ইউনিট ১

স্থির তড়িৎ
Elecrostatics

ভূমিকা (Introduction)

যীশু খ্রিস্টের জন্মের প্রায় ৬০০ বছর পূর্বে গ্রিক দার্শনিক থেলস্ (Thales: 640-548 B.C) সর্বপ্রথম পর্যবেক্ষণ করেন যে, সোলেমানী পাথর বা অ্যাম্বার (Amber, পাইন গাছের শক্ত আঠা) দিয়ে রেশমি কাপড়কে ঘষলে অ্যাম্বার ছোট ছোট কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। ড. উইলিয়াম গিলবার্ট (William Gilbert: 1540-1603) পরবর্তীতে এ সম্বন্ধে বিস্ড়ারিত অনুসন্ধান করেন এবং পরীক্ষার সাহায্যে দেখান যে, শুধু অ্যাম্বার-ই নয় আরো অনেক পদার্থ; যেমন- রবার, কাচ, ইবোনাইট, ফ্লানেল প্রভৃতিকে ঘষলেও এরূপ ঘটনা ঘটে, তিনি পদার্থের এ ধর্মের নাম দেন তড়িতাহিতকরণ বা বিদ্যুতাহিতকরণ (Electrification) আর ঘর্ষণের ফলে অ্যাম্বারে সৃষ্ট অদৃশ্য শক্তির নাম দেন তড়িৎ বা ইলেকট্রিসিটি (Electricity)। গ্রিক ভাষায় ইলেকট্রন (Electron) অর্থ অ্যম্বার। ইলেকট্রিসিটি শব্দটি প্রকৃতপক্ষে গ্রিক শব্দ ইলেকট্রন থেকে নেয়া হয়েছে। কোনো বস্তুতে আধানের সঞ্চার হয়ে তা ওই স্থানেই স্থির থাকলে বস্তুতে উৎপন্ন তড়িৎকে স্থির তড়িৎ বলে।

এ ইউনিটে আমরা স্থির আধানের প্রকৃতি, কুলম্বের সূত্র, গাউসের সূত্র ও তাদের ব্যবহার নিয়ে আলোচনা করব। এর সাথে থাকছে তড়িৎ দ্বিমের–, ধারক এবং ধারকের সংযোগ নিয়ে আলোচনা।

পাঠ-১.১ : আধানঃ কুলম্বের সূত্র (Charge : Coulomb's Law)

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- আধান কী ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- আধানের কোয়ান্টায়ন ও সংরক্ষণশীলতার ধর্ম ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- দুটি বিন্দু আধানের বল সংক্রান্ড় কুলম্বের সূত্র বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

১.১.১ আধান (Charge) :

আধানঃ অ্যাম্বারকে রেশমী কাপড় দিয়ে ঘষলে এতে আধান বা চার্জ উৎপন্ন হয়। ঘর্ষণের ফলে কোন বস্তুতে যার উপস্থিতিতে, সে বস্তু দ্বারা অন্য কোনো বস্তু বা বস্তুকণাকে আকর্ষণ করার শক্তির সঞ্চার হয় তাকে আধান বা চার্জ বলে।

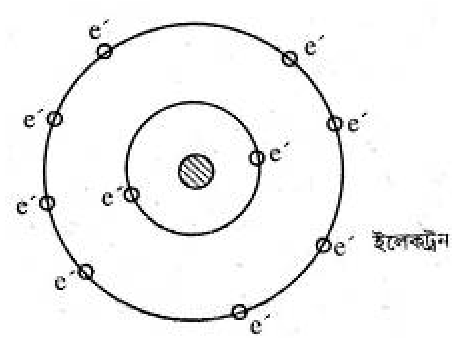
তড়িতাহিতকরণঃ ঘর্ষণের ফলে প্রত্যেক বস্তুই অন্য বস্তুকে কম-বেশি আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করার শক্তি অর্জন করে। এ ঘটনাকে তড়িতাহিতকরণ বলে।

তড়িতাহিত বস্তুঃ ঘর্ষণের ফলে যে বস্তু অন্য কোনো বস্তুকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করার ক্ষমতা অর্জন করে, তাকে তড়িতাহিত বস্তু বলে।

তড়িৎঃ স্থির বা গতিশীল আধানের প্রকৃতি ও প্রভাব বা ক্রিয়াকে তড়িৎ বলে।

তড়িৎ-এর প্রকারভেদ:
তড়িৎ দুই প্রকার, যথা- স্থির তড়িৎ ও চল তড়িৎ।
স্থির তড়িৎ : স্থির আধানের প্রভাব বা ক্রিয়াকে স্থির তড়িৎ বলে।
চল চড়িৎ: গতিশীল আধানের প্রভাব বা ক্রিয়াকে চল তড়িৎ বলে।

আমরা জানি, সকল পদার্থই অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা তৈরি। এ ক্ষুদ্র কণাকে পরমাণু বলে। পরমাণু সাধারণত তিনটি মৌলিক কণা: ইলেকট্রন, প্রোটন এবং নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত। এদের মধ্যে কেবলমাত্র ইলেকট্রনই মৌলিক কণিকা। পরমাণুতে একটি ক্ষুদ্র অথচ তুলনামূলকভাবে ভারী কেন্দ্র বা নিউক্লিয়াস (nucleus) রয়েছে। যার মধ্যে রয়েছে প্রোটন ও নিউটন। প্রোটন ধনাত্মক চার্জযুক্ত কিন্তু নিউট্রন চার্জবিহীন বা চার্জ নিরপেক্ষ (neutral)। এ নিউক্লিয়াসকে বেষ্টন করে বিভিন্ন কক্ষে ছড়িয়ে আছে ইলেকট্রণ (চিত্র ১.১)।



চিত্র ১.১

ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন কক্ষপথে নিউক্লিয়াসের চারিদিকে ঘুরে বেড়ায়। ইলেকট্রনের রয়েছে ঋণাত্মক চার্জ, একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটনের চার্জ সমান। একটি ইলেকট্রন বা প্রোটনের চার্জই ন্যূনতম চার্জ এবং এর মান $\pm 1.60 \times 10^{-19}$ 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।

সমস্ড় ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের সাথে তড়িৎ বল দ্বারা আকৃষ্ট থাকে। পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বা ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াস থেকে দূরবর্তী হওয়ায় এদের উপরে নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল তুলনামূলকভাবে খুবই কম, ফলে এরা নিউক্লিয়াসের সাথে হালকভাবে আবদ্ধ থাকে। ঘর্ষণ, তাপ প্রয়োগ, তড়িৎ আকর্ষণ ইত্যাদি দ্বারা এদেরকে সহজেই পরমাণু থেকে মুক্ত করা যায়। এ ইলেকট্রণগুলোকে মুক্ত ইলেকট্রন বলে। তড়িৎ নিরপেক্ষ পরমাণু অপর কোনো পরমাণুকে ইলেকট্রন দান করলে, যে পরমাণু ইলেকট্রন দান করে তাকে ধনাত্মক তড়িতাহিত বস্তু বলে এবং দানকারী পরমাণুর এ অবস্থাকে বলা হয় ধনাত্মক তড়িতাহিত হওয়া। অপরক্ষে যে পরমাণু ইলেকট্রন গ্রহণ করে তাকে ঋণাত্মক তড়িতাহিত বস্তু বলে এবং গ্রহণকারী পরমাণুর এ অবস্থাকে বলা হয় ঋণাত্মক তড়িতাহিত হওয়া।

উদাহরণস্বরূপ বলা যায় সাধারণ অবস্থায় কাচদন্ডের পরমাণুসমূহে প্রোটন এবং ইলেকট্রণের সংখ্যা সমান থাকায় তা তড়িৎ নিরপেক্ষ থাকে। কাচদন্ডকে রেশমের কাপড় দিয়ে ঘর্ষণের ফলে দন্ডের পরমাণুসমূহ থেকে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয়ে রেশমের কাপড়ের সাথে যুক্ত হয়। রেশমের কাপড়ে ইলেকট্রন যুক্ত হওয়ায় এটি ঋণাত্মক তড়িতাহিত হয়। অন্যদিকে কাচদন্ডে ইলেকট্রন কমে যাওয়ায়, এতে ইলেকট্রনের সংখ্যার চেয়ে প্রোটনের সংখ্যা বেশি হয়, ফলে এটা ধনাত্মক তড়িতাহিত হয়। একইভাবে পণ্ডাস্টিক দন্ডকে পশম দ্বারা ঘষলে পশম থেকে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয়ে পণ্ডাষ্টিক দন্ডে যাওয়ায় পণ্ডাষ্টিক দন্ডটি ঋণাত্মক তড়িতাহিত এবং পশম ধনাত্মক তড়িতাহিত হয়। ইবোনাইট দন্ডনে ফ্লানেলের সাথে ঘষলে ইবোনাইট দন্ড ঋণাত্মক তড়িতাহিত এবং ফ্লানেল ধনাত্মক তরিতাহিত হয়।

কাচ বা ইবোনাইট দ¯কে ঘষলে যে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানের উদ্ভব হচ্ছে তা কাচ বা ইবোনাইটের নিজস্ব বিশেষ কোন ধর্মের জন্য নয়। কাচদ¯কে সকল বস্তু দিয়ে ঘষলেই যে এতে ধনাত্মক আধানের সঞ্চার হবে তা নয় অপরপক্ষে ইবোনাইট দ¯কে সকল বস্তু দিয়ে ঘষলে যে ঋণাত্মক আধানের সঞ্চার হবে তাও নয়। যেমন কাচদ¯কে রেশ দিয়ে ঘষলে ধনাত্মক আধানে এবং পশম দিয়ে ঘষলে ঋণাত্মক আধানের উদ্ভব ঘটে। সুতরাং কোনো বস্তুতে কি আধানের উদ্ভব ঘটবে, তা আপেক্ষিক এবং যে বস্তুদ্বয়ের মধ্যে ঘর্ষণ হচ্ছে তাদের পারস্পরিক প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

নিচে কিছু বস্তুর তালিকা (সারণি ১.১) প্রদান করা হল। তালিকায় উলেখিত বস্তুরগুলির মধ্যে দু'টি বস্তুকে পরস্পরের সাথে ঘসলে ধনাত্মক আধান এবং ঋণাত্মক আধানের সঞ্চার হয়।

তালিকায় যে বস্ড়র অবস্থান ওপরে সে বস্তুতে ধনাত্মক আধান এবং যে বস্তুর অবস্থান নিচে সেটি ঋণাত্মক আধানের সঞ্চার হবে।

সারণি ১.১

১. ফার (fur)	১০. মানুষের দেহ (human body)
২. পশম, ফ্লানেল (wool, flannel)	১১. আম্বার (amber)
৩. গালা (shellac or sealing wax)	১২. রবার (rubber)
৪. কাচ (glass)	১৩. রজন (resin)
৫. অভ্র (mica)	১৪. ধাতু (Ag, Cu, Ni ইত্যাদি)
৬. বিড়ালের চামড়া (cat skin)	১৫. গন্ধক (sulphur)
৭. রেশম (silk)	১৬. ইবোনাইট (ebonite)
৮. তুলা (cotton)	১৭. ধাতু (Pt, Au)
৯. কাঠ (wood)	১৮. সেলুলয়েড (celluloid)

আধানের কোয়ান্টায়ন

আধানের কোয়ান্টায়ন বলতে বুঝায় যে, প্রকৃতিতে যে কোনো বস্তুর সর্বমোট আধান একটি নির্দিষ্ট ন্যুনতম মানের পূর্ণ সংখ্যক গুণিতক, ইলেকটনের আধান হচ্ছে এ নির্দিষ্ট ন্যুনতম মান, ইলেকট্রনের আধান e ধরলে কোনো বস্তুর মোট আধান হবে, $q=ne$। এখানে n হচ্ছে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক পূর্ণসংখ্যা। আমরা জানি ইলেকট্রনের আধান $\mathrm{e} = 1.6\times10^{-19}C$। সুতরাং কোন বস্তুতে ইলেকট্রনের আধান হতে পারে 3e বা $3\times1.6\times10^{-19}C, -7e$ বা $-7\times1.6\times10^{-19}C$ অর্থাৎ ইলেকট্রনের আধানের মানকে এ নির্দিষ্ট ন্যুনতম মান ধরে তার পূর্ণ সংখ্যক গুণিতক। কিন্তু কোনো বস্তুতে আধান 5.2e হতে পারে না কারণ 5.2 ভগ্নাংশ পূর্ণ সংখ্যা নয়।

সুতরাং কোনো বস্তুতে কোনো আধানের মান নিরবচ্ছিন্ন হতে পারে না, আধান বিচ্ছিন্ন মানের বা ইলেকট্রনের আধানের গুণিতক হবে। একে আধানের কোয়ান্টায়ন বলে।

আধানের নিত্যতা বা সংরক্ষণশীলতা

পৃথিবীতে মোট আধানের পরিমাণ সর্বদা একই থাকে। অর্থাৎ আধানের সৃষ্টি বা ধ্বংস নেই। কোন ভৌত প্রক্রিয়া যেমন ঘর্ষণ, তাপ প্রয়োগ, তড়িৎ আকর্ষণ ইত্যাদি দ্বারা শুধুমাত্র এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে আধানের স্থানাম্ড়র ঘটে, কিন্তু উভয় বস্তুর মোট ইলেকট্রন এর প্রোটন সংখ্যার যোগফল একই থাকে। যেমন- কাচ দ¯কে রেশম কাপড় দ্বারা ঘসলে কাচদ¯ থেকে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন রেশম কাপড়ে চলে যায়, ফলে কাচদ¯ে প্রোটনের সংখ্যা ইলেকট্রনের সংখ্যা থেকে বেশী থাকে। এ কারণে কাচদ¯ ধনাত্মক চার্জযুক্ত ও রেশমের কাপড় সম পরিমাণে ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়। কিন্তু উভয় বস্তু মিলিয়ে মোট প্রোটন এবং ইলেকট্রনের সংখ্যা একই থাকে। ঘর্ষণের ফলে নুতন কোন আধানের সৃষ্টি হয় না কেবল এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে আধানের স্থানাম্ড়র ঘটে।

বিন্দু আধান

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

১.১.২ কুলম্বের সূত্র (Coulomb's Law)

তড়িৎ বল : একটি আহিত স্থির বস্তুর নিকট অন্য একটি আহিত বস্তু আনলে বস্তু দু'টির মধ্যে একটি বল কাজ করবে, আহিত বস্তু দু'টি যদি সমধর্মী আধান অর্থাৎ দু'টি বস্তুই ধনাত্মক বা দু'টি বস্তুই ঋণাত্মক আধানে আহিত হয় তবে পরস্পরের মধ্যে বিকর্ষণ বল কাজ করবে, আবার আহিত বস্তু দু'টি বিপরীতধর্মী অর্থাৎ একটি বস্তু ধনাত্মক আধানে এবং অপর বস্তু ঋণাত্মক আধানে আহিত হয় তবে পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ বল কাজ করবে, এ বিকর্ষণ বা আকর্ষণ বলকে তড়িৎ বল বলে।

দু'টি আধানের মধ্যবর্তী এ আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান নির্ভর করে,

১. আধান দু'টির পরিমাণের উপর,
২. আধান দু'টির মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর,
৩. আধান দু'টি যে মাধ্যমে অবস্থিত তার প্রকৃতির উপর।

কুলম্বের সূত্র

১৭৮৫ খ্রিস্টাব্দে ফরাসী বিজ্ঞানী চার্লস অগাষ্টিন কুলম্ব, স্থির আধানে আহিত বস্তুর মধ্যে ক্রিয়াশল বলের একটি সূত্র আবিষ্কার করেন যা তাঁর নাম অনুসারে 'কুলম্বের সূত্র' নামে পরিচিত।

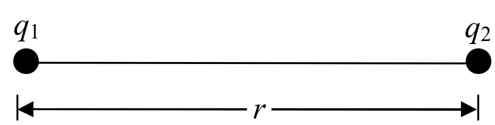
সূত্র : কোনো নির্দিষ্ট মাধ্যমে দু'টি বিন্দু আধানের পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান আধানদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক এবং আধানের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্ত্রানুপাতিক। এই ক্রিয়াশীল বল আধানদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।

ব্যাখ্যা: ধরা যাক, কোনো মাধ্যমে দুটি বিন্দু আধান q_1 ও q_2 পরস্পর থেকে 'r' দূরত্বে অবস্থিত (চিত্র ১.২)। বিন্দু আধানদ্বয়ের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল F হলে, কুলম্বের সূত্রানুসারে,

$F \propto \dfrac{q_1 q_2}{r^2}$; [এখানে, q_1, q_2ও r সকলেই পরিবর্তনশীল]

বা, $F = C\dfrac{q_1 q_2}{r^2}$ ....(১.১)

এখানে C একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক, যার মান বিন্দু আধান দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।



চিত্র ১.২

শূন্যস্থানে কুলম্বের সূত্র

এস আই (SI) পদ্ধতিতে শূন্য মাধ্যমে এই সমানুপাতিক ধ্রুবককে লেখা যায়-

$$C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

$\therefore$ শূন্য মাধ্যমে কুলম্বের সূত্র হলো,

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r^2} \quad ....(১.২)$$

এখানে, ε_o (Epsilon not) হলো শূন্য মাধ্যমের ভেদন-যোগ্যতা (Permittivility of free space)- সমীকরণ (১.২)-এর সবগুলো রাশিকে SI এককে প্রকাশ করলে ε_o এর মান পাওয়া যায়, $\varepsilon_o = 8.854\times10^{-12}C^2N^{-1}m^{-2}$

এবং $\frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = \frac{1}{4\pi\times 8.854\times10^{-12}C^2N^{-1}m^{-2}} = 9\times10^9 Nm^2C^{-2}$

যে কোন মাধ্যমে কুলম্বের সূত্র

আমরা জানি, দুটি আধানের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল শুধু আধানের পরিমাণ ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর নির্ভর করে না, আধানদ্বয় যে মাধ্যমে অবস্থিত তার প্রকৃতির উপরও নির্ভর করে। মাধ্যমর যে তড়িৎ ধর্মের ওপর এ বল নির্ভর করে তা হচ্ছে মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা। এখন যদি মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতাকে ε (Epsilon) দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং আধান দুটি শূন্যমাধ্যমের পরিবর্তে ε ভেদনযোগ্যতা বিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে অবস্থিত হলে কুলম্বের সূত্রের (১.২) সমীকরণকে লেখা যায়-

$$\vec{F}_m = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2} \quad ....(১.৩)$$

আধানদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো অন্তরক পদার্থ থাকলে তাকে সাধারণত পরাবৈদুত্যিক মাধ্যম বলা হয়।

কুলম্বের সূত্রের ভেক্টররূপঃ

দুটি আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল $\vec{\mathbf{F}}$ একটি ভেক্টর রাশি, সুতরাং কুলম্বের সূত্রকে ভেক্টর রূপে প্রকাশ করা যায়, ভেক্টরের সাহায্যে সমীকরণ (২.২) কে লেখা যায়,

$\vec{\mathbf{F}} = = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{\eta}$ এখানে $\hat{\eta}$ চার্জদ্বয়ের সাংযোজক সরল রেখা বরাবর ক্রিয়াশীল একটি একক ভেক্টর $\hat{\boldsymbol{\eta}}$ এর দিক $\vec{\mathbf{F}}$ এর দিকে। কিন্তু $\hat{\eta} = \frac{\vec{r}}{r}$ লেখা যায়।

$$\vec{\mathbf{F}} = = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

বা, $\vec{\mathbf{F}} = = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r^3}\vec{r}$ ....(১.8)

এক কুলম্ব চার্জ (1C) :

আমরা জানি, শূন্য মাধ্যমে কুলম্বের সূত্র

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

SI পদ্ধতিতে তড়িৎ চার্জের এক কুলম্ব, কুলম্বের সূত্র থেকে 1 কুলম্ব চার্জের সংজ্ঞা দেয়া যায়।

উপরের সূত্রে, যদি $F = 9\times10^9\,\mathrm{N}, q_1 = q_2 = q\,\mathrm{coulomb}$ এবং r = 1m বসানো হয়, তবে q^2=1 বা, q= ±1C হবে, অর্থাৎ সমধর্মী এবং সমমানের দুটি চার্জকে শূন্য মাধ্যমে পরস্পর থেকে 1m দূরত্বে স্থাপন করলে এদের মধ্যে বিকর্ষণ বলের মান যদি $9\times10^9\,\mathrm{N}$ হয় তবে ঐ চার্জ দুটির প্রত্যেকটিকে একক চার্জ বা 1C চার্জ বলে।

তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (Dielectric Constant)

আমরা জানি, দুটি আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল শুধু আধানদ্বয়ের পরিমাণ ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর নির্ভর করে না, আধানদ্বয় যে মাধ্যমে অবস্থিত তার প্রকৃতির উপরও নির্ভর করে। আধানদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো অন্তরক পদার্থ থাকলে, তাকে সাধারণভাবে পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম (Dielectric medium) বলে। কোনো পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমে নির্দিষ্ট দূরত্বে দুটি নির্দিষ্ট আধানের মধ্যবর্তী বলের মান শূন্য মাধ্যমের চেয়ে কম হয়।

সংজ্ঞা: দুটি আধানের মধ্যে নির্দিষ্ট দূরত্বে শূন্যস্থানে ক্রিয়াশীল বল এবং ঐ দু'টি আধানের মধ্যে একই দূরত্বে কোনো পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমে ক্রিয়াশীল বলের অনুপাত ঐ মাধ্যমের জন্য ধ্রুব সংখ্যা হয়। এ ধ্রুব সংখ্যাকে ঐ মাধ্যমের তড়িৎ মাধ্যামাঙ্ক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলা হয় একে K দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

মনে করি,
F = শূন্যস্থানের আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল
F_{m} = যে কোনো মাধ্যমে একই দূরত্বে ঐ দুটি আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল।

$\therefore$ মাধ্যমটির তড়িৎ মাধ্যামাঙ্ক $K = \dfrac{F}{F_m}$ ....(১.৫)

দুটি একই জাতীয় রাশির অনুপাত বলে K এর কোনো একক নেই।

কাচের তড়িৎ মাধ্যামাঙ্ক 7 বলতে বোঝায়, দুটি আধান যদি কাচ মাধ্যমে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থান করে, তবে আধান দুটির মধ্যে যে বল ক্রিয়া করে তার মান শুন্যস্থানে একই দূরত্বে অবস্থিত দুটি আধানের মধ্যবর্তী ক্রিয়াশীল বলের মানের 7 গুণ হবে। এখন (১.২) এবং (১.৩) সমীকরণ থেকে F এবং F_{m} (১.৫) সমীকরণে বসিয়ে পাই–

$$K = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} \quad \text{...(১.৬)}$$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায়, কোন মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা ও শূণ্যস্থানের ভেদনযোগ্যতার অনুপাত হলো ঐ মাধ্যমে তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক, এজন্য তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ককে আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতাও বলা হয়।

অর্থাৎ আপেক্ষিক ভেদন যোগ্যতা $\varepsilon_r = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$

এখন (১.৩) এবং (১.৬) থেকে পাই-

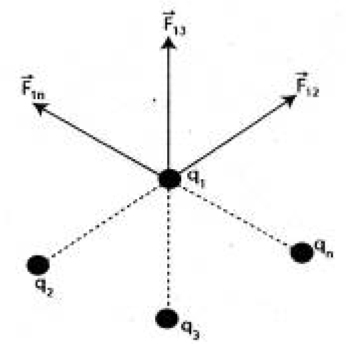
$$F_m = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{...(১.৭)}$$

বায়ুর তড়িৎ মাধ্যামাঙ্ক K=1.005 এই মান 1-এর খুব কাছাকাছি হওয়ার বায়ু মাধ্যমে কুলম্ব বল বা তড়িৎ বল নির্ণয়ের জন্য (১.৭) ব্যবহার না করে (১.২) অর্থাৎ শূন্যস্থানের জন্য যে সমীকরণ তা ব্যবহার করা হয়।

১.১.৩ তড়িৎ বলের উপরিপাতন নীতি (Superposition principles of electric force)

কুলম্বের সূত্রে দুটি আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল সম্পর্কে আলোচনা করা হয়েছে। দুটি আধানের পরিবর্তে যদি অনেকগুলো আধান থাকে সেক্ষেত্রে একটি আধানকে বিবেচনায় নিয়ে, সে আধানের উপর অপর আধানগুলোর ক্রিয়াশীল বল পৃথকভাবে

বের করে তাদের ভেক্টর যোগফল বের করলেই উক্ত আধানের উপর নিট (net) বল পাওয়া যাবে। একে বলা হয় তড়িৎ বলের উপরিপাতন নীতি।



চিত্র ১.৩ : তড়িৎ বলের উপরিপাতন

ব্যাখ্যাঃ ধরা যাক, n সংখ্যক বিন্দু আধান যথাক্রমে q_1, q_2, q_3.........q_n। ধরি q_1 আধানটির উপর অন্যান্য আধানগুলোর প্রযুক্ত নিট (Net) বল হিসাব করতে হবে। যদি q_1, q_2, q_3.........q_n আধান র্কতৃক q_1 আধানের উপর প্রযুক্ত বল যথাক্রমে $\vec{\mathbf{F}}_{12}, \vec{\mathbf{F}}_{13}, \ldots\ldots\ldots\ldots \vec{\mathbf{F}}_{n}$ হয় (চিত্র ১.৩), তবে উপরিপাতন নীতি অনুসারে q_1 আধানের উপর ক্রিয়াশীল নিট (Net) বল,

$$\vec{\mathbf{F}}_{12}, \vec{\mathbf{F}}_{13} + \ldots\ldots\ldots\ldots \vec{\mathbf{F}}_{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (১.৮)$$

এ নীতি প্রয়োগ করে যে কোন সংখ্যক আধানের জন্য একটি আধানের উপর ক্রিয়াশীল নিট বল হিসাব করা যায়।

গাণিতিক উদাহরণ ১.১। সমভাবে চার্জিত দুটি গোলক বায়ু মাধ্যমে 5Å দূরত্বে রাখলে পরস্পরকে 3.7×10^{-9}N বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেক গোলকে চার্জের পরিমাণ নির্ণয় কর‍ুন। প্রতিটি চার্জ কতটি ইলেকট্রন হারাবে?

আমরা জানি,

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1q_2}{r^2}$$

বা, $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1q_2}{r^2}$

বা, $3.7\times10^{-9} = 9\times10^{9}\times\frac{q^2}{(5\times10^{-10})^2}$

বা, $q^2 = \frac{3.7\times10^{-9}\times(5\times10^{-10})^2}{9\times10^{9}}$

বা, $q^2 = 10.28\times10^{-38}$

$\therefore\ q = 3.2\times10^{-19}$C

আবার আমরা জানি, $q = ne$

বা, $n = \frac{q}{e}$

$= \frac{3.2\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}$

$\therefore\ n = 2$ টি

$= 3.2\times10^{-19}$C

উঃ 3.2×10^{-19}C

এখানে,

$F = 3.7\times10^{-9}$N

$r = 5\text{Å} = 5\times10^{-10}$m

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9\times10^{-10}\text{Nm}^2\text{c}^{-2}$

গাণিতিক উদাহরণ ১.২। সমভাবে আহিত দুটো শোলাবল বায়ুতে 2.0mm ব্যবধানে রাখলে পরস্পরকে 4.5×10^{-5}N বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেক শোলাবলে আধানের পরিমাণ নির্ণয় করুন।

আমরা জানি,

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q^2}{d^2}$$

বা, $4.5\times10^{-5}\text{N}=\dfrac{9\times10^9\,\text{Nm}^2\text{C}^{-2}\times q^2}{(2\times10^{-3}\,\text{m})^2}$

$\therefore q=\sqrt{\dfrac{4.5\times10^{-5}\,N\times(2\times10^{-3}\,\text{m})^2}{9\times10^9\,\text{Nm}^2\text{C}^{-2}}}$

$=1.41\times10^{-10}$C

উ: 1.41×10^{-10}C

এখানে

প্রত্যেক শোলাবলে আধান, q =?

দূরত্ব, d=2.0mm=2×10^3m

$\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}=9\times10^9\,\text{Nm}^2\text{C}^{-2}$

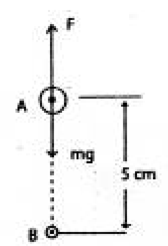
বল, F=4.5×10^{-5}N

গাণিতিক উদাহরণ ১.৩। একটি পিথবল A-তে 5×10^{-8}C ধনাত্মক চার্জ আছে এবং এর ভর 8g। অন্য একটি পিথবল B তে কত পরিমাণ এবং কী ধরনের চার্জ দিলে A পিথবলকে 5cm খাড়া উপরে স্থির অবস্থায় রাখতে পারবে?

এখানে A পিথবলে চার্জ, $q_1 = 5\times10^{-3}$kg

A পিথবলের ভর, m=8×10^{-3}kg

A পিথবলের ওজন mg খাড়া নিচের দিকে ক্রিয়া করে এবং A পিথবলের উপর B পিথবলের বিকর্ষণ বল F খাড়া উপরের দিকে ক্রিয়া করবে।



$\therefore$ F = mg

বা, $\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}\dfrac{q_1q_2}{d^2}=\text{mg}$

বা, $\dfrac{9\times10^9\times5\times10^{-8}\times q_2}{5\times10^{-2}}=8\times10^{-3}\times9.8$

$\therefore$ q_2 =4.36×10^{-7}C

$\therefore$ B পিথবলের চার্জ, q_2 =4.36×10^{-7}C ধনাত্মক চার্জ।

B পিথবলের চার্জ, q_2 =?

AB =5cm=5×10^{-2}m

উ: 4.36×10^{-7}C ধনাত্মক চার্জ।

সার-সংক্ষেপ :

- **আধান:** ঘর্ষণের ফলে কোনো বস্তুতে যার উপস্থিতিতে, সে বস্তু দ্বারা অন্য কোনো বস্তু বা বস্তু কণাকে আকর্ষণ করার শক্তির উৎপন্ন হয় তাকে আধান বা চার্জ বলে।
- **তড়িৎ:** স্থির বা গতিশীল আধানের প্রকৃতি ও প্রভাব বা ক্রিয়াকে তড়িৎ বলে।
- তড়িৎ দুই প্রকার, যথা- স্থির তড়িৎ ও চল তড়িৎ।

- **স্থির তড়িৎ:** স্থির আধানের প্রভাব বা ক্রিয়াকে স্থির তড়িৎ বলে।
- **চল তড়িৎ:** গতিশীল আধানের প্রভাব বা ক্রিয়াকে চল তড়িৎ বলে।
- **কুলম্বের সূত্র :** কোনো নির্দিষ্ট মাধ্যমে দু'টি বিন্দু আধানের পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান আধানদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক এবং আধানের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। এই ক্রিয়াশীল বল আধানদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে। কুলম্বের সূত্রানুসারে,

  বল, $F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. দুটি আধানের মধ্যবর্তী দূরত্ব চারগুণ করা হলে বল কতগুণ হবে?

(ক) 16 (খ) $\frac{1}{16}$

(গ) 4 (ঘ) $\frac{1}{4}$

২. আধানের এস আই একক নিচের কোনটি?

(ক) কুলম্ব (খ) অ্যাম্পিয়ার

(গ) জুল (ঘ) ভোল্ট

৩. কুলম্বের সূত্রে সমানুপাতিক ধ্রুবকের মান কত?

(ক) 1C (খ) $1.6\times10^{-19}\text{C}$

(গ) $9\times10^{9}\text{Nm}^2\text{C}^{-2}$ (ঘ) $1.67\times10^{-27}\text{kg}$

বহুপদী সমাপ্তিসূচক বহুনির্বাচনি

৪. q চার্জ থেকে r দূরত্বে তড়িৎ প্রাবল্য-

(i) $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$ (ii) $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o k}\frac{q}{r}$

(iii) $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o k}\frac{q}{r^2}$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) i, iii

(গ) ii, iii (ঘ) i, ii, iii

২. দুটি আধানের মধ্যকার বল নির্ভর করে-

(i) আধান দুটির পরিমাণের উপর

(ii) আধান দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর

(iii) আধান দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপর।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii　　(খ) ii ও iii

(গ) i ও iii　　(ঘ) i, ii ও iii

৩. আধান হচ্ছে মৌলিক কণাসমূহের একটি-

(i) স্থায়ী ধর্ম　　(ii) বৈশিষ্ট্যমূলক ধর্ম

(iii) মৌলিক ধর্ম

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii　　(খ) ii ও iii

(গ) i ও iii　　(ঘ) i, ii ও iii

৪. তিনটি তথ্য দেওয়া আছে–

(i) কোনো বস্তুতে মোট আধানের পরিমাণ ইলেকট্রনের আধানের পূর্ণ সংখ্যক গুণিতক হবে

(ii) দুটি আধানের মধ্যকার পারস্পরিক বলের মান তাদের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে

(iii) দুটি বস্তুর ঘর্ষণের ফলে আধানের সৃষ্টি হয়।

উপরের কোনটি সত্য?

(ক) i ও ii　　(খ) ii ও iii

(গ) i ও iii　　(ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-১.২: তড়িৎ ক্ষেত্র : তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভব
(Electric Field : Intensity of Electric Field and Electric Potential)

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- তড়িৎ ক্ষেত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর প্রাবল্য ব্যাখ্যা করতে পারবেন এবং কোনো বিন্দুর প্রাবল্যের জন্য রাশিমালা নির্ণয় করতে পারবেন;
- তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব ব্যাখ্যা করতে পারবেন এবং কোনো বিন্দুর বিভবের জন্য রাশিমালা নির্ণয় করতে পারবেন;
- তড়িৎ প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভবের মধ্যে সম্পর্ক বিশেণ্ঢষণ করতে পারবেন;
- সমবিভব তল ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

১.২.১ তড়িৎ ক্ষেত্র (Electric Field)

আহিত বস্তুগুলোর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল ব্যাখ্যা করার জন্য সর্বপ্রথম মাইকেল ফ্যারাডে তড়িৎ ক্ষেত্রের ধারণা উপস্থাপনা করেন। একে তড়িৎ ক্ষেত্র তত্ত্ব বা সংক্ষেপে ক্ষেত্র তত্ত্ব বলে। এই ধারণা অনুসারে, কোনো আহিত বস্তুর চারপাশে একটি অঞ্চলব্যাপী তার একটি প্রভাব লক্ষ্য করা যায়। প্রভাব বলতে বুঝায় যে, ঐ অঞ্চলের মধ্যে অন্য একটি আহিত বস্তু স্থাপন করলে দ্বিতীয় আহিত বস্তুটি একটি বল অনুভব করবে। আহিত বস্তুর চারপাশে যে অঞ্চল জুড়ে এই প্রভাব বিদ্যমান থাকে সেই অঞ্চলই এই আহিত বস্তুর তড়িৎ ক্ষেত্র। সুতরাং

"একটি আহিত বস্তুর চারপাশে যে অঞ্চলব্যাপী তার প্রভাব বিদ্যমান থাকে অর্থাৎ অন্য কোনো আহিত বস্তু স্থাপন করলে সেটি আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল লাভ করে, সে অঞ্চলকে ঐ আহিত বস্তুর তড়িৎ বলক্ষেত্র বা তড়িৎক্ষেত্র বলে।"

বলের প্রকৃতি আকর্ষক বা বিকর্ষক হবে তা নির্ভর করবে দ্বিতীয় আহিত বস্তুটির প্রকৃতির উপর। দ্বিতীয় আহিত বস্তুটি প্রথম আহিত বস্তুর সমধর্মী হলে বল বিকর্ষক হবে আর যদি দ্বিতীয় আহিত বস্তুটি প্রথম আহিত বস্তুর বিপরীতধর্মী হয়, তবে বল আকর্ষক হবে। কোন আধানের জন্য সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্র তাত্ত্বিক অর্থে অসীম পর্যন্ড় বিস্ড়ৃত হবে; কিন্তু বাস্ড়বে আহিত বস্তু কর্তৃক সৃষ্ট এ প্রভাব একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ড় অনুভূত হয়। ঐ নির্দিষ্ট দূরত্বের বাইরে প্রভাব এত ক্ষীণ যে, তা পরিমাপযোগ্য হয় না, এ প্রভাবের মাত্রা বা পরিমাণ তড়িৎক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন হয়।

তড়িৎ ক্ষেত্রের সাহায্যে কুলম্বের সূত্রের ব্যাখ্যা

কুলম্বের সূত্রানুসারে, q_1 এবং q_2 দুটি আধান পরস্পর থেকে যে কোন দূরত্বে থাকলে q_1 আধান q_2 আধানের উপর বল প্রয়োগ করবে, আবার q_2 আধানও q_1 আধানের উপর একই রকমভাবে বল প্রয়োগ করে। আধানের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে এই বল আকর্ষণ বল বা বিকর্ষণ বল হবে। আধান দুটি পরস্পরের স্পর্শে না থাকলে কিভাবে একটি আধান অপর আধানের উপর বল প্রয়োগ করে, এ প্রশ্নের উত্তর দিতে গিয়েই তড়িৎক্ষেত্রের অবতারণা করা হয়। যখন কোনো স্থানে একটি আধান q_1 স্থাপন করা হয় তখন q_1 আধানের চারপাশে তড়িৎ প্রভাব অর্থাৎ তড়িৎ ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। q_1 আধানের চারপাশের যে অঞ্চল জুড়ে এ প্রভাব পরিলক্ষিত হয়, সে অঞ্চলকে q_1 আধানের তড়িৎক্ষেত্র বলা হয়। q_1 আধানের এ তড়িৎক্ষেত্র q_2 আধানের উপর ক্রিয়া করে, এবং q_2 আধান একটি বল অনুভব করে। এ থেকে বোঝা যায় যে, q_2 আধানের উপর যে বল ক্রিয়া করে তা হলো q_1 আধানের দ্বারা তৈরি তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাব, একইভাবে q_2 আধানের দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্র q_1 আধানের উপর বল প্রয়োগ করবে। অর্থাৎ তড়িৎ ক্ষেত্র তড়িৎ বল সৃষ্টির জন্য অন্ড়বর্তী ভুমিকা পালন করে।

১.২.২ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য
(Intensity of Electric Field)

তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য সম্পর্কে জানার আগে আমরা পরীক্ষণীয় আধান কি তা জেনে নেই। পরীক্ষণীয় আধান বা টেষ্ট চার্জ একটি অতিক্ষুদ্র মানের কাল্পনিক আধান যা চারপাশের অন্য কোনো আধানকে প্রভাবিত করে না বা তার উপর কোনো বল প্রয়োগ করে না।

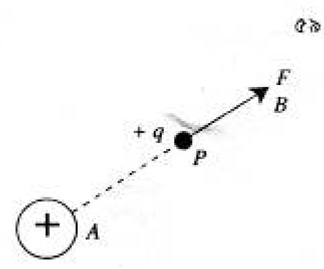
আমরা পূর্বেই জেনেছি যে, তড়িৎক্ষেত্রের সকল বিন্দুতে আহিত বস্তু কর্তৃক সৃষ্ট প্রভাব সমান থাকে না। বিভিন্ন বিন্দুতে এর প্রভাব বিভিন্ন হয়। আহিত বস্তুর নিকটতম বিন্দুর জন্য এর প্রভাব সবচেয়ে বেশি হবে। এ প্রভাব বোঝার জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি পরীক্ষাণীয় আধান স্থাপন করা হয়। এখন পরীক্ষণীয় আধানের ওপর তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা সৃষ্ট বল দ্বারা এই তড়িৎ প্রভাব পরিমাপ করা হয়। তড়িৎ ক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে পরীক্ষণীয় আধানটি স্থাপন করলে বিভিন্ন বিন্দুতে পরীক্ষণীয় আধানটি ভিন্ন ভিন্ন মানের বল অনুভব করে, আবার তড়িৎ ক্ষেত্রের একই বিন্দুতে ভিন্ন মানের পরীক্ষণীয় আধান স্থাপন করলে, পরক্ষণীয় আধান এবং আহিত বস্তুর মধ্যে ভিন্ন মানের বল ক্রিয়া করবে। এই পরীক্ষণীয় আধানটি হচ্ছে একক ধনাত্মক আধান অর্থাৎ এক কুলম্ব মানের একটি ধনাত্মক আধান।

তড়িৎ ক্ষেত্রের এই প্রভাব বা সবলতাকে যে রাশির সাহায্যে পরিমাপ করা হয় তাকে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা সংক্ষেপে তড়িৎ প্রাবল্য বা তীব্রতা (Electric Field intensity or Electric Field Strength) বলে। একে E দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

তড়িৎ প্রাবল্য : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে সেটি যে বল অনুভব করে তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য বলে।

মান: তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে $+q$ আধান যদি F বল অনুভব করে তাহলে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান হবে-

$$E = \frac{F}{q} \quad \text{..........} \quad (১.৯)$$



চিত্র ১.৪

দিক: আমরা জানি তড়িৎ প্রাবল্য হলো একক ধনাত্মক আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল সুতরাং প্রাবল্যের দিক আছে এবং এটি একটি একটি ভেক্টর রাশি। এক ধনাত্মক আধান যে দিকে বল অনুভব করে তড়িৎ প্রাবল্যের দিক হয় সে দিকে। সুতরাং (১.৯) সমীকরণকে ভেক্টর রূপ লেখা যায়–

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \text{.... ....(১.১০)}$$

(১.৪) চিত্রে A ধনাত্মক আধানে আহিত বস্তু হওয়ায় P বিন্দুতে অবস্থিত $+q$ ধনাত্মক আধানটি PB বরাবর বিকর্ষণ বল অনুভব করবে। অতএব P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের দিক হবে PB বরাবর। কিন্তু A বস্তুটি যদি ঋণাত্মক আধান (চিত্র ১.৪) আহিত হয়, তবে P বিন্দুতে অবস্থিত ধনাত্মক আধানটি PA বরাবর আকর্ষণ বল অনুভব করবে, ফলে তড়িৎ প্রাবল্যের দিক হবে PA বরাবর।

তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের একক: তড়িৎ বলের একক নিউটন এবং চার্জের একক কুলম্ব। অতএব তড়িৎ প্রাবল্যের একক নিউটন/কুলম্ব (newton/coulomb) সংক্ষেপে NC^{-1} ।

তড়িৎ প্রাবল্যের অন্য একটি একক ভোল্ট/মিটার (Vm^{-1})।

বলের সাথে প্রাবল্যের সম্পর্ক : তড়িৎ প্রাবল্যের সংজ্ঞা থেকে আমরা পাই,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

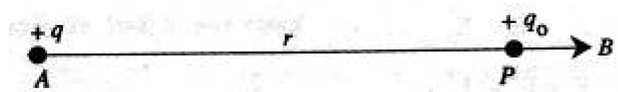
বা, $\vec{F} = q\vec{E}$

বা, $F = q\,E$ ....(১.১১)

উপরের সমীকরণ থেকে বলা যায়, তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে অবস্থিত, আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল ঐ বিন্দুতে প্রাবল্য এবং ঐ আধানের গুণফলের সমান। ধনাত্মক আধান প্রাবল্যের অভিমুখে বল লাভ করে আর ঋণাত্মক আধান প্রাবল্যের বিপরীত দিকে বল লাভ করে।

তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর প্রাবল্যের রাশিমালা
(Expression for Electric Field Intensity due to a point charge)

মনে করি, K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বিশিষ্ট কোনো মাধ্যমের A বিন্দুতে একটি ধনাত্মক আধান $+q$ অবস্থিত। এই আধান হতে r দূরত্বে P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। (চিত্র ১.৫) P বিন্দুতে একটি পরীক্ষনীয় আধান q_o স্থাপন করি। কুলম্বের সূত্রানুসারে q_o আধানের উপর ক্রিয়াশীল বল।



চিত্র ১.৫

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{qq_o}{r^2} \qquad \text{..........(১.১২)}$$

আমরা জানি, তড়িৎ প্রাবল্য হলো একক আধানের উপর ক্রিয়াশীল বল, সুতরাং B বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য।

$$E = \frac{F}{q_o} \qquad \text{..........(১.১৩)}$$

(১.১২) নং সমীকরণে F- এর মান বসিয়ে পাই,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{qq_o}{r^2 q_o}$$

বা, $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\dfrac{q}{r^2}$ .... (১.১৪)

+q আধানটি শূন্যস্থানে বা বায়ু মাধ্যমে স্থাপিত হলে তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক K এর মান 1 হবে। সে ক্ষেত্রে, তড়িৎ প্রাবল্য হবে,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2} \qquad \text{..........(১.১৫)}$$

ভেক্টর রূপ: $\vec{E} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}\dfrac{q}{r^2}\hat{r}$ । এখানে $\hat{r}$ একটি একক ভেক্টর যার দিক $\vec{E}$ এর দিকে।

দিক : $\vec{E}$ এর দিক হবে A ও B বিন্দুর সংযোজক সরল রেখা বরাবর। q আধানটি ধনাত্মক হওয়ায় $\vec{E}$ -এর দিক B বিন্দু থেকে BC বরাবর।

তড়িৎ প্রাবল্যের উপরিপাতন নীতি:

কোনো স্থানে একাধিক বিন্দু আধান স্থাপন করা হলে, সকল আধানের জন্য সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য নির্ণয় করার জন্য ঐ বিন্দুতে প্রতিটি আধানের জন্য পৃথকভাবে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে এবং নিট প্রাবল্য হবে পৃথকভাবে নির্ণীত প্রাবল্যগুলোর ভেক্টর সমষ্টি। একে তড়িৎ প্রাবল্যের উপরিপাতন বলে। কোন বিন্দুতে q_1, q_2, q_3....... ইত্যাদি আধানের জন্য সৃষ্ট তড়িৎ প্রাবল্য যথাক্রমে,

$\vec{E}_2, \vec{E}_2, \vec{E}_3$ .... ইত্যাদি হলে ঐ বিন্দুর লব্ধি প্রাবল্য $\vec{E}$ হবে,

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + --- = \sum \vec{E}_n \qquad \text{..........(১.১৬)}$$

১.২.৩ চার্জের তল ঘনত্ব বা আধান ঘনত্ব
(Suface Charge Density)
পরিবাহীতের আধানের অবস্থান

আমরা জানি, কোনো পরিবাহককে আধানের অবস্থান পরিবাহিকে আহিত করলে আধান পরিবাহীর অভ্যন্ড়রে না ছড়িয়ে পরিবাহীর বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। কিন্তু পরিবাহী পৃষ্ঠের সর্বত্র আধান সমান থাকে না। পৃষ্ঠের কোন অংশে কী পরিমাণ আধান থাকবে তা নির্ভর করে পরিবাহীর আকার, আকৃতি, অন্যান্য পরিবাহী বা অন্ড়রকের উপস্থিতির উপর। সাধারণত পরিবাহীর যে অংশের বক্রতা বা তীক্ষ্ণতা বেশি সে অংশে বেশি আধান অবস্থান করে। আধানের ঘনত্বের সাহায্যে পরিবাহকের অনেক বিভিন্ন অংশের আধান সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যায়।

আধান ঘনত্ব

কোনো আহিত পরিবাহকের পৃষ্ঠের কোন বিন্দুর চারদিকে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপরস্থ আধানের পরিমাণকে ঐ বিন্দুতে আধান ঘনত্ব হবে। একে আধানের তলমাত্রিক বা পৃষ্ঠমাত্রিক ঘনত্ব বলে।

মনে করি, কোন তলের ক্ষেত্রফল A এবং ঐ তলে আধানের মোট পরিমাণ Q হলে উক্ত তলে আধান ঘনত্ব,

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

একক : আমরা জানি,

আধান ঘনত্ব, $\sigma = \frac{Q}{A}$ .... (১.১৭)

$$\text{একক} = \frac{\text{কুলম্ব}}{\text{মিটার}^{২}}$$

$\therefore$ আধানের একক হবে কুলম্ব/মিটার^{২} (Cm^{-2}),

কোনো আধানের ঘনত্ব 3 Cm^{-2} বলতে বোঝায়, ঐ তলে প্রতি বর্গমিটার ক্ষেত্রফলে 3 কুলম্ব আধান আছে।

আধানের ঘনত্বের সাথে তড়িৎ প্রাবল্যের সম্পর্ক:

ধরা যাক, r ব্যাসার্ধের একটি গোলক K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে অবস্থিত, +Q পরিমাণ আধান গোলকটির পৃষ্ঠে সুষমভাবে বণ্টিত থাকলে ঐ আধানকে ঐ গোলাকার পরিবাহীর কেন্দ্রে অবস্থিত বিন্দু আধান হিসেবে বিবেচনা করা যায়। সুতরাং গোলকটির পৃষ্ঠে তড়িৎ প্রাবল্য হবে,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{Q}{r^2} \text{ .... (১.১৮)}$$

আবার, কোনো আহিত পরিবাহীর প্রতি একক ক্ষেত্রফল আধানের পরিমাণকে এর আধান ঘনত্ব σ বলে। যেহেতু পরিবাহীর পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল $A= 4\pi r^2$ । সুতরাং এর পৃষ্ঠে আধান ঘনত্ব হবে,

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi r^2} \text{ ....(১.১৯)}$$

সমীকরণ (২.১৭) ও (২.১৮) থেকে পাই-

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o K} \text{ ....(১.২০)}$$

কিন্তু আমরা জানি, কোন মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা ε হলে $\varepsilon = \varepsilon_o k$;

সুতরাং (২.১৯) সমীকরণকে লেখা যায়,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ ....(১.২১)}$$

বায়ু বা শূন্যস্থানে K=1 হবে

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o}$$

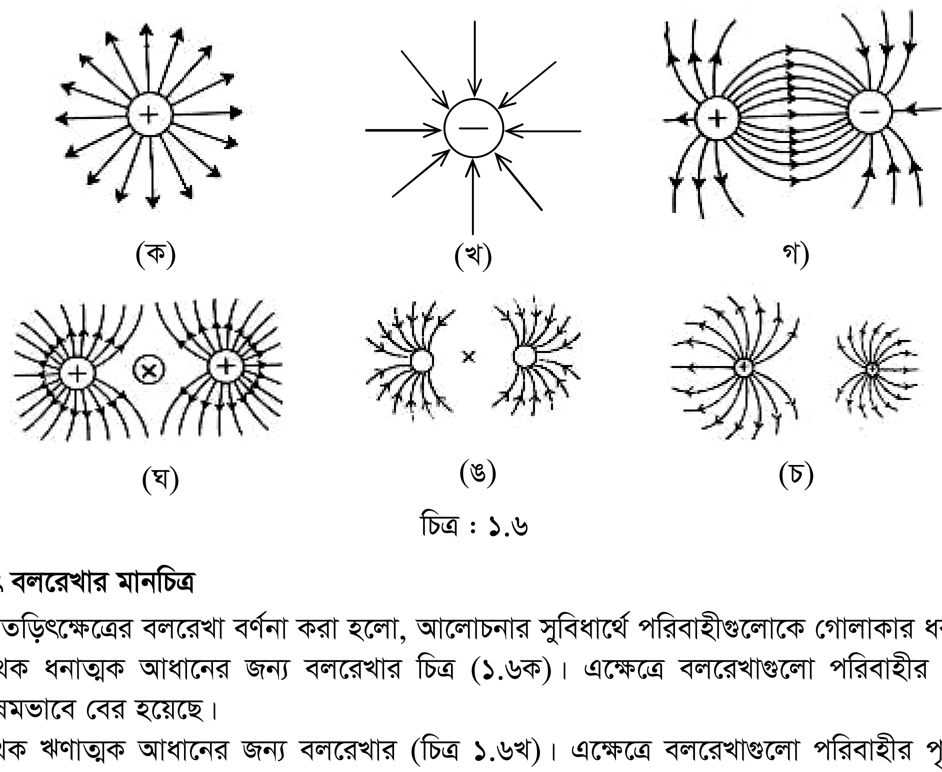
পরিবাহীকে গোলাকার ধরে (১.১৯) বা (১.২০) সমীকরণগুলো প্রতিপাদন করা হলেও যেকোনো আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয়ের জন্য এ সমীকরণগুলো ব্যবহার করা যায়।

১.২.৪ তড়িৎ বলরেখা
(Electric Lines of Force)

বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে তড়িৎক্ষেত্র সম্পর্কে ধারণা স্পষ্ট করার জন্য তড়িৎ বলরেখার অবতারণা করেন। একটি ধনাত্মক আধানকে কোনো তড়িৎক্ষেত্রে স্থাপন করলে এটি বল লাভ করবে। আধানটি মুক্ত হলে, এটি বল লাভের ফলে স্থির না থেকে একটি নির্দিষ্ট পথে চলবে। ধনাত্মক আধানটির এই চলার পথই বলরেখা। তড়িৎ বলরেখার বাস্তব কোনো অস্তিত্ব নেই। এ রেখাগুলো কাল্পনিক বলরেখা থেকে তড়িৎ প্রাবল্যের ধারণা পাওয়া যায়। তড়িৎ বলরেখার কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে একটি ধনাত্মক আধানের উপর ক্রিয়াশল লব্ধি বলের দিক অর্থাৎ প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে। তড়িৎ বলরেখার সাথে লম্বভাবে স্থাপিত কোনো তলের একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা তড়িৎ প্রাবল্যের সমানুপাতিক।

তড়িৎ বলরেখার ধর্ম: তড়িৎ বলরেখার ধর্ম নিম্নে বর্ণনা করা হলো:

১. তড়িৎ বলরেখা খোলা বক্র রেখা।
২. তড়িৎ বলরেখাগুলো ধনাত্মক আধান থেকে উৎপন্ন হয়ে ঋণাত্মক আধানে শেষ হয়। পরিবাহীর অভ্যন্তরে কোনো বলরেখা থাকে না।
৩. বলরেখাগুলো পরস্পরকে ছেদ করে না।
৪. বলরেখাগুলো পরস্পরের উপর পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে।
৫. বলরেখাগুলো স্থিতিস্থাপক বস্তুর মতো দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হয়।
৬. বলরেখাগুলো ধনাত্মক আধানে আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ থেকে লম্বভাবে বের হয় আর ঋণাত্মক পরিবাহীর পৃষ্ঠের সাথে লম্বভাবে প্রবেশ করে।



চিত্র : ১.৬

কয়েকটি তড়িৎ বলরেখার মানচিত্র

নিচে কয়েকটি তড়িৎক্ষেত্রের বলরেখা বর্ণনা করা হলো, আলোচনার সুবিধার্থে পরিবাহীগুলোকে গোলাকার ধরা হয়েছে:

১. একটি পৃথক ধনাত্মক আধানের জন্য বলরেখার চিত্র (১.৬ক)। এক্ষেত্রে বলরেখাগুলো পরিবাহীর পৃষ্ঠ থেকে লম্ব বরাবর সুষমভাবে বের হয়েছে।
২. একটি পৃথক ঋণাত্মক আধানের জন্য বলরেখার (চিত্র ১.৬খ)। এক্ষেত্রে বলরেখাগুলো পরিবাহীর পৃষ্ঠে লম্ব বরাবর সুষমভাবে প্রবেশ করে।
৩. দুটি সমান ও বিপরীতধর্মী আধানের জন্য সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্রের বলরেখা (চিত্র ১.৬গ)। এক্ষেত্রে বলরেখাগুলো ধনাত্মক আধান থেকে বের হয়ে ঋণাত্মক আধানে প্রবেশ করে।

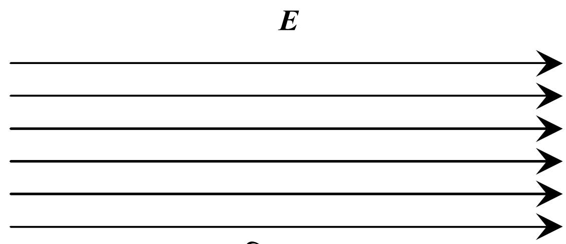
৪. দুটি ধনাত্মক সমান আধানের জন্য বলরেখা (চিত্র ১.৬ঘ)। এক্ষেত্রে বলরেখাগুলো পরস্পর থেকে দূরে সরে যাবে, ফলে দুই আধানের মাঝখানে কোনো বলরেখা থাকে না, এ স্থানকে চিত্রে X চিহ্ন দিয়ে দেখানো হয়েছে। এ স্থানে কোনো আধান স্থাপন করলে সেটি কোনো বল লাভ করবে না, এ বিন্দুকে নিরপেক্ষ বিন্দু বলে।

৫. সমান মানের দুটি ঋণাত্মক আধান পাশাপাশি স্থাপন করলে (চিত্র ১.৬ঙ), উপরে বর্ণিত পাশাপাশি দুটি ধনাত্মক আধানের মত একই আচরণ প্রদর্শন করবে।

৬. দুটি অসমান ধনাত্মক আধানের জন্য সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রে বলরেখা (চিত্র ১.৬চ)। এক্ষেত্রে নিরপেক্ষ বিন্দু N ক্ষুদ্রতর আধানের নিকটবর্তী হয়।

সুষম তড়িৎক্ষেত্র (Uniform Electric Field)

কোনো তড়িৎক্ষেত্রের সকল বিন্দুতে যদি তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান ও দিক একই হয়, তবে ঐ তড়িৎক্ষেত্রকে সুষম তড়িৎক্ষেত্র বলে। সুষম তড়িৎক্ষেত্রের বলরেখাগুলো পরস্পর সমান্ড়রাল ও সম-ঘনত্ববিশিষ্ট হয়, সমঘনত্বের সমান্ড়রাল সরলরেখা এঁকে তাতে একই দিকে তীরচিহ্ন দিয়ে সুষম তড়িৎক্ষেত্র নির্দেশ করা হয় (চিত্র ১.৭)। কোন আধান থেকে বহু দূরে খুব অল্প জায়গাকে সুষম তড়িৎক্ষেত্র হিসেবে বিবেচনা করা যায়।



চিত্র ১.৭

১.২.৫ তড়িৎ বিভব

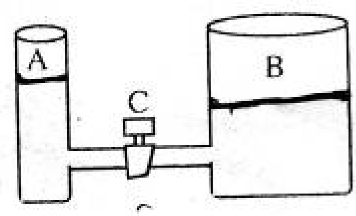
(Electric Potential)

দুটি আহিত বস্তুকে একটি পরিবাহী তার দ্বারা সংযোগ করলে তাদের মধ্যে আধানের আদান-প্রদান হতে পারে। কিন্তু আহিত বস্তু দুটির কোন্টি হতে কোন্টিতে আধান যাবে তা বস্তু দুটির আধানের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, নির্ভর করে বস্তুদ্বয়ের তড়িৎ অবস্থার ওপর। সুতরাং যে তড়িতাবস্থা আহিত বস্তু দুটির মধ্যে আধানের আদান-প্রদানের দিক নির্ধারণ করে তাকে তড়িৎ বিভব বলে। বস্তু দু'টির মধ্যে বিভব পার্থক্য থাকলে অর্থাৎ তড়িৎ সাম্যাবস্থা সৃষ্টি না হওয়া পর্যন্ড় আধানের প্রবাহ চলতে থাকবে। যে আহিত বস্তুর বিভব বেশি তা থেকে কম বিভবের বস্তুতে ধনাত্মক আধান প্রবাহিত হবে। অন্যভাবে কম বিভবের পরিবাহী হতে বেশি বিভবের পরিবাহীতে ঋণাত্মক আধান প্রবাহিত হবে।

তরল পদার্থের উচ্চতার সাথে তড়িৎ বিভবের সাদৃশ্য:

১.৮ চিত্রে A ও B দুটি পাত্র একটি সংযোগ নল দ্বারা যুক্ত আছে। সংযোগ নলটি 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 পানি ঢালা হলেও পানির উচ্চতা অধিক হবে। A পাত্রে এ যে পরিমাণ পানি ঢালা হয়েছে, একই পরিমাণ পানি B পাত্রে ঢাললেও, B পাত্রে পানির উচ্চতা A পাত্রের পানির উচ্চতার চেয়ে কম হবে, এখন স্টপ কক C খুলে দিলে পানি A পাত্র থেকে B পাত্রে প্রবাহিত হবে। উভয় পাত্রে পানির উচ্চতা সমান না হওয়া পর্যন্ড় এ প্রবাহ চলতে থাকবে। পানি কোন্ দিক থেকে কোন্ দিকে প্রবাহিত হবে তা নির্ভর করবে পানির উপরিতলের উচ্চতার উপর। সুতরাং এ থেকে বোঝা যায় যে, পানির প্রবাহ নির্ভর করছে মোট পানির পরিমাণের উপর নয় এবং নির্ভর করছে পানির উচ্চতার উপর। একইভাবে দুটি আহিত বস্তুর ক্ষেত্রে আধান কোনদিকে প্রবাহিত হবে তা নির্ভর করে বস্তুর বিভবের ওপর, বস্তু দুটির আধানের পরিমাণের উপর নয়।

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



চিত্র ১.৮

পৃথিবীর তড়িৎ বিভবঃ

কোনো আহিত বস্তুকে পৃথিবীর সাথে যুক্ত করলে বস্তুটি নিস্তড়িত বা আধান নিরপেক্ষ হয়, ধনাত্মক আধানে আহিত বস্তুকে ভু-সংযুক্ত করলে পৃথিবী থেকে ইলেকট্রন এসে বস্তুটিকে নিস্তড়িত করে। আবার ঋণাত্মকভাবে আহিত বস্তুকে পৃথিবীর সাথে সংযুক্ত করলে বস্তু থেকে ইলেকট্রন ভূমিতে চলে যায়। ফলে বস্তুটি নিস্তড়িত হয়। পৃথিবী এত বড় যে, এতে ইলেকট্রন যুক্ত হলে বা এ থেকে ইলেকট্রন চলে গেলে এর বিভবের আদৌ কোনো পরিবর্তন হয় না। পৃথিবী প্রতিনিয়ত বিভিন্ন বস্তু থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করছে এবং বিভিন্ন বস্তুতে ইলেকট্রন প্রদানও করছে। ফলে পৃথিবীকে বিভবশূন্য মনে করা হয় এবং ভু-সংযুক্ত পরিবাহীর বিভবও শূন্য ধরা হয়। উলেণ্টখ্য যে, বিভব নির্ণয়ের সময় পৃথিবীর বিভবকে শূন্য ধরা হয়।

শূন্য, ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিভবঃ

কোনো আহিত পরিবাহীকে ভূ-সংযুক্ত করলে তার বিভব শূন্য হয়। সংযুক্ত অবস্থায় পৃথিবী ও পরিবাহী একত্রে একটি পরিবাহীতে পরিণত হয়। আধানহীন পরিবাহীর বিভবকে শূন্য ধরা হয়। ধনাত্মক আধানে আহিত পরিবাহীর বিভব ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আধানে আহিত পরিবাহীর বিভব ঋণাত্মক।

একটি পরিবাহী ধনাত্মক আধানে এবং অপরটি ঋণাত্মক আধানে আহিত। ধনাত্মক আধানে আহিত বস্তুটির বিভব উচ্চ এবং ঋণাত্মক আধানে আহিত বস্তুটির বিভব নিম্ন আধানের প্রবাহ সবসময়ই উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে হবে।

দুটি পরিবাহীই যদি ধনাত্মক আধানে আহিত হয় সেক্ষেত্রে যে পরিবাহীতে ঋণাত্মক আধানের পরিমাণ কম সেটির বিভব উচ্চ এবং যে পরিবাহীতে ঋণাত্মক আধানের পরিমাণ বেশি সেটির বিভব নিম্ন হবে। আমরা জানি, আধান সর্বদা উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবে প্রবাহিত হয় সুতরাং এদেরকে যদি পরিবাহী তার দ্বারা সংযুক্ত করা হয় তবে কম ঋণাত্মক আধানবিশিষ্ট পরিবাহী থেকে বেশি ঋণাত্মক আধানবিশিষ্ট পরিবাহীর দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হবে।

তড়িৎ ক্ষেত্রের বিভব (Potential of Electric Field)

আমরা জানি, একটি আহিত বস্তুর চারপাশে যে অঞ্চল জুড়ে এর প্রভাব থাকে তাকে ঐ আহিত বস্তুটির তড়িৎক্ষেত্র বলে। তড়িৎক্ষেত্রের প্রতিটি বিন্দুর যেমন প্রাবল্য থাকে তেমনি বিভবও থাকে। তড়িৎ প্রাবল্য থেকে আমরা জানতে পারি, তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আধান স্থাপন করলে সেটি কোন দিকে এবং কত বল লাভ করব। তড়িৎ বিভব থেকে আমরা জানতে পারি, তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি মুক্ত আধান স্থাপন করলে সেটি কোন দিকে চলবে, ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধানের দিকে নাকি ক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধান থেকে দূরে সরে যাবে।

কোনো আহিত বস্তুর তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে একটি আধানকে এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে স্থাপন করলে কিছু কাজ সম্পাদিত হয়। তড়িৎক্ষেত্রটি যদি ধনাত্মক আধান দ্বারা সৃষ্ট ক্ষেত্রে হয় তবে অন্য একটি ধনাত্মক আধানকে বস্তুর দিকে আনতে বিকর্ষণ বলের বির"দ্ধে কাজ করতে হয়। অন্যদিকে তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টিকারী আধানটি যদি ঋণাত্মক হয়, তবে ধনাত্মক আধানকে বস্তুর দিকে আনতে আকর্ষণ বল দ্বারা কাজ সম্পন্ন হবে।

সংজ্ঞাঃ শূন্য বিভবের কোনো স্থান থেকে বা অসীম দূরত্ব থেকে একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়, তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বা বিভব বলে।
মনে করি, অসীম দূরত্ব থেকে একটি পরীক্ষণীয় আধান q কে তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনতে W পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়, ঐ বিন্দুর বিভব V হলে,

$$V = \frac{W}{q} \quad \text{.......................................} (১.২২)$$

তড়িৎ বিভব স্কেলার রাশি, বিভবের একক জুল/কুলম্ব (JC^{-1})। SI পদ্ধতিতে বিভবের এককু ভোল্ট (V)

আধান q=1 কুলম্ব (C) হলে যদি কাজ W=1 জুল (J) হয় তাহলে বিভব V=1 ভোল্ট (V) হয়।

ভোল্ট: অসীম দূরত্ব থেকে এক কুলম্ব (1C) ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যদি এক জুল (1J) কাজ সম্পন্ন হয়, তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে এক ভোল্ট (1V) বলে।

$$\therefore \quad 1V = \frac{1J}{1C} = 1JC^{-1}$$

তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব 16V বলতে বোঝায়, অসীম দূরত্ব থেকে প্রতি কুলম্ব ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের ঐ বিন্দুতে আনতে 25J কাজ সম্পাদিত হয়।

বিভব পার্থক্য (Potential Difference)

মনে করি, কোনো তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে A ও B দুটি বিন্দু। এদের মধ্যবর্তী দূরত্ব r এবং বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_B [চিত্র ১.৯]। বিভবের সংজ্ঞানুসারে অসীম থেকে একক ধনাত্মক আধানকে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ V_A এবং B বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ V_B। অতএব প্রতি একক ধনাত্মক আধানকে B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ $V_A - V_B$ অর্থাৎ ঐ দুই বিন্দুর (A ও B) বিভব পার্থক্য।

সংজ্ঞা: প্রতি একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে স্থানান্ড়র করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয় তাকে ঐ দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য বলে। বিভব পার্থক্যের এক ভোল্ট (V) ।

বিভব পার্থক্য ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক (Relation Between Potential Difference and Work)

মনে করি, কোনো তড়িৎক্ষেত্রের অভ্যন্ড়র A ও B দুটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B [চিত্র ১.৯]।

B বিন্দু থেকে একক ধনাত্মক আধানকে A বিন্দুতে আনতে সম্পাদিত কাজ $= V_A - V_B$

A বিন্দু থেকে এক ধনাত্মক আধানকে B বিন্দুতে আনতে সম্পাদিত কাজ $= V_B - V_A$

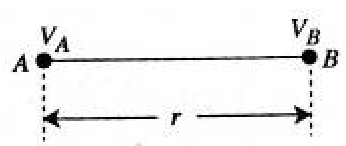
$\therefore$ q পরিমাণ আধানকে B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে নিতে সম্পাদিত কৃতকাজ।

$W = q(V_A - V_B)$ .... (১.২৩)

আবার, q পরিমাণ আধানকে A বিন্দু থেকে B বিন্দুতে নিতে সম্পাদিত কৃতকাজ,

$$W = q\,(V_B - V_A)$$

$\therefore$ কাজ = আধান $\times$ বিভব পার্থক্য।



চিত্র ১.৯

(১.২৩) সমীকরণে q, V_A ও V_B এর মান বসালে কাজ এর মান পাওয়া যাবে। W যদি ধনাত্মক হয় তবে বুঝতে হবে বাহ্যিক বল দ্বারা কাজ করতে হবে, আর যদি W-এর মান ঋণাত্মক হয় তবে বুঝতে হবে তড়িৎক্ষেত্রই কাজ করবে।

ইলেকট্রন ভোল্ট (Electron Volt) বা eV

কাজ বা শক্তির একটি একক হলো ইলেকট্রন ভোল্ট। সাধারণত পারমাণবিক ও নিউক্লিয় পদার্থবিদ্যায় শক্তির এই একক ব্যবহার করা হয়।

সংজ্ঞা: 1V বিভব পার্থক্যের দুটি বিন্দুর একটি থেকে অন্যটিতে একটি ইলেকট্রন স্থানান্তর করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয় তাকে এক ইলেকট্রন ভোল্ট বা সংক্ষেপে 1eV বলে।

$\therefore$ 1eV = একটি ইলেকট্রনের আধান $\times$ 1 ভোল্ট [$\because$ কাজ=আধান $\times$ বিভব পার্থক্য]

$$= 1.6\times10^{-19}\,C\times1V$$

$$= 1.6\times10^{-19}\,C\times\frac{1J}{1C}\quad\left[\because 1V=\frac{1J}{1C}\right]$$

$$= 1.6\times10^{-19}\,J$$

আবার এক ইলেকট্রন ভোল্টের দশ লক্ষগুণ অর্থাৎ 10^6 গুণ বড় একককে বলে মিলিয়ন ইলেকট্রন ভোল্ট বা মেগা ইলেকট্রন ভোল্ট (MeV)।

$$\therefore\ 1MeV = 10^6eV = 1.6\times10^{-19}\times10^6 J$$

$$= 1.6\times10^{-13} J$$

এবং 1 GeV (1Giga electron volt)=10^{12}eV

তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভব পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য
(Relation Between Intensity of Electric Field and Potential Difference)

কোনো তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে A ও B দুটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B [চিত্র ১.৯]। এদের মধ্যবর্তী দূরত্ব r।

এখানে, $V_A - V_B$ =B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে এক ধনাত্মক আধান আনতে কাজের পরিমাণ।

=B বিন্দু থেকে A বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান আনতে তার ওপর ক্রিয়াশল বলের মান $\times$ আধানের সরণের মান

= তড়িৎ প্রাবল্য $\times$ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব

$$V_A - V_B = E\times r \qquad \left[\because E=\frac{F}{q}\right.$$

বা, $E=\dfrac{V_A-V_B}{r}$ এখানে, q =1 $\therefore\ E=F]$

A ও B বিন্দুর মধ্যবর্তী বিভব পার্থক্য $V_A - V_B = V$ ধরলে,

$$E=\frac{V}{r}\ \text{।}\ ....(১.২৪)$$

ক্যালকুলাসের সাহায্যে লেখা যায়,

$E=-\dfrac{dV}{dr}$। এখানে ঋণাত্মক চিহ্ন দিয়ে বোঝানো হয় যে, তড়িৎ প্রাবল্য E এর দিক সর্বদা যে দিকে বিভব পার্থক্য হ্রাস পায় সেদিকে হয়।

উপরের সমীকরণ থেকে বলা যায়, তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর প্রাবল্যের মান দূরত্বের সাপেক্ষে বিভবের পরিবর্তনের হারের সমান।

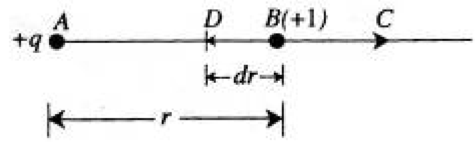
(১.২৪) সমীকরণ থেকে তড়িৎ প্রাবল্যের একক পাওয়া যায় ভোল্ট/মিটার (Vm^{-1})। পূর্বে আমরা দেখেছি, তড়িৎ প্রাবল্যের একক নিউটন/কুলম্ব (NC^{-1})।

বিন্দু আধান কর্তৃক সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে বিভবের রাশিমালা
(Potential at a point in the electric field due to a point charge)

মনে করি, K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কের একটি মাধ্যমের A বিন্দুতে একটি ক্ষুদ্র পরিবাহী অবস্থিত যার আধান +q। +q আধান দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রের A বিন্দু থেকে r দূরত্বে B বিন্দুতে বিভব V নির্ণয় করতে হবে [চিত্র ১.১০(ক)]। মনে করি B

বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করা হলো। এখন A বিন্দুতে অবস্থিত +q আধানের জন্য B বিন্দুতে স্থাপিত একক ধনাত্মক আধানের ওপর বল তথা তড়িৎ প্রাবল্য হবে,

$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{r^2}$ এবং এ প্রাবল্যের দিক হবে BC বরাবর,



১.১০(ক)

এখন এ ধনাত্মক আধানকে B বিন্দু থেকে A বিন্দুর দিকে BA বরাবর ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র দূরত্ব dr সরাতে অর্থাৎ D বিন্দুতে স্থাপন করতে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ এ দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য dV এর সমান।

$\therefore$ dV = একক ধনাত্মক আধানের উপর বল $\times$ বলের দিকে সরণের উপাংশ।

$= E\times dr\cos 180^o$ [বল E ও সরণ dr পরস্পর বিপরীতমুখী হওয়ায় এদের অন্তর্ভুক্ত কোণ 180^o]

$\therefore \quad dV = -Edr$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{r^2}\,dr$$

যখন $r = \infty$ তখন V= 0 এবং যখন r = r, তখন V=V, এ সীমার মধ্যে উপরের সমীকরণকে সমাকলন করে পাই,

$$\int_o^V dV = -\int_\infty^r \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{r^2}dr$$

$$= -\frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\int_\infty^r \frac{dr}{r^2} = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\int_\infty^r r^{-2}\,dr$$

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

বা, $V-0 = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\left[-\frac{1}{r}\right]_\infty^r$

বা, $V = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\left[-\frac{1}{r}+\frac{1}{\infty}\right]$

বা, $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{r}$ ....(১.২৫)

এখন মাধ্যমটি বায়ু বা শূন্য হলে, K=1 হবে,

$\therefore V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r}$ ....(১.২৬)

একাধিক আধানের জন্য সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভবঃ

ধরি, K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট কোনো মাধ্যমের বিভিন্ন বিন্দুতে q_1, q_2, q_3..........q_n আধান অবস্থিত। মাধ্যমের উপর P একটি বিন্দু এবং এ আধানগুলোর জন্য P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে, [চিত্র : ১.১০(খ)]।

ধরি, P বিন্দু থেকে r_1, r_2, r_3............r_n দূরত্বে আধান q_1, q_2, q_3..........q_n অবস্থিত এবং এ সকল আধানের জন্য P বিন্দুতে বিভব হবে যথাক্রমে–

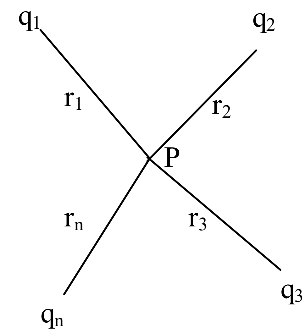
$$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q_1}{r_1}, \qquad V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q_2}{r_2}$$

$$V_3 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q_3}{r_3}, \qquad V_n = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q_n}{r_n}, \ldots\ldots\ldots\ldots$$

এখন P বিন্দুতে মোট বিভব হবে প্রতিটি আধানের জন্য P বিন্দুতে সৃষ্ট বিভবের পৃথক পৃথক বীজগাণিতিক সমষ্টি। সুতরাং P বিন্দুতে মোট বিভব,

$$V = V_1+V_2+V_3+\ldots\ldots\ldots\ldots+V_n\ldots\ldots$$

বা, $$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o k}\frac{q_1}{r_1}+\frac{1}{4\pi\varepsilon_o k}\frac{q_2}{r_2}+\frac{1}{4\pi\varepsilon_o k}\frac{q_3}{r_3}+ \frac{1}{4\pi\varepsilon_o k}\frac{q_n}{r_n}+\ldots\ldots\ldots\ldots(১.২৭)$$

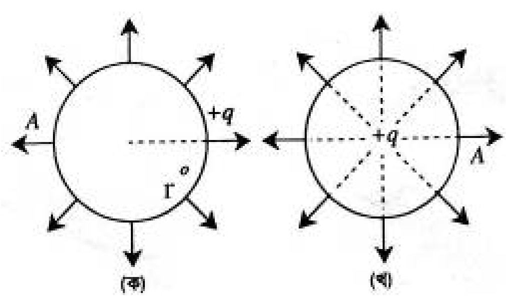


চিত্র : ১.১০(খ)

চার্জিত গোলকের বিভব (Potential of a Charged Sphere)

মনে করি, A একটি ফাঁপা গোলক যার ব্যাসার্ধ r এবং এটি K একটি তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কের কোন মাধ্যমে অবস্থিত।

এখন গোলকটিকে +q পরিমাণ আধান দিলে গোলকটি ধনাত্মকভাবে আহিত হবে। এ আধান গোলক পৃষ্ঠের সর্বত্র সমভাবে বণ্টিত হবে। ফলে গোলকের পৃষ্ঠ থেকে বলরেখাগুলো লম্বভাবে ব্যাসার্ধ বরাবর বাইরের দিকে বের হবে [চিত্র ১.১১(ক)]। এ সকল বলরেখাগুলোকে পিছনের দিকে বাড়ালে এগুলো গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হবে। এখানে যদি ধরা হয়, +q আধান গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত আছে, তাহলেও বলরেখাগুলো একইভাবে বের হবে অর্থাৎ চিত্র [১.১১(ক)] এর রূপ নিবে [চিত্র ১.১১(খ)]



চিত্র ১.১১

সুতরাং বোঝা যায় যে, q আধান গোলকের পৃষ্ঠে থাকলে অথবা গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত থাকলে বলরেখাগুলো একইরূপ হয়। অর্থাৎ q আধান গোলকের পৃষ্ঠে থাকলে যে তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে, q আধান গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত থাকলেও একই তড়িৎক্ষেত্রের সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে q আধান গোলকের পৃষ্ঠে স্থাপিত হলেও এই আধানকে গোলকের কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত বলে বিবেচনা করা যায়। সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠে কোনো বিন্দুতে বিভব হবে,

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{r}$$

এবং প্রাবল্য হবে, $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{r^2}$

আমরা জানি, গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান। অতএব গোলকের পৃষ্ঠে বা অভ্যন্তরে বিভব তথা গোলকের বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{r}$$

গোলকটি যদি বায়ুতে বা শূন্যস্থানে অবস্থিত হয় তাহলে K=1, অতএব বিভব

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r} \quad ....(১.২৮)$$

এবং প্রাবল্য, $E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$ ....(১.২৯)

গোলকের অভ্যন্ড়রে সকল বিন্দুতে বিভব, এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান হবে। গোলকের অভ্যন্ড়রে কোন বিন্দুতে বিভব V_o হলে, পৃষ্ঠ ও অভ্যন্ড়রের কোন বিন্দুর বিভব পার্থক্য,

$V-V_o =$ প্রাবল্য $\times$ দূরত্ব

বা, $V-V_o = 0$ [$\therefore$ গোলকের অভ্যন্ড়রে আধান না থাকায় প্রাবল্য, $E= 0$]

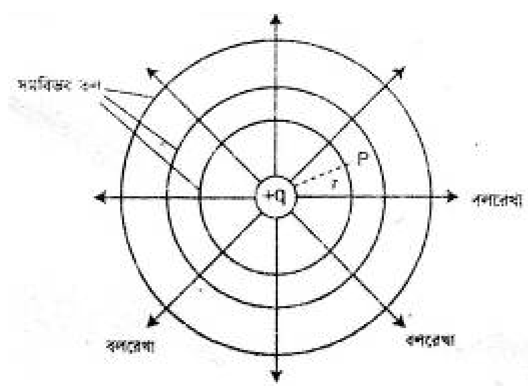
$\therefore V=V_o$

অর্থাৎ গোলকের অভ্যন্ড়রে কোনো বিন্দুতে বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান।

১.২.৬ 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 ধনাত্মক আধানকে তলের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে নিতে কোনো কাজের প্রয়োজন হয় না। কারণ বৈদ্যুতিক কাজ সম্পাদন করতে হলে বিন্দু দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য থাকা প্রয়োজন। সমবিভব তলে বিন্দু দুটির বিভব পার্থক্যের মান শূন্য। বিভব পার্থক্য না থাকায় সমবিভব তলে তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। চিত্র **১.১২** 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 উপর সব বিন্দুতে

বিভবের মান $= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o r}$



চিত্র : ১.১২

গাণিতিক উদহারণ ১.৪। 1.6×10^{-9}C আধানে আহিত একটি ক্ষুদ্র গোলককে বায়ুতে স্থাপন করা হলো। বাহিত গোলকের কেন্দ্র হতে 0.15m দূরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করুন।

আমরা জানি,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$$

এখানে,

আধান, $q = 1.6\times10^{-9}$C

$$= \frac{9 \times 10^9 \, Nm^2C^{-2} \times 1.6 \times 10^{-9} C}{(0.15m)^2}$$

$$= 640 \, NC^{-1}$$

দূরত্ব, $r = 0.15m$

প্রাবল্য, $E = ?$

$$\frac{1}{4\pi\pi_o} = 9 \times 10^9 \, Nm^2C^{-2}$$

উ: $640 \, NC^{-1}$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৫। একটি ইলেকট্রনকে অভিকর্ষীয় ক্ষেত্রে স্থির রাখতে হলে কী পরিমাণ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রয়োজন হবে? কিন্তু তড়িৎ বল ও ইলেকট্রনের ওজন সমান হলে ইলেকট্রনটি স্থির থাকবে।

$$\therefore F = W$$

বা, $qE = mg$

বা, $E = \frac{mg}{q}$

$$= \frac{9 \times 10^{-31} \times 9.8}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$\therefore E = 5.57 \times 10^{-1}1NC^{-1}$$

এখানে,

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31} kg$

ইলেকট্রনের চার্জ, $q = 1.6 \times 10^{-19} C$; $g = 9.8 ms^{-2}$

তড়িৎক্ষেত্র, $E = ?$

$\therefore$ তড়িৎক্ষেত্র, $E = 5.57 \times 10^{-11} NC^{-1}$

উ: $5.57 \times 10^{-11} NC^{-1}$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৬। 2m বাহুবিশিষ্ট সমবাহু ত্রিভুজের দুই কৌণিক বিন্দুতে 2 কুলম্ব মানের দুটি চার্জ স্থাপিত আছে। তৃতীয় কৌণিক বিন্দুতে প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর ন।

ধরা যাক, ABC সমবাহু ত্রিভুজের

A বিন্দুতে চার্জ, $q = 2C$

B বিন্দুতে চার্জ, $q = 2C$

প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য = 2m

A বিন্দুর আধানের জন্য C বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{q}{r^2}$$

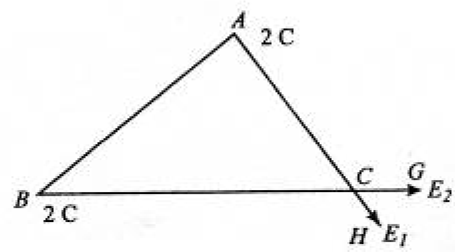
$$= 9 \times 10^9 \, Nm^2C^{-2} \times \frac{2C}{(2m)^2}$$

$$= 4.5 \times 10^9 \, NC^{-1}, CH \text{ বরাবর}$$

আবার B বিন্দুর আধানের জন্য C বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_2 = 4.5 \times 10^9 \, NC^{-1}, CG \text{ বরাবর}$$

$\therefore$ C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্যের মান,



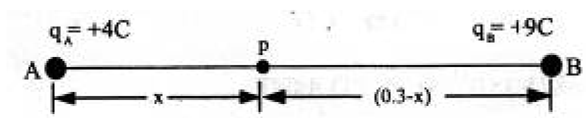
$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos 60^o} \qquad [\because \angle ACB = \angle GCH = 60^o]$$

$$= \sqrt{(4.5\times10^9\,\text{NC}^{-1})^2 + (4.5\times10^9\,\text{NC}^{-1})^2 + 2\times4.5\times10^9\,\text{NC}^{-1}\times10^9\,\text{NC}^{-1}\times\cos 60^o}$$

$$= 7.79\times10^9\,\text{NC}^{-1}$$

উঃ $7.79\times10^9\,\text{NC}^{-1}$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৭। দুটি ক্ষুদ্র গোলক A ও B তে যথাক্রমে +4C ও +9C চার্জ আছে। যদি গোলকদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 30 cm হয়, তবে এদের সংযোজক সরলরেখার কোন বিন্দুতে উভয় চার্জের জন্য তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান হবে?



মনে করি, A গোলক থেকে x মিটার দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে উভয় চার্জের জন্য প্রাবল্যের মান সমান হবে।

A গোলকের চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্যের মান, $E_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_A}{x^2}$

B গোলকের চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্যের মান, $E_8 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_B}{(0.3-x)^2}$

প্রশ্নানুসারে, $E_A = E_B$

বা, $\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_A}{x^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_B}{(0.3-x)^2}$

বা, $\frac{(0.3-x)^2}{x^2} = \frac{q_B}{q_A}$

বা, $\frac{0.3-x}{x} = \sqrt{\frac{9}{4}}$

বা, $0.6 - 2x = 3x$

বা, $5x = 0.6$

বা, $x = \frac{0.6}{5}$

বা, x = 0.12m

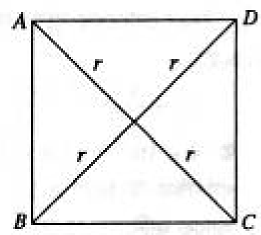
$\therefore$ 0.12 m

উঃ 0.12 m

উদাহরণ ১.৮। বায়ুতে একটি বর্গক্ষেত্রের তিনটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে $+2\times10^{-9}$C, -1×10^{-9}C এবং $+8\times10^{-9}$C আধান স্থাপন করা হলো। চতুর্থ কৌণিক বিন্দুতে কত আধান স্থাপন করলে বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভব শূন্য হবে?

বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্র থেকে প্রতিটি কৌণিক বিন্দুর দূরত্ব সমান।

ধরা যাক, এই দূরত্ব r।



প্রথম কোণায় আধান, $q_1 = +2\times10^{-9}$C
দ্বিতীয় কোণায় আধান, $q_2 = -1\times10^{-9}$C
তৃতীয় কোণায় আধান, $q_3 = +8\times10^{-9}$C
চতুর্থ কোণায় আধান, $q_4 = ?$
কেন্দ্রে বিভব, V=0
বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে মোট বিভব

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1}{r}+\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_2}{r}+\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_3}{r}+\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_4}{r}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{r}(q_1+q_2+q_3+q_4)$$

বা, $0= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{r}(q_1+q_2+q_3+q_4)$

বা, $q_1+q_2+q_3+q_4 = 0$

বা, $q_4 = -(q_1+q_2+q_3)$

$$= -(2\times10^{-9}C^{-1} - 1\times10^{-9} + 8\times10^{-9}C)$$

$\therefore\ q_4 = -9\times10^{-9}C$

উ: $-9\times10^{-9}C$

গাণিতিক উদাহরণ ১.৯। একটি গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ 0.5m এবং তাকে 10 C আধান দেয়া আছে। গোলকের কেন্দ্র হতে 1m এবং 0.1m দূরত্বে তড়িৎ বিভবের মান বের কর‍ুন।

গোলকের পৃষ্ঠে স্থাপিত আধান তার কেন্দ্রে অবস্থিত বলে বিবেচনা করা হয়।

আমরা জানি,

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r}$$

$$= \frac{9\times10^{9}\,\mathrm{Nm^2C^{-2}}\times10\mathrm{C}}{1\mathrm{m}} = 9\times10^{10}\,\mathrm{V}$$

এখানে, প্রথম ক্ষেত্রে,

গোলকের ব্যাসার্ধ, r = 0.5m

গোলকের কেন্দ্র হতে দূরত্ব, r_1 = 1m

আধান, q = 10C

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9\times10^{9}\,\mathrm{Nm^2C^{-2}}$$

বিভব, V=?

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, যে বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে সে বিন্দুটি গোলকের ভেতরে অবস্থিত। গোলকের ভেতরে বিন্দুতে বিভব গোলকের পৃষ্ঠের বিভবের সমান। তাই এক্ষেত্রে 0.1m এর পরিবর্তে দূরত্ব গোলকের ব্যাসার্ধ অর্থাৎ 0.5 ধরতে হবে।

$$\therefore \quad \frac{9\times10^{9}\,\text{Nm}^{2}\text{C}^{-2}\times10\text{C}}{0.5\text{m}} = 1.8\times10^{11}\,\text{V}$$

উ: $9\times10^{10}\,\text{V}, 1.8\times10^{11}\,\text{V}$

সার-সংক্ষেপ :

তড়িৎ ক্ষেত্র : একটি আহিত বস্তুর চারপাশে যে অঞ্চলব্যাপী তার প্রভাব বিদ্যমান থাকে অর্থাৎ অন্য কোন আহিত বস্তু স্থাপনে সেটি আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল লাভ করে, সে অঞ্চলকে ঐ আহিত বস্তুর তড়িৎ বলক্ষেত্র বা তড়িৎ ক্ষেত্র বলে।

তড়িৎ প্রাবল্য : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে সেটি যে বল অনুভব করে তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য বলে।

তড়িৎ প্রাবল্য, $E = \frac{F}{q}$

তড়িৎ বিভব : শূন্য বিভবের কোনো স্থান থেকে বা অসীম দুরত্ব থেকে একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়, তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বা বিভব বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ২

বহু নির্বাচনি প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. তড়িৎ প্রাবল্যের একক কি?

ক. Nm   খ. JC

গ. NC^{-1} ঘ. V

২. তড়িৎ ক্ষেত্রের কোন বিন্দুর প্রাবল্য E হলে সেখানে q আধান যে বল F অনুভব করবে তা নিচের কোনটি?

ক. qE খ. $\frac{q}{E}$

গ. $\frac{E}{q}$ ঘ. q^2E

৩. যখন একটি বস্তুর সঙ্গে পৃথিবীর সংযোগ ঘটানো হয় তখন পৃথিবী থেকে বস্তুটিতে ইলেকট্রন যায়। এর অর্থ হলো বস্তুটি-

ক. ঋণাত্মক আধানে আহিত হয়   খ. অন্তরক হয়

গ. নিস্তড়িত হয়   ঘ. ধনাত্মক আধানে আহিত হয়।

বহুপদী সমাপ্তিসূচক বহুনির্বাচনি

৪. আধানের কোয়ান্টায়নের ক্ষেত্রে কোনটি সত্য–

(i) কোনো বস্তুতে আধানের মান নিরবচ্ছিন্ন মানের

(ii) কোনো বস্তুতে মোট আধানের পরিমাণ ইলেকট্রণের আধানের গুণিতক হবে
(iii) কোনো বস্তুতে আধান বিচ্ছিন্ন হয়।

নিচের কোনটি সঠিক?

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

পাঠ-১.৩ : তড়িৎ দ্বিমেরু (Electric dipole)

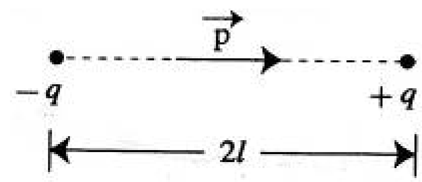
উদ্দেশ্য

এই পাঠ শেষে আপনি-

- তড়িৎ দ্বিমেরু ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তার অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা নির্ণয় করতে পারবেন।
- তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তার অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা নির্ণয় করতে পারবেন।
- তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তার দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা নির্ণয় করতে পারবেন।
- তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তার দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা নির্ণয় করতে পারবেন।
- তড়িৎ ক্ষেত্রের যেকোনো বিন্দুতে প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভব নির্ণয় করতে পারবেন।

১.৩.১ তড়িৎ দ্বিমেরু (Electric dipole)

সমমানের বিপরীতধর্মী দুটি বিন্দু আধান অল্প দূরত্বে অবস্থান করলে যে ব্যবস্থা (system) গঠিত হয়, তাকে তড়িৎ দ্বিমেরু বলে। যেমন হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি প্রোটন এবং একটি ইলেকট্রন পরস্পরের খুব কাছাকাছি অবস্থান করে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। ১.১৩ চিত্রে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু দেখানো হয়েছে। এতে দুটি সমান ও বিপরীত আধান $+q$ এবং $-q$ পরস্পর থেকে $2l$ দূরত্বে অবস্থিত। কোনো তড়িৎ দ্বিমেরুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে ঐ তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বলে। একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর সবলতা পরিমাপ করা হয় তার তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক (electric depole moment) দ্বারা।



চিত্র : ১.১৩

১.৩.২ তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক: তড়িৎ দ্বিমেরুর যেকোনো একটি আধান এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফলকে তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক বলে। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি এবং একে $\vec{P}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যে কোনো একটি আধান এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফল দ্বারা এর মান পরিমাপ করা হয়।

$$\therefore\ p = q \times 2l$$

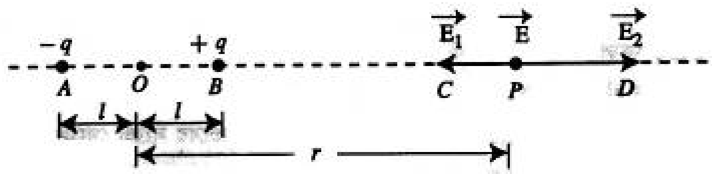
$\vec{P}$ এর দিক হয় তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর ঋণাত্মক আধান থেকে ধনাত্মক আধানের দিক [চিত্র ১.১৩]। এর একক কুলম্ব মিটার (Cm)।

১.৩.৩ একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তার অক্ষের ওপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা

Equation of an Electric Field Intensity at a point on the axial line of an Electric dipole

আমরা জানি, কোনো তড়িৎ দ্বিমেরুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে ঐ তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বলে।

মনে করি, A বিন্দুতে $-q$ এবং B বিন্দুতে $+q$ দুটি বিন্দু আধান পরস্পর থেকে $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু বা ডাইপোল গঠন করে (চিত্র : ১.১৪)। আধান দুটি K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বিশিষ্ট মাধ্যমে অবস্থিত। এই তড়িৎ দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু O থেকে তার অক্ষের ওপর r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র : ১.১৪

এখন A বিন্দুর $-q$ আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q}{(r+l)^2}$$ [ঋণাত্মক চিহ্ন অন্তর্মুখী দিক তথা আকর্ষণ বোঝাচ্ছে।]

বা, $$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{-q}{(r+l)^2}$$, PC বরাবর

আবার, B বিন্দুর q আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q}{(r-l)^2}$$, PD বরাবর

যেহেতু E_1 এবং E_2 একই সরলরেখা বরাবর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে এবং $E_2>E_1$, সুতরাং P বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য E হবে।

$E = E_2 - E_1$ এর দিক হবে E_2 এর দিকে তথা PD বরাবর

$$\therefore\ E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q}{(r-l)^2} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q}{(r+l)^2}$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\left[\frac{1}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\left[\frac{(r+l)^2-(r-l)^2}{(r^2-l^2)^2}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\times\frac{4rl}{(r^2-l^2)^2} = \frac{2(q\times 2l)r}{4\pi\varepsilon_o K(r^2-l^2)^2}$$

$$\because\ q\times 2l = p$$

$$\therefore\ E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{2pr}{(r^2-l^2)^2}$$, PD ররাবর ....(১.৩০)

E এর দিক হবে তড়িৎ দ্বি-মেরুর অক্ষ বরাবর ঋণাত্মক আধান থেকে ধনাত্মক আধানের দিকে,

বিশেষ ক্ষেত্র : যদি P বিন্দুটি দ্বিমেরু থেকে অনেক দূরে হয়

(অর্থাৎ যদি $r >> l$ হয়), তাহলে r^2 এর তুলনায় l^2 কে উপেক্ষা করা যায়। সেক্ষেত্রে,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{2pr}{r^4}$$

বা, $$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{2p}{r^3}$$

শূন্যস্থান বা বায়ু হলে $K = 1$, সুতরাং

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{2p}{r^3} \quad \text{...}(১.৩১)$$

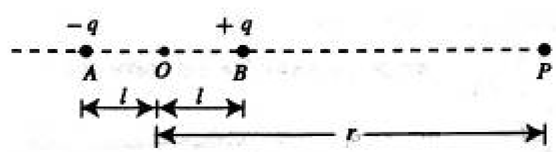
উপরের সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, একটি তড়িৎ দ্বিমেরু থেকে অনেক দূরে তার অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎপ্রাবল্য দূরত্বের ঘনফলের ব্যস্তানুপাতিক।

১.৩.৪ একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তার অক্ষের ওপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা

Equation of an Electric Field Intensity at a Point on Equational line of an Electric Dipole

আমরা জানি, কোনো তড়িৎ দ্বিমেরুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে ঐ তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বলে।

মনে করি, A বিন্দুতে $-q$ এবং B বিন্দুতে $+q$ দুটি বিন্দু আধান পরস্পর থেকে $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু বা ডাইপোল গঠন করে (চিত্র : ১.১৫)। আধান দুটি K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বিশিষ্ট মাধ্যমে অবস্থিত। এই তড়িৎ দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু O থেকে তার অক্ষের ওপর r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র : ১.১৫

এখন A বিন্দুর $-q$ আধানের জন্য P বিন্দুতে বিভব,

$$V_1 = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{(r+l)}$$

আবার, B বিন্দুর q আধানের জন্য P বিন্দুতে বিভব,

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{(r-l)}$$

এখন P বিন্দুর বিভব V হলে,

$$V = V_1 + V_2$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{(r+l)} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{(r-l)}$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\left[\frac{1}{(r-l)} - \frac{1}{(r+l)}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o K}\left[\frac{r+l-r+l}{r^2-l^2}\right]$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q\times 2l}{(r^2-l^2)}$$

$$\because\ q\times 2l = p$$

$$\therefore\ V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{p}{(r^2-l^2)} \quad \text{..................................(১.৩২)}$$

বিশেষ ক্ষেত্র : যদি P বিন্দুটি থেকে অনেক দূরে হয় (অর্থাৎ যদি $r>>l$ হয়), তাহলে r^2 এর তুলনায় l^2 কে উপেক্ষা করা যায়। সেক্ষেত্রে

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{p}{r^2}$$

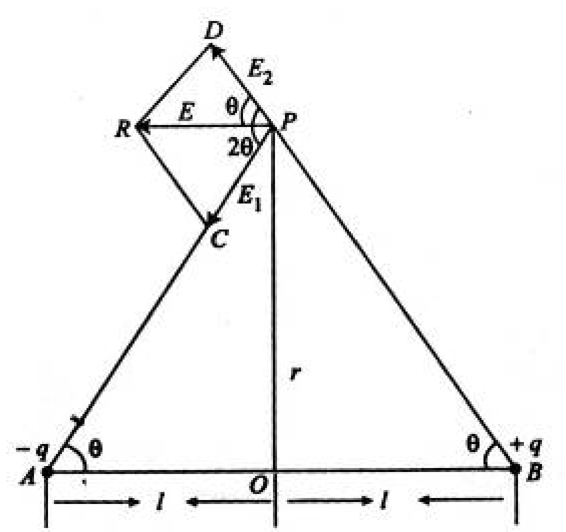
শূন্যস্থান (বা বায়ু) হলে $K=1$, সুতরাং

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\,\frac{p}{r^2} \quad \text{...(১.৩৩)}$$

উপরের সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, একটি তড়িৎ দ্বিমেরু থেকে অনেক দূরে তার অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

১.৩.৫ একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা (Equation of An Electric Field Intensity at a point on Equatorial Line of an Electric Dipole)

মনে করি, A বিন্দুতে $-q$ এবং B বিন্দুতে $+q$ দুটি বিন্দু আধান পরস্পর থেকে $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু বা ডাইপোল গঠন করে (চিত্র ১.১৬)। আধান দুটি K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বিশিষ্ট মাধ্যমে অবস্থিত। এই তড়িৎ দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু O থেকে তার লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের ওপর r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র : ১.১৬

এখন A বিন্দুর $-q$ আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{-q}{(r^2+l^2)}$$ [ঋণাত্মক চিহ্ন অন্তর্মুখী দিক তথা আকর্ষণ বোঝাচ্ছে।]

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q}{(r^2+l^2)},\ PC \text{ বরাবর}$$

আবার B বিন্দুর +q আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q}{(r^2+l^2)},$$ [ধনাত্মক চিহ্ন বহির্মুখী দিক তথা বিকর্ষণ বোঝাচ্ছে।]

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\,\frac{q}{(r^2+l^2)},\ PD \text{ বরাবর}$$

এখন P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য হবে E_1 ও E_2 এর লব্ধি।

ধরা যাক, $\angle PAB = \angle PBA = \theta$

সুতরাং P বিন্দুতে ক্রিয়াশীল E_1 ও E_2 এর অন্তর্ভুক্ত কোণ,

$$\therefore \angle DPC = \angle PAB + \angle PBA = \theta + \theta = 2\theta$$

ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্রানুসারে P বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos 2\theta}$$

আমরা জানি, $E_1 = E_2$

সুতরাং $E_1 = E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{(r^2+l^2)}$

$$\therefore E = \sqrt{2E_1^2 + 2E_1^2\cos 2\theta}$$

$$= \sqrt{2}E_1\sqrt{(1+\cos 2\theta)} = \sqrt{2}E_1\sqrt{2\cos^2\theta}$$

$$= 2E_1\cos\theta$$

এখন, ২.১৬ চিত্র থেকে পাই $\cos\theta = \frac{l}{\sqrt{r^2+l^2}}$

$$E = 2\times\frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{(r^2+l^2)}\times\frac{l}{\sqrt{r^2+l^2}}$$

বা, $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{2lq}{(r^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}$

আমরা জানি, তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক, $p = 2aq$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{p}{(r^2+l^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{.................................(১.৩৪)}$$

যেহেতু E_1 ও E_2 এর মান সমান, সুতরাং লব্ধি E, E_1 ও E_2 এর অন্তর্ভুক্ত কোণ 2θ কে সমদ্বিখণ্ডিত করে। $\angle DPR = \angle PBA = \theta$, একই ভূমি DPB এর ওপর অনুরূপ কোণ, সুতরাং PR, BA এর সমান্তরাল।

অতএব, দ্বিমেরুর লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের ওপর তড়িৎ প্রাবল্যের দিক হবে দ্বিমেরু অক্ষের সমান্তরাল দ্বিমেরুর ধনাত্মক আধান থেকে ঋণাত্মক আধানের দিকে।

বিশেষ ক্ষেত্র : যদি P বিন্দুটি দ্বিমেরু থেকে অনেক দূরে হয় (অর্থাৎ, $r >> l$ হয়) তাহলে r^2 এর তুলনায় l^2 কে উপেক্ষা করা যায়, সেক্ষেত্রে,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{p}{r^3}$$

শূন্যস্থান বা বায়ু হলে $K=1$ সুতরাং

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{p}{r^3} \quad \text{......................................(১.৩৫)}$$

১.৩.৬ একটি তড়িৎ দ্বিমের‍ুর দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখ‍ণ্ডকের ওপর যেকোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা
(Equation of an Electric Potential at a point on Equatorial Line of an Electric Diple)

মনে করি, A বিন্দুতে $-q$ এবং B বিন্দুতে $+q$ দুটি বিন্দু আধান পরস্পর থেকে $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমের‍ু বা ডাইপোল গঠন করে (চিত্র ১.১৭)। আধান দুটি K তড়িৎ মধ্যমাঙ্ক বিশিষ্ট মাধ্যমে অবস্থিত। এই তড়িৎ দ্বিমের‍ুর মধ্যবিন্দু O থেকে তার লম্ব সমদ্বিখ‍ণ্ডকের ওপর r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় করতে হবে।

এখন A বিন্দুর $-q$ আধানের জন্য P বিন্দুতে বিভব,

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{\sqrt{r^2+l^2}}$$

এবং B বিন্দুর q আধানের জন্য P বিন্দুতে বিভব

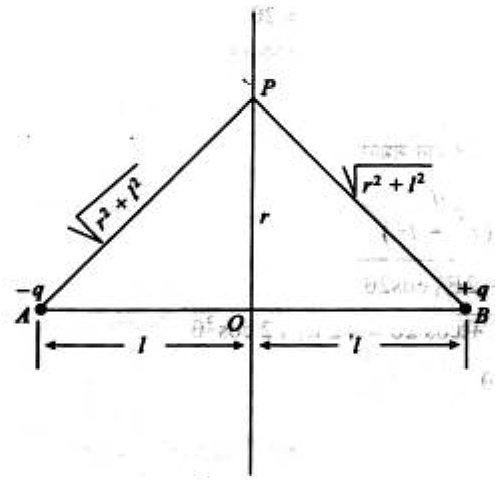
$$V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{\sqrt{r^2+l^2}}$$

$\therefore$ P বিন্দুতে মোট বিভব,

$$V = V_1 + V_2$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{\sqrt{r^2+l^2}} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\frac{q}{\sqrt{r^2+l^2}}$$

$$= 0$$



চিত্র : ১.১৭

অর্থাৎ তড়িৎ দ্বিমের‍ুর দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখ‍ণ্ডকের ওপর যেকোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব শূন্য।

সার-সংক্ষেপ :

তড়িৎ দ্বিমের‍ু (Electric Dipole) : সমমানের বিপরীতধর্মী দুটি বিন্দু আধান অল্প দূরত্বে অবস্থান করলে যে ব্যবস্থা (system) গঠিত হয়, তাকে তড়িৎ দ্বিমের‍ু বলে।

তড়িৎ দ্বিমের‍ু ভ্রামক (Electric Dipole moment) : তড়িৎ দ্বিমের‍ুর যেকোনো একট আধান এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফলকে তড়িৎ দ্বিমের‍ু ভ্রামক বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৩

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. একটি তড়িৎ দ্বিমের‍ুর আধান দুটির পরিমাণ কত হবে?

ক. $8\times10^{-19}C$ ও $-8\times10^{-19}C$ খ. $4\times10^{-19}C$ ও $2\times10^{-19}C$

গ. $3\times10^{-19}C$ ও $6\times10^{-19}C$ ঘ. $4\times10^{-19}C$ ও $4\times10^{-19}C$

গাণিতিক উদাহরণ ১.১০। শূন্য স্থানে রাখা একটি তড়িৎ দ্বিমের‍ু 4 cm দূরে থাকা 10 μc মানের দুটি সমান ও বিপরীতমুখী তড়িৎ আধান দ্বারা গঠন করা হয়েছে। (ক) দ্বিমের‍ুটির অক্ষের উপর এর কেন্দ্র থেকে 20 cm দূরে অবস্থিত একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর‍ুন; (খ) দ্বিমের‍ুটির লম্ব দ্বিখ‍ণ্ডকের উপর কেন্দ্র থেকে 20 cm দূরে কোনো

বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করুন। (গ) তড়িৎ দ্বিমেরুটিকে $4\times10^{5}NC^{-1}$ প্রাবল্যের তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এর উপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় করুন।

(ক) আমরা জানি, তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$$\begin{aligned} P &= 2a\times q \\ &= 4\times10^{-2}\times10\times10^{-6} \\ &= 40\times10^{-8}\ \text{Cm} \end{aligned}$$

তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের উপর প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{2pr}{(x^2-a^2)}$$

$$= 9\times10^9\times\frac{2\times40\times10^{-8}\times20\times10^{-2}}{\{(20\times10^{-2})^2-(2\times10^{-2})^2\}^2}$$

$$= \frac{14400\times10^{-1}}{(400\times10^{-4}-4\times10^{-4})^2}$$

$$= \frac{14400}{(396\times10^{-4})^2}$$

$$= 9.18\times10^{-3}\times10^{8}$$

$$= 9.18\times10^{5}\,NC^{-1}$$

(খ) লম্বদ্বিখণ্ডকের উপর প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{P}{(r^2+a^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{9\times10^9\times40\times10^{-8}}{\{(20\times10^{-2})^2+(2\times10^{-2})^2\}^{3/2}}$$

$$= \frac{3600}{(400\times10^{-4}+4\times10^{-4})^{3/2}}$$

$$= \frac{3600}{(404\times10^{-4})^{3/2}}$$

$$= \frac{3600}{3.3\times10^{-5}}$$

$$= 1090\times10^{5}$$

$$= 10.90\times10^{8}\,NC^{-1}$$

(গ) তড়িৎ দ্বিমেরুর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$$\begin{aligned} F &= qE \\ &= 10\times10^{-6}\times4\times10^{5} \\ &= 4\text{N} \end{aligned}$$

উঃ $9.18\times10^{5}\,NC^{-1}$, $10.90\times10^{8}\,NC^{-1}$, 4 N

পাঠ-১.৪ : ধারকত্ব

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- পরিবাহকের ধারকত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- গোলাকার পরিবাহকের জন্য ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবেন;
- দুটি পরিবাহীর মধ্যে ধারকত্ব অনুসারে আধান বণ্টন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

১.৪.১ পরিবাহীর ধারকত্ব (Capacitance of a Conductor)

কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করলে যেমন এর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় তেমনি কোনো পরিবাহীতে আধান প্রদান করলে এর বিভবও তত বেশি বৃদ্ধি পাবে। তাপবিজ্ঞানে কোনো বস্তুর তাপমাত্রা একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাকে ঐ বস্তুর তাপ ধারণ ক্ষমতা বলে। একইভাবে, স্থির তড়িৎ বিজ্ঞানে কোনো বস্তুর বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয়, তাকে ঐ বস্তুর আধান ধারণ ক্ষমতা বা সংক্ষেপে ধারকত্ব বলে।

সংজ্ঞা: কোনো বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয়, তাকে ঐ পরিবাহকের ধারকত্ব বলে। মনে করি, কোনো পরিবাহকের বিভব V পরিমাণ বৃদ্ধি করতে Q পরিমাণ আধান প্রয়োজন হয়, সুতরাং পরিবাহকের ধারকত্ব,

$$Q \propto V$$

বা, $\frac{Q}{V}$ ধ্রুবক = ধারকত্ব

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{...(১.৩৬)}$$

একক: এস. আই বা S.I পদ্ধতিতে ধারকত্বের একক ফ্যারাড (F)।

(১.৩৬) সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, V=1 ভোল্ট (V) এবং Q =1 কুলম্ব (C) হলে C=1 ফ্যারাড (F) হয়।

ফ্যারাডের সংজ্ঞা : কোনো পরিবাহীর বিভব এক ভোল্ট (1V) বৃদ্ধি করতে যদি এক কুলম্ব (1C) আধানের প্রয়োজন হয়, তাহলে ঐ পরিবাহীর ধারকত্বকে এক ফ্যারাড (1F) বলে।

$$\therefore \ 1\text{F} = \frac{1C}{1\text{V}} = 1\text{CV}^{-1}$$

এক ফ্যারাড (1F) বেশ বড় একক বিধায়, একে সচরাচর ব্যবহার করা হয় না মাইক্রোফ্যারাড (μF) কে্ই ধারাকত্বের একক হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এক ফ্যারাডের দশ লক্ষ ভাগের এক ভাগকে এক মাইক্রোফ্যারাড বলে। অর্থাৎ $1\mu\text{F}=10^{-6}\text{F}$.

মাইক্রোফ্যারাড ছাড়াও ন্যানোফ্যারাড (nF), পিকোফ্যারাড বা মাইক্রো মাইক্রোফ্যারাড ($\mu\mu$F) এককও ব্যবহার করা হয়।

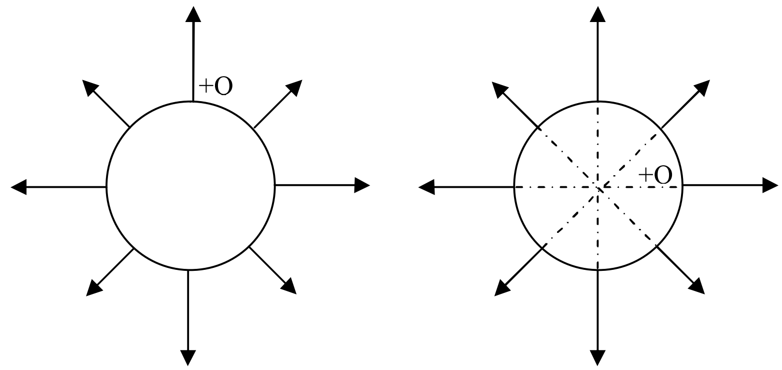
$1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}$ এবং $1\text{pF} = 1\mu\mu\text{F} = 10^{-12}\text{F}$

১.৪.২ গোলাকার পরিবাহকের ধারকত্ব (Capacitance of a Spherical Conductor)

ধরি, r ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা গোলাকার পরিবাহককে K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কের একটি মাধ্যমে স্থাপন করা হলো, এতে $+Q$ পরিমাণ আধান প্রদান করায় এর বিভব হলো V_1 সুতরাং গোলকটির ধারকত্ব হবে,

$$C = \frac{q}{V} \quad \text{...(১.৩৭)}$$

গোলকে প্রদত্ত আধান গোলক পৃষ্ঠের সর্বত্র সমভাবে ছড়িয়ে পড়বে এবং গোলকের পৃষ্ঠ থেকে বলরেখাগুলো পৃষ্ঠের লম্বভাবে ব্যাসার্ধ বরাবর বাইরের দিকে বের হবে [চিত্র ১.১৮(ক)] বলরেখাগুলোকে পেছনের দিকে বর্ধিত করলে কেন্দ্রে মিলিত হবে [চিত্র ১.১৮ (খ)]। আবার +Q আধানকে কেন্দ্রে আছে মনে করলেও ঠিক একই রূপে বলরেখাগুলো বের হবে। সুতরাং +Q আধানকে গোলকের কেন্দ্রে বিবেচনা করা যায়। কাজেই গোলকের পৃষ্ঠে বা গোলকের বিভব,



(ক) (খ)

চিত্র : ১.১৮

$$V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_o K}\ \frac{Q}{r}$$ ....(১.৩৮)

(১.৩৭) সমীকরণে V এর মান বসিয়ে পাই,

$$C = 4\pi\varepsilon_o K r$$ ....(১.৩৯)

গোলকটি যদি বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে অবস্থিত হয়, তাহলে K=1 হবে,

সুতরাং (১.৩৯) সমীকরণ থেকে পাই-

$$C = 4\pi\varepsilon_o r$$

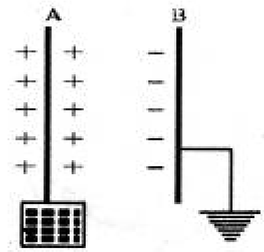
এখানে, $4\pi\varepsilon_o$ রাশিটি ধ্রুবক,

$$\therefore\ C \propto r$$ ....(১.৪০)

উপরের সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, গোলাকার পরিবাহকের ধারকত্ব এর ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক।

১.৪.৩ তড়িৎ ধারক (Electric Capacitor)

সাধারণভাবে 'ধারক' বলতে বুঝায় 'ধারণকারী' বা যে ধারণ করে, যে বস্তু আধান ধরে রাখতে পারে তাকে ধারক বলে। কোনো পরিবাহীর এ আধান ধরে রাখার ক্ষমতা অসীম নয়, কারণ প্রত্যেক পরিবাহীর একটি নির্দিষ্ট মাত্রার আধান ধারণের ক্ষমতা রয়েছে। এ নির্দিষ্ট মাত্রার অতিরিক্ত আধান প্রদান করলে পরিবাহীটি ক্রমশ আধান হারাতে থাকবে, কোনো উপায় বা ব্যবস্থায় পরিবাহীর বিভব যদি কমানো যায় তবে পরিবাহীটি নির্দিষ্ট মাত্রার অতিরিক্ত কিছু আধান ধরে রাখার ক্ষমতা অর্জন করে, স্থির তড়িৎ বিদ্যায় ধারকত্ব বৃদ্ধি করার এ কৃত্রিম উপায় বা ব্যবস্থা বা কৌশলকে ধারক বলে। সাধারণত একটি অন্তরীত ও অপর একটি ভূ-সংযুক্ত পরিবাহকের স্থানে কোনো অন্তরক পদার্থ যেমন- বায়ু,কাচ, প্লাস্টিক ইত্যাদি স্থাপন করে ধারক তৈরি করা হয়, পরিবাহী দুটিকে ধারক পাত এবং অন্তরক পদার্থকে ডাইইলেকট্রিক পদার্থ বলে।



চিত্র : ১.১৯

সংজ্ঞা: যে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ার কাছাকাছি দুটি পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে অন্তরক পদার্থ রেখে তড়িৎ সংরক্ষণ করে রাখা হয়, সে প্রক্রিয়াকে ধারক বলে।

ক্রিয়ানীতি : চিত্র **১.১৯** এ A একটি অন্তরীত পরিবাহী। A-কে একটি তড়িৎ উৎপাদক যন্ত্রের সাথে যুক্ত করে ধন আধানে আহিত করলে এটি ধন বিভব প্রাপ্ত হবে। B ধারকটি আধান শূন্য বা ভূ-সংযুক্ত পরিবাহী। B ধারকটি A এর কাছে স্থাপিত (চিত্র **১.১৯**)। B ধারকটি A এর কাছাকাছি স্থাপিত হওয়ায় আবেশ প্রক্রিয়ায় B ধারকটির যে প্রান্ত A এর কাছাকাছি সে প্রান্তে ঋণ আধান এবং দূরবর্তী প্রান্তে ধন আধান আবিষ্ট হবে। এখন B ধারককে ভূ-সংযুক্ত করলে পৃথিবী থেকে ইলেকট্রন B ধারকে প্রবেশ করে এর ধন আধানকে নিষ্ক্রিয় করবে। এখন B এর ঋণ আধান A এর উপর ঋণ বিভব আধ্যারোপণ করবে। ফলে A এর বিভব কিছুটা কমে যাবে।

আমরা জানি, $C=\dfrac{Q}{V}$.

সুতরাং A এর বিভব কমলে এর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে, ফলশ্রুতিতে A নির্দিষ্ট মাত্রার অতিরিক্ত আধান গ্রহণ করতে পারবে। B কে যতই A এর নিকটে আনা হবে, A এর বিভব ততই কমবে এবং ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে। উপরের ঘটনা থেকে দেখা যায় যে, B পাতকে অর্থাৎ ভূ-সংযুক্ত আধানহীন একটি পাত B কে A এর কাছাকাছি স্থাপন করায় A এর ধারকত্ব বৃদ্ধি পেয়েছে। এ যান্ত্রিক ব্যবস্থাকেই ধারক বলে।

সার-সংক্ষেপ :

পরিবাহকের ধারকত্ব : কোনো পরিবাহীর বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয়, তাকে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব বলে।

ফ্যারাড: কোনো পরিবাহীর বিভব এক ভোল্ট (1V) বৃদ্ধি করতে যদি এক কুলম্ব (1C) আধানের প্রয়োজন হয়, তাহলে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব এক ফ্যারাড (1F) বলে।

গাণিতিক উদাহরণ ১.১১: 125 টি গোলাকার ফোঁটাকে (ব্যাসার্ধ 0.02m) একত্রে করে একটি বড় ফোঁটায় পরিণত করা হলো। যদি প্রতিটি ফোঁটায় আধানের পরিমাণ। 1C হয়, তবে বড় ফোঁটার ধারকত্ব ও বিভব নির্ণয় করুন।

বড় ফোঁটার আয়তন = ছোট ফোঁটার 125 গুণ

$\therefore \frac{4}{3}\pi R^3 = 125 \times \frac{4}{3}\pi r^3$

বা, $R^3 = 125\ r^3$

বা, $R = 5r$

বা, $R = 5\times 0.02$

$\therefore R = 0.10$ m

এখানে,

ছোট ফোঁটার ব্যাসার্ধ, $r = 0.02$ m

বড় ফোঁটার ব্যাসার্ধ, $= R$

প্রতিটি ছোট ফোঁটার আধান, $q = 1C$

বড় ফোঁটার আধান, $Q = 125\ q = 125$ C

বড় ফোঁটার ধারকত্ব, $C = ?$

বড় ফোঁটায় বিভব, $V = ?$

বড় ফোঁটার ধারকত্ব, $C = 4\pi\varepsilon_o R$

$$= 4\times3.14\times8.854\times10^{-12}\times0.10$$
$$= 11.12\times10^{-12}\,\text{F}$$

$\therefore$ বড় ফোঁটার বিভব, $V = \dfrac{Q}{C}$

$$= \frac{125}{11.12\times10^{-12}}$$
$$= 11.24\times10^{12}\,\text{V}$$

উঃ 11.12×10^{-12} F ও 11.24×10^{-12} V

পাঠ-১.৫ : ধারক : ধারকের সন্নিবেশ ও শক্তি

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি–

- ধারক ও ধারকের ধারকত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্বের রাশিমালা প্রতিপাদন করতে পারবেন;
- ধারকের সন্নিবেশ ও তুল্য ধারকত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- ধারকের শ্রেণি সন্নিবেশে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবেন;
- ধারকের সমান্তরাল সন্নিবেশে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবেন;
- ধারকের শক্তির রাশিমালা নির্ণয় করতে পারবেন।

১.৫.১ ধারকের ধারকত্ব

কোনো ধারকের পাতদ্বয়ে যে পরিমাণ আধান জমা হলে এদের মধ্যে একক বিভব পার্থক্য বজায় থাকে, তাকে ঐ ধারকের ধারকত্ব বলে।

ধারকের প্রত্যেক পাতে Q পরিমাণ আধান প্রদান করায় যদি পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য V হয়, তাহলে

$$C = \frac{Q}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(১.৪১)$$

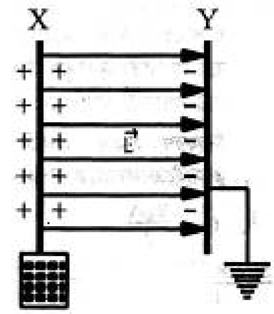
ধারকত্বের একক : কোনো ধারকের দুই পাতের বিভব পার্থক্য 1 ভোল্ট (1V) বজায় রাখতে যদি প্রত্যেক পাতে 1 কুলম্ব (1C) আধানের প্রয়োজন হয়, তাহলে সেই ধারকের ধারকত্বকে 1 ফ্যারাড (1F) বলা হয়।

$$\therefore\ 1\text{F} = \frac{1C}{1V} = 1\text{CV}^{-1}$$

১.৫.২ সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব

(Capacitance of a Parallel Plate Capacitor)

একই আকৃতি ও ক্ষেত্রফলের দুটি ধাতব পাতকে পরস্পরের কাছাকাছি এবং সমান্তরালে স্থাপন করে একটিকে কুপরিবাহী পদার্থ দ্বারা ভূমি হতে অন্তরিত অবস্থায় ও তড়িৎ উৎসের সাথে সংযুক্ত করে এবং অপরটিকে ভু-সংযুক্ত করে এদের মধ্যবর্তী ফাঁকা স্থানে অন্তরক মাধ্যম বা ডাই-ইলেকট্রিক বস্তুখণ্ড দ্বারা বিচ্ছিন্ন করা হয়, তাহলে একটি সমান্তরাল পাত ধারক তৈরী করা হয় [১.২০]।



চিত্র : ১.২০

মনে করি, একটি সমান্ড়রাল পাত ধারকের অন্ড়রিত পাত X এবং ভু-সংযুক্ত পাত Y .

এখন ধরি,

A = ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল,

d = পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব,

ε = পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা,

Q = প্রত্যেক পাতে মোট আধান,

V = পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য

$\sigma = \frac{Q}{A}$ প্রত্যেক পাতে আধান ঘনত্ব

সুতরাং, ধারকের ধারকত্ব, $C=\frac{Q}{V}$ ....(১.৪২)

X এবং Y পাত দুটি খুব কাছাকাছি অবস্থিত। X পাতে +Q পরিমাণে আধান প্রদান করলে, X হতে বলরেখাগুলো লম্বভাবে বের হয়ে নিকটবর্তী ভূ-সংযুক্ত পাত Y এর উপর লম্বভাবে পড়বে। বৈদ্যুতিক আবেশের ফলে Y পাত ঋণ আধানে আবিষ্ট হবে এবং Y পাতের ভেতরের পৃষ্ঠের আবিষ্ট ঋণ আধান X পাতের আবেশী ধন আধানের সমান হবে। X ও Y পাত দুটি খুব কাছাকাছি অবস্থিত বলে মধ্যবর্তী স্থানে বলরেখাগুলো পরস্পর সমান্ড়রাল ও সুষমভাবে বণ্টিত হবে, ফলে পাত দুটির মধ্যবর্তী স্থানে তড়িৎ প্রাবল্য সর্বত্র সুষম হবে কারণ আমরা পূর্বেই জেনেছি ধনাত্মক পাতের একক ক্ষেত্রফল থেকে যত সংখ্যক বলরেখা নির্গত হবে মধ্যবর্তী স্থানের যে কোনো একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে তত সংখ্যক রেখা অতিক্রম করে।

সুতরাং পাতদ্বয়ের পৃষ্ঠের তড়িৎ প্রাবল্য এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানের তড়িৎ প্রাবল্য একই হবে।

এখন, কোনো পাত্রের পৃষ্ঠে তড়িৎ প্রাবল্য;

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

বা, $E = \frac{Q}{\varepsilon A}$

কিন্তু $V = Ed$

বা, $V = \frac{Qd}{\varepsilon d}$

(১.৪২) সমীকরণে মান বসিয়ে পাই–

$$C = \frac{Q\varepsilon A}{Qd}$$

$$\therefore\ C = \frac{\varepsilon A}{d} \text{ ....(১.৪৩)}$$

যেহেতু, $K = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$

বা, $\varepsilon = \varepsilon_o K$

$$\therefore\ C = \frac{\varepsilon_o K}{d}$$

পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যম যদি বায়ু হয় তবে $\varepsilon = \varepsilon_o$ এবং $K=1$ ধরা হয়,

$$\therefore\ C = \frac{\varepsilon_o K}{d}$$

উপরোক্ত সমীকরণটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্বের রাশিমালা নির্দেশ করে।

ধারকের নির্ভরশীলতা (Dependence of Capacitors)

আমরা জানি, ধারকের ধারকত্ব, $C = \frac{\varepsilon_o KA}{d}$

এ সমীকরণ থেকে দেখা যায়, ধারকত্ব নির্ভর করে

১. ধারকের পাতের ক্ষেত্রফলের উপর,

২. পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর,

৩. পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমের তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কের উপর।

১.৫.৩ ধারকের সংযোগ (Combination of Capacitors)

ব্যবহারিক কাজে প্রয়োজন অনুযায়ী ধারকত্ব পাওয়ার জন্য একাধিক ধারক একত্রে সংযুক্ত করা হয়, একাধিক ধারককে একত্রে ব্যবহার করাকে ধারকের সংযোগ বা সমবায় বা সন্নিবেশ বলে। সংযুক্ত ধারকগুলো একত্রে একটি ধারকের ন্যায় কাজ করে। ধারকের সংযোগ দু'প্রকার। যথা–

১. শ্রেণি সংযোগ (Series combination) ও

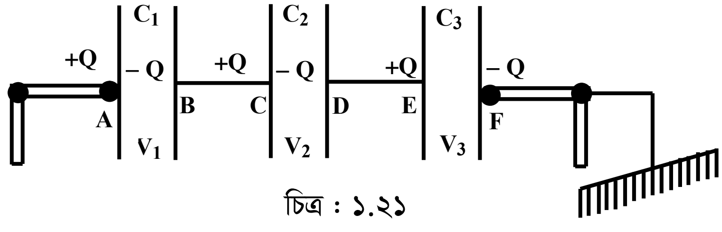
২. সমান্তরাল সংযোগ (Parallel Combination)

তুল্য ধারক ও তুল্য ধারকত্ব (Equivalent Capacitor and Equivalent Capacitance)

ধারকের কোনো সংযোগের পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে যদি ধারকটির আধান এবং পাতদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য সংযোগের আধান ও বিভব পার্থক্যের সমান থাকে, তবে ঐ ধারকটিকে ঐ সংযোগের তুল্য ধারক বলে, আর তার ধারকত্বেকে ঐ সংযোগের তুল্য ধারকত্ব বলে।

ধারকের শ্রেণি সংযোগ (Cobination of Series Capacitors)

কতকগুলো ধারককে যদি এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাতের সাথে দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাত, ধারকগুলো দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় পাতের সাথে তৃতীয় ধারকের প্রথম পাত ইত্যাদি ধারকগুলো একইরূপে সংযুক্ত থাকে এবং সর্বশেষ ধারকের শেষ পাত ভূ-সংযুক্ত থাকে তখন একে ধারকের শ্রেণি সংযোগ বলে।



চিত্র : ১.২১

যদি Q পরিমাণ ধন আধান প্রথম ধারকের প্রথম পাত A তে প্রদান করা হয় তবে তড়িৎ আবেশের ফলে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাত B, Q পরিমাণ ঋণ আধানে আবিষ্ট হবে এবং Q পরিমাণ ধন আধান দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতে প্রবাহিত থাকে [চিত্র ১.২১]। এরূপে প্রতিটি ধারকের প্রথম পাত Q পরিমাণ ধন আধান এবং দ্বিতীয় পাত Q পরিমাণ ঋণ আধান লাভ করে। ধরি, প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য যথাক্রমে V_1, V_2, V_3 হয় এবং সংযোগের প্রথম পাত A এবং শেষ পাত F এর মধ্যে বিভব পার্থক্য যদি V হয়, তাহলে

$$V = V_1+V_2+V_3. \quad \text{...} \quad (১.৪৪)$$

এখন, $V_1 = \frac{Q}{C_1}$, $V_2 = \frac{Q}{C_2}$ ও $V_3 = \frac{Q}{C_3}$

$$\therefore \; V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right) \text{.....................................} \quad (১.৪৫)$$

এখন যদি ধারকের এই শ্রেণি সংযোগের পরিবর্তে এমন একটি ধারক ব্যবহার করা হয় যার দুটি পাতের বিভব পার্থক্য V এবং তার আধান Q হয়, তবে সেক্ষেত্রে তার ধারকত্ব তথা সংযোগের তুল্য ধারকত্ব হবে

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

বা, $$V = \frac{Q}{C_s} \quad \text{...} (১.৪৬)$$

(১.৪৪) সমীকরণে (১.৪৫) এবং (১.৪৬) সমীকরণ বসিয়ে পাই,

$$\frac{Q}{C_s} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\therefore \; \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

সংযোগে তিনটি ধারকের পরিবর্তে যদি n সংখ্যক ধারক থাকে, তবে,

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \text{--------} \frac{1}{C_n} \quad \text{...} (১.৪৭)$$

সুতরাং শ্রেণি সংযোগের তুল্য ধারকত্বের বিপরীত মান ধারকগুলোর ধারকত্বের বিপরীত মানের সমষ্টির সমান।

ধারকের সমান্তরাল সংযোগ (Combination of Parallel Capacitors)

কতকগুলো ধারককে যদি এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে ধারকগুলোর প্রত্যেকটির প্রথম পাত এক বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় পাত অপর এক বিন্দুতে যুক্ত থাকে তখন একে ধারকের সমান্তরাল সংযোগ বলে।

C_1, C_2 ও C_3 ধারকত্বের তিনটি ধারকের প্রত্যেকটির প্রথম পাত M বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় পাত N বিন্দুতে যুক্ত আছে। দ্বিতীয় পাতটি N বিন্দুতে যুক্ত হয়ে ভূ-সংযুক্ত হয়েছে [চিত্র ১.২২]। এখন M বিন্দুতে Q পরিমাণ ধনাত্মক 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। মনে করি, C_1, C_2, C_3 ধারকত্বের ধারক তিনটিতে সঞ্চিত আধানের পরিমাণ Q_1, Q_2, Q_3 এবং M ও N বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য V।

সুতরাং $Q_1 = C_1V$

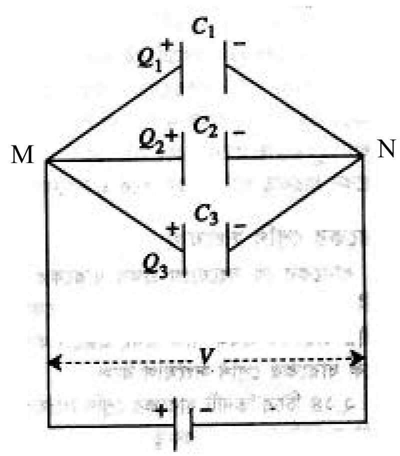
$Q_2 = C_2V$

$Q_3 = C_3V$

এখন $Q=Q_1+Q_2+Q_3$ = প্রদত্ত আধান, ...(১.৪৮)

$\therefore\ Q = C_1V+C_2V+C_3V$

$= V(C_1+C_2+C_3)$ ....(১.৪৯)



চিত্র : ১.২২

এখন যদি ধারকের এই সমান্তরাল সংযোগের পরিবর্তে এমন একটি ধারক ব্যবহার করা হয় যার দুটি পাতের বিভব পার্থক্য V এবং তার আধান Q হয়, তবে সেক্ষেত্রে তার ধারকত্ব তথা সংযোগের তুল্য ধারকত্ব হবে

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

বা, $Q = C_pV$ ....(১.৫০)

(১.৪৮) সমীকরণে (১.৪৯) ও (১.৫০) সমীকরণ বসিয়ে পাই–

$CpV = C_1V+C_2V+C_3V$

বা, $Cp = C_1+C_2+C_3$

সংযোগে তিনটি ধারকের পরিবর্তে যদি n সংখ্যক ধারক থাকে,

তবে, $Cp = C_1+C_2+C_3 + ... + C_n$ ....(১.৫১)

সুতরাং সমান্তরাল সংযোগের তুল্য ধারকত্ব ধারকগুলোর ধারকত্বের সমষ্টির সমান।

ধারকের শক্তি (Energy of a Capacitor)

একটি ধারককে আহিত করতে যে কাজ সম্পাদন করতে হয়, সে পরিমাণ শক্তি ধারকটির তড়িৎক্ষেত্রে স্থিতিশক্তি হিসেবে সঞ্চিত থাকে যা ধারকের ক্ষরণকালের সময় আবার ফিরে পাওয়া যায়। ধরা যাক, কোনো ধারকের ধারকত্ব C_1 আহিতকরণের সময়কালে Q পরিমাণ আধান দেওয়ায় ধারকের পাতদুটির মধ্যে কোনো এক মুহূর্তে বিভব পার্থক্য হলো V এবং এ আহিতকরণের জন্য U পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়। সুতরাং U হলো ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ। এখন ঐ সময় যদি dQ পরিমাণ ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র আধান এই ধারকে সংযুক্ত করতে dU পরিমাণ কাজ হয়, এবং একই সাথে ধারকটির শক্তি dU পরিমাণ বৃদ্ধি পায়,

$\therefore\ dU = VdQ$

বা, $dU = \frac{Q}{C}dQ \left[\because C = \frac{Q}{V} \therefore V = \frac{Q}{C}\right]$............................(১.৫২)

যখন আধান Q = 0 তখন শক্তি বা কাজ U = 0 এবং যখন Q = Q তখন U = U এখন (১.৫২) সমীকরণকে এ সীমার মধ্যে যোগজীকরণ করে মোট কাজের তথা শক্তির পরিমাণ পাওয়া যাবে।

সুতরাং $\int_o^u dU = \int_o^Q \frac{Q}{C}dQ$

বা, $[U]_o^U = \frac{1}{C}\left[\frac{Q^2}{2}\right]_0^Q$

বা, $U - O = \frac{1}{C}\left[\frac{Q^2}{2} - 0\right]$

$\therefore \quad U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$

কিন্তু $Q = CV \quad \therefore U = \frac{1}{2}CV^2$

আবার $C = \frac{Q}{V} \quad \therefore U = \frac{1}{2}QV$

$\therefore$ একটি আহিত ধারকে সঞ্চিত মোট শক্তির পরিমাণ

$$U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV \quad \text{.......................................(১.৫৩)}$$

উপরের সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় যে, একটি আহিত ধারকে সঞ্চিত শক্তি নির্ভর করে ধারকে সঞ্চিত আধান, ধারকের দুই পাতের বিভব পার্থক্য এবং ধারকের ধারকত্বের ওপর। যদি (১.৫৩) সমীকরণে Q কুলম্বে, V ভোল্ট এবং C ফ্যারাডে প্রকাশ করা হয়, তবে স্থিতিশক্তি জুলে (J) প্রকাশিত হবে।

সমীকরণ (১.৫৩) এর প্রত্যেকটি হলো ধারকের স্থিতিশক্তির রাশিমালা।

আহিত ধারকের একক আয়তনের সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ
(Energy Stored per unit volume of Charged Capacitor)

কোনো আহিত ধারকের একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি,

$$U' = \frac{\text{সঞ্চিত মোট শক্তি } U}{\text{ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানের আয়তন}}$$

বা, $U' = \frac{U}{Ad} = \frac{\frac{1}{C}CV^2}{Ad} = \frac{\frac{1}{2}C(Ed)^2}{Ad}$

বা, $U' = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon A}{d}\right)\times(Ed)^2}{Ad} \qquad \left[\because C = \frac{\varepsilon A}{d}\right]$

$\therefore U' = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$

যদি ধারকের পাত দুটির মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু ছাড়া K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট কোনো মাধ্যম থাকলে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ হবে,

$$U' = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 = \frac{1}{2}K\varepsilon_o E^2 \quad \text{..(১.৫৪)}$$

এখানে, $K = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} = \varepsilon_r$ = তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বা আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা, পাতদ্বয়ের মধ্যে বায়ু থাকলে $\varepsilon = \varepsilon_o$ বা $K=1$.

$\therefore \quad U' = \frac{1}{2}K\varepsilon_o E^2$ ....(১.৫৫)

ধারকের ব্যবহার (uses of capacitors)

১. টেলিগ্রাফ, টেলিফোন এবং রেডিওতে টিউনিং করার জন্য ধারক ব্যবহার করা হয়।
২. বৈদুত্যিক বর্তনীতে ডিসি প্রবাহকে বাধা প্রদান করার জন্য ধারক ব্যবহার করা হয়।
৩. রিচার্জেবল ব্যাটারিতে ধারক ব্যাহার করা হয়।
৪. বৈদ্যুতিক পাখাকে জোরে ঘুরাতে ধারক ব্যবহার করা হয়।
৫. বৈদ্যুতিক পাওয়ার সাপণ্ডাইয়ের ভোল্টেজের উঠানামা কমানোর কাজে ধারক ব্যবহার করা হয়।
৬. শিশুদের খেলনা তৈরীতে ধারক ব্যবহার করা হয়।

সার-সংক্ষেপ :

ধারকের ধারকত্ব : কোনো ধারকের পাতদ্বয়ে যে পরিমাণ আধান জমা হলে এদের মধ্যে একক বিভব পার্থক্য বজায় থাকে, তাকে ঐ ধারকের ধারকত্ব বলে।

ধারকের সংযোগ : ব্যবহারিক কাজে প্রয়োজন অনুযায়ী ধারকত্ব পাওয়ার জন্য একাধিক ধারক একত্রে সংযুক্ত করা হয়, একাধিক ধারককে একত্রে ব্যবহার করাকে ধারকের সংযোগ বা সমবায় বা সন্নিবেশ বলে।

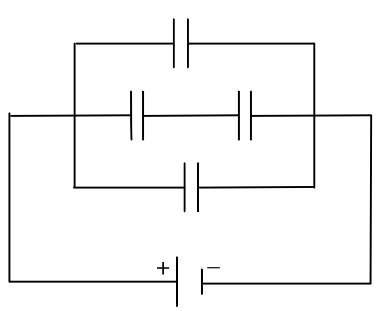
তুল্য ধারক ও তুল্য ধাকরত্ব : ধারকের কোনো সংযোগের পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে যদি ধারকটির আধান এবং পাতদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য সংযোগের আধান ও বিভব পার্থক্যের সমান থাকে, তবে ঐ ধারকটিকে ঐ সংযোগের তুল্য ধারক বলে আর তার ধারকত্বকে ঐ সংযোগের তুল্য ধারকত্ব বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১. একটি চার্জিত ধারকের শক্তি নির্ভর করে-
i. ধারকে সঞ্চিত চার্জের উপর
ii. ধারকের দুই পাতের বিভব পার্থক্যের উপর
iii. ধারকের ধারকত্বের উপর।
নিচের কোনটি সঠিক?
ক. i ও ii খ. ii ও iii
গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

২.



চিত্রের প্রতিটি ধারকের ধারকত্ব 2μF হলে, বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব হবে−
ক. 0.8μF খ. 1.25 μF
গ. 5 μF ঘ. 5F

গাণিতিক উদাহরণ ১.১২ : একটি সমান্ড়রাল পাত ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল $1.5\times10^6 mm^2$ এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2cm যদি পাত দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য 60V হয়, তবে প্রত্যেক পাতে চার্জ নির্ণয় কর্ণন। [ঢা. বো. ২০১০]

এখানে,

ক্ষেত্রফল, $A = 1.5\times10^6 \text{ mm}^2$

$= 1.5\times10^6\times10^{-6}\text{m}^2 = 1.5\text{m}^2$

দূরত্ব, $d = 2\text{cm} = 0.02\text{m}$

বিভব পার্থক্য, $V = 60\text{V}$

$\varepsilon_o = 8.854\times10^{-12}\text{Fm}^{-1}$

$$C = \frac{\varepsilon_o A}{d}$$

$$= \frac{8.854\times10^{-12}\times1.5}{0.02}$$

$$= 6.64\times10^{-10}\text{ F}$$

আবার, $C = \dfrac{Q}{V}$

বা, $Q = CV$

$= 6.64\times10^{-10}\times60$

$= 3.98\times10^{-8}\text{C}$

উ: $3.98\times10^{-8}\text{C}$

গাণিতিক উদাহরণ ১.১৩: প্রমাণ কর্ণন যে, সমান ধারকত্বের দুটি ধারকের সমান্ড়রাল সংযোগে থাকাকালীন ধারকত্ব শ্রেণিবদ্ধ সংযোগে থাকাকালীন ধারকত্বের 4 গুণ।

ধরি, ধারক দুটির প্রত্যেকটির ধারকত্ব C_1

ধারক দুটির সমান্ড়রাল সংযোগে তুল্য ধারকত্ব, C_p হলে,

$C_p = C+C = 2C$ ....(1)

এবং শ্রেণি সংযোগে তুল্য ধারকত্ব C_S হলে,

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{2}{C}$$

$$\frac{1}{C_S} = \frac{C}{2} \quad \text{..(২)}$$

(i) সমীকরণকে (ii) সমীকরণ দিয়ে ভাগ করে পাই,

$$\frac{C_p}{C_S} = 2C\times\frac{2}{C} = 4$$

$\therefore\ C_p = 4C_S$ [প্রমাণিত]

পাঠ-১.৬ : গাউসের সূত্র (Gauss's Law)

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি–

- ক্ষেত্র ভেক্টর, তড়িৎ ফ্লাক্স ও গাউসীয় তল ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- গাউসের সূত্র বর্ণনা করতে পারবেন।
- গাউসের সূত্র থেকে কুলম্বের সূত্র প্রতিপাদন করতে পারবেন।
- কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা বর্ণনা করতে পারবেন।

১.৬.১ গাউসের সূত্র (Gauss's Law)

জার্মান বিজ্ঞানী কাল ফ্রেডরিক গাউস (১৭৭৭-১৮৫৫) তড়িৎ ফ্লাক্স এবং তড়িতাধানের মধ্যে একটি গুরুত্বপূর্ণ সূত্র প্রদান করেন। সূত্রটির সাহায্যে কোনো একটি বদ্ধ তলের বিভিন্ন বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করা যায়। সুত্রটি বিবৃত করার আগে তড়িৎ ফ্লাক্স, ক্ষেত্র ভেক্টর ও গাউসীয় তল সম্পর্কে জানা প্রয়োজন।

ক্ষেত্র ভেক্টর (Area Vector) : কোনো পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলকে পদার্থবিজ্ঞানে বিভিন্ন ক্ষেত্রে একটি ভেক্টর দিয়ে গণ্য করা হয়। ক্ষেত্র ভেক্টরটির দৈর্ঘ্য দ্বারা তলটির ক্ষেত্রফলের মান সূচিত হয়। ক্ষেত্র ভেক্টরটির অভিমুখ ধরা হয় তলটির লম্ব বরাবর।

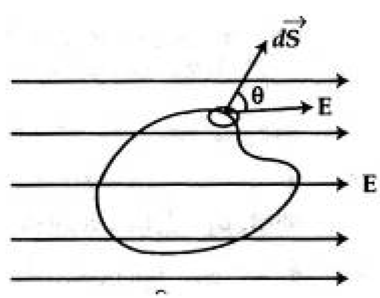
গাউসীয় তল (Gaussian Surface) : একটি আধানের চারদিকে কল্পিত বদ্ধ তলকে গাউসীয় তল বলে। গাউসীয় তল যে কোনো আকৃতির হতে পারে।

তড়িৎ ফ্লাক্স (Elecric Flux) : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো তলের ক্ষেত্রফলের সাথে ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের তথা তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উপাংশ গুণ করলে তড়িৎ ফ্লাক্স পাওয়া যায়।

অন্য কথায় কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ঐ তলের সাথে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স বলে।

কোনো তলের ক্ষেত্রফল $\vec{S}$ এবং তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ তলের সাথে θ কোণে ক্রিয়া করে [চিত্র : ১.২৩]। তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের উপাংশ হবে $E\cos\theta$ ।

সুতরাং তড়িৎ ফ্লাক্স হবে,



চিত্র : ১.২৩

$$\phi = (E\cos\theta)\, S = ES\cos\theta$$
$$= \vec{E}\,.\,\vec{S} \quad \text{.......................................(১.৫৬)}$$

কোনো তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ তে একটি ক্ষুদ্র তল $\vec{ds}$ নেয়া হলো [চিত্র ১.২৩]। তাহলে ঐ তলের তড়িৎ ফ্লাক্স হবে–

$$d\phi = \vec{E}\,.\,\vec{ds} \quad \text{.......................................(১.৫৭)}$$

সমগ্র ক্ষেত্রফল S এর জন্য তড়িৎ ফ্লাক্স হবে,

$$\phi = \int_S \vec{E}.\vec{ds} \text{ ....(১.৫৮)}$$

সমগ্র বদ্ধ তলের জন্য ঐ ক্ষেত্রের ফ্লাক্স হবে,

$$\phi = \oint_S \vec{E}.\vec{ds} \text{ ....(১.৫৯)}$$

$\oint$ প্রতীকটি সমগ্র বদ্ধ তলের জন্য সমাকলন বোঝায়।

রাশি ও একক : তড়িৎ ফ্লাক্স একটি স্কেলার রাশি এবং এর S I একক হচ্ছে $NC^{-1}m^2$ ।

গাউসের সূত্র (Gauss's Law) : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে কোনো বদ্ধ কল্পিত তলের (গাউসীয় তল) তড়িৎ ফ্লাক্সের ε_o গুণ এবং ঐ তল দ্বারা বেষ্টিত মোট তড়িতাধান সমান।

ব্যাখ্যা : যদি কোনো বদ্ধ তলের ক্ষেত্রফল S এবং ঐ তল দ্বারা বেষ্টিত মোট আধানের পরিমাণ q হয়, তাহলে গাউসের সূত্রানুসারে,

$$\varepsilon_o\phi = q \text{ ....(১.৬০)}$$

বা, $$\varepsilon_o \oint_S \vec{E}.\vec{ds} = q \text{ ....(১.৬১)}$$

এখানে ε_o হচ্ছে শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা।

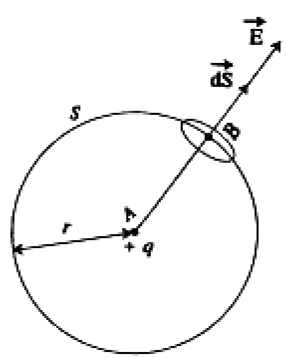
যদি ঐ তলে (গাউসীয় তল) কোনো আধান আবদ্ধ না থাকে বা তাতে সমপরিমাণ ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান থাকে তাহলে $q = 0$ হয়

সুতরাং তড়িৎ ফ্লাক্স $\phi = \oint_S \vec{E}.\vec{ds} = 0$

১.৬.২ কুলম্বের সূত্র হতে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন (Derivation of Gauss's Law from Coulomb's Law)

ধরা যাক, A বিন্দুতে একটি বিচ্ছিন্ন বিন্দু আধান q অবস্থিত [চিত্র ১.২৪]। q আধান তার চারদিকে একটি তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করবে। এখন q বিন্দু থেকে r দূরত্বে তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে B বিন্দুতে অপর একটি একক আধান রাখি। কুলম্বের সূত্রানুসারে [সমীকরণ (১.২)] এ একক আধানটি যে বল অনুভব করবে, তাই হচ্ছে B বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য E।

$$\therefore \quad E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$$



চিত্র : ১.২৪

E এর দিকে হবে AB রেখা বরাবর এবং বহির্মুখী। q কে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করি। এ গোলকের পৃষ্ঠে সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এর তথা তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান হবে এবং দিক হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী।

এখন B বিন্দুতে গোলকের অতি ক্ষুদ্র একটি তল কল্পনা করি। ধরা যাক, ক্ষুদ্র তল $\vec{ds}$ এবং এর মান হচ্ছে ঐ তলের ক্ষেত্রফল, দিক হচ্ছে ঐ তলের লম্ব বরাবর বহির্মুখী। আমরা জানি, গোলকের পৃষ্ঠের প্রতিটি বিন্দুতে $\vec{E}$ এর দিক ব্যাসার্ধ

বরাবর বহির্মুখী। সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠের প্রতিটি বিন্দুতে $\vec{E}$ এবং $\vec{d}s$ এর দিক একই অর্থাৎ $\vec{E}$ এবং $\vec{d}s$ এর দিক একই অর্থাৎ $\vec{E}$ এবং $\vec{d}s$ এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 0^o$।

এখন $\vec{d}s$ তলের সাথে সংশিণ্টষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স হবে, $d\phi = \vec{E}.\vec{d}s$

সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠের সমগ্র বদ্ধতল S-এর কাজ মোট ফ্লাক্স,

$$\phi = \oint_S \vec{E}.\vec{d}s$$

$$= \oint_S E.\vec{d}s\cos\theta$$

$$= \oint_S \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}dS\cos\theta^o \qquad \left[\because E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2} \text{ এবং } \theta = 0^o\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o r^2}\oint_S dS \text{ ....(১.৬২)}$$

আবার r ব্যাসাধের গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল,

$$\oint_S dS = 4\pi r^2$$

সুতরাং (১.৬৩) সমীকরণ থেকে পাই-

$$\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o r^2} \times 4\pi r^2$$

$$\therefore \phi = \frac{q}{\varepsilon_o}$$

$$\therefore \varepsilon_o\phi = q \text{ ....(১.৬৩)}$$

বা, $\varepsilon_o\oint_S \vec{E}.\vec{d}s = q$ ....(১.৬৪)

উপরের সীকরণ থেকে দেখা যায় যে, তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বদ্ধতলের তড়িৎ ফ্লাক্সের ε_o গুণ ঐ তল দ্বারা আবদ্ধ মোট আধানের সমান।

সমীকরণে (১.৬৩) এবং (১.৬৪)-ই হলো গাউসের সূত্র সুতরাং কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্র প্রতিপাদিত হলো।

১.৬.৩ গাউসের সূত্র থেকে কুলম্বের সূত্র প্রতিপাদন
(Deduction of Coulomb's Law from Gauss's Law)

A বিন্দুতে একটি বিন্দু আধান q বিবেচনা করা যাক, q কে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করি। এ গোলকের পৃষ্ঠে সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এর তথা তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান হবে এবং দিক হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী চিত্র ১.২৪]। সুতরাং গোলক পৃষ্ঠের প্রতিটি বিন্দুতে $\vec{E}$ এবং $\vec{d}s$ এর দিক একই অর্থাৎ $\vec{E}$ এবং $\vec{d}s$ এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 0^o$। গাউসের সূত্রানুযায়ী আমরা পাই,

$$\varepsilon_o\oint_S \vec{E}.\vec{d}s = q \text{ ....(১.৬৫)}$$

এখানে, $\vec{E}$ এবং $\vec{d}s$ এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 0^o$.

সুতরাং $\oint_S \vec{E}.\vec{d}s = \oint_S Eds\cos 0^o = E\oint_S ds = E \times 4\pi r^2$

যেহেতু r ব্যাসার্ধের গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল $\oint_S ds = 4\pi r^2$

সুতরাং সমীকরণ (১.৬৫) থেকে পাই–

$$\varepsilon_o E\, 4\pi r^2 = q$$

বা, $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}\dfrac{q}{r^2}$

এখন যে বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য E এর মান নির্ণয় করা হয়েছে, সে বিন্দুতে একটি আধান q_o স্থাপন করি। তাহলে q_o এর ওপর প্রযুক্ত বলের মান

$$F = q_o E$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{qq_o}{r^2} \quad \text{...(১.৬৬)}$$

উপরের সমীকরণ থেকে দেখা যায়, নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুটি আধানের মধ্যকার ক্রিয়াশীল বলের মান আধানদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক এবং তাদের মধ্যকার দূরত্বের বর্গের ব্যস্ড়ানুপাতিক, এটিই কুলম্বের সূত্র।

সুতরাং কুলম্বের সূত্র গাউসের সূত্র হতে প্রতিপাদিত হলো।

কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা (Limitations of Coulomb's Law)

কুলম্বের সূত্র স্থির তড়িতের একটি উলেণ্ঢখযোগ্য সূত্র। তবু কুলম্বের সূত্রের কিছু সীমাবদ্ধতা আছে। নিচে কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতাগুলো উলেণ্ঢখ করা হলো।

১. কুলম্বের সূত্র শুধুমাত্র বিন্দু আধানের জন্য প্রযোজ্য। যেকোনো অনিয়মিত আকারের আহিত বস্তুর ক্ষেত্রে এ সূত্র প্রয়োগ করা জটিল, যেহেতু বস্তুর কেন্দ্র সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায় না।

২. কুলম্বের সূত্রটি শুধুমাত্র আহিত স্থির বস্তু আধানের জন্য প্রযোজ্য। এ সূত্রটি গতিশীল আধানের জন্য সঠিকভাবে প্রয়োগ করা যায় না।

৩. আধান দুটির আকৃতি এদের মধ্যকার দূরত্বের চেয়ে অনেক কম হলে, সেক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র প্রযোজ্য। আধানদ্বয় বড় হলে তড়িৎ বলের উপর মহাকর্ষ বল ক্রিয়া করবে।

সার-সংক্ষেপ :

ক্ষেত্র ভেক্টর : কোনো পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলকে পদার্থবিজ্ঞানে বিভিন্ন ক্ষেত্রে একটি ভেক্টর দিয়ে গণ্য করা হয়। ক্ষেত্র ভেক্টরটির দৈর্ঘ্য দ্বারা তলটির ক্ষেত্রফলের মান সূচিত হয়। ক্ষেত্র ভেক্টরটির অভিমুখ ধরা হয় তলটির লম্ব বরাবর।

গাউসীয় তল : একটি আধানের চারদিকে কল্পিত বদ্ধ তলকে গাউসীয় তল বলে। গাউসীয় তল যে কোনো আকৃতির হতে পারে।

তড়িৎ ফ্লাক্স : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো তলের ক্ষেত্রফলের সাথে ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ঐ তলের সাথে সংশিণ্ঢষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স বলে।

গাউসের সূত্র : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে কোনো বদ্ধ কল্পিত তলের (গাউসীয় তল) তড়িৎ ফ্লাক্সের ε_o গুণ এবং ঐ তল দ্বারা বেষ্টিত মোট তড়িতাধান সমান।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন:

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১. R ব্যাসার্ধের একটি গোলীয় গাউসীয় তলের কেন্দ্রে Q পরিমাণ আধান রয়েছে। এখন গোলীয় তলটির ব্যাসার্ধ দ্বিগুণ করা হলে বহির্মুখী তড়িৎ ফ্লাক্স হবে-

ক. একই থাকবে খ. অর্ধেক হবে

গ. দ্বিগুণ ঘ. চারগুণ

গাণিতিক উদাহরণ-১.১৪। একটি সর দ ের দৈর্ঘ্য 3m। দ টি 6μC আধানের দ্বারা সুষমভাবে আহিত হলে (1) দ টির একক দৈর্ঘ্যে আধানের পরিমাণ এবং (ii) দ টির কেন্দ্র থেকে 2m দূরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর ন।

আমরা জানি,

(i) দ টির একক দৈর্ঘ্য আধানের পরিমাণ,

$$\lambda = \frac{q}{l} = \frac{6\times10^{-6}}{3} = 2\times10^{-6}\,\text{Cm}^{-1}$$

(ii) তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_o}.\frac{\lambda}{r}$$

বা, $$E = \frac{1\times2\times10^{-6}\,\text{Cm}^{-1}}{2\times3.14\times8.85\times10^{-12}\,\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}\times2\text{m}}$$

$$= \frac{2}{2\times3.14\times8.85\times2}\times10^{6}\,\text{NC}^{-1}$$

$$= \frac{1}{55.58}\times10^{6}\,\text{NC}^{-1}$$

$$= 1.80\times10^{4}\,\text{NC}^{-1}$$

উঃ $1.80\times10^{4}\,\text{NC}^{-1}$

এখানে,

তারের দৈর্ঘ্য, $l = 3\text{m}$,

আধান, $q = 6\mu\text{C} = 6\times10^{-6}\text{C}$,

দূরত্ব, $r = 2\text{m}$

$\varepsilon_o = 8.85\times10^{-12}\,\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$

$\delta = ?$

$E = ?$

পাঠ-৭ : গাউসের সূত্র : এর ব্যবহার
(Uses of Gauss's Law)

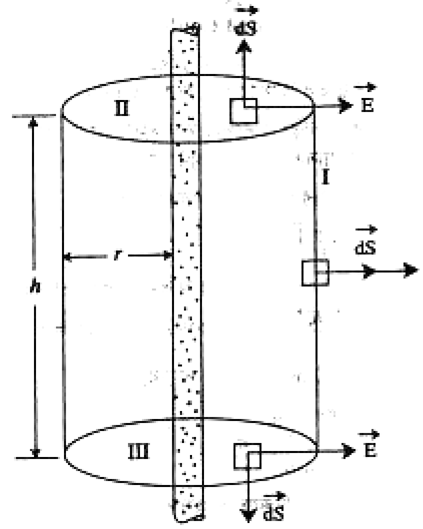
উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি–

- অসীম দৈর্ঘ্যের একটি সরল ও সুষম আহিত দণ্ডের জন্য এর নিকট তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে পারবেন।
- সুষমভাবে আহিত একটি গোলাকার খোলকের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে পারবেন।
- সুষমভাবে আহিত একটি নিরেট গোলকের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে পারবেন।

অসীম দৈর্ঘ্যের একটি সরল ও সুষম আহিত দণ্ডের জন্য এর নিকটে তড়িৎ ক্ষেত্র তথা তড়িৎ প্রাবল্য

মনে করি, অসীম দৈর্ঘ্যের সরল ও সুষম একটি আহিত দণ্ডের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের সর্বত্র আধানের পরিমাণ সমান এবং (চিত্র ১.২৫) সুষম আহিত দণ্ড থেকে সমান দূরে অবস্থিত প্রতিটি বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $\vec{E}$ এর মান সমান এবং এর দিক হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। সুষম আহিত দণ্ডটির অক্ষকে, অক্ষ ধরে একটি h দৈর্ঘ্যের এবং r ব্যাসার্ধের সিলিন্ডার কল্পনা করি (চিত্র : ১.২৫)। সিলিন্ডারের পৃষ্ঠ গাউসীয় তল হিসেবে বিবেচনা করা হবে।



চিত্র : ১.২৫

এমতাবস্থায়, সিলিন্ডারে আবদ্ধ মোট আধান অর্থাৎ দণ্ডের h দৈর্ঘ্যের মধ্যে মোট আধানের পরিমাণ হলো, $q = \lambda h$

মনে করি, সিলিন্ডারের দুই প্রান্ত সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা আবদ্ধ। যেহেতু সিলিন্ডারের বক্র পৃষ্ঠের প্রত্যেকটি বিন্দুই দণ্ডের আধান থেকে সমান দূরে অবস্থিত সুতরাং সিলিন্ডারের বক্র পৃষ্ঠের সকল বিন্দুতে $\vec{E}$ এর মান ধ্রুব। প্রত্যেকটি বিন্দুতে $\vec{E}$ বক্রতলের সাথে লম্ব বরাবর বহির্মুখী।

সমীকরণ (১.৬৪) থেকে পাই–

$$\varepsilon_o \oint_S \vec{E}.\vec{d}s = q$$

যদি গাউসীয় তলকে তিনটি অংশ I, II ও III করা যায় (চিত্র ১.২৫), তবে,

$$\oint_S \vec{E}.\vec{d}s = \int_I \vec{E}.\vec{d}s + \int_{II} \vec{E}.\vec{d}s + \int_{III} \vec{E}.\vec{d}s$$

$$= \int_I Eds\cos 0^o + \int_{II} Eds\cos 90^o + \int_{III} Eds\cos 90^o$$

$$= E\int_I ds + 0 + 0 = E \times 2\pi rh$$

সুতরাং $\varepsilon_o \times E \times 2\pi rh = q$

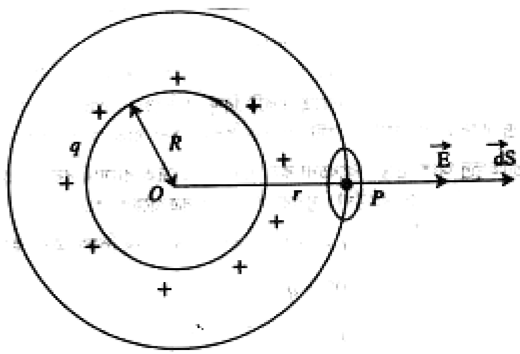
আমরা জানি, $q = \lambda h$

$$\therefore\ E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_o}\frac{\lambda}{r} \quad \text{...}(১.৬৭)$$

সুষমভাবে আহিত একটি গোলাকার খোলকের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য

(ক) খোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য

মনে করি, R ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার খোলকের কেন্দ্র O। এ খোলকের পৃষ্ঠে q ধনাত্মক আধান সুষমভাবে বণ্টিত আছে। খোলকের বাইরে P একটি বিন্দু। P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। O বিন্দুকে কেন্দ্র করে OP = r (এখানে r>R) ব্যাসার্ধ ধরে, একটি গোলক কল্পনা করি, যার পৃষ্ঠ হবে গাউসীয় তল (চিত্র ১.২৬)। এই গাউসীয় তলের প্রত্যেক বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ এর মান সমান এবং দিক হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী।



চিত্র : ১.২৬

সমীকরণ (১.৬৪) থেকে পাই,

$$\varepsilon_o \oint_S \vec{E}.\vec{ds} = q$$

এক্ষেত্রে $\vec{E}$ ও $\vec{ds}$ এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 0^o$.

$$\therefore \ \varepsilon_o \oint_S E.ds \cos 0^0 = q$$

বা, $\varepsilon_o E \oint_S E.ds = q$

বা, $\varepsilon_o E \times 4\pi r^2 = q$

$$\therefore \ E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(১.৬৮)$$

(খ) খোলকের পৃষ্ঠে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য

খোলকের ওপর কোনো বিন্দুতে r =R

সমীকরণ (১.৬৮)-এ r এর পরিবর্তে R বসিয়ে পাই-

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{R^2}$$

বা, $E = \frac{1}{\varepsilon_o}\frac{q}{4\pi R^2}$ ……………………………………(১.৬৯)

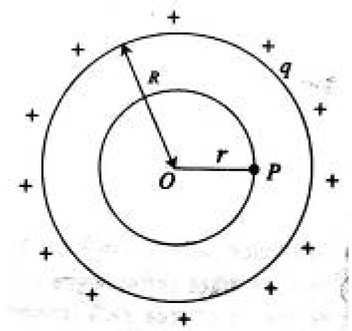
তলমাত্রিক ঘনত্বের সংজ্ঞানুসারে আমরা জানি-

তলমাত্রিক ঘনত্ব, $\sigma = \frac{q}{4\pi R^2}$

$$\therefore \ E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o}$$

(গ) খোলকের অভ্যন্ড়রে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য

মনে করি, গোলকের অভ্যন্ড়রে P একটি বিন্দু। O বিন্দুকে কেন্দ্র করে $OP = r$ ($r<R$) ব্যাসার্ধ নিয়ে একটি গোলক কল্পনা করি, (চিত্র ১.২৭)। এই গোলকের পৃষ্ঠই এই ক্ষেত্রে গাউসীয় তল। সেহেতু গাউসীয় তল দ্বারা কোনো আধান আবদ্ধ নেই। সুতরাং $q = 0$



চিত্র : ১.২৭

সমীকরণ (১.৬৬) অনুসারে গসের সূত্র থেকে পাই।

$$\varepsilon_o \oint_S \vec{E}.\vec{d}s = 0$$

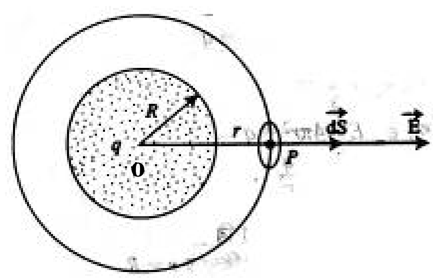
$$\therefore \quad E = 0$$

সুতরাং কোনো আহিত গোলাকার খোলকের অভ্যন্ড়রে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।

সুষমভাবে আহিত একটি নিরেট গোলকের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।

(ক) নিরেট গোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য

মনে করি, R ব্যাসার্ধের একটি গোলকের কেন্দ্র 0। গোলকটি q আধানে সুষমভাবে আহিত। গোলকের বাইরে P একটি বিন্দু। O বিন্দুকে কেন্দ্র করে $OP = r$ (এখানে $r>R$) ব্যাসার্ধ ধরে, একটি গোলক কল্পনা করি, যার পৃষ্ঠ হবে গাউসীয় তল (চিত্র ১.২৮)।



চিত্র : ১.২৮

P বিন্দুতে গাউসীয় তলের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র অংশ $d\vec{S}$ বিবেচনা করি যার দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ নির্ণয় করতে হবে যার দিক হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। সুতরাং গাউসের সূত্র থেকে পাই–

$\varepsilon_o \oint_S \vec{E}.\vec{d}s = q$ যেহেতু $\vec{E}$ এবং $d\vec{S}$ একই দিকে ক্রিয়া করে সুতরাং এদের অন্ড়র্ভুক্ত কোণ $\theta=0^o$ হবে,

$\therefore \quad \varepsilon_o \oint_S Eds\cos\theta = q$ বা, $\varepsilon_o \oint_S Eds\cos\theta = q$

বা, $\varepsilon_o E \oint_S ds = q$

বা, $\varepsilon_o E \times 4\pi r^2 = q$

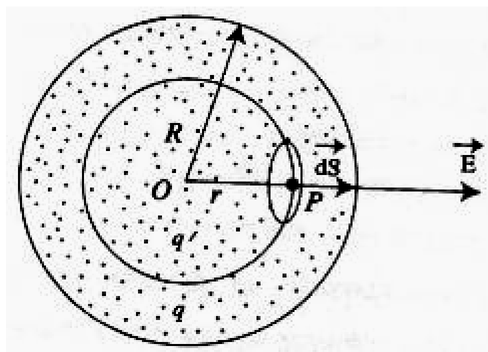
$\therefore \quad E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}\dfrac{q}{r^2}$ ....(১.৭০)

(খ) নিরেট গোলকের পৃষ্ঠে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য গোলকের পৃষ্ঠে r =R

$$\therefore \quad E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{R^2}$$

(গ) নিরেট গোলকের অভ্যন্ড়রে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য

মনে করি, R ব্যাসার্ধের একটি গোলকের কেন্দ্র O। গোলকটি q আধানে সুষমভাবে আহিত, গোলকের অভ্যন্ড়রে P একটি বিন্দু। O বিন্দুকে কেন্দ্র করে OP = r (এখানে $r<R$) ব্যাসার্ধ ধরে, একটি গোলক কল্পনা করি, যার পৃষ্ঠ গাউসীয় তল (চিত্র ১.২৯)। P বিন্দুতে গাউসীয় তলের ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র অংশ $d\vec{S}$ বিবেচনা করি যার দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ নির্ণয় করতে হবে যার দিক হবে ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। সুতরাং গাউসের সূত্র প্রয়োগ করে আমরা পাই–



চিত্র : ১.২৯

$$\varepsilon_o \oint_S \vec{E}.d\vec{s} = q' \quad \text{...(১.৭১)}$$

এখানে q′ হচ্ছে r ব্যাসার্ধের গোলকের অভ্যন্ড়রের মোট আধান, আমরা জানি, R ব্যাসাধের নিরেট গোলকে q আধান সুষমভাবে বণ্টিত। সুতরাং গোলকের প্রতি একক আয়তনে আধানের পরিমাণ,

$$\rho = \frac{\text{গোলকের আধান}}{\text{R ব্যাসার্ধের গোলকের আয়তন}} = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$\therefore$ r ব্যাসার্ধের গোলকে মোট আধান q′ হবে,

$q' = \rho \times$r ব্যাসার্ধের গোলকের আয়তন

$$= \rho \times \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \times \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\therefore \quad q' = \frac{r^3}{R^3}q$$

(১.৬১) সমীকরণ তথা গাউসের সূত্র থেকে পাই,

$$\varepsilon_o \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{r^3}{R^3}q$$

যেহেতু $\vec{E}$ এবং $d\vec{S}$ এর দিক একই দিকে ক্রিয়া করে সুতরাং এদের অন্ড়র্ভুক্ত কোণ $\theta = 0^o$ হবে,

$$\therefore \ \varepsilon_o \oint_S EdS\cos\theta = \frac{r^3}{R^3}q$$

বা, $\varepsilon_o \oint_S EdS\cos 0 = \frac{r^3}{R^3} q$

বা, $\varepsilon_o \oint_S dS = \frac{r^3}{R^3} q$

বা, $\varepsilon_o E \times 4\pi r^2 = \frac{r^3}{R^3} q$

বা, $E = \frac{r^3 q}{4\pi\varepsilon_o r^2 R^3}$

$\therefore\ E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o} \frac{r}{R^3}$ ....(১.৭২)

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ

বহুনির্বাচনি প্রশ্নঃ

১. তড়িৎ ক্ষেত্রের মান নির্ণয় করা যায়–

(i) কুলম্বের সূত্র থেকে (ii) অ্যাম্পিয়ার সূত্র থেকে (iii) গাউসের সূত্র থেকে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

গাণিতিক উদাহরণ-১.১৫। একটি নির্দিষ্ট স্থানে একটি তড়িৎক্ষেত্র হলো, $\vec{E} = (3\hat{i} + 2\hat{j} - 2\hat{k}) \times 10^5 NC^{-1}$ । এই ক্ষেত্রের জন্য $(2\hat{i} - \hat{j}) \times 10^{-2} m^2$ ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স নির্ণয় করুন।

আমরা জানি,

$\Delta\varphi = \vec{E}.\Delta\vec{S}$

$= \{(3\hat{i} + 2\hat{j} - 2\hat{k}) \times 10^5\}\{2i - j) \times 10^{-2}\}$

$= (3\times2 - 2\times1 - 2\times0) \times 10^3$

$\therefore$ তড়িৎ ফ্লাক্স, $\Delta\varphi = 4 \times 10^3 NC^{-1}m^2$

এখানে,

তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য,

$\vec{E} = (3\hat{i} + 2\hat{j} - 2\hat{k}) \times 10^5 NC^{-1}$

ক্ষেত্রফল, $\Delta\vec{S} = (2\hat{i} - \hat{j}) \times 10^{-2} m^2$

উঃ $4 \times 10^3 NC^{-1}m^2$

গাণিতিক উদাহরণ-১.১৬। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রের তড়িৎ প্রাবল্য, $\vec{E} = (6\hat{i} + 4\hat{j} - 4\hat{k})NC^{-1}$ । তড়িৎ ক্ষেত্রের *YZ* তলে স্থাপিত $20m^2$ ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি তলে তড়িৎ ফ্লাক্স নির্ণয় করুন।

আমরা জানি, যেহেতু তলটি *YZ* তলে অবস্থিত সেহেতু তলের দিক হবে x অক্ষ বরাবর।

$\therefore$ *YZ* তলে স্থাপিত ক্ষেত্রের মধ্যদিয়ে ফ্লাক্স = *X*-অক্ষ বরাবর প্রাবল্য ×*YZ* তলের ক্ষেত্রফল (*dS*)

বা, $\phi = E_x dS$

$= (6\hat{i} + 4\hat{j} + 4\hat{k})(20\hat{i})$

$= 6\times20 + 4\times0 + 4\times0$

$\therefore$ তড়িৎ ফ্লাক্স, $\Delta\phi = 120 NC^{-1}m^2$

এখানে,

তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য, $\vec{E} = (6\hat{i} + 4\hat{j} + 4\hat{k})NC^{-1}$

ক্ষেত্রফলের মান, $\Delta S = 2m^2$

ক্ষেত্রফল ভেক্টর, $\Delta\vec{S} = 20\hat{j}m^2$

তড়িৎ ফ্লাক্স, $\Delta\varphi = ?$

উঃ $120NC^{-1}m^2$

চূড়ান্ড় মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন:

১. ইলেকট্রন ভোল্ট কিসের একক?
   ক. আধান খ. তীব্রতা গ. কাজ ঘ. প্রবাহ

২. গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব এর ব্যাসার্ধের সাথে কীভাবে সম্পর্কিত?
   ক. সমানুপাতিক খ. বর্গের সমানুপাতিক
   গ. ব্যাস্ড্রনুপাতিক ঘ. বর্গের ব্যাস্ড্রনুপাতিক

৩. নিচের কোনটিতে উভয় ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রাবল্যের দিক সঠিকভাবে দেখানো হয়েছে?

ক.	$\oplus \rightarrow$	$\ominus \rightarrow$
খ.	$\oplus \rightarrow$	$\ominus \leftarrow$
গ.	$\oplus \leftarrow$	$\ominus \rightarrow$
ঘ.	$\oplus \leftarrow$	$\ominus \leftarrow$

৪. তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব বলতে কী বোঝায়?
   ক. ঐ বিন্দুতে একক ধনাত্মক চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল
   খ. ঐ বিন্দুতে একক ঋণাত্মক চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল
   গ. অসীম দূর থেকে একক ধনাত্মক চার্জ আনতে কৃতকাজ
   ঘ. অসীম দূর থেকে একক ঋণাত্মক চার্জ আনতে কৃতকাজ।

৫. ইলেকট্রন ভোল্ট
   i. একটি বিন্দু থেকে 1V বিভব পার্থক্যের অন্য একটি বিন্দুতে একটি ইলেকট্রন সরাতে যে কাজ হয়
   ii. বলবিদ্যায় ব্যবহৃত শক্তির একক
   iii. $1\text{eV} = 1.6\times10^{-19}\text{J}$
   নিচের কোনটি সঠিক?
   ক. i ও ii খ. ii ও iii
   গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

৬. একটি চার্জিত বস্তুর চারদিকে যতদুর তার প্রভাব থাকে তাকে কী বলে?
   ক. তড়িৎ প্রাবল্য খ. তড়িৎ বিভব
   গ. তড়িৎ ক্ষেত্র ঘ. তড়িৎ বল

৭. তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত একটি একক ধনাত্মক চার্জ যে বল অনুভব করে তাকে কী বলে?
   ক. তড়িৎ ফ্লাক্স খ. তড়িৎ প্রাবল্য
   গ. তড়িৎ বল ঘ. তড়িৎ বিভব

৮. দুটি চার্জিত বস্তু পরস্পরের সাথে সংযুক্ত করলে চার্জের প্রাবহ কোন দিকে হবে তা কোন বিষয়ের উপর নিভর করে?
   ক. চার্জের পরিমাণ খ. তড়িৎ ক্ষেত্র
   গ. তড়িৎ প্রাবল্য ঘ. তড়িৎ বিভব

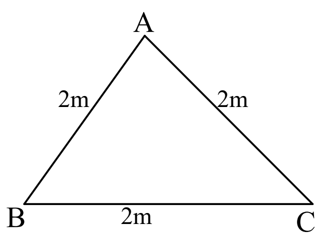
৯. তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক

i. একটি ভেক্টর রাশি
ii. অভিমুখ ঋণাত্মক আধান হতে ধনাত্মক আধানের দিকে
iii. এর একক cm^2
নিচের কোনটি সঠিক?
ক. i ও ii   খ. i ও iii
গ. ii ও iii   ঘ. i, ii ও iii

১০. ধারকত্ব দ্বিগুণ হবে যখন–
ক. দুটি পাতের মধ্যবর্তী দূরত্ব অর্ধেক করা হয়
খ. দুটি পাতের ক্ষেত্রফল চারগুণ করা হয়
গ. পাতদ্বয়ের ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবকের মান অর্ধেক করা হয়
ঘ. দুটি পাতের ক্ষেত্রফল অর্ধেক করা হয়।

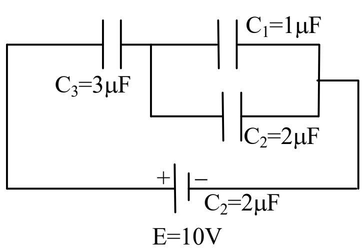
সৃজনশীল প্রশ্ন

১.



উপরের চিত্রে A ও B উভয় বিন্দুতেই 2C চার্জ দেয়া আছে।
ক. বিন্দু চার্জ কাকে বলে?
খ. চার্জিত গোলকের কেন্দ্রে প্রাবল্য শূন্য- ব্যাখ্যা করুন।
গ. C বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান নির্ণয় করুন।
ঘ. C বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের দিক কোন দিকে হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করুন।

২.



উপরের বর্তনীটি লক্ষ্য করুন এবং নিজের প্রশ্নগুলোর উত্তর দিন:
ক. পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক কী?
খ. তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব 20V বলতে কী বুঝায়?
গ. বর্তনীটির তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করুন।
ঘ. বর্তনীটির সকল ধারককে সমান্তরালে সংযুক্ত করলে প্রাপ্ত শক্তির প্রদত্ত বর্তনীর সঞ্চিত শক্তি অপেক্ষা বেশী না কম হবে- গাণিতিক যুক্তির সাহায্যে ব্যাখ্যা করুন।

সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন

১. আধান কী ব্যাখ্যা কর‍ুন।
২. তড়িৎক্ষেত্র ব্যাখ্যা কর‍ুন।
৩. সমবিভব তল ব্যাখ্যা কর‍ুন।
৪. তড়িৎ দ্বিমের‍ু ব্যাখ্যা কর‍ুন।
৫. পরিবাহীর ধারকত্ব ব্যাখ্যা কর‍ুন।
৬. ধারক ও ধারকের ধারকত্ব ব্যাখ্যা কর‍ুন।
৭. ধারকের সন্নিবেশ ও তুল্য ধারকত্ব ব্যাখ্যা কর‍ুন ।
৮. তড়িৎ ফ্লাক্স ব্যাখ্যা কর‍ুন।
৯. গাউসের সূত্র বর্ণনা কর‍ুন।

বিশদ উত্তর প্রশ্ন

১. আধানের কোয়ান্টায়ন ও সংরক্ষণশীলতার ধর্ম ব্যাখ্যা কর‍ুন।
২. দুটি বিন্দু আধানের বল সংক্রান্ড় কুলম্বের সূত্র বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর‍ুন।
৩. তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর প্রাবল্য ব্যাখ্যা কর‍ুন এবং কোনো বিন্দুর প্রাবল্যের জন্য রাশিমালা প্রতিপাদন কর‍ুন।
৪. তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব ব্যাখ্যা কর‍ুন এবং কোনো বিন্দুর বিভবের জন্য রাশিমালা প্রতিপাদন কর‍ুন।
৫. তড়িৎ প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভবের মধ্যে সম্পর্ক বিশেণ্ঢষণ কর‍ুন।
৬. তড়িৎ দ্বিমের‍ুর জন্য তার অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা প্রতিপাদন কর‍ুন।
৭. তড়িৎ দ্বিমের‍ুর জন্য তার অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা প্রতিপাদন কর‍ুন।
৮. তড়িৎ দ্বিমের‍ুর জন্য তার দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখ‍ন্ডকের উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা প্রতিপাদন কর‍ুন।
৯. তড়িৎ দ্বিমের‍ুর জন্য তার দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখন্ডকের উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা প্রতিপাদন কর‍ুন।
১০. তড়িৎ ক্ষেত্রের যে কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর‍ুন।
১১. গোলাকার পরিবাহীর জন্য ধারকত্ব নির্ণয় কর‍ুন।
১২. দুটি পরিবাহীর মধ্যে ধারকত্ব অনুসারে আধান বন্টন ব্যাখ্যা কর‍ুন।
১৩. সমান্ড়রাল পাত ধারকের ধারকত্বের রাশিমালা প্রতিপাদন কর‍ুন।
১৪. ধারকের শ্রেণি সন্নিবেশে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর‍ুন।
১৫. ধারকের শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর‍ুন।
১৬. অসীম দৈর্ঘ্যের একটি সরল ও সুষম আহিত দ‍ন্ডের জন্য এর নিকটে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর‍ুন।
১৭. সুষমভাবে আহিত একটি গোলাকার খোলকের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর‍ুন।
১৮. সুষমভাবে আহিত একটি নিরেট গোলকের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর‍ুন।
১৯. গাউসের সূত্র থেকে কুলম্বের সূত্র প্রতিপাদন কর‍ুন।
২০. কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা বর্ণনা কর‍ুন।

গাণিতিক সমস্যা

১. $5\mu F$ এর 5 টি ধারক সিরিজ সংযোগে যুক্ত করা হলো। ঐ ধারকগুলোর সমতুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর‍ুন। [উ: $1\mu F$]
২. একটি সমান্ড়রাল পাত ধারককে আহিত করার ফলে এটির পাত দুইটির মধ্যে বিভব পার্থক্য হয়, V_1 ধারকটির সঞ্চিত শক্তি দ্বিগুণ করার জন্য বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর‍ুন। [উ: $\sqrt{2}V$]
৩. 4.0m ব্যসার্ধের কোন একটি চার্জিত গোলকের চার্জের তল ঘনত্ব 2.5 একক। ঐ গোলকে কত চার্জ সঞ্চিত ছিল- নির্ণয় কর‍ুন। [উ: 502.4 একক চার্জ]

৪. 0.02m ব্যাসার্ধের 64 টি গোলাকার ফোঁটাকে একত্রিত করে একটি বড় ফোঁটায় পরিণত করা হল। যদি প্রতি ফোঁটায় 1C চার্জ বিদ্যমান থাকে। তবে বড় ফোঁটার বিভব নির্ণয় করুন। [উঃ 7.19×10^{19}V]

৫. পরস্পর থেকে 10cm দূরে অবস্থিথ 2×10^{-9}C এর দুটি চার্জের সংযোগ রেখার ঠিক মধ্যবিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয় করুন। [উঃ $0NC^{-1}$]

৬. একটি ধাতব গোলকের ব্যাসার্ধ 0.125m বায়ু মাধ্যমে এবং 1.12 ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবক বিশিষ্ট তেল মাধ্যমে গোলকের ধারকত্ব নির্ণয় করুন। [বায়ুতে $\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} m^{-1}$] [উঃ ONC^{-1}]

৭. 0.002 kg ভরের শোলার বল 10^{-4} চার্জে চার্জিত। বলটিকে অভিকর্ষীয় ক্ষেত্রে স্থির রাখতে কি পরিমাণ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রয়োজন হবে, নির্ণয় করুন। [উঃ 196 NC^{-1}]

উত্তরমালা

পাঠ-১.১ : ১.খ ২.ক ৩.গ ৪.খ

পাঠ-১.২ : ১.গ ২.ক ৩.গ ৪.খ

পাঠ-১.৩ : ১.ক

পাঠ-১.৫ : ১.ঘ ২.গ

পাঠ-১.৬ : ১.ক

পাঠ-১.৭ : ১.খ

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

বহু নির্বাচনি প্রশ্ন

১.গ ২.ক ৩.খ ৪.গ ৫.গ ৬.গ ৭.খ ৮.ঘ ৯.ক ১০.ক