ইউনিট ১

স্থির তড়িৎ

ভূমিকা

তড়িৎ ছাড়া বর্তমান সভ্যতা সম্পূর্ণ অচল। আমাদের দৈনন্দিন জীবনে শিল্প কারখানা, যানবাহন, রেডিও, টেলিভিশন ইত্যাদিতে এর বহুল ব্যবহার রয়েছে। সুতরাং স্বাভাবিকভাবেই তড়িৎ কি, এর উৎপত্তি, প্রকারভেদ, বিভিন্ন ধর্ম ও গুণাবলী ইত্যাদি সম্বন্ধে জ্ঞান লাভ করা প্রয়োজন। এ ইউনিটে এ সমস্ত বিষয়ের সংজ্ঞা, বর্ণনা এবং ব্যাখ্যা দেওয়া হয়েছে।

পাঠ ১ স্থির তড়িৎ, চার্জের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি

উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- স্থির তড়িৎ কাকে বলে বলতে পারবেন;
- স্থির তড়িতের উৎপত্তির পটভূমি বর্ণনা করতে পারবেন;
- স্থির তড়িৎ এবং চল তড়িৎ এর পার্থক্য বলতে পারবেন;
- চার্জের অস্তিত্বের প্রমাণ দিতে পারবেন;
- চার্জের প্রকৃতি অনুসারে চার্জ কত প্রকার বলতে পারবেন এবং বৈশিষ্ট্যসমূহ বর্ণনা করতে পারবেন;
- চার্জের নিত্যতাসূত্র কাকে বলে বলতে পারবেন;
- চার্জ প্রবাহে বিভিন্ন মাধ্যমের ভূমিকা সম্বন্ধে বলতে পারবেন, বিভিন্ন মাধ্যমের সংজ্ঞা ও পার্থক্য বলতে পারবেন;
- চার্জের অস্তিত্ব, প্রকৃতি এবং পরিমাণ নির্ণয়ের পরীক্ষা বর্ণনা করতে পারবেন।

১.১.১ ঃ স্থির তড়িৎ

স্থির তড়িৎ কি এবং কাকে বলে জানার আগে তড়িৎ কি তা জানা প্রয়োজন। খ্রিস্টের জন্মের ৬০০ বছর আগে থেকেই গ্রীকদের জানা ছিল যে, অ্যাম্বারকে (Amber) রেশমী কাপড় দিয়ে ঘষলে অ্যাম্বার ছোট ছোট বস্তুকণা (যেমন, কাঠের গুঁড়া)কে আকর্ষণ করার গুণ অর্জন করে। একই ভাবে চিরুনী দিয়ে শুষ্ক চুল আঁচড়িয়ে ছোট ছোট কাগজের টুকরার কাছে নিলে টুকরাগুলো আকৃষ্ট হয়। এ গুণ শুধু অ্যাম্বার বা চিরুনীতে উৎপন্ন হয় তা নয়, অনেক বস্তুতেই হয়। ঘষার ফলে অ্যাম্বার বা চিরুনীতে এক ধরনের অদৃশ্য শক্তির সঞ্চার হয়। এ অদৃশ্য শক্তিকেই তড়িৎ বলে। গ্রীক ভাষায় অ্যাম্বারকে ইলেকট্রন (Electron) বলে। এই ইলেকট্রন থেকে ইলেকট্রিসিটি (Electricity) শব্দের উৎপত্তি হয়েছে।

১.১.২ ঃ তড়িৎ-এর প্রকারভেদ

তড়িৎ দুই প্রকার। যথা ঃ (১) স্থির তড়িৎ এবং (২) চল তড়িৎ। তড়িৎ যখন কোন বস্তুতে আবদ্ধ থাকে এবং প্রবাহিত হয় না তখন একে স্থির তড়িৎ বলে। তড়িৎ যখন কোন বস্তুর মধ্য দিয়ে চলাচল করে বা প্রবাহিত হয় তখন একে চল তড়িৎ বলে। চল তড়িৎ সম্পর্কে আমরা পরের ইউনিটে আলোচনা করবো।

১.১.৩ ঃ চার্জ বা আধান

অ্যাম্বারকে রেশমী কাপড় দিয়ে ঘর্ষণ করলে এতে চার্জ বা আধান উৎপন্ন হয়। ঘর্ষণের ফলে কোন বস্তুতে যার উপস্থিতিতে বস্তু দ্বারা ছোট ছোট হালকা বস্তু বা কণা আকর্ষিত হওয়ার শক্তির সঞ্চার হয় তাকে চার্জ বা আধান বলে। চার্জের প্রবাহের ফলে বিদ্যুৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়।

১.১.৪ ঃ চার্জের উপস্থিতির আদি প্রমাণ এবং প্রকারভেদ

খুবই হালকা শোলা বা পাটকাঠি দিয়ে গোলাকার দুটি ক্ষুদ্র বল তৈরি করা হল। বল দুটিকে সূক্ষ্ম নাইলন সূতা দ্বারা আলাদা ভাবে ঝুলিয়ে দেয়া হল। এবার একটি কাঁচ দন্ডকে রেশমী কাপড় দিয়ে ঘষে বল দুটিকে একে একে স্পর্শ করা হয়। এরপর পুনরায় কাঁচ দন্ডটিকে বল দু'টির নিকটে আনলে দেখা যাবে যে বলদু'টি দন্ড দ্বারা বিকর্ষিত হয়েছে; অর্থাৎ দূরে সরে গেছে। আবার বলদু'টিও পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে। এ পরীক্ষা ব্যাখ্যা করার জন্য এবার একটি প্লাস্টিক দন্ডকে পশমী কাপড় দ্বারা ঘষে, বলদু'টিকে স্পর্শ করলে একই ঘটনা পরিলক্ষিত হবে। কিন্তু যদি একটি বল তড়িতাহিত কাঁচ দণ্ড দ্বারা স্পর্শ করা হয় এবং অপর বলটি তড়িতাহিত প্লাস্টিক দন্ড দ্বারা স্পর্শ করা হয় তাহলে এদেরকে কাছাকাছি আনলে দেখা যাবে বলদু'টি পরস্পরকে আকর্ষণ করছে। উপরে বর্ণিত পরীক্ষা দু'টি থেকে আমরা বুঝতে পারি যে, দু'ধরনের তড়িৎ আধান রয়েছে। প্লাস্টিক দন্ডকে পশমী কাপড় দিয়ে ঘর্ষণের ফলে দন্ডটি এক ধরনের আধানের অধিকারী হয় যাকে আমরা বলি ঋণাত্মক আধান (negative charge) এবং রেশমী কাপড় দিয়ে গ্লাস দন্ডকে ঘষার ফলে দন্ডটি অন্য এক ধরনের আধানের অধিকারী

হয়, যাকে বলা হয় ধনাত্মক আধান (Positive charge)। সুতরাং উপরের পরীক্ষা থেকে বুঝা যায় যে, চার্জ দু'প্রকারের, যথা– ঋণাত্মক চার্জ ও ধনাত্মক চার্জ।

১.১.৫ ঃ চার্জের আকর্ষণ ও বিকর্ষণ সূত্র

অনুচ্ছেদ ১.১.৪ থেকে আমরা জেনেছি যে, চার্জ দু'রকম। এদের মধ্যে কখনও আকর্ষণ, কখনও বিকর্ষণ পরিলক্ষিত হয়। ১৭৩৩ খ্রিস্টাব্দে ফরাসী বিজ্ঞানী ডুফে (Dufay) চার্জের দু'টি সূত্র আবিষ্কার করেন। যথা– (১) আকর্ষণ সূত্র ও (২) বিকর্ষণ সূত্র।

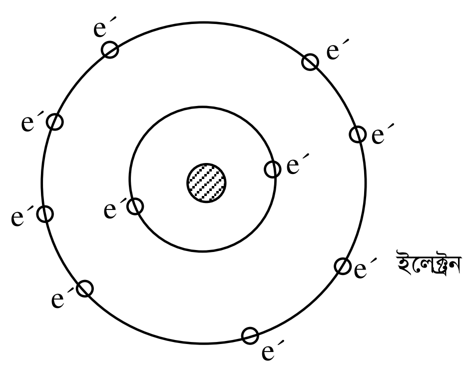
(১) আকর্ষণ সূত্র ঃ ভিন্ন বা বিপরীত ধর্মী চার্জ পরস্পরকে আকর্ষণ করে। যেমন– ধনাত্মক চার্জ ও ঋণাত্মক চার্জ পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

(২) বিকর্ষণ সূত্র ঃ সমধর্মী বা একই রকমের চার্জ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। যেমন– একটি ধনাত্মক চার্জ অপর একটি ধনাত্মক চার্জকে অথবা একটি ঋণাত্মক চার্জ অপর একটি ঋণাত্মক চার্জকে বিকর্ষণ করে।

১.১.৬ ঃ তড়িৎ সম্বন্ধীয় আধুনিক মতবাদ

তড়িৎ সংক্রান্ত বিভিন্ন ঘটনা ব্যাখ্যা করার জন্য বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন মতবাদ উপস্থাপন করা হয়েছে। কিন্তু ইলেকট্রন মতবাদ ব্যতীত আর কোনটিই যুক্তিসঙ্গত সর্বজন স্বীকৃত মতবাদ হিসেবে স্বীকৃতি লাভ করেনি। তড়িৎ এর আধুনিক মতবাদ হলো ইলেকট্রন তত্ত্ব। এ মতবাদ আজ সর্বজন স্বীকৃত।

ইলেকট্রন মতবাদ অনুসারে সকল পদার্থই অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা তৈরি। এদেরকে পরমাণু বলে। সব বস্তুরই পরমাণুর মধ্যে তড়িৎ প্রকৃতি অন্তর্নিহিত রয়েছে। পরমাণুতে একটি ক্ষুদ্র অথচ তুলনামূলকভাবে ভারী কেন্দ্র (nucleus) রয়েছে। যার মধ্যে রয়েছে প্রোটন ও নিউট্রন নামক দুই ধরনের কণা। প্রোটন ধনাত্মক চার্জযুক্ত কিন্তু নিউট্রন চার্জবিহীন বা চার্জ নিরপেক্ষ (neutral)। কেন্দ্রকে বেষ্টন করে বিভিন্ন কক্ষে ছড়িয়ে আছে ইলেকট্রন (চিত্র-১১.১)।



চিত্র-১.১

ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন কক্ষপথে নিউক্লিয়াসের চারিদিকে ঘূর্ণায়মান অবস্থায় থাকে। ইলেকট্রনের রয়েছে ঋণাত্মক চার্জ। একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটনের চার্জ সমান। একটি ইলেকট্রন বা প্রোটনের চার্জই ন্যূনতম চার্জ এবং এর মান $\pm 1.60\times10^{-19}$ কুলম্ব।

একটি প্রোটনের ভর হলো 1.67×10^{-27} কিলোগ্রাম এবং ইলেকট্রনের ভর 9.11×10^{-31} কিলোগ্রাম। স্বাভাবিক অবস্থায় একটি পরমাণুতে সমান সংখ্যক ইলেকট্রন ও প্রোটন থাকে। যেহেতু এদের পরস্পরের চার্জ সমান এবং বিপরীতধর্মী সুতরাং পরমাণু তড়িৎ নিরপেক্ষ। সমস্ত ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের সাথে তড়িৎ বল দ্বারা আকৃষ্ট থাকে। পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বা ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াস থেকে দূরবর্তী হওয়ায় এদের উপরে নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল খুবই কম, ফলে এরা নিউক্লিয়াসের সঙ্গে হাল্কাভাবে আবদ্ধ থাকে। ঘর্ষণ, তাপ প্রয়োগ, তড়িৎ আকর্ষণ ইত্যাদি দ্বারা এদেরকে সহজেই মুক্ত করা যায়। এ ইলেকট্রনগুলোকে মুক্ত ইলেকট্রন বলে। কোন তড়িৎ নিরপেক্ষ পরমাণু হতে ইলেকট্রন নির্গত হলে পরমাণুটি ধনাত্মক চার্জযুক্ত হয়। আবার পরমাণুতে ইলেকট্রন যুক্ত হলে এটি ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়।

এ মতবাদ দ্বারা আমরা ঘর্ষণের দ্বারা উৎপন্ন ঋণাত্মক এবং ধনাত্মক চার্জের নিম্নরূপ ব্যাখ্যা দিতে পারি।

সাধারণ অবস্থায় কাঁচদন্ডের পরমাণুসমূহে প্রোটন ও ইলেকট্রনের সংখ্যা সমান থাকায় তা বিদ্যুৎ নিরপেক্ষ থাকে। কাঁচ দন্ডকে রেশমের কাপড় দিয়ে ঘর্ষণের ফলে দণ্ডের পরমাণু সমূহ থেকে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয়ে রেশমের কাপড়ের সাথে যুক্ত হয়। রেশমের কাপড়ে ইলেকট্রন যুক্ত হওয়ায় এটা ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়। অন্যদিকে কাঁচ দণ্ডে ইলেকট্রন কমে যাওয়ায় এতে ইলেকট্রনের সংখ্যার চেয়ে প্রোটনের সংখ্যা বেশি। ফলে এটা ধনাত্মক চার্জযুক্ত হয়। অনুরূপভাবে প্লাষ্টিক দন্ডকে পশম দ্বারা ঘর্ষণ করলে পশম থেকে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয়ে প্লাষ্টিক দন্ডে যাওয়ায় প্লাস্টিক দন্ডটি ঋণাত্মক চার্জযুক্ত এবং পশম ধনাত্মক চার্জযুক্ত হয়।

১.১.৭ ঃ চার্জের নিত্যতা সূত্র

১.১.৪ অনুচ্ছেদে বর্ণিত উদাহরণগুলোতে আমরা দেখেছি যে, প্রত্যেক ক্ষেত্রেই ইলেকট্রনের স্থানান্তর ঘটছে। ঘর্ষণ শুধুমাত্র এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে ইলেকট্রনের স্থানান্তর ঘটায়, কিন্তু উভয় বস্তুর মোট ইলেকট্রন ও প্রোটন সংখ্যার যোগফল একই থাকে। কোন ইলেকট্রন বা প্রোটন সৃষ্টি বা ধ্বংস হয় না। যেমন– কাঁচ দন্ডকে রেশম কাপড় দ্বারা ঘর্ষণ করলে দন্ড থেকে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন রেশম কাপড়ে চলে যায়। ফলে কাঁচ দন্ডে প্রোটনের সংখ্যা ইলেকট্রনের সংখ্যা অপেক্ষা বেশি। এ কারণে কাচ দন্ড ধনাত্মক চার্জযুক্ত ও রেশমের কাপড় সম পরিমাণে ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়। কিন্তু উভয় বস্তু মিলিয়ে মোট প্রোটন ও ইলেকট্রনের সংখ্যা একই থাকে। ঘর্ষণের ফলে নতুন কোন চার্জ উৎপন্ন হয় না কেবল এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে চার্জের স্থানান্তর ঘটে। অর্থাৎ যে কোন অন্তরিত প্রক্রিয়ায় নীট চার্জ ধ্রুব থাকবে। একেই চার্জের নিত্যতা সূত্র বলা হয়।

১.১৮ ঃ মাধ্যম

বস্তুর মধ্যে চার্জ শুধুমাত্র থাকেই না, এগুলো বস্তুর মধ্যদিয়ে প্রবাহিত হতে পারে। ঘর্ষণের ফলে সৃষ্ট চার্জ সৃষ্টির ক্ষেত্রে দুফে (Dufay) লক্ষ করেন যে, কতকগুলো পদার্থে চার্জ সৃষ্টি করা সহজ যেমনঃ কাঁচ, প্লাস্টিক ইত্যাদি। আবার কতগুলো পদার্থে ঘর্ষণ দ্বারা চার্জ উৎপন্ন করা যায় না। যেমনঃ ধাতু, সংকর ধাতু।

যে সমস্ত পদার্থের মধ্যদিয়ে চার্জ প্রবাহিত হয় বা হতে চায় বা হয় না, তাদেরকে তড়িৎ মাধ্যম (medium) বলে। চার্জ প্রবাহের ভিন্নতা অনুসারে, মাধ্যমকে তিন শ্রেণীতে বিভক্ত করা হয়। যথা– (১) সুপরিবাহী বা পরিবাহী (২) কুপরিবাহী এবং (৩) অপরিবাহী বা অন্তরক।

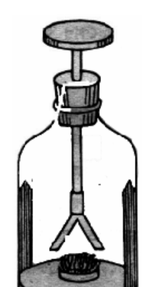
১। পরিবাহী ঃ যে সকল পদার্থের মধ্যদিয়ে সহজে চার্জ প্রবাহিত হতে পারে সেগুলোকে বলা হয় পরিবাহী। যেমনঃ ধাতব পদার্থ, মাটি, মানব দেহ, এসিড, অম্ল, ক্ষার ইত্যাদি।

২। কুপরিবাহী ঃ যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে চার্জ সহজে চলাচল করতে পারে না বা আংশিকভাবে চলাচল করে তাদেরকে বলে কুপরিবাহী। যেমনঃ পানি, পাথর, তুলা, কেরোসিন ইত্যাদি।

৩। অন্তরক ঃ যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে চার্জ বা তড়িৎ চলাচল করে না তাদেরকে বলা হয় অন্তরক বা অপরিবাহী। যেমনঃ কাঁচ, রাবার, রেশম, প্লাস্টিক, শুকনা কাঠ ইত্যাদি।

১.১.৯ ঃ তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র

কোন বস্তুতে চার্জের উপস্থিতি বা অস্তিত্ব আছে কিনা, থাকলে চার্জের প্রকৃতি এবং পরিমাণ জানার জন্য, পদার্থের তড়িৎ পরিবাহিতা তুলনা করার জন্য এক ধরনের যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। এ যন্ত্রকে তড়িৎ বীক্ষণ যন্ত্র বলা হয়। শোলাবল এবং স্বর্ণপাত এ দু'ধরনের তড়িৎ বীক্ষণ যন্ত্র রয়েছে। তবে স্বর্ণপাত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে অতি সূক্ষ্মভাবে চার্জের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি নির্ণয় করা যায় এবং এ যন্ত্র অনেক সুবেদী বলে আমরা এ যন্ত্রটির গঠন এবং কার্যপ্রণালী বর্ণনা করব।



গঠন ঃ চিত্র ১.২-এ একটি তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র দেখানো হয়েছে।

এ যন্ত্রে পিতলের তৈরি একটি ধাতব দন্ড আছে। এ দন্ডের নিম্নপ্রান্তে স্বর্ণের তৈরি দু'টি খুব পাতলা পাত লাগানো আছে। পাত দু'টি অন্য ধাতব পদার্থেরও হতে পারে। ধাতব দন্ডের উপর প্রান্তে একটি ধাতব নব বা চাকতি আছে। গ্লাস নির্মিত জানালা পাত দু'টিকে আবদ্ধ রাখে যাতে বাতাস বা ধুলাবালি পাতদুটির উপর কোন প্রভাব ফেলতে না পারে। একটি রাবার রিং দ্বারা দন্ডটিকে ধাতব খাঁচা থেকে আলাদা রাখা হয়। ফলে দন্ডের কোন চার্জ ধাতব খাঁচার মধ্যে আসতে বা বাইরে বের হতে পারে না। পাত্রের ভিতরে অনেক সময় জলীয় বাষ্প নিরোধক রাসায়নিক দ্রব্য রাখা হয়।

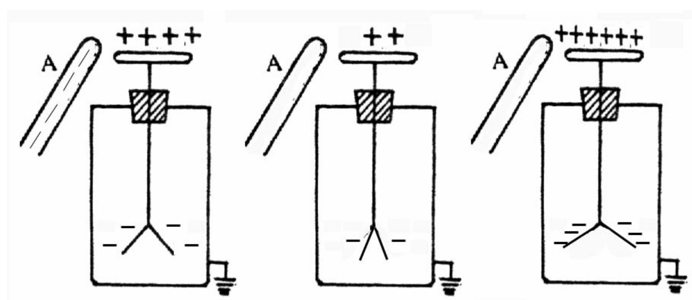
পূর্বে বলা হয়েছে যে, তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র চার্জের বা আধানের অস্তিত্ব, প্রকৃতি এবং পরিমাণ নির্ণয়ের জন্য ব্যবহার করা হয়, নিচে এ সম্বন্ধে বর্ণনা করা হলো।

(ক) চার্জ বা আধানের অস্তিত্ব নির্ণয়

একটি বস্তুতে চার্জ আছে কিনা নির্ণয়ের জন্য বস্তুটিকে একটি অন্তরিত হাতল দিয়ে ধরে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের ধাতব নব বা হাতলে স্পর্শ করলে বা কাছে ধরে রাখলে যদি দেখা যায় যে, স্বর্ণপাতদ্বয় দূরে সরে যাচ্ছে, তবে বুঝতে হবে যে পরীক্ষাধীন বস্তুটিতে চার্জ আছে বা বস্তুটি চার্জিত। স্বর্ণপাত দু'টি দূরে সরে যাওয়ার কারণ হলো পরীক্ষাধীন বস্তুটি ধাতব হাতলের সংস্পর্শে আসলে হাতলে সমধর্মী চার্জ স্থানান্তরিত হয়। এখন হাতল, দন্ড এবং স্বর্ণপাতের মধ্যে সংযোগ থাকায় চার্জ স্বর্ণপাতে স্থানান্তরিত হয়। উভয়পাতে একই ধরনের চার্জ স্থানান্তরিত হয় বলে এরা পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। এভাবে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে চার্জের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়।

(খ) চার্জের প্রকৃতি নির্ণয়

একটি ঋণাত্মক চার্জযুক্ত প্লাস্টিক দন্ডকে অন্তরক হাতল দ্বারা ধরে একটি তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের ধাতব নবের সাথে স্পর্শ করিয়ে যন্ত্রের স্বর্ণপাত দু'টিকে ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত করি। এবার পরীক্ষাধীন চার্জিত বস্তুটি একটি অন্তরিত হাতল দিয়ে ধরে ধাতব হাতলের কাছে ধরি। যদি সোনার পাতদুটির ফাঁক বৃদ্ধি পায় তবে পরীক্ষাধীন বস্তুটি ও তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র সমজাতীয় চার্জে চার্জিত অর্থাৎ বস্তুটি ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত। আবার যদি দেখা যায় যে, পাত দু'টির ফাঁক কমে গেছে তবে বুঝতে হবে বস্তুটি ধণাত্মক চার্জে চার্জিত চিত্র–১.৩ দ্রষ্টব্য।



(ক) (খ) (গ)

চিত্র–১.৩। (ক) তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রটি ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত দেখানো হয়েছে।
(খ) বস্তুটি ধনাত্মক চার্জে চার্জিত হলে পাতদ্বয় 'ক' অবস্থান থেকে কাছাকাছি সরে আসবে।
(গ) বস্তুটি ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত হলে পাতদ্বয় 'ক' অবস্থান থেকে দূরে সরে যাবে।

(গ) চার্জের পরিমাণ নির্ণয় ঃ

একটি অচার্জিত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র লই। পরীক্ষার্ধীন চার্জিত বস্তুটিকে একটি অন্তরিত হাতলের সাহায্যে ধরে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের ধাতব হাতলের নিকটে নিলে স্বর্ণপাতদ্বয়ের মধ্যের ফাঁক পরিবর্তন হবে। ফাঁক কম বা বেশি হওয়া নির্ভর করবে চার্জিত বস্তুর চার্জের পরিমাণের ওপর। যদি বস্তুতে চার্জের পরিমাণ Q হয় এবং বীক্ষণযন্ত্রের পাতদুটির ফাঁক θ পরিমাণ পরিবর্তিত হয়, তবে $Q \propto \theta$। সুতরাং পাতদ্বয়ের ফাঁকের পরিমাণ থেকে আধানের পরিমাণ সম্বন্ধে ধারণা করা যায়।

সারসংক্ষেপ
তড়িৎ এক প্রকার শক্তি।
স্থির তড়িৎ ঃ তড়িৎ বা চার্জ যখন কোন বস্তুতে আবদ্ধ থাকে তখন তাকে স্থির তড়িৎ বলে।
চলতড়িৎ ঃ তড়িৎ বা চার্জ যখন কোন বস্তুর মধ্য দিয়ে চলাচল করে তখন তাকে চলবিদ্যুৎ বলে।
চার্জের প্রকৃতি ঃ চার্জ দু'ধরনের– (১) ধনাত্মক চার্জ (২) ঋণাত্মক চার্জ।
মাধ্যম ঃ যে পদার্থের মধ্য দিয়ে চার্জ প্রবাহিত হয় বা হতে চায় বা হয় না তাকে মাধ্যম বলে। মাধ্যম তিন ধরনের– যথা : পরিবাহী, কুপরিবাহী এবং অন্তরক।
তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র ঃ যে যন্ত্রের সাহায্যে বস্তুতে চার্জের অস্তিত্ব, প্রকৃতি এবং পরিমাণ নির্ণয় করা যায় তাকে তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন–১

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (◘) চিহ্ন দিন।

১। রেশমের ঘর্ষণে কাঁচদন্ডে উৎপন্ন চার্জের প্রকৃতি কি?

(ক) ঋণাত্মক (খ) ধনাত্মক

(গ) চার্জ নিরপেক্ষ (ঘ) ধনাত্মক-ঋণাত্মক উভয়ই।

২। বিদ্যুৎ কয় প্রকারের?

(ক) তিন (খ) দুই

(গ) চার (ঘ) পাঁচ।

৩। সমধর্মী চার্জ কাছাকাছি আসলে পরস্পরকে কি করে?

(ক) আকর্ষণ (খ) বিকর্ষণ

(গ) আকর্ষণ-বিকর্ষণ উভয়ই করে (ঘ) কোনটিই নয়।

৪। বিপরীতধর্মী চার্জ কাছাকাছি আসলে পরস্পরকে কি করে?

(ক) আকর্ষণ (খ) বিকর্ষণ

(গ) আকর্ষণ-বিকর্ষণ উভয়ই করে (ঘ) কোনটিই নয়।

৫। কোনটি দ্বারা চার্জের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়?

(ক) প্লাস্টিক দন্ড

(খ) কাচ দন্ড

(গ) রেশমের কাপড়

(ঘ) তড়িৎ বীক্ষণ যন্ত্র।

পাঠ ২ বৈদ্যুতিক আবেশ

উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- বৈদ্যুতিক আবেশের সংজ্ঞা বলতে পারবেন;
- আবেশী চার্জ, আবিষ্ট চার্জ এবং আবিষ্ট বস্তু কাকে বলে বলতে পারবেন;
- আবেশ প্রক্রিয়ার প্রমাণ বর্ণনা করতে পারবেন;
- বৈদ্যুতিক আবেশের ফলে উৎপন্ন চার্জের প্রকৃতি বর্ণনা করতে পারবেন;
- আবিষ্ট বস্তুর দু'প্রান্তের চার্জের প্রকৃতি এবং পরিমাণ বলতে পারবেন;
- ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে বৈদ্যুতিক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- আবিষ্ট চার্জ কোন কোন বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল বলতে পারবেন;
- স্বর্ণপাত বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্রে আবেশ প্রক্রিয়ার প্রভাব বর্ণনা করতে পারবেন।

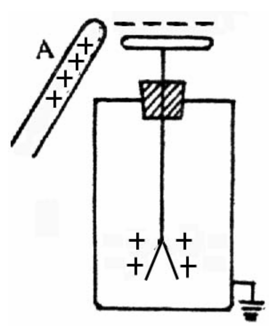
১.২.১ ঃ বৈদ্যুতিক আবেশ

কোন চার্জিত বস্তুকে আমরা একটি অচার্জিত পরিবাহীর নিকট আনলে দেখা যায় যে, অচার্জিত পরিবাহীটি চার্জিত বস্তুর প্রভাবে সাময়িকভাবে চার্জিত হয়। চার্জিত বস্তুটিকে সরিয়ে নিলে অচার্জিত পরিবাহীটি আবার চার্জশূন্য হয়ে পড়ে। এভাবে একটি অচার্জিত পরিবাহীকে ক্ষণস্থায়ীভাবে চার্জিত করার পদ্ধতিকে বৈদ্যুতিক আবেশ বলে।

সে চার্জের প্রভাবে বৈদ্যুতিক আবেশ সৃষ্টি হয় তাকে আবেশী চার্জ (Inducing charge), আবেশ প্রক্রিয়ায় প্রভাবিত বস্তুকে আবিষ্ট বস্তু (Induced body) এবং প্রভাবিত বস্তুতে যে চার্জের উৎপত্তি হয় তাকে আবিষ্ট চার্জ (Induced charge) বলা হয়।

১.২.২ ঃ বৈদ্যুতিক আবেশের প্রমাণ

একটা শুকনা কাঁচদণ্ড লই। দণ্ডটির এক প্রান্ত রেশমী কাপড় দ্বারা ঘর্ষণ করে বিদ্যুতায়িত বা তড়িৎবায়িত করি। এবার দন্ডটির বিদ্যুতায়িত বা তড়িতবায়িত প্রান্তকে অচার্জিত স্বর্ণপাত বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্রের ধাতব হাতলের নিকট ধরি (চিত্র–১.৪ দ্রষ্টব্য)



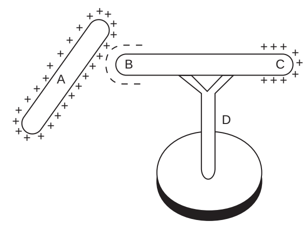
চিত্র-১.৪

দেখা যাবে যে, বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্রের স্বর্ণপাত দু'টি ফাঁক হয়ে গেছে। কাঁচদন্ডের চার্জের প্রভাবে বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্রটি চার্জিত হওয়ার জন্য এমনটি হয়েছে। এবার কাঁচদন্ডটি সরিয়ে নিলে দেখা যাবে যে, স্বর্ণপাত দু'টি পূর্বের অবস্থায় ফিরে এসেছে। এ পরীক্ষা থেকে প্রমাণিত হয় যে, একটি চার্জিত বস্তুর প্রভাবে অন্য একটি অচার্জিত বস্তু সাময়িকভাবে বিদ্যুতায়িত বা তড়িৎবায়িত বা চার্জিত হয়। এটিই বৈদ্যুতিক আবেশ। উল্লেখ্য যে, অচার্জিত বস্তুটি বিপরীতধর্মী চার্জ দ্বারা বিদ্যুতায়িত হবে।

১.২.৩ ঃ বৈদ্যুতিক আবেশে আবিষ্ট চার্জের প্রকৃতি

আবেশ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কোন পরিবাহীতে যে চার্জ উৎপন্ন হয় তার প্রকৃতি পরিবাহীর দু'প্রান্তে এক নয় । এছাড়া চার্জিত বস্তুর প্রভাবে পরিবাহীটির যে প্রান্তে আবিষ্ট চার্জের উৎপত্তি হয় তাও ভিন্নতর। আবিষ্ট চার্জের প্রকৃতি নির্ণয়ের জন্য নিম্নের পরীক্ষা বর্ণনা করা হলো।

চিত্র- ১.৫ এ BC একটি পরিবাহী পদার্থ যা একটি অপরিবাহী দন্ড D এর উপর দন্ডায়মান। A কাচদন্ডটি রেশমী কাপড় দিয়ে ঘষে ধনাত্মক চার্জে চার্জিত করে BC পরিবাহীর নিকট আনা হলো। বৈদ্যুতিক আবেশের ফলে পরিবাহীটি চার্জিত হবে।



চিত্র-১.৫

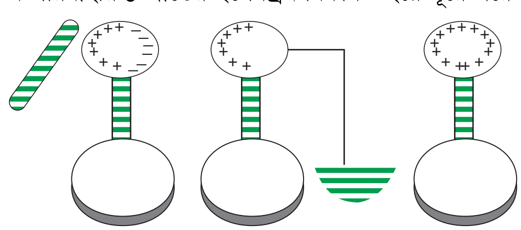
কাঁচ দন্ডটির উপস্থিতিতে এবার একটি প্রমাণ তল (Proof Plane) BC দণ্ডের B প্রান্তে স্পর্শ করিয়ে একটি জানা (ধরা যাক, ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত) চার্জিত স্বর্ণপাত বিদ্যুৎ বীক্ষণ যন্ত্রের ধাতব হাতলের নিকট নিলে দেখা যাবে যে, স্বর্ণপাত দু'টির ফাঁক বেড়ে গেছে। এতে প্রমাণিত হয় যে, পরিবাহী BC এর B প্রান্তে চার্জের সঞ্চার হয়েছে এবং এ চার্জের প্রকৃতি ঋণাত্মক। এবার প্রমাণ তলকে হাত দ্বারা স্পর্শ করে এর চার্জকে মাটিতে প্রেরণ করে BC দণ্ডের C প্রান্তে স্পর্শ করিয়ে বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্রের ধাতব হাতলের নিকট ধরলে দেখা যাবে ঋনাত্মক চার্জে চার্জিত স্বর্ণপাতদ্বয়ের ফাঁক কমে গেছে। এতে প্রমাণিত হয় যে, BC দন্ডের দূরবর্তী প্রান্ত C তে সঞ্চারিত চার্জের প্রকৃতি ধনাত্মক। আবার প্রমাণ তলকে হাত দ্বারা স্পর্শ করে অচার্জিত করে BC দণ্ডের মধ্যবর্তী স্থানে স্পর্শ করিয়ে স্বর্ণপাত বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্রের হাতলের কাছে আসলে দেখা যাবে যে স্বর্ণপাতের ফাঁক অপরিবর্তিত রয়েছে। লক্ষণীয় যে, স্বর্ণপাতের ফাঁক বৃদ্ধি বা হ্রাসের পরিমাণ সমান হয়।

এবার BC দন্ডের B ও C প্রান্তকে তার দ্বারা অচার্জিত স্বর্ণপাত বীক্ষণ যন্ত্রের সঙ্গে যুক্ত করে আবেশী বস্তু A কে আস্তে আস্তে দূরে সরিয়ে নিতে থাকলে দেখা যাবে স্বর্ণপাত দু'টির ফাঁক কমতে থাকবে। অর্থাৎ আবেশী চার্জের অন্যসারণে আবিষ্ট চার্জ অর্ন্তহিত হচ্ছে। উপরের পর্যবেক্ষণগুলো প্রমাণ করে যে আবিষ্ট বস্তুর যে প্রান্ত আবেশি বস্তুর নিকটে থাকে সেখানে বিপরীত ধর্মী এবং দূরবর্তী প্রান্তে সমধর্মী চার্জ আবিষ্ট হয়। মধ্যবর্তী বিন্দুতে কোন চার্জ থাকে না এবং আবেশী চার্জ সরিয়ে নিলে আবিষ্ট চার্জ থাকে না।

১.২.৪ ঃ আবেশনের মাধ্যমে বিদ্যুতায়ন

সংস্পর্শ ছাড়াও আবেশনের মাধ্যমে বিদ্যুতায়ন করা সম্ভব। এক্ষেত্রে বিদ্যুতায়িত দণ্ড বা বস্তুকে নিরপেক্ষ ধাতব পদার্থের খুব কাছে স্থাপন করলে ঐ নিরপেক্ষ ধাতব পদার্থ বিপরীতধর্মী আধানে চার্জিত বা তড়িতায়িত হয়।

চিত্র ১.৬−এ এরূপভাবে তড়িতায়নকরণ দেখানো হয়েছে। এখানে একটি ইবোনাইট দন্ডকে ফ্লানেলের সাথে ঘষে একে ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত করা হয়। এরপর একে পরিবাহীর একটি ধাতব প্রান্ত c এর কাছাকাছি রাখা হয়। ইবোনাইট দণ্ডের ইলেকট্রনের বিকর্ষণের ফলে ধাতব পরিবাহীর c প্রান্তের ইলেকট্রন বিকর্ষিত হয়ে দূরে সরে যাবে।


চিত্র-১.৬ক ১.৬খ ১.৬গ

ফলে দণ্ডের কাছাকাছি অংশে ধনাত্মক আধানের আধিক্য ঘটবে এবং পরিবাহীর বিপরীত দিকে ইলেকট্রনের আধিক্য ঘটবে। এবার ইবোনাইট দন্ডটি না সরিয়ে পরিবাহীর সংস্পর্শে একটি তার দিয়ে মাটির সঙ্গে সংযোগ দিলে ঋণাত্মক আধান মাটিতে প্রবাহিত হবে এবং পরিবাহী ধনাত্মকভাবে তড়িতাহিত হবে। ভূ-সংযুক্ত তারটি সরিয়ে নিলে (চিত্র ১.৬ গ) ধনাত্মক আধান পরিবাহীর পৃষ্ঠ বরাবর ছড়িয়ে যাবে। এভাবে নিরপেক্ষ বস্তুকে তড়িতায়ন করাকে আবেশের মাধ্যমে তড়িতায়নকরণ বা বিদ্যুতায়নকরণ বলে। যদি ধাতব পদার্থের পরিবর্তে একটি অন্তরক নেয়া হয় তবে আবেশন হবে না; কেননা অন্তরকে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না। ফলে চার্জিত আধান দ্বারা বিকর্ষিত হওয়ার সুযোগ নেই।

একইভাবে ধাতব পদার্থকে ঋণাত্মকভাবে তড়িতায়িত করা যায়। সেক্ষেত্রে তড়িতায়িত দণ্ডটি ধনাত্মকভাবে তড়িতায়িত করে নিতে হবে।

১.২.৫ ঃ বিভিন্ন বিষয়ের উপর আবিষ্ট চার্জের নির্ভরশীলতাঃ নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর আবিষ্ট চার্জ নির্ভর করে।

(ক) আবেশী চার্জের পরিমাণ

(খ) আবেশী এবং আবিষ্ট বস্তুর মধ্যবর্তী মাধ্যম

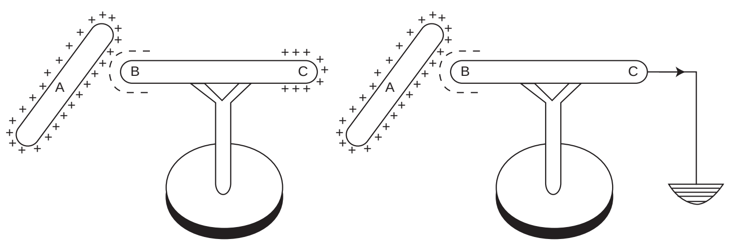
(গ) আবেশী বস্তু থেকে আবিষ্ট বস্তুর দূরত্ব, ক্ষেত্রফল, প্রকৃতি

(ঘ) অপর কোন বস্তুর সান্নিধ্য এবং

(ঙ) আবিষ্ট বস্তু ভূ-সংযুক্ত কিনা।

১.২.৬ ঃ বৈদ্যুতিক আবেশ ব্যাখ্যায় ইলেকট্রন মতবাদ

১.১.৬ অনুচ্ছেদে বিদ্যুৎ সম্বন্ধীয় আধুনিক মতবাদ আলোচনায় আমরা জেনেছি যে, পরিবাহীতে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে এবং এসব ইলেকট্রনকে তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা স্থানান্তর করা যায়। মনে করা যাক A একটি ধনাত্মক চার্জে চার্জিত পরিবাহী। A কে অন্তরিত পরিবাহী BC এর B প্রান্তের কাছে ধরলে BC এর মুক্ত ইলেকট্রনগুলি A এর ধনচার্জের আকর্ষণে B প্রান্তের দিকে জমা হবে চিত্র–১.৭.ক।



চিত্র–১.৭

ফলে B প্রান্তে ইলেকট্রনের আধিক্য হবে। আবার C প্রান্ত থেকে ইলেকট্রন সরে তা সমপরিমাণ ধনাত্মক চার্জে চার্জিত হবে। এবার C প্রান্ত ভূ-সংযুক্ত করলে মাটি থেকে ইলেকট্রন এসে C প্রান্তের ইলেকট্রনের ঘাটতি পূরণ করবে। এবার C প্রান্তের ভূ-সংযোগ তারটি সরিয়ে নিলে দেখা যাবে যে, B প্রান্তের আবিষ্ট চার্জ সর্বত্র ছড়িয়ে পড়বে এবং পরিবাহী ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হবে। অনুরূপভাবে যদি দণ্ডকে ঋণাত্মকভাবে চার্জিত করে BC এর B প্রান্তের কাছে ধরা হয় তবে B প্রান্ত বিপরীত ধর্মী অর্থাৎ ধনাত্মক চার্জে এবং দূরবর্তী C প্রান্ত সমধর্মী অর্থাৎ ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত হবে। তারের সাহায্যে C প্রান্ত ভূ-সংযুক্ত করলে এবং পরে তার সরিয়ে নিলে পূর্বের ঘটনার বিপরীত ঘটনা ঘটবে। এভাবে ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে বৈদ্যুতিক আবেশের ব্যাখ্যা প্রদান করা যায়।

১.২.৭ ঃ চার্জের তলমাত্রিক ঘনত্ব

কোন পরিবাহী বা অন্তরিত পরিবাহীর কোন অংশে চার্জ প্রদান করলে সে চার্জ পরিবাহীর বাইরের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে; পরিবাহীর ভিতরে কোন চার্জ অবস্থান করে না। পরিবাহীর পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়া চার্জ পৃষ্ঠের সর্বত্র সমানভাবে থাকে না। কোথাও কম বা বেশি হতে পারে। এটা নির্ভর করবে পরিবাহীর আকৃতি এবং আশে পাশে পরিবাহী বা অন্তরকের উপস্থিতির উপরে।

কোন পরিবাহীর পৃষ্ঠে কোন বিন্দুর চারদিকে একক ক্ষেত্রফলের উপর যে পরিমাণ চার্জ অবস্থান করে তাকে ঐ বিন্দুতে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলে।

সুতরাং A ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট কোন তলের ওপর যদি Q পরিমাণ চার্জ সঞ্চিত হয় এবং আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব যদি σ হয়,

তাহলে, $\sigma = \dfrac{Q}{A}$ ------(i)

পরিবাহীটি যদি গোলাকার হয় তবে চার্জ সুষমভাবে গোলকের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে। যদি গোলকের ব্যাসার্ধ r হয়, তবে ক্ষেত্রফল $A = 4\pi r^2$

সুতরাং তলমাত্রিক ঘনত্ব হবে, $\sigma = \dfrac{Q}{4\pi r^2}$ ---------- (ii)

এস,আই বা ব্যবহারিক এককে তলমাত্রিক ঘনত্বের একক হবে,

$$\frac{\text{কুলম্ব}}{\text{বর্গ মিটার}}$$

উদাহরণ ঃ

0.25 মিটার ব্যাসার্ধের কোন একটি চার্জিত পরিবাহী গোলকের চার্জের তল ঘনত্ব 0.025 কুলম্ব/বর্গমিটার হলে ঐ গোলকে কত চার্জ সঞ্চিত ছিল?

সমাধান ঃ আমরা জানি, $\sigma = \dfrac{Q}{A}$

বা, $Q = \sigma A$, এখানে, $A = 4\pi r^2$

দেওয়া আছে, $r = 0.25$ মিটার

এবং $\sigma = 0.025$ কুলম্ব/বর্গমিটার।

সুতরাং

$$Q = A\sigma$$
$$= 4\pi r^2\sigma$$
$$= 4\times3.14\times(0.25)^2 \text{ মিটার}^২\times0.025 \text{ কুলম্ব/ মিটার}^২.$$
$$\cong 0.196 \text{ কুলম্ব।}$$

সারসংক্ষেপ

বৈদ্যুতিক আবেশ ঃ কোন চার্জিত বস্তুকে একটি অচার্জিত বস্তুর সন্নিকটে এনে অচার্জিত বস্তুকে চার্জিত বস্তুর প্রভাবে সাময়িকভাবে চার্জিত করার পদ্ধতিকে বৈদ্যুতিক আবেশ বলে।

আবেশী এবং আবিষ্ট চার্জ ঃ যে চার্জের প্রভাবে বৈদ্যুতিক আবেশ ঘটে তাকে আবেশী চার্জ এবং প্রভাবিত বস্তুর চার্জকে আবিষ্ট চার্জ বলে।

চার্জের তল ঘনত্ব ঃ পরিবাহীর উপরিতলের কোন বিন্দুর চারদিকে একক ক্ষেত্রফলের উপরে যে পরিমাণ চার্জ সঞ্চিত হয়, তাকে পরিবাহীর ঐ বিন্দুর চার্জের তল ঘনত্ব বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-২

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। একটি ধনাত্মক চার্জযুক্ত স্বর্ণপাত বিদ্যুৎ বীক্ষণ যন্ত্রের ধাতব হাতলের নিকট একটি অন্তরীত ধনাত্মক ধাতব দন্ড ধরা হলে স্বর্ণপাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী ফাঁকের কিরূপ পরিবর্তন হবে?

(ক) ফাঁক বৃদ্ধি পাবে (খ) ফাঁক হ্রাস পাবে

(গ) কোন পরিবর্তন হবে না (ঘ) বৃদ্ধি বা হ্রাস পেতে পারে।

২। একটি ধনাত্মক চার্জগ্রস্ত স্বর্ণপাত বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্রের ধাতব হাতলের নিকট একটি অচার্জিত দণ্ড ধরা হলে স্বর্ণপাত দ্বয়ের কিরূপ পরিবর্তন হবে?

(ক) ফাঁক বৃদ্ধি পাবে (খ) ফাঁক হ্রাস পাবে

(গ) কোন পরিবর্তন হবে না　　(ঘ) বৃদ্ধি বা হ্রাস পেতে পারে।

৩। একটি চার্জগ্রস্ত পরিবাহীর নিকট একটি চার্জশূন্য বস্তু রাখলে পরিবাহির যে অংশ বস্তুটির কাছে থাকে ঐ অংশে চার্জের তল ঘনত্ব কি হবে?

(ক) বৃদ্ধি পাবে　　(খ) হ্রাস পাবে

(গ) শূন্য হবে　　(ঘ) হ্রাস বা বৃদ্ধি পাবে।

পাঠ ৩ কুলম্বের সূত্র, চার্জের একক

উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- বিন্দু চার্জ কী বলতে পারবেন;
- কুলম্বের সূত্রের সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যা দিতে পারবেন;
- কুলম্বের সূত্র এবং নিউটনের মাধ্যাকর্ষণ সূত্রের সাদৃশ্য বলতে পারবেন;
- কুলম্বের সূত্রের গাণিতিক রূপ প্রকাশ করতে পারবেন;
- বিন্দু চার্জের উপরে দুই বা ততোধিক বিন্দু চার্জের জন্য ক্রিয়াশীল বল নির্ণয় করতে পারবেন;
- চার্জের একক কি বলতে পারবেন;
- চার্জের বিভিন্ন এককের মধ্যে সম্পর্ক বের করতে পারবেন;
- পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক কি বলতে পারবেন।

১.৩.১ ঃ বিন্দু চার্জ

চার্জিত বস্তুগুলির আকার এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের তুলনায় খুবই ছোট হলে চার্জিত ঐ বস্তুগুলোকে বিন্দু চার্জ বলে।

১.৩.২ ঃ কুলম্বের সূত্র (Coulomb's law)

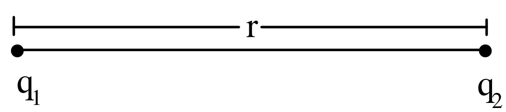
আমরা জানি, দুটি সমধর্মী চার্জ যুক্ত বস্তু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে, আবার বিপরীত ধর্মী চার্জযুক্ত দুটি বস্তু পরস্পরকে আকর্ষণ করে। ১৭৮৫ খ্রিষ্টাব্দে ফরাসী বিজ্ঞানী চার্লস অগাষ্টিন কুলম্ব স্থির চার্জ যুক্ত বস্তুর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের একটি সূত্র আবিষ্কার করেন যা তাঁর নাম অনুসারে 'কুলম্বের সূত্র' নামে পরিচিত।

কুলম্বের সূত্রটি নিম্নরূপ ঃ

কোন নির্দিষ্ট মাধ্যমে দু'টি বিন্দু চার্জের পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল উহাদের চার্জের গুণফলের সমানুপাতিক এবং চার্জদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যাস্তানুপাতিক। এই ক্রিয়াশীল বল চার্জদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে। ধরা যাক, কোন মাধ্যমে দু'টি বিন্দু চার্জ q_1 ও q_2 পরস্পর থেকে 'r' দূরত্বে অবস্থিত (চিত্র ১.৮ দ্রষ্টব্য)। বিন্দু চার্জদ্বয়ের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ F হলে কুলম্বের সূত্র অনুসারে আমরা লিখতে পারি–

$$F \alpha \frac{q_1 \, q_2}{r^2}$$

বা, $F = k \dfrac{q_1 \, q_2}{r^2}$ ---------- (1)



চিত্র ১.৮

এখানে k একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক যার মান মাধ্যম এবং পরিমাপের এককের উপর নির্ভরশীল।

আমরা জানি, বল একটি ভেক্টর বা দিক রাশি। সুতরাং সমীকরণ (1) এর বামপক্ষ ভেক্টর হলে ডানপক্ষ অবশ্যই ভেক্টর রাশি হবে। ভেক্টরের সাহায্যে সমীকরণ (1) কে লেখা যায়–

$$\vec{F} = k. \frac{q_1 \, q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$$

এখানে, $\hat{r}$ হচ্ছে $\vec{F}$ বরাবর একটি একক ভেক্টর।

এস আই এককে k এর মান 8.99×10^{9} নিউটন- মিটার২/কুলম্ব২। প্রচলিত প্রথায় k ধ্রুবককে অন্য একটি ধ্রুবক $\in_o$ এর সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। $\in_o$ কে শূন্যস্থান বা বায়ুমাধ্যমে বলা হয় মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা (Permittivity). k এবং $\in_o$ এর মধ্যে সম্পর্ক হলো–

$$k = \frac{1}{4\pi\in_o}$$

যা, $\in_o = \dfrac{1}{4\pi k} = 8.85\times10^{-12}$ কুলম্ব২/নিউটন-মিটার২

সুতরাং এস.আই পদ্ধতিতে শূন্য মাধ্যমে কুলম্বের সূত্রের রূপ হলো,

$$F = \frac{1}{4\pi\in_o} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

অন্য যেকোন মাধ্যমে এস.আই. পদ্ধতিতে কুলম্বের সূত্র হবে–

$$F = \frac{1}{4\pi\in_o\in_r} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{-------------}(2)$$

এখানে $\in_r$ কে ঐ মাধ্যমের আপেক্ষিক ভেদ্যতা (অর্থাৎ আলোচ্য মাধ্যমের ভেদ্যতা শূন্য মাধ্যমে অপেক্ষা $\in_r$ গুণ বড়)। সমীকরণ (2) কে অন্যভাবে লেখা হয়–

$$F = \frac{1}{4\pi\in} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

এখানে, $\in$ মাধ্যমের চরম ভেদ্যতা (absolute permittivity of the medium) অর্থাৎ $\in r = \dfrac{\in}{\in_o}$

১.৩.৩ ঃ আপেক্ষিক ভেদ্যতা বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $\in_r$

যে কোন দু'টি চার্জের মধ্যে নির্দিষ্ট দূরত্বে শূন্যস্থানে ক্রিয়াশীল বল এবং ঐ দুই চার্জের মধ্যে ঐ একই দূরত্বে অন্য কোন মাধ্যমে ক্রিয়াশীল বলের অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি। এই ধ্রুব রাশিকে মাধ্যমিক আপেক্ষিক ভেদ্যতা বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (Dielectiric Constant) বলে।

উদাহরণ ঃ

দুটি ক্ষুদ্র বস্তুর চার্জের পরিমাণ যথাক্রমে +1.0 এবং -1.0 কুলম্ব এবং উহারা 1.5 মিটার দূরে অবস্থিত হলে, একটি বস্তু কর্তৃক অপর বস্তুর উপরে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বলের পরিমাণ বের করুন।

সমাধান ঃ কুলম্বের সূত্র ব্যবহার করে আমরা বলের মান পাই–

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{(8.99\times10^{9}\ \text{N-m}^2/\text{c}^2)\times(1.0\text{c})\times(-1.0\text{c})}{(1.5\text{m})^2}$$

$$= -4.0\times10^{9}\ \text{N}$$

উল্লেখ্য যে, ঋণাত্মক চিহ্ন আকর্ষণ বল নির্দেশ করে।

১.৩.৪ ঃ কুলম্বের সূত্র এবং নিউটনের মাধ্যাকর্ষণ সূত্রের মধ্যে সাদৃশ্য

কুলম্বের সূত্র এবং মাধ্যাকর্ষণ সূত্রের মধ্যে সাদৃশ্য এবং বৈসাদৃশ্য উভয়ই বিদ্যমান। কুলম্বের সূত্রের রূপ এবং নিউটনের সূত্রের রূপের মধ্যে একটা উল্লেখযোগ্য সাদৃশ্য রয়েছে। উভয় সূত্রে বল নির্ভর করে দুটি বস্তুর মধ্যে দূরত্বের বর্গের ব্যাস্ত ানুপাতিক $\left(\frac{1}{r^2}\right)$ রূপে।

আবার উভয়ক্ষেত্রে বল বস্তুদ্বয়ের সংযোগকারী সরলরেখা বরাবর ক্রিয়াশীল। এছাড়া বল ক্রিয়াশীল বস্তু দু'টির প্রত্যেকটির স্বকীয় গুণাবলীর গুণফলের সমানুপাতিক। কুলম্বের সূত্রে বস্তুদ্বয়ের এ স্বকীয় গুণ হলো চার্জ q_1 এবং q_2 ; পক্ষান্তরে নিউটনের মাধ্যাকর্ষণ সূত্রে বস্তুদ্বয়ের স্বকীয় গুণ হলো এদের ভর m_1 ও m_2 ।

কুলম্ব এবং নিউটনের সূত্রে উপরে বর্ণিত সাদৃশ্য থাকলেও এক বিরাট বৈসাদৃশ্য বা পার্থক্য রয়েছে। আর তা হলো, তড়িৎ সম্পর্কীয় বল চার্জের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে যা আকর্ষণ বা বিকর্ষণ উভয়ই হতে পারে। কিন্তু মাধ্যাকর্ষণ বল সবসময় আকর্ষণ বল।

১.৩.৫ ঃ একটি বিন্দু চার্জের উপর দুই বা ততোধিক বিন্দুর চার্জের জন্য ক্রিয়াশীল বল

১.৩.২ অনুচ্ছেদ এ আমরা একটি বিন্দু চার্জের উপর অপর একটি বিন্দু চার্জের জন্য ক্রিয়াশীল বল সম্পর্কে আলোচনা করেছি। ধরা যাক, তৃতীয় আর একটি বিন্দু চার্জ q_3 রয়েছে। এখন চার্জ q_1 এর উপর চার্জদ্বয় q_2 ও q_3 এর লব্ধি বল কত হবে? এক্ষেত্রে প্রথমে তৃতীয় চার্জের উপস্থিতি উপেক্ষা করে প্রথম চার্জের উপর দ্বিতীয় চার্জের জন্য ক্রিয়াশীল বলের মান ও দিক নির্ণয় করতে হবে।

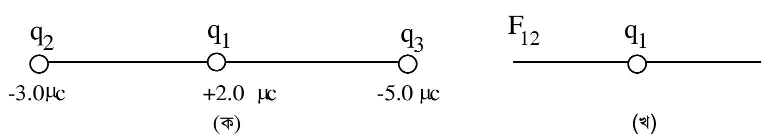
এরপর অনুরূপভাবে দ্বিতীয় চার্জের উপস্থিতি উপেক্ষা করে প্রথম চার্জের উপর তৃতীয় চার্জের জন্য ক্রিয়াশীল বলের দিক ও মান বের করতে হবে। প্রথম চার্জের উপর ক্রিয়াশীল লব্ধি বল হবে এ দু'টি বলের ভেক্টর যোগফল। উদাহরণ হিসেবে দুটি অবস্থা ধরা যাক–

(১) বিন্দু চার্জ তিনটি একই সরল রেখায় অবস্থিত এবং

(২) বিন্দু চার্জ তিনটি একই তলে অবস্থিত।

(১) বিন্দু চার্জ তিনটি একই সরল রেখায় অবস্থিত।

চিত্র–১.৯ এ তিনটি বিন্দু চার্জ q_1 , q_2 , q_3 একই সরল রেখায় দেখানো হয়েছে। চার্জগুলোর মান এবং এদের মাঝে দূরত্ব দেওয়া আছে– বিন্দু চার্জ q_1 এর উপর লব্ধি বল বের করতে হবে।



(ক) X অক্ষের বরাবর তিনটি চার্জ রয়েছে।

(খ) q_1 এর উপর ক্রিয়াশীল বল F_{12} এবং F_{13} দেখানো হয়েছে।

চিত্র–১.৯

যেহেতু q_1 এবং q_2 বিন্দু চার্জদ্বয় বিপরীত ধর্মী সুতরাং এরা পরস্পরকে আকর্ষণ করবে। q_1 এর উপর q_2 এর জন্য ক্রিয়াশীল বল F_{12} হলে এর মান হবে।

$$F_{12} = k\frac{q_1\ q_2}{{r_{12}}^2} = \frac{(8.99\times10^9\text{N-m}^2/c^2)\times(2\times10^{-6})\times(3\times10^{-6})}{(0.25\text{m})^2}$$

$$= 0.863 \text{ N}$$

এ বলের দিক হবে বাম দিকে। অর্থাৎ ধনাত্মক থেকে ঋণাত্মক চার্জের দিকে।

আবার q_1 এর উপর q_3 এর জন্য বল F_{13} হলে এর মান হবে,

$$F_{13} = k\frac{q_1\ q_2}{r_{13}^{\ 2}} = \frac{(8.99\times10^9)\times(2.0\times10^{-6})\times(5.0\times10^{-6})}{(0.20)^2}$$

$$= 2.248\ N$$

এ বলের দিক হবে ডান দিকে (উপরের নিয়মে)।

যেহেতু F_{12} বল X-অক্ষের ঋণাত্মক দিকে এবং F_{13} বল X অক্ষের ধনাত্মক দিকে সুতরাং লব্ধি বল $\vec{F}$ হবে

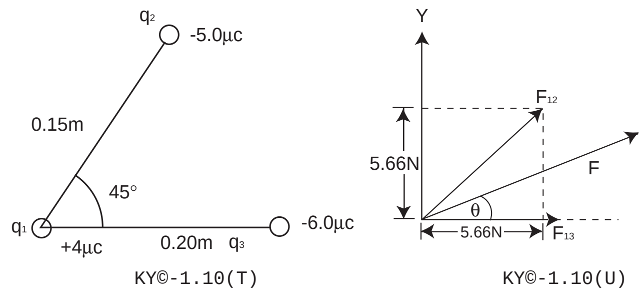
$$\vec{F} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} = (-0.863N)\ (+2.248N)$$

$$= +\ 1.385N\ N + 1.4N$$

লব্ধি বল ডানদিকে ক্রিয়াশীল হবে।

(২) তিনটি চার্জ একই তলে অবস্থিত

চিত্র ১.১০-এ তিনটি বিন্দু চার্জকে একই তলে দেখানো হয়েছে। মনে করা যাক চার্জ তিনটি এই পৃষ্ঠার তলে অবস্থিত।



(ক) তিনটি চার্জ একই তলে রয়েছে

(খ) q_1 এর উপর ক্রিয়াশীল লব্ধি বল

তিনটি চার্জ q_1 , q_2 , q_3 এর পরিমাণ এবং q_1 হবে q_2 এবং q_3 এর দূরত্ব দেয়া আছে। q_1 এর উপর ক্রিয়াশীল লব্ধি বলের দিক ও মান নির্ণয় করতে হবে।

চার্জ q_1 এবং q_2 বিপরীতধর্মী হওয়ায় q_1 এর উপর q_2 এর জন্য বল F_{12} আকর্ষণ বল হবে এবং একই কারণে q_1 এর উপর q_3 এর জন্য বল F_{13} আকর্ষণ বল হবে।

কুলম্বের সূত্র ব্যবহার করে আমরা F_{12} এবং F_{13} এর নিম্নরূপ মান পাই–

$$F_{12} = k\frac{q_1\ q_2}{r_{12}^{\ 2}} = \frac{(8.99\times10^9 N\text{-}m^2\times c^2)\times(4\times10^{-6}C)\times(3\times10^{-6}C)}{(0.15m)^2}$$

$$= 8.0\ N$$

$$F_{13} = k\frac{q_1\ q_2}{r_{13}^{\ 2}} = \frac{(8.99\times10^9 N\text{-}m2/c2)\times(4\times10^{-6}C)\times(6\times10^{-6}C)}{(0.20m)^2}$$

$$= 5.4\ N$$

যেহেতু বলগুলি একই দিক নির্দেশ করে না ফলে ভেক্টর উপাংশ পদ্ধতিতে লব্ধি বল বের করতে হবে।

লব্ধি বল $\vec{F}$ হতে $\vec{F}_{12}$ এবং $\vec{F}_{13}$ এর ভেক্টর যোগফল। x অক্ষ এবং y অক্ষ বরাবর $\vec{F}$ এর উপাংশ যথাক্রমে Fx এবং Fy. $\vec{F}_{12}$ এবং $\vec{F}_{13}$ বলদ্বয়ের x ও y অক্ষ বরাবর উপাংশ বের করি। উভয় বলের x উপাংশগুলি যোগ করে আমরা Fx এবং একইভাবে y উপাংশগুলি যোগ করে Fy পেতে পারি। Fx এবং Fy জানা হলে তা থেকে F এর মান ও দিক ত্রিকোণমিতির সাহায্যে নির্ণয় করতে পারি।

বল	x উপাংশ	y উপাংশ
F_{12}	8.0N Cos 45° = 5.66 N	8.0 N Sin 45° = 5.66 N
F_{13}	5.4 N CosO° = 5.4N	5.4 NsinO°=0
F	Fx = 11.06N	Fy = 5.66N

এখন F এর মান–

$$F = \sqrt{Fx^2+Fy^2} = \sqrt{(11.06N)^2 + (5.66N)^2}\ N = \sqrt{154}\ N$$
$$= 12.4\ N$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Fy}{Fx}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5.66N}{11.06N}\right) = \tan^{-1}(0.54)$$
$$= 28°$$

১.৩.৫ ঃ চার্জের একক (Unit of Charge)

এম.কে.এস বা ব্যবহারিক বা এস.আই একক ঃ দুটি সমধর্মী ও সমান বিন্দু চার্জকে শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে পরস্পর থেকে 1 মিটার দূরে স্থাপন করলে যদি এরা পরস্পরের উপর 9×10^9 নিউটন বল প্রয়োগ করে, তবে এদের প্রত্যেকটিকে 1 কুলম্ব চার্জ বলে। চার্জের এ একককে ব্যবহারিক একক বলে। এটাই চার্জের আন্তর্জাতিক একক বা সংক্ষেপে এস.আই. একক। 1C হচ্ছে 6.25×10^{18} সংখ্যক ইলেকট্রনের চার্জের সমান।

এক কুলম্ব বা ততোধিক চার্জ সাধারণত আকাশে বিদ্যুৎ চমকানোর সময় পাওয়া যায়। এর পরিমাণ খুবই বেশি। পরীক্ষাগারে সাধারণত যে চার্জ উৎপন্ন করা হয় তা খুব কম পরিমাণের। চার্জ কম হওয়ায় মাইক্রো কুলম্ব হিসেবে পরিমাপ করা হয়। একে μc হিসেবে লেখা হয়। $1\mu c = 10^{-6}C$

১.৩ : সমাধান কৃত উদাহরণ

১। বায়ুতে 4×10^{-4} কুলম্ব এবং 38×10^{-4} কুলম্বের দু'টি চার্জের মধ্যে দূরত্ব 3 মিটার হলে এরা একে অপরের উপর কত বল প্রয়োগ করবে?

কুলম্বের সূত্র হতে আমরা পাই–

$$F = K\frac{q_1 \times q_2}{kr^2}$$

এখানে,

$q_1 = 4\times10^{-4}C$

$q_2 = 8\times10^{-4}C$

$r = 3m$

এবং $k = 1$

মান বসিয়ে পাই, $F = \dfrac{4\times10^{-4}\times8\times10^{-4}}{(3)^2} \cong 3.56\infty10^{-8}N$

সারসংক্ষেপ	
১.	বিন্দুচার্জ ঃ চার্জযুক্ত বস্তুগুলির আকার এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের তুলনায় খুবই ছোট হলে ঐ বস্তুগুলিকে বিন্দুচার্জ বলে।
২.	কুলম্বের সূত্র ঃ কোন মাধ্যমে দু'টি বিন্দু চার্জের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল চার্জদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক এবং চার্জদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। চার্জদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর বল ক্রিয়া করে।
৩.	পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক ঃ কোন মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলতে কোন নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থিত দু'টি চার্জের মধ্যকার শূন্য মাধ্যমে বা বায়ুতে ক্রিয়াশীল বল এবং সংশ্লিষ্ট মাধ্যমে একই দূরত্বে অবস্থিত ঐ দু'টি চার্জের মধ্যকার ক্রিয়াশীল বলের অনুপাতকে বুঝায়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন–৩

নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। দু'টি বিন্দু চার্জ পরস্পরের উপর যে বল প্রয়োগ করে তা চার্জদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের–

(ক) বর্গের সমানুপাতিক　　(খ) বর্গের ব্যাস্তানুপাতিক

(গ) সমানুপাতিক　　(ঘ) ব্যস্তানুপাতিক।

২। চার্জের এস.আই একক কোনটি?

(ক) e.s.u　　(খ) ইলেকট্রন ভোল্ট

(গ) e.m.u　　(ঘ) কুলম্ব।

৩। চার্জের পরিমাণ এবং দূরত্ব স্থির থাকলে দু'টি বিন্দু চার্জের উপর যে বল ক্রিয়া করে তা চার্জদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রবেশ্যতার সঙ্গে কিভাবে সম্পর্কিত?

(ক) ব্যস্তানুপাতিক　　(খ) বর্গের ব্যস্তানুপাতিক

(গ) বর্গের সমানুপাতিক　　(ঘ) সমানুপাতিক।

৪। এক কুলম্ব চার্জ সমান–

(ক) 10^{-1} e.m.u　　(খ) 10 e.m.u

(গ) $\dfrac{1}{300}$ e.m.u　　(ঘ) 3×10^{9} e.m.u

৫। 64 একক এবং 36 একক দু'টি চার্জ বায়ুতে 8 সে.মি. দূরে অবস্থিত। এদের মধ্যকার বলের মান কত একক?

(ক) 64　　(খ) 8

(গ) 36　　(ঘ) 128

পাঠ ৪ ক্ষেত্র প্রাবল্য, বিভব ও সমবিভব তল

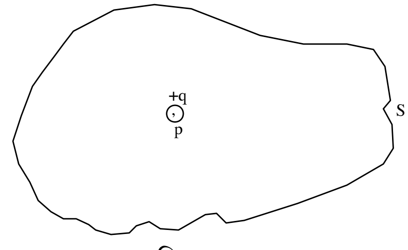
উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র বলতে কি বুঝায় বলতে পারবেন;
- বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রাবল্যের সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যা দিতে পারবেন;
- ক্ষেত্র প্রাবল্যের একক কি বলতে পারবেন;
- একাধিক চার্জের জন্য সৃষ্ট প্রাবল্যের লব্ধি নির্ণয় করতে পারবেন;
- বৈদ্যুতিক বলরেখার সংজ্ঞা দিতে পারবেন এবং বৈশিষ্ট্যগুলি বলতে পারবেন;
- বলরেখার চিত্র অংকন করতে পারবেন;
- তড়িৎ বলনল এবং আবেশক নল কাকে বলে এবং এদের পার্থক্য বর্ণনা করতে পারবেন;
- প্রবাহ ঘনত্ব কাকে বলে বলতে পারবেন;
- বিদ্যুৎ বিভব ব্যাখ্যা করতে পারবেন, বিভবের গাণিতিক রাশি প্রকাশ লিখতে পারবেন;
- বিভবের বিভিন্ন একক সম্বন্ধে বলতে পারবেন; এবং এদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে পারবেন;
- বিভব পার্থক্য কাকে বলে বলতে পারবেন। কোন বর্তনীর বিভিন্ন অংশে বিভব পার্থক্য নির্ণয় করতে পারবেন;
- বিদ্যুৎ স্থিতিশক্তি কাকে বলে বলতে পারবেন এবং এর গাণিতিক রাশি প্রকাশ করতে পারবেন;
- সমবিভব তলের সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যা দিতে পারবেন, সমবিভব তলের বিভিন্ন ধর্ম ও বৈশিষ্ট্য উল্লেখ করতে পারবেন;
- বিভব এবং প্রাবল্যের মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক স্থাপন করতে পারবেন।

১.৪.১. ঃ তড়িৎ ক্ষেত্র বা বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র

কোন চার্জ বা আধানের চারিদিকে যে অঞ্চলব্যাপী এর প্রভাব অনুভূত হয়, সে অঞ্চলকে ঐ আধানের তড়িৎক্ষেত্র বলে। প্রভাব বলতে আমরা বুঝি যে ঐ অঞ্চলের মধ্যে অন্য একটি তড়িৎ আধান স্থাপন করলে দ্বিতীয় আধানটি একটি বল অনুভব করবে। বলের প্রকৃতি আকর্ষক বা বিকর্ষক হবে তা নির্ভর করবে দ্বিতীয় আধানটির প্রকৃতির ওপর। প্রথম আধানের সমধর্মী হলে বল বিকর্ষক হবে। কোন আধানের জন্য সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্র তাত্ত্বিক অর্থে অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত হবে; কিন্তু বাস্তবে এ প্রভাব একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ত অনুভূত হয়। ঐ নির্দিষ্ট দূরত্বের বাইরে প্রভাব এত ক্ষীণ যে, তা পরিমাপযোগ্য হয় না। এ প্রভাবের মাত্রা বা পরিমাণ তড়িৎক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন হয়। মনে করা যাক $+q$ চার্জ বিশিষ্ট একটি ক্ষুদ্র বস্তু P বিন্দুতে অবস্থিত (চিত্র–১.১১)। p বিন্দুর চারপাশে S তল জুড়ে $+q$ চার্জের প্রভাব বিস্তৃত। এক্ষেত্রে S তলকে ঐ চার্জের তড়িৎক্ষেত্র বলে।



চিত্র–১.১১

S তলের বিভিন্ন বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র এক নয়। প্রতি বিন্দুতে প্রভাব পরিমাপ করার জন্য একটি রাশি প্রয়োজন। যে রাশি দ্বারা এই প্রভাবের মাত্রা নির্ধারণ করা হয় তাকে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা হয়।

১.৪.২ ঃ তড়িৎক্ষেত্রের তীব্রতা বা প্রাবল্য (Electric Field Intensity)

পূর্বে বলা হয়েছে যে, কোন চার্জযুক্ত বস্তু দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে অন্য কোন চার্জযুক্ত বস্তুর ওপর এর প্রভাব বিভিন্ন হয়। তড়িৎক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে একটি পরীক্ষনীয় আধান (test charge) স্থাপন করে তার উপরে ক্রিয়াশীল বল

দ্বারা তড়িৎ প্রাবল্য পরিমাপ করা হয়। পরীক্ষণীয় চার্জের পরিমাণ খুবই কম হবে যাতে করে যে চার্জের তড়িৎক্ষেত্র নির্ণয় করা হবে তার অবস্থানের কোন পরিবর্তন না ঘটায়। পরীক্ষণীয় আধান হিসেবে একক ধনাত্মক আধান নেয়া হয়। এখন তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একক ধন আধান স্থাপন করলে ঐ একক আধানটি যে বল অনুভব করে তা দিয়েই তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য পরিমাপ করা হয়। সুতরাং তড়িৎক্ষেত্রের তীব্রতা বা প্রাবল্য নিম্নোক্তভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়–

তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে স্থাপিত একক ধনাত্মক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বলকে উক্ত বিন্দুতে ঐ তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য বলে। একে $\vec{E}$ দ্বারা সূচিত করা হয়। এটি একটি ভেক্টর রাশি। সুতরাং প্রাবল্যের মান এবং দিক উভয়ই থাকবে। একক ধনাত্মক আধান যে দিকে বল অনুভব করে তাই হবে ঐ বিন্দুতে প্রাবল্যের অভিমুখ।

মনেকরি, শূন্য মাধ্যমে $+q$ বিন্দু চার্জ বা আধান রয়েছে। এটা থেকে r দূরত্বে P বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধানের ওপরে ক্রিয়াশীল বলই হবে উক্ত বিন্দু আধান $+q$ এর তড়িৎ বা বৈদ্যুতিক প্রাবল্য। সুতরাং প্রাবল্য

$$E = \frac{1}{3\pi\in_o}\,\frac{q\times 1}{r^2} = \frac{1}{4\pi\in_o}\,\frac{q}{r^2}\ \text{-------}\ (১)$$

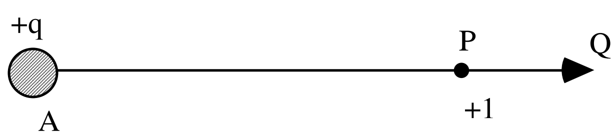
অর্থাৎ শূন্যস্থান বা বায়ুমাধ্যমে কোন আধানের বৈদ্যুতিক প্রাবল্য $= \frac{1}{4\pi\in_o}\,\frac{\text{IJiJj}}{(\text{hNrfô})^2}$

অন্যভাবে, বল = প্রাবল্য × আধান,

$$\vec{F} = \vec{E} \times q \qquad \therefore F = \frac{q_1\,q_2}{r^2}$$

$$\therefore \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \qquad = \frac{q_1}{r^2} \times q_2$$

$$= Eq_2$$



চিত্র– ১.১২

চিত্রে q ধনাত্মক আধান হলে এটি P বিন্দুতে স্থাপিত একক ধনাত্মক আধানকে বিকর্ষণ করবে এবং এক্ষেত্রে প্রাবল্যের দিক হবে PQ বরাবর। আবার q যদি ঋণাত্মক হয় তবে প্রাবল্যের দিক হবে PA বরাবর।

প্রাবল্যের একক ঃ এস.আই (SI) বা ব্যবহারিক পদ্ধতিতে প্রাবল্যের একক নিউটন/কুলম্ব (Newton/Coulomb)।

ব্যবহারিক পদ্ধতিতে অনেকক্ষেত্রে প্রাবল্যের একককে ভোল্ট/মিটার হিসাবেও প্রকাশ করা হয়।

$$\frac{1\ \text{Newton}}{\text{Coulomb}} = \frac{1\ \text{Newton-m}}{\text{Coulomb}} \times \frac{1}{\text{m}}$$

$$= \frac{1\ \text{Joule}}{\text{Coulomb}} \times \frac{1}{\text{m}}$$

$$= \frac{1\ \text{Volt}}{\text{m}}$$

কোন তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান এবং দিক সর্বত্র সমান হলে তাকে সুষম তড়িৎক্ষেত্র বলে।

একাধিক আধানের জন্য সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রের লব্ধি প্রাবল্য

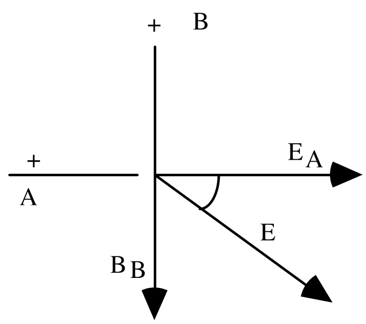
মাধ্যমের কোন একটি বিন্দুতে আশেপাশের বিভিন্ন আধানের তড়িৎক্ষেত্রের জন্য ঐ বিন্দুতে লব্ধি বা নীট প্রাবল্যের সৃষ্টি হয়। মনে করা যাক কোন মাধ্যমে q_1 এবং q_2 আধান A এবং B অবস্থানে আছে। এ চার্জগুলো থেকে যথাক্রমে r_1 এবং r_2 দূরত্বে P একটি বিন্দু। মাধ্যমের পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক মনে করি, $\in_r$। আধান q_1 এবং q_2 এর জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য যথাক্রমে E_A এবং E_B হলে–

$$E_A = \frac{q_1}{4_\pi \in_0 r^2{}_1} \text{ - - - - - - - - - -(২)}$$

এবং $$E_B = \frac{q_2}{4_\pi \in_0 r^2{}_1} \text{ - - - -- - - - - -(৩)}$$

লব্ধির প্রাবল্য নির্ণয়ের জন্য ভেক্টর বীজগণিতের নিয়মে উপাংশের সাহায্যে বের করতে হবে।

চিত্র অনুযায়ী $\overrightarrow{E_A}$ এবং $\overrightarrow{E_B}$ পরস্পর লম্ব। সুতরাং লব্ধি $E\,\overrightarrow{A}$ প্রাবল্য $\overrightarrow{E}$ হবে E_A এবং E_B দ্বারা গঠিত আয়তক্ষেত্রের কর্ণ। এখন পীথাগোরাস সূত্র ব্যবহার করে আমরা লব্ধি প্রাবল্যের মান এবং ত্রিকোণমিতির সাহায্যে এর দিক নির্দেশক কোণ θ বের করতে পারি।



চিত্র-১.১৩

লব্ধি প্রাবল্যের মান–

$$E = \sqrt{E_A^2 + E_B^2} \text{ -----------(৪)}$$

যদি লব্ধি প্রাবল্য x অক্ষের সঙ্গে θ কোণ উৎপন্ন করে তবে–

$$\tan\theta = \frac{E_B}{E_A}$$

$$\therefore\ \theta = \tan\text{-}1\ \left(\frac{E_B}{E_A}\right) \text{ -----------(৫)}$$

উদাহরণ ঃ

উপরের চিত্রে চার্জিত বস্তু A এবং BP বিন্দুতে যথাক্রমে E_A = 4.00 N/C প্রাবল্য এবং E_B = 3.00 N/C প্রাবল্য সৃষ্টি করে। E_A এবং E_B পরস্পরের উপর লম্ব হলে P বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্যের মান ও দিক নির্ণয় করুন।

সমীকরণ (৪) ব্যবহার করে লব্ধি প্রাবল্যের মান–

$$E = \sqrt{E_A^2 + E_B^2} = \sqrt{(4.00 N/C)^2 + (3.00 N/C)^2} = 5.00 N/C$$

মনে করি X অক্ষের সঙ্গে লব্ধি প্রাবল্য θ কোণ উৎপন্ন করে, সুতরাং সমীকরণ (৫) ব্যবহার করে আমরা পাই–

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{3.00 N/C}{4.00 N/C}\right)$$

$$\cong 36.9^\circ$$

১.৪.৩ ঃ তড়িৎ বা বৈদ্যুতিক বলরেখা (Electric Field Lines)

আমরা জানি যে, তড়িৎ আধান আশেপাশের অঞ্চল জুড়ে তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে। এ তড়িৎক্ষেত্রে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে এর উপর বল ক্রিয়া করবে। যদি আধানটি মুক্ত হয় তবে এই বলের ক্রিয়ার ফলে এটি স্থির না থেকে একটি নির্দিষ্ট পথে চলবে। একক আধানটির এই চলার পথই বলরেখা। এই রেখাগুলো কাল্পনিক চৌম্বক ক্ষেত্রকে যেমন কতকগুলি রেখা দ্বারা ব্যক্ত করা হয়, তেমনি তড়িৎ ক্ষেত্রকেও কতগুলো রেখা দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এদেরকে তড়িৎ বলরেখা বলে।

সংজ্ঞা ঃ

(ক) কোন স্থির তড়িৎক্ষেত্রে একক ধনাত্মক আধানের বাধাহীন গমনপথকে বৈদ্যুতিক বলরেখা বলে।

(খ) তড়িৎ বলরেখা তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে অঙ্কিত খোলা বক্ররেখা যাদের উপর যেকোন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে এবং ঐ বিন্দুর চারপাশে একক ক্ষেত্রের উপর লম্ব তল দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা লব্ধি প্রাবল্যের মান নির্দেশ করে।

তড়িৎ বলরেখার বৈশিষ্ট্যসমূহ ঃ

তড়িৎ বলরেখার নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্যগুলো পরিলক্ষিত হয়–

(ক) তড়িৎ বলরেখা খোলা বক্ররেখা।

(খ) তড়িৎ বলরেখা ধনাত্মক আধান থেকে বের হয়ে ঋণাত্মক আধানে শেষ হয়। পরিবাহীর অভ্যন্তরে কোন বলরেখা প্রবেশ করে না।

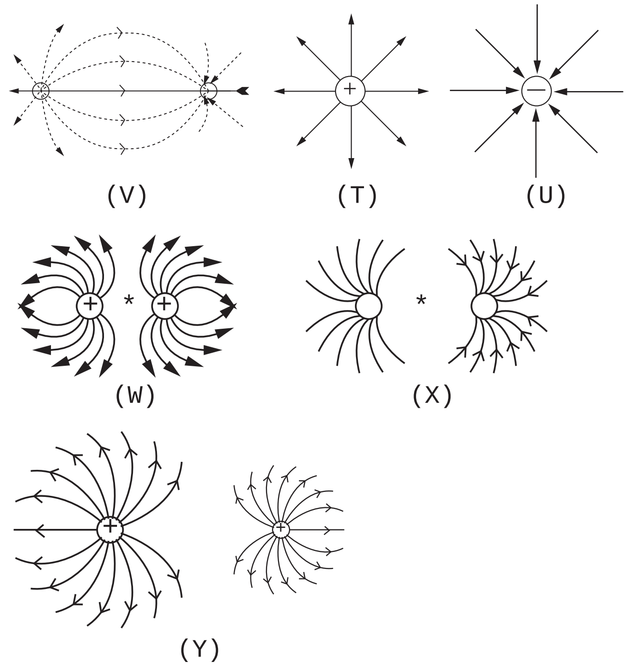
(গ) দুইটি বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করে না। কেননা ছেদ করলে ঐ বিন্দুতে বলরেখা দুইটির জন্য দুটি স্পর্শক পাওয়া যাবে; অর্থাৎ প্রাবল্যের দিক দুদিকে হবে যা অসম্ভব। কেননা প্রাবল্যের একটি মাত্র অভিমুখ থাকে।

(ঘ) বলরেখার দুই প্রান্তে সমান এবং বিপরীত আধান থাকে।

(ঙ) বলরেখাগুলি ধনাত্মকভাবে চার্জিত বা আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ থেকে লম্বভাবে বের হয় এবং ঋণাত্মকভাবে আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠের সাথে লম্বভাবে শেষ হয়।

(চ) বলরেখাগুলি দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হতে এবং পার্শ্বদিকে প্রসারিত হতে চায়। অর্থাৎ রেখাগুলি স্থিতিস্থাপকে সুতার ন্যায় আচরণ করে। এ সংকুচিত হওয়ার ধর্মের জন্য বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে। আবার পার্শ্বদিকে প্রসারিত হওয়ায় ধর্মের জন্য সমধর্মী আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

কয়েকটি তড়িৎক্ষেত্রের বলরেখার মানচিত্র চিত্র–১.১৪ এ দেখানো হলো।



চিত্র–১.১৪ (ক) একটি ধনাত্মক আধানের জন্য বলরেখার চিত্র।
(খ) একটি ঋণাত্মক আধানের জন্য বলরেখার চিত্র।
(গ) দুটি সমান ও বিপরীতধর্মী আধানের জন্য বলরেখার চিত্র।
(ঘ) দুটি ধনাত্মক সমান আধানের জন্য বলরেখার চিত্র।
(ঙ) দুটি ঋণাত্মক সমান আধানের জন্য বলরেখার চিত্র।
(চ) দুটি অসমান ধনাত্মক আধানের জন্য বলরেখার চিত্র।

১.৪.৪ ঃ তড়িৎ বল নল ও আবেশক নল

ইংরেজ বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে এবং জেম্‌স ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল তড়িৎ বলরেখারগুলোকে একটি নলের পৃষ্ঠে কতগুলো গুচ্ছের আকারে সজ্জিত কল্পনা করেন। ঐ রেখাগুচ্ছকে **বলনল** বলা হয়। এক একটি বলনল নির্দিষ্ট সংখ্যক বলরেখা দ্বারা সৃষ্ট এবং বলরেখাগুলো বলনলের উপরিতলে দৈর্ঘ্য বরাবর বিস্তৃত। বলনলের সাথে তড়িৎ প্রাবল্যের সম্পর্ক রয়েছে।

(ক) ম্যাক্সওয়েলের বল নল ঃ ম্যাক্সওয়েলের মতে $\in$ ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবক বিশিষ্ট মাধ্যমে একটি স্থির একক আধান থেকে $\frac{4\pi}{\in}$ সংখ্যক বলনল বাহির হয়। সুতরাং q স্থির তড়িৎ একক আধান থেকে $\frac{4\pi q}{\in}$ সংখ্যক বল নল নির্গত হবে। এখন r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট গোলকের কেন্দ্রে +q আধান আছে ধরা হলে সম্পূর্ণ গোলক পৃষ্ঠ থেকে $\frac{4\pi q}{\in}$ সংখ্যক বল নল নির্গত হবে।

অতএব, গোলক পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল থেকে নির্গত বল নলের সংখ্যা হবে–

$$M = \frac{4\pi q/\in}{4\pi r^2} \qquad [\in 4\pi r^2 = \text{গোলকপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল}]$$

$$\text{বা, } M = \frac{4\pi q}{4\pi \in r^2}$$

$$\text{বা, } M = 4\pi E \quad [\text{যেহেতু গোলকের তলের উপর তড়িৎ প্রাবল্য, } E = \frac{q}{4\pi \in r^2}]$$

অতএব, ম্যাক্সওয়েলের মতে তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য ঐ বিন্দুকে বেষ্টন করে একক তলভেদ করে নির্গত বল নলের সংখ্যার সমানুপাতিক।

(খ) আবেশক নল ঃ মাধ্যম যাই হোক না কেন, যদি কল্পনা করা হয় যে, একক আধান হতে 4π সংখ্যক বল নল নির্গত হয়, তবে এদেরকে আবেশক বল নল বলে। সুতরাং q আধান হতে $4\pi q$ আবেশক নল নির্গত হবে।

এখন r ব্যাসার্ধের একটি গোলকের কেন্দ্রে +q আধান আছে ধরা হলে সম্পূর্ণ গোলক পৃষ্ঠ থেকে নির্গত আবেশক নলের সংখ্যা = $4\pi q$ হবে।

এখন গোলক পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল হতে নির্গত আবেশক নল সংখ্যা,

$$= \frac{4\pi q}{4\pi r^2} \qquad [\because 4\pi r^2 = \text{গোলকের ক্ষেত্রফল}]$$

$$= \frac{q}{r^2}$$

$$= \frac{4\pi \in q}{4\pi \in r^2} \qquad [\text{নিচে এবং ওপরে } 4\pi \in \text{ দ্বারা গুণ করে}]$$

$$= 4\pi \in \times E$$

একক ক্ষেত্রের লম্বতল হতে নির্গত আবেশক বলের সংখ্যাকে তড়িৎ আবেশ বা প্রবাহ ঘনত্ব (Flux density) বলা হয়।

একে D দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore D = 4\pi \in E$$

(খ) ফ্যারাডের বল নল ঃ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যকে প্রকাশ করতে ফ্যারাডে কল্পনা করেন যে, প্রতি একক আধান হতে একটি মাত্র বলনল নির্গত হয়। অতএব q একক আধান হতে q সংখ্যক বলনল নির্গত হবে।

r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট কোন গোলকের ক্ষেত্রে q আধান থাকলে, সম্পূর্ণ গোলক পৃষ্ঠ হতে নির্গত বলনলের সংখ্যা = q।

অতএব, তলের একক ক্ষেত্রফল হতে নির্গত ফ্যারাডের বলনলের সংখ্যা

$$N = \frac{q}{4\pi r^2} \qquad [\in \text{ মাধ্যমের ডাই ইলেকট্রিক বা পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক}]$$

$$= \frac{\in \times q}{\in \times 4\pi r^2}$$

$$= \frac{q}{\in r^2} \times \left(\frac{\in}{4\pi}\right)$$

$$\text{বা, } E = \frac{1}{\in} \times N$$

সুতরাং তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য ঐ বিন্দুর চারিদিকের একক ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট লম্ব তল দিয়ে নির্গত ফ্যারাডে বল নলের সংখ্যার $\frac{4\pi}{\in}$ গুণ হবে।

এখন একক ক্ষেত্রফলের লম্ব তলের মধ্যদিয়ে নির্গত ম্যাক্সওয়েল বলনলের সংখ্যা, $\frac{q}{\in r^2}$

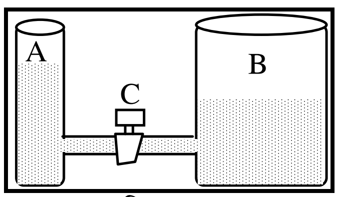
আবার, একক ক্ষেত্রফলের মধ্যদিয়ে নির্গত ফ্যারাডে বল নলের সংখ্যা = $\frac{q}{4\pi r^2}$

$\therefore$ 1 ফ্যারাডে বলনল $= \dfrac{4\pi}{\in}$ ম্যাক্সওয়েল বল নল।

১.৪.৫ ঃ তড়িৎ বিভব (Electric Potential) ঃ

ধরা যাক, একই ধরনের আধানে আহিত দুইটি পরিবাহী অন্তরক দ্বারা বিচ্ছিন্ন আছে। এবার একটি ধাতব তার দ্বারা পরিবাহী দুটিকে সংযোগ দিলে তাদের মধ্যে আধানের আদান-প্রদান হতে পারে। পরিবাহী দু'টি যদি তড়িৎ সাম্যাবস্থায় (Electric equilibrium) না থাকে তবেই আধানের আদান-প্রদান হবে। কিন্তু পরিবাহী দু'টির কোনটি হতে কোনটিতে আধান যাবে তা পরিবাহীর মোট আধানের ওপর নির্ভর করে না। নির্ভর করবে পরিবাহীদ্বয়ের তড়িৎ অবস্থার ওপর। সুতরাং যে তড়িতাবস্থা পরিবাহী দু'টির মধ্যে আধানের আদান-প্রদানের দিক নির্ধারণ করে তাকে তড়িৎ বিভব বলে। পরিবাহী দু'টির মধ্যে তড়িৎ সাম্যাবস্থা সৃষ্টি না হওয়া পর্যন্ত আধানের প্রবাহ চলতে থাকবে। যে পরিবাহীর বিভব বেশি তা থেকে কম বিভবের পরিবাহীতে ধনাত্মক আধান প্রবাহিত হবে। অন্যভাবে কম বিভবের পরিবাহী হতে বেশি বিভবের পরিবাহীতে ঋণাত্মক আধান প্রবাহিত হবে।

তরল পদার্থে উচ্চতার সাথে তড়িৎ বিভবের সাদৃশ্য ঃ



চিত্র-১.১৫

পাশের চিত্রে A ও B দুটি পাত্র একটি সংযোগ নল দ্বারা যুক্ত আছে। সংযোগ নলটি একটি স্টপ কক C-এর মাধ্যমে খোলা বা বন্ধ করা যায়। সংযোগ নল বন্ধ রেখে A ও B পাত্রে পানি ঢালা হয়। A পাত্রের ব্যাস কম থাকায় এতে অল্প পরিমাণ পানি ঢালা হলে পানির উচ্চতা অধিক হবে। B পাত্রে অধিকতর পানি ঢালা হলেও পানির উচ্চতা কম থাকবে। এখন স্টপ কক C খুলে দিলে A পাত্র থেকে B পাত্রে পানি প্রবাহিত হবে।

উভয় পাত্রের পানির উচ্চতা সমান হওয়া পর্যন্ত এই প্রবাহ চলতে থাকবে। পানি কোনদিক থেকে কোন দিকে প্রবাহিত হবে তা নির্ভর করে পানির উপরিতলের উচ্চতার উপর। একইভাবে দুইটি পরিবাহীর মধ্যে চার্জের প্রবাহ নির্ভর করে তাদের বিভব বৈষম্যের উপর, কোন পরিবাহীর বিভব বেশি তার উপর।

তড়িৎ বিভবের তিনটি সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে।

(১) বিভব হচ্ছে আহিত পরিবাহীর তড়িৎ অবস্থা যা অন্য পরিবাহীর সঙ্গে তড়িৎগতভাবে সংযোগ দিলে আধান আদান-প্রদান করবে কিনা তা এবং প্রবাহের দিক নির্ণয় করে।

(২) অসীম দূর হতে একটি একক ধনাত্মক আধানকে কোন তড়িৎ ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয় তাকে তড়িৎক্ষেত্রের ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে।

(৩) তড়িৎক্ষেত্রের যেকোন বিন্দুতে স্থাপিত একক আধানে যে পরিমাণ বিভব শক্তি নিহিত থাকে তাকে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ বিভব বলে। তড়িৎ বিভব V দ্বারা প্রকাশ করা হয়। P বিন্দুতে স্থাপিত q আধানে যদি V_p বিভব শক্তি নিহিত থাকে, তবে P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব।

$$V = \frac{Vp}{q} \text{ ----------(5)}$$

মনেকরি, কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভব = V। অতএব, উপরের দ্বিতীয় সংজ্ঞা অনুসারে অসীম বা বহুদূর হতে একক ধনচার্জকে ঐ বিন্দুতে আনতে V পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হবে। এখন যদি q পরিমাণ আধানকে বহুদূর হতে ঐ বিন্দুতে আনা হয়, তবে কাজের পরিমাণ হবে,

কাজ = বিভব × আধান

অর্থাৎ, $w = V \times q$

বা, $V = \dfrac{w}{q}$ ------------(৬)

অর্থাৎ, বিভব = $\frac{\text{কাজ}}{\text{আধান}}$

আমরা জানি, কাজ বা শক্তি অদিক রাশি। সুতরাং বিভব অদিক রাশি। কিন্তু বিভবের চিহ্ন (sign) আছে। তড়িৎ বলের বিরুদ্ধে কাজ সম্পাদিত হলে বিভব ধনাত্মক। অর্থাৎ ধনাত্মক চার্জের জন্য বিভব ধনরাশি। আবার তড়িৎ বল দ্বারা কাজ করা হলে বিভব ঋণাত্মক রাশি। যেমন ঋণাত্মক আধানের ক্ষেত্রে বিভব ঋণ রাশি হবে।

বিভবের একক ঃ এস.আই (SI) বা ব্যবহারিক একক ঃ সমীকরণ (5) ও (6) হতে পাই

$$V = \frac{Vp}{q}$$

আবার, $V = \frac{w}{q}$

এখন SI পদ্ধতিতে Vp এবং w উভয়েরই একক জুল এবং আধানের একক কুলম্ব। সুতরাং SI বা ব্যবহারিক এককে বিভবের একক হবে জুল/কুলম্ব। একে ভোল্ট বলা হয়।

অর্থাৎ অসীম দূরত্ব হতে 1 কুলম্ব ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনতে যদি 1 জুল কাজ করতে হয়, তবে ঐ বিন্দুতে বিভব 1 ভোল্ট ধরা হয়।

$$1 \text{ ভোল্ট} = \frac{1 \text{ জুল}}{১ \text{ কুলম্ব}}$$

সুতরাং বিভবের ব্যবহারিক একক জুল/কুলম্ব।

কোন কোন ক্ষেত্রে (বিশেষ করে পারমাণবিক এবং নিউক্লিয়ার পদার্থ বিজ্ঞানে) শক্তির একক হিসেবে ইলেকট্রন ভোল্ট (Electron volt, সংক্ষেপে ev) ব্যবহার করা হয়। দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য 1 ভোল্ট হলে এবং একটি ইলেকট্রন বিন্দুদ্বয়ের একটি থেকে অন্যটিতে গতিশীল হলে যে গতিশক্তি লাভ করে তাকে 1 ইলেকট্রন ভোল্ট বা 1ev বলে।

$$\begin{aligned} 1 \text{ ev} &= \text{একটি ইলেকট্রনের আধান} \times 1 \text{ ভোল্ট।} \\ &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ কুলম্ব} \times 1 \text{ ভোল্ট} \\ &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ জুল।} \end{aligned}$$

1 ev এর 10^6 গুণ বড় একককে মেগা ইলেকট্রন ভোল্ট সংক্ষেপে Mev বলে।

$1 \text{ Mev} = 10^6 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-13}$ জুল।

বিভব পার্থক্য (Potential Difference) ঃ

তড়িৎক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভবের পার্থক্যকে বিভব পার্থক্য বলে। অন্যভাবে বলা যায়, একটি একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে স্থানান্তর করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয় তাকে উক্ত বিন্দু দুটির মধ্যকার বিভব পার্থক্য বলে।

ধরা যাক, কোন তড়িৎক্ষেত্রের দুটি বিন্দু A ও B এবং ঐ বিন্দু দুটির বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_B। যদি $V_A > V_B$ হয়, তবে বিভব পার্থক্য হবে $V = V_A - V_B$।

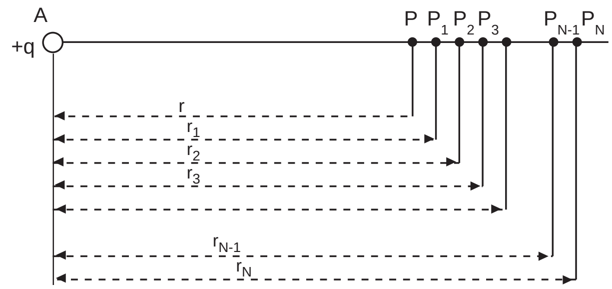
১.৪.৭ ঃ একটি বিন্দু আধানের জন্য কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভব

তড়িৎ বিভব নির্ণয়ের জন্য দুটি পদ্ধতি ব্যবহার করা যেতে পারে। যথা– (১) জ্যামিতিক পদ্ধতি এবং (২) ক্যালকুলাস পদ্ধতি।

(১) জ্যামিতিক পদ্ধতি ঃ

আমরা জানি যে, তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভব হলো অসীম দূরত্ব থেকে কোন এক একক ধনাত্মক আধানকে ঐ বিন্দুতে আনতে সম্পন্ন কাজের পরিমাণ।

মনেকরি, A একটি ক্ষুদ্র বস্তু। A বিন্দুতে +q কুলম্ব আধান আছে। বস্তুটির তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে r মিটার দূরত্বে একটি বিন্দু P লই।



চিত্র- ১.১৬

P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে। A কে P বিন্দুর সঙ্গে একটি সরলরেখা দ্বারা যুক্ত করি এবং AP সরলরেখাকে অনেক দূর পর্যন্ত বর্ধিত করি। অনেক দূরে সরলরেখার উপরে P_N একটি বিন্দু লই। A থেকে P_N এর দূরত্ব r_N ধরি। PP_N রেখাকে আমরা P_1 , P_2 , P_3 ---- P_{N-1} প্রভৃতি অনেকগুলি বিন্দু দ্বারা ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে ভাগ করি। মনে করা যাক, A থেকে ঐ বিন্দুগুলির দূরত্ব যথাক্রমে r_1 , r_2 , r_3 ---- r_{N-1} । সুতরাং P_N হতে P বিন্দু পর্যন্ত এক একক ধনাত্মক আধানকে আনতে মোট কাজের পরিমাণ হবে P_N হতে P_{N-1} , P_{N-1} হতে P_{N-2} -------P_3 হতে P_2 , P_2 হতে P_1 এবং P_1 হতে P বিন্দুতে ঐ একক ধনাত্মক আধানকে আসতে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কাজের যোগফলের সমান।

এখান q আধানের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $= \dfrac{q}{4\pi\in r^2}$ [SI এককে]

একইভাবে q আধানের জন্য P_1 বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $= \dfrac{q}{4\pi\in r^2}$

চিত্র অনুসারে যে কোন দুটি বিন্দু খুবই নিকটে বলে বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে গড় প্রাবল্যকে বিন্দুদ্বয়ের জ্যামিতিক গড়ের সমান বলে ধরা যেতে পারে।

সুতরাং গড় প্রাবল্য $= \sqrt{\dfrac{q}{4\pi\in r^2} \times \dfrac{q}{4\pi\in r_1{}^2}}$ [$\because$ a ও b জ্যামিতিক গড় $= \sqrt{ab}$]

$$= \frac{q}{4\pi\in r\, r_1}$$

সুতরাং P_1 হতে P বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধানকে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে আনতে সম্পাদিত কাজ W_1 হলে, W_1= ঐ দুবিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য = প্রাবল্য × সরণ।

$$\text{সুতরাং } W_1 = \frac{w_1 q}{4\pi\in r_1} \times [r_1 - r]$$

$$\text{বা, } W_1 = \frac{q}{4\pi\in}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right)$$

অনুরূপভাবে P_2 হতে P_1 বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধানকে আনতে কাজের পরিমাণ–

$$w_2 = \frac{q}{4\pi\in}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

একইভাবে P_3 হতে P_2, P_4 হতে P_3 -------- P_{N-1}, P_{N-2}, P_N থেকে P_{N-1} কাজের পরিমাণ হবে যথাক্রমে W_3, W_4---- W_{N-1}, W_N ।

যোগ করে আমরা মোট কাজ পাই, $W = W_1+W_2+W_3$ ---- $+W_{N-1}+W_N$

$$= \frac{q}{4\pi\in}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right) + \frac{q}{4\pi\in}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{q}{4\pi\in}\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_2}\right) + -----$$

$$+ \frac{q}{4\pi\in}\left(\frac{1}{r_{N-2}} - \frac{1}{r_{N-1}}\right) + \frac{q}{4\pi\in}\left(\frac{1}{r_{N-1}} - \frac{1}{r_N}\right)$$

$$= \frac{q}{4\pi\in}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_N}\right)$$

এখন P_N এর অবস্থান যদি অসীম দূরত্বে হয়, তবে $r_N = \propto$ সেক্ষেত্রে $\frac{1}{r_N} = \frac{1}{\propto} = 0$

অতএব, মোট কৃত কাজ, $W = \frac{q}{4\pi\in r}$ ------------(৭)

সংজ্ঞানুযায়ী অসীম দূরত্ব হতে P বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধানকে আসতে সম্পাদিত মোট কাজই P বিন্দুর তড়িৎ বিভব v।

সুতরাং $V = W = \frac{q}{4\pi\in r}$ ----------(৮)

সমীকরণ (৮) পর্যালোচনা করলে দেখা যায় যে, তড়িৎ বিভব V এর মান কেবলমাত্র P বিন্দুর অবস্থানের উপর নির্ভরশীল। কোন্ পথে একক ধনাত্মক আধানকে অসীম হতে আনা হলো সে পথের উপরে নির্ভর করে না। সংরক্ষী (Conservative) বলক্ষেত্রের এটা একটি বিশেষ গুণ।

যদি মাধ্যমটি অপরিবর্তিত থাকে এবং P হতে r_1, r_2, r_3, r_4----- দূরত্বে q_1, q_2, q_3, q_4---- আধানযুক্ত ক্ষুদ্র বস্তু থাকে তবে P বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের মান হবে নিম্নরূপ,

$$V_p = \frac{q_1}{4\pi\in r_1} + \frac{q_2}{4\pi\in r_2} + \frac{q_3}{4\pi\in r_3} + -----$$

$$= \frac{1}{4\pi\in}\sum\frac{q}{r} \quad ----- (৯)$$

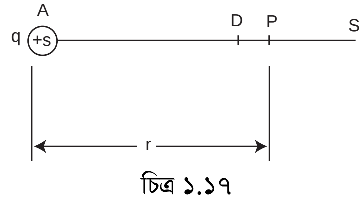
বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে

$$V = \frac{1}{4\pi\in_0}\sum\frac{q}{r} \quad ----- (১০)$$

কেননা, $\in = \in_0 \in_r$,
কিন্তু শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে
$\in_r = 1, \therefore \in = \in_0$

(২) ক্যালকুলাস পদ্ধতি ঃ

ধরি $\in$ ডাই ইলেকট্রিক ধ্রুবক বা পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক বিশিষ্ট মাধ্যমে A একটি বিন্দু। এ বিন্দুতে +q ধনাত্মক বিন্দু আধান আছে। q আধানের তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে A থেকে r দূরত্বে P একটি বিন্দু। P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় করতে হবে। AP যোগ করে S পর্যন্ত বর্ধিত করা হল।



চিত্র ১.১৭

P বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে এর ওপরে ক্রিয়াশীল বল হবে,

$$F = \frac{q \times 1}{4\pi \in r^2} = \frac{q}{4\pi \in r^2}$$

এবং বলের দিক হবে PS বরাবর। মনে করা যাক P বিন্দুর বিভব V।

P থেকে খুবই সামান্য দূরত্ব dr এ একটি বিন্দু D। এখন এই একক আধানকে A বিন্দুর দিকে D তে আনতে কৃত কাজের পরিমাণ P এবং D বিন্দুর বিভব পার্থক্য dV এর সমান।

$\therefore$ dv = বল ×বলের দিকে সরণের উপাংশ।

$= F \times dr \cos 180°$ [এক্ষেত্রে বল এবং সরণ বিপরীতমুখী হওয়ায় উহাদের অন্তর্ভুক্ত কোণ 180°]

$$\therefore dv = -\frac{qdr}{4\pi \in r^2} \quad \text{---(10)}$$

এখন অসীম দূরত্বে বিভব শূন্য অর্থাৎ $r = \infty$ হলে $V = 0$ এবং P বিন্দুতে বিভব V অর্থাৎ দূরত্ব $r = r$ হলে বিভব = V। এই সীমার মধ্যে সমীকরণ (10) কে সমাকলন করে পাই,

$$\int_o^v dv = -\int_\infty^r \frac{q}{4\pi \in r^2}\, dr = -\frac{q}{4\pi \in} \int_\infty^r \frac{dr}{r^2}$$

বা, $$[V]_o^V = -\frac{q}{4\pi \in}\left[-\frac{1}{r}\right]_\infty^r$$

বা, $$V - 0 = -\frac{q}{4\pi \in}\left(-\frac{1}{r} + \frac{1}{\infty}\right)$$

বা, $$V = \frac{q}{4\pi \in r} \quad \text{----- (11)}$$

এটি বিভবের সমীকরণ।

শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে, $\in = \in o$

$$\therefore V = \frac{q}{4\pi \in_o r} \text{।}$$

১.৪.৮ ঃ তড়িৎ স্থিতিশক্তি (Electric potential energy)

ইতোপূর্বে বলা হয়েছে যে, তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে বিভবের মান ঐ বিন্দুতে রক্ষিত কোন একক আধানের তড়িৎ স্থিতিশক্তির মানের সমান। এখন মনে করা যাক, কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভব V, ঐ বিন্দুতে q আধান রাখলে উক্ত আধানের স্থিতিশক্তির মান হবে Vq। যদি q আধানকে V_1 কোন এক বিন্দু যেখানে বিভব V_1 হতে অন্য এক বিন্দু যেখানে তড়িৎ বিভব V_2 নিয়ে যাওয়া হয়, তবে উক্ত বিন্দুর জন্য আধানটির স্থিতিশক্তির পার্থক্য হবে $(V_1 \sim V_2)\, q$। এটা অবশ্য কৃত কাজের মানও নির্দেশ করে।

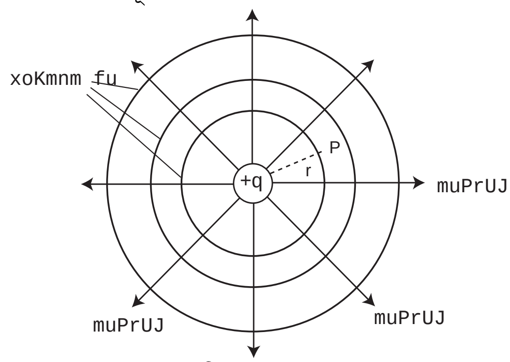
একক ঃ

SI এককে

V ভোল্ট তড়িৎ বিভব সম্পন্ন কোন বিন্দুতে q কুলম্ব আধান রাখলে উক্ত আধানের স্থিতিশক্তির মান হবে Vq জুল।

১.৪.৯ ঃ সমবিভব তল (Equipotential surface)

সমবিভব তল তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে এমন একটি তল যার সকল বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের মান সমান বা অভিন্ন থাকে। এ তলে সকল বিন্দুতে বিভবের মান সমান থাকায় একটি একক ধন আধানকে তলের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে নিতে কোন কাজের প্রয়োজন হয় না। কারণ বৈদ্যুতিক কাজ সম্পাদন করতে হলে বিন্দু দু'টির মধ্যে বিভব পার্থক্য থাকা প্রয়োজন। সমবিভব তলে বিন্দু দুটির বিভব পার্থক্যের মান শূন্য। বিভব পার্থক্য না থাকায় সমবিভব তলে তড়িৎ প্রবাহিত হয় না।



চিত্র ১.১৮

চিত্র– ১.১৮ এ একটি চার্জিত গোলীয় পরিবাহীর চারদিকে কয়েকটি সমবিভব তল দেখানো হয়েছে। সমবিভব তলগুলো গোলীয় এবং বলরেখাগুলি সমবিভব তলের সাথে অভিলম্ব হবে। চিত্রে P সমবিভব তল। P একটি পরিবাহীর কেন্দ্র থেকে r দূরত্বে অবস্থিত। পরিবাহীর কেন্দ্রে +q আধান আছে। সুতরাং P তলের উপরে সব বিন্দুতে বিভবের মান $= \dfrac{q}{4\pi\in r}$ ।

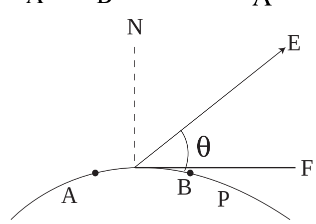
পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে, কোন চার্জিত পরিবাহীর দেহ তল সমবিভব তল।

বলরেখা সমবিভব তলকে সমকোণে ছেদ করে ঃ

প্রমাণ ঃ মরে করি, P একটি সমবিভব তল। ঐ তলে A ও B দুইটি খুব কাছাকাছি বিন্দু। বিন্দু দু'টির মধ্যে তড়িৎক্ষেত্রের গড় প্রাবল্য $\overrightarrow{E}$ তলের সঙ্গে θ কোণে আনত (চিত্র ১.১৯)। আমরা জানি যে, বলরেখা প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে। এবার একটি ধনাত্মক আধানকে A বিন্দু থেকে B বিন্দুতে আনতে কৃত কাজের পরিমাণ হবে $= E\cos\theta \times AB$

আবার, কৃতকাজ = বিন্দু দু'টির বিভব পার্থক্য।

এখন A ও B বিন্দুতে যদি বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B হয়, তাহলে $V_A - V_B = E\text{Cos}\,\theta \times AB$



চিত্র–১.১৯

কিন্তু আমরা শুরুতেই বলেছি যে, তলটি সমবিভব তল।

সুতরাং $V_A - V_B$

$$\therefore E\text{Cos}\,\theta \times AB = 0$$

এখন, $E \neq 0$ এবং $AB \neq 0$। কাজেই $\text{Cos}\theta = 0$

অর্থাৎ $\theta = 90^\circ$।

সুতরাং প্রমাণিত হচ্ছে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য সর্বদাই সমবিভব তলের অভিলম্ব অবস্থানে থাকবে। অর্থাৎ বলরেখাগুলি চার্জিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ থেকে অভিলম্বভাবে বের হয়।

সমবিভব তলের ধর্মাবলী ঃ

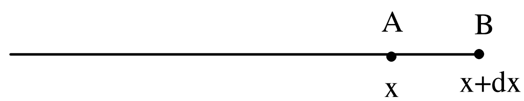
১। বলরেখা ও সমবিভব তল পরস্পরের অভিলম্বে থাকে।

২। সমবিভব তলে আধানকে স্থানান্তরিত করতে কাজ সম্পাদন করতে হয় না।

১.৪.১০ ঃ তড়িৎ বিভব এবং তড়িৎ প্রাবল্যের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between electric potential and intensity)

মনে করি তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে A ও B খুব কাছাকাছি দুইটি বিন্দু। A ও B এর অবস্থান যথাক্রমে x ও x+dx

অর্থাৎ $AB = x + dx - x = dx$



চিত্র ১.২০

মনে করি, A বিন্দুর বিভব V এবং B বিন্দুর বিভব V + dV. বিন্দু দুইটি নিকটবর্তী হওয়ায় বিন্দু একই দুইটিতে প্রাবল্য E হবে ধরা যায়। ধরি উক্ত প্রাবল্য বিন্দু দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য $V + dr - V = dV$। এখন একক ধনাত্মক আধানকে B থেকে A তে আনতে কাজের পরিমাণ = প্রাবল্য × দূরত্ব = $E \times AB = E \times dx$ কিন্তু এ কাজের পরিমাণ উক্ত বিন্দু দুটির বিভব পার্থক্যের সমান। অর্থাৎ, $Edx = dv$;

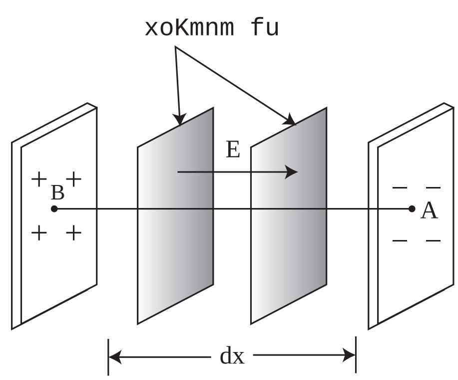
$\therefore\ E = dv/dx$

একটি একক চার্জ ঋণাত্মক প্লেট থেকে ধনাত্মক প্লেটের দিকে সরালে দূরত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে বিভব বৃদ্ধি পায়; অতএব, $\frac{dv}{dx}$ ধনাত্মক রাশি। কিন্তু তড়িৎ প্রাবল্য বিপরীতমুখী। ইহা ধনাত্মক প্লেট থেকে ঋণাত্মক প্লেটের দিকে দিক নির্দেশ করে। অর্থাৎ বিভব যেদিকে বৃদ্ধি পায় তড়িৎ প্রাবল্য তার বিপরীতমুখী। ঐ বিপরীতমুখী অবস্থা প্রকাশের জন্য বিয়োগ চিহ্ন ব্যবহার করা হয়।

$\therefore$ সুতরাং $E = -\frac{dv}{dx}$ ---- (১২)

সমীকরণ (১২) থেকে বলা যায় যে, তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুর প্রাবল্য ঐ বিন্দুতে দূরত্ব সাপেক্ষে বিভবের পরিবর্তনের হারের সমান। $\frac{dv}{dr}$ রাশিকে বিভবের নতি (potential gradient) বলা হয়।

উদাহরণ ঃ



চিত্র-১.২১

চিত্রে ক্যাপাসিটারের প্লেটদ্বয় (A ও B) 0.040m দূরে রয়েছে এবং এদের মধ্যে বিভব পার্থক্য 80V চিত্রে ছায়াবিশিষ্ট দুটি সমবিভব পৃষ্ঠ দেখানো হয়েছে যাদের মধ্যে বিভব পার্থক্য 3.0v পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় করুন।

সমাধান ঃ

সমীকরণ (১২) ব্যবহার করে ক্যাপাসিটারের প্লেটের মধ্যে প্রাবল্যের পরিমাণ পাই,

[পরিঘাত বের করার জন্য -চিহ্ন বাদ দিতে হবে]

$$E = \frac{dv}{dr}$$

$$= \frac{80v}{0.040\ m}$$

$$= ২.০ \times 10^3 v/m$$

সমবিভব (Shaded) পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব,

$$ds = \frac{dv}{E} = \frac{3.0v}{2\times10^3 v/m} = 1.5 \times 10^{-3} m$$

সারসংক্ষেপ

১। **বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র ঃ** কোন একটি চার্জিত বস্তুর চারিদিকে যে অঞ্চল জুড়ে এর প্রভাব পরিলক্ষিত হয়, তাকে ঐ চার্জিত বস্তুর বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র বলে।

২। **বৈদ্যুতিক প্রাবল্য ঃ** তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে স্থাপিত একক ধনাত্মক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বলকে উক্ত বিন্দুতে ঐ তড়িৎক্ষেত্রের বৈদ্যুতিক প্রাবল্য বলে।

৩। **বৈদ্যুতিক বলরেখা ঃ** কোন স্থির বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে একক ধনাত্মক আধানের বাধাহীন গমনপথকে বৈদ্যুতিক বলরেখা বলে। বৈদ্যুতিক বলরেখা বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের মধ্যে অঙ্কিত খোলা বলরেখা যার ওপর কোন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লব্ধি বল বা প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে।

৪। **তড়িৎ বলনল ও আবেশক নল ঃ** বৈদ্যুতিক বলরেখাগুলোকে একটি বলের পৃষ্ঠে কতগুলো গুচ্ছের আকারে সজ্জিত কল্পনা করলে ঐ রেখাগুচ্ছকে বলনল বলে। মাধ্যম যাই হোক না কেন যদি কল্পনা করা হয় যে, একক আধান হতে 4π সংখ্যক বলনল নির্গত হয়, তবে এদেরকে আবেশক নল বলে।

৫। **প্রবাহ ঘনত্ব ঃ** একক ক্ষেত্রের লম্বতল হতে নির্গত আবেশক নলের সংখ্যাকে প্রবাহ ঘনত্ব বলা হয়।

৬। **বৈদ্যুতিক বিভব ঃ** অসীম দূর হতে একটি একক ধনাত্মক আধানকে কোন তড়িৎ ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয় তাকে তড়িৎক্ষেত্রের ঐ বিন্দুর বৈদ্যুতিক বা তড়িৎ বিভব বলে।

৭। **বিভব পার্থক্য ঃ** বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভবের পার্থক্যকে বিভব পার্থক্য বলে।

৮। **ইলেকট্রন ভোল্ট (ev) ঃ** দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য 1 ভোল্ট হলে এবং একটি ইলেকট্রন মুক্তভাবে এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে গতিশীল হলে যে গতিশক্তি লাভ করে তাকে 1 ইলেকট্রন ভোল্ট বা 1ev বলে।

৯। **সমবিভব তল ঃ** যে চার্জিত তলের প্রতিটি বিন্দুর বিভব সমান তাকে সম বিভব বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন–৪

নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। চার্জিত ফাঁপা গোলাকার পরিবাহীর অভ্যন্তরে কি হয়?

(ক) প্রাবল্য শূন্য

(খ) প্রাবল্য শূন্য অপেক্ষা বেশি

(গ) প্রাবল্য শূন্য অপেক্ষা কম

(ঘ) বিভব বেশি।

২। বৈদ্যুতিক প্রাবল্য একটি–

(ক) স্কেলার রাশি (ঘ) অনুপাত

(গ) ভেক্টর রাশি (ঘ) পূর্ণসংখ্যা।

৩। নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভবের দিকে সঞ্চালিত হয়–

(ক) ধনাত্মক চার্জ (খ) ঋণাত্মক চার্জ

(গ) নিরপেক্ষ বস্তু (ঘ) ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক উভয় ধরনের চার্জ।

৪। এক ইলেকট্রন ভোল্ট সমান–

(ক) 10^{8} e.m.u (খ) 3×10^{10} e.m.u

(গ) 1.6×10^{-19} জুল (ঘ) 300 ভোল্ট।

৫। বিভব, কাজ ও চার্জের মধ্যে কোন সম্পর্কটি প্রযোজ্য?

(ক) বিভব = $\frac{\text{চার্জ}}{\text{কাজ}}$ (খ) বিভব = $\frac{\text{কাজ}}{\text{চার্জ}}$

(গ) বিভব = কাজ × চার্জ (ঘ) বিভব ×কাজ = চার্জ।

৬। কোন বিন্দুতে +q চার্জ রাখা হলে ঐ বিন্দু হতে r দূরত্বে বিভবের মান কত?

(ক) $\frac{q}{4\pi\in r^2}$ (খ) $4\pi\in qr$

(গ) $q^2/4\pi\in r$ (ঘ) $q/4\pi\in r$

৭। বৈদ্যুতিক প্রাবল্য ও বৈদ্যুতিক বিভবের মধ্যে সম্পর্ক কোনটি?

(ক) $E = \frac{dv}{dr}$ (খ) $E = -\frac{dv}{dr}$

(গ) $E = \frac{d^2v}{dr^2}$ (ঘ) $V = \frac{dE}{dr}$

পাঠ ৫ তড়িৎ ধারক ও ধারকত্ব

উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- ধারকত্ব কাকে বলে বলতে পারবেন;
- ধারকত্বের বিভিন্ন একক এবং এদের মধ্যে সম্পর্ক বলতে পারবেন;
- অন্তরিত গোলকের ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবেন;
- পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবেন;
- পরিবাহীর ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল বলতে ও ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- চার্জিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তির রাশিমালা বের করতে পারবেন;
- ধারক কি বলতে ও ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- সমান্তরাল পাত ধারক কাকে বলে, এর কার্যনীতি ব্যাখ্যা এবং এর ধারকত্বের সংজ্ঞা দিতে পারবেন;
- কোন কোন বিষয়ের ওপর ধারকের ধারকত্ব নির্ভর করে বর্ণনা দিতে পারবেন;
- মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক প্রবেশ্যতার সংজ্ঞা দিতে পারবেন। এর রাশিমালার সমীকরণ লিখতে পারবেন;
- ধারকের বিভিন্ন প্রকার সংযোজন বর্ণনা করতে এবং সংযোজনের তুল্য ধারকত্বের রাশিমালা বের করতে পারবেন;
- চার্জিত ধারকের তড়িৎক্ষেত্রে সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা লিখতে এবং সমীকরণ প্রতিপাদন করতে পারবেন।

১.৫.১ ঃ ধারকত্ব

তাপ বিজ্ঞানের আলোচনায় আমরা জেনেছি যে, কোন বস্তুর তাপধারণ করার একটা নির্দিষ্ট ক্ষমতা আছে। একে বস্তুটির তাপ ধারকত্ব বা তাপ গ্রহীতা বলে। কোন বস্তুর তাপমাত্রা $1^{\circ}C$ বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন হয় তাকে ঐ বস্তুর তাপগ্রহীতা বলে। সব বস্তুর তাপধারণ ক্ষমতা এক নয়। সেরূপ কোন পরিবাহীরও তড়িৎ গ্রহণ করার নির্দিষ্ট একটি ক্ষমতা আছে। পরিবাহীটির তড়িৎ গ্রহণ বা ধারণ করার নির্দিষ্ট ক্ষমতাকে তার তড়িৎ ধারকত্ব সংক্ষেপে ধারকত্ব বলে।

আমরা জানি কোন পরিবাহীতে আধানের পরিমাণ বৃদ্ধি করলে এর তড়িৎ বিভব বেড়ে যায়। একক তড়িৎ বিভব বৃদ্ধি করতে কোন পরিবাহী যে পরিমাণ আধান গ্রহণ করে বা প্রয়োজন হয় তা দ্বারা পরিবাহীটির ধারকত্ব পরিমাপ করা হয়।

মনে করা যাক, একটি পরিবাহীতে Q পরিমাণ আধান যুক্ত করায় এর বিভব V হল। সুতরাং আমরা লিখতে পারি,

$$Q \propto V$$

$\therefore\ Q = CV$, এখানে C একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক।

C কে পরিবাহীর ধারকত্ব বলে।

অতএব, আধান $=$ ধারকত্ব $\times$ বিভব

এখন $V = 1$ একক হলে সমীকরণ (1) থেকে পাই,

$$Q = C$$

অর্থাৎ কোন পরিবাহীর বিভব এক একক বৃদ্ধি করতে যে, পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয়, তাকে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব বলে।

কোন পরিবাহীতে একক আধান দিলে যদি এর একক বিভব বৃদ্ধি হয় তবে পরিবাহীটির ধারকত্ব এক একক বলা হয়। এস. আই বা mks পদ্ধতিতে ধারকত্বের একক ফ্যারাড (Farad) বা সংক্ষেপে F।

$$\text{এক ফ্যারাড} = \frac{\text{এক কুলম্ব}}{\text{এক ভোল্ট}}$$

অর্থাৎ কোন পরিবাহীর বিভব 1 ভোল্ট বাড়াতে যদি 1 কুলম্ব আধানের প্রয়োজন হয় তবে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব 1 ফ্যারাড (F) বলে।

ফ্যারাড ধারকত্বের ব্যবহারিক একক হিসেবে খুবই বড়। এ কারণে কার্যক্ষেত্রে ছোট একক অর্থাৎ ফ্যারাডের ভগ্নাংশ, ব্যবহার করা হয়। মাইক্রো ফ্যারাড বা পিকো ফ্যারাড ফ্যারাডের ভগ্নাংশ। এগুলো ছোট একক।

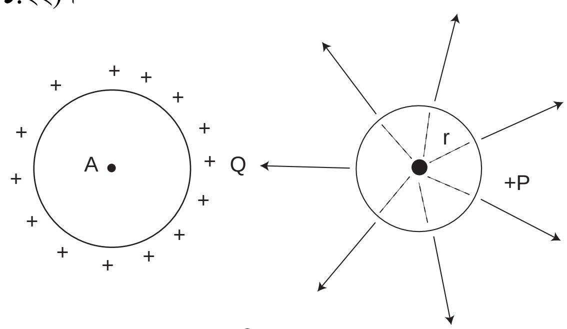
1 মাইক্রো ফ্যারাড (μF) = 10^{-6} ফ্যারাড

এবং 1 পিকো ফ্যারাড (IPF) = 10^{-12} ফ্যারাড

বিচ্ছিন্ন গোলকের ধারকত্ব (Capacitance of an isolated sphere)

ধরা যাক, A একটি গোলক। গোলকটির ব্যাসার্ধ r এবং উহা +Q আধানে আহিত। গোলকটি আন্তরিত ভাবে k তড়িৎ মাধ্যমাংক বিশিষ্ট মাধ্যমে স্থাপিত। গোলকটির ধারকত্ব নির্ণয় করতে হবে।

আমরা জানি যে, গোলকে প্রদত্ত আধান গোলকের পৃষ্ঠে সর্বত্র সুষমভাবে ছড়িয়ে পড়ে। ফলে তড়িৎ বলরেখাগুলো গোলকের পৃষ্ঠ হতে লম্বভাবে সকল দিকে নির্গত হয়। বলরেখাগুলোকে পৃষ্ঠ থেকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এগুলো গোলকটির কেন্দ্রে মিলিত হয়েছে (চিত্র–১.২২)।



চিত্র-১.২২

সুতরাং গোলকটির পৃষ্ঠ বা বাহিরে বিভব নির্ণয় কালে সমগ্র আধানকে গোলকের কেন্দ্রে ঘনীভূত ধরা যেতে পারে। অতএব, গোলকটির পৃষ্ঠে বিভবের পরিমাণ–

$$V = \frac{Q}{Kr}$$

বা, $Q = Kvr$ ----(1)

সংজ্ঞা অনুসারে গোলকটির ধারকত্ব

$$C = \frac{Q}{V}$$

বা, $Q = CV$ -----(2)

সমীকরণ (1) ও (2) হতে পাই $C = Kr$

C কোন পরিবাহীর আকার, মাধ্যমের প্রকৃতি এবং নিকটস্থ অন্য বস্তুর উপস্থিতির উপরে নির্ভর করে।

পরিবাহীটি যদি শূন্য বা বায়ু মাধ্যমের পরিবর্তে অন্য কোন পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক ($\in$) সম্পন্ন মাধ্যমে স্থাপন করা হয় তবে উহার ধারকত্ব $\in$ গুণ বৃদ্ধি পাবে।

অর্থাৎ $C^1 = \in C$

C দ্বারা বায়ু বা শূন্য মাধ্যম পরিবেষ্টিত অবস্থায় অন্তরিত চার্জিত পরিবাহীর ধারকত্ব বুঝায়।

$KVr = CV$

বা, $C=Kr$ -------- (3)

পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের আপেক্ষিক আবেশ্যতা (Dictetive constant) $\in$ হলে এস.আই (SI) এককে $k = 4\pi\in_O\in r$

$\therefore\ C = 4\pi\in_O\in r$ ------- (4)

মাধ্যমটি বায়ু হলে বা শূন্য হলে আমরা জানি $\in=1$

সুতরাং সেক্ষেত্রে $C = 4\pi\in_O r$ -------- (5)

সমীকরণ (4) এবং (5) গোলকের ব্যাসার্ধ এবং ধারকত্বের মধ্যে যথাক্রমে ডাই ইলেকট্রিক এবং বায়ু মাধ্যমে সম্পর্ক প্রকাশ করে।

উদাহরণ ঃ পৃথিবী একটি গোলক এবং এর চতুর্পাশ্বস্থ মাধ্যম বায়ু হলে এর ধারকত্ব বের করুন। $\in o = 8.85\times10^{-12}$ ফ্যারাড/মিঃ এবং পৃথিবীর ব্যাসার্ধ, $r = 6.4 \times 10^6$ মিটার।
সমীকরণ (5) থেকে আমরা পাই,

$$C = 4\pi\in_o r$$
$$= 4\times3.14\times8.85\times10^{-12}\times6.4\times10^6$$
$$= (4\times3.14\times8.85\times6.4)\times10^{-6}$$
$$= 711.4\times10^{-6}\ F$$
$$= 711.4\ \mu F \quad [1\ \mu F = 10^{-6} F\ ]$$

১.৫.২ ঃ বিভিন্ন বিষয়ের উপর পরিবাহীর ধারকত্বের নির্ভরশীলতা ঃ আমরা জানি, ধারকত্ব, $C = \dfrac{Q}{V}$ । নির্দিষ্ট পরিবেশে একটি পরিবাহীর ধারকত্ব নির্দিষ্ট। পরিবাহীর আধান Q অপরিবর্তিত থাকলেও কয়েকটি কারণে বিভবের পরিবর্তন হয়। এখন যে, সমস্ত কারণে পরিবাহীর বিভব পরিবর্তিত হয়, একই কারণসমূহের জন্য পরিবাহীর ধারকত্বেরও পরিবর্তন হয়। কারণগুলো হলো (১) পরিবাহীর ক্ষেত্রফল, (২) পরিবাহীর চতুর্পাশ্বস্থ মাধ্যম এবং (৩) অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্য।

(১) **পরিবাহীর ক্ষেত্রফল ঃ** পরিবাহীর ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পেলে এর বিভব কমে যায় ফলে পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। সমীকরণ (4) এ আমরা একটি গোলকের ব্যাসার্ধ এবং ধারকত্বের সম্পর্ক $C=Kr$ দেয়া আছে। এখন r বৃদ্ধি পেলে গোলকের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পাবে এবং এর ফলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে। এটা শুধু গোলাকার বস্তু নয়, যে কোন বস্তুর বেলায়ই প্রযোজ্য।

(২) **পরিবাহীর চতুর্পাশ্বস্থ মাধ্যম ঃ** পরিবাহীকে বেষ্টনকারী মাধ্যমের তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কের মান বৃদ্ধি পেলে এর বিভব কমে যায়। ফলে ধারকত্ব বেড়ে যাবে। গোলাকার বস্তুর ধারকত্বের উপরের সমীকরণ (4) থেকেও আমরা দেখি যে, K বৃদ্ধি পেলে C বৃদ্ধি পাবে। সুতরাং পরিবাহী বেষ্টনকারী মাধ্যমের উপর ধারকত্ব নির্ভরশীল।

(৩) **অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্য ঃ** কোন চার্জিত বা আহিত পরিবাহীর নিকট অন্য কোন আহিত বা অনাহিত পরিবাহী আনলে পরীক্ষাধীন পরিবাহীর ধারকত্বের হ্রাস বা বৃদ্ধি ঘটে। ধরাযাক, পরীক্ষাধীন আহিত পরিবাহীর নিকট একটি অনাহিত পরিবাহী আনা হলো। তড়িৎ আবেশের ফলে অনাহিত পরিবাহীর নিকটবর্তী স্থানে বিপরীত আধান আবিষ্ট হবে। এতে পরীক্ষাধীন পরিবাহীর বিভব কমবে, ফলে ধারকত্ব বাড়বে।

অর্থাৎ পরীক্ষাধীন আহিত পরিবাহীর নিকটে সমজাতীয় আধানে আহিত পরিবাহীর উপস্থিতির জন্য ধারকত্ব কমে আর বিপরীতধর্মী আধানে আহিত পরিবাহীর জন্য ধারকত্ব বাড়ে।

১.৫.৩ ঃ আহিত বা চার্জিত পরিবাহীর স্থিতি শক্তি (Potential energy of a charged conductor)

কোন পরিবাহীকে আহিত বা চার্জিত করলে তাতে শক্তি সঞ্চিত হয়, এ শক্তি স্থিতিশক্তি। সঞ্চিত এ স্থিতিশক্তির উৎস নিম্নরূপ–

কোন পরিবাহীতে প্রথম আধান প্রদানের সময় প্রথমে যে আধান পরিবাহীতে যায় সেগুলো পরবর্তীতে পরিবাহীকে প্রদত্ত আধানকে বিকর্ষণ করে (যেহেতু আধানগুলো সমধর্মী)। আধান প্রদানের জন্য এ বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কিছু কাজ করতে হয়। যে পরিমাণ কাজ করতে হয় তাই পরিবাহীতে শক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে।

কোন পরিবাহীতে আধান দিলে উহার বিভবের পরিমাণ শূন্য হতে ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পেয়ে একটি নির্দিষ্ট মানে উপনীত হয়। মনে করা যাক একটি পরিবাহীতে Q একক আধান দেয়ার এর বিভব শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে V হলো। ধরি, আহিত করণের সময় কোন মুহূর্তে পরিবাহীতে আধানের পরিমাণ q একক এবং বিভব V একক। পরিবাহীটির ধারকত্ব C একক হলে আমরা জানি, $V = \frac{q}{C}$ হবে।

এ অবস্থায় পরিবাহীটিতে আরও dq একক আধান দিলে সংজ্ঞানুসারে বিকর্ষণ বলের বিপক্ষে সম্পাদিত কাজ, $dw = Vdq$

[dq আধান এতই ক্ষুদ্র যে এর সংযুক্তির ফলে বিভবের পরিবর্তন হয় না বলে ধরা যায়]

কিন্তু আমরা জনি, $q = CV$

বা, $dq = CdV$

$\therefore\ dW = CdV$ ------ (1)

পরিবাহীটিকে শূন্য থেকে V বিভবে আহিত করতে মোট কাজের পরিমাণ W আমরা সমীকরণ (1) কে সমাকলন করে পেতে পারি। অর্থাৎ

$$W = \int_o^V CVdV = \frac{1}{2}\ C\,[V^2]_o^V$$

$$= \frac{1}{2}\ CV^2 \text{ ------- (2)}$$

এ কৃত কাজ পরিবাহীটিতে স্থিতিশক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে।

এখন, $C = \frac{Q}{V}$

$$\therefore\ W = \frac{1}{2}\frac{Q}{V}\cdot V^2 = \frac{1}{2}\ QV \text{ ------- (3)}$$

$V = \frac{Q}{C}$ বসিয়ে আমরা পাই

$$W = \frac{1}{2}\ C\left(\frac{Q}{C}\right)^2 = \frac{1}{2}\ C\,\frac{Q^2}{C^2}$$

$$= \frac{1}{2}\ \frac{Q^2}{C} \text{ ---------- (4)}$$

অর্থাৎ একটি আহিত ধারকে মোট শক্তির পরিমাণ–

$$W = \frac{1}{2}\ \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}\ QV = \frac{1}{2}\ CV^2$$

সমীকরণ (2), (3), (4) সঞ্চিত শক্তির মাত্রার রাশি প্রকাশ করে।

এস আই (SI) পদ্ধতিতে Q,C,V এর একক যথাক্রমে কুলম্ব, ফ্যারাড ও ভোল্ট। স্থিতি শক্তির একক জুল হবে।

১.৫.৪. ধারক (Condenser)

আমরা জানি যে, সাধারণত একটি পরিবাহীর আধান ধারণ করার একটা নির্দিষ্ট ক্ষমতা আছে। ক্ষমতার অতিরিক্ত আধান দিলে পরিবাহী থেকে আধান ক্ষরিত হতে থাকে। যদি পরিবাহীর বিভব কোন পন্থায় কিছুটা হ্রাস করা যায়, তবে আধান ক্ষরণ বন্ধ হয় এবং পরিবাহীটি অতিরিক্ত কিছু আধান ধরে রাখার ক্ষমতা অর্জন করে, ফলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। ধারক হচ্ছে ধারকত্ব বৃদ্ধি করার একটি যান্ত্রিক ব্যবস্থা।

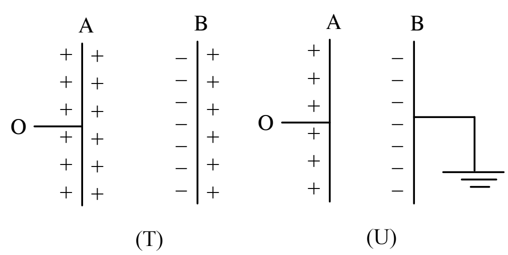
সুতরাং, যে যান্ত্রিক ব্যবস্থায় কোন একটি পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি করা যায় তাকে ধারক বলে। সাধারণত একটি অন্তরিত ও অপর একটি ভূ-সংযুক্ত পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু বা অন্য কোন পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম পূর্ণ করে অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি করা হয়।

সমান্তরাল পাত ধারক ঃ

গঠন ঃ সমান্তরাল পাত ধারকে দুটি সমান্তরাল পাত A ও B থাকে। পাতদ্বয়ের দূরত্ব খুব সামান্য হয় এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু বা অন্য কোন পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম থাকে।

কার্যনীতি ঃ ধরা যাক A একটি অন্তরিত পরিবাহী, একে একটি তড়িৎ উৎপাদন যন্ত্রের সঙ্গে সংযুক্ত করে ধনাত্মক আধানে পূর্ণভাবে আহিত করা হলো। মনেকরি, এর বিভব +V হলো। একই রকমের অন্য একটি অনাহিত বা অচার্জিত পরিবাহী B কে A থেকে একটু দূরে স্থাপন করা হলো। তড়িৎ আবেশের ফলে B পরিবাহীর যে প্রান্ত A এর নিকটবর্তী সে প্রান্তে ধনাত্মক আধান এবং দূরবর্তী প্রান্তে ধনাত্মক আধান আবিষ্ট হবে (চিত্র–১.২৩(ক)] B পরিবাহীর ঋণাত্মক আধান A পরিবাহীর বিভব কমিয়ে দিতে চেষ্টা করে। আবার B পরিবাহীর দূর প্রান্তের আবিষ্ট ধনাত্মক আধান A পরিবাহীর বিভব বাড়াতে চেষ্টা করে। এখন B পরিবাহীর ঋণাত্মক প্রান্ত A এর নিকটবর্তী হওয়ায় এর প্রভাব A এর উপর বেশি।

সুতরাং A এর বিভব কিছুটা হ্রাস পাবে। আমরা জনি, $C = \frac{Q}{V}$; সুতরাং বিভব কিছুটা হ্রাস পাওয়ায় C অর্থাৎ ধারকত্ব বাড়ে। A পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাওয়ায় এর আধান ধারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।



চিত্র-১.২৩

B পরিবাহীকে ভূ-সংযুক্ত করলে পৃথিবী পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন বা ঋণাত্মক আধান এসে এর ধনাত্মক আধান নিষ্ক্রিয় করবে। [চিত্র– ১.২৩(খ)]। ফলে A পরিবাহীর বিভব আরো কমে যাবে।

স্বাভাবিকভাবে এর ধারকত্ব আরো বেড়ে যাবে। ফলে তড়িৎ উৎপাদক যন্ত্র থেকে A পরিবাহী আরো অধিক পরিমাণে আধান গ্রহণ করতে পারবে। ভূ-সংযুক্ত হওয়া একান্ত প্রয়োজনীয় নয়, তবে হলে এর কার্যকারিতা বাড়ে। এবার B কে যদি A এর আরো কাছে সরিয়ে আনা হয় তবে A এর বিভব আরো কমবে এবং ফলে ধারকত্ব আরো বেড়ে যাবে। পরিবাহীদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু ছাড়া অন্য কোন অন্তরক পদার্থ রাখলেও ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

ধারকের ধারকত্ব ঃ ধারকের দুই পরিবাহীর মধ্যে একক বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করতে অন্তরিত পরিবাহীতে যে পরিমাণ আধান প্রদান করতে হয় তাকে ধারকের ধারকত্ব বলা হয়।

$$\therefore C = \frac{Q}{V} = \frac{\text{অন্তরিত পরিবাহীর আধান}}{\text{দুই পরিবাহীর মধ্যে বিভব পার্থক্য}}$$

কোন ধারকের ধারকত্ব নির্ভর করে (ক) দুই পরিবাহীর আকার আকৃতি (খ) পরিবাহী দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং (গ) দুই পরিবাহীর মধ্যবর্তী মাধ্যমের ওপর।

(ক) পরিবাহীদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং অন্তরক মাধ্যমের প্রকৃতি ঠিক রেখে এদের আয়তন কম/বেশি করলে ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে কম/বেশি হবে।

(খ) আবার পরিবাহীদ্বয়ের আয়তন ও মধ্যবর্তী অন্তরক মাধ্যমের প্রকৃতি স্থির রেখে এদের মধ্যকার দূরত্ব কম/বেশি করলে ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পাবে।

(গ) পরিবাহীদ্বয়ের আয়তন এবং দূরত্ব ঠিক রেখে মধ্যবর্তী অন্তরক মাধ্যমের পরিবর্তন করলে ধারকটির ধারকত্বের পরিবর্তন হবে। কোন নির্দিষ্ট ধারকে বায়ুর পরিবর্তে অন্য যে কোন অন্তরক মাধ্যম স্থাপন করলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে।

মাধ্যমের যে ধর্ম ধারকত্বের মানকে নিয়ন্ত্রণ করে তাকে অন্তরক মাধ্যমটির আপেক্ষিক আবেশ্যতা (Specific inductive capacity) বলে। একে মাধ্যমের পরাতড়িৎ বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকও (dielectric constant) বলে।

পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক আবেশ্যতা ঃ

পূর্বেই বলা হয়েছে যে, মাধ্যমের যে ধর্ম ধারকত্বের মানকে নিয়ন্ত্রণ করে তাকে মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক আবেশ্যতা বলা হয়।

একে $\in$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

মনে করা যাক, কোন মাধ্যমে ধারকের ধারকত্ব C এবং শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে উক্ত ধারকের ধারকত্ব Co, এখন C এবং Co এর অনুপাতকে ঐ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক আবেশ্যতা বলা হয়। অর্থাৎ $\in = \frac{C}{C_O}$ ।

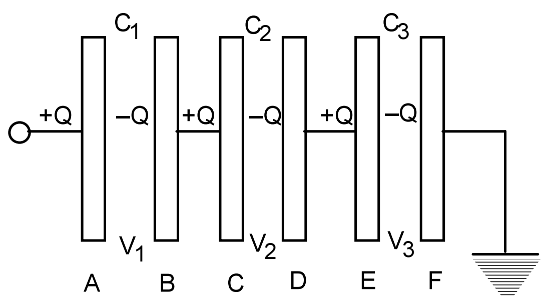
আমরা জানি, এ্যাম্বারের আপেক্ষিক আবেশ্যতা 2.7। কোন ধারকে বায়ুর পরিবর্তে এ্যাম্বার মাধ্যম হিসাবে ব্যবহার করলে উক্ত ধারকের ধারকত্ব 2.7 গুণ বৃদ্ধি পাবে।

ব্যবহৃত মাধ্যমকে পরাবিদ্যুৎ মাধ্যম (Dielectric medium) বলা হয়।

১.৫.৫. ঃ ধারকের সংযোজন ঃ

একাধিক ধারককে যুক্ত করাকে ধারকের সংযোজন বলে। সুবিধামত ধারকত্ব পাওয়ার জন্য সংযোজন করা হয়। সংযোজন দুইভাবে করা যেতে পারে যথা (১) শ্রেণী সংযোজন (Series combination) এবং (২) সমান্তরাল সংযোজন (parallel combination)।

১। শ্রেণী সংযোজন ঃ এ সংযোজনে ধারকগুলোকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাত (বা পরিবাহী) দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতের সঙ্গে, আবার দ্বিতীয় ধাকের দ্বিতীয় পাত তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতের সঙ্গে যুক্ত করা হয়। এভাবে প্রয়োজনীয় সংখ্যক ধারককে সংযুক্ত করা হয় এবং সবশেষের পাত ভূ-সংযুক্ত করা হয়। এভাবে ধারকের সংযোজন করাকে শ্রেণী সংযোজন বলে। চিত্র-১.২৪ এ তিনটি ধারক AB, CD, EF যাদের ধারকত্ব C_1 , C_2 ও C_3 এর শ্রেণী সংযোজন দেখানো হয়েছে। চিত্রে প্রথম ধারকের প্রথম পাতে কোন তড়িৎ উৎপাদক যন্ত্র থেকে +Q পরিমাণ আধান প্রদান করা হলে দ্বিতীয় পাতে -Q পরিমাণ আধান আবিষ্ট হবে। C, D, E, F পাত সমূহে যথাক্রমে +Q, -Q, +Q, -Q আধান আবিষ্ট হবে।



চিত্র-১.২৪

প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাত এবং দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাত সংযুক্ত থাকায় এদের বিভব সমান হবে। একই কারণে দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় পাত এবং তৃতীয় ধারকের ১ম পাতের বিভব সমান হবে। যদি প্রতিটি ধারকের পাতগুলোর মধ্যে বিভব পার্থক্য যথাক্রমে V_1 , V_2 , V_3 হয় তবে শ্রেণী সংযোজনের প্রথম পাত A এবং শেষ পাত F এর মধ্যে বিভব বৈষম্য–

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

আবার, $V_1 = \dfrac{Q}{C_1}$; $V_2 = \dfrac{Q}{C_2}$; $V_3 = \dfrac{Q}{C_3}$

সুতরাং, $V = \dfrac{Q}{C_1} + \dfrac{Q}{C_2} + \dfrac{Q}{C_3} = Q\left(\dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \dfrac{1}{C_3}\right)$ ----(1)

ধারকের সংযোজনের পরিবর্তে যে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে সংযোজনের বিভব পার্থক্য এবং আধানের কোন পরিবর্তন হয় না তার ধারকত্বকে তুল্য ধারকত্ব বলা হয়। এখন সমগ্র সংযোজনটি সরিয়ে A ও F এর মধ্যে C_S ধারকত্বের একটি ধারক স্থাপন করা হয় যা, Q পরিমাণ আধান গ্রহণ করে A ও F এর মধ্যে একই বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করে , তবে $C_S = \dfrac{Q}{V}$

বা, $V = \dfrac{Q}{C_S}$ ------ (2)

সমীকরণ (1) ও (2) নং সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়,

$$\frac{Q}{C_S} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right)$$

বা, $\dfrac{1}{C_S} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \dfrac{1}{C_3}$ ---------- (3)

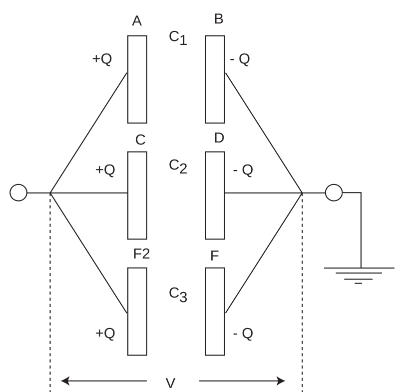
এভাবে n সংখ্যক ধারক শ্রেণী সংযোজনে সংযুক্ত করলে, তুল্য ধারকত্ব C_S এর জন্য সমীকরণ হবে-

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \text{---------} + \frac{1}{C_n}$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, শ্রেণী সংযোজনে ধারকগুলির ধারকত্বের বিপরীত মানের সমষ্টি তুল্য ধারকত্বের বিপরীত মানের সমান। শ্রেণী সংযোজনে তুল্য ধারকত্বের মান পৃথক ধারকত্বগুলোর সবচেয়ে ক্ষুদ্রতমটির মান অপেক্ষা ছোট হবে।

সমান্তরাল সংযোজন ঃ শ্রেণী সংযোজনে ব্যবহৃত তিনটি ধারককে যদি এমনভাবে সাজানো হয় যে, যাতে প্রত্যেক ধারকের পাতগুলো এক বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় পাতগুলো আর এক বিন্দুতে যুক্ত থাকে তবে ঐ ধরনের সংযোজনকে সমান্তরাল সংযোজন বলে (চিত্র–১.২৫)।

চিত্রে তিনটি ধারক AB, CD, EF যাদের ধারকত্ব যথাক্রমে C_1 , C_2 , C_3 সমান্তরাল সংযোজনে M ও N বিন্দুতে যুক্ত করা হয়েছে। এখন একটি তড়িৎ উৎপাদক যন্ত্রের সাহায্যে M বিন্দুতে +Q পরিমাণ আধান প্রদান করলে Q আধান ধারকত্ব অনুযায়ী ধারকগুলোতে ছড়িয়ে যাবে। যেহেতু সব কয়টি ধারকের ধনাত্মক পাত এক সাথে যুক্ত এবং ঋণাত্মক পাতগুলিও একসাথে যুক্ত, সুতরাং প্রত্যেক ধারকের পাতদুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য সমান হবে।



চিত্র ১.২৫

মনেকরি, C_1 , C_2 , C_3 ধারকত্বের ধারক তিনটিতে সঞ্চিত আধানের পরিমাণ যথাক্রমে Q_1 , Q_2 , Q_3 এবং M ও N বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য V।

সুতরাং

$$Q_1 = C_1 V$$

$$Q_2 = C_2 V$$

$$Q_3 = C_3 V$$

এখন $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ = প্রদত্ত আধান।

$$\therefore Q = C_1 V + C_2 V + C_3 V$$

$$= V(C_1 + C_2 + C_3) \text{ ----- } (6)$$

এখন M ও N এর মধ্যে ধারক সংযোজনের পরিবর্তে যদি C_p ধারকত্বের একটি ধারক M ও N বিন্দুর মধ্যে যুক্ত করে একই পরিমাণ আধান Q প্রদান করে উক্ত বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে একই বিভব পার্থক্য উৎপন্ন করা হয়, তবে C_p কে তুল্য ধারকত্ব বলে।

অতএব, $Q = C_p V$ ----------(7)

সমীকরণ (7) ও সমীকরণ (6) থেকে পাই,

$$C_p V = V(C_1 + C_2 + C_3)$$

বা, $C_p = C_1 + C_2 + C_3$ --------- (8)

একইভাবে n সংখ্যক ধারককে সমান্তরাল সংযোজন করলে তুল্য ধারকত্ব-

$$C_p = C_1 + C_2 + \text{ ------------- } C_n = \sum C \text{-------- } (9)$$

সুতরাং সমান্তরাল সংযোজনের তুল্য ধারকত্ব ধারকগুলোর ধারকত্বের সমষ্টির সমান। এরূপ সংযোজনে ধারকত্ব অনেক বৃদ্ধি পায়।

১.৫.৬ ঃ আহিত ধারকের তড়িৎক্ষেত্রে সঞ্চিত শক্তি (Energy stored in the field of a charged Capacitor)

একটি ধারককে আহিত করতে যে কাজ সম্পাদন করতে হয়, সে পরিমাণ শক্তি ধারকটির তড়িৎক্ষেত্রে স্থিতিশক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে যা ধারকের ক্ষরণকালে আবার ফিরে পাওয়া যায়। ধরা যাক, আহিতকরণের সময়কালে একটি ধারকের পাতদুটির মধ্যে কোন এক মুহূর্তে বিভব পার্থক্য V_o। এখন dq পরিমাণ সামান্য আধান এই ধারকে যুক্ত করতে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নিম্নরূপ,

$$dw = V_o \, dq$$

আমরা জানি, $V_o = \frac{q}{C}$, এখানে q পাতদ্বয়ে প্রদত্ত বা আবিষ্ট আাধান

এবং C ধারকের ধারকত্ব।

$$\therefore dw = \frac{q}{C} dq$$

সুতরাং ধারকটিকে Q আধানে আহিত করতে মোট সম্পাদিত কাজের পরিমাণ হবে–

$$\int dw = w = \int_o^Q \frac{q}{C} dq$$

$$= \frac{1}{C}\int_{o}^{Q} q\,dq$$

$$= \frac{1}{2C}\;Q^2$$

$$= \frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C^2}\;.\,C$$

$$= \frac{1}{2}\;V^2C$$

$$= \frac{1}{2}\;CV^2$$

অর্থাৎ, $w = \frac{1}{2}\;QV$

সারসংক্ষেপ	
১।	ধারকত্ব ঃ কোন পরিবাহীর বিভব এক একক বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ চার্জের বা আধানের প্রয়োজন হয় তাকে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব বলে।
২।	ফ্যারাড ঃ কোন পরিবাহীর বিভব 1 ভোল্ট বাড়াতে যদি 1 কুলম্ব আধানের প্রয়োজন হয় তবে ঐ পরিবাহীর ধারকত্বকে 1 ফ্যারাড (F) বলে।
৩।	চার্জিত পরিবাহীর শক্তির রাশিমালা– $W = \frac{1}{2}\;QV = \frac{1}{2}\;CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$
৪।	ধারকের ধারকত্ব ঃ ধারকের দু'পরিবাহীর মধ্যে একক বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করতে আন্তরিত পরিবাহীতে যে পমিরাণ আধান স্থাপন করতে হয় তাকে ধারকের ধারকত্ব বলে।
৫।	ধারক ঃ যে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ায় কোন একটি পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি করা হয় তাকে ধারক বলে।
৬।	ধারকের সংযোজন ঃ সুবিধামত ধারকত্ব লাভের জন্য ধারকগুলোর বিভিন্ন প্রকার সংযোজন যা সমবায়কে ধারকের সংযোজন বলে। সংযোজন দু'প্রকার। যথা শ্রেণী সংযোজন ও সমান্তরাল সংযোজন।
৭।	তুল্য ধারকত্ব ঃ ধারকের সংযোজনের পরিবর্তে যে একটি যন্ত্র ধারক ব্যবহার করলে সংযোজনের বিভব পার্থক্য ও আধানের পরিবর্তন হয় না তার ধারকত্বকে সংযোজনের তুল্য ধারকত্ব বলে।
৮।	আপেক্ষিক আবেশ্যতা বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক ঃ কোন মাধ্যম বিশিষ্ট ধারকের ধারকত্ব এবং বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে ঐ ধারকের ধারকত্বের অনুপাতকে ঐ মাধ্যমের আপেক্ষিক আবেশ্যতা বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন–৫

১। ধারকত্বের একক কোনটি?

(ক) কুলম্ব (খ) ফ্যারাড

(গ) ওহম (ঘ) ভোল্ট।

২। ফ্যারাড ও মাইক্রো ফ্যারাডের মধ্যে সম্পর্ক কি?

(ক) ১ ফ্যারাড = 10^6 মাইক্রোফ্যারাড

(খ) ১ ফ্যারাড = 10^3 মাইক্রোফ্যারাড

(গ) ১ ফ্যারাড = 10^{-6} মাইক্রোফ্যারাড

(ঘ) ১ ফ্যারাড = 10^{-3} মাইক্রোফ্যারাড।

৩। দু'টি সমমানের ধারককে শ্রেণীতে সংযোগ দিলে তুল্য ধাকরত্বের মান–

(ক) যে কোন একটির মানের সমান হবে

(খ) দুটি ধারকের গুণফলের সমান হবে

(গ) দুটি ধারকের মানের যোগফলের সমান হবে

(ঘ) একটি ধারকের মানের অর্ধেক হবে।

৪। 3, 4 ও 5 একক ধারকত্ব বিশিষ্ট তিনটি ধারককে সমান্তরাল সংযোগ দিলে তুল্য ধারকত্বের মান কত হবে?

(ক) 7 একক (খ) 9 একক

(গ) 8 একক (ঘ) 12 একক।

৫। সমান্তরাল ধারকের মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং পাতের ক্ষেত্রফল স্থির থাকলে পাতদ্বয়ের মাঝে কোন মাধ্যমের জন্য ধারকত্বের মান সবচেয়ে কম হবে?

(ক) শূন্য (খ) বায়ু

(গ) কাঁচ (ঘ) রাবার।

সমাধানকৃত উদাহরণ ঃ

১। 10 সে.মি. ব্যাসার্ধের একটি ধাতব গোলককে 500 একক চার্জে চার্জিত করা হল। গোলকটির চার্জের তল ঘনত্ব বের করুন।

আমরা পাই, চার্জের তল ঘনত্ব, $\sigma = \dfrac{Q}{A}$

এখানে, $Q = 500$ একক

$A = 4\pi r^2 = 4\times3.14\times10^2$ বর্গ সে.মি.

$\therefore\ \sigma = \dfrac{500}{4\times3.14\times(10)^2} = \dfrac{5}{4\times3.14} = 0.398$ একক চার্জ/বর্গ সে.মি.

২। 10 ও 15 সে.মি. ব্যাসের দু'টি ধাতব গোলকে যথাক্রমে 25 ও 35 একক চার্জ রয়েছে। গোলক দু'টির চার্জের তল ঘনত্বের অনুপাত নির্ণয় করুন।

প্রশ্নানুসারে, ১ম ধাতব গোলকের ক্ষেত্রফল $A_1 = 4\pi r_1^2$

$= 4\times3.14\times\left(\dfrac{10}{2}\right)^2$ বর্গ সে.মি.

$= 314$ বর্গ সে.মি.

২য় ধাতব গোলকের ক্ষেত্রফল $A_2 = 4\pi r_2^2$

$= 4\times3.14\left(\dfrac{15}{2}\right)^2$ বর্গ সে.মি.

$= 706.5$ বর্গ সে.মি।

১ম গোলকের তল ঘনত্ব $\sigma_1 = \dfrac{Q1}{A1} = \dfrac{25}{314}$

২য় গোলকের তল ঘনত্ব $\sigma_2 = \dfrac{Q2}{A2} = \dfrac{35}{706.5}$

সুতরাং তল ঘনত্বের অনুপাত, $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{25}{314} \div \frac{35}{706.5}$

$= 1.607$

৩। সমান আকারের দুটি ছোট গোলকে যথাক্রমে 16 ও 20 একক চার্জ রয়েছে। যদি উহারা বায়ুতে 8 সে.মি. দূরে অবস্থিত হয় তবে বলের মান নির্ণয় কর।

আমরা জনি, $F = \frac{q_1 \times q_2}{dn}$ $[\because k = 1]$

দেওয়া আছে, $q_1 = 16$ একক চার্জ

$q_2 = 20$ একক চার্জ

এবং $r = 8$ সে.মি.

$\therefore F = \frac{16\times20}{(8)^2} = \frac{16\times20}{8\times8} = 5$ একক।

৫। 15 একক চার্জ বিশিষ্ট একটি ক্ষুদ্র গোলক বায়ুতে স্থাপন করা হয়েছে। গোলকের কেন্দ্র হতে 20 সে.মি. দূরে কোন বিন্দুতে বৈদ্যুতিক প্রাবল্য নির্ণয় কর।

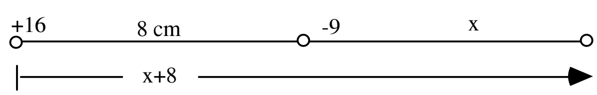
আমরা জানি, বৈদ্যুতিক প্রাবল্য, $E = \frac{q}{r^2}$ $[\because k = 1]$

এখানে, $q = 15$ একক চার্জ

$r = 20$ সে.মি

$\therefore E = \frac{15}{20\times20} = \frac{3}{80} = 0.0375$ একক।

৬। বায়ুতে 8 সে.মি. ব্যবধানে +16 একক এবং -9 একক চার্জ স্থাপন করা হল। এমন একটি অবস্থান বের কর যেখানে লব্ধি প্রাবল্য শূন্য হবে।



মনে করি, ঋণাত্মক চার্জ থেকে x সে.মি. এবং ধনাত্মক চার্জ হতে x+8 সে.মি. দূরে লব্ধি প্রাবল্য শূন্য হবে।

এখানে, 16 একক চার্জের জন্য প্রাবল্য $= -\frac{16}{(x+8)^2}$

-9 একক চার্জের জন্য প্রাবল্য $= -\frac{9}{x^2}$

শর্তানুসারে,

$\frac{16}{(x+8)^2} - \frac{9}{x^2} = o$

বা, $\frac{16}{(x+8)^2} = \frac{9}{x^2}$

বা, $\left(\frac{x+8}{x}\right)^2 = \frac{16}{9} = \left(\pm\frac{4}{3}\right)^2$

বা, $\frac{x+8}{x} = \pm\frac{4}{3}$

এখন,

$\frac{x+8}{x} = \frac{4}{3}$ হলে, $3x + 24 = 4x$ বা, $x = 24$

অথবা,

$\frac{x+8}{x} = -\frac{4}{3}$

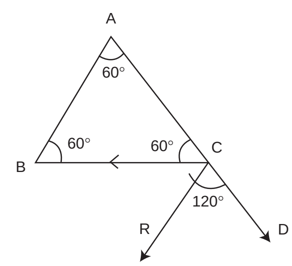
বা, $3x + 24 = -4x$

বা, $7x = -24$

$\therefore x = -\frac{24}{7} = -3.43$ সে.মি.।

কিন্তু $x = -3.43$ সে.মি. গ্রহণযোগ্য নয়। কেননা ঐ বিন্দুতে প্রাবল্যদ্বয় সমমুখী। সুতরাং চার্জ দু'টির সংযোজক রেখায় ঋণাত্মক চার্জ হতে 24 সে.মি. এবং ধনাত্মক চার্জ থেকে 32 সে.মি. দূরে লব্ধি প্রাবল্য শূন্য হবে।

৭। একটি সমবাহু ত্রিভুজের A, B এবং C তিনটি কৌণিক বিন্দু এবং এর প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য 10 সে.মি.। ত্রিভুজের A এবং B বিন্দুতে +400 একক এবং -400 একক চার্জ স্থাপন করা হল। C বিন্দুতে প্রাবল্যের লব্ধির মান ও দিক নির্দেশ কর।



মনে করি, মাধ্যম বায়ু।

$\therefore k = 1$

শর্তানুসারে+400 একক চার্জের দরুন C বিন্দুতে ACD এর দিকে প্রাবল্য (চিত্র–)

$E_1 = \frac{q}{r^2} = \frac{400}{10\times10} = 4$ একক ।

আবার -400 একক চার্জের দরুন C বিন্দুতে CB এর দিকে সৃষ্ট প্রাবল্য।

$E_2 = \frac{400}{10\times10} = 4$ একক।

প্রাবল্য দুটির মান সমান বলে C বিন্দুতে এদের লব্ধি $\angle BCD$ কে সমদ্বিখণ্ডিত করে। কিন্তু $\angle BCD = 120°$

সুতরাং C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য AB এর সমান্তরাল হবে।

$\therefore$ লব্ধি প্রাবল্য, $R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\alpha}$

$= \sqrt{4^2+4^2+2\times4\times4\times\cos120°}$

$= \sqrt{16+16+32\left(-\frac{1}{2}\right)}$

$= \sqrt{32-16} = \sqrt{16} = 4$ একক।

৮। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের মধ্যে দূরত্ব 7.2×10^{-11} মিটার। ওদের মধ্যে ক্রিয়াশীল তড়িৎ বলের মান নির্ণয় করুন। (ইলেকট্রনের চার্জ 1.6×10^{-19} কুলম্ব)

ধরি, মাধ্যম বায়ু।

ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বলের মান,

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_o r^2}$$

দেওয়া আছে, $q_1 = q_2 = 1.6\times10^{-19}$ কুলম্ব

এবং, $r = 7.2 \times 10^{-11}$ মিটার।

$$\therefore F = \frac{(1.6\times10^{-19})^2\times9\times10^9}{(7.2\times10^{-11})^2} \quad \left[\because \frac{1}{4\pi\epsilon_o} = 9\times10^9 \frac{\text{N-m}^2}{\text{C}^2}\right]$$

$$= \frac{1.6\times1.6\times9\times10^{-29}}{7.2\times7.2\times10^{-22}}$$

$$= \frac{1.6\times1.6\times9}{7.2\times7.2} \times 10$$

$\cong 4.4 \times 10^{-8}$ নিউটন।

৯। 10 মাইক্রোকুলম্ব এর একটি বিন্দু আধান হতে 3 মিটার দূরে কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের মান নির্ণয় করুন।

ধরি, মাধ্যম বায়ু।

আমরা জানি, তড়িৎ বিভব, $V = \frac{q}{4\pi\epsilon_o r}$

প্রশ্নানুসারে, $q = 10\mu C = 10^{-5}C \left[\because \frac{1}{4\pi\epsilon_o} = 9\times10^9 \frac{\text{N-m}^2}{\text{C}^2}\right]$

$r = 3m$

$$\therefore v = \frac{10^{-5}\times9\times10^9}{3}$$

$= \frac{9\times10^4}{3} = 3\times10^4$ ভোল্ট।

১০। একটি পরমাণু একটি ইলেকট্রন প্রোটন সমন্বয়ের পারস্পরিক তড়িৎ স্থিতিশক্তি নির্ণয় করুন। ইলেকট্রনের ঘুর্ণন ব্যাসার্ধ= 7.2×10^{-11} মিটার। ইলেকট্রনের আধান = 1.6×10^{-19} কুলম্ব। $\frac{1}{4\pi\epsilon_o} = 9\times10^9$ N-m^2/C^2। ফলাফল ইলেকট্রন ভোল্টে প্রকাশ করুন।

ধরি, মাধ্যম বায়ু।

আমরা জানি, তড়িৎ স্থিতিশক্তি = $\frac{q_1 q_2}{4\pi\in_o r^2}$

প্রশ্নানুসারে, $q_1 = q_2 = 1.6\times10^{-19}$ কুলম্ব।

$r2 = 7.2\times10\text{-}11$ মিটার।

$\therefore$ স্থিতিশক্তি $= \frac{(1.6\times10^{-19})2\times9\times10^9}{7.2\times10^{-11}}$

$= \frac{1.6\times1.6\times9\times10^{-29}}{7.2\times10^{-11}} = \frac{1.6\times1.6\times9\times10^{-18}}{7.2}$

$= 3.2 \times10^{-18}$ জুল।

আমরা জানি,

$1.6\times10\text{-}19$ জুল = 1ev

$\therefore$ স্থিতিশক্তি $= \frac{3.2\times10^{-18}}{1.6\times10^{-19}}$ ev

= 20 ev.

১১। ব্যাটারীর একপ্রান্ত হতে অন্য প্রান্তে 10 কুলম্ব চার্জকে পরিবাহিত করতে 100 জুল কাজের প্রয়োজন হয়। প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য কত?

মনে করি, বিভব পার্থক্য $V_A - V_B = V =$ কত?

আমরা জানি, কাজ $w = v\times q$

প্রশ্নানুসারে, $w = 100$ জুল

$q = 10$ কুলম্ব।

সুতরাং $w = v\times q$

$100 = v\times10$

বা, $v = \frac{100}{10} = 10$ ভোল্ট।

১২। একটি পরিবাহীর ধারকত্ব 25 একক। এতে কত চার্জ প্রদান করলে বিভব 40 একক হবে?

আমরা জানি, $Q = CV$

এখানে, $C = 25$ একক

এবং $V = 40$ একক

$\therefore$ $Q = 25 \times 40 = 1000$ একক।

১৩। 10 কুলম্ব চার্জকে এক স্থান হতে অন্যস্থানে নিতে কত কাজ করতে হবে, যদি বিভব পার্থক্য 400 ভোল্ট হয়।

আমরা জানি, $W = QV$

$Q = 10$ কুলম্ব।

$\therefore$ $W = 10 \times 400 = 4000$ জুল।

১৪। 8 কুলম্ব ও 400 ভোল্ট চার্জগ্রস্ত একটি পরিবাহীর বৈদ্যুতিক শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করুন।

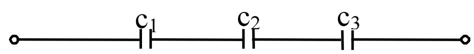
আমরা জানি, $E = \frac{1}{2} QV$

এখানে, $Q = 8$ কুলম্ব

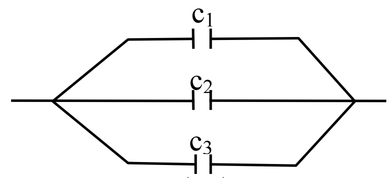
$V = 400$ ভোল্ট

$\therefore$ $E = \frac{1}{2} \times 8 \times (400) = 1600$ জুল।

১৫। তিনটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 3μ, 6μ এবং $9\mu F$। উহাদিগকে প্রথমে শ্রেণীবদ্ধ এবং পরে সমান্তরাল সংযোজনীতে সাজানো হলো। উভয় ক্ষেত্রের জন্য তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করুন এবং তুলনা করুন।



শ্রেণীবদ্ধ



সমান্তরাল

মনে করি, শ্রেণীবদ্ধ সংযোজনীর জন্য তুল্য ধারকত্ব C_s

আমরা পাই, $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

এখানে, $C_1 = 3\mu F$

$C_2 = 6\mu F$

$C_3 = 9\mu F$

$\therefore \frac{1}{C_s} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{9} = \frac{6+3+2}{18} = \frac{11}{18}$

$\therefore C_s = \frac{18}{11} \cong 1.64\ \mu F$

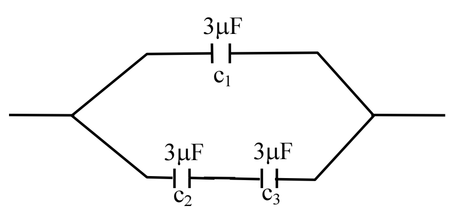
সমান্তরাল সংযোজনীর জন্য তুল্য ধারকত্ব C_P হলে,

আমরা পাই, $C_P = C_1+C_2+C_3 = 3+6+9 = 18\mu F$

তুলনা, $\frac{C_S}{C_P} = \frac{\frac{18}{11}}{18}$

$C_S : C_P = 1 : 18$

১৬। তিনটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 3μ, 4μ ও $6\mu F$। নিচের চিত্র অনুযায়ী সংযোজন হলে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করুন।



মনে করি, শ্রেণীবদ্ধতে তুল্য ধারকত্ব C_S এবং সমান্তরাল সংযোজনীতে ধারকত্ব C_P ।

আমরা পাই, $\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{3+2}{12} = \frac{5}{12}$

$\therefore Cs = \frac{12}{5}$

চিত্র অনুসারে, C_S এবং C_1 সমান্তরাল সংযোজনীতে যুক্ত। সুতরাং

$C_P = Cs + C_1 = \frac{5}{12} + 3 = \frac{5+36}{12} = \frac{41}{12}$

$= 3.42\mu F$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

রচনামূলক প্রশ্ন

১। বিভব কি? বিদ্যুৎ কত প্রকার ও কি কি?

২। ঘর্ষণে যে বিদ্যুৎ সৃষ্টি হয় তার একটি পরীক্ষা বর্ণনা করুন।

৩। চার্জিত বস্তুর মধ্যে ক্রিয়া সূত্র বিবৃত করুন।

৪। চার্জ কত প্রকার ও কি কি?

৫। পরিবাহী ও অন্তরকের মধ্যে পার্থক্য লিখ।

৬। স্থির বিদ্যুতের ইলেকট্রন মতবাদ লিখ।

৭। প্রমাণ কর যে, ঘর্ষণে একই সঙ্গে সমপরিমাণের বিপরীতধর্মী চার্জ উৎপন্ন হয়।

৮। বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্র কি? এর গঠন ও কর্মপদ্ধতি বর্ণনা করুন।

৯। চার্জের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি কিভাবে নির্ণয় করা যায় বর্ণনা করুন।

১০। সংজ্ঞা দিন ঃ বিদ্যুৎ, চার্জ, মাধ্যম, পরিবাহী, অপরিবাহী।

১১। বৈদ্যুতিক আবেশ কাকে বলে? প্রমাণ কর যে, আবেশ ক্রিয়ার ফলে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক তড়িৎ চার্জ সম পরিমাণে উৎপন্ন হয়।

১২। ইরেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে বৈদ্যুতিক আবেশ ব্যাখ্যা করুন।

১৩। প্রমাণ করুন যে, ফাঁপা পরিবাহীর ভিতর তলে কোন চার্জ থাকে না।

১৪। চার্জের তল ঘনত্ব কাকে বলে?

১৫। একটি স্বর্ণপাত বিদ্যুৎবীক্ষণ যন্ত্রকে কিভাবে আবেশ প্রক্রিয়ায় ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত করা যায়?

১৬। দুটি স্থির বিদ্যুৎ চার্জের মধ্যকার বলের সূত্রটি বিবৃত করুন এবং একক চার্জের সংজ্ঞা দিন।

১৭। চার্জের ব্যবহারিক একক কি? এর সঙ্গে স্থির বিদ্যুৎ এককের সম্পর্ক স্থাপন করুন।

১৮। বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র কাকে বলে? বৈদ্যুতিক বলরেখার সংজ্ঞা দিন এবং ইহাদের ধর্ম উল্লেখ করুন।

১৯। বৈদ্যুতিক প্রাবল্য ও বৈদ্যুতিক বিভবের সংজ্ঞা দিন। এদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করুন।

২০। বলনল ও আবেশক নলের পার্থক্য লিখ। একটি গোলীয় তলের জন্য আবেশক বলের রাশি বাহির করুন।

২১। বিভবের বিভিন্ন এককের নাম লিখ। এদের মধ্যে সম্পর্ক লিখ।

২২। চার্জের বৈদ্যুতিক কোন বিন্দু চার্জের জন্য বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে বৈদ্যুতিক বিভব প্রকাশের রাশিমালা নির্ণয় করুন।

২৩। কোন মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলতে কি বুঝায়?

২৪। সম বিভব তল কি? প্রমাণ করুন যে, কোন একটি চার্জিত পরিবাহীর তল সমবিভব তল।

২৫। কোন পরিবাহীর ধারকত্বের সংজ্ঞা দিন। কোন একটি পরিবাহীর ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের ওপর নির্ভর করে?

২৬। ধারকত্বের ব্যবহারিক এককের সংজ্ঞা দিন। স্থির বিদ্যুৎ এককের সঙ্গে এর সম্পর্ক লিখুন।

২৭। চার্জ, বিভব ও ধারকত্বের সংজ্ঞা দিন এবং এদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করুন।

২৮। ধারক কি? খারকের ধারকত্বের সংজ্ঞা দিন।

২৯। একটি ধারকের ধারকত্ব 1 ফ্যারাড বলতে কি বুঝেন?

৩০। সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্বের একটি রাশিমালা নির্ণয় করুন।

৩১। প্রমাণ করুন যে, আহিত ধারকে সঞ্চিত শক্তি $W = \frac{1}{2} CV^2$, C,V সাধারণ অর্থে ব্যবহার করা হয়েছে।

৩২। কাঁচের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান 8.5 এর অর্থ কি?

৩৩। দুই বা ততোধিক ধারককে শ্রেণীবদ্ধ এবং সমান্তরাল সংযোজনীতে সাজাতে সমতুল্য ধারকের ধারকত্বের সমীকরণ নির্ণয় করুন।

৩৪। কি কি বিষয়ের ওপরে পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ভর করে?

৩৫। ধারকের ধারকত্ব কি কি বিষয় দ্বারা নির্ধারিত হয় বর্ণনা করুন।