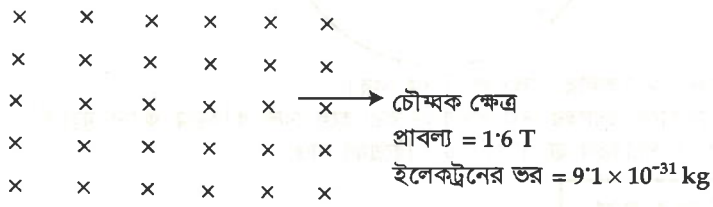


AB = 6m দীর্ঘ সরল তারটি হতে 'a' লম্ব দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র $2{\cdot}0 \times 10^{-5}$ T। আফফান তারটিকে 3 পাকের কুণ্ডলীতে পরিণত করে একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত করে বলল, কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $2{\cdot}0 \times 10^{-5}$ T অপেক্ষা বেশি হবে। [চৌম্বক প্রবেশ্যতা $4\pi \times 10^{-7}$ T mA^{-1}]

(ক) লম্ব দূরত্ব 'a' এর মান নির্ণয় কর।

(খ) আফফানের পর্যবেক্ষণ সঠিক ছিল কি না—যথাযথ বিশ্লেষণসহ মন্তব্য কর। [ঢা. বো. ২০১৭]

১৫।



চিত্রে $6{\cdot}7 \times 10^{-27}$ kg ভর এবং $3{\cdot}2 \times 10^{-19}$C চার্জবিশিষ্ট একটি কণা একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে $2{\cdot}5 \times 10^{8}$ ms^{-1} বেগে প্রবেশ করে।

(ক) কণাটির উপর কত বল ক্রিয়াশীল হবে?

(খ) পরবর্তীতে একটি ইলেকট্রন একই চৌম্বক ক্ষেত্রে একই বেগে প্রবেশ করলে প্রথম কণাটির এবং ইলেকট্রনটির গতিপথের ব্যাসার্ধ কী একই হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণ করে মতামত দাও। [সি. বো. ২০১৭]

১৬। প্রোটন $\vec{E} = 4 \times 10^{5}\ NC^{-1}$

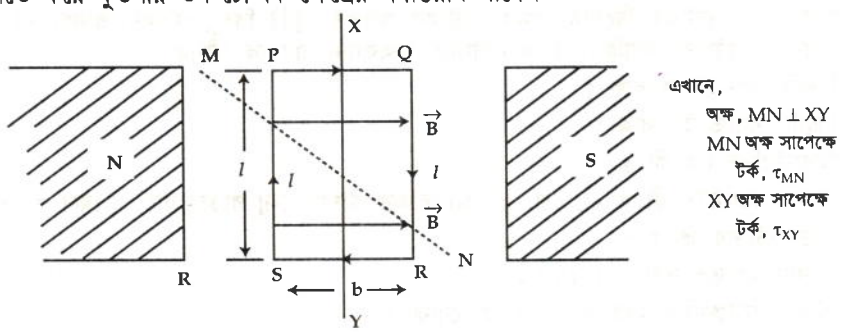
$\vec{v} = 4 \times 10^{6}\ ms^{-1}$

পরবর্তীতে গতিশীল প্রোটনটির ওপর 0·50 T মানের একটি চৌম্বক ক্ষেত্র পৃষ্ঠের লম্ব বরাবর নিচের দিকে প্রয়োগ করা হলো।

(ক) চৌম্বক ক্ষেত্র প্রোটনটির ওপর কত বল প্রয়োগ করবে?

(খ) চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগের পর প্রোটনের গতিপথ গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [অভিন্ন বোর্ড ২০১৮]

১৭। চিত্রে PQRS একটি তড়িৎবাহী আয়তাকার তার কুণ্ডলী। একে B মানের একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে লম্বভাবে স্থাপন করা হয়েছে যাতে করে কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল থাকে।



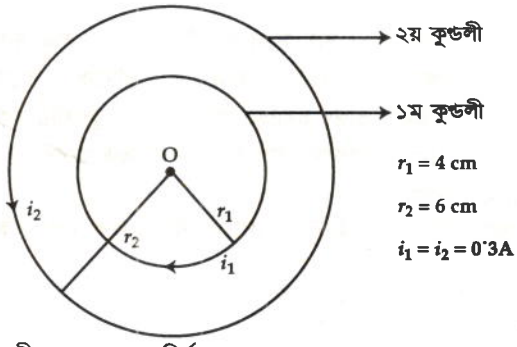
[এখানে, $B = 1{\cdot}5 \times 10^{-2}$ Wb/m^2, I = 2A, l = 1m, b = 0·5m]

(ক) কুণ্ডলীর QR বাহুর ওপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বলের মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপক অনুসারে $\tau_{MN} > \tau_{XY}$ হবে কি না? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৯]

Made with Goodnotes

১৮। একজন শিক্ষার্থী দুটি কুণ্ডলীকে সমাক্ষীয়ভাবে নিচের চিত্রের ন্যায় সাজিয়ে লক্ষ করলো যে, কেবলমাত্র ১ম কুণ্ডলীতে প্রবাহ চালনা করলে কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র $9{\cdot}42 \times 10^{-4}$ T পাওয়া যায়। সে ২য় কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা নিয়েছিল 450। পরবর্তীতে উভয় কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে একই প্রবাহ চালনা করা হয় এবং কুণ্ডলীর ব্যাস বরাবর 80C মানের একটি চার্জকে $10\ ms^{-1}$ বেগে চালনা করা হয়।



(ক) উদ্দীপকের ১ম কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা নির্ণয় কর।

(খ) দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে প্রবাহের দিক পরিবর্তন করা হলে কেন্দ্র অতিক্রম করার মুহূর্তে চার্জটির চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবের কী পরিবর্তন হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণ দাও। [কু. বো. ২০১৯]

(গ) সংক্ষিপ্ত-উত্তর প্রশ্ন

১। টেসলা কাকে বলে ? [রা. বো. ২০১৬]

২। লরেঞ্জ বল কাকে বলে ? [কু. বো. ২০১৯, ২০১৬; সি. বো. ২০১৯; রা. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৭]

৩। কুরি বিন্দু কী ? [য. বো. ২০১৬]

৪। হল ক্রিয়া কী ? [ব. বো. ২০১৯, ২০১৫; চ. বো. ২০১৭, ২০১৬; সি. বো. ২০১৬]

৫। বিনতি কী ? [চ. বো. ২০১৬]

৬। হল বিভব বা ভোল্টেজ কাকে বলে ? হল ক্রিয়া বা প্রভাব কী ?
[ঢা. বো. ২০১৮, ২০১৫; সি. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০১৮; কু. বো. ২০১৭]

৭। চৌম্বক প্রবেশ্যতা কী ? [রা. বো. ২০১৫]

৮। 1 ওয়েবার বলতে কী বোঝ ? চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য কী ? [রা. বো. ২০১৯]

৯। 1 টেসলা বলতে কী বোঝ ? [মাদ্রাসা বো. ২০১৯]

১০। চৌম্বক ফ্লাক্স কী ? [দি. বো. ২০১৯]

১১। চৌম্বক বলরেখা কাকে বলে ?

১২। বায়োট–স্যাভার্ট সূত্র বিবৃত কর। [রা. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৭]

১৩। ইলেকট্রনের স্পিন বলতে কী বোঝ ?

১৪। সংজ্ঞা দাও : চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক, চৌম্বক আবেশ, কুরী বিন্দু, চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা, চৌম্বক ধারকতা, চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা, চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা।

১৫। বিনতি কোণ কাকে বলে ?

১৬। বিচ্যুতি বলতে কী বোঝ ?

১৭। হিসটেরিসিস চক্র কী ?

১৮। চৌম্বক ডোমেইন কী ? [রা. বো. ২০১৯] বিচ্ছিন্ন চৌম্বক মেরু পাওয়া যায় না কেন ? [রা. বো. ২০১৫]

১৯। তড়িৎ চৌম্বক কী ?

২০। চৌম্বক মধ্যতল বলতে কী বোঝ ?

২১। চৌম্বক ভৌগোলিক মধ্যতল বলতে কী বোঝ ?

২২। ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান কয়টি ও কী কী ?

২৩। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য কাকে বলে ?

২৪। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য কী ?

Made with Goodnotes

২৫। চৌম্বক ভ্রামক কী ?
২৬। অ্যাম্পিয়ারের সূত্র বিবৃত কর।
২৭। চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব কী ?
২৮। ফ্লেমিং এর ডানহস্ত নিয়ম বিবৃত কর।
২৯। বোর ম্যাগনেটন কী ?
৩০। চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এর একক কী ?
৩১। B-এর মাত্রা লিখ।
৩২। SI পদ্ধতিতে H-এর একক লিখ।
৩৩। চৌম্বক ভ্রামকের একক কী ?
৩৪। চৌম্বক মেরুশক্তির একক কী ?
৩৫। চুম্বকন মাত্রার একক কী ?
৩৬। নিকেলের কুরি তাপমাত্রা 360°C। 1450°C তাপমাত্রায় নিকেল কী ধরনের পদার্থ হবে?
৩৭। একটি আহিত কণা চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এর অভিলম্ব বরাবর ওই ক্ষেত্রে প্রবেশ করলে কণাটির গতিপথ কীরূপ হবে ?
৩৮। নিরক্ষীয় অঞ্চলে বিনতি কোণের মান কত ?
৩৯। বিনতি কোণের মান সর্বোচ্চ কোথায় ?
৪০। কোনো স্থির আধান কী চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করতে পারে ?
৪১। কোনো মাধ্যমের আপেক্ষিক ভেদ্যতা (μ_r) ও চৌম্বক গ্রাহিতার (X_m) মধ্যে সম্পর্কটি লিখ।
৪২। একটি চৌম্বক দ্বিমেরুর চৌম্বক ভ্রামকের অভিমুখ কোন দিকে ?
৪৩। দুটি সমমুখী সমান্তরাল তড়িৎ প্রবাহের পারস্পরিক ক্রিয়া কী ?
৪৪। কুরী বিন্দু কী ? লোহার কুরি বিন্দু 770°C বলতে কী বোঝ ? [য. বো. ২০১৬]
৪৫। উদাসীন বিন্দু বলতে কী বোঝায় ?
৪৬। একটি চৌম্বক মেরুর শক্তি 1 Am বলতে কী বোঝায় ?
৪৭। চৌম্বক দ্বিমেরু কী ?
৪৮। পরমাণুর কক্ষপথে ঘূর্ণয়মান ইলেকট্রনের মোট চৌম্বক ভ্রামক বলতে কী বুঝ ? [রা. বো. ২০১৯]
৪৯। ডায়াচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না কেন ? [সি. বো. ২০১৭]
৫০। বিনতি কী ? কোনো স্থানের বিনতি 29°S বলতে কী বুঝ ? [চ. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭]
৫১। ঢাকার বিনতি 31°N বলতে কী বুঝ ? [দি. বো. ২০১৭, ২০১৫]
৫২। চৌম্বক গ্রাহীতার একক কী?
৫৩। তড়িৎ চুম্বকের মজ্জায় ব্যবহৃত একটি পদার্থের নাম লিখ।
৫৪। কোন ধরনের পদার্থের চৌম্বক গ্রাহীতা ঋণাত্মক?
৫৫। কোন ধরনের পদার্থের ক্ষেত্রে চৌম্বক গ্রাহীতা তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে না?
৫৬। ভূপৃষ্ঠের কোন জায়গায় বিনতি কোণ শূন্য?
৫৭। ভূপৃষ্ঠের কোথায় বিনতি কোণ 90°?
৫৮। নিকেলের কুরি বিন্দু 360°C-এর দ্বারা কী বোঝ?

(ঘ) কাঠামোবদ্ধ ও বর্ণনামূলক প্রশ্ন

১। একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 1·5T বলতে কী বোঝ ? হল ক্রিয়া কী ?
২। ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়ম ব্যাখ্যা কর।
৩। কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ও দিক কীভাবে বলরেখা দ্বারা নির্দেশিত হয় ?
৪। লরেঞ্জ বল কী ? এর রাশিমালা লিখ।
৫। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের জন্য উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র সম্পর্কে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র বিবৃত কর।
৬। বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে একটি তড়িৎবাহী বৃত্তাকার লুপের কেন্দ্র বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।

Made with Goodnotes

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

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

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

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

১১। চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল একটি আহিত কণার ওপর ক্রিয়াশীল বলের রাশিমালা নির্ণয় কর।

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

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

১৪। ইলেকট্রনের কক্ষীয় এবং অক্ষীয় দ্বিমেরু ভ্রামক ব্যাখ্যা কর।

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

১৬। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব ব্যাখ্যা কর।

১৭। ঢাকার বিচ্যুতি কোণ $\left(\frac{1}{2}\right)^{\circ}$ পূর্ব বলতে কী বোঝ ? [কু. বো. ২০১৭]

১৮। চৌম্বক মধ্যতল ও ভৌগোলিক মধ্যতল বলতে কী বুঝ ?

১৯। ডায়াচৌম্বক পদার্থ চৌম্বক পদার্থ হওয়া সত্ত্বেও চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হয় কেন ? ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]

২০। স্থায়ী চৌম্বক তৈরিতে কাঁচা লোহা ব্যবহার করা হয় কেন—ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৬]

২১। সুষম চৌম্বকের ক্ষেত্রে গতিশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল কী কী বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল ? [কু. বো. ২০১৫]

২২। ডায়াচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না কেন ? ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৫]

২৩। বিচ্ছিন্ন চৌম্বক মেরু পাওয়া সম্ভব নয় কেন ? [রা. বো. ২০১৫]

২৪। কোনো স্থানের বিনতি $33^{\circ}S$ বলতে কী বোঝায় ? [দি. বো. ২০১৫]

২৫। চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল চার্জ বল অনুভব করে কেন ? [দি. বো. ২০১৫]

২৬। একটি চার্জিত কণা কোনো স্থানের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় বিক্ষিপ্ত হলো না। ওই স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্র নেই বলা যায় কী ? ব্যাখ্যা কর।

২৭। চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর ওপর টর্কের উৎপত্তি ঘটে কেন ? ব্যাখ্যা কর।

২৮। পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক—ব্যাখ্যা কর।

২৯। পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাদানসমূহ বর্ণনা কর।

৩০। কঠিন ও কোমল চৌম্বক পদার্থ নির্ধারণে হিস্টোরেসিস লুপের ব্যবহার ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৯]

৩১। তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করলে ইস্পাতের চুম্বকত্ব লোপ পায় না কেন ? [সি. বো. ২০১৯]

৩২। ভৌগোলিক ও চৌম্বক মধ্যতলের অন্তর্ভুক্ত কোণ—ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৭]

৩৩। প্যারা, ডায়া, ফেরো, ফেরি, এন্টিফেরো চৌম্বক এর সংজ্ঞা দাও।

৩৪। চৌম্বক ডোমেইন কী ? ডোমেইন তত্ত্বের সাহায্যে ফেরো চৌম্বক এবং আবিষ্ট চৌম্বকত্ব ব্যাখ্যা কর।

৩৫। তড়িৎ চুম্বক, স্থায়ী চুম্বক এবং অস্থায়ী চুম্বকের সংজ্ঞা দাও ও এদের ব্যবহার উল্লেখ কর।

৩৬। স্থায়ী চুম্বকের জন্য কী ধরনের পাদার্থ নেওয়া হয় ?

৩৭। তড়িৎ চুম্বক কী ? এ ধরনের চুম্বক কীভাবে তৈরি করা হয় ?

৩৮। স্থায়ী চুম্বক ও অস্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার লিখ।

৩৯। সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে বলরেখর প্রকৃতি কীরূপ?

৪০। কোনো একটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে গমনকারী চৌম্বক বলরেখায় চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর দিক কীরূপ?

৪১। কোন প্রাকৃতিক রাশির একক Wbm^{-2}? এটি কি স্কেলার নাকি ভেক্টর রাশি?

৪২। শূন্য মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতার একক কী?

Made with Goodnotes

৪৩। কোন অবস্থায় একটি প্রোটন চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে গমনকালে সর্বোচ্চ বল অনুভব করে?

৪৪। যখন একটি চার্জিত কণা সুষম চৌম্বক $\vec{B}$-এর অভিলম্বভাবে প্রবেশ করে তখন এর গতিপথ কীরূপ হবে?

৪৫। একটি স্থির চার্জ কী চৌম্বকক্ষেত্র তৈরি করতে পারে?

৪৬। দুটি পরস্পর বিপরীতমুখী তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া কীরূপ?

৪৭। অ্যামিটার তৈরি করার জন্য কী ধরনের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা হয়?

৪৮। একটি গ্যালভানোমিটারকে ভোল্টমিটারে রূপান্তরের জন্য রোধ কীভাবে যুক্ত করতে হবে?

৪৯। একটি অ্যামিটারে রোধ স্বল্প মানের এবং ভোল্টমিটারে বেশি মানের ব্যবহার করা হয় কেন ব্যাখ্যা কর।

৫০। ডায়াচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক গ্রাহীতা ঋণাত্মক—এই বক্তব্যের তাৎপর্য কী?

(ঙ) ক্রিয়াকর্ম

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

(চ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। 5×10^6 ms^{-1} বেগে গমনকারী প্রোটনের ওপর 0·4 T চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হলো। চৌম্বক ক্ষেত্র প্রোটনের বেগের সাথে 30° কোণে ক্রিয়া করে। প্রোটনের ত্বরণ কত হবে? (প্রোটনের ভর = $1·6 \times 10^{-27}$ kg)

[উ. 1×10^{24} ms^{-2}]

২। $(2\hat{i} + 3\hat{k})$ টেসলা চৌম্বক ক্ষেত্রে $(3\hat{i} + 3\hat{j})$ ms^{-1} বেগে গমনকারী ইলেকট্রনের ওপর ক্রিয়ারত বলের মান কত?

[উ. $2·25 \times 10^{-18}$ N]

৩। 8 MeV শক্তিসম্পন্ন একটি প্রোটন 5·0T সমচৌম্বক ক্ষেত্রে সমকোণে প্রয়োগ করা হলো। প্রোটনের ওপর কার্যকর বল নির্ণয় কর। [$M_p = 1·6 \times 10^{-27}$ kg, charge = $1·6 \times 10^{-19}$ C] [উ. $3·2 \times 10^{-11}$ N]

[BUET Admission Test, 2006-07]

৪। 2·5 Wbm^{-2} ফ্লাক্স ঘনত্বের একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে একটি প্রোটন $1·5 \times 10^7$ ms^{-1} বেগে প্রবেশ করলে কত বল অনুভব করবে ? [উ. 3×10^{-12} N]

৫। 4·175 kV বিভব পার্থক্যে একটি α-কণা স্থিরাবস্থা হতে ত্বরিত হওয়ার পর 0·4T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে প্রবাহিত হলে কণাটির গতিপথের ব্যাসার্ধ কত হবে ? [$m = 6·68 \times 10^{-27}$ kg]

[Hints : $\frac{1}{2}mv^2 = 2eV$, $\frac{mv^2}{r} = qvB$, $r = 0·033$ m, $v = 6·32 \times 10^5$ ms^{-1}] [উ. 0·033 m]

৬। 1 m দীর্ঘ একটা ঋজু তারের মধ্য দিয়ে 1A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি 0·02 Wb. m^{-2} মানের একটা সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্র রেখার সাথে কত কোণে অবস্থান করলে 0·01N বল অনুভব করবে ? [উ. 30°]

৭। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 0·02m এবং পাকসংখ্যা 100। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 5A কারেন্ট প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশের মান নির্ণয় কর। [উ. $15·7 \times 10^{-3}$ Wb m^{-2}]

৮। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস 0·1 m ও পাক সংখ্যা 25। কুণ্ডলী দিয়ে 4A বিদ্যুৎ প্রবাহ চললে কেন্দ্রে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব কত হবে ? [উ. $1·256 \times 10^{-3}$ T]

৯। 80 cm দীর্ঘ একটি সলিনয়েডে পরপর খুব কাছাকাছি পাঁচটি স্তরে তার জড়ানো আছে। প্রতিটি স্তরের পাকসংখ্যা 400। সলিনয়েডের ব্যাস 1·8 cm। প্রবাহমাত্রা 8A হলে সলিনয়েডের কেন্দ্রের নিকটবর্তী অঞ্চলে $\vec{B}$-এর মান কত ? [উ. $2·51 \times 10^{-2}$ T]

১০। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 0·1 m। এর মধ্য দিয়ে 100 mA তড়িৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এবং কেন্দ্র থেকে x = 0·1 m দূরত্বে কুণ্ডলীর অক্ষের ওপর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।

[উ. $6·28 \times 10^{-7}$ T, $2·22 \times 10^{-7}$ T]

১১। একটি দীর্ঘ ঋজু সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 1m এবং পাক সংখ্যা 5000। এদের মধ্য দিয়ে 10A মানের প্রবাহ গেলে সলিনয়েডের অক্ষস্থিত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর। [উ. 6.28×10^{-2} T]

১২। 250 পাকবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কয়েলের ব্যাসার্ধ 5 cm। যদি কয়েলের মধ্যে 20A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় তবে কয়েলের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ? $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ TmA^{-1} [উ. 0·063 T]

[Hints : $B = \frac{\mu NI}{2r}$] [BUET Admission Test 2010-11]

Made with Goodnotes

১৩। 25A বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাবাহী 0·1 m দৈর্ঘ্যের একটি পরিবাহী তার 1·6T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে অবস্থান করলে কত বল অনুভব করবে ? [উ. 4N]

১৪। একটি সলিনয়েডে প্রবাহিত বিদ্যুৎ 167 A/m মানের চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সলিনয়েডের ভেতর 5000 মানের চৌম্বক প্রবেশ্যতাবিশিষ্ট লোহার কোর থাকলে সলিনয়েডের ভেতর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে ?

[Hints : $\mu = \frac{B}{H}$, $B = \mu \times H$] [উ. 1·05 T] [BUET Admission Test, 2011-12]

১৫। 1m দীর্ঘ একটি তারের মধ্য দিয়ে 10A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি 0·15 Wbm^{-2} মানের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে অবস্থান করলে কত বল অনুভব করবে ? [উ. 0·75N]

১৬। হাইড্রোজেনের পরমাণুর ইলেকট্রন 5×10^{-11} m ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে প্রতি সেকেন্ডে $6·8 \times 10^{15}$ বার ঘুরছে। বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে? [উ. 13·67 Wb] [BUET Admission Test, 2009-10]

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

১৮। যখন 1A তড়িৎ একটি বৃত্তাকার পরিবাহীর ভেতর দিয়ে প্রবাহিত হয় তখন এর কেন্দ্রে 10^{-7} T চৌম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন হয়। কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 10^{-6} T হবে? [উ. 10A]

১৯। একটি 10^{-3} T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বে রাখা একটি 1 m দীর্ঘ তারের মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটির ওপর চৌম্বক বল কত হবে ? [উ. 2×10^{-3} N]

২০। একটি সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 60 cm এবং পাকসংখ্যা 1250। যদি এর মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহিত হয় তবে এর অক্ষের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র কত? [উ. $5·23 \times 10^{-3}$ Wbm^{-2}]

২১। একটি ক্ষুদ্র দণ্ড চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক $2Am^2$। চুম্বকটির কেন্দ্র থেকে 10 cm দূরে লম্ব দ্বিখণ্ডকের ওপর কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উ. 2×10^{-4} T]

২২। 10^{-3}T চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত একটি সোজা তার দিয়ে 5A তড়িৎ প্রবাহ চলে। তারটির একক দৈর্ঘ্যের ওপর প্রযুক্ত বল নির্ণয় কর। [উ. 5×10^{-3} N] [D.U. Admission Test, 2011-12]

২৩। একটি তারের কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল $2·0 \times 10^{-4}$ m^2 এবং কুণ্ডলীর মধ্যে দিয়ে 0·01 A বিদ্যুৎ প্রবাহ চললে কুণ্ডলীর দ্বিপোল মোমেন্ট কত ? [উ. 2×10^{-6} Am^2]

[JU Admission Test, 2016-17]

২৪। একটি ঋজু লম্বা তারের মধ্য দিয়ে 5A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তার থেকে 10 cm দূরে চৌম্বকক্ষেত্রের শক্তি কত? [উ. 10^{-5} Wbm^{-2}]

২৫। দুটি সমকেন্দ্রিক বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 8 cm এবং 10 cm এবং তাদের পাক সংখ্যা যথাক্রমে 40 এবং 50। প্রতিটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 5A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। দুটি কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় কর।

[উ. $1·885 \times 10^{-5}$ Wbm^{-2}]

২৬। সমকেন্দ্রিক কিন্তু পরস্পর অভিলম্ব দুটি কুণ্ডলীর মধ্যে যথাক্রমে 3A এবং 4A তড়িৎ প্রবাহিত হয়। যদি প্রতিটি কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 211 cm হয়, তবে কুণ্ডলীদ্বয়ের কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ কত হবে? ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ $WbA^{-1}m^{-1}$)

[উ. 5×10^{-5} Wbm^{-2}]

২৭। একটি অঞ্চলে তড়িৎ ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র পরস্পর অভিলম্ব। তড়িৎ ক্ষেত্রে, $E = 10^5$ Vm^{-1} এবং চৌম্বক ক্ষেত্র, $B = 0·4$ T। তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর চার্জ q-এর বেগ কত হলে এটি বিক্ষিপ্ত হবে না?

[উ. $2·5 \times 10^5$ ms^{-1}]

২৮। একটি ধাতব পাতের প্রস্থ 0·02 m এবং পুরুত্ব 0·001 m। পাতটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $8·4 \times 10^{-4}$ ms^{-1}। পাতটি 4 Wb/m^2 চৌম্বকক্ষেত্রে অবস্থিত। চৌম্বকক্ষেত্র পাত ধারণকারী তলের লম্ব বরাবর। তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র এবং হল ভোল্টেজ নির্ণয় কর।

[উ. $33·6 \times 10^{-4}$ volt m^{-1}, 67·2 μV]

২৯। 20 cm চওড়া ও 1·0 mm পুরু একটি ধাতব পাতকে 1·5 T চৌম্বকক্ষেত্রে এমনভাবে স্থাপন করা হলো যেন পাতের সমতল চৌম্বকক্ষেত্রের লম্বভাবে থাকে। পাতের মধ্য দিয়ে 200A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে উদ্ভূত হল ভোল্টেজ নির্ণয় কর। পাতের প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনে সংখ্যা $8·4 \times 10^{28}$ m^{-3}। [উ. $2·23 \times 10^{-5}$ V]

৩০। একটি ইলেকট্রন $\vec{E} = (\hat{i} + 2\hat{j} - 8\hat{k})$ Vm^{-1} তড়িৎক্ষেত্রে ও $\vec{B} = (2\hat{i} + 3\hat{k})$ T চৌম্বকক্ষেত্রে $(2\hat{i} + 2\hat{j})$ ms^{-1} বেগে প্রবেশ করল। ইলেকট্রনের ওপর বলের মান বের কর।

[Hints : $\vec{F}_2 = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q\vec{E} + q\vec{V} \times \vec{B}$] [উ. $2·313 \times 10^{-18}$ N]

Made with Goodnotes

৩১। 5A মাত্রার একটা বর্গাকার বিদ্যুৎবাহী এক পাকের কুণ্ডলী ABCD-এর ক্ষেত্রফল 10^{-2} m^2। কুণ্ডলীটি 2×10^{-3} Wbm^{-2} মানের একটা সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখার সমান্তরালে স্থাপিত। কুণ্ডলীর পরস্পর বিপরীত AB ও CD বাহু ক্ষেত্ররেখার সমকোণে থাকাকালীন AB বা CD-এর ওপর কত বল ক্রিয়া করবে ? এমতাবস্থায় কত মোমেন্টের দ্বন্দ্ব কুণ্ডলীর ওপর ক্রিয়া করবে ? [উ. 10^{-3} N ও 10^{-4} Nm]

৩২। 6 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর ব্যাস 4 cm। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 2A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামকের মান কত হবে ? [উ. 1.5×10^{-2} Am^2]

৩৩। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বৃত্তাকার কক্ষপথটির ব্যাসার্ধ 0.53×10^{-10} m। এই কক্ষপথে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রনের বেগ 2.186×10^6 ms^{-1}। ইলেকট্রনটির চৌম্বক ভ্রামক কত ? [উ. 9.27×10^{-24} Am^2]

৩৪। l m একটি পরিবাহী তারে IA তড়িৎ প্রবাহ চালু আছে। তারটিকে একটি বৃত্তাকার লুপে পরিণত করলে চৌম্বক ভ্রামক কত হবে ? [উ. $\frac{Il^2}{4\pi}$ Am^2]

৩৫। 62.8 cm দীর্ঘ একটি চুম্বকিত ইস্পাতের তারের মেরুশক্তি 1 Am। তারটিকে অর্ধবৃত্তের আকারে বাঁকালে ওর চৌম্বক ভ্রামক কত হবে ? [উ. 0.4 Am^2]

৩৬। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 50 এবং ব্যাসার্ধ 0.2 m। এতে 12 A প্রবাহমাত্রা পাঠানো হলে (i) কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং (ii) কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক নির্ণয় কর।

[উ. 1.884×10^{-3} T; 75.4 Am^2]

৩৭। 5×10^{-4} Wb মেরুশক্তিসম্পন্ন একটি চুম্বকের দৈর্ঘ্য 0.25 m। চুম্বকটির চৌম্বক ভ্রামক কত ?

[উ. 1.25×10^{-4} Wb m] [BUET Admission Test, 2010-11]

৩৮। 50 পাকের একটি আয়তাকার কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য 0.25 m ও প্রস্থ 0.20 m। 0.2T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের কুণ্ডলী দিয়ে 4 A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর ওপর কত টর্ক ক্রিয়া করবে ? [উ. 2 Nm]

৩৯। 100 পাকের একটি বর্গাকার ঝুলন্ত তারকুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল 0.09 m^2; 2.4A বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে কুণ্ডলীকে 1.8 A. m^{-1} প্রাবল্যের একটা অনুভূমিক সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখার সমান্তরালে স্থাপন করলে কুণ্ডলীতে টর্ক কত হবে? কুণ্ডলীর তল বল রেখার সাথে (ক) 60° ও (খ) 90° কোণে স্থাপন করলে টর্কের মান কত হবে ?

[$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb.A^{-1}.m^{-1}] [উ. শূন্য, (ক) 423.12×10^{-7} Nm ; (খ) 488.56×10^{-7} Nm]

৪০। কোনো স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য মোট প্রাবল্যের অর্ধেক হলে ওই স্থানের বিনতি কোণ কত হবে ? [উ. 60°]

৪১। কোনো স্থানের ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মান 4×10^{-5} T এবং বিনতি 60°। ওই স্থানের ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ বের কর। [উ. 20 μT; 34.64 μT]

৪২। কোনো স্থানের ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান 30 μT এবং বিনতি 60°। ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় কর। [উ. 51.96 μT]

৪৩। কোনো স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 28 Am^{-1} এবং বিনতি 30°। ওই স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য কত ? [উ. 32.33 Am^{-1}]

৪৪। কোনো স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য 22.5 μT। ওই স্থানের বিনতি 30° হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য কত ? [উ. 19.49 μT]

৪৫। কোনো এক জায়গায় পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ অনুভূমিক উপাংশের $\sqrt{3}$ গুণ। ওই জায়গার বিনতি কোণ কত ? [উ. 60°]

৪৬। একটি বিনতি বৃত্তকে এমনভাবে রাখা হলো যাতে এর শলাকা উল্লম্ব থাকে। পরে বিনতি বৃত্তকে এর উল্লম্বতলে α কোণে ঘুরানো হলো। এই অবস্থানে আপাত বিনতি φ হলে দেখাও যে, $\tan\delta = \tan\varphi \sin\alpha$।

[উ. 7.34×10^{-17} N] [BUET Admission Test, 2006-07]

Made with Goodnotes

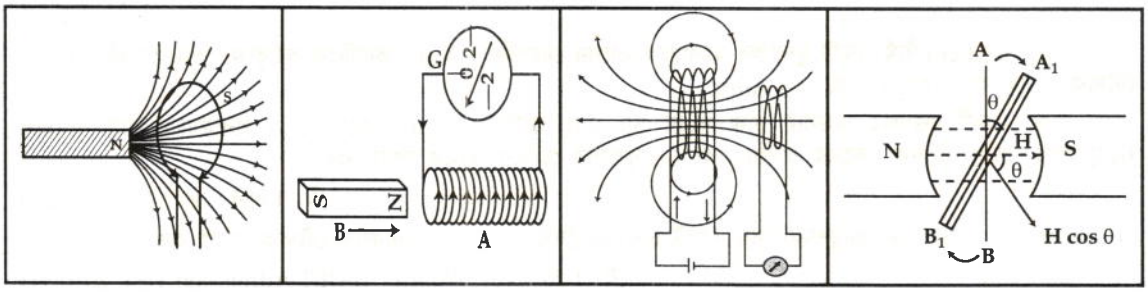
RMDAC

৫

তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ও পরিবর্তী প্রবাহ

ELECTROMAGNETIC INDUCTION AND ALTERNATING CURRENT

প্রধান শব্দ (Key Words) : তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ, আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি, আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ, মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলী, ফ্যারাডের তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সূত্রাবলি, লেন্‌জ-এর সূত্র, স্বকীয় আবেশ, পারস্পরিক আবেশ, স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক, পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক, স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক, একমুখী প্রবাহ, পরিবর্তী প্রবাহ, দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি, প্রবাহের গড়মান, শীর্ষ মান, শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান, গড়মান, আপাত মান ও শীর্ষ মানের মধ্যে সম্পর্ক।



সূচনা
Introduction

পূর্বের অধ্যায়ে আমরা জেনেছি যে, একটি তড়িৎবাহী তারকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে তারটিতে গতির সঞ্চার হতে পারে। 1831 সালে বিখ্যাত বিজ্ঞানী **মাইকেল ফ্যারাডে** সর্ব প্রথম এর বিপরীত ঘটনা লক্ষ করেন। তিনি পরীক্ষার মাধ্যমে দেখান যে একটি বন্ধ পরিবাহী তারকে চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল করা হলে পরিবাহী তারটির মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। ফ্যারাডের পরীক্ষা প্রমাণ করে যে, গতিশীল চুম্বক তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করতে পারে। সাধারণভাবে এই ঘটনাই তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ। অতএব, তড়িৎ প্রবাহ ও চুম্বকত্ব বিচ্ছিন্ন ঘটনা নয়। একটির সাথে অন্যটি ওতপ্রোতভাবে জড়িত।

চৌম্বক ক্ষেত্র ও পরিবাহীর মধ্যে আপেক্ষিক গতির জন্য তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন হওয়ার ঘটনাকে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ বলা হয়। এই আবিষ্কারকে ভিত্তি করে **জেনারেটর** (Generator), **ট্রান্সফরমার** (Transformer) ও অন্যান্য বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি আবিষ্কৃত হয়েছে।

[MAT: 18-19]

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন বর্ণনা করতে পারবে।
- আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ফ্যারাডের তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- লেনজ-এর সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- লেনজ-এর সূত্রের সাথে শক্তির নিত্যতার সূত্রের সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টির কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বর্গমূলীয় গড়মান, শীর্ষমান এবং প্রবাহ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

নিম্নে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ এবং এতদসংশ্লিষ্ট বিভিন্ন বিষয়াদি আলোচনা করা হলো।

৫·১ তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ
Electromagnetic induction

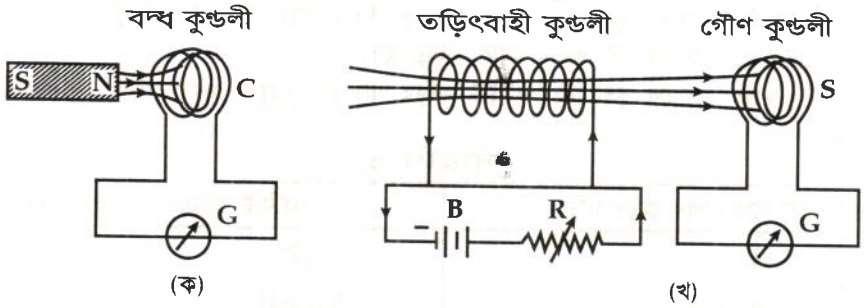
একটি চুম্বককে বাম হাতে ধরে রাখ, ডান হাতে একটি বন্ধ কুণ্ডলীকে চুম্বকের দিকে দ্রুত সরাও অথবা ডান হাতে বন্ধ কুণ্ডলীটিকে স্থির রেখে বাম হাতে রাখা চুম্বকটিকে কুণ্ডলীর দিকে সরিয়ে আন। আবার চুম্বক ও কুণ্ডলীকে একসাথে পরস্পরের কাছে আন এবং দূরে সরাও। উভয় ক্ষেত্রে কী ঘটবে বলতে পার ? দেখা যাবে যে, বন্ধ কুণ্ডলীটিতে

Made with Goodnotes

তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হবে। অর্থাৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের সাহায্যে বন্ধ বর্তনী বা কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন করা যায়। একটি বন্ধ কুণ্ডলী বা বর্তনী এবং একটি চুম্বকের গতির ফলে এরূপ ঘটে। গতিশীল চুম্বক বা তড়িৎ বর্তনী দ্বারা কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হওয়ার ঘটনাকে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ বলে।

অর্থাৎ **একটি গতিশীল চুম্বক কিংবা তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর প্রভাবে একটি বন্ধ তার কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি তথা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার পদ্ধতিকে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ বলে।** [MAT: 23-24]

বন্ধ তার কুণ্ডলীতে [চিত্র ৫·১ (ক)-এ C] বা গৌণ কুণ্ডলীতে [চিত্র ৫·১ (খ)-এ S] একটি গ্যালভানোমিটার স্থাপন করলে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব বুঝা যাবে। যদি তড়িৎবাহী কুণ্ডলী কিংবা চুম্বক NS স্থির থাকে তবে বন্ধ কুণ্ডলী C বা S-এ কোনো তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে না। বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করতে হলে চুম্বক কিংবা তড়িৎবাহী কুণ্ডলী



চিত্র ৫·১

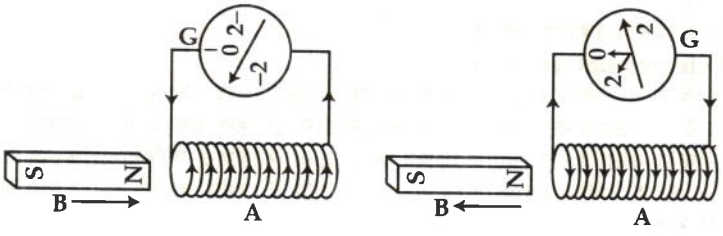
এবং বন্ধ কুণ্ডলীর মধ্যে একটি **আপেক্ষিক গতি** বজায় রাখতে হবে। ফলে বন্ধ কুণ্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটবে এবং তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে। এভাবে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে **আবিষ্ট তড়িচ্চালক** শক্তি (Induced electromotive force) এবং ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে **আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ** (Induced current) বলে। কাজেই **কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ-চৌম্বক আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।** তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে **মুখ্য কুণ্ডলী** (Primary coil) বলে। যে তারের কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়, তাকে **গৌণ কুণ্ডলী** (Secondary coil) বলে। মনে রাখতে হবে যে, এ ক্ষেত্রে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে চুম্বকের বা মুখ্য কুণ্ডলীর কোনো সরাসরি সংযোগ থাকে না।

উল্লেখ্য, **তড়িৎবাহী কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা অসম হলে বন্ধ কুণ্ডলী ও তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি না থাকলেও বন্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি দেখা দিবে।**

জানার বিষয় : I. বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কার করেন ওয়েরস্টেড।
II. তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ আবিষ্কার করেন ফ্যারাডে।

৫·২ চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎশক্তি উৎপাদন
Production of electricity by a magnet

আমরা আগেই জেনেছি চুম্বক এবং কুণ্ডলীর পারস্পরিক গতির ফলে তড়িৎশক্তি উৎপন্ন হয়। বিজ্ঞানী ফ্যারাডে অবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপাদন নিম্নের পরীক্ষার সাহায্যে সর্বপ্রথম উপস্থাপন করেন।



চিত্র ৫·২

মনে কর NS একটি দণ্ড চুম্বক, A একটি বহুপাকবিশিষ্ট বন্ধ তার কুণ্ডলী যার সাথে গ্যালভানোমিটার G যুক্ত আছে [চিত্র ৫·২]। গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ দেখে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব বুঝা যায়। সূক্ষ্ম অন্তরীত

Made with Goodnotes

তার দিয়ে কুণ্ডলী তৈরি। এবার চুম্বকের উত্তর মেরুকে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর প্রান্তের দিকে নিয়ে গেলে দেখা যাবে যে, গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষিপ্ত হচ্ছে [চিত্র ৫·২ (ক)]। সুতরাং বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়। ওই একই মেরুকে কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিয়ে গেলেও গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয় [চিত্র ৫·২(খ)]।

চুম্বককে থামালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা 0-তে স্থিরাবস্থায় ফিরে আসবে। সুতরাং প্রমাণিত হয় যে, **যতক্ষণ চুম্বক এবং কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকে ততক্ষণই আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ চলে এবং তড়িৎ শক্তির উৎপাদন হয়।**

চুম্বককে দ্রুত বন্ধ কুণ্ডলী হতে দূরে আনলে কিংবা দ্রুত কুণ্ডলীর দিকে আনলে তড়িৎ প্রবাহ তীব্র হয়। **আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা চুম্বক এবং কুণ্ডলীর আপেক্ষিক বেগের ওপর নির্ভর করে।**

চুম্বকের উত্তর মেরুর পরিবর্তে দক্ষিণ মেরু দ্বারা উপরোক্ত পদ্ধতিসমূহ পুনরাবৃত্তি করলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ প্রত্যেক ক্ষেত্রে উল্টে যাবে। চুম্বককে স্থির রেখে কুণ্ডলীকে ধীরে ধীরে কিংবা দ্রুত চুম্বকের দিকে কিংবা চুম্বক হতে দূরে সরালে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

চুম্বকের দিক হতে তাকালে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ অভিমুখে যেরূপ দেখা যাবে তা নিম্নলিখিত সারণিতে লিপিবদ্ধ করা হলো।

সারণি ১

কুণ্ডলী সাপেক্ষে চুম্বক মেরুর গতি	আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ
N-মেরু নিকটে আনলে	বামাবর্তী
N-মেরু দূরে সরিয়ে নিলে	দক্ষিণাবর্তী
S-মেরু নিকটে আনলে	দক্ষিণাবর্তী
S-মেরু দূরে সরিয়ে নিলে	বামাবর্তী

কাজ : ওপরের পরীক্ষা থেকে উপলব্ধি করে বল কী কী বিষয়ের পরিবর্তনে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়?

(i) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল এবং পাক সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। [MAT: 18-19]

(ii) ব্যবহৃত চুম্বকের মেরুশক্তি বাড়লে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(iii) চুম্বক ও কুণ্ডলীর আপেক্ষিক গতি বৃদ্ধি করলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(iv) কুণ্ডলীর অভ্যন্তরে কাঁচা লোহার মজ্জা থাকলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

হাতে কলমে করে দেখ : একটি ধাতব তারের কুণ্ডলী একটি অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থির অবস্থায় আছে। কুণ্ডলীতে কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে কি?

কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে। তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের নিয়ম অনুযায়ী কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র অসম হওয়ায়, ক্ষেত্রের চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন করে। এরূপ পরিবর্তিত চৌম্বক প্রবাহে তার কুণ্ডলী স্থির অবস্থায় থাকায় কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে।

৫·৩ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল

Induced electromotive force

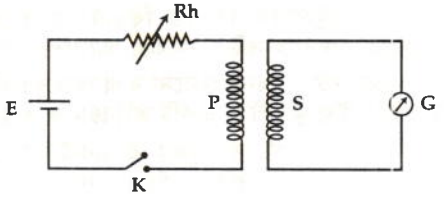
চৌম্বক ক্ষেত্রে কীভাবে একটি বন্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় তা আমারা জেনেছি। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিতিই প্রমাণ করে যে, এতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়েছে। কুণ্ডলীটি বন্ধ না হয়ে এর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে কিছুটা ফাঁক অর্থাৎ ছোট বায়ুছেদ (air gap) থাকলেও আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অস্তিত্ব বজায় থাকে। কিন্তু উহা তড়িৎ প্রবাহ চালনা করতে পারে না। এখন আমরা দেখব আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলতে আমরা কী বুঝি ?

তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ফলে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল (Induced electromotive force) এবং ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ (Induced current) বলে। কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।

Made with Goodnotes

পরীক্ষণ : তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন করতে পরীক্ষণটি কর। একটি ব্যাটারি পরিবর্তনশীল রোধ এবং চাবি এবং একটি কুণ্ডলীকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে একটি বন্ধ বর্তনী তৈরি কর।
আবার অন্য একটি কুণ্ডলীকে একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করে আর একটি বন্ধ বর্তনী তৈরি কর। এবার বর্তনী দুটি পাশাপাশি এমনভাবে স্থাপন কর যাতে কুণ্ডলী দুটি খুব কাছাকাছি অবস্থান করে অথচ পরস্পরকে স্পর্শ করে না [চিত্র ৫·৩]। এক্ষেত্রে উল্লিখিত P কুণ্ডলীকে মুখ্য কুণ্ডলী এবং S কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলী বলে।

K সুইচটি ঘন ঘন অফ-অন করলে P এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালু এবং বন্ধ হতে থাকবে এবং গ্যালভানোমিটারের দিকে তাকালে দেখা যাবে যে, গ্যালভানোমিটারের কাঁটাটি বিক্ষিপ্ত হচ্ছে। আবার সুইচ অন বা অফ করে S কুণ্ডলীযুক্ত বর্তনীকে দূর থেকে P কুণ্ডলীর দিকে অথবা কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিলেও গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা যায়। এক্ষেত্রে উৎপন্ন এই তড়িৎ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের জন্য সৃষ্টি হয়।



চিত্র ৫·৩

আবার সুইচ অফ করলে বা কুণ্ডলীযুক্ত বর্তনীকে স্থির রেখে দিলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ দেখা যাবে না। এক্ষেত্রে কোনো তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হবে না।

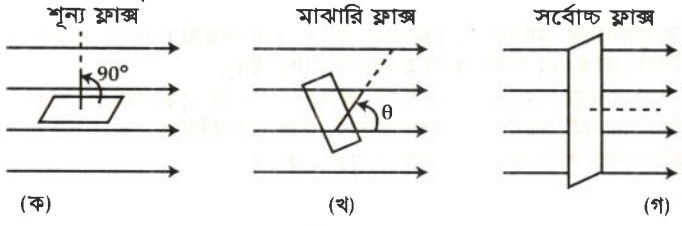
৫·৩·১ চৌম্বক ফ্লাক্স ও চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব
Magnetic flux and magnetic flux density

RMDAC

চৌম্বক ফ্লাক্স বা চৌম্বক প্রবাহ

কোনো স্থানে একটি চুম্বককে রেখে দিলে বা একটি তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে তার চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এই চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো স্থানে একটি তারের কুণ্ডলী বা লুপ স্থাপন করা হলে কয়েকটি ক্ষেত্ররেখা এই কুণ্ডলীকে অতিক্রম করবে। **কুণ্ডলীকে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যাকে ওই কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স বলে।** অন্যভাবে **কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ওই তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ওই তলের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স বলে।** কোনো তলের ক্ষেত্রফল A এবং ওই তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্র B হলে চৌম্বক ফ্লাক্স $\phi = AB$। ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা তথা চৌম্বক ফ্লাক্সের মান নির্ভর করে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, B কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল, A এবং চৌম্বক ক্ষেত্রে কুণ্ডলীর অবস্থানের ওপর।

যখন কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল হয় তখন কুণ্ডলী দিয়ে কোনো ক্ষেত্ররেখা অতিক্রম করে না এবং কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স শূন্য হয় [চিত্র ৫·৪(ক)]।



চিত্র ৫·৪

এখন কুণ্ডলীটিকে যদি এমনভাবে ঘোরানো হয় যে, চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে কুণ্ডলী তলের উৎপন্ন কোণ বাড়তে থাকে, তখন কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সও বাড়তে থাকে [চিত্র ৫·৪(খ)]। আর যদি কুণ্ডলী তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে থাকে তাহলে সর্বোচ্চ সংখ্যক ক্ষেত্ররেখা কুণ্ডলীকে অতিক্রম করে ফলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বোচ্চ হয় [চিত্র ৫·৪(গ)]।

চৌম্বক ফ্লাক্স একটি স্কেলার রাশি। এর একক টেসলা-মিটার^2 (Tm^2) বা ওয়েবার (Wb)। পূর্বের একক maxwell বা gauss cm^2, 1 maxwell = 1 gauss $cm^2 = 10^{-8}$ Wb। এর মাত্রা সমীকরণ $[ML^2T^{-2}I^{-2}]$

কোনো কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স 12 Wb বলতে বুঝায় ঐ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল 1 m^2 হলে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর চৌম্বকক্ষেত্রের উপাংশ হবে 12T.

চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব

কোনো বিন্দুর চারপাশে একক ক্ষেত্রফল দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ফ্লাক্সকে ওই বিন্দুতে ওই তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে।

A ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে যদি অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স ϕ হয়, তাহলে ওই তলের লম্ব বরাবর

$$\text{চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব} = \frac{\phi}{A} = \frac{AB}{A} = B$$

Made with Goodnotes

দেখা যাচ্ছে যে, কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব এবং চৌম্বক ক্ষেত্র একই। এজন্য চৌম্বক ক্ষেত্রকে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে। চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্বের একক ওয়েবার/মিটার^2 (Wbm^{-2}) বা টেসলা (T)।

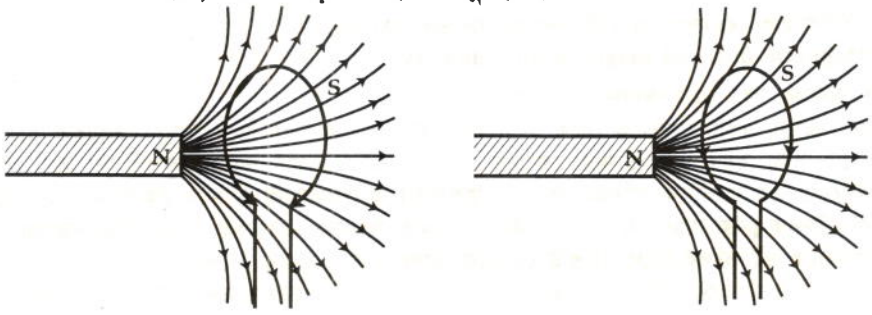
1 ওয়েবার : কোনো কুণ্ডলীর সঙ্গে যুক্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের বা চৌম্বক প্রবাহের প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ পরিবর্তন ঘটলে উক্ত কুণ্ডলীতে 1 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাকে **1 ওয়েবার** বলে। $1\ Wb = 1V \times 1\ s$

৫·৪ ফ্যারাডের তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলি
Faraday's laws of electro-magnetic induction

1831 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী ফ্যারাডে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের **দুটি** সূত্র আবিষ্কার করেন। তাঁর নামানুসারে এদেরকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে **ফ্যারাডের সূত্র** বলে। সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো—

প্রথম সূত্র : যখনই কোনো বন্ধ তার কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন ঘটে তখনই উক্ত কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়।

ব্যাখ্যা : একটি দণ্ড চুম্বক বা একটি তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলী [চিত্র ৫·৫ (ক) ও ৫·৫(খ)] এবং একটি বন্ধ গৌণ তার কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিত গতি থাকলে অথবা একটি গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে একটি তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলী রেখে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন করলে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যার পরিবর্তন ঘটে এবং এর ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। সময়ের সাথে তার কুণ্ডলীতে সংযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যার পরিবর্তন না হলে, আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহও উৎপন্ন হয় না।



(ক) কোনো এক সময় কুণ্ডলীতে আবদ্ধ ফ্লাক্স = φ_1

(খ) t সময় পরে কুণ্ডলীতে আবদ্ধ ফ্লাক্স = φ_2

চিত্র ৫·৫

দ্বিতীয় সূত্র : তার কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান সময়ের সাথে কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো মুহূর্তে কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিমাণ = φ_1। ধরি t সময় পর ওই কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিমাণ = φ_2 [চিত্র ৫·৫]।

যদি E আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি হয়, তবে দ্বিতীয় সূত্র হতে পাই,

$$E \propto \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.1)$$

যদি $\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi$ হয়, তবে $E \propto \frac{\varphi}{t}$

বা, $E = K\frac{\varphi}{t}$ ... ... (5.2)

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক যার মান পরিমাপের এককের ওপর নির্ভর করে। যদি φ ওয়েবারে, সময় t সেকেন্ডে এবং আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি E ভোল্টে অর্থাৎ প্রাকৃতিক রাশিগুলো এস. আই. এককে প্রকাশ করা হয়, তবে $K = 1$

$\therefore$ সমীকরণ (5.2) হতে পাই, $E = \frac{\varphi}{t}$ ... ... (5.3)

ক্যালকুলাসের সাহায্যে এই সূত্রকে প্রকাশ করা যায়। যদি dt সময়ে ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন $d\varphi$ হয়, তবে

$$E = \frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.4)$$

যদি কুণ্ডলীতে N সংখ্যক পাক থাকে, তবে

$$E = \frac{d}{dt}(N\varphi) = N\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.5)$$

ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রের গাণিতিক রূপ দেন নিউম্যান। তাই এটি **নিউম্যান-এর সূত্র (Newmann's law)** নামেও পরিচিত।

Made with Goodnotes

গাণিতিক উদাহরণ ৫.১

১। একটি কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 100। একে একটি চুম্বকের নিকট হতে 0·04 s-এ সরিয়ে প্রতিটি পাকের চৌম্বক ফ্লাক্স 30×10^{-5} Wb হতে 2×10^{-5} Wb-এ পরিণত করা হয়। কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০০]

আমরা জানি,

$$E = \frac{d}{dt}(N\varphi_B) = N\frac{d}{dt}(\varphi_B)$$

$$E = \frac{100 \times (30 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5})}{0{\cdot}04}$$

$$= \frac{100 \times 28 \times 10^{-5}}{0{\cdot}04}$$

$$= 0{\cdot}7 \text{ Volt}$$

এখানে,

$N = 100$

$dt = 0{\cdot}04$ s

$d\varphi_B = (30 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5})$ Wb

$E = ?$

২। 100 পাক সংখ্যা এবং 20 cm ব্যাসবিশিষ্ট একটি তার কুণ্ডলীকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে এরূপভাবে রাখা হলো যে, কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য 5×10^{-2} s-এ সুষমভাবে 0·1 T হতে 0·3 T তে পরিবর্তিত হলো। এতে তার কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হবে ?

কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফল, $A = \pi r^2 = \pi(0{\cdot}1)^2 \text{ m}^2$

মোট ফ্লাক্স পরিবর্তন, $d\varphi = nA(B_2 - B_1)$

$$= 100 \times \pi \times (0{\cdot}1)^2 \times (0{\cdot}3 - 0{\cdot}1) \text{ W}$$

$\therefore$ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, $\varepsilon = \dfrac{\text{ফ্লাক্স পরিবর্তন}}{\text{সময়}} = \dfrac{d\varphi}{dt}$

$$= \frac{100 \times \pi \times (0{\cdot}1)^2 \times 0{\cdot}2}{5 \times 10^{-2}}$$

$$= 12{\cdot}57 \text{ V}$$

এখানে,

পাক সংখ্যা, $n = 100$

ব্যাসার্ধ, $r = \dfrac{\text{ব্যাস}}{2} = \dfrac{20 \text{ cm}}{2}$

$$= \frac{0{\cdot}2 \text{ m}}{2} = 0{\cdot}1 \text{ m}$$

সময়, $dt = 5 \times 10^{-2}$ s

$B_1 = 0{\cdot}1$ T

$B_2 = 0{\cdot}3$ T

$\varepsilon = ?$

৩। একটি সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 40 cm, ব্যাসার্ধ 4 cm এবং পাক সংখ্যা 400। এতে 5A প্রবাহমাত্রা চলছে। একটি সুইচের সাহায্যে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা 10^{-2} sec সময়ে শূন্য করা হলে খোলা সুইচের দুই প্রান্তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল কত হবে ? [$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb $A^{-1}m^{-1}$]

আমরা জানি, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল,

$$e = N\frac{d\varphi}{dt}$$

আবার, $\varphi = BA = \mu_0 niA$

$\therefore$ $e = N\dfrac{d}{dt}(\mu_0 niA)$

$$= \mu_0 NnA\frac{di}{dt} = \mu_0 N\frac{N}{l}A\frac{di}{dt}$$

$$= \mu_0\frac{N^2}{l}A\frac{di}{dt} = \mu_0\frac{N^2}{l}\pi r^2\frac{di}{dt}$$

$\therefore$ $e = 4\pi \times 10^{-7} \times \dfrac{(400)^2}{0{\cdot}4} \times 3{\cdot}14 \times (0{\cdot}04)^2 \times \dfrac{5}{10^{-2}}$

$$= 4 \times 3{\cdot}14 \times 10^{-7} \times \frac{16 \times 10^4}{0{\cdot}4} \times 3{\cdot}14 \times 16 \times 10^{-4} \times \frac{5}{10^{-2}}$$

$$= 1{\cdot}26 \text{ V}$$

এখানে,

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

$N = 400$

$l = 40 \text{ cm} = 0{\cdot}4 \text{ m}$

$r = 4 \text{ cm} = 0{\cdot}04 \text{ m}$

$di = 5A$

$dt = 10^{-2}$ sec

$e = ?$

Made with Goodnotes

৪। 100 পাকের একটি সংবদ্ধ তার কুণ্ডলীর ব্যাস 0·2 m। একে একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলো। তার কুণ্ডলীর আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান — 12·56 V। চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $5·0 \times 10^{-2}$ s এ সুষম হারে পরিবর্তিত হয়। চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের পরিবর্তন হিসাব কর। [BUET Admission Test, 2015–16]

$$E = -N\frac{d\phi}{dt} = -N\frac{d}{dt}(AB)$$

$$= -NA\frac{dB}{dt}$$

$$\therefore \quad dB = -\frac{E\,dt}{NA} = \frac{-12·56 \times 5 \times 10^{-2}}{100 \times 3·14 \times (0·1)^2}$$

$$= 0·2 \text{ T}$$

এখানে,

$N = 100$

$d = 0·2$ m

$r = \frac{0·2}{2} = 0·1$ m

$E = 12·56$ V

$dt = 5·0 \times 10^{-2}$ s

৫। 2000 পাক এবং 500 cm^2 গড় ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি তার কুণ্ডলী 0·4 gauss প্রাবল্যবিশিষ্ট একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে লম্বভাবে রাখা আছে। তার কুণ্ডলীটি $\frac{1}{5}$ সেকেন্ডে 180° ঘুরানো হলো। এতে কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বলের আবেশ ঘটবে? [RUET Admission Test, 2015-16]

আমরা জানি,

$$E = N\frac{d\varphi}{dt}$$

এবং $d\phi = AB\cos(0° - 180°)$

$$= AB(1 + 1) = 2BA$$

$$= 2 \times 500 \times 10^{-4} \times 0·4 \times 10^{-4}$$

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

$$\therefore \quad E = 2000 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{\frac{1}{5}}$$

$$= 2000 \times 4 \times 10^{-6} \times 5$$

$$= 4 \times 10^{-2} = 0·04 \text{ V}$$

এখানে,

$N = 2000$

$A = 500 \text{ cm}^2 = 500 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$B = 0·4 \text{ gauss} = 0·4 \times 10^{-4}$ T

$(\because 1 \text{ T} = 10^4 \text{ gauss})$

$t = \frac{1}{5}$ sec

$d\theta = \theta_1 - \theta_2 = 0° - 180°$

৬। 250 পাক সংখ্যা ও 10 cm ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি তার কুণ্ডলী একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে এমনভাবে স্থাপন করা হলো যে কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে অভিলম্ব। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য 30 ms-এ সুষমভাবে 0·1 T থেকে 0·6 T-তে পরিবর্তিত হলো। এতে তার কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ?

কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল,

$$A = \pi r^2 = \pi(0·1)^2$$

$\therefore$ কুণ্ডলীর মধ্যে দিয়ে মোট ফ্লাক্সের পরিবর্তন,

$$d\phi = nA(B_2 - B_1)$$

$$= 250 \times \pi \times (0·1)^2 \times (0·6 - 0·1) \text{ Wb}$$

$\therefore$ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল,

$$e = \frac{d\phi}{dt} = \frac{250 \times \pi \times (0·1)^2 \times (0·5)}{30 \times 10^{-3}} = 130·83 \text{ volt}$$

এখানে,

$n = 250$

$r = 10 \text{ cm} = 0·1$ m

$B_2 = 0·6$ T

$B_1 = 0·1$ T

$t = 30 \text{ ms} = 30 \times 10^{-3}$ s

৭। একটি বিমানের ডানার বিস্তার 25 m এবং বিমানটি 900 kmh^{-1} বেগে অনুভূমিকভাবে উড়ে যাচ্ছে। ওই অঞ্চলে ভূচৌম্বক প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশ 0·50 Oe হলে ডানার দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত ?

আমরা জানি, উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল,

$$e = Blv$$

$$\therefore \quad e = 0·50 \times 10^{-4} \times 25 \times \frac{900 \times 1000}{3600}$$

$$= \frac{0·50 \times 10^{-4} \times 25 \times 9 \times 10^2}{3·6}$$

$$= 0·3125 \text{ volt}$$

এখানে,

$l = 25$ m

$B = 0·50\text{Oe} = 0·50 \times 10^{-4}$ T

$v = 900 \text{ kmh}^{-1} = \frac{900 \times 1000}{3600} \text{ ms}^{-1}$

Made with Goodnotes

৮। 100 Ω রোধ এবং 200 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলী 0·8 mWb শক্তি সম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত। এটি একটি 500Ω রোধবিশিষ্ট গ্যালভানোমিটারের সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত। যদি 0·1 s-এ কুণ্ডলীকে বর্তমান চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে 0·1 mWb শক্তির চৌম্বক ক্ষেত্রে নিয়ে যাওয়া হয়, তাহলে গড় তড়িচ্চালক বল ও প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

কুণ্ডলীর প্রতি পাকে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন,

$d\varphi = (0{\cdot}8 - 0{\cdot}1)\ \text{mWb} = 0{\cdot}7 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$

∴ 200 পাকের কুণ্ডলীতে মোট ফ্লাক্স পরিবর্তন,

$= nd\varphi = 200 \times 0{\cdot}7 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$

আমরা জানি, গড় তড়িচ্চালক বলের মান,

$$e = \frac{nd\varphi}{dt} = \frac{200 \times 0{\cdot}7 \times 10^{-3}}{0{\cdot}1}$$

$= 1{\cdot}4$ volt

এখন, বর্তনীর মোট রোধ $= 100 + 500 = 600\ \Omega$

সুতরাং আবিষ্ট প্রবাহমাত্রা, $i = \frac{e}{R} = \frac{1{\cdot}4}{600} = 2{\cdot}33 \times 10^{-3}$ A

এখানে,

$dt = 0{\cdot}1$ s
$R_G = 500\Omega$
$R = 100\Omega$
$n = 200$
$B_2 = 0{\cdot}8$ m Wb
$B_1 = 0{\cdot}1$ m Wb

৯। একটি কুণ্ডলীর তলের সাথে লম্বভাবে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের ভিন্নতার মাত্রা $\phi(t) = (3t^3 + 4t^2 + 2t - 5)$ Wb রূপে প্রকাশ করা যায়। যদি কুণ্ডলীর রোধের মান 5 Ω হয় তা হলে $t = 4$ s সময়ে কুণ্ডলীর আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2019-20]

আমরা জানি,

$$E = -\frac{d\phi}{dt}$$

এখানে, $\phi = 3t^3 + 4t^2 + 2t - 5$

$$\therefore \frac{d\phi}{dt} = 9t^2 + 8t + 2$$

$$\therefore E = -9 \times (4)^2 + 8 \times (4) + 2$$
$$= -(144 + 32 + 2)$$
$$= -178\text{V}$$

আবার, $E = IR$ বা, $I = \frac{E}{R} = \frac{178}{5} = 35{\cdot}6$ A

এখানে,

$t = 4$ sec
$R = 5\ \Omega$

৫·৫ লেন্‌জ-এর সূত্র
Lenz's law

কোনো কুণ্ডলীতে কখন কীভাবে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তা ফ্যারাডের সূত্র হতে আমরা জেনেছি যা ফ্যারাডের তড়িৎচুম্বক আবেশ সূত্র নামে পরিচিত। তবে বিজ্ঞানী **লেন্‌জ** তড়িচ্চালক বলের ফলে সৃষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ কোন দিকে হবে সে সম্পর্কে সূত্র প্রদান করেন এবং যথাযথ ব্যাখ্যা দেন। এই সূত্রকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের দিকের ক্ষেত্রে লেন্‌জ-এর সূত্র বলা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ—

সূত্র : যেকোনো তড়িৎ চৌম্বক আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের দিক এমন হয় যে, তা সৃষ্টি হওয়ামাত্রই যে কারণে সৃষ্টি হয় সেই কারণকেই বাধা দেয়।

সমীকরণ (5.3) ও (5.5)-এ একটি ঋণাত্মক চিহ্ন বসিয়ে এই বিরোধিতা বা বাধা নির্দেশ করা হয়। অর্থাৎ $E = -N\frac{d\phi}{dt}$ হয়। লেঞ্জের সূত্র থেকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ও প্রবাহের দিক জানা যায়।

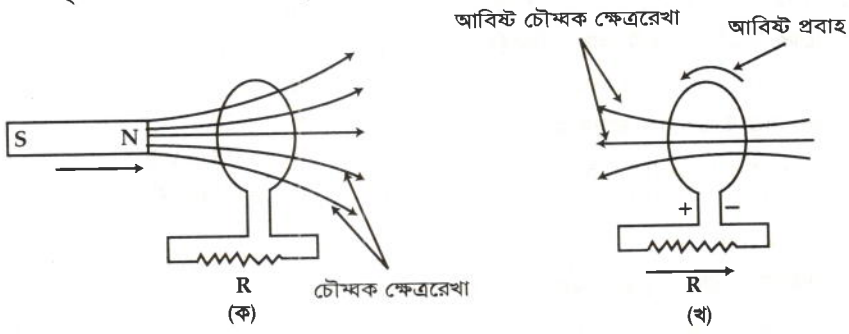
ব্যাখ্যা : নিম্নের উদাহরণ দিয়ে লেন্‌জের সূত্র ব্যাখ্যা করা হলো।

(১) মনে করি একটি দণ্ড চুম্বক NS-এর উত্তর মেরু N-কে একটি তার কুণ্ডলীর দিকে আনা হচ্ছে [চিত্র ৫·৬ (ক)]। কুণ্ডলীর সঙ্গে বহিস্থ বর্তনীতে একটি রোধ R সংযোগ দেওয়া হয়েছে।

দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর যত সন্নিকটে আনা হবে, কুণ্ডলীতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান তত বৃদ্ধি পাবে। এর ফলে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যাও বৃদ্ধি পাবে। এখন লেন্‌জের সূত্র অনুসারে কুণ্ডলীতে

Made with Goodnotes

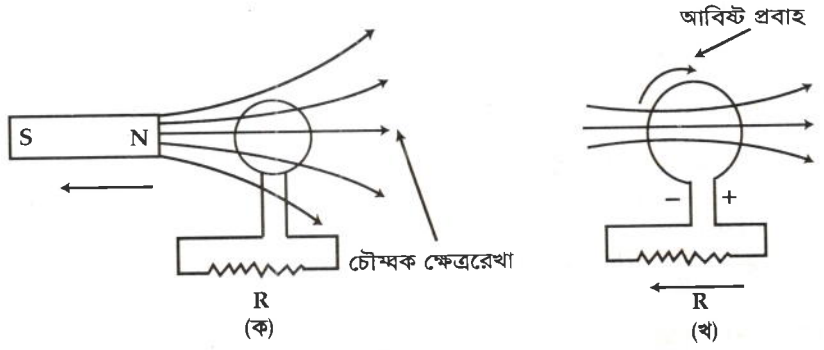
আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন প্রতিরোধ করবে। চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন প্রতিরোধ করার জন্য আবিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ অবশ্যই দন্ড চুম্বকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বিপরীত হবে। চিত্রে যেহেতু দন্ড চুম্বকের ক্ষেত্ররেখা বাম থেকে ডানে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রম করছে; সুতরাং আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে ডান থেকে বামে অতিক্রম করবে [চিত্র ৫·৬ (খ)]। এ



চিত্র ৫·৬

ধরনের আবিষ্ট ক্ষেত্র সৃষ্টির জন্য কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ (ডান হস্ত নিয়ম অনুসারে) অবশ্যই বামাবর্তী (counter clockwise) হতে হবে। কুণ্ডলীটি একটি ব্যাটারির ন্যায় তড়িচ্চালক শক্তির উৎস হিসেবে কাজ করবে। তড়িচ্চালক শক্তির ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রান্ত চিত্রের অনুরূপ হবে।

চুম্বক দন্ডটি কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নেয়া হলে বিপরীত ঘটনা ঘটবে। অর্থাৎ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা ফ্লাক্সের হ্রাস ঘটবে [চিত্র ৫·৭ (ক)]। লেন্‌জের সূত্র অনুসারে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের



চিত্র ৫·৭

জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ এমন হবে যেন ফ্লাক্সের হ্রাসকে বাধা দেয়। আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এক্ষেত্রে দক্ষিণাবর্তী (clockwise) হবে [চিত্র ৫·৭ (খ)]।

অতএব, ফ্যারাডে ও লেনজ্-এর সূত্রের সমন্বয় করে আমরা পাই,

$$E = -\varphi/t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.6)$$

বা, $$E = -\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.7)$$

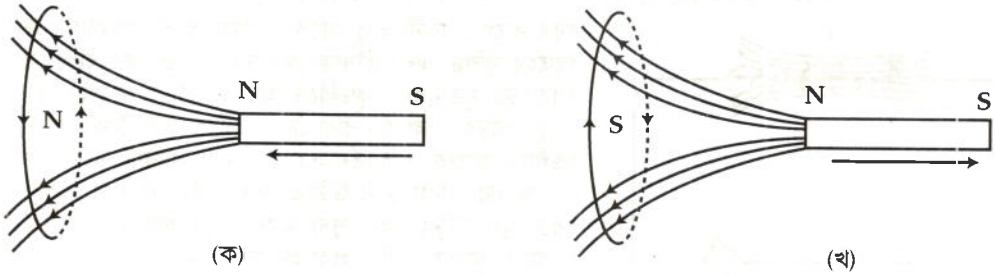
এখানে ঋণাত্মক চিহ্ন E এবং φ/t বা $\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)$ পরস্পরের বিপরীত অভিমুখে ক্রিয়া করে বুঝায়।

৫·৬ লেনজ-এর সূত্র ও শক্তির নিত্যতা সূত্র
Lenz's law and principle of conservation of energy

মনে করি একটি দন্ড চুম্বক NS-এর উত্তর মেরু N-কে একটি তার কুণ্ডলীর দিকে আনা হচ্ছে। ফলে ওই মেরুর সম্মুখের কুণ্ডলীর তলটি সমমেরুর ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ বিকর্ষণ বল দ্বারা ওই আবেশী মেরুর অগ্রসরে বাধা দেয়। আবার আবেশী মেরুকে দূরে সরালে আবিষ্ট প্রবাহ বিপরীত দিকে চলে, ফলে কুণ্ডলীর নিকট তল বিপরীত মেরুর ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ আবেশী মেরুর ওপর আকর্ষণ দ্বারা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর হ্রাসের বিরোধিতা করে।

Made with Goodnotes

প্রথম ক্ষেত্রে দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসরমান হওয়ায় [চিত্র ৫·৮ (ক)], কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্সের বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে দণ্ড চুম্বকটি পশ্চাদগামী হওয়ায় [চিত্র ৫·৮ (খ)]



চিত্র ৫·৮

কুণ্ডলী থেকে দূরে সরে যায়, ফলে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত আবেশ রেখা বা ক্ষেত্র রেখার সংখ্যা কমতে থাকে। উভয় ক্ষেত্রেই কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক এমন হয় যে কুণ্ডলীর অগ্রগমন এবং প্রত্যাগমনকে বাধা প্রদান করে। দণ্ড চুম্বকটি স্থির রেখে কুণ্ডলীটি চুম্বকের কাছে বা দূরে সরালেও অনুরূপ ঘটনা ঘটবে। অর্থাৎ দণ্ড চুম্বক বা কুণ্ডলীর যে কোনোটিতে আপেক্ষিক গতির সৃষ্টি হলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে।

আমরা জানি, কোনো কুণ্ডলী বা বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করার জন্য তড়িৎ শক্তির উৎস (যেমন তড়িৎ কোষ) প্রয়োজন। অথচ এক্ষেত্রে কুণ্ডলীর সঙ্গে কোনো তড়িৎ উৎসের সংযোগ নাই; তথাপি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়েছে। এ থেকে আপাত মনে হওয়া স্বাভাবিক যে কোনো শক্তি ব্যয় না করেই কুণ্ডলীতে তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি হয়েছে। এটা শক্তির নিত্যতা সূত্রের সম্পূর্ণ পরিপন্থী। কিন্তু শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুসারে শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ হয় না। শুধু রূপান্তর হয় মাত্র। একটু লক্ষ করলেই বোঝা যাবে যে এটি শক্তির নিত্যতা সূত্রের পরিপন্থী নয়। কেননা দণ্ড চুম্বকটি যখন কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর হয় তখন কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ উদ্ভবের ফলে কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে সমমেরু সৃষ্টি হয় যা বিকর্ষণ বলের কারণে কুণ্ডলীর অগ্রসরকে বাধা দেয়। আবার চুম্বকের N-মেরু কুণ্ডলী থেকে প্রত্যাগমনের সময় কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে বিপরীত দক্ষিণ মেরুর উদ্ভব হওয়ায় কুণ্ডলী ও চুম্বকের মধ্যে আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। সুতরাং, অগ্রগমনের সময় বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে এবং প্রত্যাগমনের সময় আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হয়। এ কাজ করার জন্য যান্ত্রিক শক্তির প্রয়োজন হয় যা রূপান্তরিত হয়ে কুণ্ডলীতে তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি করে। ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। সুতরাং, দেখা যাচ্ছে, **তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে লেনৃজ-এর সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্র মেনে চলে।**

কাজ : লেনজ-এর সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুসরণ করে—ব্যাখ্যা কর।

তড়িত চৌম্বক আবেশের ফলে আমরা দেখতে পাই যে, কোনো বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তির উৎস ছাড়াই তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হচ্ছে। আপাতদৃষ্টিতে এটি শক্তির নিত্যতার ব্যতিক্রম বলে মনে হয়। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তড়িৎ চৌম্বক আবেশে শক্তির নিত্যতা সূত্র বিরোধী কোনো ঘটনা ঘটে না। লেঞ্জের সূত্র থেকে আমরা জানি, কোনো কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এর সৃষ্টির কারণকেই বাধা দেয়। কোনো কুণ্ডলী ও চুম্বকের মধ্যবর্তী আপেক্ষিক গতির জন্য কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের উদ্ভব হয় যা ওই আপেক্ষিক গতিকে বাধা দেয়। সুতরাং ওই গতি বজায় রাখার জন্য সর্বদা কিছু যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করতে হয়। এই যান্ত্রিক শক্তিই তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করে। সুতরাং তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া শক্তির নিত্যতা সূত্র মেনে চলে অর্থাৎ লেনৃজের সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুসরণ করে।

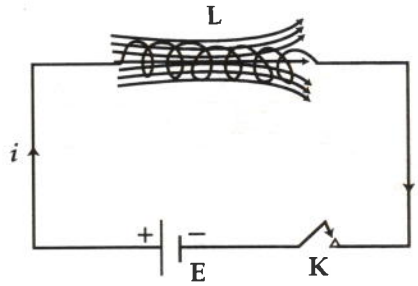
৫·৭ স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ
Self induction and mutual induction

৫·৭·১ স্বকীয় আবেশ
Self induction

যখন কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন ওই প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং কুণ্ডলী নিজে ওই চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সাথে জড়িত হয়ে পড়ে। কাজেই ওই কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন ঘটলে কুণ্ডলীর সাথে জড়িত বা কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখারও পরিবর্তন ঘটে এবং কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় যা মূল তড়িৎ প্রবাহের এই পরিবর্তনকে বাধা দেয়। একে **স্বকীয় আবেশ** বলে।

Made with Goodnotes

চিত্র ৫·৯-এ একটি কুণ্ডলী L, তড়িৎ কোষ E ও টেপা চাবি K দ্বারা একটি তড়িৎ বর্তনী দেখানো হয়েছে। টেপা চাবি চেপে ধরলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ শুরু হয় এবং নির্দিষ্ট স্থির মানে পৌঁছায়। এই স্থির মানে পৌঁছতে '0' হতে 't' সময় লাগে। বর্তনী চালু থেকে t সময় পর্যন্ত কুণ্ডলীর ভেতর তড়িৎ প্রবাহের বৃদ্ধির জন্য চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা ফ্লাক্সের বৃদ্ধি হয়, ফলে ফ্যারাডের সূত্রানুযায়ী কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়, যা মূল তড়িৎ প্রবাহকে বাধা দেয়। তড়িৎ প্রবাহ স্থির মানে পৌঁছালে কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয় না বিধায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ থাকে না। আবার, টেপা চাবি উঠিয়ে নিলে অর্থাৎ বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে মূল তড়িৎ প্রবাহ শূন্য মানে নেমে আসতে কিছু সময় লাগে। এ সময়ে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়, যা মূল প্রবাহ সমদিকে অর্থাৎ একই দিকে হওয়ায় মূল প্রবাহ হ্রাসে বাধা দেয়। উপরোক্ত ঘটনাকে **স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ** বলে।



চিত্র ৫·৯

অর্থাৎ **একটি মাত্র বন্ধ কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ফলে অথবা কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে বন্ধ কুণ্ডলীর গতির ফলে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে তাকে স্বকীয় আবেশ বলে।**

৫·৭·২ স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক
Coefficient of self induction or self inductance

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কোনো কুণ্ডলী দ্বারা আবদ্ধ অর্থাৎ কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ফ্লাক্স ওই কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের সমানুপাতিক।

মনে করি কোনো কুণ্ডলীতে i তড়িৎ প্রবাহের জন্য আবদ্ধ চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিমাণ φ

$\therefore$ আমরা পাই, $\varphi \propto i$

বা, $\varphi = Li$ ... ... (5.8)

এখানে L একটি ধ্রুবক। একে স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে। কুণ্ডলীর জ্যামিতিক গুণনীয়ক (geometrical factor) এবং মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতার ওপর এর মান নির্ভর করে।

এখন ভাষায় L-এর সংজ্ঞা দেয়া যাক।

যদি $i = 1$ (একক) হয়, তবে সমীকরণ (5.8) হতে পাই, $\varphi = L$

অতএব, **কোনো কুণ্ডলীর মধ্যে এক একক তড়িৎ প্রবাহ চললে তার মধ্যে যে পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্স অবস্থান করে তথা আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় তাকে ওই কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।**

আবার, ফ্যারাডের সূত্রানুসারে,

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.9)$$

$$\therefore \quad E = -\frac{d}{dt}(Li)$$

$$= -L\frac{di}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.10)$$

ঋণাত্মক চিহ্ন বুঝায় যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি সর্বদা প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনে বাধা প্রদান করে।

সমীকরণ (5.10) হতে L-এর সংজ্ঞা দেয়া যায়।

$$E = L\frac{di}{dt} \quad [\text{ ঋণ চিহ্ন অগ্রাহ্য করে }]$$

বা, $L = \frac{E}{di/dt}$ ... ... (5.11)

এখন $\frac{di}{dt} = 1$ হলে, $L = E$ ... ... (5.12)

অতএব **কোনো একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেন্ডে এক একক পরিবর্তিত হলে ওই কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হয় তাকে ওই কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।** [MAT: 17-18]

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক : স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. একক হেনরি (henry)। এর মাত্রা সমীকরণ $[MLT^{-2}I^{-2}]$

RMDAC
Made with Goodnotes

1 হেনরি : কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে এক অ্যাম্পিয়ার হিসেবে পরিবর্তিত হলে যদি ওই কুণ্ডলীতে এক ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় তবে কুণ্ডলীর আবেশ গুণাঙ্ককে 1 হেনরি বলে।

অতএব, সংজ্ঞানুসারে, 1 হেনরি $= \dfrac{1 \text{ ভোল্ট}}{1 \text{ অ্যাম্পিয়ার/সে.}}$

$$= 1 \frac{\text{ভোল্ট-সেকেণ্ড}}{\text{অ্যাম্পিয়ার}} \text{ (V-s/A)}$$

হেনরি একক খুব বড় মানের হওয়ায় মিলি-হেনরি ও মাইক্রো-হেনরি এককও ব্যবহার করা হয়।

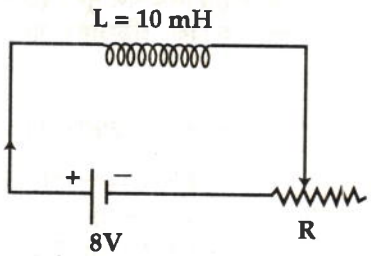
1 হেনরি = 10^3 মিলি-হেনরি = 10^6 মাইক্রো-হেনরি

1 মিলি-হেনরি = 10^{-3} হেনরি

1 মাইক্রো-হেনরি = 10^{-6} হেনরি।

অনুশীলনমূলক কাজ : চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে 8V ব্যাটারির সাথে 10 mH স্বাবেশাঙ্কের একটি আবেশক L এবং একটি পরিবর্তনশীল রোধ R যুক্ত আছে। ওই রোধের ভ্রাম্যমাণ তড়িৎ সংযোগ বিন্দুকে ডান দিকে সরালে রোধের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। চিত্রে যেভাবে দেখানো আছে, সেই অবস্থায় রোধ 16Ω। ওই মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহ 0·5A অপেক্ষা বেশি হবে, না কম হবে ?

ভ্রাম্যমাণ বিন্দুকে সরালে বর্তনীর প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হবে। তড়িৎচুম্বকীয় সূত্রানুসারে আবেশকে (inductor) তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তি হবে। প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের হার $\frac{di}{dt}$ হলে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $E = -L\frac{di}{dt}$। ফলে বর্তনীর নিট তড়িচ্চালক বল হবে $= (8V - L\frac{di}{dt})$ এবং ওই মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা $= \left(\frac{8V - L\frac{di}{dt}}{16\Omega}\right)$ ... ... (i)



তাই ভ্রাম্যমাণ সংযোগ বিন্দুকে ডান দিকে সরাতে থাকলে, বর্তনীর রোধ ক্রমশ বৃদ্ধি পাবে অথবা বর্তনীর প্রবাহমাত্রা ক্রমশ হ্রাস পাবে অর্থাৎ $\frac{di}{dt}$ ঋণাত্মক হবে। ফলে (i)নং সমীকরণে লব 8V অপেক্ষা বেশি হবে এবং ওই মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহামাত্রা $i = \frac{8V}{16\Omega} = 0{\cdot}5A$ অপেক্ষা বেশি হবে।

আবেশকের চৌম্বক ক্ষেত্রে সঞ্চিত শক্তি
Energy stored in the magnetic field of an inductor

আমরা জানি, একটি আবেশকে সময় পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ i-এর জন্য সৃষ্ট আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল (emf),

$e = -L\frac{di}{dt}$, এখানে L = কুণ্ডলীর আবেশ গুণাঙ্ক

আবেশকে বাধাদানকারী emf-এর বিরুদ্ধে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধির জন্য কিছু শক্তি কাজ হিসেবে ব্যয় করতে হয়। এই বাহ্যিক কাজ আবেশকের চৌম্বক ক্ষেত্রে চৌম্বক শক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকবে।

এখন ক্ষমতা অর্থাৎ কৃত কাজের হার $= ei = Li\frac{di}{dt}$ (ঋণাত্মক চিহ্ন বাদ দিয়ে)

সুতরাং, dt সময়ে কৃত কাজ $= eidt = Lidi$

আবেশকের মধ্য দিয়ে 0 থেকে I তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধির জন্য মোট কৃত কাজ,

$$W = L\int_0^I idi = L\left[\frac{i^2}{2}\right]_0^I = \frac{1}{2}LI^2$$

এই কৃত কাজ চৌম্বক ক্ষেত্রে সঞ্চিত শক্তি (E_L) হিসেবে থাকে। অর্থাৎ

$$E_L = \frac{1}{2}LI^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 5.12(a)$$

Made with Goodnotes

গাণিতিক উদাহরণ ৫.২

১। একটি কুণ্ডলীতে 1·015 s সময়ে তড়িৎ প্রবাহ 0·1A থেকে 0·5A-তে পরিবর্তিত হওয়ায় ওই কুণ্ডলীতে 10V তড়িৎ চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীটির স্বকীয় আবেশাঙ্ক নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০১১; কু. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৩; ঢা. বো. ২০০০]

আমরা জানি,

$$E = L\frac{di}{dt}$$

$$\therefore \quad 10 = L \times \frac{0{\cdot}4}{1{\cdot}015}$$

$$\therefore \quad L = \frac{10 \times 1{\cdot}015}{0{\cdot}4} = 25{\cdot}375 \text{ henry}$$

এখানে,

$E = 10$ V

$di = (0{\cdot}5A - 0{\cdot}1A) = 0{\cdot}4A$

$dt = 1{\cdot}015$ s

২। 100 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীতে 4A তড়িৎ প্রবাহ চালালে 0·02 Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

[য. বো. ২০০৫]

$$\varphi = Li$$

$$\text{বা,} \quad L = \frac{\varphi}{i}$$

$$= \frac{2}{4} = 0{\cdot}5 \text{ henry}$$

এখানে,

$N = 100$

$\therefore \quad \varphi = 100 \times 0{\cdot}02 \text{ Wb} = 2 \text{ Wb}$

$i = 4A$

$L = ?$

৩। একটি কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক 2mH। এর মধ্য তড়িৎ প্রবাহ, $I = t^2e^{-t}$ (এখানে t = সময়)। কত সময় পরে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল শূন্য হবে?

আমরা জানি আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল,

$$E = -L\frac{dI}{dt}$$

$$\therefore \quad \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt}(t^2e^{-t}) = 2te^{-t} - t^2e^{-t}$$

$$= e^{-t}(2t - t^2) = -e^{-t}t(t-2)$$

এখানে, $E = -Le^{-t}(t-2)$

সুতরাং যদি $E = 0$ তবে $t = 0$, বা 2

অতএব, শুরু থেকে 2s পরে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল শূন্য হবে।

এখানে,

$I = t^2e^{-t}$

৪। একটি কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 200 এবং রোধ 150Ω। এটি 5×10^{-3} Wb প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত এবং এর সঙ্গে 350Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত। যদি 0·1 s সময়ে কুণ্ডলীটিকে বর্তমান চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে $0{\cdot}4 \times 10^{-3}$ Wb প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে নিয়ে যাওয়া হয়, তবে কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল ও প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

আমরা জানি, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল,

$$e = n\frac{d\varphi}{dt}$$

এখানে,

$$d\varphi = (5 - 0{\cdot}4) \times 10^{-3}$$

$$= 4{\cdot}6 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\therefore \quad e = \frac{200 \times 4{\cdot}6 \times 10^{-3}}{0{\cdot}1} = 9{\cdot}2 \text{ V}$$

এখন, বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা,

$$i = \frac{e}{R} = \frac{e}{R_1 + R_2} = \frac{9{\cdot}2}{150 + 350}$$

$$= \frac{9{\cdot}2}{500} = 0{\cdot}0184 \text{ A} = 18{\cdot}4 \text{ mA}$$

এখানে,

$n = 200$

$R_1 = 150\Omega$

$B_1 = 5 \times 10^{-3}$ Wb

$B_2 = 0{\cdot}4 \times 10^{-3}$ Wb

$t = 0{\cdot}1$ sec.

$R_2 = 350\Omega$

RMDAC

কাজ : একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর একটি বেলনাকার দণ্ড চুম্বক রাখা আছে। চুম্বকটিকে উহার নিজ অক্ষের সাপেক্ষে ঘুরালে ওই কুণ্ডলীতে কোনো তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে কি ? যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।

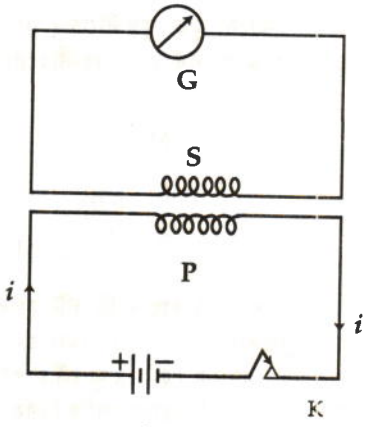
Made with Goodnotes

৫·৭·৩ পারস্পরিক আবেশ
Mutual induction

দুটি কুণ্ডলী পাশাপাশি অবস্থানে রেখে একটির ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটালে অপর কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় এবং দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। এ ঘটনাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

সংজ্ঞা : মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে, তাকে পারস্পরিক আবেশ বলে। সাধারণভাবে বলা যায় যে, **এক কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ফলে যদি নিকটবর্তী অপর বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে তবে ওই আবেশকে পারস্পরিক আবেশ বলে।**

ব্যাখ্যা : P ও S দুটি কুণ্ডলী বিবেচনা করা যাক। এদেরকে পরস্পরের খুব কাছাকাছি অবস্থানে রাখা হয়েছে। P কুণ্ডলীর সাথে একটি ব্যাটারি ও একটি টেপা চাবি সংযুক্ত রয়েছে [চিত্র ৫·১০]। একে মুখ্য কুণ্ডলী (Primary coil) বলে। S কুণ্ডলীর সঙ্গে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত রয়েছে। একে গৌণ কুণ্ডলী (Secondary coil) বলে। এখন টেপা চাবি চেপে মুখ্য কুণ্ডলী P-তে তড়িৎ সংযোগ স্থাপন করলে গৌণ কুণ্ডলী S-এর গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখাবে। চাবি ছেড়ে দিয়ে বর্তনী সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে গ্যালভানোমিটারে পুনরায় বিক্ষেপ দেখাবে। তবে এ বিক্ষেপ পূর্বের বিক্ষেপের বিপরীত দিকে হবে।



চিত্র ৫·১০

মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনী সংযোগ বিচ্ছিন্ন করার ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের কারণ নিম্নরূপ :

টেপা চাবি চেপে ধরলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে একটি নির্দিষ্ট মানে পৌঁছায়। তড়িৎ প্রবাহের এই পরিবর্তনের জন্য গৌণ কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে; ফলে ফ্যারাডের সূত্রানুসারে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় যার জন্য গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। গৌণ কুণ্ডলীতে এই আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য গ্যালভানোমিটার বিক্ষেপ দেখায়। টেপা চাবি ছেড়ে দিয়ে বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ নির্দিষ্ট স্থির মান থেকে কমে শূন্যে পৌঁছায়। এই সময়ে গৌণ কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে, ফলে তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হয়। এই তড়িচ্চালক শক্তির অভিমুখ পূর্বের তড়িচ্চালক শক্তির বিপরীতমুখী হওয়ায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহও বিপরীতমুখী হয়; ফলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপও বিপরীতমুখী হয়।

মনে রাখতে হবে, তড়িৎ প্রবাহের মান যখন স্থির কিংবা শূন্য থাকে তখন গ্যালভানোমিটার কোনো বিক্ষেপ দেখাবে না; কেননা তখন গৌণ কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

মনে করি, মুখ্য কুণ্ডলী P-তে i তড়িৎ প্রবাহের জন্য গৌণ কুণ্ডলী S [চিত্র ৫·১০] দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের মান φ।

আমরা জানি, $\varphi \propto i$ ... ... (5.13)

বা, $\varphi = Mi$ ... ... (5.14)

এখানে, M একটি ধ্রুবক, একে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

এখন ভাষায় এর সংজ্ঞা দেয়া যাক।

যদি $i = 1$ (একক) হয়, তবে সমীকরণ (5.14) হতে পাই, $\varphi = M$

অতএব, **কোনো কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহ চললে গৌণ কুণ্ডলীতে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স আবদ্ধ হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।**

আবার ফ্যারাডের সূত্র হতে পাই,

$$E = \frac{d\varphi}{dt} \quad [\text{ ঋণ চিহ্ন অগ্রাহ্য করে }]$$

বা, $E = \frac{d}{dt}(Mi) = M\frac{di}{dt}$ ... ... (5.15)

এখন, $\frac{di}{dt} = 1$ হলে, $E = M$ হয়।

Made with Goodnotes

অতএব, **কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে এক একক পরিবর্তিত হলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।**

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক : স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের ন্যায় পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. (S. I.) একক হেনরি (henry)। এছাড়া মিলি-হেনরি (mh) (10^{-3} henry) এবং মাইক্রো-হেনরি (μh) (10^{-6} henry)-কে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক ধরা হয়। এর মাত্রা সমীকরণ $[ML^2T^{-2}I^{-2}]$

'পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 1 হেনরি'-এর অর্থ দুটি কুণ্ডলীর একটির মধ্য দিয়ে 1 As^{-1} হারে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটলে যদি গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি 1V হয়, তবে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক হবে 1 হেনরি।

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৩

১। কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে 0·05 s-এ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা 6A হতে 1A-তে আনলে গৌণ কুণ্ডলীতে 5 ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কত ? [ঢা. বো. ২০১১; ব. বো. ২০০২]

আমরা জানি,

$$E = M\frac{di}{dt}$$

$$\therefore \quad 5 = M \times \frac{5}{0{\cdot}05}$$

$$\therefore \quad M = \frac{5 \times 0{\cdot}05}{5} = 0{\cdot}05 \text{ হেনরি}$$

এখানে,

$di = 6A - 1A = 5A$

$dt = 0{\cdot}05$ s

$E = 5$ ভোল্ট

২। পরস্পরের কাছাকাছি দুটি কুণ্ডলী A ও B-এর পাক সংখ্যা যথাক্রমে 200 ও 1000। কুণ্ডলী A দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহে A কুণ্ডলীতে $2{\cdot}4 \times 10^{-4}$ Wb এবং B কুণ্ডলীতে $1{\cdot}6 \times 10^{-4}$ Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। (ক) A কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক (খ) B কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক এবং (গ) A-তে প্রবাহমাত্রা 0·4 s-এ থেমে গেলে B কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর। [CUET Admission Test, 2008-09 (মান ভিন্ন)]

(ক) মনে করি, A কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক $= L$

$\therefore$ আমরা পাই

$$\varphi_A = Li \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখন সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4} = L \times 2$$

$$\therefore \quad L = \frac{200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4}}{2} = 0{\cdot}024 \text{ h}$$

এখানে,

φ_A = পাক সংখ্যা $\times$ চৌম্বক ফ্লাক্স
$= 200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4}$ Wb

$i = 2A$

(খ) মনে করি B-তে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক $= M$

$\therefore$ আমরা পাই

$$\varphi_B = Mi \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

এখন সমীকরণ (ii) হতে পাই,

$$1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4} = M \times 2$$

$$\therefore \quad M = \frac{1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4}}{2} = 0{\cdot}08 \text{ h}$$

এখানে,

φ_B = পাক সংখ্যা $\times$ চৌম্বক ফ্লাক্স
$= 1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4}$ Wb

$i = 2A$

(গ) মনে করি B-তে গড় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি $= E$

$\therefore$ আমরা পাই

$$E = M\frac{di}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

এখন সমীকরণ (iii) হতে পাই,

$$E = 0{\cdot}08 \times 5$$

$$= 0{\cdot}4 \text{ volt}$$

এখানে,

$M = 0{\cdot}08$ h

$\frac{di}{dt} = \frac{2}{0{\cdot}4} = 5\ As^{-1}$

Made with Goodnotes

৩। দুটি কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 0·05 henry। প্রথম কুণ্ডলীতে পরিবর্তী প্রবাহ $I = I_0 \sin \omega t$। এখানে $I_0 = 10$ A এবং $\omega = 100\,\pi$ rad s^{-1}। দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের সর্বোচ্চ মান নির্ণয় কর।

প্রথম কুণ্ডলীতে পরিবর্তী প্রবাহ,

$$I = I_0 \sin \omega t$$

$$\therefore \frac{dI}{dt} = \omega I_0 \cos \omega t$$

এখানে,

$I_0 = 10$ A

$\omega = 100\,\pi$ rad s^{-1}

$M = 0{\cdot}05$ henry

আমরা জানি, দ্বিতীয় কুণ্ডলীর তড়িচ্চালক বল,

$e_2 = -M\frac{dI}{dt} = M\omega I_0 \cos \omega t$, এখানে, M = পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক।

অতএব, দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের সর্বোচ্চ মান,

$= M\omega I_0 = 0{\cdot}05 \times 100\,\pi \times 10$

$= 157$ V

৫·৭·৪ পারস্পরিক আবেশের ব্যবহার
Use of mutual inductance

রূপান্তরক বা ট্রান্সফরমার (Transformer) : যে যন্ত্রের সাহায্যে পর্যাবৃত্ত বা দিক পরিবর্তী উচ্চ বিভবকে নিম্ন বিভবে অথবা নিম্ন বিভবকে উচ্চ বিভবে রূপান্তর করা যায় তাকে রূপান্তরক বা ট্রান্সফরমার বলে। ট্রান্সফরমার দুই ধরনের—

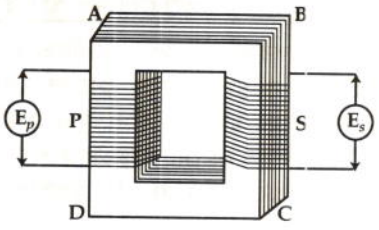
১। আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফরমার ২। অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার।

যে ট্রান্সফরমার অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহকে অধিক বিভবের অল্প তড়িৎ প্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফরমার বলে।

আর **যে ট্রান্সফরমার অধিক বিভবের অল্প তড়িৎ প্রবাহকে অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার বলে।**

একটি ট্রান্সফরমারের গঠন ও কার্যপ্রণালি নিম্নে দেওয়া হলো :

গঠন : একটি কাঁচা লোহার কোর বা মজ্জার (core) ওপর একটি অন্তরীত তারের দুটি কুণ্ডলী জড়িয়ে ট্রান্সফরমার তৈরি করা হয় [চিত্র ৫·১১]। এর একটি মুখ্য কুণ্ডলী, অপরটি গৌণ কুণ্ডলী। কোরটি সাধারণত বৃত্তাকার বা আয়তাকার গঠনের হয় এবং কাঁচা লোহার কতগুলো পাতকে আঁটি বেঁধে কোরটি তৈরি করা হয়। চিত্রে ABCD আয়তাকার গঠনের কোর এবং P ও S যথাক্রমে মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলী। মুখ্য কুণ্ডলীতে পরিবর্তী বিভব E_p প্রয়োগ করলে গৌণ কুণ্ডলীতে পরিবর্তী বিভব E_S উৎপন্ন হয় এবং তাকে কোনো লাইনে সরবরাহ করা হয়। মুখ্য এবং গৌণ্য কুণ্ডলীতে তার এমনভাবে কোরের ওপর জড়ানো থাকে যাতে বৈদ্যুতিক শক্তির ক্ষরণ যথাসম্ভব কম হয়। আদর্শ ট্রান্সফরমারের ক্ষরণ (leakage) শূন্য হয়।



চিত্র ৫·১১

কার্যনীতি (Principle) : মনে করি, মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি $= E_p$। ধরি মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা $= i_p$। তা হলে এই পরিবর্তী প্রবাহমাত্রা এর কোরে চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন করবে। ফলে মুখ্য কুণ্ডলীতে একটি বিপরীত তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হবে, যা আদর্শ অবস্থায় E_p-এর সমান হবে।

মনে করি, n_p পাকবিশিষ্ট মুখ্য কুণ্ডলীর প্রতিটি পাক সংখ্যার মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স $= \varphi$

$$\therefore \quad E_p = n_p\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ঋণ চিহ্ন অগ্রাহ্য করে)} \quad (5.16)$$

এবং n_s পাকবিশিষ্ট গৌণ কুণ্ডলীতে একই চৌম্বক ফ্লাক্স জড়িত হেতু আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি

$$E_s = n_s\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.17)$$

এক্ষেত্রে চৌম্বক ফ্লাক্সের ক্ষরণ (leakage) নগণ্য বিবেচনা করা হয়েছে।

$$\therefore \quad \frac{E_s}{E_p} = \frac{n_s}{n_p} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.18)$$

অর্থাৎ আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রযুক্ত তড়িচ্চালক শক্তির অনুপাত গৌণ ও মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার অনুপাতের সমান। এ অনুপাতকে **পাক সংখ্যা অনুপাত** (turn-ratio) বলে।

সুতরাং **কুণ্ডলী দুটির ভোল্ট মাত্রা তাদের পাক সংখ্যার সমানুপাতিক।** যদি $n_p < n_s$ হয় তবে $E_p < E_s$ হবে।

Made with Goodnotes

শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুসারে মুখ্য কুণ্ডলীর ওপর প্রতি সেকেণ্ডে ব্যয়িত শক্তি গৌণ কুণ্ডলীর ওপর ব্যয়িত শক্তির সমান হবে অর্থাৎ **মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলীর ওয়াট মাত্রা সমান হবে।** গৌণ কুণ্ডলীর ওয়াট মাত্রাই ট্রান্সফরমারের বহিঃক্ষমতা নির্দেশ করে।

$\therefore \quad E_p \times i_p = E_s \times i_s \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.19)$

বা, $\frac{i_p}{i_s} = \frac{E_s}{E_p} = \frac{n_s}{n_p}$

[MAT: 13-14]

বা, $\frac{i_p}{i_s} = \frac{n_s}{n_p}$ বা $i \propto \frac{1}{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.20)$

অতএব, **কুণ্ডলী দুটির তড়িৎ প্রবাহমাত্রা তাদের পাক সংখ্যার ব্যস্তানুপাতিক।**

যখন $N_s > N_p$ তখন $E_s > E_p$; অর্থাৎ ট্রান্সফরমারটি আরোহী বা স্টেপ আপ (step up), আবার যখন $N_s < N_p$ তখন $E_s < E_p$। এক্ষেত্রে ট্রান্সফরমারটি অবরোহী বা স্টেপ ডাউন (step down)।

একটি আদর্শ ট্রান্সফরমারে প্রাথমিক কুণ্ডলীর ক্ষমতা, $I_P V_P =$ গৌণ কুণ্ডলীর ক্ষমতা, $I_S V_S$ অর্থাৎ মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলীর ক্ষমতা সমান হবে। ট্রান্সফরমারটি আদর্শ না হলে অর্থাৎ শক্তির খানিকটা অপচয় হলে, $V_S I_S < V_P I_P$ হয়। $\frac{V_S I_S}{V_P I_P}$ এর অনুপাতকে ট্রান্সফরমারের **কর্মদক্ষতা** (efficiency) বলে।

জানা দরকার : ১। ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত তড়িচ্চালক বল ও গৌণকুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের দশা পার্থক্য হয় 180°।

২। ট্রান্সফরমার শুধুমাত্র পরিবর্তী ভোল্টেজে কাজ করে।

৩। ইনপুট ও আউটপুট পরিবর্তী ভোল্টেজের কম্পাঙ্ক একই থাকে।

সম্প্রসারিত কাজ : টান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলী ডিসি উৎসের পরিবর্তে এসি উৎসের সাথে যুক্ত করা হয় কেন ?

ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত পরিবর্তনশীল বিভব পরিবর্তনশীল চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন করে; ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সেরও পরিবর্তন হয় যার ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। ইহা ট্রান্সফরমারের মূলনীতি; কিন্তু মুখ্য কুণ্ডলীতে ডিসি উৎস যুক্ত করলে পরিবর্তনশীল চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয় না ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে কোনো তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় না। তাই মুখ্য কুণ্ডলীতে এসি উৎস যুক্ত করলে পরিবর্তিত চৌম্বক ফ্লাক্সের উদ্ভব হয়, ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটিয়ে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়।

৫·৮ আবেশহীন কুণ্ডলী
Non-inductive coil

কোনো তারের কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে স্বকীয় আবেশ সৃষ্টি হয়। এ স্বকীয় আবেশ তারের কুণ্ডলীর প্রস্থচ্ছেদ, আকার, পাকসংখ্যা, মাধ্যমের প্রবেশ্যতা ইত্যাদির ওপর নির্ভর করে। অনেক সময় এ স্বকীয় আবেশ পরীক্ষালব্ধ মানের পরিবর্তন এবং পরীক্ষাগারে অন্যান্য কাছাকাছি যন্ত্রপাতির ওপর প্রভাব বিস্তার করে। এ সমস্যা নিরসনের জন্য কুণ্ডলীর তারকে এমনভাবে জড়ানো হয় যাতে স্বকীয় আবেশ শূন্য অথবা নগণ্য মানের হয়। কুণ্ডলী জড়াবার এরূপ পদ্ধতিকে আবেশহীন বেষ্টনী (Non-inductive winding) বলে।

চিত্র ৫·১২

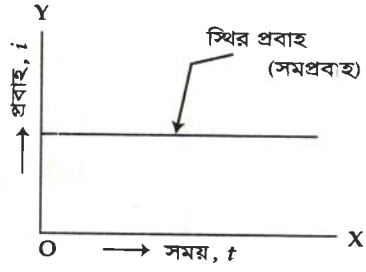
এই পদ্ধতিতে প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্যের একটি কুণ্ডলী তারকে সমান দুই ভাঁজ করে পরস্পরের সাথে অন্তরীত রেখে অন্তরক ববিনের গায়ে কুণ্ডলী আকারে জড়ানো হয় [চিত্র ৫·১২]। এভাবে বেষ্টনের ফলে কুণ্ডলীর এক অর্ধেকের তড়িৎ প্রবাহ অপর অর্ধেকের তড়িৎ প্রবাহের বিপরীতমুখী এবং পাশাপাশি হয় এবং এক অর্ধেকের তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স অপর অর্ধেকের সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের বিপরীতমুখী হওয়ায় পরস্পরকে প্রশমিত করে। এর অর্থ হলো, এক অর্ধেক তারের স্বকীয় আবেশ অপর অর্ধেকের স্বকীয় আবেশকে বাতিল করে কুণ্ডলীকে স্বকীয় আবেশ শূন্য করে। এভাবে জড়ানো কুণ্ডলীকে আবেশহীন কুণ্ডলী বলে।

Made with Goodnotes

৫·৯ সরাসরি প্রবাহ ও দিক পরিবর্তী প্রবাহের ধারণা
Concept of direct current and alternating current

তড়িৎ প্রবাহ দুই ধরনের; যথা—সরাসরি প্রবাহ ও দিক পরিবর্তী প্রবাহ।

সরাসরি প্রবাহ : আমরা জানি যে, সাধারণ তড়িৎ কোষ বা ব্যাটারি হতে যে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তার অভিমুখ সর্বদা একই থাকে। এই প্রবাহকে **একমুখী প্রবাহ** বা **সমপ্রবাহ** (Direct current) **বলা হয়**। একে সংক্ষেপে ডি. সি. (D. C.) লেখা হয়। D.C. কে i বনাম t দ্বারা দেখান হলো [চিত্র ৫·১৩]। এই প্রবাহের মান বা মাত্রা স্থির নাও থাকতে পারে, কিন্তু দিক বা অভিমুখ কখনই পরিবর্তিত হয় না।



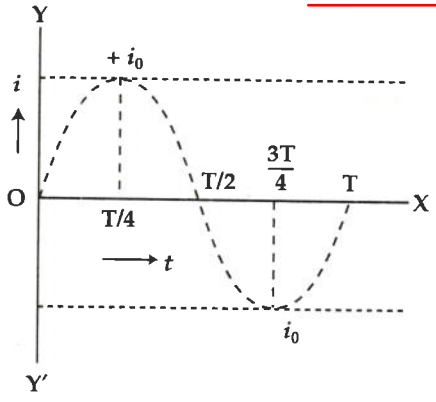
চিত্র ৫·১৩

সংজ্ঞা : যে প্রবাহ সময়ের সাথে সাথে দিক বা দশা পরিবর্তন করে না তাকে সরাসরি প্রবাহ (D.C.) বলে।

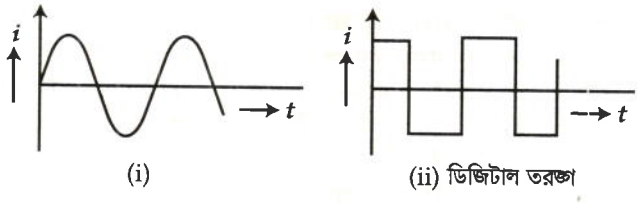
দিক পরিবর্তী প্রবাহ : তড়িৎ প্রবাহের এমন উৎস আছে যা হতে বর্তনীতে যে প্রবাহ চলে তার অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর স্বতঃস্ফূর্তভাবে উল্টাতে থাকে, এই প্রবাহকে **প্রত্যাবর্তী** বা **দিক পরিবর্তী প্রবাহ** (Alternating current) বলে [চিত্র ৫·১৪]। একে সংক্ষেপে এ. সি. (A. C.) লেখা হয়।

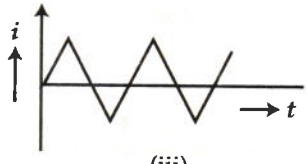
পরিবর্তী প্রবাহের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

সংজ্ঞা : কোনো তড়িৎ বর্তনীতে যে প্রবাহের অভিমুখ নির্দিষ্ট সময় অন্তর পর্যায়ক্রমে পরিবর্তিত হয় তাকে পরিবর্তী প্রবাহ বলে। অর্থাৎ **যে প্রবাহ সময়ের সাথে সাথে দিক বা দশা পরিবর্তন করে তাকে দিক পরিবর্তী প্রবাহ বলে।**



চিত্র ৫·১৪





চিত্র ৫·১৫

চিত্র ৫·১৫-এ কয়েক ধরনের পরিবর্তী প্রবাহ দেখানো হয়েছে। এই প্রবাহ কোনো এক অভিমুখে প্রবাহিত হবার সময় ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে সর্বাধিক (maximum) হয়; আবার ক্রমশ হ্রাস পেয়ে অভিমুখ পরিবর্তনের সময় শূন্য মানে পৌঁছায়।

যে যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায় তাকে ডায়নামো বলে। ডায়নামোকে আবার দুই ভাগে বিভক্ত করা যায়; যথা—

(ক) পরিবর্তী প্রবাহ ডায়নামো (A. C. dynamo) : যে ডায়নামোর সাহায্যে পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে পরিবর্তী প্রবাহ ডায়নামো বলে ।

(খ) একমুখী প্রবাহ ডায়নামো (D. C. dynamo) : যে ডায়নামোর সাহায্যে একমুখী তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে একমুখী প্রবাহ ডায়নামো বলে।

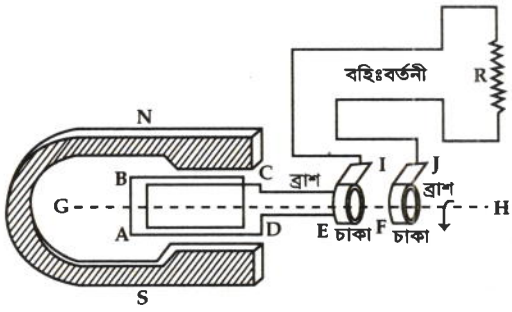
৫·১০ পরিবর্তী প্রবাহ ডায়নামো
A. C. Dynamo

এই যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তিকে পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহে পরিণত করা যায়। এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত বিভিন্ন অংশ আছে—

(১) **চুম্বক NS** : এটি একটি স্থায়ী অথবা একটি তড়িৎ চুম্বক [চিত্র ৫·১৬]।

Made with Goodnotes

(২) ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলী বা আরমেচার : এটি চুম্বকের মধ্যবর্তী স্থানে অবস্থিত কাঁচা লোহার অন্তরীত বহু পাকবিশিষ্ট একটি আয়তাকার কুণ্ডলী ABCD।



চিত্র ৫·১৬

(৩) দুটি স্লিপ রিং বা চাকা : এটি ধাতু নির্মিত দুটি রিং বিশেষ E এবং F। এদেরকে পরস্পর হতে অন্তরীত রেখে ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হয়। কুণ্ডলী যে অক্ষের ওপর আবর্তন করে, স্লিপ রিং দুটি তার সাথে শক্তভাবে আটকানো থাকে। অতএব কুণ্ডলী ঘুরার সঙ্গে সঙ্গে তারাও ঘুরতে থাকে।

(৪) ব্রাশ : এটি কার্বনের তৈরি দুটি ব্রাশ I এবং J। ব্রাশ দুটি স্প্রিং-এর সাহায্যে স্লিপ রিং-এর ওপর চেপে থাকে। ব্রাশ দুটির সাথে একটি বহিঃবর্তনী R যুক্ত থাকে।

কার্যপদ্ধতি : একটি ইঞ্জিনের সাহায্যে কুণ্ডলী বা আরমেচারকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে সম-গতিতে ঘুরানো হয়। কুণ্ডলী চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে ঘুরতে থাকলে এতে তড়িচ্চালক শক্তি এবং তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হয়। যেহেতু আরমেচারের বিভিন্ন অবস্থানে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা পরিবর্তিত হয় সেহেতু আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মানও বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন হয়। কুণ্ডলীর একবার পূর্ণ ঘূর্ণনে এর মধ্যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এবং আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ একবার পরিবর্তিত হয়। ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়মে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ পাওয়া যাবে। এই প্রবাহ স্লিপ রিং এবং ব্রাশের মধ্য দিয়ে বহিঃবর্তনীতে সরবরাহ হয়।

দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি
Generation of alternating current

ধরি N এবং S একটি চুম্বকের দুটি মেরু যা H প্রাবল্যের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করেছে [চিত্র ৫·১৭]। মনে করি, AB একটি বন্ধ কুণ্ডলী। এটি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব তলে অবস্থিত। কুণ্ডলীটি তার নিজস্ব অনুভূমিক অক্ষে ω কৌণিক বেগে ঘুরছে।

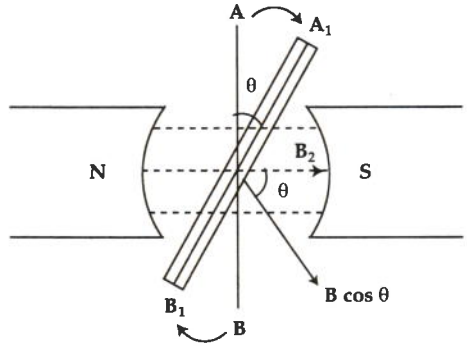
মনে করি, কুণ্ডলীটির পাক সংখ্যা N এবং তার ক্ষেত্রফল A। অতএব কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার অভিলম্ব হলে তার মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স,

$$\varphi = NAB \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.21)$$

এখন ধরি কুণ্ডলীটি t সময়ে θ কোণে ঘুরে A_1B_1 অবস্থানে গিয়েছে। এমতাবস্থায় চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব উপাংশ $= B\cos\theta$

$\therefore$ অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা,

$$\varphi_N = NAB\cos\theta$$
$$= NAB\cos\omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.22)$$
$$[\because \theta = \omega t]$$



চিত্র ৫·১৭

যেহেতু কুণ্ডলীটির ঘূর্ণনের জন্য অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটবে, সেহেতু ফ্যারাডের তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ফলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হবে এবং আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান,

$$E = -\frac{d\varphi_N}{dt}$$
$$= -\frac{d}{dt}(NAB\cos\omega t)$$
$$= NAB\,\omega\sin\omega t$$
$$\therefore E = E_0\sin\omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.23)$$

এখানে, $E_0 = NAB\omega$ = সর্বোচ্চ তড়িচ্চালক শক্তি (E_{max})

সমীকরণ (5.23)-কে সাইনুসয়ডাল (sinusoidal) বা দিকপরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ বলা হয়। প্রবাহমাত্রার ক্ষেত্রে উক্ত সমীকরণটিকে লেখা যায় $I = I_0\sin\omega t$ আকারে। এভাবে আমরা দিক পরিবর্তী প্রবাহ পেয়ে থাকি।

Made with Goodnotes

কাজ : দিকপরিবর্তী প্রবাহের চক্রের জন্য অর্থাৎ $t = 0$ থেকে $t = 2T$ সময়ের জন্য তড়িচ্চালক শক্তির মান কত হবে? লেখচিত্রে সময়ের খণ্ডিত অংশ নির্দেশ করে ব্যাখ্যা কর।

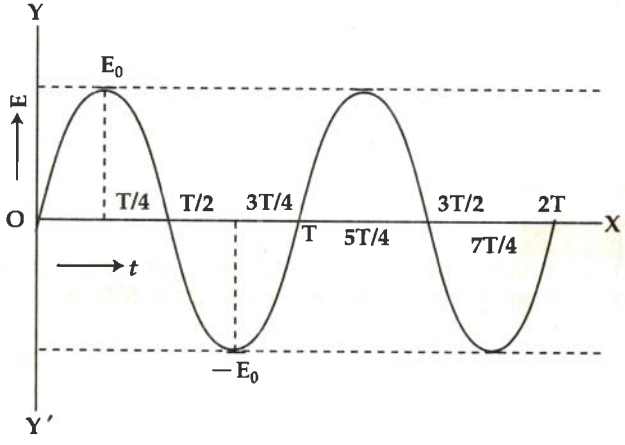
(ক) এখন কুণ্ডলীটির পর্যায় কাল T হলে $\omega = \frac{2\pi}{T}$ হবে।

(খ) সমীকরণ (5.23) হতে দেখা যায় E-এর মান ωt-এর ওপর নির্ভর করে।

(গ) যখন $t = 0, \frac{T}{2}, T, \frac{3}{2}T, 2T$ ইত্যাদি হয়, তখন তড়িচ্চালক শক্তি E শূন্য হয়।

(ঘ) $t = \frac{T}{4}, \frac{5}{4}T$ ইত্যাদি হলে $E = +E_0$ এবং $t = \frac{3}{4}T, \frac{7}{4}T$ ইত্যাদি হলে $E = -E_0$ হবে।

অতএব দেখা যাচ্ছে যে, কুণ্ডলীর সঙ্গে তড়িচ্চালক শক্তি E-এর মান শূন্য হতে বৃদ্ধি পেয়ে $+E_0$ এবং এর পর ক্রমশ হ্রাস পেয়ে পুনরায় শূন্য মানে পৌঁছায়। অতঃপর বিপরীত দিকে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে $-E_0$ হয়; আবার হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে আসে। এমনিভাবে তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের একটি চক্র (cycle) T সময়ে সম্পন্ন হয় যা চিত্র ৫·১৮-এ দেখানো হয়েছে।



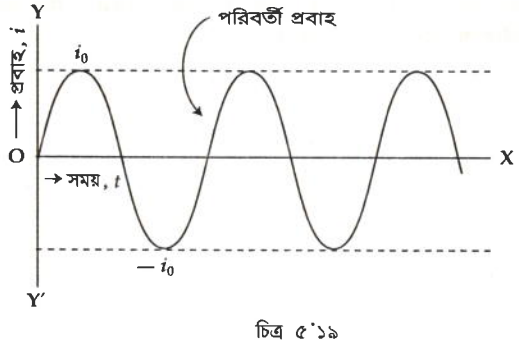
চিত্র ৫·১৮

প্রবাহমাত্রা : R রোধযুক্ত পরিবাহীর কোনো বর্তনীতে E তড়িচ্চালক শক্তির জন্য i পরিমাণ প্রবাহ t সময় ধরে চালনা করলে প্রবাহমাত্রা,

$$i = \frac{E}{R} = \frac{E_0 \sin \omega t}{R}$$

$$= i_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.24)$$

এখানে, সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা, $i_0 = \frac{E_0}{R}$। তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের ফলে প্রবাহমাত্রাও পরিবর্তিত হয়। এজন্য একে পরিবর্তী প্রবাহ (Alternating current) সংক্ষেপে AC বলা হয়। সময়ের সাথে পরিবর্তী প্রবাহের মান ও অভিমুখ



চিত্র ৫·১৯

কীভাবে পরিবর্তিত হয় তা চিত্র ৫·১৯-এ অঙ্কিত লেখের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। এই লেখ হতে বলা যায় যে, পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণকে সাইন বা কোসাইন লেখ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

Made with Goodnotes

৫·১১ দিক পরিবর্তী প্রবাহ সম্পর্কীয় কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা
Some quantities relating alternating current

(ক) বিস্তার (Amplitude) : যে কোনো অভিমুখে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে তার বিস্তার বা শীর্ষমান বলে। চিত্র ৫·১৮ ও ৫·১৯-এ E_0 ও i_0 যথাক্রমে তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রবাহের শীর্ষমান।

(খ) পরিবর্তন চক্র (Cycle of variation) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের মান শূন্য হতে বৃদ্ধি পেয়ে শীর্ষমান, ক্রমান্বয়ে হ্রাস পেয়ে শূন্যমানে এসে বিপরীত অভিমুখে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে ওই শীর্ষমানে পৌঁছে বা হ্রাস পেয়ে শূন্যমানে উপনীত হওয়াকে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের পরিবর্তন চক্র বলে। চিত্র ৫·১৮-এ O হতে T পর্যন্ত এক পরিবর্তন চক্র দেখানো হয়েছে।

(গ) পর্যায়কাল (Time period) : যে সময়ে পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের একটি পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন হয় তাকে পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। পর্যায়কাল, $T = \frac{2\pi}{\omega}$

(ঘ) কম্পাঙ্ক (Frequency) : পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে যত সংখ্যক পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন করে তাকে উক্ত তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের কম্পাঙ্ক বলে। একে f বা n দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$\therefore$ কম্পাঙ্ক, f

বা $n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$

বা, $\omega = 2\pi f$

বা, $\omega = 2\pi n$

ω-কে কৌণিক কম্পাঙ্কও বলা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৪

১। একটি আরোহী ট্রান্সফরমারে 200 V সরবরাহ করে 4A তড়িৎ প্রবাহ পওয়া যায়। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যার অনুপাত 1 : 10 হলে ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ ও বহিঃক্ষমতা নির্ণয় কর।

[RUET Admission Test, 2017-18 (মান ভিন্ন)]

আমরা পাই,

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

বা, $I_p = \frac{N_s}{N_p} \times I_s$

$= \frac{10}{1} \times 4 = 40$ A

এবং ক্ষমতা, $P = E_s \times I_s$

কিন্তু $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$

$\therefore E_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p = \frac{10}{1} \times 200 \text{ V} = 2000 \text{ V}$

$\therefore P = 2000 \times 4 = 8000 \text{ W} = 8 \text{ kW}$

এখানে,

$\frac{N_p}{N_s} = \frac{1}{10}$

$E_p = 200$ V

$I_s = 4$ A

$I_p = ?$

$P = ?$

২। একটি আরোহী ট্রান্সফরমারে 200 V হতে 2000 V পাওয়া গেল। যদি মুখ্য কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 300 এবং রোধ 0·5 Ω হয় তবে গৌণ কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা ও রোধ কত হবে ?

[RUET Admission Test, 2019-20]

আমরা পাই,

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

বা, $\frac{200}{2000} = \frac{300}{N_s}$

$\therefore N_s = \frac{300 \times 2000}{200} = 3000$

আবার, $\frac{R_p}{R_s} = \frac{N_p^2}{N_s^2}$

বা, $R_s = \frac{N_s^2 \times R_p}{N_p^2} = \frac{(3000)^2 \times 0{\cdot}5}{(300)^2} = 50\ \Omega$

এখানে,

$E_p = 200$ V

$E_s = 2000$ V

$N_p = 300$

$R_p = 0{\cdot}5\ \Omega$

$N_s = ?$

$R_s = ?$

Made with Goodnotes

৩। 90% কর্মদক্ষতার একটি ট্রান্সফরমারের প্রাথমিক ভোল্টেজ 110V এবং ইনপুট ক্ষমতা 5 kW। গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ 220V হলে, প্রাথমিক ও গৌণ কুণ্ডলীর প্রবাহ কত ?

প্রাথমিক কুণ্ডলীর ইনপুট ক্ষমতা,

$P_P = V_P I_P$

বা, $I_P = \frac{P_P}{V_P} = \frac{5 \times 1000}{110}$

বা, $I_P = 45.45$ A

গৌণ কুণ্ডলীর ক্ষমতা, $P_S = P_P \times \frac{90}{100}$

আবার, $P_S = V_S I_S$

বা, $I_S = \frac{P_S}{V_S} = \frac{90}{100} \times \frac{P_P}{V_S}$

$= \frac{90}{100} \times \frac{5 \times 1000}{220} = 20.45$ A

এখানে,

$V_P = 110$V

$V_S = 220$V

$\frac{P_S}{P_P} = 90\% = \frac{90}{100}$

$P_P = 5$ kW $= 5 \times 1000$ W

৪। একটি ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 50, ভোল্টেজ 200 V। এর গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 100 হলে ভোল্টেজ কত ? [দি বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮]

আমরা জানি,

$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$

$Es = \frac{N_s \times E_p}{N_p} = \frac{100 \times 200}{50} = 400$ V

এখানে,

$N_p = 50$

$E_p = 200$ V

$N_s = 100$

$E_s = ?$

৫। জনৈক শিক্ষক তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বুঝানোর জন্য 5T মানের চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে তিনটি পরিবাহী কুণ্ডলী রাখলেন, যাদের প্রত্যেকটির পাকসংখ্যা 500। এদের মধ্যে প্রথম কুণ্ডলীটি 5 cm ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার, দ্বিতীয়টি 10 cm² ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট আয়তাকার এবং তৃতীয়টি 45 cm² ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট বর্গাকার। দ্বিতীয় এবং তৃতীয় কুণ্ডলীকে 0.5 sec এ চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে বের করে নেয়া হলো।

(ক) প্রথম কুণ্ডলীতে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিমাণ কত ?

(খ) উপরোক্ত তিনটিতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানের তুলনামূলক বিশ্লেষণ কর।

(ক) ১ম কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল, $A_1 = \pi r_1^2 = 3.1416 \times (5\text{ cm})^2$

$= 78.54\text{ cm}^2 = 78.54 \times 10^{-4}\text{ m}^2$

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = 5\text{ T} = 5\text{ Wbm}^{-2}$

কুণ্ডলী তল ভেক্টর $\vec{A}$ ও $\vec{B}$ এর মধ্যকার কোণ, $\theta = 0°$

∴ চৌম্বক ফ্লাক্স, $\varphi_1 = NA_1B\cos\theta$

$= 500 \times 78.54 \times 10^{-4} \times 5 \times \cos 0°$

$= 500 \times 78.54 \times 10^{-4} \times 5 \times 1$

$= 19.635$ Wb

(খ) প্রথম কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয় না বলে

$E = \frac{N\varphi_1}{dt} = 0$

দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে প্রতি পাকে প্রথমাবস্থায় জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স,

$\varphi_2 = NA_2B\cos 0°$

$= NA_2 \times B \times 1$

$= 500 \times 10 \times 10^{-4} \times 5 \times 1$

$= 25000 \times 10^{-4}$ Wb

দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল,

$E_2 = \frac{-d\varphi_2}{dt} = \frac{25000 \times 10^{-4}}{0.5} = 5$ Volt

RMDAC

Made with Goodnotes

তৃতীয় কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্স

$\therefore \quad \varphi_3 = NA_3B\cos 0° = 500 \times 45 \times 10^{-4} \times 5 = 11{\cdot}25$ Wb

$\therefore \quad E_3 = \frac{d\varphi_3}{dt} = \frac{11{\cdot}25}{0{\cdot}5} = 22{\cdot}5$ Volt

অতএব ২য় কুণ্ডলী অপেক্ষা ৩য় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান বেশি।

৬। একটি স্টেপ আপ ট্রান্সফরমারে 150V সরবরাহ করে 2A প্রবাহ পাওয়া গেল। এর মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলীর অনুপাত 1 : 20 হলে গৌণ কুণ্ডলীতে প্রাপ্ত ভোল্টেজ মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা ও ট্রান্সফরমারের সক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\therefore \quad E_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p$$

$$= \frac{20}{1} \times 150 = 3000V$$

এখানে,

মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলী পাক সংখ্যার অনুপাত $\frac{E_p}{E_s} = \frac{1}{20}$

মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ, $E_P = 150V$

গৌণ কুল্ডলীর ভোল্টেজ, $E_S = ?$

আবার, $\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p}$

বা, $Ip = \frac{E_s}{E_p} \times I_s = \frac{3000}{150} \times 2 = 40A$

ক্ষমতা, $P = V \times I$

$= 3000 \times 2 = 6000$ W

এখানে,

$E_p = 150V$

$E_s = 3000V$

$I_s = 2A$

$I_p = ?$

$P = ?$

উ. 3000V, 40A, 6000W

৫·১২ প্রবাহের গড় মান, বর্গমূলীয় গড় মান এবং শীর্ষ মান
Mean value, root mean square value and peak value of current

৫·১২·১ পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান ও শীর্ষ মান (অর্ধচক্রের জন্য তড়িৎ প্রবাহের গড় মান)
Average or mean value and peak value of AC

পরিবর্তী প্রবাহের পর্যায়কালে অর্থাৎ প্রবাহের পূর্ণ পরিবর্তন চক্রের কালে প্রবাহের গড় মান শূন্য হয়। সুতরাং **পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান বলতে অর্ধ পর্যায় কালে প্রবাহের গড় মান বুঝায়।** প্রবাহের গড় মানকে $\bar{i}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। আমরা জানি, পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $i = i_0 \sin \omega t$

অতএব, গড় মান,

$$\bar{i} = \frac{\int_0^{T/2} idt}{T/2} = \frac{\int_0^{T/2} i_0 \sin \omega t.\, dt}{T/2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.25)$$

$$\left[\because T = \frac{2\pi}{\omega}\right]$$

$$= i_0 \int_0^{\pi/\omega} \frac{\sin \omega t.\, dt}{\pi/\omega}$$

$$= \frac{i_0 \omega}{\pi}\left[\frac{-\cos \omega t}{\omega}\right]_0^{\pi/\omega} = \frac{i_0}{\pi}[\cos \omega t]_{\pi/\omega}^{0}$$

$$= \frac{i_0}{\pi}\left[1 - \cos\left(\omega \times \frac{\pi}{\omega}\right)\right]$$

$$= \frac{i_0}{\pi}[1 - \cos \pi] = \frac{i_0}{\pi}[1 - (-1)]$$

$$= \frac{2}{\pi} i_0 = 0{\cdot}637 \times \text{পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.26)$$

Made with Goodnotes

অর্থাৎ অর্ধ চক্রের জন্য **পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান = 0·637 × পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষ মান।**

সুতরাং অর্ধ চক্রের জন্য পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান শীর্ষ মানের 0·637 গুণ বা 63·7% বা $\frac{2}{\pi}$ গুণ।

$$\therefore \text{শীর্ষ মান} = \frac{\text{গড় মান}}{0{\cdot}637} = 1{\cdot}57 \times \text{গড় মান} = 1{\cdot}57 \times \bar{i} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.27)$$

অর্থাৎ পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষ মান গড় মানের 1·57 গুণ।

বি.দ্র. তড়িচ্চালক শক্তির ক্ষেত্রে গড় মান, $\bar{E} = 0{\cdot}637 \times E_0$ হয়।

৫·১২·২ বর্গমূলীয় গড় মান
Root mean square value

আমরা জানি দিক পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $I = I_0 \sin \omega t$, এখানে I এবং I_0 যথাক্রমে দিক পরিবর্তী প্রবাহের কার্যকর মান এবং শীর্ষ মান। পূর্ণ চক্রের জন্য দিক পরিবর্তী প্রবাহের গড় বর্গ মান

$$\bar{I}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T I^2\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T (I_0 \sin \omega t)^2\,dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T I_0^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{I_0^2}{T}\int_0^T \sin^2 \omega t dt$$

$$= \frac{I_0^2}{T}\int_0^T \frac{(1-\cos 2\omega t)}{2}\,dt \qquad \left[\because \sin^2\theta = \frac{1-\cos 2\theta}{2}\right]$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{\int_0^T dt - \int_0^T \cos 2\omega t\,dt\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{[t]_0^T - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega t]_0^T\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{[T] - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega t - \sin 0]\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{T - \frac{1}{2\omega}[\sin 4\pi - \sin 0]\right\} \qquad [\because \omega = \frac{2\pi}{T}]$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}[T - 0] = \frac{I_0^2}{2}$$

$$\therefore \sqrt{\bar{I}^2} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}707 \times I_0$$

বা, $I_{rms} = 0{\cdot}707 \times I_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.28)$

অতএব বলা যায় পূর্ণচক্রে পরিবর্তী প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান শীর্ষ মানের 0·707 গুণ বা 70·7%

বি.দ্র. তড়িচ্চালক শক্তির ক্ষেত্রে, $E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}707 \times E_0$ হয়।

৫·১২·৩ গড় মান, আপাত মান এবং শীর্ষ মানের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক
Mutual relation among the average value, virtual value and peak value

দিক পরিবর্তি তড়িৎ প্রবাহের বর্গের গড় মানের বর্গমূলকে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান বা কার্যকর বা আপাত মান বলে।

Made with Goodnotes

আমরা জানি, পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি এবং পরিবর্তী প্রবাহের

অর্ধ চক্রের জন্য গড় মান $= \frac{2}{\pi} \times$ শীর্ষ মান

$= \frac{2}{\pi} \times (\sqrt{2} \times$ গড় বর্গের বর্গমূল মান$)$

$= \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} \times$ গড় বর্গের বর্গমূল মান

$= \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} \times$ আপাত মান।

$\therefore$ আপাত মান $= \frac{\pi}{2 \times \sqrt{2}} \times$ গড় মান

$= \frac{1}{\sqrt{2}} \times$ শীর্ষ মান ... ... (5.29)

দিক পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে, গড় বর্গের বর্গমূল মান,

$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \times$ শীর্ষ মান

$\therefore$ শীর্ষ মান $= \sqrt{2} \times$ গড় বর্গের বর্গমূল মান $= \sqrt{2} \times I_{rms}$

সমীকরণ (5.29) হতে সহজেই বুঝতে পারা যায়,

সম প্রবাহ (D. C.) অপেক্ষা পরিবর্তী প্রবাহ (A. C.) বেশি বিপজ্জনক।

কাজ : AC 220V, DC 220V অপেক্ষা বেশি বিপজ্জনক কেন ?

আপাত তড়িচ্চালক শক্তি $= \frac{1}{\sqrt{2}} \times E_0 = 0{\cdot}707 \times E_0$ এবং গড় তড়িচ্চালক শক্তি $= \frac{2}{\pi} \times E_0 = 0{\cdot}637 \times E_0$

$\therefore$ আপাত তড়িচ্চালক শক্তি > গড় তড়িচ্চালক শক্তি।

220 V AC বলতে বুঝায় তার কার্যকরী মান 220 V হলেও তার শীর্ষ মান $= 220 \times \sqrt{2} = 311$ V। অতএব কোনো ব্যক্তি যদি 220 V DC শক্ পায় তবে এটি 220 V দ্বারাই হবে। কিন্তু তিনি যদি 220 V AC শক্ পান, তবে সর্বাধিক শক্ পাবে 311 V যা 220 V-এর শক্ অপেক্ষা অনেক বেশি হবে। সুতরাং নিঃসন্দেহে 311 V দ্বারা শক্ 220 V দ্বারা শক্ অপেক্ষা অনেক বেশি বিপজ্জনক।

গাণিতিক উদাহরণ ৫.৫

১। একটি পরিবর্তী বর্তনীর প্রবাহ মাত্রার শীর্ষমান 20A এবং এর কম্পাঙ্ক 50 Hz। এর গড় বর্গের বর্গমূল মান নির্ণয় কর। শূন্য থেকে শীর্ষ মানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে ? [ব. বো. ২০০৭; CUET Admission Test, 2008-09; SUST Admission Test, 2016-17]

মনে করি, গড় বর্গের বর্গমূল মান $= i_{rms}$

$\therefore$ আমরা পাই,

$$i_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখন সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$i_{rms} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14{\cdot}14 \text{ A}$$

পর্যায়কাল, $T = \frac{1}{f}$

এবং সর্বোচ্চ মানে পৌঁছার সময়,

$$t = \frac{T}{4} = \frac{1}{4f}$$

$\therefore \quad t = \frac{1}{4 \times 50} = \frac{1}{200} \text{ s} = 5 \times 10^{-3} \text{s}$

এখানে,

$i_0 = 20\text{A}$

$f = 50 \text{ Hz}$

Made with Goodnotes

২। একটি এ. সি. উৎসের বিস্তার 160 V এবং কম্পাঙ্ক 60 Hz। এর উৎসের সাথে 20 Ω রোধ যুক্ত করা হলে, কার্যকর ভোল্টেজ, কার্যকর প্রবাহমাত্রা এবং উত্তাপজনিত শক্তিক্ষয় নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০০৯, ২০০১]

আমরা জানি,

কার্যকর ভোল্টেজ = ভোল্টেজের গড় বর্গের বর্গমূল $= E_{rms}$

এখন, $E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$

$\therefore E_{rms} = \frac{160}{\sqrt{2}} = 113{\cdot}47$ Volt

এখানে,

$E_0 = 160$ Volt

$R = 20\ \Omega$

এখন, $I_0 = \frac{E_0}{R} \therefore I_0 = \frac{160}{20} = 8$ Amp

কার্যকর প্রবাহমাত্রা, $I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{8}{\sqrt{2}} = 5{\cdot}67$ Amp

উত্তাপজনিত শক্তিক্ষয়ের হার $= I_{rms}^2 R = (5{\cdot}67)^2 \times 20 = 643\ Js^{-1}$

৩। একটি দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ $i = 50 \sin 628\ t$ হলে তড়িৎ প্রবাহের (a) শীর্ষ মান; (b) কম্পাঙ্ক এবং (c) মূল গড় বর্গের মান নির্ণয় কর। [রা. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৫; Admission Test : BUET 217-18 (মান ভিন্ন); BSMRSTU 2019-20]

প্রদত্ত সমীকরণ, $i = 50 \sin 628\ t$ ... ... (i)

তড়িৎ প্রবাহের সাধারণ সমীকরণ, $i = i_0 \sin \omega t$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i) ও (ii)-এর তুলনা করে পাই,

(a) তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষ মান, $i_0 = 50$ Amp

(b) $\omega = 628$

$\therefore 2\pi f = 628$

$\therefore$ কম্পাঙ্ক, $f = \frac{628}{2\pi} = \frac{628}{2 \times 3{\cdot}14} = 100$ Hz

(c) প্রবাহমাত্রার মূল গড় বর্গের মান,

$i_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{50}{\sqrt{2}} = 35{\cdot}35$ Amp

৪। $I_1 = I_{01} \sin 300\ t$ এবং $I_2 = I_{02} \sin [300(t + \frac{T}{6})]$ সমীকরণদ্বয় দ্বারা নির্দেশিত (i) প্রবাহদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য কত? (ii) দ্বিতীয় প্রবাহের আদি দশা কত? (iii) প্রথম প্রবাহের কম্পাঙ্ক কত?

[KUET Admission Test, 2003-04]

(i) এখানে দশা পার্থক্য,

$$d\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 300\left(t + \frac{T}{6}\right) - 300\ t$$

$$= 300\ t + \frac{300\ T}{6} - 300\ t$$

$$= \frac{300\ T}{6} = 50\ T$$

(ii) দ্বিতীয় প্রবাহের আদি দশা,

$$\varphi = \frac{300\ T}{6} = 50\ T$$

(iii) প্রথম প্রবাহের কৌণিক কম্পাঙ্ক $\omega = 300$ বা, $2\pi f = 300$

$\therefore f = \frac{300}{2\pi} = \frac{300}{6{\cdot}28} = 47{\cdot}77 \simeq 48$ Hz

Made with Goodnotes

৫। একটি দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ $I = 14{\cdot}14 \sin (314\,t + 30°)$ Amp হলে তড়িৎ প্রবাহের মূল গড় মান, কম্পাঙ্ক এবং $t = 0$ সময়ে প্রবাহের মান কত?

[Admission Test : CUET 2007–08; KUET 2019-20 (মান ভিন্ন)]

$I_0 = 14{\cdot}14A$

$I_{rms} = 0{\cdot}707\, I_0 = 9{\cdot}997A$

এবং $\omega t = 314\,t$

$\therefore \quad \omega = 314$ rad/s

আবার, $\omega = 2\pi f$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \times 3{\cdot}14} = 50 \text{ Hz}$$

আবার, $t = 0$ সময়ে

$I = 14{\cdot}14 \sin (314 \times 0 + 30°)$

$= 14{\cdot}14 \sin 30° = 7{\cdot}07$ Amp

৬। একটি *ac* বর্তনীর প্রবাহমাত্রার শীর্ষ মান 20A এবং কম্পাঙ্ক 50 Hz। প্রবাহমাত্রার গড় বর্গের বর্গমূল মান কত অ্যাম্পিয়ার এবং শূন্য থেকে শীর্ষমানে পৌঁছাতে কত সেকেন্ড সময় লাগবে? [শা. বি., প্র. বি. ২০১৬–১৭]

আমরা জানি,

$Irms = 0{\cdot}707 \times I_0$

$= 0{\cdot}707 \times 20 = 14{\cdot}14A$

শূন্য থেকে সর্বোচ্চ স্থানে পৌঁছানোর সময়,

$$t = \frac{T}{4} = \frac{1}{4f} = \frac{1}{4 \times 50} \text{ sec}$$

$$= \frac{1}{200} = 5 \times 10^{-3} \text{ sec}$$

এখানে,

$I_0 = 20A$

$Irms = ?$

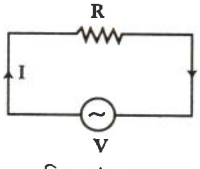
$f = 50$ Hz

$t = ?$

৫.১৩ কার্যকর তড়িৎ প্রবাহ
Effective current

চিত্র ৫·২০(ক)-এ একটি রোধযুক্ত বর্তনী দেখানো হয়েছে। বর্তনীতে প্রযুক্ত দিক পরিবর্তী ভোল্টেজ,

$$V = V_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.30)$$



চিত্র ৫·২০(ক)

এখন, ও'মের সূত্রানুসারে,

$V = IR$

বা, $I = \frac{V}{R} = \frac{V_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.31)$

দিক পরিবর্তী বর্তনীতে ব্যয়িত তাৎক্ষণিক ক্ষমতা,

$P = VI = V_0 I_0 \sin^2 \omega t$

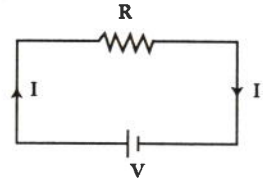
আমরা জানি, একটি সম্পূর্ণ পর্যায় (complete cycle)-এর জন্য $\sin^2 \omega t$ এর গড় মান $= \frac{1}{2}$। সুতরাং, বর্তনীর গড় ক্ষমতা, $\overline{P} = \frac{1}{2} V_0 I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \times \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

$$\overline{P} = V_{rms} I_{rms} = (I_{rms} R) \cdot I_{rms} = I^2_{rms} R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.32)$$

বর্তনীতে দিক পরিবর্তী ভোল্টেজের স্থলে ডি.সি. ভোল্টেজ প্রযুক্ত হলে [চিত্র ৫·২০(খ)] ক্ষমতা,

$$P = VI = IR.I = I^2R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.33)$$

সমীকরণ (5.32) ও (5.33) থেকে দেখা যায় যে ডিসি প্রবাহের ক্ষেত্রে I-এর যে ভূমিকা দিক পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে I_{rms} এর একই ভূমিকা।



চিত্র ৫·২০খ)

প্রকৃতপক্ষে দিক পরিবর্তী বর্তনীতে আমরা যে ভোল্টেজ এবং প্রবাহ পরিমাপ করি তা V_{rms} এবং I_{rms}।

V_{rms} এবং I_{rms} কে যথাক্রমে কার্যকর ভোল্টেজ এবং কার্যকর প্রবাহ বলে। এসি ভোল্টমিটার বা অ্যামিটারে যে পাঠ দেয় তা V বা I এর *rms* মান নির্দেশ করে।

Made with Goodnotes

আকৃতি গুণাঙ্ক (Form factor) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহমাত্রার গড় বর্গের বর্গমূল (*rms*) মান এবং গড় মানের অনুপাতকে আকৃতি গুণাঙ্ক বলে।

$$\text{অতএব, আকৃতি গুণাঙ্ক} = \frac{\text{গড় বর্গের বর্গমূল মান বা আপাত মান}}{\text{গড় মান}}$$

$$= \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{শীর্ষমান}}{\frac{2}{\pi} \times \text{শীর্ষমান}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\pi}{2} = 1.11$$

আকৃতি গুণাঙ্ক পরিবর্তী প্রবাহ বা তড়িচ্চালক শক্তির তরঙ্গ আকার নির্দেশ করে।

এখানে উল্লেখ্য যে, আকৃতি গুণাঙ্কের এই 1.11 মান শুধুমাত্র সাইনধর্মী ভোল্টেজ বা প্রবাহের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। ভিন্ন ভিন্ন তরঙ্গরূপের ক্ষেত্রে আকৃতি গুণাঙ্কের মান ভিন্ন হয়।

সার-সংক্ষেপ

তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ : একটি গতিশীল চুম্বক কিংবা একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর প্রভাবে একটি বন্ধ তার কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়। এ পদ্ধতিকে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ বলে।

আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল : তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ফলে সৃষ্ট তড়িচ্চালক বলকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বলে এবং ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।

চৌম্বক ফ্লাক্স বা চৌম্বক প্রবাহ : কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ওই তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ওই তলের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স বা চৌম্বক প্রবাহ বলে।

চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব : কোনো বিন্দুর চারপাশে একক ক্ষেত্রফল দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ফ্লাক্সকে ওই বিন্দুতে ওই তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে। অর্থাৎ $\frac{\phi}{A} = B$

1 হেনরি : কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেন্ডে এক অ্যাম্পিয়ার হিসেবে পরিবর্তিত হলে যদি ওই কুণ্ডলীতে এক ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় তবে কুণ্ডলীর আবেশ গুণাঙ্ককে 1 হেনরি বলে।

আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফরমার : যে ট্রান্সফরমার অল্প বিভবের অল্প তড়িৎ প্রবাহকে অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে অবরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফরমার বলে।

অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার : যে ট্রান্সফরমার অধিক বিভবের অল্প তড়িৎ প্রবাহকে অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে আরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার বলে।

পাক সংখ্যা অনুপাত : আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রযুক্ত তড়িচ্চালক শক্তির অনুপাত গৌণ ও মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার অনুপাতের সমান। এই অনুপাতকে পাক সংখ্যা অনুপাত বলে।

আবেশহীন বেষ্টনী : কুণ্ডলীর তারকে এমনভাবে জড়ানো হয় যাতে স্বকীয় আবেশ শূন্য বা নগণ্য মানের হয়। কুণ্ডলী জড়ানোর এই পদ্ধতিকে আবেশহীন বেষ্টনী বলে।

আবেশহীন কুণ্ডলী : কুণ্ডলীকে আবেশহীন বেষ্টনীরূপে জড়ানো কুণ্ডলীকে আবেশহীন কুণ্ডলী বলে।

ডায়নামো : যে যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায় তাকে ডায়নামো বলে।

পরিবর্তী প্রবাহ ডায়নামো : যে ডায়নামোর সাহায্যে পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে পরিবর্তী প্রবাহ ডায়নামো বলে।

একমুখী প্রবাহ ডায়নামো : যে ডায়নামোর সাহায্যে একমুখী তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে একমুখী প্রবাহ ডায়নামো বলে।

Made with Goodnotes

তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান বা কার্যকর বা আপাত মান : দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গের গড় মানের বর্গমূলকে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান বা কার্যকর বা আপাত মান বলে।

কার্যকর তড়িৎ প্রবাহ ও কার্যকর ভোল্টেজ : দিক পরিবর্তী বর্তনীতে আমরা যে ভোল্টেজ এবং প্রবাহ পরিমাপ করি তা V_{rms} এবং I_{rms}। V_{rms} এবং I_{rms} কে যথাক্রমে কার্যকর ভোল্টেজ এবং কার্যকর প্রবাহ বলে।

আকৃতি গুণাঙ্ক : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহমাত্রার গড় বর্গের বর্গমূল (rms) মান এবং গড় মানের অনুপাতকে আকৃতি গুনাঙ্ক বলে।

আকৃতি গুণাঙ্ক $= \frac{\frac{1}{\sqrt{V_2}} \text{ শীর্ষ মান}}{\frac{2}{\pi} \text{ শীর্ষ মান}}$ $\frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\pi}{2} = 1.11$; এই মান শুধুমাত্র সাইন ধর্মী ভোল্টেজ বা প্রবাহের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। আকৃতি গুণাঙ্ক পরিবর্তী প্রবাহ বা তড়িচ্চালক শক্তির তরঙ্গ আকার নির্দেশ করে।

আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি : কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বলে।

আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ : কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।

মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলী : তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে মুখ্য কুণ্ডলী এবং যে তারের কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় তাকে গৌণ কুণ্ডলী বলে।

তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলি : তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের দুটি সূত্র আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে। তাঁর নামানুসারে সূত্রগুলোকে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে ফ্যারাডের সূত্র বলা হয়। সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো :

১ম সূত্র : যখনই কোনো বন্ধ তার কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে তখনই উক্ত কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়।

২য় সূত্র : তার কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান সময়ের সাথে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।

লেন্‌জ-এর সূত্র : তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের দিক এমন হয় যে তা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হবার মূল কারণের বিরুদ্ধে ক্রিয়া করে।

স্বকীয় আবেশ : একটি মাত্র তার কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের ফলে যে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ ঘটে তাকে স্বকীয় আবেশ বলে।

পারস্পরিক আবেশ : মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ ঘটে, তাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক : কোনো কুণ্ডলীর মধ্যে একক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা চললে তার সাথে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স যুক্ত থাকে তাকে ওই কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক বলে। একে L দ্বারা যুক্ত করা হয়।

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক : কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা চললে গৌণ কুণ্ডলীতে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স যুক্ত হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে। একে M দ্বারা সূচিত করা হয়।

স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক : স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. একক হলো হেন্‌রি। এছাড়াও মিলি হেন্‌রি ও মাইক্রোহেন্‌রি একক হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

Made with Goodnotes

ট্রান্সফরমার : যে যন্ত্রের সাহায্যে পর্যাবৃত্ত বা দিক পরিবর্তী উচ্চ বিভবকে নিম্ন বিভবে এবং নিম্ন বিভবকে উচ্চ বিভবে রূপান্তর করা যায় তাকে ট্রান্সফরমার বলে।

একমুখী প্রবাহ : যে তড়িৎ প্রবাহের দিক বা অভিমুখ সর্বদা একই থাকে তাকে একমুখী প্রবাহ বলে।

পরিবর্তী প্রবাহ : যে তড়িৎ প্রবাহের দিক বা অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর স্বতঃস্ফূর্তভাবে পরিবর্তিত হতে থাকে, তাকে পরিবর্তী বা প্রত্যাবর্তী প্রবাহ বলে।

বিস্তার : যে কোনো অভিমুখে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে বিস্তার বা শীর্ষ মান বলে।

পরিবর্তন চক্র : পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের মান শূন্য মান হতে বৃদ্ধি পেয়ে শীর্ষ মান, তৎপর হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে এসে বিপরীত অভিমুখে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে ওই শীর্ষ মানে পৌঁছে আবার হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে উপনীত হওয়াকে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের পরিবর্তন চক্র বলে।

পর্যায়কাল : যে সময়ে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের একটি পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন হয়, তাকে পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কম্পাঙ্ক : পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ প্রতি সেকেণ্ডে যতসংখ্যক পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন করে, তাকে উক্ত তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের কম্পাঙ্ক বলে। একে f বা n দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান (R. M. S. value) : কোনো পূর্ণ চক্রের বিভিন্ন সময়কার তড়িচ্চালক শক্তির বর্গের গড়ের বর্গমূলকে তড়িচ্চালক শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান বলে।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$E = K\frac{\varphi}{t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$E = -N\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$\varphi = LI \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$\varphi = Mi \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$E = -L\frac{dI}{dt},\ E = -M\frac{dI}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{n_P}{n_S} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{i_S}{i_P} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$E = E_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$$i = i_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$E_{rms} = 0{\cdot}707\, E_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$I_{rms} = 0{\cdot}707\, I_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

$$\omega = 2\pi n \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

$$P = I^2_{rms} R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

Made with Goodnotes

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। আবির দেখল একটি বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে একটি তারের কুণ্ডলীকে 12 Wb m^{-2} মানের কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে 6·28 rad s^{-1} সমকৌণিক বেগে ঘুরানো হচ্ছে। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 150 এবং এর বৃত্তাকৃতি তলের ক্ষেত্রফল 1·5 m^2। কুণ্ডলীটি ঘূর্ণনের শুরুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের মানের সমান্তরালে ছিল।

(ক) কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ কত মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে ?

(খ) যে মুহূর্তে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে এবং অপর যে মুহূর্তে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স সর্বোচ্চ মানের হবে—এই দুই মুহূর্তের ন্যূনতম ব্যবধান নির্ণয় কর। [সি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন)]

(ক) দেওয়া আছে কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা = 150

কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফল, $A = 1·5\ m^2$

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = 12\ Wb\ m^{-2}$

কুণ্ডলীর সমকৌণিক বেগ, $\omega = 6·28\ rad\ s^{-1}$

কুণ্ডলীতে আবিষ্ট সর্বোচ্চ ভোল্টেজ, $E_{max} = ?$

E এর মান সর্বোচ্চ হবে যখন $\sin \omega t = 1$ হয়।

সুতরাং নির্ণেয় সর্বোচ্চ মানের আবিষ্ট ভোল্টেজ, $E_{max} = NBA\omega \sin \omega t = NBA\omega \times 1$

$= 150 \times 12 \times 1·5 \times 6·28$ volt $= 16956$ volt

(খ) আমরা জানি, সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে সমকৌণিক বেগে ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীতে আবিষ্ট ভোল্টেজের সমীকরণ $E = NBA\omega \sin \omega t$

E এর মান সর্বোচ্চ হবে যখন $\sin \omega t = 1$ হয়।

$\therefore \quad \omega t = \frac{\pi}{2}$ radian

বা, $t = \frac{\pi}{2\omega}\ rad = \frac{\pi\ rad}{2 \times 6·28\ rad\ s^{-1}} = 0·256\ s$

$t = 0·256$ s মুহূর্তে উক্ত কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে।

আমরা জানি, কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্সের সমীকরণ, $\varphi = NAB \cos \omega t$

φ এর মান সর্বোচ্চ হবে যদি $\cos \omega t = 1$ হয়

বা, $\omega t = 0°$

$\therefore \quad t = 0$ s হয়।

সুতরাং যে মুহূর্তে কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ অবিষ্ট হবে এবং অপর যে মুহূর্তে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স সর্বোচ্চ মানের হবে, এই দুই মুহূর্তের ন্যূনতম ব্যবধান $= (0·25 - 0)$ s $= 0·25$ s

২। একটি ট্রান্সফরমারের মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলীতে পাকসংখ্যা যথাক্রমে 10,000 ও 5,000 করা হলো।

(ক) ট্রান্সফরমারটির মুখ্য কুণ্ডলীতে কত মানের ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে গৌণ কুণ্ডলীতে 100 V পাওয়া যাবে?

(খ) যন্ত্রটি শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি মেনে চলে কি-না বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি, $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$

বা, $E_p = \frac{N_p}{N_s} \times E_s$

$= \frac{10,000}{5000} \times 100 = 200$ V

এখানে,

$N_p = 10,000$

$N_s = 5,000$

$E_s = 100$ V

$E_p = ?$

(খ) ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ E_p এবং তড়িৎ প্রবাহ I_p হলে তড়িৎ ক্ষমতা $= E_pI_p$ ... (i)

অপরদিকে, গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ E_s এবং তড়িৎ প্রবাহ I_s হওয়ায় এর তড়িৎ ক্ষমতা $= E_sI_s$ ... (ii)

আবার, $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$ এবং $\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$

$\therefore E_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p$ এবং $I_s = \frac{N_p}{N_s} \times I_p$

E_s ও I_s এর মান (ii) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

গৌণ কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা $= E_s \times I_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p \times \frac{N_p}{N_s} \times I_p = E_pI_p$ ... ... (iii)

সমীকরণ (i) এবং (iii) থেকে দেখা যায় মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা = গৌণ কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা

Made with Goodnotes

প্রকৃতপক্ষে একটি ট্রান্সফরমার কেবল ভোল্টেজ এবং তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটায়, তড়িৎ শক্তি বা তড়িৎ ক্ষমতার পরিবর্তন ঘটাতে পারে না। এক্ষেত্রে ভোল্টেজ ও কারেন্ট রাশিদ্বয় বিপরীত অনুপাতে পরিবর্তিত হয় কিন্তু ভোল্টেজ ও কারেন্টের গুণফল তথা তড়িৎ ক্ষমতা বা তড়িৎ শক্তি ধ্রুব থাকে। তাই বলা যায় ট্রান্সফরমার শক্তির সংরক্ষণ-শীলতার নীতি মেনে চলে।

৩। সালমা 100 Ω রোধের একটি বৈদ্যুতিক হিটার 160 V বিস্তার প্রায় 50 Hz কম্পাঙ্কের একটি এসি উৎসের সাথে সংযুক্ত করল। পরবর্তীতে নাজমা হিটারটির 120 V ডিসি উৎসের সাথে সংযুক্ত করল।

(ক) এসি উৎসের গড় ভোল্টেজ নির্ণয় কর।

(খ) কোন সংযোগে হিটারটি বেশি কার্যকর — গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও। [চ. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$\bar{E} = \frac{2E_0}{\pi}$$

$$= \frac{2 \times 160}{3{\cdot}14} = 101{\cdot}92 \text{ V}$$

এখানে,

এসি উৎসের বিস্তার, $E_0 = 160$ V

কম্পাঙ্ক, $n = 50$ Hz

গড় ভোল্টেজ, $\bar{E} = ?$

(খ) এসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_0 = 160$ V

ডিসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_0 = 120$ V

কার্যকর ভোল্টেজ, $E_{rms} = ?$

এসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = \frac{160}{\sqrt{2}} = 113{\cdot}14$ V

ডিসি উৎসের ক্ষেত্রে কার্যকর ভোল্টেজ, $E'_{rms} = 120$ V

এসি উৎসের সাথে যুক্ত করলে হিটারের ক্ষমতা, $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(113{\cdot}14)^2}{100} = 128$ W

ডিসি উৎসের সাথে যুক্ত করলে হিটারের ক্ষমতা, $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(120)^2}{100} = 144$ W

$\therefore$ 144 W > 128 W, তাই ডিসি সংযোগে হিটারটি বেশি কার্যকর।

৪। সায়েম পদার্থবিজ্ঞান পরীক্ষাগারে একটি তার কুণ্ডলী নিয়ে পরীক্ষা করছে। সে 500 পাকের কুণ্ডলীতে 2·5 A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন পেল 2×10^{-2} Wb। সায়েম ধারণা করছে, কুণ্ডলীতে 2 s সময় পর্যন্ত তড়িৎ প্রবাহ চালিয়ে সে 8 V আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি পাবে।

(ক) কুণ্ডলীটির স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) সায়েমের ধারণার যথার্থতা যাচাই কর। [রা. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$\varphi = LI$$

বা, $L = \frac{\varphi}{I} = \frac{10}{2{\cdot}5} = 4$ H

এখানে,

তড়িৎ প্রবাহমাত্রা, $I = 2{\cdot}5$ A

চৌম্বক ফ্লাক্স,

$\varphi = 2 \times 10^{-2}$ Wb $\times 500 = 10$ Wb

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক, $L = ?$

(খ) আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ε হলে,

$$\varepsilon = N\frac{d\varphi}{dt}$$

$$= \frac{500 \times 2 \times 10^{-2}}{2} = 5 \text{ V}$$

এখানে,

$dI = 2{\cdot}5$ A

$dt = 2$ s

$N = 500$

$d\varphi = 2 \times 10^{-2}$ Wb

এখানে $\varepsilon < 8$ V, অতএব সায়েমের ধারণা যথার্থ নয়।

৫। 100 cm^2 গড় ক্ষেত্রফল এবং 200 পাকবিশিষ্ট একটি বন্ধ কুণ্ডলীকে $0{\cdot}2 \times 10^{-4}$ T মানের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্বভাবে রাখা আছে। কুণ্ডলীকে $\frac{1}{10}$ s-এ 180° ঘুরানো হলো।

(ক) কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির গড় মান নির্ণয় কর।

(খ) কুণ্ডলীকে একই বেগে 360° ঘুরালে আবিষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহের প্রকৃতি কীরূপ হবে —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০১৭]

Made with Goodnotes

(ক) 360° ঘূর্ণনে একটি পূর্ণচক্র সম্পন্ন হয় বলে 180° ঘূর্ণনে অর্ধচক্র সম্পন্ন হয়।

$\therefore$ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, $\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$

$= -N\frac{d}{dt}(AB\cos\omega t)$

$= \omega N AB \sin\omega t$

$= \varepsilon_0 \sin\omega t$

এখানে,

গড় ক্ষেত্রফল, $A = 100\ cm^2 = 100\times10^{-4}\ m^2$

পাক সংখ্যা, $N = 200$

চৌম্বক ক্ষেত্র, $B = 0{\cdot}2\times10^{-4}\ T$

সময়, $t = \frac{1}{10}\ s = 0{\cdot}1\ s$

$T = 2t = 2\times0{\cdot}1\ s = 0{\cdot}2\ s$

$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0{\cdot}2} = 10\pi$

$\therefore$ গড় মান, $\bar{E} = \frac{2\varepsilon_0}{\pi} = \frac{2\omega N AB}{\pi}$

$= \frac{2\times10\pi\times200\times100\times10^{-4}\times0{\cdot}2\times10^{-4}}{\pi}$

$= 8\times10^{-4}\ V$

(খ) 180° ঘূর্ণনের ক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি,

$E = 8\times10^{-4}\ V$ (ক থেকে প্রাপ্ত)

এখন, একই বেগে 360° ঘূর্ণনের প্রয়োজনীয় সময়,

$dt_1 = \frac{0{\cdot}1\times360}{180} = 0{\cdot}2\ s$

এক্ষেত্রে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন $d\varphi_1$ হলে,

$d\varphi_1 = NAB\cos360°$

$= 200\times100\times10^{-4}\times0{\cdot}2\times10^{-4}\times1$

$= 4\times10^{-5}\ Tm^2$

এক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি, E_1 হলে,

$E_1 = -\frac{d\varphi_1}{dt_1} = -\frac{4\times10^{-5}}{0{\cdot}2} = 2\times10^{-4}\ V$

এখানে,

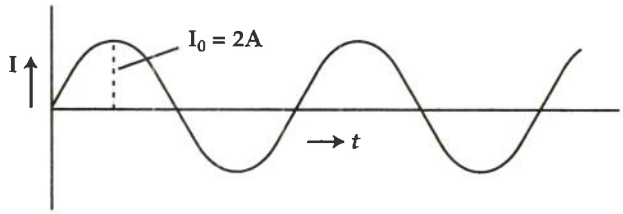
পাক সংখ্যা, $N = 200$

গড় ক্ষেত্রফল, $A = 100\ cm^2 = 100\times10^{-4}\ m^2$

চৌম্বক ক্ষেত্র, $B = 0{\cdot}2\times10^{-4}\ T$

এখানে $E_1 < E$; অতএব কুণ্ডলীটিকে একই বেগে 360° কোণে ঘুরালে আবিষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহের মান কমে যাবে এবং দিক বিপরীতমুখী হয়ে যাবে।

৬। একটি ট্রান্সফরমারের প্রাইমারি কুণ্ডলীতে পর্যাবৃত্ত তড়িৎ প্রবাহ নিম্নের লেখচিত্রে দেখানো হলো : (গৌণ কুণ্ডলীর রোধ 17·5 Ω)



(ক) চিত্রানুযায়ী $\frac{7{\cdot}5}{4}$ T সময়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

(খ) ট্রান্সফরমাটির গৌণ কুণ্ডলীতে 140 W ক্ষমতা পেতে কী ব্যবস্থা গ্রহণ করতে হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$I = I_0\sin\omega t$; এখানে ω হলো কৌণিক কম্পাঙ্ক

$= I_0\sin\frac{2\pi}{T}t$

$\therefore\ I = 2A\sin\frac{2\pi}{T}\cdot\frac{7{\cdot}5}{4}T$

$= 2A\sin675° = -1{\cdot}414\ A$

এখানে,

তড়িৎ প্রবাহের বিস্তার, $I_0 = 2\ A$

সময়, $t = \frac{7{\cdot}5}{4}T$

তড়িৎ প্রবাহ, $I = ?$

Made with Goodnotes

(খ) ধরি প্রাইমারি কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি E_p ও তড়িৎ প্রবাহ I_p এবং গৌণ কুণ্ডলী তড়িচ্চালক শক্তি ও তড়িৎ প্রবাহ যথাক্রমে E_s এবং I_s। এখন গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎ ক্ষমতা P হলে,

আমরা পাই,

$$P = E_s I_s = E_p I_p = 140\ W$$

$\therefore\ P = E_p I_p = I_{rms}^2 R$ [এখানে R প্রাইমারি রোধ]

বা, $R = \frac{P}{I_{rms}^2} = \frac{P}{(0.707 \times I_0)^2}$ [$\because I_{rms} = 0.707\ I_0$]

$$= \frac{140\ W}{(0.707 \times 2\ A)^2} = 70\ \Omega$$

এখানে,
P = 140 W
গৌণ কুণ্ডলীর রোধ, $R_s = 17.5\ \Omega$

অর্থাৎ ট্রান্সফরমারটির প্রাইমারিতে 70 Ω রোধ যুক্ত করতে হবে।

৭। একটি AC উৎসের বিস্তার 220 V এবং কম্পাঙ্ক 50 Hz। এর সাথে 1000 Ω এর একটি বৈদ্যুতিক রুম হিটার সংযুক্ত করা হলো। পরবর্তীতে ওই হিটারকে 220 V এর DC উৎসের সাথে যুক্ত করা হলো।

(ক) উদ্দীপকের পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির সমীকরণ নির্ণয় কর।

(খ) কোন সংযোগে রুম হিটারটি বেশি কার্যকর, গাণিতিক বিশ্লেষণসহ তোমার উত্তরের পক্ষে যুক্তি দাও।

[সি. বো., ২০১৬]

(ক) আমরা জানি, পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির সাধারণ সমীকরণ,

$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$ [এখানে, ω = কৌণিক কম্পাঙ্ক = 2πf]

$\therefore\ \varepsilon = 220 \sin 2\pi f t = 220 \sin 2\pi \times 50\, t$

$= 220 \sin 100\, \pi t$ ... ... (i)

এখানে,
AC উৎসের বিস্তার, $\varepsilon_0 = 220$ V
কম্পাঙ্ক, $f = 50$ Hz
রোধ, R = 1000 Ω

সমীকরণ (i)-ই নির্ণেয় পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির সমীকরণ।

(খ) যে হিটারের বিদ্যুৎ ক্ষমতা বেশি, সেটিই বেশি কার্যকর হবে।

এখন, AC সংযোগের ক্ষেত্রে,

ক্ষমতা, $P_{AC} = \frac{\varepsilon_{ms}^2}{R} = \frac{(0.707 \times \varepsilon_0)^2}{R}$ [$\because\ \varepsilon_{rm} = 0.707\ \varepsilon_0$]

$\therefore\ P_{AC} = \frac{(0.707 \times 220\ V)^2}{1000\ \Omega} = 24.19\ W$

আবার, DC সংযোগের ক্ষেত্রে,

$$P_{DC} = \frac{\varepsilon^2}{R} = \frac{(220\ V)^2}{1000\ \Omega} = 48.4\ W$$

এখন, যেহেতু $P_{DC} > P_{AC}$; অতএব DC সংযোগে হিটারটি বেশি কার্যকর হবে।

৮। দুইটি দিক পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ যথাক্রমে $I_1 = 50 \sin 628\, \pi t$ এবং $I_2 = 50 \sin 400\, \pi t$.

(ক) প্রথম সমীকরণের তড়িতের গড় মান নির্ণয় কর।

(খ) আকৃতি গুণাঙ্ক কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভরশীল নয়—উদ্দীপকের আলোকে যাচাই কর। [য. বো. ২০১৭]

(ক) উদ্দীপকের প্রথম সমীকরণ

$I_1 = 50 \sin 628\, \pi t$ ... ... (i)

আবার, পরিবর্তী প্রবাহের সাধারণ সমীকরণ,

$I = I_0 \sin \omega t$ [এখানে, ω = কৌণিক কম্পাঙ্ক = 2πf]

$= I_0 \sin 2\pi f t$ ... ... (ii)

উদ্দীপকের পরিবর্তী প্রবাহের প্রবাহমাত্রার বিস্তার $I_0 = 50$

এবং $2\pi f t = 628\, \pi t$

বা, $f = \frac{628}{2} = 314$ Hz

আমরা জানি, তড়িৎ প্রবাহের গড় মান,

$$\bar{I} = \frac{2}{\pi} I_0 = \frac{2}{\pi} \times 50 = \frac{100}{3.14} = 31.85 \text{ একক}$$

সুতরাং তড়িতের গড় মান, $\bar{I} = 31.85$ একক

Made with Goodnotes

(খ) আমরা জানি, আকৃতি গুণাঙ্ক $= \dfrac{\text{গড় বর্গের বর্গমূল মান}}{\text{গড় মান}} = \dfrac{\frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{শীর্ষ মান}}{\frac{2}{\pi}\ \text{শীর্ষ মান}}$

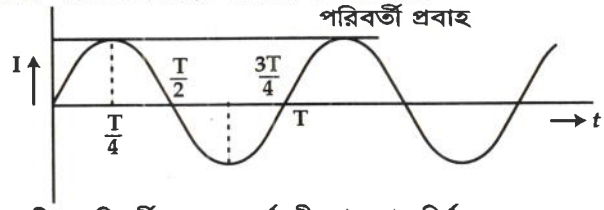
$= \dfrac{\frac{1}{\sqrt{2}} \times 50}{\frac{2}{\pi} \times 50}$ [এখানে প্রথম সমীকরণে শীর্ষমান 50 একক]

$= \dfrac{1}{\sqrt{2}} \times \dfrac{\pi}{2} = 1{\cdot}11 \quad \ldots \quad \text{(i)}$

দ্বিতীয় সমীকরণেও আকৃতি গুণাঙ্কের মান একই পাওয়া যায়।

আকৃতি গুণাঙ্ক পরিবর্তী প্রবাহ বা তড়িচ্চালক শক্তির আকার নির্দেশ করে। সমীকরণ (i) হতে দেখা যাচ্ছে যে আকৃতি গুণাঙ্ক পরিবর্তী প্রবাহের কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভরশীল নয়।

৯। নিচের চিত্রে একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $I = 40 \sin \omega t$।



(ক) উদ্দীপকের আলোকে দিক পরিবর্তী প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে যখন $t = \dfrac{3T}{4}$ তখন দিক পরিবর্তী প্রবাহের মান এর শীর্ষ মানের সমান কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ যুক্তি দাও। [দি. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$I_{rms} = 0{\cdot}707\ I_0$

$= 0{\cdot}707 \times 40$

$= 28{\cdot}28$ একক

এখানে,
তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষ মান, $I_0 = 40$ একক
সময়, $t = \frac{3}{4}T$
প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান, $I_{rms} = ?$

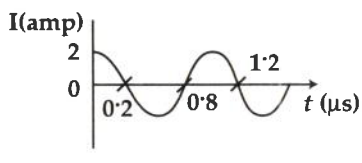
(খ) আমরা জানি, দিক পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ,

$I = I_0 \sin \omega t$ [এখানে, ω = কৌণিক কম্পাঙ্ক $= \frac{2\pi}{T}$]

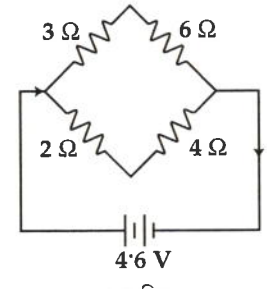
$\therefore \quad I = I_0 \sin \frac{2\pi}{T} t = I_0 \sin \left(\frac{2\pi}{T} \times \frac{3T}{4}\right)$

$= I_0 \sin \left(\frac{3\pi}{2}\right) = -I_0 = -40$ একক

লক্ষণীয় যে প্রবাহের মান এর শীর্ষ মানের সমান। তবে প্রবাহের অভিমুখ প্রবাহ শুরুর অভিমুখের বিপরীতমুখী।



১০।



১ম চিত্র

২য় চিত্র

রাফি ও শাফি উপরের চিত্র মোতাবেক কাজ করছে। রাফি বলল ১ম চিত্রের তড়িৎ প্রবাহের বিস্তারের সমান তড়িৎ প্রবাহ ২য় চিত্রের বর্তনীর জন্য যথার্থ। কিন্তু শাফি বলল, 'না', ২য় চিত্রের বর্তনীর জন্য যথার্থ তড়িৎ প্রবাহ হচ্ছে ১ম চিত্রের তড়িৎ প্রবাহের গড় মানের সমান।

Made with Goodnotes

(ক) ১ম চিত্র থেকে 6·8 μs পর তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।
(খ) কার উক্তি সঠিক যাচাই কর। [অভিন্ন প্রশ্ন (খ সেট) ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

$$I = I_0 \sin \omega t = I_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$$
$$= 2 \sin \left(\frac{2\pi}{1{\cdot}0 \times 10^{-6}} \times 6{\cdot}8 \times 10^{-6} \right)$$
$$= -1{\cdot}902 \text{ A}$$

এখানে,
$T = 1{\cdot}0 \text{ μs} = 1{\cdot}0 \times 10^{-6} \text{ s}$
$I_0 = 2 \text{ A}$
$t = 6{\cdot}8 \text{ μs} = 6{\cdot}8 \times 10^{-6} \text{ s}$
$I = ?$

(খ) উদ্দীপক মতে,

$$\frac{P}{Q} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

এবং $\frac{R}{S} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$

অর্থাৎ $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{1}{2}$

এখানে,
$P = 3 \Omega$
$Q = 6 \Omega$
$R = 2\Omega$
$S = 4 \Omega$
$V = 4{\cdot}6 \text{ V}$
$I_0 = 2 \text{ A}$
$I = 0{\cdot}637 \times I_0 = 1{\cdot}274 \text{ A}$
$\bar{I} = ?$

দেখা যাচ্ছে যে, ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় আছে। এজন্য গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে না। সুতরাং হুইটস্টোন ব্রিজটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ হিসাবের জন্য গ্যালভানোমিটারের রোধ উপেক্ষা করা হয়।

এখন, ১ম চিত্রের তড়িৎ প্রবাহের গড় মান $= 0{\cdot}637 \times$ শীর্ষ মান
$= 0{\cdot}637 \times 2 = 1{\cdot}274 \text{ A}$

২য় চিত্রের জন্য তড়িৎ প্রবাহ, $I_2 = \frac{V}{R_P}$

এখানে 3 Ω ও 6 Ω এবং 2 Ω ও 4 Ω শ্রেণিতে এবং 3Ω ও 6Ω এর লব্ধি রোধ 2 Ω ও 4 Ω এর লব্ধি রোধের সাথে সমান্তরালে যুক্ত।

অর্থাৎ $\frac{1}{R_P} = \frac{1}{3+6} + \frac{1}{2+4}$
$= \frac{1}{9} + \frac{1}{6} = \frac{9+6}{9 \times 6} = \frac{15}{54} = \frac{5}{18}$

$\therefore \quad R_P = \frac{18}{5} \Omega$

$\therefore \quad I_2 = \frac{4{\cdot}6}{\frac{18}{5}} = \frac{4{\cdot}6 \times 5}{18} = 1{\cdot}277 \text{ A}$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, ১ম চিত্রের তড়িৎ প্রবাহের গড় মান ২য় চিত্রের তড়িৎ প্রবাহের জন্য যথার্থ। তাই শাফির বক্তব্য সঠিক।

১১। একটি ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত প্রবাহমাত্রা $i = 5 \sin 100 \pi t$। এর গৌণ কুণ্ডলীতে প্রাপ্ত ক্ষমতা 150W এবং গৌণ কুণ্ডলীর রোধ 20Ω।
(ক) মুখ্য কুণ্ডলীতে কার্যকর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।
(খ) গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে উদ্দীপকের ট্রান্সফরমারের প্রকৃতি নির্ধারণ কর। [ব. বো. ২০১৯]

(ক) এখানে, $i = 5 \sin 100 \pi t$

আমরা জানি, পরবর্তী প্রবাহের সাধারণ সমীকরণ,

$$i = i_0 \sin \omega t$$

অতএব, $i_0 = 5\text{A}$

এখন, কার্যকর প্রবাহমাত্রা,

$$i_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$$

$$\therefore \quad i_{rms} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3{\cdot}536\text{A}$$

Made with Goodnotes

(খ) এখানে, গৌণ কুণ্ডলীতে ক্ষমতা,

$P = VI = 150$ watt

গৌণ কুণ্ডলীর রোধ,

$R = 20\ \Omega$

$\therefore\ P = VI = V \times \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$ [$\because\ V = IR$]

বা, $V^2 = P \times R = 150 \times 20$

সুতরাং গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ,

$\therefore\ V = \sqrt{150 \times 20} = 54.77$ V

মুখ্য কুণ্ডলীর ক্ষমতা ও গৌণ কুণ্ডলীতে প্রাপ্ত ক্ষমতা একই।

সুতরাং, মুখ্য কুণ্ডলীর ক্ষমতা, $P_1 = V_1 I_1 = 150$ watt

আবার, $I_1 = 3.536$A

$\therefore\ V_1 = \frac{P_1}{I_1} = \frac{150}{3.536} = 42.4$ V

এখন, যেহেতু মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ (42.4 V) অপেক্ষা গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ (54.77 V) বেশি; অতএব উদ্দীপকের ট্রান্সফরমারটি আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফরমার।

১২। একটি স্টেপআপ ট্রান্সফরমারে 220V সরবরাহ করে 2200V পাওয়া যায়। ট্রান্সফরমারটির মুখ্য কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 500 এবং রোধ 0.5Ω।

(ক) গৌণ কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপক অনুসারে কুণ্ডলীদ্বয়ের রোধের অনুপাত নির্ণয় করা যাবে কি না—বিশ্লেষণপূর্বক মতামত দাও।

[দি. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$\frac{E_s}{E_p} = \frac{n_s}{n_p}$

বা, $n_s = \frac{E_s n_p}{E_p}$

$\therefore\ n_s = \frac{2200 \times 500}{220} = 5000$

এখানে,

$E_p = 220$ V

$E_s = 2200$ V

$R_p = 0.5\ \Omega$

$n_p = 500$

(খ) মুখ্য কুণ্ডলীর ক্ষমতা, P_1 = গৌণ কুণ্ডলীর ক্ষমতা, P_2

বা, $V_1 I_1 = V_2 I_2$

বা, $V_1 \times \frac{V_1}{R_1} = V_2 \times \frac{V_2}{R_2}$

বা, $\frac{V_1^2}{R_1} = \frac{V_2^2}{R_2}$

$\therefore\ \frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = \left(\frac{2200}{220}\right)^2 = 100$

$\therefore\ R_2 : R_1 = 100 : 1$

অতএব, উদ্দীপক অনুসারে ট্রান্সফরমারের কুণ্ডলীদ্বয়ের রোধের অনুপাত নির্ণয় করা যাবে।

১৩। শিলা দিকপরিবর্তী তড়িৎচালক শক্তির একটি সমীকরণ লিখল এভাবে $E = 6 \sin 314t$। নাবিল বলল, কার্যকর তড়িৎচালক শক্তির মান 6V এর কম হবে।

(ক) তড়িৎচালক বলের পর্যায়কাল নির্ণয় কর।

(খ) নাবিল কি সঠিক বলেছিল ? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৯]

(ক) এখানে, $E = 6 \sin 314\ t$। আমরা জানি, তড়িৎচালক বলের সাধারণ সমীকরণ, $E = E_0 \sin \omega t$

অতএব, উদ্দীপকে প্রদত্ত মান অনুসারে,

$\omega = 2\pi f = 314$

এখন পর্যায়কাল, $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \times 3.14}{314} = 0.02$ sec

Made with Goodnotes

(খ) আমরা জানি, কার্যকর তড়িৎচালক বল,

$$E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$$

এখানে, $E_0 = 6V$

$$\therefore \quad E_{rms} = \frac{6}{\sqrt{2}} = \frac{6}{1.414} = 4.24 \text{ volt}$$

দেখা যাচ্ছে যে, কার্যকর তড়িৎচালক শক্তির মান 6V-এর চেয়ে কম। সুতরাং, নাবিল সঠিক বলেছিল।

১৪। একটি সলিনয়েডের ব্যাস 150 cm এবং পাক সংখ্যা 2×10^2 cm^{-1}। সলিনয়েডের কেন্দ্রে 1 cm ব্যাসার্ধ এবং 100 পাকের একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীকে সলিনয়েডের সঙ্গে সমাক্ষীয়ভাবে স্থাপন করা হলো। সলিনয়েডে প্রবামাত্রা 0.06 s-এ + 2A থেকে — 2A করা হলে—

(ক) কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল কত হবে ?

(খ) গাণিতিকভাবে দেখাও যে, ওই সময়ের মধ্যে কুণ্ডলীতে প্রবাহিত আধানের পরিমাণ 15.78×10^{-6} কুলম্ব। (দেওয়া আছে, কুণ্ডলীর রোধ 300Ω)

(ক) আমরা জানি, সলিনয়েডের মধ্যে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য,

$\beta = \mu_0 ni$, এখানে n = সলিনয়েডের একক দৈর্ঘ্যে পাক সংখ্যা $= 2 \times 10^2 \text{ cm}^{-1} = 2 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$

$\therefore$ কুণ্ডলীর সঙ্গে যুক্ত চৌম্বকফ্লাক্স,

$\varphi = BA, \; A = \pi r^2 = \pi \times (0.01)^2$

$\therefore$ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল,

$$e = N\frac{d\varphi}{dt} = NA\frac{dB}{dt} = NA\frac{d}{dt}(\mu_0 ni)$$

$$= NA\mu_0 n\frac{di}{dt}$$

এখন প্রশ্নানুসারে, $di = +2 - (-2) = 4$ A এবং $dt = 0.06$s

$$\therefore \quad e = 150 \times \pi \times (0.01)^2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 10^4 \times \frac{4}{0.06}$$

$$= \frac{1.5 \times 4 \times (3.14)^2 \times 2 \times 4 \times 10^{-5}}{0.06}$$

$$= 7.89 \times 10^{-2} \text{ volt}$$

(খ) এখন কুণ্ডলীর রোধ, R = 300 Ω, ওই সময়ের মধ্যে কুণ্ডলীতে প্রবাহিত তড়িৎ আধানের পরিমাণ হবে,

$$q = idt = \frac{e}{R} \times dt = \frac{78.88 \times 10^{-3}}{300} \times 0.06$$

$$= 1.578 \times 10^{-5} = 15.78 \times 10^{-6} \text{ কুলম্ব (প্রমাণিত)}$$

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। ট্রান্সফরমার এর কার্যনীতি পারস্পরিক আবেশ ক্রিয়ার ওপর প্রতিষ্ঠিত।

২। দিক পরিবর্তী প্রবাহের কার্যকর মান মূল গড় বর্গ মানের সমান।

৩। $i = i_1 \sin \omega t + i_2 \cos \omega t$ দিক পরিবর্তী প্রবাহের মূল গড় বর্গমান হলো $\sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2}{2}}$।

৪। কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার সংখ্যাকে বলা হয় ওই কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স।

৫। একটি বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তখনই যখন— (ক) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়, (খ) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায়।

৬। টেসলা-মি^{2} কে সংক্ষেপে ওয়েবার বলে। ইহা চৌম্বক ফ্লাক্সের SI একক।

৭। কুণ্ডলী তল ক্ষেত্রের সমান্তরাল হলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বনিম্ন হবে। লম্ব হলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বোচ্চ হবে।

৮। চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হার একই রেখে কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করলে মোট তড়িচ্চালক শক্তি দ্বিগুণ আবিষ্ট হয়।

৯। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের সমান।

১০। চৌম্বক ক্ষেত্রে সম-দ্রুতিতে ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল দিক পরিবর্তী।

১১। গৌণ কুণ্ডলীর আবেশ রেখার পরিবর্তনের ওপর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক নির্ভর করে না।

১২। একটি বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির দিক লেনজের সূত্রের দ্বারা নির্ণয় করা হয়।

Made with Goodnotes

১৩। ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীতে সৃষ্ট ফ্লাক্স মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক।
১৪। তড়িচ্চুম্বক আবেশের বেলায় চুম্বক শক্তি তড়িচ্চালক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।
১৫। কোনো কুণ্ডলীর নিকট একটি দণ্ড চুম্বককে গতিশীল করলে এতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। এই প্রক্রিয়ায় কোনো যান্ত্রিক শক্তি রূপান্তরিত হয় না, তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।
১৬। এক পাকের একটি কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট যে পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্স 1 সেকেন্ডে সুষমভাবে হ্রাস পেয়ে শূন্যে নেমে আসলে ওই কুণ্ডলীতে 1 volt তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় সেই পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্সকে 1 ওয়েবার বলে।
১৭। ধারকে যেমন স্থির তড়িৎ শক্তি সঞ্চিত হয় কুণ্ডলীতে তেমনি সঞ্চিত হয় চৌম্বক শক্তি।
১৮। I_0 স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কবিশিষ্ট একটি সলিনয়েডকে টেনে এর দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হলো। এতে এর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক হলো $\frac{I_0}{2}$।
১৯। পর্যায়বৃত্ত তড়িচ্চালক বলের একটি পূর্ণ চক্রের গড়মান শূন্য।
২০। সমপ্রবাহের ক্ষেত্রে আকৃতি গুণাঙ্কের মান 1। ট্রান্সফরমারের ক্ষেত্রে $\frac{E_p}{E_s} = \sqrt{\frac{R_p}{R_s}}$।
২১। একটি ট্রান্সফরমার আরোহী হবে যদি $n_s > n_p$ হয় এবং $I_p > I_s$ হয় এবং $E_s > E_p$ হয়। আর অবরোহী ট্রান্সফরমারের ক্ষেত্রে বিপরীত হয়।
২২। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করা যায়— (i) চৌম্বক ক্ষেত্র পরিবর্তন করে (ii) বন্ধ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল পরিবর্তন করে (iii) চৌম্বক ক্ষেত্র ও বন্ধ কুণ্ডলীর তলের মধ্যবর্তী কোণ পরিবর্তন করে।
২৩। $E = -L\frac{dI}{dt}$ সমীকরণ দ্বারা বুঝায়—
(i) আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সর্বদা প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরোধিতা করে।
(ii) প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পেলে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বৃদ্ধির বিরোধিতা করে।
(iii) প্রবাহমাত্রা হ্রাস পেতে থাকলে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল ওই হ্রাসের বিরুদ্ধে কাজ করে।
২৪। চৌম্বক আবেশ হলো চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব।
২৫। দিক পরিবর্তী প্রবাহের অর্ধচক্রের গড়মান উহার শীর্ষমানের 0·637 ভাগ (63·7%)।
২৬। বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ভরশীল—আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির ওপর এবং চৌম্বক ফ্লাক্সের ওপর।
২৭। মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ চললে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত মোট ফ্লাক্স প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক।
২৮। ট্রান্সফরমারের যে কুণ্ডলীতে পরিবর্তী বিভব আবিষ্ট হয় তাকে গৌণ কুণ্ডলী বলে। আর যে কুণ্ডলীতে পরিবর্তী প্রবাহ প্রয়োগ করা হয় তাকে মুখ্য কুণ্ডলী বলে।

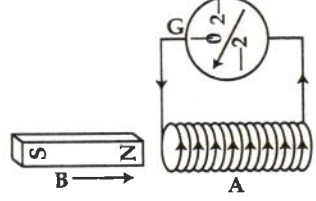
অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে, তাকে কী বলে ?
ⓚ পারস্পরিক আবেশ
ⓛ পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক
ⓜ স্বকীয় আবেশ
ⓝ স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক

২। এক বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তখনই যখন—
(i) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায়
(ii) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ স্থির থাকে
(iii) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓜ ii ও iii
ⓝ i, ii ও iii

৩। নিচের চিত্রে NS একটি দণ্ড চুম্বক, A একটি বন্ধ কুণ্ডলী যার সাথে গ্যালভানোমিটার G যুক্ত।



(i) চুম্বকের উত্তর মেরুকে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষেপ দেখাবে
(ii) চুম্বককে থামালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষিপ্ত অবস্থানে থাকবে
(iii) চুম্বককে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর মধ্য হতে বাইরে আনলে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিপরীত দিকে বিক্ষেপ দেখাবে

Made with Goodnotes

নিচের কোনটি সঠিক?
ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪। একটি তড়িৎ বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ণয় করা যায় কোন সূত্র দ্বারা ?
[ঢা. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৯; Admission Test : KU 2018-19, 2015-16, 2016-17; RU-C 2021-22; DU (HEC) 2020-21; BRU, RU-G1 2017-18; JGVC 2019-20]
ক ফ্যারাডের সূত্র
খ নিউটনের সূত্র
গ ম্যাক্সওয়েলের সূত্র
ঘ লেনজের সূত্র

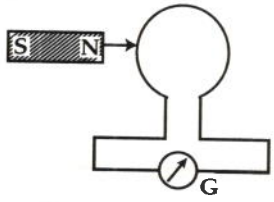
৫। কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ $1\ mAs^{-1}$ হারে পরিবর্তনের দরুন আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $50\ \mu V$ হলে, কুণ্ডলীটির স্বাবেশ গুণাঙ্ক—
ক 50
খ 5
গ 0·5
ঘ 0·05

৬। স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক—
[দি. বো. ২০১৫; Admission Test : SUST 2019-20; BDS 2017-18; IU 2015-16; RU-G1 2017-18]
(i) H
(ii) $Wb\ A^{-1}$
(iii) VA^{-1}
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৭। কোনটির কার্যনীতি আবেশ ক্রিয়ার ওপর প্রতিষ্ঠিত?
[ব. বো. ২০১৯; Medical Admission Test, 2017-18; Admission Test : RU 2017-18; PUST 2017-18, 2015-16; KU 2011-12]
ক মোটর
খ ট্রান্সফরমার
গ জেনারেটর
ঘ ট্রানজিস্টর

৮। 5 H স্বাবেশ গুণাঙ্কের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 1 A/s হারে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলতে থাকলে কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ?
ক 5 V
খ 10 V
গ 15 V
ঘ 20 V

চিত্রের আলোকে ৯নং ও ১০নং প্রশ্নের উত্তর দাও :
[ঢা. বো. ২০১৬]



৯। ওপরের কুণ্ডলীতে—
(i) তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়
(ii) ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হবে
(iii) চুম্বকটি আকর্ষণ অনুভব করবে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i
খ i ও ii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

১০। কুণ্ডলীতে যদি 300 পাক থাকে তবে 0·05 সেকেন্ডে 50×10^{-4} ওয়েবার ফ্লাক্স পরিবর্তন করা হলে কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে?
[Admission Test : RU 2016-17 (মান ভিন্ন); SUST 2017-18 (মান ভিন্ন)]
ক 360 V
খ 300 V
গ 100 V
ঘ 30 V

১১। তোমার কলেজে দিক পরিবর্তী বৈদ্যুতিক সরবরাহ লাইনের কম্পাঙ্ক কত ? [ঢা. বো. ২০১৬]
ক 50 Hz
খ 100 Hz
গ 150 Hz
ঘ 220 Hz

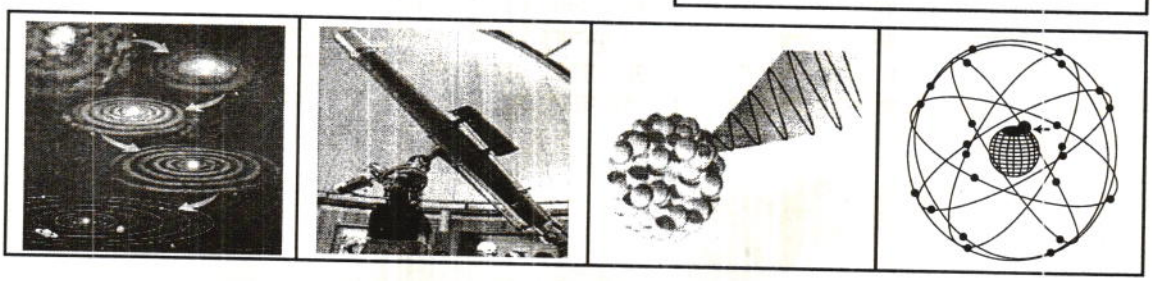
১২। লেনজের সূত্র থেকে জানা যায়—
[রা. বো. ২০১৬]
(i) আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল
(ii) আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ
(iii) আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

Made with Goodnotes

১১

জ্যোতির্বিজ্ঞান
ASTRONOMY

প্রধান শব্দ (Key Words) : মহাবিশ্ব, বিগ ব্যাং তত্ত্ব, বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্ব, মহাবিশ্বের পরিণতি, আবদ্ধ মহাবিশ্ব, উন্মুক্ত মহাবিশ্ব, সমতল মহাবিশ্ব, নক্ষত্র, ক্ষেত্র কণা, শ্বেতবামন, কৃষ্ণবিবর, সুপারনোভা, নিউট্রন তারকা, রেডিও টেলিস্কোপ, অপটিক্যাল টেলিস্কোপ, গামা-রে টেলিস্কোপ, এক্স-রে টেলিস্কোপ, কৃত্রিম উপগ্রহ, পার্কিং কক্ষপথ।



সূচনা
Introduction

যা কিছুর অস্তিত্ব আছে তা-ই মহাবিশ্ব। পৃথিবী মহাবিশ্বের অংশ। ঠিক তেমনি সূর্য, চন্দ্র এবং অন্যান্য সব গ্রহও মহাবিশ্বের অংশ। ধূলি, গ্যাসের তারা এবং মেঘ মহাবিশ্বের অংশ। এই মহাবিশ্বের সৃষ্টি রহস্য এবং তার পরিণতি নিয়ে বিজ্ঞানীদের গবেষণার অন্ত নেই। বিজ্ঞানীদের ধারণা মহাবিস্ফোরণই এই মহাবিশ্ব সৃষ্টির মূল রহস্য। আবার সংকোচন ও কৃষ্ণগহ্বর সৃষ্টি অতঃপর তারার মৃত্যু এসব মহাবিশ্ব ধ্বংসের অন্যতম কারণ। এছাড়া মহাবিশ্বের বিভিন্ন বস্তু যেমন নক্ষত্র, গ্রহ, উপগ্রহসহ নানাবিধ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত রেডিও টেলিস্কোপ, অপটিক্যাল টেলিস্কোপ, গামা-রে টেলিস্কোপ, এক্স-রে টেলিস্কোপ এবং কৃত্রিম উপগ্রহের মূলনীতির আলোচনা এ অধ্যায়ের মূল বিষয়।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে মহাবিশ্বের পরিণতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মহাবিশ্বের মূল বস্তু ও ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মহাকাশ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত বিভিন্ন যন্ত্রের মূল নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।

১১.১ মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য
Mystery of the creation of the universe

RMDAC

মহাবিশ্ব সৃষ্টি সংক্রান্ত চিন্তা-ভাবনা শুরু হয় প্রাচীনকাল হতে। মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য জানতে প্রয়োজন পড়েছে আপেক্ষিক তত্ত্বের, কণা পদার্থবিজ্ঞানের, নিউক্লীয় পদার্থবিজ্ঞানের, তাপগতিবিজ্ঞানের, প্লাজমা ও কঠিনাবস্থার পদার্থবিজ্ঞানের এবং সর্বোপরি জ্যোতির্পদার্থবিজ্ঞানের। মহাবিশ্বের সৃষ্টি সংক্রান্ত বিজ্ঞান হলো বিশ্ব সৃষ্টি তত্ত্ব বা Cosmology। বহু প্রাচীন ঐতিহ্য এবং বিভিন্ন ধর্ম মতে মহাবিশ্ব সৃষ্টি হয়েছিল বেশ নিকট অতীতে। সপ্তদশ শতাব্দীতে **বিশপ উসার** (Bishop Ussher) হিসাব করে বলেছিলেন মহাবিশ্ব সৃষ্টি হয়েছিল 4000 খ্রিস্ট পূর্বাব্দে। ওল্ড টেস্টামেন্টের লোকদের বয়স যোগ করে তিনি এই হিসাব পেয়েছিলেন। অন্যদিকে গ্রিক দার্শনিক **অ্যারিস্টটলের** মতো কিছু লোকের মনে হয়েছিল মহাবিশ্ব সৃষ্টি হয়েছিল ঐশ্বরিক হস্তক্ষেপে। এখন প্রশ্ন হলো মহাবিশ্ব কী ? বা What is universe ? এর জবাব হলো যা কিছুর অস্তিত্ব আছে তাই-ই মহাবিশ্ব। পৃথিবী মহাবিশ্বের অংশ। ঠিক তেমনি সূর্য, চন্দ্র এবং অন্যান্য সব গ্রহও মহাবিশ্বের অংশ। ধূলি গ্যাসের তারা এবং মেঘ মহাবিশ্বের অংশ। আর এগুলো একত্রে মিলেমিশে আমাদের এই সৌর জগৎ। অন্যান্য তারার মতো সূর্যও একটি উত্তপ্ত জ্বলন্ত গ্যাসের পিণ্ড। সব মিলিয়ে বিস্ময়কর বিশাল এই মহাবিশ্ব।

বিজ্ঞানের বিষয় হিসেবে বিশ্ব সৃষ্টিতত্ত্বের জন্ম শুরু হয় 1916 সালে **আলবার্ট আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিক তত্ত্ব** (Theory of general relativity) প্রণয়নের পর থেকে। এই তত্ত্ব মহাকর্ষকে বিশ্বের স্থানকালের বহিঃপ্রকাশ হিসেবে ভাবতে শেখায়। **নিউটনের মহাকর্ষ তত্ত্বের** মধ্যে যে বিশ্ব সৃষ্টি সম্পর্কে বৈজ্ঞানিক কৌতূহলের বীজ লুকিয়েছিল নিউটন তা লক্ষ করেননি। মহাকর্ষ তত্ত্ব বলে যে, এই বিশ্বের সকল জড় বস্তুই অন্য সকল জড় বস্তুকে আকর্ষণ

Made with Goodnotes

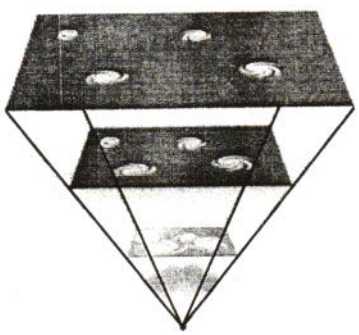
RMDAC

করে। এই আকর্ষণ যদিও দূরত্বের সঙ্গে কমে যায়, তা সত্ত্বেও এই পরস্পর আকর্ষণের ফলে সমস্ত বস্তুরই ক্রমাগত পরস্পরের সান্নিধ্যে চলে আসার কথা ও অবশেষে একত্রে মিশে যাওয়ার কথা। অর্থাৎ মহাকর্ষের প্রভাবে আমাদের পরিচিত বিশ্ব চিরস্থায়ী থাকতে পারে না।

1929 সালে **এডউইন হাবল** (Edwin Hubble)-এর মহাবিশ্বের প্রসারণ আবিষ্কারের ফলে এর উৎপত্তি সম্পর্কীয় আলোচনা সম্পূর্ণ পরিবর্তন হয়। আজ থেকে 1500–2000 কোটি বছর আগে মহাবিশ্বের আকৃতি ছিল ডিম্বাকার এবং এর ভর ছিল 10^{51} kg এবং ঘনত্ব 10^{21} kg m^{-3}। অভ্যন্তরীণ বিপুল তাপ ও চাপের কারণে প্রচণ্ড শব্দে ডিম্বাকার বস্তুর মহাবিস্ফোরণ ঘটে। এই বিস্ফোরণের ফলেই সৃষ্টি হয়েছিল আমাদের এই মহাবিশ্ব। এটাই বিগ ব্যাং তত্ত্ব (Big bang theory)। এখান থেকেই সময়, স্থান, শক্তি ও পদার্থের উৎপত্তি হয় বলে ধারণা করা হয়। বিগ ব্যাং-এর কারণে সৃষ্ট খণ্ডাংশগুলো বিভিন্ন রূপ যেমন গ্রহ, উপগ্রহ, নক্ষত্র, উল্কা, ধূমকেতু ইত্যাদি নাম নিয়ে প্রতিনিয়ত নির্দিষ্ট হারে দূরে সরে যাচ্ছে [চিত্র ১১·১]। দূরে সরতে সরতে এক সময় এগুলো এদের শেষ সীমায় পৌঁছে যাবে। এর অর্থ হলো নীহারিকাগুলো পরস্পর থেকে দূরে সরে যাচ্ছে। ইহাই **সম্প্রসারণ তত্ত্ব**। যার দূরত্ব বেশি তার পরস্পর থেকে সরে যাবার গতিবেগও বেশি।

চিত্র ১১·১

1965 সালে আমেরিকার নিউজার্সিতে বেল টেলিফোন ল্যাবরেটরিতে **আর্নো পেনজিয়াস** (Arno Penzias) আর **রবার্ট উইলসন** (Robert Wilson) নতুন মাইক্রোওয়েভ অ্যান্টেনা দিয়ে পরীক্ষা করে দেখেন যে, একটা অদ্ভুত তরঙ্গ চারদিক হতে আসছে। তাঁরা বুঝলেন, এটা হলো মহাবিস্ফোরণের ফলে আলোর তরঙ্গের সরণের ফলে লাল পেরিয়ে মাইক্রোওয়েভ তরঙ্গে পরিণত হবার ফল। তাদের এই আবিষ্কারের জন্য 1978 সালে তারা পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কার পেলেন।



চিত্র ১১·২

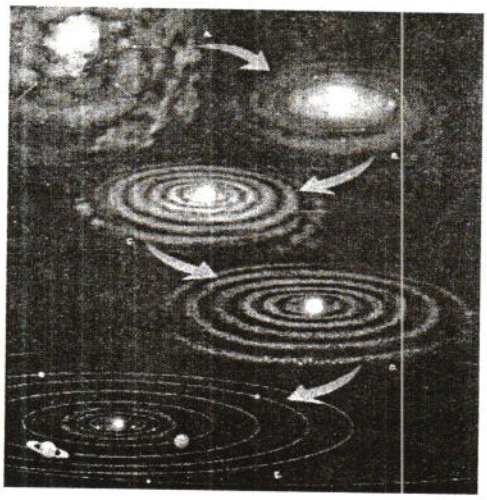
বিগ ব্যাং ঘটনার পর নীহারিকাগুলো আর দূরে সরে না গিয়ে বরং পরস্পরের কাছাকাছি চলে আসতে আসতে ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়ে ঘনীভূত হবে। এটি **বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্ব** [চিত্র ১১·২]। বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্বের সমাপ্তিই হলো বিগ ব্যাং-এর সূচনা। এভাবেই বিগ ব্যাং ও বিগ ক্রাঞ্চ পর্যায়ক্রমে সংঘটিত হয়। একে **পালসার (Pulsar) থিওরি** বলে।

বিজ্ঞানীরা মহাবিশ্বের দূর সীমানায় টেলিস্কোপের সাহায্যে পরীক্ষা করে দেখেন যে, এই মহাবিশ্ব প্লাজমা অবস্থায় অর্থাৎ অস্বচ্ছ আয়নিত গ্যাসে পূর্ণ ছিল। পরোক্ষ হিসাবে দেখা গেছে যে, মহাবিস্ফোরণের 10^{-43} সেকেন্ড পর মহাবিশ্বের তাপমাত্রা ছিল 10^{32} ডিগ্রি সেলসিয়াস এবং ঘনত্ব পানির ঘনত্বের চেয়ে 10^{10} গুণ। মহাবিস্ফোরণের এক সেকেন্ডের শতভাগের একভাগ সময়টিতে মহাবিশ্ব পরিপূর্ণ ছিল বিকিরণ, নিউট্রিনো এবং ইলেকট্রন-পজিট্রন যুগলে। তাপমাত্রা তখনো এসব হালকা পদার্থ ও প্রতিপদার্থের কণিকা যুগল সৃষ্টির জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি যোগান দিতে সক্ষম ছিল। প্রায় দুই সেকেন্ড পর মহাবিশ্ব এতটা ঠাণ্ডা হয়ে এলো যে, ইলেকট্রন-পজিট্রন যুগল এখন আর নতুন করে সৃষ্টি হতে পারল না এবং ক্রমাগত এরা ধ্বংস হয়ে রূপ নিল শক্তিতে। অল্প সংখ্যক ইলেকট্রন শুধু অবশেষ থাকল ধনাত্মক প্রোটন কণিকার চার্জের ভারসাম্য বজায় রাখতে। বিকিরণ এখন প্রাধান্য পেল সমস্ত জগৎ জুড়ে প্রতিটি প্রোটন, নিউট্রন বা ইলেকট্রনের জন্য প্রায় শত কোটি আলোক কণিকার। অর্থাৎ ফোটন বিরাজ করছিল তখন মহাবিশ্বে। এরপর মহাবিশ্বের বয়স বৃদ্ধির সাথে সাথে তাপমাত্রা হ্রাস পেতে থাকে এবং উচ্চ শক্তি ফোটনের সংখ্যা হ্রাস পেতে থাকে। ফলে ইলেকট্রন-পজিট্রন মিলে যে হারে ফোটন তৈরি করে, সেই হারে আর ফোটন থেকে ইলেকট্রন-পজিট্রন জোড় তৈরি করতে পারে না। মহাবিস্ফোরণের তিন মিনিটের মাথায় প্রোটন ও নিউট্রন মিলে হিলিয়াম নিউক্লিয়াস সৃষ্টি হতে থাকে। আরো দেখা যায় মহাবিস্ফোরণের মাত্র দশ লক্ষ বছর পরেই মহাবিশ্বের অতি ঘনীভূত উত্তপ্ত বিস্তারমান বিকিরণ ও কণিকার পিন্ড তাপ হারিয়ে 3000° C নেমে এসেছে। আর এই তাপমাত্রায় এসেই

Made with Goodnotes

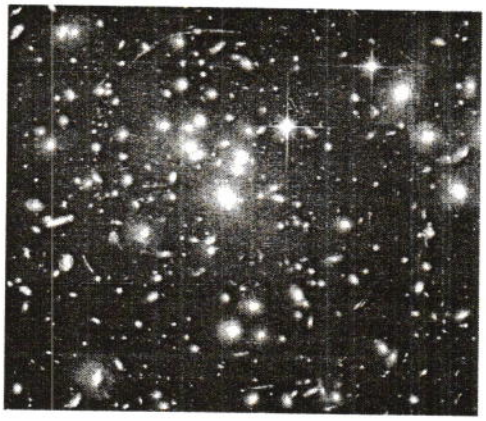
ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াসসমূহের চারপাশে কক্ষপথ নিয়ে হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম পরমাণু সৃষ্টি করতে শুরু করেছে। এ সময় বায়ু ও বিকিরণ ভারসাম্য লাভ করে একটি সুষম তাপমাত্রায় এসেছে।

বিশ্বের প্রসারণ এবং বিশ্বে পর্যবেক্ষিত হাইড্রোজেন ও হিলিয়ামের শতাংশের অনুপাত 3 : 1। বিশ্ব সৃষ্টির পাঁচ থেকে সাত লক্ষ বছর পর এর তাপমাত্রা এত কমে যায় যে, ইলেকট্রন কক্ষপথে আসতে শুরু করে এবং পূর্ণাঙ্গ পরমাণু গঠন সম্পন্ন হয়। ইলেকট্রন পরমাণু গঠনে ব্যবহৃত হওয়ায়, মুক্ত ইলেকট্রনের ঘাটতি দেখা দেয়। এজন্য ফোটন ইলেকট্রন মিথস্ক্রিয়া থেকে সরে গিয়ে স্বচ্ছ হয়ে ওঠে। এর আগ পর্যন্ত বিশ্ব প্লাজমা পূর্ণ ছিল, যা দেখতে সূর্যের বর্ণমণ্ডলের মতো। মহাবিশ্বের এই প্রসারণকে বেলুনের সাথে কল্পনা করা যায়। ধরা যায়, বেলুনের ওপর কিছু রং এর ফোটা দেওয়া আছে। এখন বেলুনটিকে ফুলালে ফোটাগুলোর মধ্যে দূরত্ব বেড়ে যাবে। মহাকাশে প্রচণ্ড গতিতে ছুটে চলা অসংখ্য গ্যালাক্সির মধ্যে দূরত্ব বেড়ে যাচ্ছে। আবার কখনো দেখা যায় এই প্রচণ্ড গতিতে চলমান দুটি গ্যালাক্সি পরস্পরের সঙ্গে সংঘর্ষ ঘটিয়ে প্রচণ্ড তাপ ও আলো সৃষ্টি করে ধ্বংস হয়ে যায়। গ্যাসের মেঘ আর ধূলিকণা হতে সৃষ্ট এই নক্ষত্র বা তারার রাজ্য এবং পরবর্তীতে রূপ নেয় সৌর জগতে [চিত্র ১১·৩]। আর সেই নারকীয় ধ্বংসস্তূপ থেকে ছড়িয়ে পড়া রেডিও তরঙ্গের কিছুটা এসে ধরা পড়ে পৃথিবীর রেডিও টেলিস্কোপে।



চিত্র ১১·৩

সৃষ্টিতত্ত্ব (Cosmology)-এর মৌলিক নীতিই হচ্ছে দিক নিরপেক্ষতা এবং সমসত্ত্ব অবয়ব। অর্থাৎ মহাবিশ্বের যে কোনো স্থান হতে যেকোনো দিকে দেখা হোক না কেন মহাবিশ্ব একইরকম দেখাবে।



চিত্র ১১·৪

১৯২০ সালে এডউইন হাবল এর প্রথম পর্যবেক্ষণের সময়ের তুলনায় বর্তমান জ্যোতির্বিজ্ঞানিগণ এখন তাদের টেলিস্কোপের দৃষ্টি অনেক দূর পর্যন্ত বিস্তৃত করেছেন। যার ফলশ্রুতিতে এসব দূরতম অবস্থার গ্যালাক্সির যাত্রার শুরুর সময় হিসাব করে মহাবিশ্বের বয়স তাঁরা অনুমান করেছেন দেড় হাজার কোটি বছর।

মহাবিস্ফোরণের পর থেকে যত দিন যাচ্ছে মহাবিশ্বের প্রসারণ একইভাবে বাড়ছে। তবে এই প্রসারণ নিকটবর্তী গ্যালাক্সির জন্য প্রযোজ্য নয়। অর্থাৎ আমাদের সৌর জগৎ স্ফীত হচ্ছে না কিংবা গ্রহদের থেকে পৃথিবীর দূরত্ব বাড়ছে না। প্রকৃতপক্ষে, আমাদের আকাশগঙ্গা ছায়াপথ ও ধ্রুবমাতা বা অ্যান্ড্রোমিডা এবং আরও কয়েকটি ছোট গ্যালাক্সি মিলে লোকাল গ্যালাক্সি স্তবক তৈরি করেছে [চিত্র ১১·৪]।

মহাবিশ্ব অনির্দিষ্টভাবে প্রসারিত হতে পারে না। একটি নির্দিষ্ট অবস্থার পর মহাকর্ষীয় আকর্ষণের কারণে এই প্রসারণ থেমে যাবে এবং মহাবিশ্ব পুনরায় সংকোচিত হবে। এই সংকোচন একটি সংকট আকারে পৌঁছালে পুনরায় বিস্ফোরিত হবে এবং নতুন করে প্রসারণ ও তারকার সংকোচন ঘটবে। ফলে মহাবিশ্বের সীমা একবার বড় ও একবার ছোট হবে। অর্থাৎ সীমানা স্পন্দিত হবে। একে স্পন্দনশীল তত্ত্ব বলে। 8×10^9 বছর পর এ ঘটনা ঘটতে পারে। পদার্থবিজ্ঞানী **স্টিফেন হকিং** তাঁর "A Brief History of Time" (কালের সংক্ষিপ্ত ইতিহাস) গ্রন্থে মহাবিশ্ব সৃষ্টির এই 'বৃহৎ বিস্ফোরণ' তত্ত্বের পক্ষে যুক্তি ও ব্যাখ্যা উপস্থাপন করেন।

কাজ : মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ কী কী বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল ?

মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ বর্তমান প্রসারণের হার, বিশ্বের বক্রতা, বিশ্বে মোট বস্তুর পরিমাণ, মহবিশ্বের গড় ঘনত্ব, সংকট ঘনত্ব ইত্যাদি বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল।

Made with Goodnotes

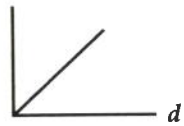
কাজ : হাবল বিধি কী ? ব্যাখ্যা কর।

1929 সনে এডুইন হাবল দীর্ঘ নয় বছর পর্যবেক্ষণ করে দেখিয়েছেন যে ছায়াপথসমূহ অপসারিত হচ্ছে এবং তাদের এই অপসারণ বেগের মান তাদের দূরত্বের সমানুপাতিক অর্থাৎ $v \propto d$। ইহাই হাবল বিধি। **এই সূত্রানুসারে গ্যালাক্সিগুলো প্রতিনিয়ত প্রচণ্ড বেগে আমাদের থেকে দূরে সরে যাচ্ছে এবং গ্যালাক্সিসমূহের দূরগমনের বেগ আমাদের থেকে দূরত্বের সমানুপাতিক।**

মহাবিশ্বের যেকোনো প্রসঙ্গ কাঠামো বিন্দু থেকে কোনো গ্যালাক্সির দূরত্ব d এবং পশ্চাদপসরণের বেগ v হলে হাবল-এর বিধি অনুসারে,

$v = Hd$; এখানে H হচ্ছে হাবল ধ্রুবক, এর মাত্রা সময়ের বিপরীত। সম্পর্কটি লেখচিত্রে দেখানো হলো :

H এর মান এখনো সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হয়নি। হাবল ধ্রুবক-এর একটি যুক্তিসঙ্গত মান হলো 72 kms^{-1}/MPc (1 MPc = $3{\cdot}084 \times 10^{19}$ km)। অর্থাৎ এক বছরে আলো শূন্য স্থানে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তার 3·26 গুণ। 13·8 বিলিয়ন ($13{\cdot}8 \times 10^9$) বছর আগে বিগ ব্যাং সংগঠিত হওয়ার পর থেকে মহাবিশ্ব বিবর্তনের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করে আজকের অবস্থায় উপনীত হয়েছে। কণা পদার্থবিজ্ঞানীদের মহামিলন তত্ত্ব (Grand Unification Theory) এবং জ্যোতি পদার্থবিদদের বিগ ব্যাং তত্ত্ব একত্রে মহাবিশ্ব সৃষ্টি তত্ত্বের গ্রহণযোগ্য ব্যাখ্যা প্রদান করতে সক্ষম। বর্তমান মহাবিশ্বের বৈশিষ্ট্যই হচ্ছে কণাসমূহের নিম্ন তাপমাত্রা এবং নিম্ন ঘনত্ব। এর গঠন ও বিবর্তন মহাকর্ষ বল দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। যেহেতু মহাবিশ্ব প্রতিনিয়ত সম্প্রসারিত ও শীতল হচ্ছে তাই দূর অতীতে কণাসমূহে উচ্চ তাপমাত্রা ও উচ্চ ঘনত্বের অধিকারী ছিল। যে সময়ে মহাবিশ্ব ইলেকট্রন ও ধনাত্মক আয়নের প্লাজমা রূপে ছিল সে সময়ে তড়িৎ চৌম্বক বল মহাবিশ্বের কাঠামো নির্মাণে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রেখেছিল।



জানার বিষয় : I. বিগ ব্যাং মডেলের জনক জর্জ লেমাইটার। [DAT: 19-20]

II. মহাবিশ্বের প্রসারণ আবিষ্কার করেন এডউইন হাবল।

গাণিতিক উদাহরণ ১১.১

১। ছায়াপথ গ্যালাক্সির কেন্দ্র থেকে সৌর জগতের দূরত্ব 32000 আলোক বর্ষ। এটাকে Pc এবং মিটারে প্রকাশ কর।

আমরা জানি,

3·2 আলোক বর্ষ = 1 Pc

∴ 1 আলোক বর্ষ $= \frac{1}{3{\cdot}2}$ Pc

∴ ছায়াপথ গ্যালাক্সির কেন্দ্র থেকে সূর্যের দূরত্ব $= \frac{32000}{3{\cdot}2} = 10{,}000$ Pc = 10 kPc

আবার, $1\ Pc = 3{\cdot}1 \times 10^{16}$ m

∴ $10{,}000\ Pc = 10{,}000 \times 3{\cdot}1 \times 10^{16}\ m = 3{\cdot}1 \times 10^{20}\ m$

২। কোনো কোয়াসার থেকে আগত আলোক রশ্মি অনুযায়ী প্রতীয়মান হয় যে পৃথিবী থেকে কোয়াসারটি $2{\cdot}7 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগে সরে যাচ্ছে। পৃথিবী হতে কোয়াসারটির দূরত্ব নির্ণয় কর। [H = 72 kms^{-1}/MPc]

হাবল সূত্র অনুযায়ী, আমরা জানি,

$v = Hd$

বা, $d = \frac{v}{H}$

∴ $d = \frac{2{\cdot}7 \times 10^8\ ms^{-1}}{72\ kms^{-1}/MPc} = \frac{2{\cdot}7 \times 10^8\ ms^{-1} \times MP_C}{72\ kms^{-1}}$

$= \frac{2{\cdot}7 \times 10^8\ ms^{-1} \times 3{\cdot}084 \times 10^{19}\ km}{72\ kms^{-1}}$ [∵ $1\ MPc = 3{\cdot}084 \times 10^{19}$ km]

$= 1{\cdot}16 \times 10^{26}$ km

এখানে,
বেগ, $v = 2{\cdot}7 \times 10^8\ ms^{-1}$
হাবল ধ্রুবক, H = 72 kms^{-1}/MPc
দূরত্ব, d = ?

১১.২ পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে মহাবিশ্বের চূড়ান্ত পরিণতি

Ultimate fate of the universe in the light of physics

মহাবিশ্বের ভবিষ্যত বা পরিণতি কিংবা মহাবিশ্বের ভবিষ্যদ্বাণী সম্পর্কীয় ইতিহাস কী হবে ? তা নিয়ে বিজ্ঞানীদের গবেষণা ও চিন্তা-চেতনা থেমে নেই। বর্তমান জ্ঞানের ওপর ভিত্তি করেও বিশ্বের নিয়তি সম্বন্ধে সঠিকভাবে

Made with Goodnotes

RMDAC
১০৩৫

ভবিষ্যদ্বাণী করা সম্ভব নয়, কারণ এখানে কয়েকটা অনিশ্চয়তা রয়ে যায়। কিন্তু বর্তমান জ্ঞানের সাহায্যে বিশ্বের নিয়তি কী হবে সেটা কয়েকটি নির্দিষ্ট সম্ভাবনার মধ্যে সীমাবদ্ধ করা যায়।

মহাবিশ্বের চূড়ান্ত পরিণতি ঘটতে অবশ্যই অনেক সময় লাগবে। সময়ের ব্যবধানে মহাবিশ্বের পরিণতি কী হবে, তা নিম্নের দুটি বিষয়ের ওপর নির্ভর করে। যথা—

(১) মহাবিশ্বের বর্তমান গঠন কীরূপ এবং

(২) মহাবিশ্ব কীভাবে এই গঠন প্রাপ্ত হয়েছে।

এই দুইটা প্রশ্নের উত্তর জানলে মহাবিশ্বের চূড়ান্ত পরিণতি কী হবে সে সম্পর্কে জানা সম্ভব হবে।

সামগ্রিক বিবেচনায় মহাবিশ্বের মূল গাঠনিক উপাদান হলো গ্যালাক্সিগুলো। মহাবিশ্বের অসীম শূন্যতায় মহাসমুদ্রে বিলিয়ন বিলিয়ন দ্বীপ সদৃশ নক্ষত্রের সমন্বয়ে প্রতিটি গ্যালাক্সি গঠিত। পৃথিবী, সূর্য ও সৌরজগতের অন্যান্য গ্রহ নিয়ে আমরা যে গ্যালাক্সিতে বাস করছি তার নাম মিল্কিওয়ে (Milkyway) গ্যালাক্সি বা ছায়াপথ। একে আকাশগঙ্গাও বলা হয়।

মহাবিশ্বের জ্যামিতিক গঠন বুঝতে হলে মহাবিশ্বের ঘনত্ব প্যারামিটার (parameter) Ω (omega) সম্পর্কে জানা দরকার। ঘনত্ব প্যারামিটার Ω হচ্ছে মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব, ρ এবং সংকট ঘনত্ব ρ_C এর অনুপাত। গড় ঘনত্ব ρ বলতে মহাবিশ্বের প্রকৃত ঘনত্ব বোঝায় এবং সংকট ঘনত্ব, $\rho_C = \frac{3H^2}{8\pi G}$।[১] এখানে, H হলো হাবল (Hubble) ধ্রুবক এবং G হলো মহাকর্ষীয় ধ্রুবক। ρ_C এর মান প্রায় $9{\cdot}47 \times 10^{-27}\ \text{kgm}^{-3}$। Ω-এর মানের ওপর মহাবিশ্বের জ্যামিতিক গঠন নির্ভর করে। Ω-এর মান 1 এর চেয়ে অধিক বা সমান বা কম হতে পারে। $\Omega < 1$ হলে মহাবিশ্বের আকৃতি হবে উন্মুক্ত, $\Omega = 1$ হলে আকৃতি হবে সমতল এবং $\Omega > 1$ হলে গঠন হবে আবদ্ধ প্রকৃতির [চিত্র ১১·৫]।

পরীক্ষালব্ধ ফলাফল বিশ্লেষণ করে এটি প্রমাণিত হয়েছে যে গ্যালাক্সিগুলো একে অপরের কাছ থেকে একটি নির্দিষ্ট হারে দূরে সরে যাচ্ছে। অর্থাৎ মহাবিশ্ব প্রসারিত হচ্ছে। তাই অনুমান করা স্বাভাবিক যে এক সময় এসব গ্যালাক্সিগুলো একত্রে আবদ্ধ ছিল। ধারণা করা হয় প্রায় 1370 কোটি বছর আগে অতি ঘন ও অত্যন্ত উত্তপ্ত ছোট একটি বিন্দু বিস্ফোরিত হয়ে এই মহাবিশ্বের জন্ম হয়। পুঞ্জীভূত সকল পদার্থ ওই মহাবিস্ফোরণের ফলে প্রচণ্ড বেগে চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে। এই বিস্ফোরণকে বলা হয় বিগ ব্যাং (Big bang)। এর মাধ্যমেই স্থান ও কালের সৃষ্টি হয়েছিল। এরপর পরমাণু, নক্ষত্র এবং সবশেষে গ্যালাক্সি বা ছায়াপথ সৃষ্টি হয়েছিল। জন্মের পর থেকেই গ্যালাক্সিগুলো ক্রমাগত প্রসারিত হচ্ছে এবং পরস্পর থেকে দূরে সরে যাচ্ছে।

স্বাভাবিকভাবে প্রশ্ন জাগে, মহাবিশ্বের এই প্রসারণ কী চিরকাল অব্যাহত থাকবে, নাকি কোনো এক সময় বন্ধ হয়ে যাবে। যদি বন্ধ হয়ে যায় তবে তারপর কী ঘটবে ? তারপর কী সংকোচন শুরু হবে ? এই প্রশ্নগুলোর উত্তর এখনো অজানা। ক্রমাগত ছুটে চলার যে সম্ভাবনা তাকে জ্যোতির্বিদরা বলেন উন্মুক্ত মহাবিশ্ব (Open universe)। আর ছুটে চলা থেমে গিয়ে আবার ভেতর দিকে সংকুচিত হওয়ার যে সম্ভাবনা তাকে বলেন আবদ্ধ মহাবিশ্ব (Closed universe)।

এই দুটি সম্ভাবনার মধ্যে কোনটা যে শেষ পর্যন্ত খাটবে তা নির্ভর করছে মহাবিশ্বে আদতে কতটা বস্তু আছে তার ওপরে। মহাবিশ্বে যদি একটা সঙ্কটসীমার চেয়ে বেশি বস্তু থাকে তাহলে তার আকর্ষণের টানে মহাবিশ্বের বাইরের দিকে ছুটে চলা একদিন থেমে যাবে আর শুরু হবে ভেতর দিকে ছোটা। এই সঙ্কটসীমা যে কত তার হিসাব করা

---

১ ভূপৃষ্ঠ হতে একটি m ভরের বস্তুকে অসীম দূরত্বে নিতে মোট কৃত কাজ, $W = \frac{GMm}{R}$। এখানে M এবং R যথাক্রমে পৃথিবীর ভর ও ব্যাসার্ধ। পৃথিবীর মহাকর্ষীয় আকর্ষণের বাহিরে চলে যেতে বস্তুটির প্রাথমিক গতিমক্তি, $E = \frac{1}{2}mv_e^2$ কম্পক্ষে W সমান হতে হবে।

$\therefore \frac{1}{2}mv_e^2 = \frac{GMm}{R}$। এখানে v_e বস্তুটির মুক্তি বেগ।

বা, $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$

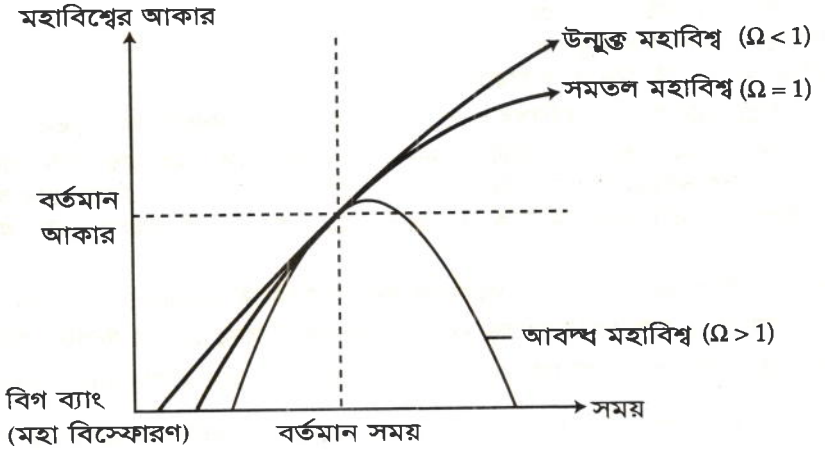
হাবল-এর সূত্রানুযায়ী মহাবিশ্বের সুষম প্রাবল্যের জন্য পৃথিবী হতে R দূরত্বে অবস্থিত ছায়াপথের সরে যাওয়ার বেগ v_e হলে $v_e \propto R$ বা, $v_e = HR$. এখানে H হলো হাবল-এর ধ্রুবক, ছায়াপথের ভর m এবং এটি v_e বেগে সরে যাচ্ছে ধরে নিলে আমরা পাই,

$$\frac{1}{2}mv_e^2 = \frac{GMm}{R} \text{ বা, } \frac{1}{2}m(HR)^2 = \frac{GMm}{R} = \frac{Gm}{R}\left(\frac{4}{3}\pi P^3 \rho_C\right)$$

বা, $\rho_C = \frac{3H^2}{8\pi G}$

Made with Goodnotes

হয়েছে—সেটা প্রতি ঘন মিটারে তিনটি পরমাণু। কিন্তু দেখা যায় আমাদের জানা মহাবিশ্বে সব গ্যালাক্সিতে যে পরিমাণ বস্তু খুঁজে পাওয়া যায় তা এই সঙ্কটসীমার ক্ষেত্র 10 থেকে 30 শতাংশ। কারো কারো হিসাবে এটা আরও কম। তবে অনেক বিজ্ঞানীই মনে করেন আসলে মহাবিশ্বে বস্তু আছে আরও অনেক বেশি, ভালো করে খুঁজলে সেসব



চিত্র ১১·৫ : মহাবিশ্বের আকৃতি বনাম সময়।

বস্তু একদিন নিশ্চয়ই খুঁজে পাওয়া যাবে। তবে কোনো কোনো বিজ্ঞানী বলছেন, আরও একটা তৃতীয় সম্ভাবনার কথাও একেবারে উড়িয়ে দেয়া ঠিক হবে না, তা হলো মহাবিশ্বে যে পরিমাণ বস্তু আছে তাতে তার বিস্তার এক সময় থেমে যাবে ঠিকই, তবে ভেতর দিকে ধসে পড়বে না; এই মতকে বলা হচ্ছে **সমতল মহাবিশ্ব** (flat universe)। সমতল মহাবিশ্ব হলো উন্মুক্ত ও আবদ্ধ মহাবিশ্বের মধ্যে বিভাজন রেখা (Dividing line)।

মহাবিশ্বের পরিণতি নিয়ে তিনটি মত রয়েছে :

(১) 'আবদ্ধ মহাবিশ্ব' মডেলে মহাবিশ্বের সম্প্রসারণ ভবিষ্যতে একদিন থেমে যাবে এবং আবার সঙ্কুচিত হতে হতে মহাবিশ্ব একটি বিন্দুতে এসে ধসে পড়বে।

(২) 'উন্মুক্ত মহাবিশ্ব' মডেলে মহাবিশ্ব অনন্তকাল প্রসারিত হবে।

(৩) 'সমতল মহাবিশ্ব' মডেলে মহাবিশ্ব ধসে পড়বে না, আবার অনন্তকাল প্রসারিতও হবে না [চিত্র ১১.৫]।

আবদ্ধ মহাবিশ্ব (Closed universe) : এই তিনটি সম্ভাবনার ফলাফল কী দাঁড়াবে তাও বিজ্ঞানীরা হিসাব করে দেখেছেন। আবদ্ধ বিশ্বের হিসাবটা বেশ সহজ। সূর্য সাদা বামন হয়ে যাবার 3,000 কোটি বছর পর মহাবিশ্বের বিস্তার থেমে যাবে; একটা ভিডিও ছবি উল্টো দিকে চালালে যেমন হয় তেমনি সব কিছু উল্টোভাবে ঘটতে শুরু করবে অর্থাৎ গ্যালাক্সি জোটগুলো সব পরস্পরের কাছাকাছি আসতে শুরু করবে। এভাবে 5,000 কোটি বছর চলার পর আসবে এক সঙ্কটকাল। সব গ্যালাক্সি পরস্পরের গায়ে গায়ে লেগে যাবে; তারপর একটা আরেকটার মধ্যে ঝাঁপিয়ে পড়তে শুরু করবে। বিশাল সব অগ্নিকুণ্ড সৃষ্টি করে জ্বলে উঠবে অসংখ্য অতি নবতারা আর অতি কোয়াসার। রাতের আকাশ হয়ে উঠবে সূর্যের চেয়েও উজ্জ্বল; মহাকাশের তাপমাত্রা বেড়ে হবে তারাদের মতো উষ্ণ। মহাধসের এক লক্ষ বছর আগে মহাবিশ্ব জুড়ে প্রচণ্ড উষ্ণ আর ঘন বস্তুতে অসংখ্য কৃষ্ণবিবর তৈরি হতে আরম্ভ করবে। অবশেষে 8,000 কোটি বছর পর এক পরম ধসে মহাবিশ্বের সব কিছু একাকার হয়ে গিয়ে সৃষ্টি হবে এক মহা কৃষ্ণবিবর যার ভর হবে সমগ্র মহাবিশ্বের সমান। মহাবিশ্বের সৃষ্টির সঙ্গে সঙ্গে স্থান-কালের সৃষ্টি হয়েছিল; কাজেই মহাবিশ্বের ইতি ঘটলে স্থান আর কালও উধাও হয়ে যাবে। স্থান-কালহীন সেই মহাবিশ্বে টিকে থাকবে শুধু পরম শূন্যতা।

কোনো কোনো বিজ্ঞানী বলছেন এই পরম ধসে সব কিছু যে একেবারেই নিঃশেষ হয়ে যাবে তা নয়, এতে যে শক্তি ছাড়া পাবে তার ফলে ঘটবে আরেক বিস্ফোরণ, সৃষ্টি হবে আরেক মহাবিশ্ব। এভাবে হয়তো ছন্দময় দোলায় একের পর এক নতুন নতুন মহাবিশ্ব সৃষ্টি হতেই থাকবে।

উন্মুক্ত মহাবিশ্ব (Open universe) : যদি ধরা হয় যে মহাবিশ্ব উন্মুক্ত, তা হলে এর চূড়ান্ত পরিণতি কী হবে ? অতি দীর্ঘ সময় পরে মহাবিশ্বের মূল উপাদান গ্যালাক্সিগুলোর কী অবস্থা হবে ? আমরা জানি, একটি গ্যালাক্সি বহু সংখ্যক নক্ষত্রের সমন্বয়ে গঠিত। প্রতিটি নক্ষত্রই সময়ের সাথে সাথে পরিবর্তিত হয়, আয়ু শেষ হলে নক্ষত্র মারা যায়। এটাই নক্ষত্রের চূড়ান্ত পরিণতি। এই পর্যায়ে পৌঁছার পর নক্ষত্রের মধ্যে উল্লেখযোগ্য তেমন পরিবর্তন আসে না। যদিও বা হয়, তবে তার জন্য প্রয়োজন হয় অনেক বিলিয়ন বছর।

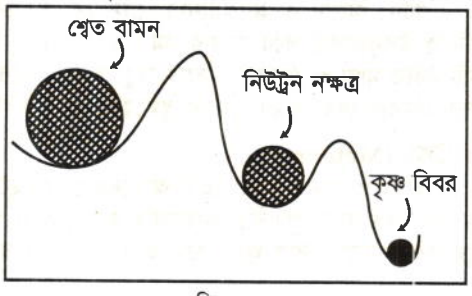
Made with Goodnotes

তিন উপায়ে একটি নক্ষত্রের মৃত্যু হতে পারে। এগুলো হলো—শ্বেত বামন (White dwarf), নিউট্রন তারকা (Neutron star) এবং কৃষ্ণ বিবর (Black hole)। তিনটি পর্যায়েই নক্ষত্রের উপাদানগুলো অত্যন্ত ঘনীভূত অবস্থায় থাকে। তবে যে নক্ষত্রে উপাদানগুলো সবচেয়ে বেশি ঘনীভূত থাকে তাকে কৃষ্ণ বিবর বলে। অনেক সময় পরে একটি গ্যালাক্সির সব নক্ষত্রই মৃত্যুবরণ করবে। কোনো গ্যালাক্সির সব নক্ষত্র মারা যেতে 100 থেকে 1000 বিলিয়ন বছর সময় লাগতে পারে। সে অবস্থায় নক্ষত্রের কোনো উত্তাপ না থাকায় সম্পূর্ণ গ্যালাক্সি জুড়ে বিরাজ করবে গভীর শীতলতা। তবে সেই অবস্থায়ও গ্রহ, উপগ্রহ, নক্ষত্রের মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বিদ্যমান থাকবে। তখনো গ্যালাক্সিগুলো একে অপরটি থেকে দূরে সরে যেতে থাকবে। এই অবস্থায় পৌঁছানোর পর গ্যালাক্সিগুলোতে উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন আসতে অনেক বিলিয়ন বছর সময় লাগবে। তখন নক্ষত্রগুলো অন্যান্য নক্ষত্রের সঙ্গে সংঘর্ষের মাধ্যমে গ্যালাক্সি থেকে ছিটকে বেরিয়ে আসতে পারে। ধারণা করা হয় এই প্রক্রিয়ায় গ্যালাক্সির প্রায় 99% মৃত নক্ষত্র বিক্ষিপ্ত হয়ে বেরিয়ে যাবে। প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন হতে বিলিয়ন বিলিয়ন বছর (অনুমান করা যায়10^{98} বছর বা তারও বেশি সময়) লাগতে পারে। অবশিষ্ট 1% মৃত নক্ষত্রগুলো মিলে একটি অতি ঘন ও অতি সংকুচিত অবস্থা সৃষ্টি করবে। এরা পরস্পর একত্রিত হয়ে একটি অতি ভারী (সূর্যের ভরের প্রায় বিলিয়ন গুণ) কৃষ্ণ বিবর সৃষ্টি করবে। এই কৃষ্ণ বিবরকে সুপার ম্যাসিভ (Super massive) বা দানবীয় কৃষ্ণ বিবর বলা হয়। এই দানবীয় কৃষ্ণ বিবরের পরের অবস্থা কী হতে পারে ? কৃষ্ণ বিবর সাধারণত সবকিছু নিজের মধ্যে টেনে নিয়ে ধীরে ধীরে ভারী হতে থাকে। এরপর বিলিয়ন বিলিয়ন বছর পরের অবস্থা বিবেচনা করলে অনুমান করা হয় যে এই দানবীয় কৃষ্ণ বিবরগুলোও বিকিরণ করতে করতে এক সময় নিঃশেষ হয়ে যাবে। এরপর মহাবিশ্বে থাকবে শুধু মৃত নক্ষত্রসমূহ এবং গ্যালাক্সিগুলোর মধ্যে সংঘর্ষের ফলে সৃষ্ট ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বস্তু যা অন্ধকারময় মহাবিশ্বে অনন্তকাল ধরে ঘুরে বেড়াবে।

সমতল মহাবিশ্ব (Flat universe) : মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব ρ, সংকট ঘনত্ব ρ_C এর সমান হলে ঘনত্ব প্যারামিটার $\Omega = 1$ হয়। সে অবস্থায় মহাবিশ্বের প্রসারণ মহাকর্ষীয় আকর্ষণ অপেক্ষা সামান্য বেশি হবে। ফলে প্রসারণ একেবারে না থেমে খুব ধীরে ধীরে ঘটবে এবং মহাবিশ্বের প্রসারণ অনন্তকাল ধরে ধীর গতিতে চলতে থাকবে। সেক্ষেত্রে প্রসারণ হবে সোজা পথে এবং স্থান হবে অসীম সমতল; কোনো বক্রতা থাকবে না। এটিই সমতল মহাবিশ্বের ধারণা।

আবদ্ধ মহাবিশ্বের এই হিসাবের তুলনায় সমতল মহাবিশ্ব আর উন্মুক্ত মহাবিশ্বের হিসাব বেশ কিছুটা ধোঁয়াটে। এই দুই মতের শেষ যে ঠিক কীভাবে হবে তা বলা শক্ত; তবে ধরে নেয়া যেতে পারে যে মহাবিশ্ব ক্রমে ক্রমে বিলীন হয়ে যাবে। আরো বহু হাজার কোটি বছর ধরে গ্যালাক্সিরা তাদের ভেতর ধুলো আর গ্যাসের পাঁজা থেকে নক্ষত্র সৃষ্টি করে যেতে থাকবে। সূর্যের মতো আকারের তারাদের জীবনকাল মোটামুটি 10^{10} বছর; তবে খুব ছোট যেসব তারা মিটমিটে আলো দেয় তারা হয়তো এর চেয়ে 10,000 গুণ বেশি দিন (10^{14} বছর) বাঁচবে। অর্থাৎ আজ থেকে 10 লক্ষ কোটি বছর পরে মহাবিশ্বে থাকবে শুধু অতি ছোট আকারের বহু লাল বামন। পৃথিবী যদি সূর্যের লাল দানব পর্যায়ে বাষ্প হয়ে না যায় তবে পৃথিবী থেকে সারা আকাশকে দেখাবে ঘোর কালো। সূর্যের শবদেহ সাদা দানব থেকে ঠান্ডা হতে হতে একটা কালো অন্ধকার পিণ্ডে পরিণত হবে, তার চারপাশে হয়তো তখনো ঘুরবে পৃথিবীর ছাইপোড়া দেহ।

এই অবস্থায় পৌঁছাতে নীহারিকার সময় লাগবে 10^{14} থেকে 10^{27} বছর। একদল নীহারিকা শুধু একটি মাত্র কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হবে। তাই 10^{27} বছর পরে সমগ্র বিশ্ব এই নীহারিকা কৃষ্ণ বিবরের সমষ্টিতে পরিণত হবে। তাদের মাঝখানে থাকবে বিশাল শূন্যস্থান যেখানে কতগুলো পথভ্রষ্ট শ্বেত বামন, নিউট্রন নক্ষত্র বা কৃষ্ণ বিবর একা একা ভ্রমণ করতে থাকবে [চিত্র ১১·৬]। একটি কৃষ্ণ বিবর চিরস্থায়ী নয় বরং তা সামান্য পরিমাণে বিকিরণ নির্গত করে বহুকাল পরে বিলুপ্ত হয়ে যায়। এই বিকিরণতত্ত্বের ভিত্তি আবিষ্কার করেন কেম্ব্রিজ বিশ্ববিদ্যালয়ের বিজ্ঞানী **এস. ডবলিউ হকিং** (S. W. Hawking) এবং এটা 'হকিং বিকিরণ' (Hawking Radiation) নামে অভিহিত। নীহারিকা কৃষ্ণ বিবর ভরবিশিষ্ট একটি কৃষ্ণ বিবর বাঁচে প্রায় 10^{65} বছর। নীহারিকা কৃষ্ণ বিবর বহুগুণ বড় এবং তাদের মধ্যে সবচেয়ে বড়গুলো 10^{100} বছর পর্যন্ত বাঁচবে। কৃষ্ণ বিবর বিলুপ্ত হয়ে যাবে এবং বর্তমান বিশ্বে যে নীহারিকাগুলো আছে তাও বিলুপ্ত হয়ে যাবে। আজ থেকে একশ লক্ষ কোটি বছর পর লাল বামনদের আলোও নিভে যাবে। মহাকাশে তখন আর কিছুই দেখতে পাওয়া যাবে না। তখন বস্তু থাকবে শুধু অসংখ্য তারার শবদেহে; সেসব শবদেহ হলো কৃষ্ণবিবর, নিউট্রন তারা আর কালো বামন। বাকি যেসব গ্রহ-উপগ্রহ গ্রহাণু থাকবে তাদেরও কারো গা থেকে কোনো তেজ বিকিরিত হবে না; সব কিছু থেকে সব তেজ নিঃশেষ হয়ে যাবে। ক্রমে ক্রমে মহাবিশ্বের সব প্রোটনেরও ক্ষয় হতে থাকবে— অবশ্য বিজ্ঞানীদের তত্ত্ব অনুযায়ী প্রোটনের ক্ষয় হতে লাগবে প্রায় 10^{32} বছর; তখন শুধু কৃষ্ণবিবর ছাড়া আর কিছুই থাকবে না । কিন্তু এই কৃষ্ণবিবরও কী অক্ষয়? একদিন তাদেরও ক্ষয় হবে, তবে সে কতদিনে—তার হিসাব কল্পনা করাও কঠিন, হয়তো 10^{63} (অর্থাৎ এক-এর পেছনে 63-টা শূন্য) বছর পর। ততদিনে সেই মহাবিশ্ব জুড়ে থাকবে শুধু এক মহাশূন্যতা। পরম একীভূত তত্ত্ব অনুসারে অথবা মধ্যাকর্ষণ সূত্র এবং কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে প্রোটন চিরস্থায়ী নয় তাই মহাবিশ্বের পরিণতি ধ্বংস অবশ্যম্ভাবী।



চিত্র ১১·৬

Made with Goodnotes

কাজ : মহাবিশ্বের প্রসারণ কত সময় পর্যন্ত চলতে থাকবে এবং কোন সময়ে এই প্রসারণ বন্ধ হবে ?

যদি সংকট ঘনত্বের মান বর্তমান গড় ঘনত্বের বেশি হয় সেক্ষেত্রে প্রসারণ আজীবন চলতে থাকবে। যদি সংকট ঘনত্বের মান বর্তমান গড় ঘনত্বের সমান হয় সেক্ষেত্রে বিশ্বের প্রসারণ ধীরে ধীরে কমে আসতে থাকবে কিন্তু কখনোই একেবারে থেমে যাবে না।

পর্যবেক্ষণমূলক কাজ : মহাবিশ্বে কখন সংকোচন শুরু হবে ?

মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব যদি সংকট ঘনত্বের বেশি হয় তাহলে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ মহাবিশ্বের প্রসারণকে এক সময়ে থামিয়ে দিয়ে শুরু করবে বিশ্ব জুড়ে মহাসংকোচন।

১১.৩ মহাবিশ্বের মূল বস্তু ও ঘটনা

Basic materials and events of the universe

আমাদের আবাস ভূমি পৃথিবীর চারদিকে ঘিরে রয়েছে অসীম আকাশ। আদি অন্তহীন এই আকাশকে বলা হয় মহাকাশ বা নভোমণ্ডল। বিজ্ঞানীদের মতে মহাবিশ্বের যাবতীয় বস্তু ও শক্তি যে অঞ্চলে বিন্যস্ত বা ভাসমান তার নাম মহাকাশ। মহাকাশের শুরু বা শেষ নেই। মহাকাশে অসংখ্য **জ্বলন্ত গ্যাসপিণ্ড** অবস্থান করছে, যেমন সূর্য, নক্ষত্র, গ্রহ, উপগ্রহ, উল্কা ইত্যাদি। এদের নাম **জ্যোতিষ্ক** (Luminary)। এরা সুশৃঙ্খলভাবে নিজ নিজ কক্ষপথে নির্দিষ্ট গতিতে ঘুরছে। আজকাল চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র, ধূমকেতু, উল্কা ছাড়াও অনুজ্জ্বল নীহারিকা, পালসার, কৃষ্ণ বামন, কৃষ্ণ গহ্বর ইত্যাদি সব কিছুকেই জ্যোতিষ্ক বলে। এদের সবাইকে নিয়ে যা গঠিত হয়েছে, তার নামই **মহাবিশ্ব**। নক্ষত্রগুলো হলো **জ্বলন্ত গ্যাস পিণ্ড**। এদের নিজের আলো ও উত্তাপ রয়েছে। প্রতিনিয়তই নতুন নতুন নক্ষত্র বা তারা সৃষ্টি হচ্ছে। পুরাতন তারা ঠান্ডা হয়ে গেলে এবং নিভে গেলে বিপুল পরিমাণে ধূলি, গ্যাস প্রভৃতি মহাশূন্যে নিক্ষিপ্ত হয়। পরবর্তীতে ওই উপাদানগুলো থেকে নতুন তারা সৃষ্টি হতে পারে।

এই মহাবিশ্বের মৌলিক উপাদান হলো **তিনটি**।

(ক) সৌর জগৎ (Solar system), (খ) নক্ষত্রপুঞ্জ (Stars) ও (গ) গ্যালাক্সি (Glaxies)

ক. সৌর জগৎ (Solar system)

সৌর জগতে রয়েছে সূর্য, গ্রহ, উপগ্রহ, ধূমকেতু, উল্কা, গ্রহাণুসহ গ্যাস ও ধূলিকণা। সূর্য সৌর জগতের কেন্দ্র। সূর্যকে কেন্দ্র করে উপবৃত্তাকার পথে ঘুরছে 8টি গ্রহ। আবার গ্রহকে কেন্দ্র করে ঘুরছে উপগ্রহ। সৌর জগতের মধ্যে কেবল সূর্যেরই আলো আছে। সকল গ্রহ, উপগ্রহ সূর্যের আলোয় আলোকিত হয়। সৌর জগতে গ্রহ, উপগ্রহ ছাড়া রয়েছে অনিয়মিত আকারের উল্কা, ধূমকেতু, গ্রহাণু, গ্যাস ও ধূলিকণা সহ নানাবিধ কঠিন বস্তু।

(i) ধূমকেতু (Comet)

পানি, মিথেন ও অ্যামোনিয়া গ্যাস কোনো নিরেট ক্ষুদ্র শিলা খণ্ডের ওপর জমে তৈরি হয় ধূমকেতু। সূর্যের চারদিকে উপবৃত্তাকার পথে ঘোরার সময় এর সামনের দিকের পানি বাষ্পে পরিণত হয় এবং বিকিরণ চাপে সামনের দিকে একটি স্ফীত মাথা ও পেছনের দিকে সরু লেজের মতো হয়। দেখতে অনেকটা ঝাড়ুর মতো দেখায়। 76 বছর পর পর এদের একবার দেখা যায়। হ্যালির ধূমকেতু এমন একটি ধূমকেতু।

(ii) উল্কা (Meteors)

আকাশে অনেক সময় ছোট আগুনের গোলা ছুটতে দেখা যায়। এরা নক্ষত্র বা তারা নয়। এরা হলো উল্কা। খুব ক্ষুদ্র শিলা খণ্ড যখন পৃথিবীর কাছাকাছি আসে তখন পৃথিবীর অভিকর্ষের টানে প্রচণ্ড বেগে বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করে এবং বায়ুর কণার সাথে ঘর্ষণে জ্বলে ওঠে এবং পৃথিবীতে পতনের আগেই নিভে যায়। ইহাই উল্কা।

খ. নক্ষত্র (Stars)

পৃথিবী থেকে দেখলে মনে হয় নক্ষত্রগুলো যেন মহাকাশের একই সমতলে অবস্থান করছে। পৃথিবী থেকে এদের দূরত্ব অনেক বেশি বলে এমনটি মনে হয়। সূর্য পৃথিবীর নিকটতম নক্ষত্র। পৃথিবী থেকে সূর্যের দূরত্ব 15 কোটি কিলোমিটার। সূর্য থেকে পৃথিবীতে আসতে আলোকের সময় লাগে 8 মিনিট 19 সেকেন্ড। অন্যান্য নক্ষত্রের দূরত্ব এত বেশি যে তা আলোক বর্ষে প্রকাশ করা হয়। সূর্যে প্রচুর পরিমাণে হাইড্রোজেন গ্যাস আছে। প্রচণ্ড তাপে সর্বদা ফিশন বিক্রিয়া সংঘটিত হচ্ছে। এই বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন হতে হিলিয়াম গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই রূপান্তরের সময় ভরের যে পার্থক্য ঘটে তা $E = mc^2$ সূত্রানুসারে শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়ায় প্রতি সেকেন্ডে 4×10^{26} জুল শক্তি বিকিরণ করে। সূর্যে যে পরিমাণ হাইড্রোজেন গ্যাস আছে তা থেকে কোটি কোটি বছর আলো ও তাপ পাওয়া যাবে। সূর্য ক্রমশ ভর হারোনার ফলে সংকুচিত হচ্ছে। তবে এই সংকোচন 100 কোটি বছর ধরে চলবে। সূর্য থেকে প্রতি সেকেন্ডে নির্গত

Made with Goodnotes

শক্তির পরিমাণকে সৌর ঔজ্জ্বল্য বলে। গাণিতিকভাবে সৌর ঔজ্জ্বল্য $L_s = 4\pi R^2 S$; যেখানে S = সৌর ধ্রুবক = 1.38×10^3 Wm^{-2}, R = সূর্যের চারদিকে পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ যার মান $1\ AU = 1.496 \times 10^{11}$ m বা 9.289×10^7 মাইল।

নীহারিকা বা নেবুলা (Nebula)

জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের ধারণা নক্ষত্রের জন্ম মহাকাশে ভাসমান বিশাল বিশাল গ্যাস পিণ্ড থেকে। এই গ্যাস পিন্ডকে বলা হয় নীহারিকা বা নেবুলা। আকাশের দিকে তাকালে কোথাও কোথাও আবছা আলোর একটা ছোপ দেখা যায়। আবছা আলোর মতো দেখতে আন্তঃনাক্ষত্রিক এ ধুলো ও গ্যাসের মেঘই নীহারিকা। নীহারিকা গ্যাস পিণ্ড গড়ে উঠেছে 50 থেকে 75 শতাংশ হাইড্রোজেন ও 20 থেকে 45 শতাংশ হিলিয়াম এবং বাকি 5 শতাংশ অন্যান্য মৌলিক পদার্থ দিয়ে। বেশির ভাগ নীহারিকা তৈরি হয় আন্তঃনাক্ষত্রিক গ্যাসের মহাকর্ষীয় সংকোচনের ফলে। সুপারনোভা বিস্ফোরণের ফলেও কোনো কোনো নীহারিকার জন্ম হয়। সুপারনোভার বিস্ফোরণ হচ্ছে বিশাল আকারের নক্ষত্রের মৃত্যু।

গ. গ্যালাক্সি (Galaxies)

মহাকর্ষ বলের প্রভাবে গ্যাসীয় পদার্থের সংকোচন হয় যার ফলশ্রুতিতে সৃষ্টি হয় গ্যালাক্সি। গ্যালাক্সির মধ্যেও গ্যাসের মহাকর্ষীয় ঘনীভবনের ফলে হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম মিলে তৈরি ঘনীভূত গ্যাসের অণু-পরমাণুর মধ্যে ঘর্ষণ বেড়ে যাওয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে নিউক্লীয় ফিউশন বিক্রিয়া শুরু হয় এবং বিপুল পরিমাণে শক্তি নির্গত হয়। নক্ষত্র ও সূর্য এভাবেই জ্বলে ওঠে। অনেকগুলো নক্ষত্রের সমাবেশকে গ্যালাক্সি বলে। আকাশ গঙ্গা নামক ছায়াপথে আমরা বাস করি। এই ছায়াপথে প্রায় 10^{11} সংখ্যক নক্ষত্র রয়েছে। আমাদের গ্যালাক্সি থেকে আলফা সেন্টোরাই এর দূরত্ব 4.3 আলোক বর্ষ। অ্যানড্রোমিডা এক ধরনের সর্পিল গ্যালাক্সি। গ্যালাক্সি দুই ধরনের। যথা— (১) স্বাভাবিক গ্যালাক্সি ও (২) রেডিও গ্যালাক্সি।

গ্যালাক্সির নাম	গঠন
১। উপবৃত্তাকার গ্যালাক্সি	১। লোহিত দানব ও শ্বেত বামন নক্ষত্র নিয়ে গঠিত।
২। সর্পিল গ্যালাক্সি	২। ছায়াপথ ও অ্যানড্রোমিডা এ ধরনের গ্যালাক্সি।
৩। বিষম গ্যালাক্সি	৩। নির্দিষ্ট কোনো আকার নেই।
৪। রেডিও গ্যালাক্সি	৪। রেডিও কম্পাঙ্কের তড়িৎ চৌম্বক বিকিরণ নিঃসরণ করে।

(i) ডার্ক ম্যাটার বা অদৃশ্য বস্তু (Dark matter)

গ্যালাক্সিতে বিপুল পরিমাণ ভর রয়েছে যা মহাকর্ষ বল সরবরাহ করে কিন্তু কোনো তড়িৎচৌম্বক বিকিরণ নিঃসরণ না করায় তা দৃশ্যমান হয় না, এদেরকেই অদৃশ্য ভর বা ডার্ক ম্যাটার বলে। ধারণা করা হয় গ্যালাক্সিতে অদৃশ্য ভরের পরিমাণ দৃশ্যমান ভরের প্রায় দশগুণ।

(ii) কোয়াসার :

এটি আধা নাক্ষত্রিক (quasi-stellar) রেডিও উৎস। এদের গঠন নক্ষত্রের ন্যায় এবং এরা ক্ষমতাশীল বেতার তরঙ্গ নিঃসরণ করে। এদের ঘনত্ব অনেক বেশি। এ পর্যন্ত প্রায় 150টি কোয়াসার শনাক্ত করা হয়েছে। এরা পৃথিবী থেকে লক্ষ লক্ষ আলোকবর্ষ দূরে অবস্থিত। এরা পৃথিবী থেকে $0.9\,c$ বেগে সরে যাচ্ছে।

১১.৪ মৌলিক কণা
Fundamental particles

মহাবিশ্ব দৃশ্যমান এবং অদৃশ্যমান বস্তুর সমন্বয়ে গঠিত। বিশ্বজগতের সমস্ত প্রকার জড় পদার্থ মৌলিক কণার সমন্বয়ে গঠিত। জানা তত্ত্ব মোতাবেক মৌলিক কণার অভ্যন্তরীণ গঠন নেই। এসব কণা পরম আদি বা প্রাথমিক এবং অবিভাজ্য কণা। এ সকল কণা 1 বা 0 (শূন্য) আধান যুক্ত। মৌলিক কণিকাসমূহ দুই ধরনের :

১. কণা (Particle)

২. প্রতিকণা (Antiparticle)

এমন অনেক কণিকা আছে যার ভর, স্পিন অন্য কণিকার সমান কিন্তু চার্জ, বেরিয়ন সংখ্যা, লেপটন সংখ্যা অন্য কণিকার সমান কিন্তু বিপরীতধর্মী। এগুলোকে প্রতি কণা বলে। কোনো কণার প্রতিকণার ভর ওই কণাটির ভরের সমান কিন্তু চার্জ সমমানের হলেও বিপরীতধর্মী। চার্জ ও চৌম্বক মোমেন্ট ছাড়া কণিকা ও প্রতিকণা একই রকম। সকল বিক্রিয়ায় এদের চার্জ, ভরশক্তি ও ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে। ফোটন ও মেসন ছাড়া সকল কণিকার প্রতিকণা আছে। কণা ও প্রতিকণা একত্রিত হলে নিজেদের স্বকীয়তা হারিয়ে ফেলে এবং শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। সাধারণ পরমাণুতে এই ঘটনা ঘটে না। ১৯৩২ সালে ব্রিটিশ বিজ্ঞানী **পল ডিরাক** ইলেকট্রনের বিপরীত কণা পজিট্রন আবিষ্কারের জন্য নোবেল পুরস্কার পান। এই পজিট্রন হলো ইলেকট্রনের অ্যান্টিপার্টিকেল।

[DAT: 18-19]

মহাবিশ্বের সকল কণাকে দুই ভাগে ভাগ করা হয়—১। ফার্মিয়ন ২। বোসন। যেসব কণা ফার্মিয়ন সেগুলোকে বলা হয় বস্তুকণা। আর যেগুলো বোসন সেগুলো এই বস্তুকণার ভিতরে বল বা শক্তির আদান-প্রদান করে।

Made with Goodnotes

RMDAC

১। **ফার্মিয়ন (Fermion) :** মহাবিশ্বের সকল পদার্থই ফার্মিয়ন কণিকা দিয়ে তৈরি। এই কণা ফার্মি-ডিরাক পরিসংখ্যান মেনে চলে, এদের স্পিন $\frac{1}{2}$। এরা পাউলির বর্জনীতি মেনে চলে। অর্থাৎ একটি পরমাণুতে দুটি কণার সকল বৈশিষ্ট্য কখনোই এক হতে পারে না। প্রতিটি ফার্মিয়ন কণার ভিন্ন ভিন্ন প্রতিকণা আছে। ফার্মিয়ন কণার উদাহরণ হলো—ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন। ইতালীয় বিজ্ঞানী এনরিকো ফার্মির নামানুসারে এই কণার নামকরণ করা হয়েছে। ফার্মিয়ন আবার দুই ধরনের—(ক) কোয়ার্ক (খ) লেপটন।

(ক) কোয়ার্ক (Quark) : ষাটের দশকের কতকগুলো পরীক্ষা থেকে জানা যায় যে প্রোটন, নিউট্রন, মেসন ইত্যাদি অর্থাৎ হ্যাড্রন আরো ক্ষুদ্র কণা দিয়ে তৈরি। 1961 সালে জ্যোতির্বিদ মারে গেল-ম্যান (Murray Gell-mann) ও যুভাল নে'ম্যান (Yuval Ne'eman) এই ক্ষুদ্র কণাগুলোর নাম দেন কোয়ার্ক। কোয়ার্ক মৌলিক কণা। মৌলিক কণা কোয়ার্কের সংযোগের ফলে হ্যাড্রনের সৃষ্টি হয়। কোয়ার্ক মডেলের জন্য 1969 সালে গেল-ম্যান নোবেল পুরস্কার পান।

এ পর্যন্ত ছয় ধরনের কোয়ার্কের সন্ধান পাওয়া গেছে। এদের বলা হয় আপ (u for up), ডাউন (d for down), স্ট্রেঞ্জ (s for strange), চার্ম (c for charm), টপ (t for top) ও বটম (b for bottom)। কোয়াকের চার্জ ভগ্নাংশিক অর্থাৎ ইলেকট্রন বা প্রোটনের চার্জের ভগ্নাংশ পরিমাণ। প্রতিটি কোয়ার্কের বেরিয়ন সংখ্যা $\frac{1}{3}$। কিন্তু এরা এমনভাবে দলবদ্ধ থাকে যে এদের মোট চার্জ ও বেরিয়ন সংখ্যা 0 বা 1 হয়। সকল কোয়ার্কই ফার্মিয়ন যাদের স্পিন $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ .....। দুটি আপ কোয়ার্ক ও একটি ডাউন কোয়ার্ক মিলে প্রোটন এবং দুটি ডাউন কোয়ার্ক ও একটি আপ কোয়ার্ক মিলে নিউট্রন গঠিত হয়।

হ্যাড্রন কণা : হ্যাড্রন হচ্ছে কোয়ার্ক দ্বারা গঠিত অতিপারমাণবিক বা সাবঅ্যাটমিক কণা। প্রোটন, নিউট্রন, পাইয়ন, মেসন—এ সকল ভারী কণা হলো হ্যাড্রন। অর্থাৎ যেসব মৌলিক কণা শক্তিশালী নিউক্লীয়, বিদ্যুৎ চুম্বকীয় এবং দুর্বল নিউক্লীয় এই তিন ধরনের প্রক্রিয়াতে অংশগ্রহণ করতে পারে তাদেরকে হ্যাড্রন কণা বলে। হ্যাড্রন কণা আবার দুই ধরনের। যথা—(১) মেসন ও বেরিয়ন। মেসনের স্পিন 0 (শূন্য), কিন্তু বেরিয়নের স্পিন শূন্য নয়।

(খ) লেপটন কণা (Lepton) : লেপটন কণা হলো সর্বাপেক্ষা হালকা মৌলিক কণা। এসব কণা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় এবং দুর্বল নিউক্লীয় প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে কিন্তু কখনো শক্তিশালী নিউক্লীয় প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে না। এদের স্পিন $\frac{1}{2}$ এবং জীবনকাল অসীম। লেপটন কণা আবার তিন ধরনের— (১) ইলেকট্রন গোষ্ঠীয় লেপটন, (২) মিওন গোষ্ঠীয় লেপটন, (৩) টাউ গোষ্ঠীয় লেপটন। ইলেকট্রন হলো উল্লেখযোগ্য লেপটন কণা। এই কণাগুলো হলো ইলেকট্রন, ইলেকট্রন নিউট্রিনো, মিউয়ন, মিউয়ন নিউট্রিনো, টার্ড এবং টার্ড নিউট্রিনো।

২। **বোসন (Boson) :** ফার্মিয়ন কণা অর্থাৎ লেপটন ও কোয়ার্ক দ্বারা এই মহাবিশ্বের সকল পদার্থ তৈরি হয় আর এদের মধ্যে বল বা শক্তির আদান-প্রদান করে বোসন কণা। এসব কণার স্পিন পূর্ণ অখণ্ডক এবং এরা বোস-আইনস্টাইন পরিসংখ্যান মেনে চলে। ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক সত্যেন বোসের নামানুসারে এই কণার নামকরণ করা হয়। যেসকল মৌলিক কণার স্পিন পূর্ণ অখণ্ডক তাদেরকে বোসন বলে।

ফার্মিয়ন কণিকা অর্থাৎ লেপটন ও কোয়ার্ক দ্বারা এই মহাবিশ্বের সকল পদার্থ তৈরি হয় এবং এদের মধ্যে বল বা শক্তির আদান-প্রদান করে বোসন কণা। বোসন কণা দুই ধরনের—(ক) গেজ বোসন (খ) হিগস বোসন।

(ক) গেজ বোসন : ফোটন, W বোসন (W^+, W^-), Z বোসন, গ্লুঅন, গ্রাভিটন কণা হলো গেজ বোসন। গ্রাভিটন কণার স্পিন $2\hbar$ এবং ফোটন, বোসন, গ্লুঅন কণার স্পিন $1\hbar$, W বোসনের চার্জ ± 1 এবং অন্য সকল বোসন কণার চার্জ শূন্য (0)।

(খ) হিগস বোসন : হিগস বোসন ক্ষেত্রনামক তাত্ত্বিক বল ক্ষেত্র সমস্ত বিশ্বে ছড়িয়ে আছে। ভরহীন কোনো কণা এই ক্ষেত্রে প্রবেশ করলে তা ধীরে ধীরে ভর লাভ করে। ফলে চলার গতি হ্রাস পায়। এই ক্ষেত্রের মাধ্যমেই ভর কণাতে স্থানান্তরিত হয়। হিগস বোসনের ভর আছে এবং এর চার্জ ও স্পিন শূন্য (0)। এর সংকেত H^0। ১৯৬৪ সালে পিটার হিগস এবং তাঁর পাঁচ সহযোগী মিলে সর্বপ্রথম এই কণা সম্পর্কিত তত্ত্ব প্রদান করেন। ২০১৩ সালে সুইজারল্যান্ডের CERN গবেষণাগারের Large Hadron Collidor (LHC) যন্ত্রে এই কণার অস্তিত্ব ধরা পরে। এ বছরেই পিটার হিগস ও ফ্রানকোসিস এঙ্গালাগ এই কণার অস্তিত্ব আবিষ্কারের জন্য নোবেল পুরস্কার পান। ১৯৯৩ সালে হিগস কণাকে ঈশ্বর কণা বা God Particle নামে অভিহিত করা হয়। ফোটন, গেজ বোসন এবং গ্রাভিটন-এর সমন্বয়ে ক্ষেত্রকণা গঠিত। এরা যথাক্রমে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় দুর্বল নিউক্লীয় বল এবং মহাকর্ষ পরিক্রিয়া বাহক কণা।

জানার বিষয় :

I. স্থির তড়িৎ বলের জন্য ফোটন কণার বিনিময় হয়।
II. নিউক্লিয়াসের বিটা ভাঙনের জন্য বোসন কণা দায়ী।
III. প্রোটন ও নিউট্রনকে একত্রে আবদ্ধ করে রাখে গ্লুয়ন।
IV. পজিট্রন কণার ভর ইলেকট্রনের ভরের সমান।
V. হিগম বোসন কণা ঈশ্বর কণা নামে পরিচিত।
VI. প্রোটন ও নিউট্রন নিয়ে Quark গঠিত হয়।

Made with Goodnotes

ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন কণার প্রকৃতি ও বৈশিষ্ট্য

কণার নাম ও চিহ্ন	ভর kg বা amu	আধানের প্রকৃতি ও পরিমাণ (কুলম্ব)	কণার ব্যাসার্ধ (মিটার)	তড়িৎ ক্ষেত্রের অবস্থান	চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব	ফটোগ্রাফিক প্লেটের ওপর ক্রিয়া
ইলেকট্রন (e) [e^0]	$9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg = 0·000549 amu	$-1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C	$2{\cdot}8 \times 10^{-15}$	পরমাণুর কেন্দ্রের বাহিরে বিভিন্ন কক্ষে	তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়। গতিশীল অবস্থায় চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়	এর ক্রিয়া আছে
প্রোটন (p) [H^1]	$1{\cdot}6725 \times 10^{-27}$ kg = 1·0076 amu	$1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C	$1{\cdot}2 \times 10^{-15}$	পরমাণুর কেন্দ্রে	”	এর ক্রিয়া আছে
নিউট্রন (n) [$_0n^1$]	$1{\cdot}675 \times 10^{-27}$ kg = 1·0087 amu	শূন্য	$1{\cdot}2 \times 10^{-15}$	পরমাণুর কেন্দ্রে	তড়িৎ ক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো প্রভাব নেই	এর ক্রিয়া নেই

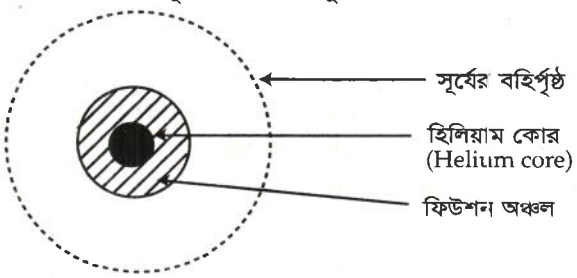
১১·৫ নক্ষত্রের জীবন কাহিনী
Life history of stars

[MAT: 20-21]

ক. নক্ষত্রের জন্ম
Birth of a star

রাতের বেলায় পরিষ্কার নীল আকাশের দিকে তাকালে অসংখ্য আলোক বিন্দু মিট মিট করে জ্বলতে দেখা যায়। এদেরকে নক্ষত্র বলে। খালি চোখে হাজার হাজার নক্ষত্র দেখা যায়। নক্ষত্র হলো জ্বলন্ত অগ্নিপিণ্ড যা গ্যাস এবং ধূলিকণার সমন্বয়ে গঠিত। ধারণা করা হয় যে, এক মহাবিস্ফোরণের মধ্য দিয়ে এ মহাবিশ্বের সৃষ্টি। নক্ষত্র সৃষ্টির আদিতে মহাকাশের বিস্তৃত বিশাল অঞ্চল জুড়ে শীতল হাইড্রোজেন, হিলিয়ামসহ অন্যান্য গ্যাসের পরমাণু ছড়ানো ছিটানো অবস্থায় ছিল। একে গ্যাসের ধূলিমেঘ (dust cloud) বলে। ধূলিমেঘে প্রায় 75% হাইড্রোজেন, 24% হিলিয়াম এবং কার্বন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেনসহ অন্যান্য গ্যাস 1% ছিল। মহাকর্ষ বলের প্রভাবে ধূলি কণা ও গ্যাসের বিশাল মেঘ সংকুচিত হয়। সংকোচনের সময় উচ্চ চাপ ও উচ্চ তাপমাত্রার সৃষ্টি হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে যখন কয়েক মিলিয়ন ডিগ্রি হয় তখন তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়া সংঘটিত হয় এবং বিপুল পরিমাণে শক্তি নির্গত হয়। ফলে পদার্থের গোলকটি দীপ্তি ছাড়ায়। এই অবস্থা বা ধাপকে বলা হয় নক্ষত্রের জন্ম। নক্ষত্র বিবর্তনের এটি হলো প্রথম ধাপ। বামন নক্ষত্র এই ধাপে থাকে। সূর্যও বর্তমানে এই ধাপে আছে। মোট নক্ষত্রের ৯০ ভাগ হলো এই বামন নক্ষত্র (dwarf star)।

আমরা জানি পরমাণু নিরপেক্ষ এবং এদের মধ্যে কোনো বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নেই। এদের মধ্যে একমাত্র ক্রিয়াশীল বল হলো মহাকর্ষ বল। এই মহাকর্ষ বলের প্রভাবে গ্যাস পরমাণুর মেঘ আস্তে আস্তে জমাট বাঁধতে থাকে। এই প্রক্রিয়ায় যেহেতু গ্যাস পরমাণুর মধ্যকার গড় দূরত্ব কমতে থাকে, সুতরাং এদের স্থিতিশক্তিও কমতে থাকে। শক্তির নিত্যতা বজায় রাখার জন্য এদের গতিশক্তির বৃদ্ধি ঘটে এবং পরমাণুর মধ্যে সংঘর্ষ বাড়ে। গতিশক্তি বৃদ্ধি এবং সংঘর্ষের কারণে তাপমাত্রা বাড়তে থাকে। মহাকর্ষ বলের টানে এই ধূলিমেঘ যত সঙ্কুচিত হতে থাকে তত অধিক সংখ্যক পরমাণু কেন্দ্রের দিকে আকৃষ্ট হয়। ফলে কেন্দ্রের নিকটবর্তী অংশের ঘনত্ব এবং তাপমাত্রা উভয়ই বাইরের অংশের তুলনায় দ্রুত বাড়তে থাকে। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে এই গ্যাসপিণ্ড থেকে বিকিরণ শক্তির পরিমাণও বাড়তে থাকে এবং গ্যাসপিণ্ড থেকে অনুজ্জ্বল আলো নির্গত হয়। এভাবে গ্যাসপিণ্ডের সঙ্কোচন প্রক্রিয়া অব্যাহত থাকে এবং কেন্দ্রের তাপমাত্রা বৃদ্ধিও অব্যাহত থাকে। তাপমাত্রা বেড়ে যখন 10^7 K-এ পৌঁছায় তখন নিউক্লীয় ফিউশন (nuclear fusion) বিক্রিয়া শুরু হয়। এই ফিউশন



চিত্র ১১·৭

Made with Goodnotes

বিক্রিয়ায় প্রচুর পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয় এবং কেন্দ্র থেকে বাইরের দিকে বেরিয়ে আসে। এর ফলে গভীর বহিঃচাপের সৃষ্টি হয়। বিকিরণ থেকে সৃষ্ট এই বহিঃচাপ মহাকর্ষের সঙ্কোচনকে বাধা প্রদান করে। যখন বহির্চাপ এবং সঙ্কোচন বল সমান হয় তখন সুস্থিত (stable) বা সাম্যাবস্থা সৃষ্টি হয়। এভাবে একটি তারকা পূর্ণতা এবং স্থায়িত্ব লাভ করে। অবশ্য এ ধরনের ধ্বংসোন্মুখ গ্যাস ও ধূলিকণার মেঘপুঞ্জ থেকে একটি মাত্র জ্বলন্ত অগ্নিপিণ্ড তৈরি না হয়ে শত শত তারকার সমন্বয়ে নক্ষত্রপুঞ্জের সৃষ্টি হয়। বয়স বাড়ার সাথে নক্ষত্রপুঞ্জের আকার বাড়তে থাকে এবং নক্ষত্রগুলোর মধ্যে দূরত্ব বাড়তে থাকে। এক সময়ে এরা স্বতন্ত্র তারকা বা নক্ষত্র হিসেবে দূরে সরে যায়। তবে এই প্রক্রিয়া সম্পন্ন হতে কোটি কোটি বছর লাগে। আমাদের সূর্যও সম্ভবত এভাবেই নক্ষত্রপুঞ্জ থেকে বেরিয়ে এসেছে আজ থেকে 500 কোটি বছর আগে। ১১.৭ চিত্রে সূর্যের গঠন দেখানো হলো।

হিসাব : একই পরম ঔজ্জ্বল্যবিশিষ্ট 2টি তারার মধ্যে একটি অপরটি থেকে 1000 গুণ দূরে অবস্থিত। এদের ঔজ্জ্বল্যের পার্থক্য কত হবে ? কোনটির ঔজ্জ্বল্য বেশি হবে ?

আমরা জানি, $m_2 - m_1 = 5 \log \frac{d_2}{d_1} = 5 \log \left(\frac{1000\, d_1}{d_1}\right)$

$= 5 \log 10^3 = 15$

$\therefore \quad m_2 = 15 + m_1$

অর্থাৎ তারাদ্বয়ের ঔজ্জ্বল্যের পার্থক্য হবে 15 একক। ঔজ্জ্বল্যের স্কেল কম ঔজ্জ্বল্যের সাংখ্যিক মান বেশি হওয়ার কারণে দূরবর্তী তারার ঔজ্জ্বল্য 15 একক বেশি হবে।

[MAT: 17-18]

সূর্যের শক্তির উৎস

সূর্য একটি বিশাল নক্ষত্র। সূর্যকে বলা হয় শক্তির আধার। সূর্য প্রতি সেকেন্ডে 4×10^{26} জুল শক্তি বিকিরণ করে। এই বিপুল শক্তি সূর্য পায় নিউক্লীয় ফিউশন বিক্রিয়া থেকে। সূর্যের ভেতর অতি উচ্চ তাপমাত্রার কারণে চারটি হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস সংযোজিত (fused) হয়ে একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস তৈরি করে। বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$$4\,{}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{0}_{1}n + \text{শক্তি}$$

সৌর ঔজ্জ্বল্য : সূর্য থেকে প্রতি সেকেন্ডে চতুর্দিকে নির্গত শক্তির পরিমাণকে সৌর ঔজ্জ্বল্য বলে। একে L_s দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$L_s = 4\pi R^2 \times s$$

এখানে, s = সৌর ধ্রুবক = $1{\cdot}38 \times 10^3\ Wm^{-2}$; R = সূর্যের চারদিকে পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ = 1 AU = $1{\cdot}496 \times 10^{11}$ m

গাণিতিক উদাহরণ ১১.২

১। সূর্য প্রতি সেকেন্ডে কী পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করে ? [দি. বো. ২০১৫]

আমরা জানি, বিকিরণের শক্তি,

$L_s = 4\pi R^2 \times s$

$\therefore \quad L_s = 4 \times 3{\cdot}14 \times (1{\cdot}496 \times 10^{11})^2 \times 1{\cdot}38 \times 10^3$

$= 3{\cdot}879 \times 10^{26}\ W$

$= 3{\cdot}879 \times 10^{26}\ Js^{-1}$

এখানে,

R = পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $= 1{\cdot}496 \times 10^{11}$ m

s = সৌর ধ্রুবক = $1{\cdot}38 \times 10^3\ Wm^{-2}$

অর্থাৎ প্রতি সেকেন্ডে বিকিরিত শক্তি $= 3{\cdot}879 \times 10^{26}$ J

২। সৌর ধ্রুবকের মান $s = 1{\cdot}38 \times 10^3\ Wm^{-2}$ এবং সূর্য হতে পৃথিবীর গড় দূরত্ব $1{\cdot}5 \times 10^8$ km। প্রতি বছর সূর্যের ভরের গড় হ্রাসের হার নির্ণয় কর।

আমরা জানি, বিকিরণের শক্তি,

$L_s = 4\pi R^2 \times s$

সুতরাং, বার্ষিক শক্তি ক্ষয়,

$\Delta E = 4\pi R^2 \times s \times 24 \times 60 \times 60 \times 365$

এখানে,

$s = 1{\cdot}38 \times 10^3\ Wm^{-2}$

$R = 1{\cdot}5 \times 10^8\ km = 1{\cdot}5 \times 10^{11}$ m

ভর হ্রাসের হার, $\Delta m = ?$

Made with Goodnotes

আবার, $\Delta E = \Delta mc^2$

$\therefore$ বার্ষিক ভর হ্রাসের হার,

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{4\pi R^2 \times s \times 24 \times 60 \times 60 \times 365}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$= \frac{4 \times 3{\cdot}14 \times (1{\cdot}5 \times 10^{11})^2 \times 24 \times 60 \times 365 \times 60 \times 1{\cdot}38 \times 10^3}{9 \times 10^{16}}$$

$$= \frac{4 \times 3{\cdot}14 \times 1{\cdot}5 \times 1{\cdot}5 \times 2{\cdot}4 \times 36 \times 3{\cdot}65 \times 1{\cdot}38 \times 10^{22} \times 10^5 \times 10^3 \times 10^{-16}}{9}$$

$$= 1366{\cdot}5 \times 10^{14}\ \text{kg} = 1{\cdot}37 \times 10^{17}\ \text{kg}$$

৩। সূর্যের ভর $1{\cdot}99 \times 10^{30}$ kg। একটি নক্ষত্রের ভর সূর্যের ভরের 6 গুণ। এটি কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হলে এর ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। [দি. বো. ২০১৫]

ধরা যাক, ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ $= R_s$

আমরা জানি,

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$\therefore\ R_s = \frac{2 \times 6{\cdot}67 \times 10^{-11} \times 6 \times 1{\cdot}99 \times 10^{30}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$= 17{\cdot}70 \times 10^3\ \text{m} = 17{\cdot}70\ \text{km}$$

এখানে,

M = নক্ষত্রের ভর = $6 \times$ সূর্যের ভর $= 6 \times 1{\cdot}99 \times 10^{30}$ kg

c = আলোর বেগ $= 3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$

$G = 6{\cdot}67 \times 10^{-11}\ \text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$

৪। একটি কৃষ্ণ বিবরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ 5·9 km। এর ভর এবং ঘনত্ব নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

বা, $$M = \frac{R_s c^2}{2G} = \frac{5{\cdot}9 \times 10^3 \times (3 \times 10^8)^2}{2 \times 6{\cdot}67 \times 10^{-11}}$$

$$= 3{\cdot}98 \times 10^{30}\ \text{kg}$$

এখানে,

$R_s = 5{\cdot}9\ \text{km} = 5{\cdot}9 \times 10^3\ \text{m}$

$G = 6{\cdot}67 \times 10^{-11}\ \text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$

$c = 3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$

$M = ?$

$\rho = ?$

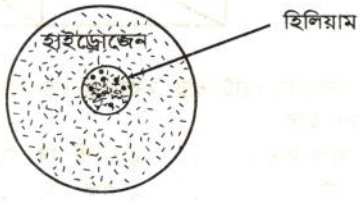
পুনরায়, $\rho = \frac{M}{V}$ এবং $V = \frac{4}{3}\pi R_s^3 = \frac{4}{3} \times 3{\cdot}14 \times (5{\cdot}9 \times 10^3)^3$

$$\therefore\ \rho = \frac{3{\cdot}98 \times 10^{30}}{\frac{4}{3} \times 3{\cdot}14 \times (5{\cdot}9 \times 10^3)^3} = \frac{3{\cdot}98 \times 3 \times 10^{30} \times 10^{-9}}{4 \times 3{\cdot}14 \times (5{\cdot}9)^3}$$

$$= 4{\cdot}63 \times 10^{18}\ \text{kgm}^{-3}$$

খ. নক্ষত্রের মৃত্যু
Death of a star

যদিও একটি নক্ষত্রের সুস্থিত বা সাম্যাবস্থা কোটি কোটি বছর ধরে চলবে, তবুও প্রশ্ন জাগে যখন হাইড্রোজেন জ্বালানি শেষ হয়ে যাবে তখন কী ঘটবে ? চিত্র ১১·৮-এ একটি হিলিয়াম কোর বা মূল অংশ এবং এর বাইরে হাইড্রোজেনের আবরণ দেখান হয়েছে। কোরের অভ্যন্তরে তাপমাত্রা এক কোটি ডিগ্রি সেলসিয়াসের বেশি; কিন্তু বহিরাবরণের তাপমাত্রা মাত্র কয়েক হাজার ডিগ্রি সেলসিয়াস। যদিও হাইড্রোজেন আবরণ বাইরে রয়েছে; কিন্তু তাপমাত্রা যথেষ্ট বেশি না হওয়ায় ফিউশন বিক্রিয়া ঘটে না। ফিউশন বিক্রিয়া বন্ধ হলে কোর (core)-এ উৎপন্ন বহির্মুখী চাপ কমতে থাকে এবং মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলের কারণে সঙ্কোচন বাড়তে থাকে। অর্থাৎ আকর্ষণ বল প্রাধান্য লাভ করে এবং কোরের সংকোচন চলতে থাকে।



চিত্র ১১·৮

যে সমস্ত নক্ষত্র কম ভরের সেগুলোর হাইড্রোজেন জ্বালানি ফুরিয়ে গেলে সংকোচনের ফলে মূল অংশের ঘনত্ব বাড়ে এবং তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায় এবং বহির্ভাগে প্রসারণ ঘটে। তবে মূল অংশের তাপমাত্রা এতটা বাড়ে না যে হিলিয়াম ফিউশন বিক্রিয়া শুরু হতে পারে। বাইরের আবরণ স্ফীতির ফলে তারকার আকার অনেক বড় হয় এবং তাপমাত্রা

Made with Goodnotes

কমে যাওয়ায় তারকার পৃষ্ঠ থেকে নির্গত বিকিরণ লালচে দেখায়। এই তারককে রক্তিম দৈত্য (red giant) বলে। এরপর এটি এমন একটি ধাপে পৌঁছায় যে এর বাইরের আবরণ বিচ্ছিন্ন হয়ে যায় বা ভেঙ্গে যায়। অবশিষ্ট যা থাকে তাকে শ্বেত বামন (white dwarf) বলে। সময়ের সাথে শ্বেত বামন নক্ষত্রের উজ্জ্বলতা কমতে কমতে একসময়ে কালো বামন (black dwarf) হয় এবং এর মৃত্যু ঘটে।

তবে যে সমস্ত তারকার ভর অনেক বেশি সেগুলোতে মহাকর্ষ আকর্ষণ বলের ফলে মূল অংশের সংকোচন বেশি হয় এবং তাপমাত্রাও অনেক বেড়ে যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে যখন 10 কোটি ডিগ্রি সেলসিয়াসের কাছাকাছি পৌঁছায় তখন হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ফিউশন বিক্রিয়া শুরু হয়। এক্ষেত্রে তিনটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ফিউশন বিক্রিয়ার মাধ্যমে কার্বন নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং সেই সঙ্গে প্রচুর পরিমাণে শক্তি নির্গত করে। এই শক্তি আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে বহির্মুখী চাপ সৃষ্টি করে এবং আকর্ষণ বলকে প্রতিহত করে সাম্যাবস্থা সৃষ্টি করে। তবে কোরের ভেতরের চাপ বৃদ্ধির প্রভাব বাইরের আবরণে বিস্তার লাভ করে এবং আবরণেরও প্রসারণ ঘটতে থাকে। অর্থাৎ তারকার আকারও বেড়ে যায় এবং উজ্জ্বলতাও বাড়ে। একটি পূর্ণ তারকার চেয়ে শতগুণ বড় হয়ে সুস্থিত (stable) অবস্থায় আসে। বহিরাবরণের প্রসারণের ফলে তাপমাত্রা কমে যায় এবং তারকা লালচে দেখায়। এ অবস্থায় বা ধাপের তারককে বলা হয় **রক্তিম দৈত্য বা অতি রক্তিম দৈত্য তারকা** (red giant or super giant star)। সূর্য যখন হাইড্রোজেন জ্বালানি শেষ করে এই ধাপে পৌঁছাবে তখন সূর্যের আকার এতটা বেড়ে যাবে যে বুধ, শুক্র, পৃথিবী এবং এমনকি মঙ্গলগ্রহও গ্রাস করে ফেলবে। অবশ্য এই অবস্থা সৃষ্টি হতে এখনও 600 কোটি বছর দেরি আছে।

তারকার আকার যদি আরও বড় হয়, তবে হিলিয়াম শেষ হলে কার্বন এবং অন্যান্য জ্বালানি ব্যবহার করে লৌহ পর্যন্ত পৌঁছতে পারে।

এখন প্রশ্ন হলো রক্তিম দৈত্য অবস্থার পরে কী ঘটবে ? এর পরের অবস্থাই শ্বেত বামন (white dwarf) অবস্থা যা আগেই বলা হয়েছে। আমরা শ্বেত বামন অবস্থাকে নক্ষত্রের অন্তিম অবস্থা হিসেবে ভাবতে পারি।

ভিন্ন ভিন্ন ভরের তারকা ভিন্ন ভিন্ন প্রক্রিয়ায় মৃত্যুবরণ করে। কম বা মাঝারি ভরের নক্ষত্র হাইড্রোজেন জ্বালানি নিঃশেষ করে তুলনামূলকভাবে বেশ নীরবেই মৃত্যুবরণ করে। এদের জীবনচক্রে সবচেয়ে বড় ঘটনা হলো বাইরের আবরণ বিচ্ছিন্ন হয়ে নেবুলা (Nebula) শ্রেণির গ্রহ সৃষ্টি। কিন্তু **সূর্যের ভরের তুলনায় অনেক ভারী নক্ষত্রগুলো জ্বালানি শেষ হলে সঙ্কোচন অত্যন্ত তীব্র হয় এবং মূল অংশের ঘনত্ব এত বেড়ে যায় যে প্রচণ্ড বিস্ফোরণের মধ্য দিয়ে মৃত্যুবরণ করে। এই প্রচণ্ড বিস্ফোরণকে বলা হয় সুপারনোভা (supernova) বিস্ফোরণ**। 1054 খ্রিস্টাব্দে চীনা জ্যোতির্বিদরা এই ধরনের সুপারনোভা বিস্ফোরণ প্রত্যক্ষ করেন যা বেশ কয়েকদিন পর্যন্ত দিনের বেলায়ও প্রজ্বলিত অবস্থায় দেখা গেছে। এই বিস্ফোরণে বহিরাবরণ ভেঙ্গে টুকরা টুকরা হয়ে যায় এবং মূল অংশ অবশিষ্ট থাকে মাত্র। অবশিষ্ট এই মূল অংশের ভর অনুসারে কোনোটি নিউট্রন তারকা (neutron star) আবার কোনোটি কৃষ্ণ বা কাল বিবর (black hole)-এ পরিণত হয়। **একটি তারকার যদি যথেষ্ট ভর ও ঘনত্ব থাকে তাহলে তার মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র এত শক্তিশালী হবে যে, আলো সেখান থেকে নির্গত হতে পারে না। সেই তারকার পৃষ্ঠ থেকে নির্গত আলো বেশি দূরে যাওয়ার আগেই তারকাটির মহাকর্ষীয় আকর্ষণ তাকে পেছনে টেনে নিয়ে আসবে। ওইসব তারকা থেকে আলো আসতে পারে না বলে আমরা এদের দেখতে পাই না। এই সমস্ত বস্তু পিণ্ডকে কৃষ্ণবিবর বা কৃষ্ণগহ্বর বলে।**

কাজ : একটি নক্ষত্রের মৃত্যু কীভাবে হবে ?

জেনে রাখ : লাল দানব তারা কীভাবে কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হচ্ছে তা লক্ষ কর। এদের ব্যাস কীভাবে সংকুচিত হচ্ছে তা নিচের চিত্রে দেখ।

চিত্র ১১.৯

সবচেয়ে ছোট তারা সবচেয়ে বড় তারার চেয়ে দশ কোটি ভাগ ছোট। তারার ভর 1 সূর্য ভর হলে বিভিন্ন তারার ব্যাস কত হবে ?

লাল দানব	:	14 কোটি কি. মি.
সূর্য	:	14 লক্ষ কি. মি.
সাদা বামন	:	13 হাজার কি. মি.
নিউট্রন তারা	:	16 কি. মি.
ব্ল্যাক হোল	:	2·5 কি. মি.

Made with Goodnotes

সুতরাং তারকার মৃত্যু পর্ব কয়েকটি ধাপে ঘটতে পারে। এই ধাপগুলো নির্ভর করে মৃত্যু পর্ব শুরুর সময়ের ভর অনুসারে। যৌবন পর্বের ভর বিবেচনা করা হয় না এ কারণে যে তারকা রক্তিম দৈত্য হিসেবে, অথবা সুপারনোভার মধ্যে কিংবা নেবুলা গ্রহ সৃষ্টির মাধ্যমে ভর হারায়। ধাপগুলো হলো—

১। যে সমস্ত তারকার ভর সূর্যের ভর (M_0) অপেক্ষা 1·4 গুণ কম সেগুলো শ্বেত বামন (white dwarf) হবে। শ্বেত বামন আস্তে আস্তে তাপীয় শক্তি বিকিরণের মাধ্যমে স্তিমিত হয়ে কালো বামন (black dwarf) হবে এবং জীবন চক্র শেষ করবে।

২। যে সমস্ত তারকার ভর 1·4 M_0 (M_0 হলো সূর্যের ভর) এবং 3 M_0-এর মধ্যে সেগুলো নিউট্রন তারকায় পরিণত হবে। এই অবস্থায় এটি সংকোচনের সময় বহিস্থ আস্তরণ ছুড়ে অত্যন্ত উজ্জ্বল হয়ে যায় এবং সুপারনোভায় পরিণত হয়।

৩। যে সমস্ত তারকার ভর 3 M_0-এর চেয়ে বেশি সেগুলো কালো বিবর (black hole)-এ পরিণত হবে।

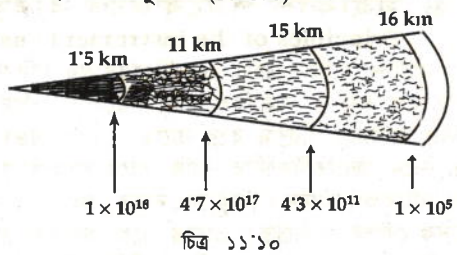
ওপরে বর্ণিত তিনটি ধাপের তারকাগুলোর যৌবনকালীন ভর হয়ত অনেক বেশি থাকতে পারে। তারপর মৃত্যু পর্ব শুরুর আগে বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় তারকা ভর হারাতে বা কমাতে পারে। যদি কোনো তারকা যৌবনকালীন ভর কমাতে না পারে এবং মৃত্যুপর্ব শুরুর মুহূর্তে 1·4 M_0-এর বেশি ভর থাকে, তবে কোনো ভাবেই এটি শ্বেত বামন হতে পারবে না। এই 1·4 M_0 ভরের সীমাকেই **চন্দ্রশেখর সীমা** (Chandrasekhar limit) বলে। চন্দ্রশেখরের আগে জ্যোতির্পদার্থবিদদের ধারণা ছিল যেসব ভরের নক্ষত্রই শ্বেত বামন হিসেবে জীবন চক্র শেষ করবে। কিন্তু ভারতীয় বিখ্যাত জ্যোতির্পদার্থবিদ চন্দ্রশেখর গাণিতিক মডেলের সাহায্যে দেখান যে 1·4 M_0 ভরের বেশি ভরের কোনো নক্ষত্র শ্বেত বামন হবে না।

নিউট্রন তারকা
Neutron star

সুপারনোভা বিস্ফোরণের পর মূল অংশের ভর যদি 1·4 M_0-এর বেশি এবং 3 M_0-এর কম হয় তবে মহাকর্ষজনিত কেন্দ্রমুখী আকর্ষণ বলের জন্য মূল অংশ এতটা সঙ্কোচিত হয় যে ইলেকট্রন ও প্রোটন নিম্নের বিক্রিয়ায় নিউট্রন গঠন করে।

$$p^+ + e^- \longrightarrow n + \gamma$$

এভাবে নিউট্রন গ্যাস উৎপন্ন হয়। সঙ্কোচনের ফলে মূল অংশের ঘনত্ব যখন 10^{19} kg/m^3 মানে পৌঁছায় তখন নিউট্রনের অধঃক্ষয় হয় (neutron is degenerated) এবং এমন এক অবস্থার সৃষ্টি হয় যার ফলে নিউট্রন কঠিন পদার্থের দেওয়ালের মতো আচরণ করে। এই অবস্থায় নিউট্রন সঙ্কোচন প্রক্রিয়াকে বাধা প্রদান করে। অর্থাৎ নিউট্রন গ্যাস বহির্মুখী চাপ সৃষ্টি করে এবং এই চাপের দ্বারা মহাকর্ষীয় সঙ্কোচনকে প্রতিহত করে সুস্থিত (stable) অবস্থায় আসে। একেই নিউট্রন তারকা বলে। চিত্র ১১.১০-এ একটি 1·4 M_0 ভরের বেশি নিউট্রন তারকার কেন্দ্র থেকে বহির্মুখী বিভিন্ন অংশের ঘনত্ব পানির ঘনত্বের সাপেক্ষে দেখানো হয়েছে। নিউট্রন তারকাটির ভর সূর্যের ভরের চেয়ে 1·4 গুণের বেশি হলেও এর ব্যাসার্ধ মাত্র 16 km (সূর্যের ব্যাসার্ধ 7,00,000 km)। বিজ্ঞানীরা ধারণা করেন যে নিউট্রন তারকা দ্রুত ঘূর্ণন গতিসম্পন্ন এবং এর অত্যন্ত শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্র রয়েছে। নিউট্রন তারকা থেকে নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর বেতার স্পন্দন (radio pulse) পাওয়া যায়। তাই একে পালসার (pulsar) বলে।



চিত্র ১১.১০

কৃষ্ণ বিবর
Black hole

জন হুইলার কৃষ্ণ বিবর আবিষ্কার করেন। জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা গাণিতিক মডেলের সাহায্যে দেখিয়েছেন যে একটি নক্ষত্রের মৃত্যু পূর্ব ভর 3 M_0-এর বেশি হলে নক্ষত্রটির ভেতরে মহাকর্ষ বলের কারণে সঙ্কোচন ক্রিয়া অব্যাহত থাকবে এবং আমাদের জানামতে এমন কোনো শক্তি নেই যে এর অব্যাহত সঙ্কোচন প্রতিহত করতে পারে। এভাবে সংকোচিত হয়ে এটি শূন্য ব্যাসার্ধ এবং অসীম ঘনত্বের বিন্দু বস্তুতে পরিণত হতে পারে। বস্তুটি বিন্দু হোক বা না হোক এর আকর্ষণ বল এত বৃদ্ধি পাবে যে এর আশেপাশে থেকে কোনো কিছুই এমনকি আলোও বেরিয়ে আসতে পারবে না। বস্তুটি এবং এর আশেপাশে **যে অঞ্চল থেকে কোনো তথ্য পাওয়া সম্ভব নয়, যেখান থেকে আলো বা কোনো বস্তু বেরিয়ে আসতে পারে না ওই অঞ্চলকে কৃষ্ণ বিবর বা গহ্বর** (black hole) **বলে। এই অঞ্চলের সীমাকেই বলা হয় ঘটনা দিগন্ত** (Event horizon)। কার্ল শোয়ার্জশিল্ড (Karl Schwarzchild) আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে 1916 খ্রিস্টাব্দে কালো বিবরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ R_s-এর রাশিমালা নির্ণয় করেন : [DAT: 18-19]

$R_s = \dfrac{2GM}{c^2}$; এখানে M হলো বস্তুর ভর, c আলোর বেগ এবং G মহাকর্ষীয় ধ্রুবক।

Made with Goodnotes

অর্থাৎ M ভরবিশিষ্ট অঘূর্ণনশীল কোনো গোলকীয় বস্তুর ব্যাসার্ধ যদি R_s হয় তাহলে কোনো বিন্দুই এই বস্তুপৃষ্ঠ হতে মুক্ত হতে পারবে না এবং বস্তুটি কৃষ্ণবিবর হিসেবে কাজ করবে। এক্ষেত্রে R_s ব্যাসার্ধের মধ্যে কোনো বস্তু থাকলে কৃষ্ণবিবরের মহাকর্ষ আকর্ষণ দ্বারা আটকা পড়বে এবং বস্তুটি থেকে মুক্ত হতে পারবে না এবং বস্তুটি কৃষ্ণ বিবর হিসেবে কাজ করবে। এক্ষেত্রে R_s ব্যাসার্ধের মধ্যে কোনো বস্তু থাকলে কৃষ্ণবিবরের মহাকর্ষ আকর্ষণ দ্বারা আটকা পড়বে এবং তা কোনো দিনই মুক্ত হতে পারবে না।

তাঁর নামানুসারে এই ব্যাসার্ধ **শোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ** বলে পরিচিত। একে **সংকট ব্যাসার্ধও** বলা হয়। এই ব্যাসার্ধ শুধুমাত্র বস্তুটির ভরের ওপর নির্ভর করে। 5 M_0 ভরের একটি কৃষ্ণ বিবরের ব্যাসার্ধ হবে প্রায় 15 km। অর্থাৎ 15 km ব্যাসার্ধের ভেতরে কোনো কিছুই দেখা যাবে না এবং আলোসহ কোনো কিছুই বেরিয়ে আসতে পারবে না। তবে কৃষ্ণ বিবরের উপস্থিতি অনুভব করা যাবে। সূর্য যদি বর্তমান আকার থেকে সঙ্কোচনের মাধ্যমে 3 km ব্যাসার্ধে পৌঁছায় তবে এটি আমাদের কাছে অদৃশ্য মনে হবে। কিন্তু এর অভিকর্ষীয় প্রভাব থেকে যাবে। যেমন পৃথিবী সূর্যের চারদিকে ঘুরছে, তখনও ঘুরবে। "Seeing is believing" এই প্রবাদ তখন খাটবে না। তবে সূর্য কৃষ্ণ বিবর হবে না কেননা এর ভর অনেক কম।

1974 খ্রিস্টাব্দে বিশ্ববিখ্যাত ব্রিটিশ বিজ্ঞানী **স্টিভেন হকিং** (Stephen Hawking) তত্ত্বীয় ভাবে দেখান যে কৃষ্ণ বিবর কণা নির্গমনের উৎস হতে পারে। অনেক বিজ্ঞানী মনে করেন যে, কৃষ্ণ বিবরে যে সমস্ত বস্তু পতিত হয় সেগুলো আবার মহাবিশ্বের অন্য কোথাও বা অন্য কোনো মহাবিশ্বে আবির্ভূত হয়। একে শক্তির উৎস হিসেবে ব্যবহারের সম্ভাবনার কথাও অনেকে বলেছেন। সুতরাং কৃষ্ণ বিবর আগামী দিনের তাত্ত্বিক এবং ব্যবহারিক অনেক গবেষণার দ্বার উন্মোচন করেছে নিঃসন্দেহে।

জানার বিষয় : **[MAT: 12-13]**

I. জন হুইলার কৃষ্ণ বিবর আবিষ্কার করেন। এর ঘনত্ব অসীম।
II. গ্রহানু মঙ্গল ও বৃহস্পতি গ্রহের কক্ষপথের মাঝ দিয়ে সূর্যকে প্রদক্ষিণ করে।
III. আলোক বর্ষ দূরত্বের একক।
IV. শ্বেতবামন নক্ষত্রে পরিণত হতে হলে নক্ষত্রের ভর সৌর ভরের 1·4 গুণ বা তার কম হতে হবে।
V. একটি তারকার শ্বেতবামন হওয়ার শর্ত হলো $M > 1{\cdot}4\ \mu_s$ (μ_s = সূর্যের ভর)।

হিসাব কর : একটি নক্ষত্রের ভর $6M_0$। নক্ষত্রটি কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হলে কৃষ্ণ বিবরের ব্যাসার্ধ কত হবে ? [সূর্যের ভর, $M_0 = 1{\cdot}99 \times 10^{30}$ kg]

১১·৬ মহাকাশ পর্যবেক্ষণে ব্যবহৃত যন্ত্রের মূলনীতি
Principles of the instruments used for observing the space

মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য এবং মহাবিশ্বের পরিণতি নিয়ে বিজ্ঞানীদের গবেষণার অন্ত নেই। এছাড়া মহাবিশ্বে অবস্থিত মূল বস্তু ও নানাবিধ ঘটনা পর্যবেক্ষণ তাদের গতিবিধি অবলোকন এবং গঠন পর্যালোচনা ও প্রকৃতি জানতে বিজ্ঞানীরা অবিরাম পরিশ্রম করে যাচ্ছে। যেসব বিজ্ঞানী মহাবিশ্ব নিয়ে গবেষণা করেন তাদের জ্যোতির্বিজ্ঞানী বলে। আগের দিনে জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা খালি চোখে আকাশ দেখতেন। পরবর্তীতে বিশাল এবং শক্তিশালী দূরবিন নিয়ে তারা আকাশ পর্যবেক্ষণ করেন। কিন্তু সব নক্ষত্র, গ্রহ এবং উপগ্রহ দূরবিন দিয়ে দৃষ্টিগোচর হয় না। প্রয়োজন হয় নানাবিধ বৈজ্ঞানিক কৌশল ও যন্ত্রের। তাদের মধ্যে অন্যতম রেডিও টেলিস্কোপ, অপটিক্যাল টেলিস্কোপ, গামা ও এক্স-রে এবং কৃত্রিম উপগ্রহের, সেগুলো কতগুলি মূলনীতির উপর প্রতিষ্ঠিত। জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের কাজে ব্যবহৃত এই সকল উপকরণের (টেলিস্কোপের) মূলনীতিসহ বিস্তারিত বর্ণনা করা হলো।

[MAT: 16-17]

রেডিও টেলিস্কোপ
Radio telescope

রেডিও টেলিস্কোপ এক ধরনের দিক নির্দেশী (Directional) বেতার এ্যান্টেনা যা বেতার জ্যোতির্বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়। একই ধরনের এ্যান্টেনা উপগ্রহ থেকে উপাত্ত সংগ্রহ এবং মহাকাশ গবেষণায় ব্যবহৃত হয়। জ্যোতির্বিদ্যায় ভূমিকার ক্ষেত্রে রেডিও টেলিস্কোপ অপটিক্যাল টেলিস্কোপ থেকে আলাদা কারণ রেডিও টেলিস্কোপ তড়িৎচুম্বকীয় বর্ণালির বেতার কম্পাঙ্ক অংশ ব্যবহার করে। বেতার, টেলিভিশন এবং রাডার হতে নির্গত তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের সঙ্গে যাতে ব্যতিচার না ঘটে এজন্য রেডিও টেলিস্কোপগুলোকে লোকালয় থেকে দূরে স্থাপন করা হয়। এরিকিবো মানমন্দিরে ব্যবহৃত রেডিও টেলিস্কোপটি জগৎ বিখ্যাত এবং সংবেদনশীল। বর্তমানে ব্যবহৃত ডিস এন্টেনা হলো রেডিও টেলিস্কোপের একটি ক্ষুদ্র সংস্করণ।

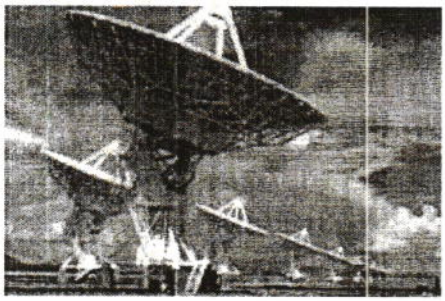
বেতার বর্ণালি তড়িৎচুম্বকীয় বর্ণালির একটা বড় পরিসর জুড়ে অবস্থান করে (3kHz–300GHz)। এর অর্থ রেডিও টেলিস্কোপে যে ধরনের এ্যান্টেনা ব্যবহৃত হয় সেগুলোর নকশা, আকার এবং বিন্যাসের দিক থেকে বেশ ভিন্নতর। তারা, নক্ষত্র, কোয়াসার ও অন্যান্য জ্যোতি পদার্থ থেকে প্রাকৃতিকভাবে নির্গত বেতার নির্গমন অধ্যয়ন ও পর্যালোচনা করার জন্য রেডিও টেলিস্কোপ ব্যবহৃত হয়। রেডিও টেলিস্কোপ মহাকাশ গবেষণায় ব্যবহৃত হয়। রেডিও টেলিস্কোপ উপরোক্ত বস্তুগুলোর প্রতিবিম্বও গঠন করতে পারে।

Made with Goodnotes

মূলনীতি (Principle)

এই যন্ত্রের মৌলিক কার্যনীতি দৃশ্যমান তরঙ্গদৈর্ঘ্যে ব্যবহৃত প্রতিফলন দূরবীক্ষণ যন্ত্রের মতোই। আপতিত তরঙ্গ, তা বেতার বা দৃশ্যমান যা-ই হোক না কেন, একটি নিখুঁত দর্পণে বাধাগ্রস্ত হয়ে একটি সাধারণ অভিসারী বিন্দুতে মিলিত হয়। এক্ষেত্রে প্রতিফলন পৃষ্ঠতল এবং আপতিত তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বৈশিষ্ট্যগুলো বেশ গুরুত্বপূর্ণ। প্রতিফলন পৃষ্ঠতলের আকৃতি এমন হতে হবে যেন বেতার তরঙ্গগুলো সেখান থেকে প্রতিফলনের পর অভিসারী বিন্দুতে একই দশায় মিলিত হতে পারে। এর জন্য প্রতিফলন বিন্দু থেকে অভিসারী বিন্দু পর্যন্ত পথের দৈর্ঘ্য পৃষ্ঠতলের বিভিন্ন বিন্দুতে একই হতে হবে। এই শর্ত অবশ্য সহজেই মেটানো যায়, কেবল প্রতিফলন পৃষ্ঠতলটি পরাবৃত্ত আকৃতির করে দিলেই হলো। এজন্যেই আধুনিক বেতার দূরবীক্ষণ যন্ত্রগুলোর প্রতিফলন পৃষ্ঠতল তথা ডিশের আকৃতি পরাবৃত্তীয় হয়ে থাকে। এছাড়া এ ধরনের দূরবীক্ষণের দর্শন তথা পর্যবেক্ষণের কাজটি 1 মিমি থেকে 30 মিটার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে করতে হয়। কারণ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 30 মিটারের বেশি হলে আয়নমণ্ডলে শোষণ ঘটে আর 1 মিলিমিটারের চেয়ে কম হলে বায়ুমণ্ডলের পানি, কার্বন ডাই-অক্সাইড এবং ওজোন কর্তৃক শোষিত হয়।

এভাবে অভিসারী বিন্দুতে বেতার তরঙ্গগুলোকে একত্রিত করা হলেও সেগুলো সাধারণত খুবই ক্ষীণ থাকে। এদেরকে পর্যবেক্ষণের উপযোগী করতে হলে বিবর্ধিত করতে হয়। প্রথমে আপতিত এবং অভিসারী বিন্দুতে একত্রিত বেতার কম্পাঙ্ক সংকেতকে অভিসারী বিন্দুতে 10 থেকে 1000 গুণ বিবর্ধিত করা হয়। এই বিবর্ধিত কম্পাঙ্ককে তাদের ক্ষুদ্রতর কম্পাঙ্কে পরিবর্তিত করা হয় যাকে মধ্যবর্তী কম্পাঙ্ক বলা হয়। এই মধ্যবর্তী কম্পাঙ্ককে সহজেই তারের মাধ্যমে অভিসারী বিন্দু থেকে দূরবীক্ষণ নিয়ন্ত্রণ কক্ষে পাঠানো যায়। এখানে মধ্যবর্তী কম্পাঙ্ককে আরও বর্ধিত করা হয় যাতে সেটি স্পষ্ট হয়ে ওঠে। এই স্পষ্ট কম্পাঙ্ককে এমনভাবে তথ্যপ্রদর্শনী যন্ত্রে প্রদর্শন করা হয় যার মাধ্যমে জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা পর্যবেক্ষণ কাজে সর্বোচ্চ উপযোগিতা লাভ করতে পারেন। ১১·১১ চিত্রে রেডিও টেলিস্কোপ দেখানো হলো।



চিত্র ১১.১১ : রেডিও টেলিস্কোপ।

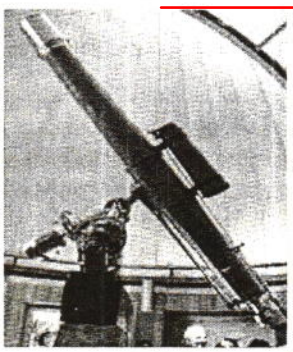
অপটিক্যাল টেলিস্কোপ
Optical telescope

অপটিক্যাল টেলিস্কোপে সরাসরি বস্তুর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখা, আলোকচিত্র নেয়া এবং উপাত্ত সংগ্রহের জন্য তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির প্রধানত দৃশ্যমান অংশ সংগ্রহ এবং নিবন্ধ করে। অপটিক্যাল টেলিস্কোপ প্রধানত তিন ধরনের—

(১) প্রতিসারক— লেন্স ব্যবহৃত হয়।
(২) প্রতিফলক— আয়না ব্যবহৃত হয়।
(৩) ক্যাটাডায়প্ট্রিক— লেন্স এবং আয়না উভয়ই ব্যবহৃত হয়।

পর্যবেক্ষণীয় জ্যোতির্বিজ্ঞান, পক্ষীবিজ্ঞান, শত্রুপক্ষের অবস্থান নির্ণয় ইত্যাদি কর্মকাণ্ডে অপটিক্যাল টেলিস্কোপ ব্যবহৃত হয়।

জানার বিষয় : প্রতিফলক অপটিক্যাল টেলিস্কোপ আয়না হিসেবে ব্যবহৃত হয়।



চিত্র ১১.১২ : অপটিক্যাল টেলিস্কোপ।

মূলনীতি (Principle)

অপটিক্যাল টেলিস্কোপে আগত রশ্মিগুলোকে বস্তু লেন্সের সাহায্যে একত্রিত করে টেলিস্কোপের ভেতর প্রেরণ করে। রশ্মিগুলো একত্রিত করার কাজটি টেলিস্কোপের সামনে লাগানো বস্তু লেন্স (উত্তল লেন্স বা অবতল দর্পণ) সম্পন্ন করে। দূর থেকে আগত আলোক রশ্মি ফোকাস তলের একটি বিন্দুতে মিলিত হয়ে বস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। এই প্রতিবিম্ব বা ইমেজ চক্ষু লেন্সের দ্বারা বিবর্ধিত চোখে এসে পড়ে এবং লক্ষ্যবস্তুর বিবর্ধিত বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এখানে চক্ষু লেন্স বিবর্ধিত কাচের (magnifying glass) ন্যায় কার্য সম্পন্ন করে। এটাই অপটিক্যাল লেন্সের মূলনীতি। ১১·১২ চিত্রে অপটিক্যাল টেলিস্কোপ দেখানো হলো।

গামা-রে টেলিস্কোপ
Gamma-ray telescope

আমরা জানি, তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের কম্পাঙ্ক/তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্রসার অত্যন্ত বেশি। তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য অনুসারে বহু আগে থেকেই বিভিন্ন নামকরণ প্রচলিত আছে। যেমন, রেডিও তরঙ্গ,

Made with Goodnotes

RMDAC

অবলোহিত তরঙ্গ, দৃশ্যমান তরঙ্গ, এক্স-রশ্মি, গামা রশ্মি ইত্যাদি। গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর 10^{-11}m থেকে 10^{-15}m পর্যন্ত বিস্তৃত। তড়িৎ চৌম্বকীয় বর্ণালির সবচেয়ে শক্তিশালী ফোটন দ্বারা গামা রশ্মি গঠিত। এই ফোটনের শক্তি 10^{7} eV থেকে 10^{15} eV পর্যন্ত বিস্তৃত। ফলে এর ভেদন ক্ষমতা অত্যন্ত বেশি। পারমাণবিক নিউক্লিয়াস থেকে গামা রশ্মি বিকিরণ ১১.১৩ চিত্রে দেখানো হলো।

গামা রশ্মি নিঃসরণের উৎসসমূহ
Sources of gamma ray emission

(i) পরমাণুর নিউক্লিয়াস উত্তেজিত হয়ে উচ্চ শক্তিস্তর থেকে নিম্ন শক্তিস্তরে স্থানান্তরের ফলে এ রশ্মি নির্গত হয়।

(ii) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর বিশ্লেষণের (disintegration) সময় এ রশ্মি নির্গত হয়।

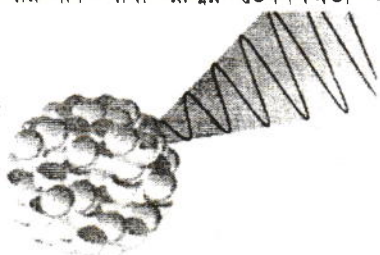
(iii) মহাবিশ্বে সবচেয়ে উত্তপ্ত এবং শক্তিশালী বস্তুসমূহে বিভিন্ন বিক্রিয়ার কারণে গামা রশ্মি উৎপন্ন হয়। যেমন নিউট্রন নক্ষত্র, পালসার (Pulsar), সুপারনোভা বিস্ফোরণ, কৃষ্ণ বিবরের পরিপার্শ্ব ইত্যাদি।

গামা-রে টেলিস্কোপ গামা রশ্মি বিকিরণকে চিহ্নিত ও পর্যবেক্ষণ করতে পারে। মহাজাগতিক গামা রশ্মি বিশ্লেষণের মাধ্যমে মহাশূন্যে সংঘটিত বিভিন্ন প্রচণ্ড ধ্বংসাত্মক ঘটনা (Violent events) ও উৎসগুলো সম্পর্কে তথ্য সংগ্রহ করা সম্ভব।

প্রতিটি তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস হতে নিজস্ব বৈশিষ্ট্যসূচক গামা রশ্মি নিসৃত হয়; সুতরাং নিসৃত বিকিরণ দ্বারা উক্ত নির্দিষ্ট মৌলিক পদার্থ শনাক্ত করা সম্ভব। মহাবিশ্বের নক্ষত্র, ছায়াপথসমূহ হতে আগত গামা রশ্মি পর্যবেক্ষণ করে নির্দিষ্ট মৌলিক পদার্থের উপস্থিতি এবং নির্দিষ্ট নিউক্লীয় ঘটনাবলির অস্তিত্ব নির্ণয় করা যায়।

মূলনীতি (Principle) :

গামা-রে টেলিস্কোপ সাধারণ টেলিস্কোপের মতো নয়। আলো বা এক্স-রশ্মির মতো সাধারণ দর্পণে গামা রশ্মি ধরা যায় না। গামা রশ্মির ভেদনক্ষমতা অনেক বেশি হওয়ায় দর্পণের ভেতর দিয়ে চলে যায় এবং শোষণ বা প্রতিফলন ঘটায় না। গামা রশ্মি শনাক্তকরণের জন্য এক বিশেষ ধরনের ডিটেকটর (detector) ব্যবহার করা হয় যাকে সিন্টিলেশন ডিটেকটর (scintillation detector) বলা হয়। এই ডিটেকটরের ভেতরে ঘন সন্নিবিষ্ট স্ফটিক (crystal)-এর ব্লক থাকে। গামা রশ্মি যখন এই স্ফটিকে প্রবেশ করে তখন এর ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষ হয় এবং চার্জিত কণা সৃষ্টি হয়। এই চার্জিত কণা ডিটেকটরের সেন্সরে ধরা পড়ে এবং প্রতিবিম্ব তৈরি করে। কম্পটন বিক্ষেপ টেলিস্কোপ (Compton Scatter Telescope) এ ধরনের একটি গামা-রে টেলিস্কোপ।



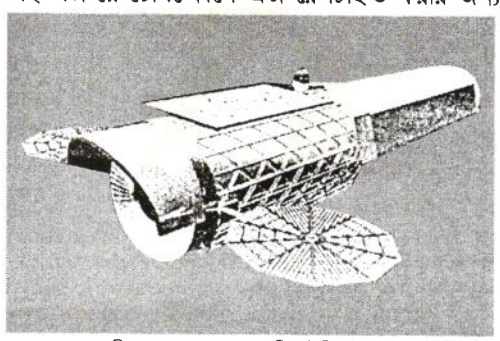
চিত্র ১১.১৩ : পারমাণবিক নিউক্লিয়াস থেকে গামা বিকিরণ।

এক্স-রে টেলিস্কোপ
X-ray telescope

মহাকাশে সংঘটিত বিভিন্ন ধ্বংসাত্মক (violent) ঘটনা থেকে এক্স-রে নির্গত হয়। যেমন কোনো নক্ষত্রের বিস্ফোরণে প্রচণ্ড তাপ ও শক্তি উৎপন্ন হয় এবং এক্সরে নির্গত হয়। এক্স-রে অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এবং উচ্চ শক্তির তড়িৎ চৌম্বকীয় বিকিরণ। এক্স-রে টেলিস্কোপ এসব এক্স-রশ্মি পর্যবেক্ষণ এবং বিশ্লেষণ করে বিভিন্ন মহাজাগতিক ঘটনা সম্পর্কে ধারণা প্রদান করে।

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে বেশির ভাগ মহাজাগতিক এক্স-রশ্মি শোষিত হয় বলে এক্স-রে টেলিস্কোপ কৃত্রিম উপগ্রহ, রকেট বা বেলুনে স্থাপন করে বিভিন্ন উৎস থেকে নির্গত এক্স-রশ্মি পর্যবেক্ষণ করা হয়। এক্স-রে অত্যন্ত শক্তিশালী হওয়ায় সাধারণ দর্পণের ভেতর দিয়ে সহজেই চলে যেতে পারে, তাই এক্স-রে টেলিস্কোপে এক্স-রে চিহ্নিত করার জন্য ধাতব দর্পণ ব্যবহার করা হয়। টেলিস্কোপে দর্পণগুলো এমনভাবে স্থাপন করা হয় যাতে এক্স-রশ্মি অতি ক্ষুদ্র কোণে আপতিত ও প্রতিফলিত হয় যেমন কোনো পাতলা গুড়ি পাথর পুকুরের পানির ওপর অতি অল্প কোণে নিক্ষেপ করলে পানির তলকে স্পর্শ করে সামনের দিকে এগিয়ে যায়।

মূলনীতি (Principle) : এক্স-রে টেলিস্কোপে ধাতব নির্মিত দর্পণ ব্যবহার করা হয়। মহাজাগতিক বস্তু থেকে আগত এক্স-রশ্মি যাতে টেলিস্কোপের দর্পণে শোষিত না হয় সেজন্য দর্পণের পৃষ্ঠগুলো স্বর্ণ বা ইরিডিয়ামের পাতলা স্তর দিয়ে প্রলেপ দেওয়া হয়। এক্স-রশ্মিকে দর্পণ তলে অতিক্ষুদ্র কোণে আপতিত ও প্রতিফলিত করা হয়। প্রতিফলিত এক্স রশ্মি ফোটন ডিটেকটরে সংগ্রহ করা হয়।



চিত্র ১১.১৪ : এক্স রশ্মি টেলিস্কোপ।

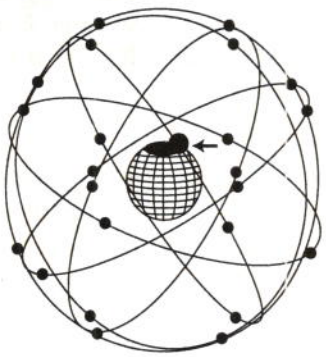
Made with Goodnotes

ডিটেকটর শোষিত ফোটনের শক্তি, সময়, দিক রেকর্ড করে। ফটো ডায়োড চার্জড কাপলড ডিভাইস (Charged Coupled Device)-এর মাধ্যমে প্রাপ্ত উপাত্ত বিশ্লেষণ করা হয়। সংগৃহীত উপাত্ত থেকে মহাজাগতিক পরিবেশের গঠন এবং অবস্থা সম্পর্কে স্পষ্ট ধারণা লাভ করা সম্ভব হয়। চিত্র ১১·১৪-এ একটি এক্স-রশ্মি টেলিস্কোপ দেখানো হয়েছে।

১৯৯৯ সালে স্থাপিত চন্দ্র (Chandra) নামে একটি মহাকাশ এক্স-রশ্মি টেলিস্কোপ পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করছে। এই টেলিস্কোপ ছায়াপথের বিভিন্ন নক্ষত্র, নিউট্রন তারকা, কৃষ্ণ গহ্বরের ছবি প্রেরণ করে নতুন নতুন তথ্য সরবরাহ করছে।

মহাকাশ গবেষণায় কৃত্রিম উপগ্রহ
Artificial satellite in space research

কৃত্রিম উপগ্রহ হলো মানুষ নির্মিত মহাকাশযান যা রকেটের সাহায্যে মহাশূন্যে উৎক্ষেপণের পর নির্দিষ্ট উচ্চতায় পৃথিবীর চারদিকে বিভিন্ন কক্ষপথে ঘুরে জোতির্বিজ্ঞান সম্পর্কিত গবেষণা, মহাজাগতিক বস্তু নিঃসৃত রশ্মি ও বিকিরণ সম্পর্কে তথ্য সংগ্রহে বিশেষ ভূমিকা পালন করছে [চিত্র ১১.১৫]। কৃত্রিম উপগ্রহের সাহায্যে পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের অনেক উপরে বিশেষ ধরনের টেলিস্কোপ স্থাপন করে মহাজাগতিক বস্তু পর্যবেক্ষণ ও অনুসন্ধান করা যায়। হাবল টেলিস্কোপ, এক্স-রে টেলিস্কোপ, গামা-রে টেলিস্কোপ এ ধরনের টেলিস্কোপ। 1990 সালে হাবল স্পেস টেলিস্কোপ (Hubble Space Telescope) পৃথিবী হতে 600 km উচ্চতায় কৃত্রিম উপগ্রহে স্থাপন করা হয়। এই টেলিস্কোপ মহাকাশের বিভিন্ন নক্ষত্র, গ্যালাক্সির স্পষ্ট চিত্র পৃথিবীতে প্রেরণ করছে যা পর্যালোচনা করে মহাবিশ্বের বয়স, কৃষ্ণ গহ্বর ইত্যাদি সম্পর্কে অনেক নতুন নতুন তথ্য পাওয়া যাচ্ছে। মহাবিশ্ব যে সম্প্রসারণশীল তা হাবল টেলিস্কোপ প্রেরিত তথ্য বিশ্লেষণ করে প্রমাণিত হয়েছে।


চিত্র ১১·১৫ : কৃত্রিম উপগ্রহের ঘূর্ণনের কক্ষপথ।

মূলনীতি (Principle) : কৃত্রিম উপগ্রহকে কক্ষপথে স্থাপন করার জন্য প্রয়োজনীয় উচ্চ বেগসম্পন্ন রকেটের সাহায্য নেওয়া হয়। বায়ুর বাধা এড়ানোর জন্য এই রকেট দিয়ে উপগ্রহকে কয়েকশ' কিলোমিটার ওপরে কক্ষপথে স্থাপন করা হয়। কৃত্রিম উপগ্রহ এমনভাবে পৃথিবীর চারদিকে ঘূর্ণায়মান হয় যাতে ঘূর্ণনের জন্য প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বল এটি পৃথিবীর অভিকর্ষীয় বল হতে পায়। কৃত্রিম উপগ্রহের বেগ এবং পর্যায়কাল নিম্নের সমীকরণ থেকে নির্ণয় করা যায়।

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

এবং $$T = 2\pi (R+h)\sqrt{\frac{R+h}{GM}}$$

এখানে R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ, M = পৃথিবীর ভর, h = পৃথিবী পৃষ্ঠ হতে উপগ্রহের উচ্চতা, G = মহাকর্ষ ধ্রুবক। কৃত্রিম উপগ্রহের বেগ এবং পর্যায়কাল তার ভরের ওপর নির্ভরশীল নয়।

গাণিতিক উদাহরণ ১১.৩

১। একটি নক্ষত্রের ভর 4 M_0। নক্ষত্রটি যদি কৃষ্ণ বিবরে রূপান্তরিত হয় তবে এর শোয়ার্জশিল্ড বা সংকট ব্যাসার্ধ কত হবে ? [সূর্যের ভর $M_0 = 1.99 \times 10^{30}$ kg]

আমরা জানি,

শোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ,

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$= \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2\ kg^{-2} \times 4 \times 1.99 \times 10^{30}\ kg}{(3 \times 10^8\ ms^{-1})^2}$$

$$= 11.80 \times 10^3\ m$$

$$= 11.80\ km$$

এখানে,

$M = 4\ M_0$

$M_0 = 1.99 \times 10^{30}$ kg

Made with Goodnotes

২। একটি কৃষ্ণ বিবরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ 5·9 km। এর ভর ও ঘনত্ব নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$R_S = \frac{2GM}{c^2}$$

বা, $M = \frac{R_S c^2}{2G} = \frac{5{\cdot}9 \times 10^3 \times (3 \times 10^8)^2}{2 \times 6{\cdot}67 \times 10^{-11}}$

$= 3{\cdot}98 \times 10^{30}$ kg

এখানে,

$R_S = 5{\cdot}9 \text{ km} = 5{\cdot}9 \times 10^3$ m

$G = 6{\cdot}67 \times 10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

$M = ?$

$\rho = ?$

আবার, $\rho = \frac{M}{V}$ এবং $V = \frac{4}{3}\pi R_S^3 = \frac{4}{3} \times 3{\cdot}14 \times (5{\cdot}9 \times 10^3)^3$

$\therefore \rho = \frac{3{\cdot}98 \times 10^{30}}{\frac{4}{3} \times 3{\cdot}14 \times (5{\cdot}9 \times 10^3)^3} = \frac{3{\cdot}98 \times 3 \times 10^{30} \times 10^{-9}}{4 \times 3{\cdot}14 \times (5{\cdot}9)^3}$

$= 4{\cdot}63 \times 10^{18}$ kg m^{-3}

৩। জ্যোতির্পদার্থবিজ্ঞানে মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ থেকে জানা যায় যে, ভস্মীভূত নক্ষত্র এর নিজের মহাকর্ষের প্রভাবেই ধ্বংস হয়ে কৃষ্ণ বিবরে রূপ নিতে পারে। তবে এজন্য এর ভর হতে হবে দুই সৌর ভরের সমান। (সূর্যের ভর = 2×10^{30} kg হলো এর সৌর ভর)। এ রকম ক্ষেত্রে ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ কত ?

আমরা জানি,

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$= \frac{2 \times 6{\cdot}67 \times 10^{-11} \times 4 \times 10^{30}}{(3 \times 10^8)^2}$

$= 5{\cdot}93 \times 10^3$ m $= 5{\cdot}93$ km

এখানে,

নক্ষত্রের ভর,

$M = 2 \times$ সূর্যের ভর

$= 2 \times 2 \times 10^{30}$ kg

$= 4 \times 10^{30}$ kg

ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ, $R_s = ?$

সার-সংক্ষেপ

শ্বেত বামন : মৃত্যুপর্ব শুরুর মুহূর্তে যে সমস্ত তারকার ভর সূর্যের ভরের অপেক্ষা 1.4 গুণ কম, সেগুলো শ্বেত বামন। রক্তিম দৈত্য স্ফীতির ফলে ক্রমশ একটি ধাপে পৌঁছায় যে এর বাইরের আবরণ বিচ্ছিন্ন বা ভেঙ্গে যায়, অবশিষ্ট যা থাকে তাকে শ্বেত বামন বলে।

রক্তিম দৈত্য : তারকার হাইড্রোজেন জ্বালানি ফুরিয়ে গেলে সংকোচনের ফলে তারকার মূল অংশের ঘনত্ব বাড়ে এবং তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায় এবং বহির্ভাগে প্রসারণ ঘটে। বাইরের আবরণের স্ফীতির ফলে তারকার আকার অনেক বড় হয় এবং তাপমাত্রা কমে যাওয়ায় তারকার পৃষ্ঠ থেকে নির্গত আলো লালাভ দেখায়। এই তারকাকে রক্তিম দৈত্য বলে।

সুপারনোভা : সূর্যের ভরের তুলনায় অনেক ভারী নক্ষত্রগুলোর জ্বালানি শেষ হলে সঙ্কোচন অত্যন্ত তীব্র হয় এবং মূল অংশের ঘনত্ব এত বেড়ে যায় যে প্রচণ্ড বিস্ফোরণের মধ্য দিয়ে মৃত্যুবরণ করে। এই প্রচণ্ড বিস্ফোরণকে সুপারনোভা (supernova) বিস্ফোরণ বলা হয়।

রেডিও গ্যালাক্সি : যেসব গ্যালাক্সি রেডিও কম্পাঙ্কের তড়িৎ চৌম্বক বিকিরণ নিঃসরণ করে তাদের রেডিও গ্যালাক্সি বলা হয়।

বিগ ব্যাং তত্ত্ব : আজ থেকে 1500—2000 কোটি বছর আগে মহাবিশ্বের আকৃতি ছিল ডিম্বাকার। অভ্যন্তরীণ বিপুল তাপ ও চাপের কারণে প্রচণ্ড শব্দে ডিম্বাকার বস্তুর মহাবিস্ফোরণ ঘটে। এই বিস্ফোরণের ফলেই সৃষ্টি হয়েছিল আমাদের এই মহাবিশ্ব। এটাই বিগ ব্যাং তত্ত্ব।

সম্প্রসারণ তত্ত্ব : বিগ ব্যাং-এর কারণে সৃষ্ট খণ্ডাংশগুলো বিভিন্ন রূপ; যেমন— গ্রহ, উপগ্রহ, নক্ষত্র, উল্কা, ধূমকেতু ইত্যাদি নাম নিয়ে প্রতিনিয়ত নির্দিষ্ট হারে দূরে সরে যাচ্ছে। দূরে সরতে সরতে এক সময় এগুলো এদের শেষ সীমায় পৌঁছে যাবে। এর অর্থ হলো নীহারিকাগুলো পরস্পর থেকে দূরে সরে যাচ্ছে। ইহাই সম্প্রসারণ তত্ত্ব।

বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্ব : বিগ ব্যাং ঘটনার পর নীহারিকাগুলো আর দূরে সরে না গিয়ে বরং পরস্পরের কাছাকাছি চলে আসতে আসতে ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়ে ঘনীভূত হবে। এটি বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্ব।

পালসার থিউরি : বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্বের সমাপ্তিই হলো বিগ ব্যাং- এর সূচনা। এভাবেই বিগ ব্যাং ও বিগ ক্রাঞ্চ পর্যায়ক্রমে সংঘটিত হয়। একে পালসার থিওরি বলে।

Made with Goodnotes

হাবল বিধি : এডুইন হাবল দীর্ঘ নয় বছর পর্যবেক্ষণ করে দেখিয়েছেন যে ছায়াপথসমূহ অপসারিত হচ্ছে এবং তাদের এই অপসারণ বেগের মান তাদের দূরত্বের সমানুপাতিক অর্থাৎ $v \propto d$। এটাই হাবল বিধি।

মহাবিশ্বের পরিণতি নিয়ে তিনটি মত রয়েছে। যথা :

(১) **আবদ্ধ মহাবিশ্ব :** এই মডেল অনুসারে মহাবিশ্বের সম্প্রসারণ ভবিষ্যতে একদিন থেমে যাবে এবং আবার সংকুচিত হতে হতে মহাবিশ্ব একটি বিন্দুতে এসে বসে পড়বে।

(২) **উন্মুক্ত মহাবিশ্ব :** এই মডেল অনুসারে মহাবিশ্ব অনন্তকাল প্রসারিত হবে।

(৩) **সমতল মহাবিশ্ব :** এই মডেলে মহাবিশ্ব ধসে পড়বে না, আবার অনন্তকাল প্রসারিতও হবে না।

মহাকাশ বা নভোমণ্ডল : বিজ্ঞানীদের মতে মহাবিশ্বের যাবতীয় বস্তু ও শক্তি যে অঞ্চলে বিন্যস্ত বা ভাস্মান তার নাম মহাকাশ বা নভোমণ্ডল।

জ্যোতিষ্ক : মহাকাশে অসংখ্য জ্বলন্ত গ্যাসপিণ্ড অবস্থান করছে; যেমন— সূর্য, নক্ষত্র, গ্রহ, উপগ্রহ, উল্কা ইত্যাদি। এদের নাম জ্যোতিষ্ক।

মহাবিশ্বের মৌলিক উপাদান তিনটি। যথা :

সৌরজগৎ : সৌরজগতে রয়েছে সূর্য, গ্রহ, উপগ্রহ, ধূমকেতু, উল্কা, গ্রহাণুসহ গ্যাস ও ধূলিকণা। সূর্য সৌরজগতের কেন্দ্র।

নক্ষত্র : পৃথিবী থেকে দেখলে মনে হয় নক্ষত্রগুলো যেন মহাকাশের একই সমতলে অবস্থান করছে। পৃথিবী থেকে এদের দূরত্ব অনেক বেশি বলে এমনটি মনে হয়। সূর্য পৃথিবীর নিকটতম নক্ষত্র।

গ্যালাক্সি : মহাকর্ষ বলের প্রভাবে গ্যাসীয় পদার্থের সংকোচন হয় যার ফলশ্রুতিতে সৃষ্টি হয় গ্যালাক্সি। গ্যালাক্সির মধ্যেও গ্যাসের মহাকর্ষীয় ঘনীভবনের ফলে হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম মিলে তৈরি ঘনীভূত গ্যাসে অণু পরমাণুর মধ্যে ঘর্ষণ বেড়ে যাওয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে নিউক্লিয় ফিউশন বিক্রিয়া শুরু হয় এবং বিপুল পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়। নক্ষত্র ও সূর্য এভাবেই জ্বলে উঠে। অনেকগুলো নক্ষত্রের সমাবেশকে গ্যালাক্সি বলে। মহাবিশ্বের সকল কণাকে দুই ভাগে ভাগ করা হয়; ১। ফার্সিয়ন ও ২। বোসন।

ফার্সিয়ন এবং বোসন : যেগুলো বোসন সেগুলো এই বস্তুকণার ভিতরে বল বা শক্তির আদানপ্রদান করে। যেসব কণা ফার্সিয়ন সেগুলোকে বলা হয় বস্তুকণা।

নিউট্রন নক্ষত্র বা পালসার : কোনো নক্ষত্র যখন সুপারনোভা হিসেবে বিস্ফোরিত হয় তখন এর মূল কোরে চাপ এত বেশি হয় যে, প্রোটন ও ইলেকট্রন একত্রিত হয়ে নিউট্রন গঠন করে। তাই একে নিউট্রন নক্ষত্র বা পালসার বলা হয়।

কৃষ্ণবিবর বা কৃষ্ণ গহ্বর : একটি নক্ষত্রের মৃত্যুপূর্ব ভর সূর্যের ভরের তিনগুণের বেশি হলে নক্ষত্রটির ভেতর মহাকর্ষ বলের কারণে সংকোচন ক্রিয়া অব্যাহত থাকবে এবং এটি সংকোচিত হয়ে অসীম ঘনত্বের বিন্দু বস্তুতে পরিণত হতে পারে। এতে আকর্ষণ বল এত বৃদ্ধি পাবে যে বস্তুটির আশেপাশের অঞ্চল থেকে কোনো কিছুই এমনকি আলোও বেরিয়ে আসতে পারে না। ওই অঞ্চলকে কৃষ্ণ গহ্বর বা কালো বিবর বলে।

ডার্ক ম্যাটার বা অদৃশ্য বস্তু : গ্যালাক্সিতে বিপুল পরিমাণ ভর রয়েছে যা মহাকর্ষ বল সরবরাহ করে কিন্তু কোনো তড়িৎ চৌম্বক বিকিরণ নিঃসরণ না করায় তা আমাদের নিকট দৃশ্যমান হয় না। এদেরকে অদৃশ্য ভর বা ডার্ক ম্যাটার বলে। গ্যালাক্সিতে বিপুল পরিমাণে ডার্ক ম্যাটার আছে যা দৃশ্যমান ভরের দশগুণের মতো।

ডার্ক এনার্জি বা অদৃশ্য শক্তি : মহাবিশ্বে মহাকর্ষের বিপরীত একটি বল ক্রিয়াশীল রয়েছে যা, মহাবিশ্বের প্রসারণকে ত্বরান্বিত করছে বলে অনেক বিজ্ঞানীর ধারণা। একে ডার্ক এনার্জি বা অদৃশ্য শক্তি বলে।

ঘটনা দিগন্ত : কৃষ্ণ বিবর অঞ্চলের সীমাকে ঘটনা দিগন্ত বলে।

শোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ : কালো বিবরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধকে শোয়ার্জফিল্ড ব্যাসার্ধ বলে।

Made with Goodnotes

চন্দ্রশেখর সীমা : মৃত্যুপর্ব শুরুর মুহূর্তে যদি কোনো তারকার ভর $1{\cdot}4\ M_0$ এর বেশি থাকে, তবে কোনোভাবেই এটি শ্বেত বামন হতে পারবে না। এই $1{\cdot}4\ M_0$ ভরের সীমাকে চন্দ্রশেখর সীমা বলে।

রেডিও টেলিস্কোপ : রেডিও টেলিস্কোপ এক ধরনের দিক নির্দেশী (Directional) বেতার এ্যান্টেনা যা বেতার জ্যোতির্বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।

কোয়াসার : এটি আধা নাক্ষত্রিক (quasi-stellar) রেডিও উৎস। এদের গঠন নক্ষত্রের ন্যায় এবং এরা ক্ষমতাশীল বেতার তরঙ্গ নিঃসরণ করে।

গামা-রশ্মি : তেজস্ক্রিয় পদার্থ হতে নির্গত রশ্মির ওপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে কিছু রশ্মি বামে, কিছু রশ্মি ডানে বিক্ষিপ্ত হয়। কিছু রশ্মি বিক্ষিপ্ত না হয়ে সোজা চলে যায়। এ রশ্মিকে গামা-রশ্মি বলে। গামা-রশ্মি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ। এদের কোনো চার্জ নেই।

এক্স-রশ্মি : দৃশ্যমান আলোকের ন্যায় এক্স-রে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ। এরা অদৃশ্য রশ্মি। এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক কম।

কৃত্রিম উপগ্রহ : মানুষ সৃষ্ট উপগ্রহকে কৃত্রিম উপগ্রহ বলে।

স্বাভাবিক উপগ্রহ : যে সব উপগ্রহ প্রাকৃতিক কারণে সৃষ্ট তাদেরকে স্বাভাবিক উপগ্রহ বলে।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$v = Hd$, V = বেগ, H = হাবল ধ্রুবক, d = দূরত্ব ... ... (1)

$$\rho_C = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$m_2 - m_1 = 5\log\frac{d_2}{d_1}$, d_1, d_2 = দুটি তারার মধ্যবর্তী দূরত্ব; m_1, m_2 তারা দুটির ঔজ্জ্বল্য ... (3)

$L_s = 4\pi R^2 \times s$ ... ... (4)

$p^+ + e^- \rightarrow n + \gamma$ ... ... (5)

$R_s = \frac{2GM}{C^2}$, R_s = সংকট ব্যাসার্ধ, M = নক্ষত্রের ভর, M_0 = সূর্যের ভর ... ... (6)

$\frac{v}{c} = \frac{\Delta l}{l}$, Δl = বিচ্যুতি, l = আদি বর্ণালি রেখার দৈর্ঘ্য, c = আলোর বেগ, v = তারার বেগ ... (7)

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$T = 2\pi(R+h)\sqrt{\frac{R+h}{GM}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। রুবেল হাইড্রোজেন বর্ণালি পর্যবেক্ষণ করে দেখতে পেল কোনো একটি তারার হাইড্রোজেন বর্ণালি রেখা $486{\cdot}1 \times 10^{-9}$ মি. থেকে $485{\cdot}7 \times 10^{-9}$ মি. এ বিচ্যুত হয়েছে।

(ক) তারাটি দর্শকের দিকে এগোচ্ছে নাকি দূরে সরে যাচ্ছে?

(খ) কত বেগে এগুচ্ছে ?

(ক) এখানে তরঙ্গদৈর্ঘ্য কমে যাচ্ছে। অর্থাৎ, তা বর্ণালির নীল অঞ্চলের দিকে সরে যাচ্ছে। এ থেকে বোঝা যায় তারাটি দর্শকের দিকে এগোচ্ছে।

(খ) ডপলারের সমীকরণ থেকে আমরা জানি,

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{486{\cdot}1 \times 10^{-9} - 485{\cdot}7 \times 10^{-9}}{486{\cdot}1 \times 10^{-9}}$$

$$\therefore \quad v = \frac{0{\cdot}4 \times 10^{-9}}{486{\cdot}1 \times 10^{-9}} \times 3 \times 10^8 \text{ মি./সে.}$$

$$= 246{\cdot}9 \times 10^3 \text{ মি./সে.}$$

$$= 246{\cdot}9 \text{ কি.মি./সে. বেগে}$$

Made with Goodnotes

২। হাবলের সূত্র থেকে আমরা জানি গ্যালাক্সিসমূহ পরস্পর হতে দূরে সরে যাচ্ছে, এই সরে যাবার দ্রুতি এদের মধ্যকার দূরত্বের সমানুপাতিক। এক্ষেত্রে সমানুপাতিক ধ্রুবক হাবল ধ্রুবকের সমান। এই তথ্যের আলোকে একজন জ্যোতির্বিজ্ঞানী গবেষণা করছিলেন।

(ক) হাবল ধ্রুবকের মান $H = 2{\cdot}3 \times 10^{-18}\ s^{-1}$ এবং কোয়াসারের দূরে সরে যাবার দ্রুতি $2{\cdot}8 \times 10^{8}\ ms^{-1}$ হলে কোয়াসারটির আনুমানিক দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) জ্যোতির্বিজ্ঞানীর নির্ণয়কৃত মহাজগতের বয়স কত হতে পারে এবং তা কতটুকু নিখুঁত হবে? গাণিতিকভাবে তোমার ধারণা ব্যক্ত কর।

(ক) আমরা জানি, $v = Hr$

$$\therefore\ r = \frac{v}{H} = \frac{2{\cdot}8 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{2{\cdot}3 \times 10^{-18}\ s^{-1}}$$

$$= 1{\cdot}217 \times 10^{26}\ m$$

এখানে,
উদ্দীপক মতে, $v = 2{\cdot}8 \times 10^{8}\ ms^{-1}$
হাবল ধ্রুবক, $H = 2{\cdot}3 \times 10^{-18}\ s^{-1}$
দূরত্ব, $r = ?$

(খ) হাবলের সূত্র ব্যবহার করে মহাজগতের বয়স নির্ধারণ করতে হলে সর্বাধিক দূরে অবস্থিত জ্যোতিষ্কের সরে যাওয়ার দূরত্ব নির্ণয় করতে হবে।

উদ্দীপকের হিসাব মতে, সর্বোচ্চ দ্রুতি, $v_{max} = 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$

$\therefore$ পৃথিবী হতে সর্বাধিক দূরে অবস্থিত জ্যোতিষ্কের দূরত্ব,

$$r_{max} = \frac{v_{max}}{H} = \frac{3 \times 10^{8}}{2{\cdot}3 \times 10^{-18}} = 1{\cdot}3043 \times 10^{26}\ m$$

$\therefore$ উদ্দীপকে উল্লিখিত নির্ণয়কৃত মহাবিশ্বের বয়স, $t = \frac{r_{max}}{v}$

$$\frac{r_{max}}{\text{শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি } (v_{max})} = \frac{1{\cdot}3043 \times 10^{26}}{3 \times 10^{8}} = 4{\cdot}3478 \times 10^{17}\ sec$$

$$\simeq 14 \times 10^{9}\ years$$

নির্ণয়কৃত এই বয়স নিখুঁত হবে না। কারণ এক্ষেত্রে হাবল গোলকের অভ্যন্তরে অবস্থিত জ্যোতিষ্কসমূহ বিবেচনা করা হয়েছে। এর বাইরে অবস্থিত জ্যোতিষ্কসমূহ বিবেচনা করা হয়নি। তাছাড়া এখনও পর্যন্ত জানা যায়নি এই মহাবিশ্ব সসীম না অসীম। মহাবিশ্ব অসীম হলে নির্ণীত বয়স কোনোক্রমেই সঠিক নয়।

৩। ক্যামব্রিজ বিশ্ববিদ্যালয়ের জ্যোতির্পদার্থবিদ্যার প্রফেসর ডগলাস জেমস্ দুজন ছাত্র নিয়ে মহাবিশ্বের ভবিষ্যতের ওপর গবেষণা করছিলেন। একজন ছাত্রের অভিমত হলো মহাবিশ্ব ক্রমশ প্রসারিত হচ্ছে। এক সময় এই প্রসারণ থেমে যাবে এবং সংকোচন শুরু হবে। অন্য ছাত্রের অভিমত মহাবিশ্বের প্রসারণ অনন্তকাল ধরে চলবে। প্রথম ছাত্র গবেষণা করে জানতে পেরেছিল কোনো একটি কৃষ্ণ গহ্বরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ 5·9 km। কৃষ্ণ গহ্বরের ভরও পরিমাপ করতে ছাত্রটি সক্ষম হয়েছিল।

(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত কৃষ্ণ গহ্বরের ভর কত ছিল?

(খ) উদ্দীপকে মহাবিশ্বের পরিণতি সম্পর্কে যেকোনো ছাত্রের সমর্থনে পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে তোমার যুক্তি দেখাও।

(ক) আমরা জানি, মহাকর্ষ ধ্রুবক, $G = 6{\cdot}673 \times 10^{-11}\ Nm^2\ kg^{-2}$
আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$
ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ, $R_s = 5{\cdot}9\ km = 5{\cdot}9 \times 10^{3}\ m$
কৃষ্ণ গহ্বরের ভর, $M = ?$

আমরা জানি, $R_s = \frac{2GM}{c^2}$

$$\therefore\ M = \frac{R_s c^2}{2G} = \frac{5{\cdot}9 \times 10^{3} \times (3 \times 10^{8})^2}{2 \times 6{\cdot}673 \times 10^{-11}} = 3{\cdot}98 \times 10^{30}\ kg$$

(খ) প্রথম ছাত্রের অভিমত হলো মহাবিশ্বের প্রসারণ একদিন থেমে যাবে এবং সংকোচন শুরু হবে। এই মন্তব্যের সপক্ষে পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে সজ্ঞাত যুক্তি নিম্নে দেওয়া হলো।

মহাসংকোচন তত্ত্ব মতে, মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব তার সম্প্রসারণকে বন্ধ করার জন্য যথেষ্ট। তাই মহাবিশ্বের সম্প্রসারণ কমতে কমতে এক সময় তার সম্প্রসারণ বন্ধ হয়ে যাবে এবং তা সংকুচিত হতে শুরু করবে। এক পর্যায়ে গোটা মহাবিশ্ব এক মাত্রাহীন সিঙ্গুলারিটিতে সমাপ্তি (collapse) ঘটবে। আরেকটি তত্ত্বের ধারণা অনুযায়ী মহাবিশ্বের সংকোচনের পর পুনরায় মহাবিস্ফোরণ ঘটবে। তারপর আবার মহাসংকোচন ঘটবে। অর্থাৎ এই চক্রের পুনরাবৃত্তি ঘটবে। এই তত্ত্ব বিগ বাউন্স তত্ত্ব নামে পরিচিত।

Made with Goodnotes

৪। আমাদের মিল্কিওয়ে গ্যালাক্সি থেকে অন্য একটি গ্যালাক্সি (X) 1000 kms^{-1} বেগে দূরে সরে যাচ্ছে। X-গ্যালাক্সিতে একটি 5 M_0 ভরের কৃষ্ণ বিবর আছে।

[হাবল ধ্রুবক, $H = 2{\cdot}3 \times 10^{-18}\ s^{-1}$, 1 সৌর ভর, $M_0 = 1{\cdot}99 \times 10^{30}$ kg, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$; 1 আলোক বর্ষ = $9{\cdot}46 \times 10^{12}$ km]

(ক) X গ্যালাক্সি আমাদের থেকে কত দূরে অবস্থিত ? আলোক বর্ষের মাধ্যমে নির্ণয় কর।

(খ) কোনো আলোক রশ্মি ওই কৃষ্ণবিবরের 12 km দূর দিয়ে চলে যেতে পারবে কি না যাচাই কর।

[সকল বোর্ড ২০১৮]

(ক) হাবল-এর সূত্রানুসারে, আমরা জানি,

$v = Hd$

বা, $d = \frac{v}{H}$

$\therefore\ d = \frac{1 \times 10^6\ ms^{-1}}{2{\cdot}3 \times 10^{-18}\ s^{-1}} = 4{\cdot}348 \times 10^{23}$ m

$= \frac{4{\cdot}348 \times 10^{23}}{9{\cdot}46 \times 10^{15}} = 4{\cdot}596 \times 10^7$ আলোক বর্ষ

এখানে,

$v = 1000\ kms^{-1} = 1 \times 10^6\ ms^{-1}$

$H = 2{\cdot}3 \times 10^{-18}\ s^{-1}$

1 আলোকবর্ষ $= 9{\cdot}46 \times 10^{12}$ km

$= 9{\cdot}46 \times 10^{15}$ m

দূরত্ব, $d = ?$

$\therefore$ X গ্যালাক্সি $4{\cdot}596 \times 10^7$ আলোক বর্ষ দূরে রয়েছে।

(খ) জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের মতে কৃষ্ণবিববের ব্যাসার্ধ, যা ঘটনা দিগন্ত নামে পরিচিত, এর ভেতর দিয়ে আলো অতিক্রম করতে পারে না। ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ,

আমরা জানি,

$R_s = \frac{2GM}{c^2}$

$\therefore\ R_s = \frac{2 \times 6{\cdot}67 \times 10^{-11} \times 5 \times 1{\cdot}99 \times 10^{30}}{(3 \times 10^8)^2}$

$= 14{\cdot}75 \times 10^3$ m $= 14{\cdot}75$ km

এখানে,

কৃষ্ণ বিবরের ভর,

$M = 5M_0 = 5 \times 1{\cdot}99 \times 10^{30}$ kg

$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

$G = 6{\cdot}67 \times 10^{-11}\ Nm^2kg^{-2}$

কোনো আলোক রশ্মি এই ঘটনা দিগন্ত অর্থাৎ 14·75 km এর চেয়ে কম দূরত্বের ভেতর দিয়ে অতিক্রম করতে পারবে না। সুতরাং কৃষ্ণবিববের 12 km দূর দিয়ে আলোক রশ্মি অতিক্রম করতে পারবে না।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। মহাবিস্ফোরণের মাধ্যমে মহাবিশ্ব সৃষ্টির উৎপত্তিকে বিগ ব্যাং বলে।

২। পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় মহাবিশ্ব সৃষ্টির বিভিন্ন তত্ত্ব এবং মহাকাশের নক্ষত্র, গ্রহ-উপগ্রহ, গ্রহাণুপুঞ্জ এ সব জ্যোতিষ্কপুঞ্জ সম্পর্কে আলোচনা করা হয় তাকে জ্যোতির্বিজ্ঞান বলে।

৩। আলো 1 বছরে শূন্য মাধ্যমে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে এক আলোক বর্ষ বলে।

৪। যে বস্তুটি এবং এর আশেপাশের যে অঞ্চল থেকে কোনো তথ্য পাওয়া সম্ভব নয়, সেখান থেকে আলো বা কোনো বস্তু বেরিয়ে আসতে পারেনা ওই অঞ্চলকে কৃষ্ণ বিবর বলে।

৫। মহাকাশের বস্তু দ্বারা নিঃসৃত তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ তাড়িতচৌম্বক বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সকল পাল্লা জুড়ে থাকে। এই বিকিরণের প্রধান অংশ বায়ুমণ্ডল দ্বারা শোষিত বা প্রতিফলিত হয়। ফলে পৃথিবী শুধু দৃশ্যমান বিকিরণ ও রেডিও তরঙ্গের সামান্য পরিমাণ গ্রহণ করে। বাকিটা মহাশূন্য গ্লোব নামে পরিচিত যা দৃশ্যমান নয়।

৬। আমাদের পৃথিবী, অন্যান্য গ্রহ, উপগ্রহ, সূর্য, অন্যান্য নক্ষত্র এবং গ্যালাক্সি নিয়ে যে জগৎ গঠিত হয় তাকে মহাবিশ্ব বলে।

৭। গামারশ্মি এক ধরনের তাড়িতচুম্বকীয় তরঙ্গ। 1972 সালে উপগ্রহে স্থাপিত যন্ত্রে সর্বপ্রথম গামা বিকিরণ ধরা পড়ে।

৮। r দূরত্বে অবস্থিত কোনো মহাজাগতিক বস্তুর দূরে সরে যাবার বেগ v হলে গাণিতিকভাবে হাবলের সূত্র হলো $v = Hr$, H = হাবল ধ্রুবক, এর মান $H = 72\ kms^{-1}/MPc$ বা $2{\cdot}3 \times 10^{-18}\ s^{-1}$।

৯। বিগ-ব্যাং বা মহাবিস্ফোরণ 15 বিলিয়ন বছর আগে সংঘটিত হয়েছিল।

১০। শ্বেত বামন নক্ষত্রের জন্য ভরের সীমা সৌর ভরের 1·4 গুণ কম। শ্বেত বামন নক্ষত্র এক সময় কালো বামন নক্ষত্রে পরিণত হয়।

১১। ভারতের বিজ্ঞানী সুব্রামানিয়াম চন্দ্রশেখর মরণোত্তর নোবেল পুরস্কার পেয়েছিলেন।

১২। মহাকাশে এক ধরনের মহাশূন্যতা, তবে সম্পূর্ণ শূন্য নয়; সেখানে ছড়িয়ে আছে গ্যাস ও ধুলোর সুবিশাল মেঘের পর মেঘ। এই বিশাল মেঘ পিণ্ডকে বলা হয় নীহারিকা বা নেবুলা।

Made with Goodnotes

১৩। বিজ্ঞানী হাবল সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন "মহাবিশ্ব সম্প্রসারণশীল"; হাবল টেলিস্কোপ হলো বিশ্বের সবচেয়ে আধুনিক টেলিস্কোপ। ইহা প্রতিফলন টেলিস্কোপ নয়।
১৪। গামারশ্মি ধাতব স্তরের মধ্যে প্রবেশ করলে ইলেকট্রন ও পজিট্রন তৈরি হয়।
১৫। বেলা 5 হলো উপগ্রহ। মহাবিশ্বে যা কিছু দেখা যায় তা পরমাণু দিয়ে গঠিত।
১৬। বেতার দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মতো। মহাকাশ গবেষণায় এক্স-রে টেলিস্কোপ ব্যবহার করা হয়।
১৭। পালসার হলো ঘূর্ণায়মান নিউট্রন নক্ষত্র। মহাবিশ্বের বয়স প্রায় 15 বিলিয়ন বছর বা 15×10^9 বছর।
১৮। মহাবিশ্বের অন্তিম পরিণতি বিষয়ে তত্ত্বগুলো হলো মহা সংকোচন, বিকিরণ, মহাহিমায়ন।
১৯। সূর্য একটি 2য় জেনারেশন নক্ষত্র, আলোক বর্ষের একক বছর। সাধারণ নক্ষত্রের জ্বালানি হলো হিলিয়াম।
২০। কৃষ্ণ বিবর সৃষ্টির কারণ মহাকর্ষ বল। কৃষ্ণ বিবরের সীমাকে বলে ঘটনা দিগন্ত। সোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ হলো কৃষ্ণ গহ্বরের কেন্দ্র হতে ঘটনা দিগন্ত পর্যন্ত দূরত্ব।
২১। কোয়াসার থেকে বেতার তরঙ্গ নির্গত হয়। বুধ গ্রহের কেন্দ্রে রয়েছে লোহা ও নিকেল।
২২। মহাকাশে তারকার বিস্ফোরণকে সুপারনোভা বলে।
২৩। আকাশগঙ্গা সর্পিলাকার গ্যালাক্সি। হাবল বিধি অনুসারে ছায়াপথগুলোর অপসারণ বেগ দূরত্বের সমানুপাতিক হয়।
২৪। সূর্য রক্তিম দৈত্য হলে নিকটস্থ গ্রহসমূহকে গ্রাস করবে।
২৫। তারকার জন্ম হয় গ্যাস ও মেঘপুঞ্জ জমাট বাঁধার ফলে। সূর্য এখন থেকে 500 কোটি বছর পরে দানব নক্ষত্রে পরিণত হবে।
২৬। সূর্যের মধ্যে ফিউশন বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন থেকে হিলিয়াম তৈরি হচ্ছে এবং বিপুল পরিমাণে তাপ শক্তি নির্গত হচ্ছে।
২৭। যে সকল তারকার মৃত্যুপূর্ব ভর সূর্যের ভর অপেক্ষা 1·4 গুণ কম সেগুলোকে শ্বেত বামন হবে এবং যাদের ভর 1·4 M_0 এবং 3 M_0 এর মধ্যে সেগুলোকে নিউট্রন তারকা হবে এবং যে সকল তারকার মৃত্যুপূর্ব ভর 3 M_0 এর চেয়ে বেশি সেগুলো হবে ব্ল্যাক হোল।
২৮। মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব সংকট ঘনত্বের বেশি হলে মহাসংকোচন শুরু হবে।
২৯। মেসনের স্পিন 0, বেরিয়নের স্পিন শূন্য নয়, সকল কোয়ার্কই ফার্মিয়ন যাদের স্পিন $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$ .....।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। নিউট্রন তারকা সংকুচিত হয়ে পরিণত হয়— [য. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৬; Medical Admission Test, 2017-18; MBSTU Admission Test, 2015-16]
ক সুপারনোভা
খ কৃষ্ণবস্তু
গ পালসার
ঘ ব্ল্যাক হোল

২। রেডিও টেলিস্কোপ কোন প্রকৃতির ? [সকল বোর্ড ২০১৮]
ক শোষক
খ প্রতিফলক
গ বিচ্ছুরক
ঘ প্রতিসারক

৩। যে সকল কণা তড়িচ্চুম্বকীয় মিথস্ক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে সেগুলো হলো— [ব. বো. ২০১৬]
ক গ্রাভিটন
খ লেপটন
গ ফোটন
ঘ হ্যাড্রন

৪। নক্ষত্রের জন্ম হয়—
(i) মহাকর্ষ বলের প্রভাবে ধূলিমেঘের সংকোচনের ফলে
(ii) তাপ নিউক্লীয় ফিউশন বিক্রিয়ার ফলে
(iii) বিপুল পরিমাণ শক্তি নির্গমনের ফলে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

৫। মৌলিক কণিকা কয় ধরনের ?
ক তিন ধরনের
খ দুই ধরনের
গ চার ধরনের
ঘ পাঁচ ধরনের

৬। লেপটন কণার স্পিন— [সি. বো. ২০১৭; Admission Test : JUST 2017–18; JUSTU-C 2017-18; MBSTU 2015-16]
ক 1
খ $\frac{3}{2}$
গ $\frac{1}{2}$
ঘ 0

Made with Goodnotes