২

স্থির তড়িৎ
ELECTROSTATICS

কোন বস্তুকে চার্জিত করার উপায় ৩টি। ঘর্ষণ,পারবহণ,আবেশ
ধাপ ৩ টি। নিকটে আনা, স্পর্শ করা, অপসারণ করা।

- মনে রাখতে হবে–

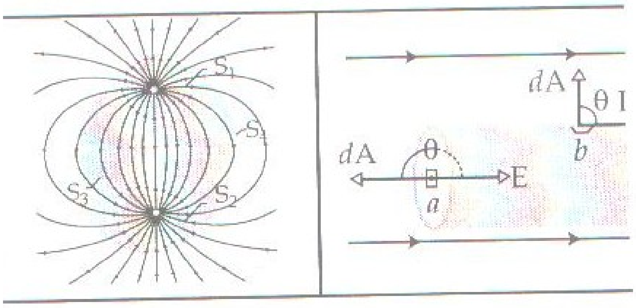
পরিবাহী- মানবদেহ, মাটি, এসিড মিশ্রিত পানি, এসিড, সবজি, ধাতু (Cu Fe, Ag, Au) গ্রাফাইট, কোক, কার্বন।

অপরিবাহী: কাচ, রেশম, রাবার, ইবোনাইট, অভ্র, পোর্সেলিন, মোম, গন্ধক শুকনো কাঠ, রজন, কাগজ।

অর্ধপরিবাহী:

তোমার → তুলা; পরশ → পাথর; আমায় → অ্যালকোহল; কাঁদায় → কেরোসিন

জার্মান → Ge; শিল্পীরা → Si; ফুচকা → P; আনায় → Al; আগে → আর্সেনাইড, Ga



একটি ইলেকট্রন বা প্রোটনের চার্জই প্রকৃতিতে ন্যূনতম মানের চার্জ। এ

কুলম্ব চার্জ $= 6.24 \times 10^{18}$ সংখ্যক ইলেকট্রনের চার্জ।

"সমধর্মী আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ, বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আক করে"– স্থির তড়িৎ এর ১ম সূত্র।

সূচনা
Introduction

লক্ষ করলে, বিশেষ করে শীতকালে আমরা দেখতে পাই যে, চিরুনি দিয়ে মাথা আচড়াবার পর ছোট ছোট কাগজের টুকরার উপর ধরলে চিরুনি কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। এ ঘটনা আমাদের অনেকেরই জানা। গ্রিক দার্শনিক **থেলিস** (Thales : 640-548 B.C.) সর্বপ্রথম পর্যবেক্ষণ করেন যে সোলেমানী পাথর বা পাইন গাছের শক্ত আঠা দিয়ে রেশমি কাপড়কে ঘষলে এগুলো ছোট ছোট কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। **উইলিয়াম গিলবার্ট** (William Gilbert : 1540–1603) এ সম্বন্ধে বিস্তারিত অনুসন্ধান করেন এবং অনেক পদার্থের মধ্যে এই গুণাগুণ লক্ষ করেন। ড. গিলবার্ট পরবর্তীতে লক্ষ করেন যে ঘর্ষণের ফলে প্রত্যেক বস্তু অন্য বস্তুকে কম-বেশি আকর্ষণ করে যা **তড়িতাহিতকরণ ধর্ম** নামে পরিচিত।

আম্বার ↓ গ্রিক ভাষায় ইলেকট্রন ↓ ইলেকট্রিসিটি বা তড়িৎ

এ অধ্যায় আমরা কুলম্বের সূত্র, ক্ষেত্র তত্ত্ব, তড়িৎ ক্ষেত্র, তড়িৎ বিভব, তড়িৎ দ্বিমেরু, তড়িৎ মেরুর জন্য তড়িৎ প্রাবল্য, চার্জের সংরক্ষণশীলতা ও কোয়ান্টায়ন, ডাই ইলেক... করব।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- কুলম্বের সূত্রকে ক্ষেত্র তত্ত্বের আলোকে ব্যাখ্যা করতে...
- একটি বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ বল, তড়িৎ ক্ষেত্র, তা... করতে পারবে।
- সমবিভব তল, তড়িৎ দ্বিমেরু, চার্জের কোয়ান্টায়ন এব... করতে পারবে।
- একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য ক্ষেত্র প্রাবল্য এবং তড়িৎ বি...
- ধারকের শ্রেণি ও সমান্তরাল সংযোগ ব্যাখ্যা করতে পা...
- ধারকের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবে।
- ধারক ও ধারকত্ব ব্যাখ্যা, ধারকের শক্তি পরিমাপসহ দে...
- কুলম্বের সূত্র হতে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন করতে প...
- গাউসের সূত্র ব্যবহার করে বিভিন্ন ক্ষেত্রে তড়িৎ ক্ষেত্র...
- কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।

বৈদ্যুতিক বলরেখার বৈশিষ্ট্যাবলি:

- এটি খোলা বক্ররেখা, কেননা, পরিবাহীর মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবার পূর্বে ব... রেখা থাকে না।
- রেখাগুলো ধন চার্জ হতে উৎপন্ন হয় ঋণ চার্জে শেষ হয়
- ইহা ধন চার্জগ্রস্থ তল হতে অভিলম্বভাবে বের হয় এবং ঋণ চার্জ গ্রস্থ ত... অভিলম্বভাবে শেষ হয়।
- দুইটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করে না
- প্রত্যেক বলরেখায় দুই প্রান্তে বিপরীত চার্জ থাকে
- বলরেখাগুলো পরস্পরের উপর পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে।
- পরস্পরকে পার্শ্বদিকে বিকর্ষণ করে এবং দৈর্ঘ্য অভিমুখে আকর্ষণ করে।
- বলরেখাগুলো স্থিতিস্থাপক সূতার ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ এরা দৈর্ঘ্য বরা... সংকুচিত হয় এবং পার্শ্বদিকে প্রসারিত হয়।
- বৈদ্যুতিক বলরেখাগুলো বাস্তব অস্তিত্ব নেই

২.১ কুলম্বের সূত্র ও ক্ষেত্র তত্ত্ব
Coulomb's Law and Field Theory

কুলম্বের সূত্র
Coulomb's law

আমরা জানি একটি চার্জ অপর একটি চার্জকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে। দুটি চার্জের মধ্যকার এই আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান তিনটি শর্তের উপর নির্ভর করে; যথা—

(i) চার্জ দুটির পরিমাণ
(ii) চার্জ দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং
(iii) চার্জ দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যম।

M–13-14

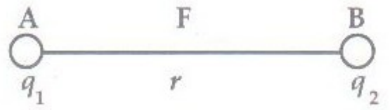
এই শর্তগুলোকে ভিত্তি করে বিখ্যাত ফরাসি বিজ্ঞানী **কুলম্ব** (Coulomb) 1787 খ্রিস্টাব্দে দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। এটি **কুলম্বের সূত্র** নামে পরিচিত। সূত্রটি বিবৃত করার আগে বিন্দু চার্জ কি তা জানা দরকার। কারণ কুলম্বের সূত্র কেবলমাত্র বিন্দু চার্জের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। অর্থাৎ যে সকল তড়িতাহিত বস্তুর আকার তাদের অন্তর্বর্তী দূরত্বের তুলনায় নগণ্য কেবলমাত্র তাদের ক্ষেত্রেই এই সূত্র প্রযুক্ত হয়। কুলম্বের সূত্র সরাসরি প্রয়োগ করে দুটি তড়িতাহিত বিস্তৃত বস্তুর পারস্পরিক বল নির্ণয় করা যায় না। দুটি চার্জের পারস্পরিক বলের সাথে চুম্বক এবং মহাকর্ষের অনুরূপ রাশিগুলির সুস্পষ্ট সাদৃশ্য রয়েছে।

বিন্দু চার্জ : আহিত বা চার্জিত বস্তুর আকার যখন খুবই ক্ষুদ্র হয়, তখন ঐ চার্জিত বস্তুর চার্জকে বিন্দু চার্জ বলা হয়। ঐ ধরনের চার্জিত বস্তুগুলো তাদের মধ্যকার দূরত্বের তুলনায় এত ছোট যে ঐগুলোকে গাণিতিক বিন্দু (mathematical point) হিসেবে বিবেচনা করা যায়।

বিন্দু চার্জের সাহায্যে কুলম্বের সূত্র নিম্নরূপে বিবৃত করা যায়—

কুলম্বের সূত্র : কোনো একটি নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান চার্জ দুটির গুণফলের সমানুপাতিক, চার্জ দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক এবং এই বল চার্জ দুটির সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে। ১৭৮৭ সালে ফরাসি বিজ্ঞানী কুলম্ব

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো মাধ্যমে q_1 এবং q_2 দুটি বিন্দু চার্জ পরস্পর হতে r দূরে অবস্থিত [চিত্র ২·১]। এরা যদি পরস্পরের উপরে F পরিমাণ বল প্রয়োগ করে, তাহলে কুলম্বের সূত্র অনুসারে,



চিত্র ২·১

$F \propto q_1 q_2$ যখন r স্থির বা ধ্রুব থাকে

এবং $F \propto \frac{1}{r^2}$ যখন q_1 ও q_2 স্থির বা ধ্রুব থাকে।

যখন r, q_1 ও q_2 সকল রাশিই পরিবর্তনশীল, তখন

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\text{বা, } F = K\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \quad (2.1)$$

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এর মান চার্জ দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতি এবং F, q_1, q_2 ও r এর পরিমাপের এককের উপর নির্ভর করে।

এস. আই. (S. I.) বা এম. কে. এস. (M. K. S.) পদ্ধতিতে

$K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ লেখা যায়। ϵ (Epsilon) হলো চার্জ দুটি যে মাধ্যমে অবস্থিত ঐ মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা বা সংক্ষেপে ভেদ্যতা (permittivity)।

$$\therefore\ F = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.2)$$

শূন্য বা বায়ু মাধ্যমের মধ্যে কুলম্বের সূত্র নিম্নরূপ :

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.3)$$

এখানে F_0 হলো শূন্য মাধ্যমে ক্রিয়াশীল বল এবং ϵ_0 (Epsilon naught) শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা বা ভেদ্যতা। $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ কুলম্ব^2/নিউটন-মিটার^2 $\left(\frac{C^2}{N.m^2}\right)$ এবং $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ নিউটন-মিটার^2/ কুলম্ব^2 হয়।

অতএব, সমীকরণ (2.3) হতে পাই,

$$F_0 = 9 \times 10^9 \frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.4)$$

কুলম্বের সূত্রের ভেক্টর রূপ : যেহেতু দুটি চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল একটি ভেক্টর রাশি, অতএব কুলম্বের সূত্রকে ভেক্টররূপে প্রকাশ করা যায়। ভেক্টরের সাহায্যে সমীকরণ (2.2) লেখা যায়,

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{n} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.5)$$

যেকোন পদার্থকে ৩টি উপায়ে চার্জিত করায়

এখানে $\hat{n}$ হলো চার্জদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর একটি একক ভেক্টর। $\hat{n}$ এর দিক $\vec{F}$-এর দিক বরাবর।

এখানে $\hat{n} = \dfrac{\vec{r}}{r}$ ... ... (2.6)

$\therefore \quad \vec{F} = \hat{n}F = \dfrac{\vec{r}}{r}F = \dfrac{1}{4\pi\epsilon}\dfrac{q_1 q_2}{r^3}\vec{r}$ ... ... (2.7)

চার্জের একক (Unit of charge) : এস. আই. (S. I.) পদ্ধতিতে চার্জের একক **কুলম্ব**।

সমীকরণ (2.4) অনুসারে 1 কুলম্বের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

দুটি সমমানের চার্জ শূন্য মাধ্যমে 1 মিটার দূরে অবস্থান করে পরস্পরের উপর 9×10^9 N বল প্রয়োগ করলে ঐ চার্জ দুটির প্রত্যেককে একক চার্জ বলে এবং এই একক চার্জকে এক কুলম্ব বলে। (07 – 08)

অর্থাৎ যদি $F_0 = 9 \times 10^9$ N, $q_1 = q_2 = q$ coul এবং $r = 1$ m হয়, তবে $q^2 = 1$ বা, $q = \pm 1$ coul

বলের প্রকৃতি (Nature of force) : সমীকরণ (2.4)-এর ডান পাশের রাশিগুলোর মান জেনে F-এর মান নির্ণয় করা যায়। F-এর নির্ণীত মান যদি **ধন রাশি** হয়, তবে বল হবে **বিকর্ষণমূলক**। কারণ একই জাতীয় দুটি রাশির গুণফল ধন রাশি। আর F-এর নির্ণীত মান যদি **ঋণ রাশি** হয়, তবে বল হবে **আকর্ষণমূলক** কারণ দুটি বিপরীত রাশির গুণফল ঋণ রাশি।

ক্ষেত্র তত্ত্ব
Field Theory

কুলম্বের সূত্র থেকে জানি, দুটি চার্জিত বস্তুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল এদের মধ্যে কোনো সংযোগ ছাড়াই ক্রিয়া করে। সুতরাং চৌম্বক বল বা মহাকর্ষ বলের ন্যায় তড়িৎ বল দূর থেকে ক্রিয়াশীল প্রকৃতির। দুটি চার্জিত বস্তুর এরূপ পারস্পরিক ক্রিয়া ব্যাখ্যা করার জন্য ফ্যারাডে তড়িৎক্ষেত্রের ধারণা উপস্থাপন করেন। একে **ক্ষেত্র তত্ত্ব** বলে। এই ধারণা অনুসারে কোনো চার্জিত বস্তুর উপস্থিতিতে একে ঘিরে সমগ্র অঞ্চল একটি বিশেষ ধর্ম অর্জন করে। এই ধর্মের দরুন ঐ অঞ্চলে অন্য কোনো চার্জিত বস্তু আনলে তার উপর তড়িৎ বল ক্রিয়াশীল হয়। কোনো অঞ্চলে একটি চার্জ আনলে এর উপর যদি তড়িৎ বল ক্রিয়া করে, তবে ঐ অঞ্চলে তড়িৎক্ষেত্র রয়েছে ধরা হয়। কাজেই তড়িৎক্ষেত্র তড়িৎ বল সঞ্চালনের মধ্যস্থতার ভূমিকা পালন করে।

এখন কুলম্বের সূত্র অনুসারে যখন দুটি চার্জিত বস্তুর মধ্যবর্তী দূরত্ব অসীম হয়, কেবল তখনই পারস্পরিক তড়িৎ বলের মান শূন্য হতে পারে। সুতরাং তাত্ত্বিকভাবে বলা যায় যে, কোনো চার্জিত বস্তুর স্থির তড়িৎক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত হয়, যদিও কয়েক মিটার পর এর মান এত ক্ষুদ্র হয় যে তা পরিমাপ করা সম্ভব হয় না।

হিসাব কর : 0·002 kg ভরের একটি শোলা বল 10^{-4} C চার্জে চার্জিত। **শোলা বলটিকে অভিকর্ষীয় ক্ষেত্রে স্থির রাখতে কী পরিমাণ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রয়োজন ?**

বস্তুর ওজন ও তড়িৎ বল সমান হলে বস্তু স্থির থাকবে।

আমরা জানি,

$W = mg = 0{\cdot}002 \times 9{\cdot}8 = 0{\cdot}0196$ N

আবার, তড়িৎ বল $F = Eq = W$

$\therefore \quad E = \dfrac{W}{q} = \dfrac{0{\cdot}0196}{10^{-4}} = \dfrac{196 \times 10^{-4}}{10^{-4}} = \boxed{196\ \text{NC}^{-1}}$

এখানে,
$m = 0{\cdot}002$ kg
$q = 10^{-4}$ C
$g = 9{\cdot}8\ \text{ms}^{-2}$
$E = ?$

গাণিতিক উদাহরণ

১। **লোহার নিউক্লিয়াসে অবস্থানরত দুটি প্রোটনের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়াশীল বল কত যদি তাদের মধ্যে দূরত্ব 4×10^{-15} m হয় ?** [চ. বো. ২০০৮]

মনে করি বল = F

$\therefore$ আমরা পাই,

$F = 9 \times 10^9 \times \dfrac{q_1 \times q_2}{d^2}$ ... ... (1)

সমীকরণ (1) হতে পাই,

$F = \dfrac{9 \times 10^9 \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2}{(4 \times 10^{-15})^2} = 14{\cdot}4$ নিউটন(N)

এখানে,
$q_1 = q_2 = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$d = 4 \times 10^{-15}$ m

২। সমভাবে আহিত দুটি পিথ বল বায়ুতে 2·0 mm ব্যবধানে রাখলে পরস্পরকে 4×10^{-5} N বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেক পিথ বলের আধান নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮; সি. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\therefore\ 4 \times 10^{-5} = 9 \times 10^9 \times \frac{q^2}{(0 \cdot 002)^2}$$

বা, $$q^2 = \frac{4 \times 10^{-5} \times (0 \cdot 002)^2}{9 \times 10^9}$$

বা, $$q^2 = 1 \cdot 77 \times 10^{-20}$$

$$\therefore\ q = 1 \cdot 33 \times 10^{-10} \text{ Coulomb}$$

এখানে,

$F = 4 \times 10^{-5}$ N

$r = 2 \cdot 0$ mm $= 0 \cdot 002$ m

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ N-m²/C²

$q_1 = q_2 = q = ?$

৩। 2 Å দূরত্বে থাকা অবস্থায় একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটনের মধ্যে ক্রিয়াশীল স্থির তড়িৎ বলের জন্য তাদের ত্বরণের মান কত হবে ? [দেয়া আছে, $m_e = 9 \cdot 1 \times 10^{-31}$ kg, $m_p = 1 \cdot 67 \times 10^{-27}$ kg, $e = 1 \cdot 6 \times 10^{-19}$ C]

আমরা জানি,

ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল,

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}$$

$$\therefore\ F_e = \frac{9 \times 10^9 \times (1 \cdot 6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 5 \cdot 76 \times 10^{-9} \text{ N}$$

এখানে,

$r = 2\text{Å} = 2 \times 1 \times 10^{-10}$ m $= 2 \times 10^{-10}$ m

$m_e = 9 \cdot 1 \times 10^{-31}$ kg

$m_p = 1 \cdot 67 \times 10^{-27}$ kg

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

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ Nm² C⁻²

আবার, $F = ma$, বা, $a = \frac{F}{m}$

সুতরাং, ইলেকট্রনের ত্বরণ, $a_e = \frac{F_e}{m_e} = \frac{5 \cdot 76 \times 10^{-9}}{9 \cdot 1 \times 10^{-31}} = 6 \cdot 33 \times 10^{21}$ ms⁻²

এবং প্রোটনের ত্বরণ, $a_p = \frac{F_e}{m_p} = \frac{5 \cdot 76 \times 10^{-9}}{1 \cdot 67 \times 10^{-27}}$

$= 3 \cdot 45 \times 10^{18}$ ms⁻²

২.২ বিন্দু চার্জের তড়িৎ বল, তড়িৎ ক্ষেত্র, তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভব

Electric force, Electric field, Electric field intensity and Electric potential due to a point charge

তড়িৎ বল
Electric force

পূর্বের অনুচ্ছেদে বিন্দু চার্জ এবং এর ফলে সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র সম্বন্ধে আমরা জেনেছি। তড়িৎ ক্ষেত্রের যে কোনো বিন্দুতে অবস্থিত চার্জের উপর সর্বদা একটি বল প্রযুক্ত হয়। চার্জটি ধনাত্মক হলে এই বল ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের অভিমুখে ক্রিয়া করে। পক্ষান্তরে, চার্জটি ঋণাত্মক হলে উক্ত বলের অভিমুখ বিপরীত হয়। চার্জটিকে এই বলের বিপরীতে সরালে কোনো বাহ্যিক কারণকে বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হবে। ফলে চার্জটির স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি পাবে। E প্রাবল্যের তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত $+q$ পরখ চার্জ (test charge) যদি F বল অনুভব করে তাহলে ঐ বিন্দুতে ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল

$$F = qE \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.8)$$

অর্থাৎ তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত কোনো আধানের উপর ক্রিয়াশীল বল বা তড়িৎ বল ঐ বিন্দুতে প্রাবল্য এবং স্থাপিত আধানের গুণফলের সমান। ধনাত্মক আধান প্রাবল্যের অভিমুখে বল লাভ করে আর ঋণাত্মক আধান প্রাবল্যের বিপরীত দিকে বল লাভ করে। তড়িৎ বলের একক নিউটন।

> বিজ্ঞানী সম্পর্কিত তথ্যসমূহ:

বিজ্ঞানীর নাম	সাল	তথ্য
থেলস	600 খ্রি. পূর্বাব্দ	অ্যাম্বারকে রেশম দিয়ে ঘষলে চার্জ উৎপন্ন হয় + সর্বপ্রথম বিদ্যুতের অস্তিত্ব।
গীলবার্ট	1600 খ্রিস্টাব্দ	শুধু অ্যামবারকে নয় কাচ ইবোনাইট রাবারকে ঘষলেও চার্জ উৎপন্ন হয়।
C.F ডুফে	1733 খ্রিস্টাব্দ	ঘর্ষনের ফলে উৎপন্ন চার্জ বিপরীতধর্মী + চার্জের সূত্র ২টি।
বেঞ্জামিন ফ্রাঙ্কলিন	1747 খ্রিস্টাব্দ	চার্জ ২ প্রকার, ঋণাত্মক ও ধনাত্মক।
স্যার উইলিয়াম ওয়াটসন		বিদ্যুৎ সংক্রান্ত এক পরিবাহী তথ্যের অবতারণা
লরেঞ্জ		বিদ্যুৎ সংক্রান্ত মতবাদ
কুলম্ব		বিন্দু চার্জের জন্য কুলম্ব সূত্র
ফ্যারাডে		বিদ্যুৎ সংক্রান্ত মতবাদ
ম্যাক্সওয়েল		বেতার তরঙ্গের উদ্ভাবন

ধারক আবিষ্কার: লিডেন বিশ্ববিদ্যালয়ের ভ্যান মুসচেন ব্রোয়েক 1746 খ্রিস্টাব্দে ধারক আবিষ্কার করেন।

স্থির তড়িৎ বল এবং মহাকর্ষ বলের

দুটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর মধ্যে স্থির তড়িৎ বল বৈসাদৃশ্য নিম্নরূপ :

সাদৃশ্য :

১. দুটি বলই বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের

২. দুটি বলই সংরক্ষণশীল বল; অর্থাৎ এই

৩. দুটি বলই শূন্যস্থানে কাজ করে।

৪. দুটি বলই কেন্দ্রীয় বল (Central force বরাবর ক্রিয়া করে।

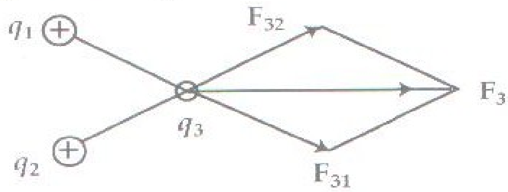
বৈসাদৃশ্য :

স্থির তড়িৎ বল	
১. এই বল অনেক বেশি শক্তিশালী।	
২. আধানের প্রকৃতি অনুযায়ী এই বল আকর্ষণধর্মী বিকর্ষণধর্মী হতে পারে।	
৩. এই বল সংশ্লিষ্ট মাধ্যমের ওপর নির্ভরশীল।	৩. এই বল সংশ্লিষ্ট মাধ্যমের ওপর নির্ভর করে না।

তড়িৎ বলের উপরিপাতন নীতি
Superposition principle of electric force

ইতোপূর্বে দুটি চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল আলোচনা করা হয়েছে। এখন একটি চার্জ যদি অনেকগুলো চার্জ দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে কিংবা উক্ত চার্জের আশেপাশে অনেক চার্জ থাকে, তবে ঐ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল নীট (resultant) বল বের করতে হয়। এ নীট বল বের করতে হলে প্রত্যেকটি চার্জকে আলাদাভাবে এমনভাবে বিবেচনা করতে হয় যেন অন্য চার্জগুলো অনুপস্থিত রয়েছে। এভাবে প্রত্যেকটি চার্জের জন্য নির্ণেয় বলের ভেক্টর যোগফলই হবে উক্ত চার্জের উপর ক্রিয়াশীল নীট বল। বলের এ স্বাতন্ত্র্য নীতি উপরিপাতন নীতি হিসেবে পরিচিত।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, তিনটি ধনাত্মক চার্জ q_1, q_2 ও q_3 কাছাকাছি অবস্থান করছে [চিত্র ২.২]। এখন আমরা q_3 চার্জের উপর q_1 ও q_2 এর জন্য সৃষ্ট বিকর্ষণ বল বের করব। প্রথমে q_1 চার্জের জন্য q_3-এর উপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}_{31}$-এর মান ও দিক নির্ণয় করি। এবার q_2 চার্জের জন্য q_3-এর উপর বিকর্ষণ বল $\vec{F}_{32}$-এর মান ও দিক বের করি। এখন q_3-এর উপরে লব্ধি বা নীট বিকর্ষণ বল $\vec{F}_3$ হবে $\vec{F}_{31}$ ও $\vec{F}_{32}$ বলদ্বয়ের ভেক্টর যোগফল। অর্থাৎ, $\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$



চিত্র ২.২

লক্ষণীয় যে q_3 এর উপর q_1 এর ক্রিয়াশীল বল বের করার সময় q_2 অনুপস্থিত ধরা হয়েছে। আবার q_3 এর উপর q_2 এর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয়ের সময় q_1 অনুপস্থিত ধরা হয়েছে। এ পদ্ধতি অনুসরণ করে যে কোনো সংখ্যক চার্জের জন্য কোনো একটি চার্জের উপর ক্রিয়াশীল নীট বল বের করা যায়।

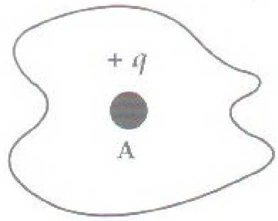
নিজে কর : একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে গতিশীল আহিত কণার উপর চৌম্বকক্ষেত্র বল প্রয়োগ করলে, আহিত কণার শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে কী ?

যদিও গতিশীল আহিত কণার উপর চৌম্বকক্ষেত্র বল প্রয়োগ করে, কিন্তু কণার শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে না কারণ কার্যকর বল ব্যাসার্ধমুখী (radial) হওয়ায় এটি অকার্যকর বল। বস্তুর উপর কোনো কাজ করা হয় না। সুতরাং কণার শক্তিরও কোনো পরিবর্তন হবে না।

তড়িৎ ক্ষেত্র
Electric field

তড়িৎ ক্ষেত্র আলোচনার পূর্বে পরখ চার্জ (Test charge) কী তা জানা দরকার। অত্যন্ত ক্ষুদ্র মানের কাল্পনিক চার্জ যা অন্য কোনো চার্জের উপর বল প্রয়োগ করে না, অর্থাৎ আশেপাশের চার্জকে প্রভাবিত করে না, তাকে পরখ চার্জ বলে।

একটি বিন্দু চার্জের চতুর্দিকে বিস্তৃত অঞ্চল জুড়ে এর প্রভাব লক্ষ করা যায় [চিত্র ২.৩]। ঐ অঞ্চলে একটি পরখ চার্জ স্থাপন করলে এটি তড়িৎ বল অনুভব করে। পরখ চার্জটি বিন্দু চার্জের কাছে আনলে বলের মান বৃদ্ধি পায়; দূরে সরিয়ে নিলে বল কম অনুভব করে। অনেক দূরে সরিয়ে নিলে বলের মান এত ক্ষুদ্র হয় যে তা পরিমাপ করা সম্ভব হয় না। কুলম্বের সূত্র থেকে আমরা দেখেছি যে এ বলের প্রকৃতি মহাকর্ষীয় বলের অনুরূপ। মহাকর্ষীয় বল ও কুলম্ব বল উভয়ই দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র অনুসরণ করে এবং উভয় ধরনের বল অসীম দূরত্ব পর্যন্ত বিস্তৃত; যদিও দূরত্ব অনেক বাড়লে বলের মান অত্যন্ত কম হয় এবং পরিমাপ করা সম্ভব হয় না।



চিত্র ২.৩

এখন একটি বিন্দু চার্জের কাছাকাছি কোথাও একটি পরখ চার্জ আনলে তা বল অনুভব করে। কিন্তু প্রশ্ন জাগে যে চার্জ দুটির মধ্যে কোনো ভৌত সংযোগ নেই অথচ কেন বল অনুভব করে। বিখ্যাত বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে প্রথম অনুধাবন করেন যে ঐ বিন্দু চার্জের চারদিকে এক ধরনের আলোড়ন সৃষ্টি হয় যার ফলে ঐ অঞ্চলে কোনো পরখ চার্জ স্থাপন করলে বল অনুভব করে। তিনি এই আলোড়নের নাম দেন তড়িৎ ক্ষেত্র। সুতরাং তড়িৎ ক্ষেত্রের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায় :

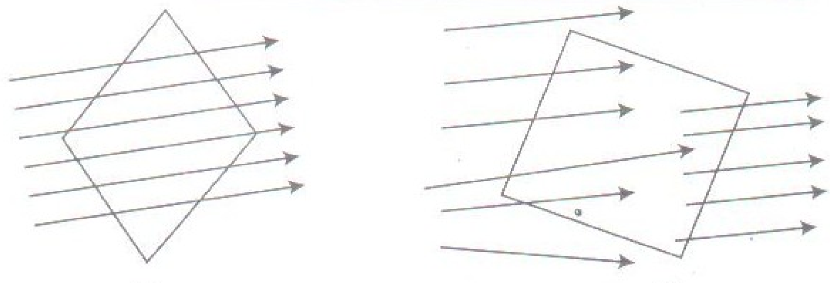
সংজ্ঞা : কোনো একটি চার্জিত বস্তু এর চারদিকে যে অঞ্চল ব্যাপী তার প্রভাব বিস্তার করে সেই অঞ্চলকে ঐ চার্জিত বস্তুর তড়িৎ ক্ষেত্র বলে।

তড়িৎ ক্ষেত্রের একক : এস. আই. (S. I.) পদ্ধতিতে বলের একক নিউটন এবং চার্জের একক কুলম্ব। অতএব, তড়িৎ ক্ষেত্রের একক হবে নিউটন/কুলম্ব (N/C)। এ ছাড়া আরো একটি একক আছে। সেটি হলো ভোল্ট/মিটার (V/m)। বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের নতি বিবেচনা করে লেখা যায় $E = -\frac{dV}{dx}$। অতএব ভোল্ট/মি. এককটি বেশি ব্যবহৃত হয়।

তড়িৎ ফ্লাক্স (Electric flux) : কোনো তল বা পৃষ্ঠের ভেতর দিয়ে যতগুলো তড়িৎ বলরেখা অতিক্রম করে তাকে তড়িৎ ফ্লাক্স বলে। একে φ_E দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(i) তড়িৎ ক্ষেত্র এবং তলের অভিলম্ব যখন সমান্তরাল অবস্থানে থাকে তখন তড়িৎ ফ্লাক্স সর্বাধিক হয় [চিত্র ২.৪ (ক)]।

(ii) তড়িৎ ক্ষেত্র এবং তলের অভিলম্ব যখন সমকোণে থাকে তখন তড়িৎ ফ্লাক্স শূন্য হয় [চিত্র ২.৪ (খ)]

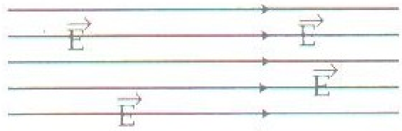

(ক) (খ)
চিত্র ২.৪

একাধিক বিন্দু চার্জের জন্য কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করতে হলে ঐ বিন্দুতে প্রতিটি চার্জের জন্য আলাদাভাবে প্রাবল্য নির্ণয় করতে হয় এবং নীট প্রাবল্য হবে আলাদাভাবে নির্ণীত তড়িৎ প্রাবল্যের ভেক্টর যোগফল। অতএব, N সংখ্যক চার্জ থাকলে এদের জন্য সৃষ্ট মোট তড়িৎ প্রাবল্য হবে

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \vec{E}_n = \Sigma\vec{E}_n \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.9)$$

"তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য 10 এস. আই. একক।" উক্ত উক্তি দ্বারা বুঝি যে তড়িৎ ক্ষেত্রের ঐ বিন্দুতে 1 কুলম্ব ধন চার্জের উপর 10 নিউটন বল ক্রিয়া করবে।

সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র (Uniform electric field) : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের মান ও দিক সর্বত্র সমান হলে তাকে সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বলে [চিত্র ২.৫]। সমান ফাঁকবিশিষ্ট সমান্তরাল বল রেখা দ্বারা সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বুঝানো হয়।



চিত্র ২.৫

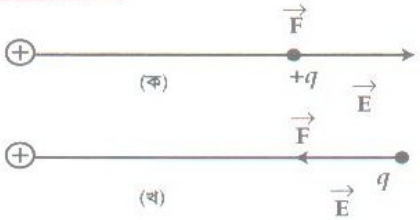
তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তড়িৎ প্রাবল্য
Electric field intensity or Electric intensity

তড়িৎ ক্ষেত্রের সর্বত্র এর প্রভাব সমান নয়। চার্জিত বা আহিত বস্তুর কাছাকাছি তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি পরখ চার্জ যতটুকু বল অনুভব করবে দূরে তার চেয়ে কম বল অনুভব করবে। আবার চার্জিত বস্তুর চার্জের পরিমাণ বেশি হলে ঐ একই বিন্দুতে কম চার্জের বস্তু অপেক্ষা বেশি বল অনুভূত হবে। তড়িৎ ক্ষেত্রের এই সবলতা বা দুর্বলতা একটি তড়িৎ রাশি দ্বারা প্রকাশ করা হয়। একে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তীক্ষ্ণতা সংক্ষেপে তড়িৎ প্রাবল্য (Electric intensity) বলে। তড়িৎ ক্ষেত্রের একই অবস্থান বিন্দুতে স্থাপিত পরখ চার্জ ও বিন্দু চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের মান পরখ চার্জের পরিমাণ অনুসারে ভিন্ন ভিন্ন মানের হয়; কিন্তু একক পরখ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল একই মানের হয়। সুতরাং তড়িৎ প্রাবল্যের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : কোনো বিন্দুতে একক আধান বা চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বলকে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা হয়। একে ক্ষেত্র প্রাবল্যও (Field intensity) বলা হয়। তড়িৎ প্রাবল্যের একক নিউটন/কুলম্ব।

তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এটি ভেক্টর রাশি।

তড়িৎ ক্ষেত্র যেহেতু ভেক্টর রাশি, অতএব এর দিক ও মান রয়েছে। **E-এর দিক হলো একটি ধনাত্মক পরখ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বলের দিক** [চিত্র ২·৬(ক)], ঋণাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে $\vec{E}$-এর দিক $\vec{F}$-এর বিপরীতমুখী হয় [চিত্র ২·৬(খ)]।



চিত্র ২·৬

তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত পরখ চার্জ q_0-এর উপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}$ হলে, ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য হবে,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.10)$$

$$\therefore \quad \vec{F} = q_0 \vec{E} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.11)$$

সমীকরণ (2.10) তড়িৎ প্রাবল্য এবং তড়িৎ বলের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

তড়িৎ ক্ষেত্রে বলের মানকে চার্জের মান দ্বারা ভাগ করলে ভাগফলই হবে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের বা তড়িৎ ক্ষেত্রের মান।

বিন্দু আধানের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা

মনে করি কোনো মাধ্যমে একটি ধনাত্মক আধান $+q$ রয়েছে। ঐ আধান হতে r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।

চিত্র ২·৭

ধরা যাক P বিন্দুতে একটি পরখ চার্জ q_0 স্থাপন করা হয়েছে [চিত্র ২·৭]। এখন, q_0 পরখ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল,

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k} \frac{q q_0}{r^2} \hat{n} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.12)$$

এখানে k হলো ঐ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক এবং $\hat{n}$ হলো $\vec{F}$ বরাবর একক ভেক্টর।

এখন, তড়িৎ প্রাবল্যের সংজ্ঞা হতে আমরা জানি, তড়িৎ প্রাবল্য হচ্ছে একক ধনাত্মক চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল। অর্থাৎ, $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ $\qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.13)$

সমীকরণ (2.12) ব্যবহার করে আমরা পাই,

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k} \frac{q q_0}{r^2} \hat{n} \frac{1}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k} \frac{q}{r^2} \hat{n} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.14)$$

তড়িৎ প্রাবল্যের মান হবে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k} \frac{q}{r^2}$ $\qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.15)$

বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে, $k = 1$. সুতরাং শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে $+q$ ধনাত্মক চার্জ স্থাপন করলে, r দূরত্বে তড়িৎ প্রাবল্য হবে, $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{n}$ ... ... (2.16)

তড়িৎ প্রাবল্যের মান হবে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}$ ... ... (2.17)

বি.দ্র. পরখ চার্জের আশেপাশে এক বা একাধিক চার্জই হলো তড়িৎ ক্ষেত্রের উৎস। মনে রাখা দরকার যে সমীকরণ (2.11)-এ পরখ চার্জের আশেপাশের চার্জের জন্য সৃষ্ট ক্ষেত্র বুঝায়, পরখ চার্জের জন্য নয়। পরখ চার্জ এত ক্ষুদ্র যে এর উপস্থিতি ঐ তড়িৎ ক্ষেত্রকে প্রভাবিত বা বিকৃত করে না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : দুটি বিন্দু আধান কিছু দূরত্বে রয়েছে। এদের মধ্যবর্তী কোনো বিন্দুতে যদি তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য হয় তবে আধান দুটি সম্বন্ধে কী সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় ?

তড়িৎ আধান দুটির মধ্যবর্তী কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য হলে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে আধান দুটির প্রকৃতি একই। তা না হলে আধান দুটির মধ্যবর্তী কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য একই অভিমুখে হবে। ফলে তাদের লব্ধি কখনও শূন্য হবে না।

গাণিতিক উদাহরণ

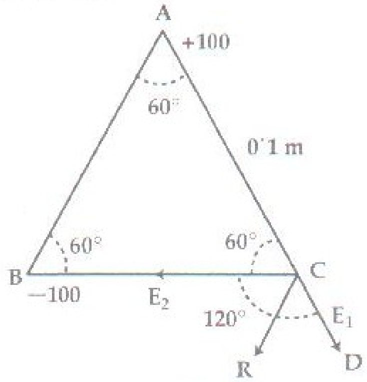
১। 1.6×10^{-9} C (বা, 1.6×10^{-3} μC) চার্জে চার্জিত একটি ক্ষুদ্র গোলক বায়ুতে স্থাপন করা হলো। চার্জিত গোলকের কেন্দ্র হতে 0.15 m (বা, 15 cm) দূরে কোনো বিন্দুতে বৈদ্যুতিক প্রাবল্য বের কর। [কু. বো. ২০১০]

আমরা জানি, বায়ুতে বৈদ্যুতিক প্রাবল্য,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q}{r^2}$$
$$= 9 \times 10^9 \times \frac{1.6 \times 10^{-9}}{(0.15)^2}$$
$$= 640 \text{ NC}^{-1}$$

এখানে,
$q = 1.6 \times 10^{-9}$ C
$r = 0.15$ m
$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ N-m²/C²
$E = ?$

২। একটি সমবাহু ত্রিভুজের A, B এবং C তিনটি কৌণিক বিন্দু এবং ত্রিভুজের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য 0.1 m। ত্রিভুজের A ও B বিন্দুতে +100 C এবং −100 C চার্জ স্থাপন করা হলো। C বিন্দুতে প্রাবল্যের মান ও দিক নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০১১]



চিত্র ২৮

ধরি মাধ্যম বায়ু, শর্তানুসারে + 100 C চার্জের দরুন C বিন্দুতে ACD এর দিকে প্রাবল্য

$$E_1 = \frac{9 \times 10^9 \times 100}{(0.1)^2} = 9 \times 10^{13} \text{ N/C}$$

পুনঃ — 100 C চার্জের দরুন ত্রিভুজের C বিন্দুতে CB-এর দিকে প্রাবল্য

$E_2 = \frac{9 \times 10^9 \times 100}{(0.1)^2} = 9 \times 10^{13}$ N/C। প্রাবল্য দুটির মান সমান বলে C বিন্দুতে এদের লব্ধি প্রাবল্য ∠BCD-কে সমদ্বিখণ্ডিত করবে। কিন্তু ∠BCD = 120°। সুতরাং C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য AB-এর সমান্তরাল হবে।

∴ লব্ধি প্রাবল্য,

$$R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha}$$
$$= \sqrt{(9 \times 10^{13})^2 + (9 \times 10^{13})^2 + 2 \times 9 \times 10^{13} \times 9 \times 10^{13}\cos 120^\circ}$$
$$= \sqrt{(9 \times 10^{13})^2 + (9 \times 10^{13})^2 + 2 \times 9 \times 10^{13} \times 9 \times 10^{13}\left(-\frac{1}{2}\right)}$$
$$= \sqrt{81 \times 10^{26} + 81 \times 10^{26} - 81 \times 10^{26}} = \sqrt{162 \times 10^{26} - 81 \times 10^{26}}$$
$$= \sqrt{81 \times 10^{26}} = 9 \times 10^{13} \text{ নিউটন/কুলম্ব (N/C)}$$

তড়িৎ বলরেখা ধনাত্মক পরিবাহীর পৃষ্ঠের

সাথে লম্বভাবে প্রবেশ করে [M-06-07]

তড়িৎ বিভব
Electric Potential

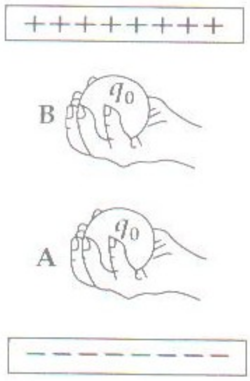
তড়িৎ বিজ্ঞানে বিভব একটি বিশেষ প্রয়োজনীয় ও গুরুত্বপূর্ণ রাশি। দুটি চার্জিত বা আহিত বস্তুকে একটি তড়িৎপরিবাহী তার দ্বারা সংযোগ স্থাপন করলে বস্তু দুটির মধ্যে চার্জের আদান-প্রদান ঘটতে পারে আবার নাও পারে। চার্জের আদান-প্রদান বস্তু দুটির মধ্যে চার্জের পরিমাণের উপর নির্ভর করবে না, বস্তু দুটির মধ্যে বিশেষ এক তড়িৎ অবস্থার উপর নির্ভর করে। এ অবস্থাকে বলা হয় তড়িৎ বিভব। তড়িৎ বিভবের পার্থক্য থাকলেই কেবল চার্জের আদান-প্রদান হবে, অন্যথায় নয়। তড়িৎ বর্তনীতে দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য থাকার কারণেই তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়।

দুটি পাত্রের মধ্যে পানির প্রবাহ কিংবা দুটি বস্তুর মধ্যে তাপের আদান-প্রদানের সঙ্গে তড়িৎ বিভবের সাদৃশ্য রয়েছে। একটি বড় ও অন্য একটি ছোট পাত্রের মধ্যে পানি রেখে একটি পাইপ দ্বারা পানির পাত্র দুটির মধ্যে সংযোগ স্থাপন করলে দেখা যাবে যে পানির উচ্চতার পার্থক্য থাকলেই শুধুমাত্র পানির প্রবাহ ঘটবে এবং পানি একই উচ্চতায় না পৌঁছা পর্যন্ত প্রবাহ চলতে থাকবে। অনুরূপ, দুটি বস্তুর মধ্যে তাপীয় সংযোগ দিলে এদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ঘটবে যতক্ষণ পর্যন্ত বস্তু দুটির তাপমাত্রা সমান না হয় বা তাপ সাম্যাবস্থায় না আসে। উভয় ক্ষেত্রের পাত্রে পানির পরিমাণ বা বস্তুর মধ্যে তাপের পরিমাণের উপর প্রবাহ নির্ভর করে না। তড়িতের ক্ষেত্রেও একই অবস্থা ঘটে। চার্জিত বা আহিত বস্তু দুটির বিভব পার্থক্য থাকলেই শুধুমাত্র চার্জের প্রবাহ ঘটবে। উচ্চ বিভববিশিষ্ট চার্জিত বস্তু হতে নিম্ন বিভবের চার্জিত বস্তুতে চার্জের প্রবাহ সৃষ্টি হবে। সুতরাং তড়িৎ বিভবের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে।

সংজ্ঞা : দুটি চার্জিত বস্তুর মধ্যে চার্জের আদান-প্রদান যে তড়িৎ অবস্থার দ্বারা নির্ধারিত হয়, তাকে তড়িৎ বিভব বলে। অর্থাৎ বিভব হচ্ছে চার্জিত পরিবাহকের বৈদ্যুতিক অবস্থা যা অন্য কোনো চার্জিত পরিবাহকের সাথে তড়িৎগত-ভাবে সংযুক্ত করলে পরিবাহক চার্জ দেবে না নেবে তা নির্ধারণ করে।

এখন আমরা তড়িৎ বিভব শক্তি এবং এ শক্তির সাহায্যে তড়িৎ বিভব ব্যাখ্যা করব এবং গাণিতিক রাশিমালা প্রকাশ করব।

তড়িৎ বিভব শক্তি (Electric potential energy) : ধরা যাক, বিপরীত চার্জে আহিত দুটি পাতের মধ্যে একটি পরখ চার্জ $+q_0$ স্থিতি অবস্থায় রাখা হয়েছে [চিত্র ২.৯]। যেহেতু পাত দুটি আহিত ফলে পরখ চার্জটি তড়িৎ বল দ্বারা নিচের পাতের দিকে আকৃষ্ট হবে। এ বলের বিরুদ্ধে কোনো এক পদ্ধতিতে (ধরা যাক হাত দ্বারা) প্রয়োজনীয় বল প্রয়োগ করে পরখ চার্জকে A অবস্থানে স্থির রাখা হয়েছে। এখন, ধরা যাক পরখ চার্জটিকে A অবস্থান হতে B অবস্থানে নিতে নিম্নমুখী তড়িৎ বলের বিরুদ্ধে হাত বাহ্যিক বল প্রয়োগ করে B অবস্থানে নিয়েছে। পরখ চার্জটিকে A অবস্থান হতে B অবস্থানে নিতে বাহ্যিক বলের দ্বারা কাজ করতে হয়েছে। কাজ-শক্তি নীতি অনুসারে, কৃত কাজ বস্তুর মোট শক্তির পরিবর্তনের সমান হবে। A ও B বিন্দুতে বস্তুটি স্থির অবস্থানে থাকায় এর গতিশক্তির কোনো পরিবর্তন ঘটবে না; শুধুমাত্র স্থিতি বা বিভব শক্তির পরিবর্তন হবে। ক্রিয়াটি বৈদ্যুতিক হওয়ায় সংশ্লিষ্ট স্থিতি বা বিভব শক্তিকে বলা হয় **তড়িৎ বিভব শক্তি।** কাজ-শক্তি নীতি অনুযায়ী এ সম্পাদিত কাজ W_{AB} তড়িৎ বিভব শক্তির পরিবর্তনের সমান হবে। অর্থাৎ



চিত্র ২.৯

$$W_{AB} = E_B - E_A \qquad \ldots \qquad (2.18)$$

এখানে E_B ও E_A যথাক্রমে B ও A বিন্দুতে তড়িৎ বিভব শক্তি (electric potential energy)। এখন তড়িৎ বল সংরক্ষণশীল বল হওয়ায়, পরখ চার্জকে A হতে B বিন্দুতে যে পথেই নেয়া হোক না কেন সম্পাদিত কাজ W_{AB} সকল পথের জন্য একই হবে। চার্জটি A বিন্দু হতে B বিন্দুতে নিতে কৃত কাজের পরিমাণ চার্জের পরিমাণের ওপর নির্ভরশীল; কেননা পরখ চার্জের গতি বাধাদানকারী তড়িৎ বলের মান চার্জের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে [যেহেতু $F = Eq_0$]। সুতরাং একক চার্জের ওপর সম্পাদিত কাজ হিসাব করাই শ্রেয়। অতএব একক চার্জের উপর কৃত কাজ

$$\frac{W_{AB}}{q_0} = \frac{E_B - E_A}{q_0} = \frac{E_B}{q_0} - \frac{E_A}{q_0} \qquad \ldots \qquad (2.19)$$

এই একক চার্জের বিভব শক্তিকে তড়িৎ বিভব বা সংক্ষেপে **বিভব** বলে।

$$\therefore \frac{W_{AB}}{q_0} = V_B - V_A \qquad \ldots \qquad (2.20)$$

এখানে V_B ও V_A যথাক্রমে B ও A বিন্দুতে তড়িৎ বিভব।

সুতরাং আমরা তড়িৎ বিভবের নিম্নোক্ত গাণিতিক সংজ্ঞা দিতে পারি।

সংজ্ঞা : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত চার্জ q_0-এর বিভব শক্তিকে চার্জ q_0 দ্বারা ভাগ করলে যে মান পাওয়া যায় তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে।

এখন ধরা যাক A বিন্দু অসীম দূরত্বে অবস্থিত। অসীম দূরত্বে বিভব $V_A = 0$ ধরা হয়। সুতরাং উপরের সমীকরণে $V_A = 0$ বসিয়ে এবং উপচিহ্নগুলো তুলে নিলে পাওয়া যায়,

$$\frac{W}{q_0} = V$$

বা, $$\boxed{V = \frac{W}{q_0}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.21)$$

অতএব, সমীকরণ (2.21) থেকে বিভবের আর একটি গাণিতিক সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : অসীম দূর হতে একটি একক ধন চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয় তাকে উক্ত ক্ষেত্রের দরুন ঐ বিন্দুর বিভব বা তড়িৎ বিভব বলে। একে V দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

মনে করি কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব = V। অতএব বহু দূর হতে একক ধন চার্জকে উক্ত বিন্দুতে আনতে V পরিমাণ কাজ সাধিত হবে। এখন যদি বহু দূর হতে q পরিমাণ চার্জকে ঐ বিন্দুতে আনা হয়, তবে কাজের পরিমাণ হবে,

কাজ = বিভব × চার্জ

অর্থাৎ $W = V \times q$

বা, $$V = \frac{W}{q} = \frac{\text{কাজ}}{\text{চার্জ}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.22)$$

যেহেতু একক ধন চার্জ স্থানান্তরে কৃত কাজ দ্বারা বিভব পরিমাপ করা হয়, কাজেই কাজের ন্যায় বিভবেরও **অভিমুখ** নেই, কেবল **পরিমাণ** আছে। তাই তড়িৎ বিভব একটি স্কেলার রাশি। ঋণ চার্জ ও একক ধন চার্জের মধ্যকার আকর্ষণই কাজ করবে। সুতরাং **ঋণ চার্জের জন্য বিভব ঋণ রাশি হবে।**

একক : এস. আই. (S. I.) পদ্ধতিতে বিভব শক্তির একক জুল, চার্জের একক কুলম্ব। সুতরাং তড়িৎ বিভবের একক

$$V = \frac{\text{জুল}}{\text{কুলম্ব}} \text{ (Joule/Coulomb)}$$

তড়িৎ বিভবের এই জুল/কুলম্ব একককে ভোল্ট বলে। (৯৭ - ৯৮)

1 ভোল্ট বিভব : অসীম দূরত্ব হতে 1 কুলম্ব ধন চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যদি 1 জুল কাজ করতে হয় তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 ভোল্ট বলে।

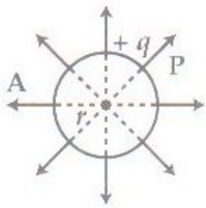
নিজে কর : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হলে ওই বিন্দুতে তড়িৎ বিভব কী শূন্য হবে ?

তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভবের মধ্যে সম্পর্ক হলো, $E = -\frac{dV}{dr}$। এখন V ধ্রুব হলে $\frac{dV}{dx} = 0$, অর্থাৎ $E = 0$।

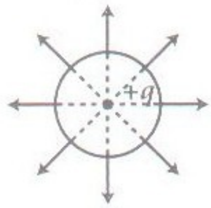
সুতরাং E শূন্য হলে V ধ্রুব হবে। যেমন ফাঁপা চার্জিত পরিবাহীর অভ্যন্তরে সর্বত্র V ধ্রুব; কিন্তু E শূন্য। তবে ওই পরিবাহী অচার্জিত হলে V-ও শূন্য হবে। অতএব, তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হলে তড়িৎ বিভব শূন্য হতেও পারে, আবার নাও হতে পারে।

চার্জগ্রস্ত গোলকের বিভব
Potential of a charged sphere

মনে করি A একটি গোলক [চিত্র ২.১০(ক)]। এর ব্যাসার্ধ $= r$। গোলকে $+q$ পরিমাণ চার্জ প্রদান করলে তা গোলকের তলে সমভাবে ছড়িয়ে পড়বে। গোলকের তল হতে বলরেখাসমূহ লম্বভাবে সব দিকে সরলরেখায় গমন



(ক)



(খ)

চিত্র ২.১০

করবে। এ রেখাগুলোকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে তারা গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হবে। এখন যদি ধরে নেই যে, $+q$ পরিমাণ চার্জ গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত আছে, তবে একই রকম বলরেখা গোলকের তল দিয়ে চারদিকে বের

হয়ে যাবে [চিত্র ২.১০ (খ)]। অতএব যে-কোনো দিক হতেই বিবেচনা করা হোক না কেন $+q$ পরিমাণ চার্জ গোলকের কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত ধরা যায়। সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠে P একটি বিন্দু নিলে ঐ বিন্দুতে তার বিভব হবে,

বায়ু মাধ্যমে $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}$ এবং প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2}$

কিন্তু গোলকের পৃষ্ঠের চার্জের তল ঘনত্ব, $\sigma = \frac{q}{A} = \frac{q}{4\pi r^2}$. এখানে, A = গোলকের ক্ষেত্রফল

$\therefore$ প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} = \frac{q}{4\pi r^2 \epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 A}$ বা, প্রাবল্য, $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান। কেননা গোলকের পৃষ্ঠে বিভব V এবং অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে বিভব V_0 হলে, $V - V_0$ = প্রাবল্য × দূরত্ব = 0, যেহেতু গোলকের অভ্যন্তরে প্রাবল্য শূন্য।

$\therefore$ $V = V_0$ । অতএব গোলকের পৃষ্ঠে বা অভ্যন্তরে বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}$

গোলকের চারপাশের মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক বা ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবক k হলে, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k} \times \frac{q}{r}$

অনুসন্ধানমূলক কাজ : একই ব্যাসার্ধের ফাঁপা ধাতব গোলক ও নিরেট ধাতব গোলক উভয়কে একই তড়িৎ বিভবে চার্জিত করলে কোনটি বেশি চার্জ ধারণ করবে ?

কোনো ধাতব গোলকে চার্জ প্রদান করলে তা বাইরের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে। তাই ধাতব গোলকের চার্জ ধারকত্ব এর ফাঁপা বা নিরেট হওয়ার ওপর নির্ভর করে না। এ কারণে একই ব্যাসার্ধের ফাঁপা ধাতব গোলক ও নিরেট ধাতব গোলক উভয়কে একই তড়িৎ বিভবে চার্জিত করলে উভয়ে সমানে চার্জ ধারণ করবে।

কাজ : কোনো গোলকের অভ্যন্তরে যে কোনো বিন্দুর বিভব পৃষ্ঠের বিভবের সমান হয় কেন ?

চার্জিত গোলকের অভ্যন্তরে কোনো বলরেখা এবং তড়িৎ প্রাবল্য থাকে না। তাই অসীম হতে গোলকের পৃষ্ঠ পর্যন্ত ধনাত্মক চার্জকে আনতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয়, অসীম হতে গোলকের অভ্যন্তরে যে কোনো বিন্দুতে নিতে একই পরিমাণ কাজ করতে হয়। এ কারণেই তড়িৎ বিভবের সংজ্ঞানুসারে, কোনো গোলকের অভ্যন্তরে যে কোনো বিন্দুর বিভব পৃষ্ঠের বিভবের সমান।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 10 cm ব্যাসার্ধের একটি গোলকের পরিধিতে 10 C মানের দুটি চার্জ স্থাপন করা হলো। গোলকের কেন্দ্র হতে 8 cm ও 12 cm দূরে তড়িৎ বিভবের মান নির্ণয় কর। [য. বো. ২০১০]

এখানে,

গোলকের ব্যাসার্ধ, R = 10 cm = 0·1 m

মোট চার্জ, $q = 2 \times 10\ C = 20\ C$

গোলকের কেন্দ্র হতে দূরত্ব যথাক্রমে,

$x_1 = 8\ cm = 0{\cdot}08\ m$

এবং $x_2 = 12\ cm = 0{\cdot}12\ m$

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9\ N\text{-}m^2/C^2$

বিভব, $V_1 = ?$ এবং $V_2 = ?$

প্রথম বিন্দুর ক্ষেত্রে,

$x_1 < R$

$\therefore$ প্রথম বিন্দুটি গোলকের ভেতরে অবস্থিত।

সুতরাং এই বিন্দুতে বিভব হবে পৃষ্ঠের বিভবের সমান।

$\therefore$ প্রথম বিন্দুর ক্ষেত্রে বিভব,

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R} = 9 \times 10^9 \times \frac{20}{0{\cdot}1} = 1{\cdot}8 \times 10^{12}\ V$$

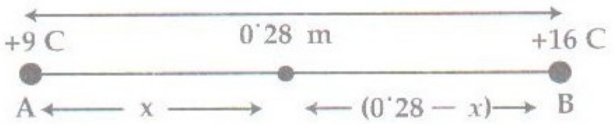
আবার, দ্বিতীয় বিন্দুর ক্ষেত্রে, $x_2 > R$

$\therefore$ দ্বিতীয় বিন্দুতে বিভব,

$V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{x_2}$ সূত্রানুসারে, $= 9 \times 10^9 \times \frac{20}{0{\cdot}12} = 1{\cdot}5 \times 10^{12}\ V$

২। দুটি ক্ষুদ্র গোলক A এবং B-তে যথাক্রমে 9C এবং 16C চার্জ প্রদান করা হলো। যদি বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·28m হয়, তবে তাদের সংযোজক সরলরেখার কোন বিন্দুতে উভয় চার্জের জন্য প্রাবল্যের মান সমান হবে ?

[রা. বো. ২০১১; সি. বো. ২০১১]



মনে করি A হতে x m দূরে উভয় চার্জের জন্য প্রাবল্য সমান হবে।

আমরা জানি,

প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2}$

+ 9C চার্জের জন্য প্রাবল্য, $E = 9 \times 10^9 \times \frac{9}{x^2}$

আবার, + 16C চার্জের জন্য প্রাবল্য, $E = \frac{9 \times 10^9 \times 16}{(0·28 - x)^2}$

এখানে,
$q_1 = 9C$
$q_2 = 16\,C$
$r = 0·28\,m$

∴ শর্তানুসারে আমরা পাই,

$$9 \times 10^9 \times \frac{9}{x^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 16}{(0·28 - x)^2}$$

বা, $\frac{9}{x^2} = \frac{16}{(0·28 - x)^2}$

বা, $\left(\frac{0·28 - x}{x}\right)^2 = \frac{16}{9} = \left(\frac{4}{3}\right)^2 \quad \therefore \frac{0·28 - x}{x} = \frac{4}{3}$

বা, $4x = 0·84 - 3x$

বা, $4x + 3x = 0·84$

বা, $7x = 0·84$

∴ $x = \frac{0·84}{7} = 0·12\,m$

অতএব A হতে 0·12 m এবং B বিন্দু হতে (0·28 − 0·12) m = 0·16 m দূরত্বে উভয় চার্জের জন্য প্রাবল্যের মান সমান হবে।

৩। $+20 \times 10^{-9}$ C এবং -10×10^{-9} C চার্জবিশিষ্ট দুটি ক্ষুদ্রাকার গোলকের মধ্যবর্তী দূরত্ব 20 cm। আধান দুটির সংযোগরেখার মধ্যবিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য কত হবে ?

ধরা যাক, A বিন্দুতে $+20 \times 10^{-9}$ C এবং B বিন্দুতে -10×10^{-9} C চার্জ স্থাপিত আছে। AB এর মধ্যবিন্দু P তে লব্ধি প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। এখানে AB = 20 cm = 0·2 m।

∴ প্রত্যেক আধান থেকে P বিন্দুর দূরত্ব, $r = AP = BP = \frac{AB}{2} = 0·1\,m$

এখন A বিন্দুর আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{20 \times 10^{-9}}{(0·1)^2} = 18000\,NC^{-1},\ PB \text{ বরাবার।}$$

আবার, B বিন্দুর আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{-10 \times 10^{-9}}{(0·1)^2} = -9000\,NC^{-1},\ PB \text{ বরাবার।}$$

− ve চিহ্ন আকর্ষণ তথা অন্তর্মুখী দিক বোঝায়।

যেহেতু E_1 এবং E_2 একই দিকে ক্রিয়া করে,

তাই লব্ধি প্রাবল্য, $E = E_1 + E_2 = (18000 + 9000)\,NC^{-1} = 27000\,NC^{-1}$, PB বরাবর।

বিভব পার্থক্য
Potential difference

তড়িৎ ক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ বিভবের ব্যবধানকে বিভব পার্থক্য বা বিভব বৈষম্য বলে।

অথবা, তড়িৎ ক্ষেত্রের এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে একটি একক ধন চার্জকে স্থানান্তর করতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয় তাকে ঐ দুই বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য বলে।

তড়িৎ ক্ষেত্রের একটি বিন্দু হতে অপর একটি বিন্দুতে একক ধন চার্জকে আনতে যে পরিমাণ কাজ করা হয় তাই ঐ দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্যের পরিমাপ। কাজেই দুটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B হলে সমীকরণ (2.20) অনুসারে ঐ দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য ও সম্পাদিত কাজের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

$$V_B - V_A = \Delta V = \frac{W_{AB}}{q_0} = \frac{W}{q_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.23)$$

$$\therefore \quad W = q_0 \Delta V \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.24)$$

বিভব পার্থক্য ΔV এবং অনেক ক্ষেত্রে শুধুমাত্র V দ্বারাও প্রকাশ করা হয়। এর একক **ভোল্ট**। এক বস্তু হতে অপর বস্তুতে চার্জ প্রবাহিত হলে বুঝতে হবে যে, বস্তু দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য বা অসম বিভব রয়েছে। না হলে বস্তু দুটির বিভব সম-বিভব।

ইলেকট্রন ভোল্ট (Electron volt) : পারমাণবিক এবং নিউক্লীয় পদার্থবিদ্যায় কাজ বা শক্তির একক জুল ছাড়াও ইলেকট্রন ভোল্ট একক বহুল ব্যবহৃত হয়। তড়িৎ ক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর বিভব পার্থক্য যদি 1 V হয় এবং একটি মুক্ত ইলেকট্রন এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে গতিশীল হলে যে গতিশক্তি অর্জন করে তাকে 1 ইলেকট্রন ভোল্ট বা সংক্ষেপে 1 eV বলে।

$$\therefore 1\,eV = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,C \times 1V = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,C \times \frac{1J}{1C} = 1{\cdot}6 \times 10^{-19} J \quad \left[\because 1V = \frac{1J}{1C}\right]$$

পৃথিবীর বিভব : কোনো বস্তুর বিভব পরিমাপের সময় পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরে এর সাপেক্ষে ঐ বস্তুর বিভব তুলনা করা হয়। পৃথিবী একটি বিরাট তড়িৎ পরিবাহী বস্তু। কোনো ঋণচার্জে চার্জিত বস্তুকে পরিবাহী দ্বারা পৃথিবীর সঙ্গে যুক্ত করলে বস্তু থেকে ইলেকট্রন পৃথিবী তথা মাটিতে প্রবাহিত হয়ে বস্তুটি চার্জহীন হয়ে পড়ে। আবার ধনচার্জে চার্জিত বস্তুকে পৃথিবীর সাথে সংযুক্ত করলে পৃথিবী হতে ইলেকট্রন বস্তুতে প্রবাহিত হয়ে বস্তুটিকে চার্জহীন করে। প্রতিনিয়ত বিভিন্ন বস্তু হতে পৃথিবী চার্জ গ্রহণ বা বিভিন্ন বস্তুতে চার্জ প্রদান করছে। কিন্তু পৃথিবী একটি বিরাট পরিবাহী বলে এর চার্জের কোনো পরিবর্তন হয় না। ফলে বিভবেরও কোনো পরিবর্তন হয় না। পৃথিবীর বিভব চার্জহীন বস্তুর মতো শূন্য ধরা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি স্থির তড়িৎ ক্ষেত্রের উৎস থেকে দুটি বিন্দু P ও Q যথাক্রমে 1m ও 2m দূরে অবস্থিত। উৎস থেকে x দূরে তড়িৎ ক্ষেত্রটির প্রাবল্য, $E = \frac{5}{x^3}$। P ও Q বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

এখানে,

$E = \frac{5}{x^3}$

P বিন্দুর দূরত্ব, $x_1 = 1$ m

Q বিন্দুর দূরত্ব, $x_2 = 2$ m

$\Delta V = ?$

আমরা জানি,

$$E = -\frac{dV}{dx}$$

$$\therefore \quad \frac{5}{x^3} = -\frac{dV}{dx}$$

বা, $$dV = -\frac{5}{x^3}\,dx$$

$$\therefore \quad V_P - V_Q = \int_2^1 -\frac{5}{x^3}\,dx$$

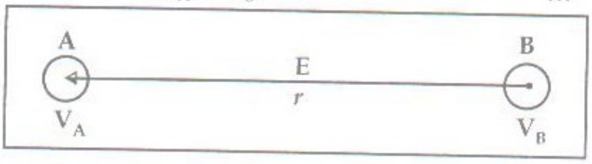
$$= 5\left[\frac{1}{2x^2}\right]_2^1 = \frac{5}{2}\left[\frac{1}{x^2}\right]_2^1$$

$$= \frac{5}{2}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\right) = \frac{5}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{5}{8} \text{ একক}$$

তড়িৎ প্রাবল্য এবং তড়িৎ বিভবের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between electric intensity and electric potential

মনে করি A এবং B তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যস্থিত নিকটবর্তী দুটি বিন্দু [চিত্র ২.১১]। মনে করি A বিন্দুর তড়িৎ বিভব = V_A এবং B বিন্দুর তড়িৎ বিভব = V_B। যদি $V_A > V_B$ হয়, তবে বিভব পার্থক্য

$= V_A - V_B$ ... ... (2.25)



চিত্র ২.১১

এখন A এবং B বিন্দু নিকটবর্তী হওয়ায় বিন্দু দুটিতে প্রাবল্য একই হবে গণ্য করা যায়। ধরি প্রাবল্য = E

∴ একক ধন চার্জকে B হতে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ

= প্রাবল্য × দূরত্ব = $E \times AB$ ... ... (2.26)

কিন্তু একক ধন চার্জকে B হতে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ উক্ত বিন্দু দুটির বিভব পার্থক্যের সমান।

∴ আমরা পাই, $E \times AB = (V_A - V_B)$ বা, $E = \frac{V_A - V_B}{AB}$

যদি A এবং B বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব r হয়, তবে

$$E = \frac{V_A - V_B}{r} = \frac{\text{বিভব পার্থক্য}}{\text{দূরত্ব}} = \frac{V}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.27)$$

ক্যালকুলাসের সাহায্যে একে লেখা যায়, $E = -\frac{dV}{dr}$।

এখানে ঋণ চিহ্ন নির্দেশ করে যে, বিভব বৃদ্ধির জন্য একটি ধনাত্মক চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সরণ ঘটাতে হবে।

উপরোক্ত সমীকরণ হতে বলা যায় যে, **বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য ঐ বিন্দুতে দূরত্ব সাপেক্ষে বিভবের পরিবর্তনের হারের সমান।**

উল্লেখ্য : $\frac{dV}{dr}$-কে বিভবের নতিমাত্রা (Potential gradient) বলে।

সমীকরণ (2.27) অনুসারে E এর এস. আই. একক ভোল্ট/মিটার (V/m)।

অতএব তড়িৎ প্রাবল্য E-এর দুটি একক রয়েছে। যথা—নিউটন/কুলম্ব (N/C) এবং ভোল্ট/মিটার (V/m)।

গানিতিক উদাহরণ

১। একটি বিন্দুতে তড়িৎ বিভব, $V = -5x + 3y + \sqrt{15}\, z$ হলে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য কত ?

আমরা জানি,

$$\vec{E} = E_x\hat{i} + E_y\hat{j} + E_z\hat{k}$$
$$= -\hat{i}\frac{dV}{dk} - \hat{j}\frac{dV}{dy} - \hat{k}\frac{dV}{dz}$$

এখানে,

$V = -5x + 3y + \sqrt{15}\, z$

প্রশ্নানুসারে,

$$E_x = 5,\ E_y = -3,\ E_z = -\sqrt{15}$$

$$\therefore\ E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} = \sqrt{25 + 9 + 15}$$
$$= \sqrt{49} = 7 \text{ একক}$$

২। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে 50 cm ব্যবধানে অবস্থিত দুটি বিন্দুর বিভব পার্থক্য 200V। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর।
[চ. বো. ২০০৯; সি. বো. ২০০৩]

মনে করি, তড়িৎ প্রাবল্য = E

আমরা জানি,

$E = \frac{dV}{dr}$ [ঋণ চিহ্ন পরিহার করে]

$\therefore\ E = \frac{200V}{50 \times 10^{-2}\text{ m}} = 400\text{V m}^{-1}$

এখানে,

বিভব পার্থক্য, $dV = 200V$

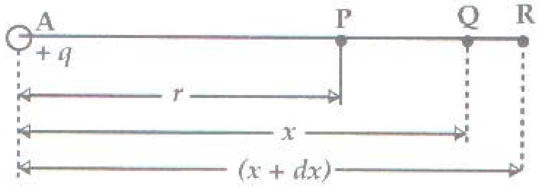
দূরত্ব, $dr = 50\text{ cm} = 50 \times 10^{-2}\text{ m}$

বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ বলের মধ্যে সম্পর্ক

Relation between Electric Potential at a point in the electric field due to a point charge and Electric force

মনে করি A বায়ু মাধ্যমে একটি বিন্দু [চিত্র ২.১২]। উক্ত বিন্দুতে $+q$ পরিমাণ ধনচার্জ রাখা হয়েছে। এ চার্জের দরুন A হতে r দূরত্বে P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে।

AP যোগ করি ও বর্ধিত করি। বর্ধিত রেখার উপর কাছাকাছি দুটি বিন্দু Q ও R নেয়া যাক। মনে করি A হতে Q ও R-এর দূরত্ব যথাক্রমে x ও $(x+dx)$। এখন $+q$ চার্জের দরুন Q বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,



চিত্র ২.১২

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\text{চার্জ}}{\text{দূরত্ব}^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{x^2}$$

কিন্তু Q ও R কাছাকাছি দুটি বিন্দু হেতু dx দূরত্বের সর্বত্র তড়িৎ প্রাবল্য $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{x^2}$ ধরা যায়।

$\therefore$ একক ধন চার্জকে R হতে Q-তে আনতে কাজের পরিমাণ $dW = -$ বল $\times$ সরণ $= -$ প্রাবল্য $\times$ সরণ

বা, $dW = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{x^2}\, dx$ [প্রাবল্য এবং সরণ বিপরীতমুখী হওয়ায় বিয়োগ চিহ্ন হলো।]

সুতরাং একক ধন চার্জকে অসীম দূরত্ব হতে P বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ নির্ণয় করতে হলে উপরোক্ত সমীকরণকে $x = r$ ও $x = \infty$ এ সীমার মধ্যে সমাকলন করতে হবে।

$\therefore$ মোট কাজের পরিমাণ, $W = \int dW = \int_{x=\infty}^{x=r} -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{x^2}\, dx$

বা, $W = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times q \left[\frac{x^{-2+1}}{-2+1}\right]_{\infty}^{r}$

$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times q \left[\frac{1}{x}\right]_{\infty}^{r} \quad \left[\because \frac{1}{\infty} = 0\right]$

$$\therefore \quad W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (2.28)$$

কিন্তু অসীম দূরত্ব হতে একক ধন চার্জকে P বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণই হলো P বিন্দুর বিভব, V

$$V = W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q \times r}{r^2} = F \times r \qquad \ldots \quad \ldots \qquad (2.29)$$

তবে চার্জ যদি বায়ু বা শূন্য মাধ্যম ছাড়া অন্য কোনো মাধ্যমে অবস্থিত হয়,

সেক্ষেত্রে বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{\epsilon_r \times r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \times \frac{qr}{r^2} = \frac{F \times r}{\epsilon_r} \qquad \ldots \qquad (2.30)$

(2.29) এবং (2.30) সমীকরণ হলো তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ বলের মধ্যে সম্পর্ক।

এখানে ϵ_r-কে মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলে।

একাধিক চার্জের জন্য সৃষ্ট মোট বিভব : যদি শূন্য মাধ্যমে A হতে $r_1, r_2, r_3 \ldots \ldots \ldots r_n$ দূরত্বে যথাক্রমে $q_1, q_2, q_3 \ldots \ldots \ldots q_n$ চার্জ থাকে তবে সেগুলোর জন্য A বিন্দুতে মোট বিভব হবে চার্জগুলোর জন্য A বিন্দুতে সৃষ্ট পৃথক পৃথক বিভবের সমষ্টির সমান।

$\therefore$ মোট বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \ldots \ldots \ldots + \frac{q_n}{r_n}\right)$

বা, $V = 9 \times 10^9 \sum \frac{q}{r} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (2.31)$

[শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে]

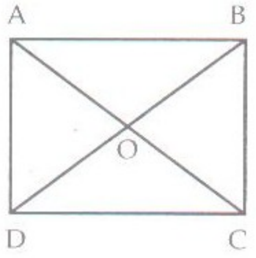
এবং $V = 9 \times 10^9 \sum \frac{q}{\epsilon_r r} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (2.32)$

[শূন্য বা বায়ু মাধ্যম ছাড়া অন্য মাধ্যমে]

গাণিতিক উদাহরণ

১। 2m বাহুবিশিষ্ট একটি বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি কোণায় 2×10^{-9}C চার্জ স্থাপন করা হলো। বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভব নির্ণয় কর।

মনে করি ABCD একটি বর্গক্ষেত্র। এর কর্ণদ্বয় O বিন্দুতে ছেদ করেছে। বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্র O বিন্দুতে বিভব



চিত্র ২.১৩

V = A বিন্দুর বিভব + B বিন্দুর বিভব + C বিন্দুর বিভব + D বিন্দুর বিভব

$$= 9 \times 10^9 \left[\frac{2 \times 10^{-9}}{AO} + \frac{2 \times 10^{-9}}{BO} + \frac{2 \times 10^{-9}}{CO} + \frac{2 \times 10^{-9}}{DO}\right]$$

$$= \frac{9 \times 10^9}{\sqrt{2}} \times 2 \times 10^{-9} = 50.91 \text{ volt}$$

এখানে $AC^2 = AD^2 + DC^2 = 2^2 + 2^2 = 4 + 4 = 8$

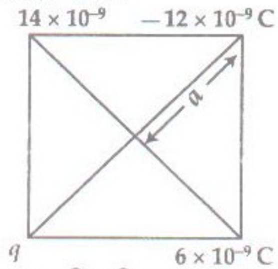
$\therefore \quad AC = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}$

$\therefore \quad AO = BO = CO = DO = AC = \sqrt{2}$

২। কোনো বর্গক্ষেত্রের তিনটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে $+6 \times 10^{-9}$C, -12×10^{-9}C এবং 14×10^{-9}C আধান স্থাপন করা হলো। চতুর্থ কৌণিক বিন্দুতে কত আধান স্থাপন করলে বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে তড়িৎ বিভব শূন্য হবে? [রা. বো. ২০০৮; ঢা. বো. ২০০২]

ধরি, বর্গক্ষেত্রটির (চিত্র অনুযায়ী) কৌণিক বিন্দুগুলো থেকে কেন্দ্রের দূরত্ব a এবং চতুর্থ বিন্দুর চার্জ q।

আমরা জানি, বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভব = কেন্দ্র হতে চার কৌণিক বিন্দুতে বিভবের সমষ্টি



অর্থাৎ $V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0$

$$\therefore \quad 0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{6 \times 10^{-9}}{a} - \frac{12 \times 10^{-9}}{a} + \frac{14 \times 10^{-9}}{a} + \frac{q}{a}\right)$$

বা, $6 \times 10^{-9} - 12 \times 10^{-9} + 14 \times 10^{-9} + q = 0$

বা, $8 \times 10^{-12} + q = 0$

$\therefore \quad q = -8 \times 10^{-12}$ C

৩। বায়ুতে অবস্থিত একটি বিন্দু আধানের জন্য একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য এবং তড়িৎ বিভবের মান যথাক্রমে $20NC^{-1}$ এবং $10 \; J C^{-1}$। বিন্দু আধানটির মান কত ?

আমরা জানি,

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

এবং
$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

এখানে বিভব, $V = 10 \; JC^{-1}$ এবং তড়িৎ প্রাবল্য, $E = 20 \; NC^{-1}$

সমীকরণ (1) ও (2)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$10 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

এবং
$$20 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

সমীকরণ (3)-কে বর্গ করে পাই,

$$100 = \frac{q^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

সমীকরণ (5)-কে সমীকরণ (4) দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$5 = \frac{\dfrac{q^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 r^2}}{\dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \quad \therefore \; q = 5 \times 4\pi\epsilon_0 = \frac{5}{9 \times 10^9} = 5.56 \times 10^{-10} \text{ C}$$

২·৩ সমবিভব তল
Equipotential surface

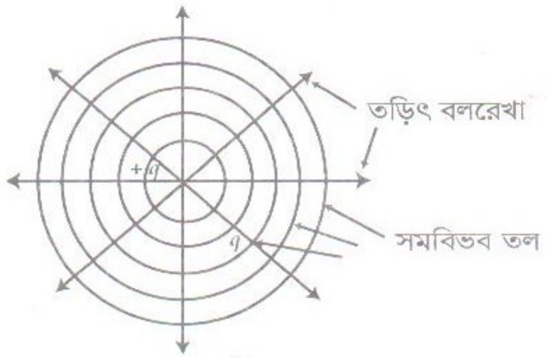
আমরা জেনেছি যে ভূ-পৃষ্ঠের সর্বত্র বিভব সমান (শূন্য) কারণ ভূ-পৃষ্ঠ একটি তড়িৎ পরিবাহী। তড়িৎ পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভব-পার্থক্য থাকা সম্ভব নয় কারণ বিভেদ পার্থক্যের নতিমাত্রা (Gradient) থাকলে পৃষ্ঠে একটি তড়িৎ ক্ষেত্র কাজ করবে এবং পৃষ্ঠের ইলেকট্রনগুলি ঐ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে নিজেদের এরূপভাবে পুনর্বণ্টন করবে যাতে তড়িৎ ক্ষেত্র লোপ পায়। পরিবাহীর মোট আধান ধনাত্মক কি ঋণাত্মক হোক কিংবা পরিবাহী তড়িৎবিহীন হোক অথবা কোনো বস্তুর সাপেক্ষে পরিবাহীর প্রকৃত বিভব যাই হোক না কেন, সর্বক্ষেত্রে পৃষ্ঠের বিভব সর্বত্র সমান হবে।

তাই বলা যায় **কোনো তল বা আয়তন যদি এরূপ হয় যে, তার বিভব সর্বত্র সমান, তবে ঐ তল বা আয়তনকে সমবিভব তল বা আয়তন বলে।**

ব্যাখ্যা : একটি বিন্দু চার্জ $+q$ হতে r দূরত্বের যে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \qquad \text{[সমীকরণ (2.28) অনুসারে]}$$

এখন q ও ϵ_0 ধ্রুব বলে বিন্দু চার্জ হতে যে কোনো দিকে r দূরত্বে বিভব একই হবে। ত্রিমাত্রিক স্থানে r দূরত্বের তল হবে গোলকীয় তল। এই তলের সকল বিন্দুতে বিভব একই হবে; সুতরাং এটি সমবিভব তল। 'r'-এর বিভিন্ন মানের জন্য আমরা অসংখ্য সমবিভব তল অঙ্কন করতে পারি। চিত্র ২·১৪-এ দ্বিমাত্রিক স্থানে বৃত্ত এঁকে বিভিন্ন সমবিভব তল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ২·১৪

ঐ বিন্দু চার্জ হতে সমবিভব তলের দূরত্ব যত বেশি হবে বিভবের মান তত কম হবে।

যেহেতু একটি সমবিভব তলের সকল বিন্দুতে বিভব সমান, ফলে ঐ তলের যে কোনো দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য শূন্য। আবার, বিভব পার্থক্য শূন্য হলে কাজও শূন্য হবে। সুতরাং কোনো চার্জকে **সম বিভব তলের এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে নিতে কোনো কাজ করতে হয় না।**

সমবিভব তলের যে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তড়িৎ প্রাবল্য ঐ তলের সাথে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

ক্রিয়াকর্ম : একটি সমবিভব তলের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক চার্জ সরালে কৃত কাজ কত হবে—ব্যাখ্যা কর।

সমবিভব তলের যে কোনো দুটি বিন্দুর বিভব সমান। সুতরাং ঐ বিন্দু দুটির বিভব পার্থক্য শূন্য। বিভব পার্থক্যের সংজ্ঞানুযায়ী এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে একটি একক ধন চার্জকে সরালে কৃত কাজ উক্ত বিন্দুদ্বয়ের বিভব পার্থক্যের সমান। সুতরাং একটি সমবিভব তলের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক চার্জ সরালে বিভব পার্থক্য শূন্য হওয়ায় কৃত কাজের পরিমাণ শূন্য হবে।

সমবিভব তলের বৈশিষ্ট্য :

(i) তড়িতাহিত পরিবাহীর তল সর্বদা সমবিভব তল। এই তলের উপর তড়িৎ আধানগুলি স্থির থাকে।

(ii) তড়িৎ বলরেখা সমবিভব তলকে সমকোণে ছেদ করে।

(iii) সমবিভব তলের উপর কোনো তড়িতাধানকে এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে স্থানান্তরিত করতে কোনো কাজ হয় না।

(iv) কোনো বস্তুর তল বা আয়তন সমবিভব সম্পন্ন হতে পারে; আবার শূন্য দেশস্থ (in space) কোনো তল বা আয়তনও সমবিভবসম্পন্ন হতে পারে।

২·৪ তড়িৎ দ্বিমেরু
Electric dipole

ধারণা
Concept

দুটি সমশক্তির চৌম্বক মেরু খুব কাছাকাছি স্থাপন করলে চৌম্বক দ্বিমেরু গঠিত হয়। তেমনি সমপরিমাণের দুটি বিপরীতধর্মী তড়িৎ চার্জ খুব কাছাকাছি স্থাপন করা হলে তড়িৎ দ্বিমেরু গঠিত হয়। তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব দ্বি-খণ্ডক রেখার যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য হওয়ায় এই রেখা বরাবর ধনাত্মক চার্জকে সরাতে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ শূন্য হয়। **দুইটি সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীতধর্মী বিন্দু চার্জ পরস্পরের খুব কাছাকাছি থাকলে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠিত হয়।**

উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ধন প্রোটন এবং একটি ঋণ ইলেকট্রন আছে। অতএব ইহা একটি তড়িৎ দ্বিমেরু।

কোনো একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর যেকোনো একটির আধানের পরিমাণ এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফলকে দ্বিমেরু ভ্রামক বলে। মনে করি একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর যেকোনো একটির আধানের পরিমাণ $= q$ এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব $= 2l$.

$\therefore$ দ্বিমেরু ভ্রামক $p = q \times 2l$।

দ্বিমেরু ভ্রামকের ভেক্টর রূপ হলো $\vec{p} = 2q\vec{l}$ । এর অভিমুখ ঋণ চার্জ হতে ধন চার্জের দিকে।

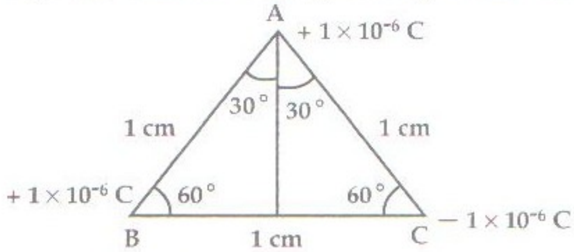
এখন আমরা একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য বিভব এবং প্রাবল্য নির্ণয় করব।

> **সম্প্রসারিত ক্রিয়াকর্ম :** তড়িৎ দ্বিমেরুর তড়িৎ ক্ষেত্রে লম্ব-দ্বিখণ্ডক রেখা বরাবর কোনো ধনাত্মক চার্জকে সরালে কোনো কাজ সম্পাদন করতে হয় না কেন ?

তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব-দ্বিখণ্ডক রেখার যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য হওয়ায় এই রেখা বরাবর ধনাত্মক চার্জকে সরাতে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ শূন্য হয় অর্থাৎ কোনো কাজ করতে হয় না।

গাণিতিক উদাহরণ

১। নিচের চিত্রে একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিনটি শীর্ষ বিন্দুতে 1μC, —1μC ও 1μC আধান রয়েছে। প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য 1 cm হলে এদের তুল্য দ্বিমেরু ভ্রামকের মান বের কর।



সংস্থাটি দুটি দ্বিমেরু দ্বারা পরস্পরের সাথে 60° কোণে আনত।

ধরা যাক, একটি দ্বিমেরু

$$AC = p_1 = q_1 \times 2l$$
$$= 1 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-2}$$
$$= 1 \times 10^{-8}\ \text{C m}$$

এখানে,
$q_1 = 1\ \mu C = 1 \times 10^{-6}$ C
$q_2 = -1\ \mu C = 1 \times 10^{-6}$ C
$q_3 = 1\ \mu C = 1 \times 10^{-6}$ C
$2l = 1$ cm $= 1 \times 10^{-2}$ m

এবং অন্যটি $BC = p_2 = q_2 \times 2l$
$$= 1 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-2}$$
$$= 1 \times 10^{-8}\ \text{C m}$$

$\therefore$ লব্ধি দ্বিমেরু ভ্রামক, $p = p_1 \cos 30° + p_2 \cos 30°$
$$= (p_1 + p_2) \cos 30° = (1 \times 10^{-8} + 1 \times 10^{-8}) \times 0.866$$
$$= 2 \times 10^{-8} \times 0.866 = 1.73 \times 10^{-8}\ \text{C m}$$

তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ বিভব
Electric Potential due to Electric Dipole

[illegible] $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু সৃষ্টি করেছে [চিত্র ২.১৫]। ধরি A ও B-এর মধ্যবিন্দু O। এখন O হতে r দূরত্বে P একটি বিন্দু লই। P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে। ধরি $OP = r$, $\angle POA = \theta$. PO এবং PO-এর বর্ধিত অংশের উপর যথাক্রমে AN′ ও BN লম্ব।

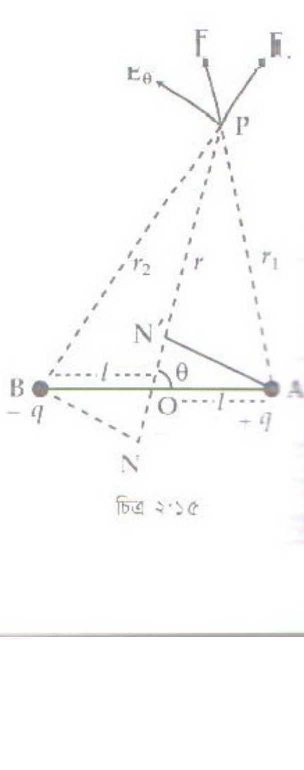
$\therefore$ P বিন্দুতে বিভব,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q}{AP} + \left(-\frac{q}{BP}\right)\right\}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{AP} - \frac{q}{BP}\right) \quad \dots \quad \dots \quad (2.33)$$

কিন্তু $PN = BP = r + l\cos\theta = r_2$ এবং

$PN' = AP = r - l\cos\theta = r_1$



চিত্র ২.১৫

$\therefore$ সমীকরণ (2.33) হতে পাই,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2}\right\}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q}{r - l\cos\theta} - \frac{q}{r + l\cos\theta}\right\} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q(r + l\cos\theta) - q(r - l\cos\theta)}{r^2 - l^2\cos^2\theta}\right\}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q(r + l\cos\theta - r + l\cos\theta)}{r^2 - l^2\cos^2\theta}\right\} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q \times 2l\cos\theta}{r^2 - l^2\cos^2\theta}\right\}$$

$r \gg l$ হওয়ায় $l^2\cos^2\theta$-কে উপেক্ষা করা যায়।

$\therefore$ P বিন্দুতে বিভব,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q \times 2l\cos\theta}{r^2}$$

বা, $$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{p\cos\theta}{r^2}$$

এখানে $q \times 2l = p$ = দ্বিমেরু ভ্রামক,

অর্থাৎ P বিন্দুতে বিভব,

$$\boxed{V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{p\cos\theta}{r^2}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.34)$$

এটাই হলো তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য বিভবের রাশিমালা।

দ্রষ্টব্য : (i) যদি $\theta = 0^\circ$ হয়, অর্থাৎ P বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর স্থাপিত হয়, তবে

$$\boxed{V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{p}{r^2}}$$

(ii) যদি $\theta = 90^\circ$ হয়, অর্থাৎ P বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের উপর অভিলম্ব হয়, তবে

$$\boxed{V_P = 0}$$

(iii) অন্য কোনো মাধ্যমে,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 K} \times \frac{p\cos\theta}{r^2}$$

নিজে কর : তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষস্থিত কোনো বিন্দুতে এবং অক্ষের দ্বিখণ্ডকের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব এবং প্রাবল্য কত হবে ?

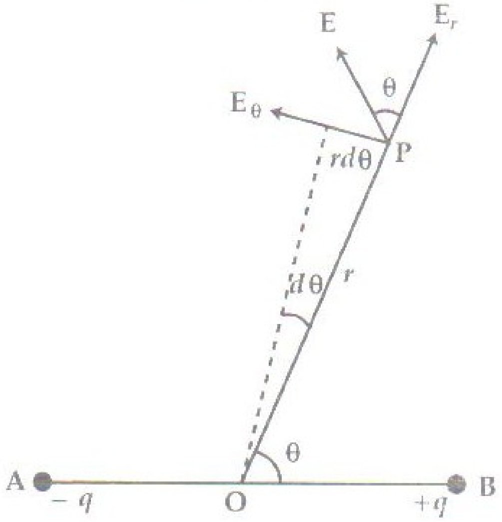
তড়িৎ দ্বিমেরুর কেন্দ্র থেকে x দূরত্বে দ্বিমেরু অক্ষে অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব $V_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{M}{x^2}$ এবং তড়িৎ প্রাবল্য $E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2M}{x^3}$, দ্বিমেরুর অক্ষের লম্ব দ্বিখণ্ডের উপর কেন্দ্র থেকে x দূরত্বে কোনো বিন্দুতে $V_p = 0$ এবং $E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2M}{x^3}$, যখন দ্বি মেরুর ভ্রামক $M = q \times 2l$.

তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য
Electric field intensity due to electric dipole

প্রাবল্য (Intensity) : আমরা জানি, দূরত্ব সাপেক্ষে বিভব পরিবর্তনের হারকে প্রাবল্য বলে এবং প্রাবল্য,

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

এখন OP বরাবর বৈদ্যুতিক প্রাবল্যের উপাংশের নাম ব্যাসার্ধমুখী উপাংশ (radial component)। একে E_r দ্বারা সূচিত করা হয় [চিত্র ২.১৬]।



চিত্র ২.১৬

$$\therefore\ E_r = -\frac{d}{dr}\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{d}{dr}\left(\frac{p\cos\theta}{r^2}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3}$$

($\because$ তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ বিভব $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p}{r^2}$)

পুনঃ OP-এর অভিলম্ব বরাবর বৈদ্যুতিক প্রাবল্যের উপাংশের নাম তির্যক উপাংশ (tangential component)। একে E_θ দ্বারা সূচিত করা হয়। পুনঃ অভিলম্ব বরাবর দূরত্ব $r\,d\theta$।

$$\therefore\ E_\theta = -\frac{dV}{rd\theta} = -\frac{1}{r}\cdot\frac{d}{d\theta}\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3}$$

মনে করি P বিন্দুতে তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য প্রাবল্য = E। তা হলে E হবে E_r ও E_θ এর লব্ধি।

$$\therefore\ E = \sqrt{E_r^2 + E_\theta^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3}\right)^2 + \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3}\right)^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{p}{r^3}\sqrt{(4\cos^2\theta + \sin^2\theta)}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p}{r^3}\sqrt{(1 + 3\cos^2\theta)}$$

এবং E-এর অভিমুখ অর্থাৎ E_r এর সাথে E-এর কৌণিক ব্যবধান φ হলে

$$\tan\varphi = \frac{E_\theta}{E_r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3} \Big/ \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3} = \frac{\sin\theta}{2\cos\theta} = \frac{1}{2}\tan\theta$$

বিশেষ ক্ষেত্র (Special case) :

(ক) বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর অক্ষের উপর অবস্থিত হয় তবে $\theta = 0°$ হবে। সেক্ষেত্রে

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{2p}{r^3}$$

(খ) বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর লম্ব সমদ্বিখণ্ডের উপর অবস্থিত হয় তবে $\theta = 90°$ হবে। সেক্ষেত্রে

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p}{r^3}$$

গাণিতিক উদাহরণ

১। শূন্য স্থানে $+4\mu C$ এবং $-4\mu C$ বিন্দু আধান দুটি 10^{-3} m ব্যবধানে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। এর দ্বিমেরু ভ্রামক এবং দ্বিমেরুর কেন্দ্র হতে 10 cm দূরে এর অক্ষের ওপর তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

(i) আমরা জানি, তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$$p = q \times 2l$$

$$\therefore\ p = 4\times10^{-6}\times10^{-3}$$

$$= 4\times10^{-9}\ \text{cm}$$

এখানে,

$+q = 4\mu C = 4\times10^{-6}$ C

$-q = -4\mu C = -4\times10^{-6}$ C

$2l = 10^{-3}$ m

$r = 10$ cm

(ii) আবার, তড়িৎ প্রাবল্য

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2p}{r^3}$$
$$= \frac{9\times10^9\times2\times4\times10^{-9}}{(0.1)^3}$$
$$= 72\times10^3\ NC^{-1}$$

এখানে,

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9\times10^9\ Nm^2C^{-2}$$

২। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 1×10^{-4} কুলম্ব মানের দুইটি বিপরীত চার্জ দ্বারা গঠিত এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 সেমি। দ্বিমেরুটি $1\times10^5\ NC^{-1}$ তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপিত। দ্বিমেরুটিকে ঘুরিয়ে বিপরীত অভিমুখে স্থাপন করতে কী পরিমাণ কাজ করতে হবে ?

দ্বিমেরুটিকে ঘুরিয়ে বিপরীত অভিমুখে স্থাপন করার অর্থ $\theta = 180°$

এখানে $\theta_0 = 0°$

আমরা জানি কাজের পরিমাণ,

$$W = -PE(\cos\theta - \cos\theta_0) = PE\{\cos(180°) - \cos(0°)\}$$
$$= -PE(-1) + PE$$
$$= PE + PE = 2PE$$

$$\therefore\ W = 2PE = 2\times2ql\times E \quad [\because P = 2ql]$$
$$= 2\times1\times10^{-4}\times2\times10^{-2}\times1\times10^5 \quad [\because 2l = 2\ cm = 2\times10^{-2}\ m]$$
$$= 0{\cdot}4\ J$$

৩। শূন্য স্থানে রাখা একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 2 cm ব্যবধানে থাকা 2 μC মানের দুটি সমান ও বিপরীতমুখী তড়িৎ আধান দ্বারা গঠিত। (i) (ক) দ্বিমেরুর অক্ষের উপর এর কেন্দ্র থেকে 50 cm দূরে একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর; (খ) দ্বিমেরুর লম্ব দ্বিখণ্ডকের উপর কেন্দ্র থেকে 50 cm দূরে একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর এবং (ii) তড়িৎ দ্বিমেরুটিকে $2\times10^6\ NC^{-1}$ প্রাবল্যের তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এর উপর কত বল ক্রিয়া করবে ?

(i) আমরা জানি,

তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$$p = q\times2l = 2\times10^{-6}\times2\times10^{-2}$$
$$= 4\times10^{-8}\ C\ m$$

(ক) এখন, দ্বিমেরুর অক্ষের উপর তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{2p}{r^3}$$
$$\therefore\ E_1 = \frac{9\times10^9\times2\times4\times10^{-8}}{(0{\cdot}5)^3}$$
$$= 5{\cdot}76\times10^3\ NC^{-1}$$

এখানে,

$$q = 2\ \mu C = 2\times10^{-6}\ C$$
$$2l = 2\ cm = 2\times10^{-2}\ m$$
$$r = 50\ cm = 0{\cdot}5\ m$$
$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9\ Nm^2C^{-2}$$

(খ) আবার, লম্ব দ্বিখণ্ডকের উপর তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{p}{r^3}$$
$$\therefore\ E_2 = \frac{9\times10^9\times4\times10^{-8}}{(0{\cdot}5)^3} = 2{\cdot}88\times10^3\ NC^{-1}$$

(ii) তড়িৎ দ্বিমেরুর উপর ক্রিয়াশীল বল

$$F = qE$$
$$\therefore\ F = 2\times10^{-6}\times2\times10^6$$
$$= 4\ N,$$ তড়িৎ ক্ষেত্র বরাবর।

এখানে,

$$E = 2\times10^{-6}\ NC^{-1}$$

৪। + 1μC এবং − 1μC আধান দুটিকে 5 cm ব্যবধানে রেখে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করা হলো। এই দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর 15 cm দূরের কোনো একটি বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$$p = q \times 2l$$

$$\therefore \; p = 1 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-2} = 5 \times 10^{-8}\,\text{C m}$$

আবার, দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর কোনো স্থানে তড়িৎ বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{p}{r^2}$$

$$\therefore \; V = \frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-8}}{(15 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^{-5}\,\text{volt}$$

এখানে,

$q_1 = q_2 = +1\mu\text{C} = 1 \times 10^{-6}\,\text{C}$

$2l = 5\,\text{cm} = 0{\cdot}05\,\text{m} = 5 \times 10^{-2}\,\text{m}$

$r = 15\,\text{cm} = 15 \times 10^{-2}\,\text{cm}$

$V = ?$

২·৫ চার্জের কোয়ান্টায়ন এবং সংরক্ষণশীলতা
Quantization and Conservation of charge

চার্জের কোয়ান্টায়ন
Quantization of charge

একটি ইলেকট্রন বা প্রোটনের চার্জই হলো প্রকৃতিতে ন্যূনতম মানের চার্জ। একটি ইলেকট্রনের চার্জকে $(-e)$ এবং একটি প্রোটনের চার্জকে $(+e)$ দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। এর মান $e = 1{\cdot}60218 \times 10^{-19}$ C। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে, প্রকৃতিতে কোনো বস্তুর সর্বমোট চার্জ একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম মানের পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক। ইলেকট্রনের চার্জই হলো এই নির্দিষ্ট ন্যূনতম মান। সকল চার্জিত বস্তুর মধ্যে বিদ্যমান চার্জই এ ক্ষুদ্রতম চার্জের গুণিতক মাত্র; অর্থাৎ ইলেকট্রনের চার্জের গুণিতক হবে। একে চার্জের কোয়ান্টায়ন বলে। কোনো বস্তুতে যে কোনো মানের চার্জ থাকতে পারে না। ইলেকট্রনের চার্জ e হলে কোনো বস্তুর মোট চার্জ $q = ne$। এখানে n হলো ধনাত্মক বা ঋণাত্মক পূর্ণসংখ্যা। উদাহরণস্বরূপ 1 কুলম্ব চার্জে $6{\cdot}24 \times 10^{18}$ সংখ্যক ইলেকট্রনের চার্জের সমান চার্জ রয়েছে। প্রকৃতিতে e মানের ভগ্নাংশে কোনো চার্জের অস্তিত্ব নেই। যেমন, $2{\cdot}5e, -3{\cdot}7e$ ইত্যাদি পরিমাণ চার্জ পাওয়া সম্ভব নয়।

চার্জের সংরক্ষণশীলতা
Conservation of charge

একটি কাচদণ্ডকে রেশমি কাপড় দ্বারা ঘর্ষণ করলে কাচ দণ্ড ধনাত্মক চার্জে আহিত হয় এবং রেশমি কাপড় ঋণাত্মক চার্জে আহিত হয়। এটা মনে করা স্বাভাবিক যে কাচ দণ্ডে এবং রেশমি কাপড়ে যথাক্রমে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জ সৃষ্টি হয়েছে। আসলে তা নয়। কাচদণ্ড ও রেশমি কাপড়ের সম্মিলিত বা মোট চার্জ একই রয়েছে। শুধুমাত্র কাচদণ্ড থেকে ইলেকট্রন রেশমি কাপড়ে ঘর্ষণের ফলে স্থানান্তরিত হয়েছে; যার ফলে কাচ দণ্ডে ধনাত্মক চার্জ বেশি হওয়ায় ধনাত্মক এবং রেশমি কাপড়ে ইলেকট্রনের আধিক্য হওয়ায় ঋণাত্মক হয়েছে। অর্থাৎ ঘর্ষণের ফলে কোনো নতুন আধানের সৃষ্টি হয় না বরং এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে আধানের স্থানান্তর ঘটে। এই আলোচনা থেকে স্পষ্ট বোঝা যায় যে, তড়িৎ আধান সৃষ্টি বা উৎপন্ন হয়—এটা বলা প্রকৃতপক্ষে সঠিক নয়। তড়িতাহিতকরণের সময় তড়িতাধান উৎপন্ন হয় না; কেবলমাত্র কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন এক পদার্থ হতে অন্য পদার্থে স্থানান্তরিত হয়। সুতরাং একটি বস্তুকে কোনো আধানে আহিত করলে অন্যত্র অবশ্যই সমপরিমাণ বিপরীত আধানের উদ্ভব হয়। প্রোটন ও ইলেকট্রন আবিষ্কারের বহু পূর্বেই এ তথ্য জানা ছিল যে, বিশ্বের মোট চার্জের পরিমাণ সর্বদা একই থাকে। একটি ধনাত্মক বা ঋণাত্মক চার্জের সৃষ্টি বা ধ্বংস কখনই সম্ভব নয়। **কোনো ভৌত প্রক্রিয়ায় চার্জ এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে স্থানান্তরিত হতে পারে। নতুন চার্জ যেমন সৃষ্টি হয় না তেমনি কোনো চার্জ ধ্বংসও হয় না। একেই চার্জের নিত্যতা বা সংরক্ষণশীলতা বলে।**

২·৬ অপরিবাহী ও ডাইইলেকট্রিক
Insulator and Dielectric

অপরিবাহী
Insulator

যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলতে পারে না, তাদেরকে অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থ বলে। অর্থাৎ অপরিবাহী পদার্থের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রন চলাচল করতে পারে না। প্লাস্টিক, রাবার, কাঠ, কাচ ইত্যাদি হলো অপরিবাহী পদার্থ। এই সকল পদার্থের আপেক্ষিক রোধ অনেক বেশি— প্রায় $10^{12}\,\Omega\text{-m}$ ক্রমের। অপরিবাহী পদার্থের মধ্যে মুক্ত

ইলেকট্রন থাকে না। ফলে অপরিবাহী পদার্থের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না। বৈদ্যুতিক নানা যন্ত্রপাতির হাতল রাবার ও প্লাস্টিকের তৈরি হওয়ায় বৈদ্যুতিক মিস্ত্রিগণ নির্বিঘ্নে এই সকল যন্ত্রপাতি দিয়ে বৈদ্যুতিক লাইনে কাজ করতে পারে। এছাড়া বৈদ্যুতিক তারের উপর অন্তরক পদার্থ থাকায় নিরাপদে বাসা-বাড়িতে ও বিভিন্ন স্থানে ব্যবহার করা যায়। অপরিবাহী পদার্থে যোজন ব্যান্ড থেকে ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে নিতে যথেষ্ট পরিমাণ শক্তির দরকার হয়। কারণ এই দুই ব্যান্ডের মধ্যে শক্তি ফাঁকা 10 eV এর বেশি। ব্যান্ড তত্ত্ব সম্পর্কে ইলেকট্রনিক্স অধ্যায়ে আমরা এ বিষয়ে বিস্তারিত জানব।

ডাইইলেকট্রিক অথবা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক ও
Dielectric

দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যবর্তী স্থান শূন্য বা বায়ু মাধ্যম ভিন্ন অন্য কোনো অপরিবাহী বা অন্তরক মাধ্যম হলে বিন্দু চার্জ দুটিকে পরস্পর হতে বিচ্ছিন্ন রাখে। এরূপ মাধ্যমকে **তড়িৎ বিভাজক বা ডাইইলেকট্রিক মাধ্যম** বলে।

ডাই-ইলেকট্রিক বা পরাবৈদ্যুতিক পদার্থের উদাহরণ হলো— কাঁচ, এবোনাইট, রাবার, তৈল, মোম ইত্যাদি। পরিবাহীর সঙ্গে পরাবিদ্যুৎ-এর মূল পার্থক্য হলো পরিবাহীর মতো পরাবিদ্যুৎ-এর মধ্যে সচল মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না। পরাবিদ্যুৎকে কিছু অতিরিক্ত আধান দিলে উক্ত আধান পরাবিদ্যুৎ-এর যে অঞ্চলে দেওয়া হয় সেখানেই জমা হয়ে থাকে। প্রশ্ন হলো— পরাবৈদ্যুতিক পদার্থ বহিস্থ তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে থাকলে এর মধ্যে লব্ধি ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান কি হবে? সাধারণভাবে পরাবিদ্যুৎ-এর মধ্যে যে কোনো বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য বহিস্থ প্রাবল্যের চেয়ে কম হয়; পরিবাহীর মতো পরাবিদ্যুৎ-এর মধ্যে প্রাবল্য শূন্য হয় না।

অন্তরক পদার্থ	পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক	অন্তরক পদার্থ	পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক
বায়ু	1.00059	NaCl	6.12
হাইড্রোজেন	1.000264	কাচ	7–10/5
মোম	2.1 – 2.5	গ্লিসারিন	55
পলিথিন	2.3	পানি	78/80
ইবোনাইট	2.69-3.4	বরফ	3
শূন্যস্থান	1		

পূর্বের অনুচ্ছেদে, বিন্দু চার্জ দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যম শূন্যস্থান বা বায়ু হলে এদের মধ্যে ক্রিয়াশীল

$$\boxed{F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots$$

এখানে ϵ_0 = শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা

আবার, অন্য যে কোনো মাধ্যমে এ ক্রিয়াশীল বলের মান

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots$$

এখানে ϵ = মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা

সমীকরণ 2.34(i)-কে সমীকরণ 2.34(ii) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$$\frac{F_0}{F} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = k = \text{পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক}$$

$$\therefore \quad k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{F_0}{F} = \text{একই দূরত্বে } \frac{\text{শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে বল}}{\text{অন্য মাধ্যমে বল}} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad .$$

***k*-কে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক বা তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বলে।** অনেক ক্ষেত্রে **আপেক্ষিক ভেদ্যতা** বলা হয়। উপরের আলোচনা থেকে *k*-এর নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

অর্থাৎ **দুটি নির্দিষ্ট বিন্দু চার্জ একই নির্দিষ্ট দূরত্বে থাকলে শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয় একই দূরত্বে অন্য কোনো মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের অনুপাতকে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলে।** দুটি রাশির অনুপাত হেতু *k*-এর কোনো একক নেই।

বিকল্প সংজ্ঞা : পাত ধারকের ধারকত্বের অনুপাত দ্বারা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক সংজ্ঞায়িত করা যায়।

ধরা যাক, একটি সমান্তরাল পাত ধারকের মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু বা শূন্য মাধ্যম রেখে ধারকত্ব পাওয়া গেল C_0 এবং পাত দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব অপরিবর্তিত রেখে পাতদ্বয়ের মাঝে অন্য কোনো অন্তরক মাধ্যম রেখে ধারকত্ব পাওয়া গেল C। এই দুই ধারকত্বের অনুপাতকে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক ভেদ্যতা বলে।

অর্থাৎ,

$$k = \frac{C}{C_0} = \frac{\text{অন্তরক পদার্থপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব}}{\text{বায়ু বা শূন্য মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব}} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \quad (2.36)$$

উল্লেখ্য, **পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান সর্বদাই 1-এর চেয়ে বেশি হয়।**

পরাবৈদ্যুতিক বা ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবকের তাৎপর্য : পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক পরিমাপের এককের উপর নির্ভর করে না। দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো মাধ্যমের অন্তর্ভুক্তি ক্রিয়াশীল বলের মান k গুণ হ্রাস করে। পক্ষান্তরে ধারকের মধ্যে এর অন্তর্ভুক্তির ফলে ধারকত্বের মান k গুণ বৃদ্ধি করে।

"কোনো মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 2·5"—এর অর্থ এই যে, শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে অবস্থিত দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যকার বল এবং একই দূরত্বে ঐ মাধ্যমে অবস্থিত ঐ বিন্দু চার্জ দুটির মধ্যকার পারস্পরিক বল অপেক্ষা 2·5 গুণ বেশি। অর্থাৎ শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে এবং ঐ মাধ্যমে সমদূরত্বে অবস্থিত দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যকার পারস্পরিক বলের অনুপাত 2·5।

আবার, ধারকত্বের সাহায্যে বলা যায় যে ঐ মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব বায়ু বা শূন্য মাধ্যমপূর্ণ ধারকের চেয়ে 2·5 গুণ বেশি। অর্থাৎ ঐ মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব ও শূন্য বা বায়ু মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্বের অনুপাত 2·5।

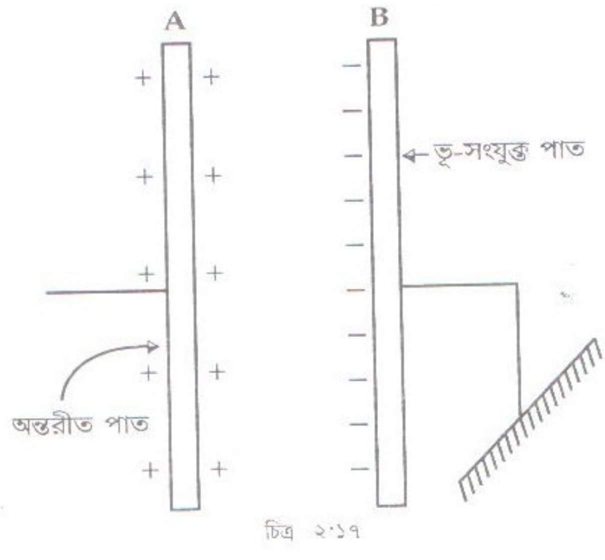
২·৭ ধারক বা তড়িৎ আধার
Capacitor or Condenser

ধারণা
Concept

'ধারক' শব্দের অর্থ 'ধারণকারী'। সাধারণত যে বস্তু চার্জ ধরে রাখতে পারে তাকে ধারক বলে। ধারকের নামকরণের এটিই মূল কারণ। কিন্তু একটি পরিবাহীর চার্জ ধরে রাখার ক্ষমতা অসীম নয়। কেননা কোনো পরিবাহীতে একটি নির্দিষ্ট মাত্রার অতিরিক্ত চার্জ প্রদান করলে তা ক্রমশ চার্জ হারাতে থাকে। কোনো উপায়ে পরিবাহীর বিভব কমিয়ে দিলে তা অতিরিক্ত কিছু চার্জ ধরে রাখার সামর্থ্য অর্জন করে। **এ কারণে স্থির তড়িৎবিদ্যায় ধারক বলতে কোনো বস্তুর ধারকত্ব বৃদ্ধি করার একটি কৃত্রিম ব্যবস্থা বুঝায়।** সাধারণত একটি অন্তরীত ও অপর একটি ভূ-সংযুক্ত পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু বা অন্য কোনো পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমে পূর্ণ করে অন্তরীত পরিবাহীর ধারকত্ব বা চার্জ ধারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি করা হয়। কাজেই এরূপ একটি যান্ত্রিক ব্যবস্থাকে একত্রে ধারক বলে।

সংজ্ঞা : পরিবাহীতে চার্জ সঞ্চিত রাখার যান্ত্রিক প্রক্রিয়াকে ধারক বলে। অথবা, যে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ার সাহায্যে তড়িৎ সংরক্ষণ করে রাখা হয় তাকে ধারক বলে। কাছাকাছি অবস্থানে দুটি পরিবাহী দ্বারা ধারক গঠন করা হয়। পরিবাহীদ্বয়ের মাঝে অন্তরক পদার্থ স্থাপন করে ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি করা যায়।

ক্রিয়ানীতি : মনে করি A একটি অন্তরীত পরিবাহী। একে একটি তড়িৎ উৎপাদক যন্ত্রের সাথে যুক্ত করে ধন চার্জে চার্জিত করায় এটি ধন বিভব প্রাপ্ত হলো। B অপর একটি চার্জশূন্য বা অচার্জিত ভূ-সংযুক্ত পরিবাহী। একে A-এর নিকট স্থাপন করা হলো [চিত্র ২·১৭]। ফলে আবেশ প্রক্রিয়ায় B-এর নিকটবর্তী প্রান্তে ঋণ চার্জ এবং দূরবর্তী প্রান্তে ধন চার্জ আবিষ্ট হবে। B-কে ভূ-সংযুক্ত করায় পৃথিবী হতে ইলেকট্রন এসে এর ধন চার্জ নিষ্ক্রিয় করবে। B-এর ঋণ চার্জ A-এর উপর ঋণ বিভব আধ্যারোপণ (superimpose) করবে। ফলে A-এর বিভব কিছুটা কমে যাবে। যেহেতু $C = \frac{Q}{V}$, সুতরাং A-এর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে এবং এটি অতিরিক্ত চার্জ গ্রহণ করতে পারবে। B-কে যতই A-এর সন্নিকটে আনা যাবে, A-এর বিভব ততই কমবে। ফলে এর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে। অতএব দেখা যাচ্ছে যে, ভূ-সংযুক্ত অচার্জিত পাত B-কে A-এর নিকটে স্থাপন করায় A-এর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে। এরূপ একটি যান্ত্রিক ব্যবস্থার নাম ধারক। উল্লেখ্য, B পাত ভূ-সংযুক্ত হওয়া একান্ত প্রয়োজনীয় নয়, তবে ভূ-সংযুক্ত হলে ধারকের কার্যকারিতা বৃদ্ধি পায়।



চিত্র ২·১৭

কোনো একটি ধারকের মধ্যবর্তী মাধ্যম বায়ু হলে তাকে বায়ু মাধ্যম ধারক সংক্ষেপে বায়ু ধারক এবং কাচ হলে তাকে কাচ মাধ্যম ধারক সংক্ষেপে কাচ ধারক বলে।

ধারকত্ব
Capacitance

কোনো পাত্রে পানি ঢাললে পানির লেভেল নির্দিষ্ট পরিমাণ বাড়ে। অনুরূপভাবে কোনো পরিবাহীতে কিছু পরিমাণ চার্জ দিলে উহার বিভব নির্দিষ্ট পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। পানির লেভেলের বৃদ্ধি কতটা পানি ঢালা হলো তার সমানুপাতিক হয়; ঠিক তেমনি পরিবাহীর বিভবও এতে যে পরিমাণ চার্জ প্রদান করা হয় সেই অনুপাতে বৃদ্ধি পায়।

ধরা যাক কোনো পরিবাহীতে q পরিমাণ চার্জ দেওয়া হলে উহার বিভব V পরিমাণ বাড়ে। V এর মান পরিবাহীর আকার, আয়তন, পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতি ও নিকটবর্তী অন্যান্য পরিবাহী সাপেক্ষে উহার অবস্থানের উপর নির্ভর করে। উপরন্তু, নিকটবর্তী পরিবাহীগুলি অন্তরিত অথবা ভূমির সাথে যুক্ত কিনা তার উপরও নির্ভর করে।

উপরোক্ত আলোচনা থেকে লেখা যায়

$$q \propto V$$

বা, $\frac{q}{V}$ = ধ্রুবক = ধারকত্ব

বা, $C = \frac{q}{V}$

এই ধ্রুবকটিকে পরিবাহীটির ধারকত্ব (Capacitance or capacity) বলা হয়। অর্থাৎ কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ চার্জের প্রয়োজন হয় তাই ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব। এর মান পরিবাহীটির আধানের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

ধারকত্ব = $\frac{\text{আধান}}{\text{বিভব}}$

সাধারণত একটি অন্তরীত ও একটি ভূ-সংযুক্ত পরিবাহীর সমন্বয়ে একটি ধারক তৈরি হয়। এজন্য একটি ধারকের ধারকত্ব বলতে এর অন্তরীত পরিবাহীর ধারকত্ব বুঝায় এবং এর নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

কোনো ধারকের অন্তরীত ও ভূ-সংযুক্ত দুই পরিবাহীর মধ্যে একক বিভব বৈষম্য সৃষ্টি করতে তার অন্তরীত পরিবাহীতে যে পরিমাণ চার্জ প্রদান করতে হবে, একে উক্ত ধারকের ধারকত্ব বলে।

∴ কোনো ধারকের ধারকত্ব = $\frac{\text{অন্তরীত পরিবাহীর চার্জ}}{\text{দুই পরিবাহীর মধ্যে বিভব বৈষম্য}}$ ... ... (2.37)

কোনো ধারকের ধারকত্ব নির্ভর করে তার দুই পরিবাহীর আকার ও আকৃতির উপর এবং পরিবাহী দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব ও মাধ্যমের উপর।

কোনো ধারকের ধারকত্ব 2F বলতে বুঝায়— পাতদ্বয়ের মধ্যে 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করতে অন্তরীত পরিবাহীতে 2 কুলম্ব চার্জ প্রদান করতে হবে। গঠন অনুসারে কয়েক রকমের ধারক আছে। যথা—সমান্তরাল পাত ধারক, গোলকীয় পাত ধারক, চোঙাকৃতি ধারক ইত্যাদি। এখানে আমরা সমান্তরাল পাত ধারকের গঠন ও কার্য পদ্ধতি আলোচনা করব।

পরিবাহীর ধারকত্ব যে যে বিষয়ের উপর নির্ভর করে
Factors on which capacity of a conductor depends

ধারকত্বের সংজ্ঞা অনুসারে, $C = Q/V$। কাজেই নির্দিষ্ট পরিমাণ চার্জের দরুন কোনো পরিবাহীর বিভব যে যে কারণে পরিবর্তিত হয়, সে সব কারণে তার ধারকত্বও পরিবর্তিত হবে। কারণগুলো নিম্নরূপ—

(ক) পরিবাহীর ক্ষেত্রফল : ক্ষেত্রফল যত বৃদ্ধি পায় পরিবাহীর ধারকত্ব তত বেড়ে যায়। গোলাকার পরিবাহীর ক্ষেত্রে আমরা জানি $C = 4\pi\epsilon_0 kr$। সুতরাং ব্যাসার্ধ r বৃদ্ধি পেলে তার ক্ষেত্রফল এবং সাথে সাথে ধারকত্ব C বৃদ্ধি পাবে। এটি সাধারণভাবে সব পরিবাহীর ক্ষেত্রে সত্য।

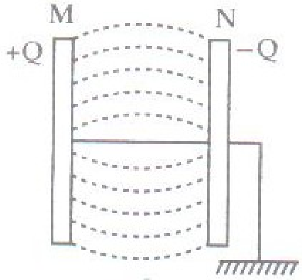
(খ) পরিবাহীর চারপার্শ্বস্থ মাধ্যম : পরিবাহীর চতুর্দিকের মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের উপর তার ধারকত্ব নির্ভর করে। অপেক্ষাকৃত উচ্চ পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে পরিবাহীর ধারকত্ব বেশি হয় এবং নিম্ন পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে পরিবাহীর ধারকত্ব কম হয়। একটি পরিবাহীর ধারকত্ব শূন্য স্থানে বা বায়ুতে C_0 এবং k পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে C_k হলে সমীকরণ (2.37) হতে দেখানো যায় যে,

$k = \frac{C_k}{C_0} = \frac{\text{কোনো মাধ্যমে একটি পরিবাহীর ধারকত্ব}}{\text{শূন্যস্থানে বা বায়ুতে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব}}$ ... ... (2.38)

(গ) পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব : সমান্তরাল পাত ধারকের মধ্যবর্তী দূরত্ব বৃদ্ধি পেলে ধারকত্ব কমে এবং দূরত্ব কমলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

(ঘ) অপর কোনো পরিবাহী বা ভূ-সংযুক্ত পরিবাহীর সান্নিধ্য : চার্জগ্রস্ত পরিবাহীর নিকটে অন্য কোনো চার্জশূন্য বা ভূ-সংযুক্ত পরিবাহী থাকলে বৈদ্যুতিক আবেশের দরুন পরীক্ষাধীন পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু পরীক্ষাধীন চার্জগ্রস্ত পরিবাহীর নিকটে সম-জাতীয় চার্জগ্রস্ত বস্তু থাকলে, পরীক্ষাধীন পরিবাহীর ধারকত্ব হ্রাস পাবে এবং বিপরীত জাতীয় চার্জগ্রস্ত বস্তু থাকলে তার ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : ধারকের ধারকত্ব কীভাবে বৃদ্ধি করা যায় ?



চিত্র ২·১৮

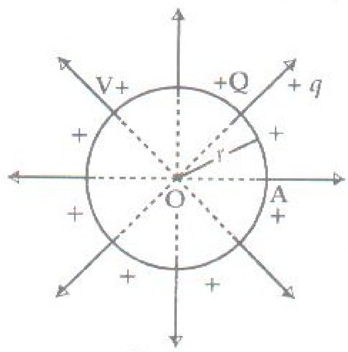
ধারকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বাড়িয়ে, এর পাতদ্বয়ের মধ্যকার দূরত্ব কমিয়ে, পাতদ্বয়ের মধ্যে বেশি মানের ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবকের পদার্থ স্থাপন করে এবং পাতদ্বয়ের যেকোনো একটিকে ভূ-সংযুক্ত করে ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি করা যায়।

গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব
Capacitance of a spherical conductor

মনে করি শূন্য মাধ্যমে বা বায়ুতে অবস্থিত r (m) ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি গোলাকার পরিবাহী A-এর কেন্দ্র O এবং গোলকটিতে $+Q$ পরিমাণ চার্জ রয়েছে [চিত্র ২.১৯]। ধরি গোলকের ধারকত্ব C এবং পৃষ্ঠের বিভব V। অতএব ধারকত্বের সংজ্ঞা অনুসারে,

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{অথবা}, \quad V = \frac{Q}{C} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (2.39)$$

আমরা জানি পরিবাহীতে চার্জ সমভাবে তার পৃষ্ঠের সর্বত্র ছড়িয়ে পড়ে। কাজেই চার্জগ্রস্ত এ গোলকের কেন্দ্র হতে বলরেখাগুলো বের হয়ে আসছে মনে হবে। গোলকের কেন্দ্র O-এ $+Q$ পরিমাণ চার্জ আছে কল্পনা করলেও ঐ চার্জ হতে বলরেখাগুলো একইভাবে নির্গত হবে। এ কারণে চার্জগ্রস্ত গোলাকার পরিবাহীর ক্ষেত্রে সমস্ত চার্জ তার কেন্দ্রে অবস্থিত কল্পনা করা যায়।



চিত্র ২·১৯

∴ গোলাকার পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q}{r} \qquad \ldots \qquad (2.40)$

সমীকরণ (2.39) ও (2.40) অনুসারে, $\frac{Q}{C} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q}{r}$

$$\therefore \; C = 4\pi\epsilon_0 r \qquad \ldots \quad \ldots \qquad (2.41)$$

সুতরাং এ প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যায় যে,

(১) **k পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে গোলকের পৃষ্ঠে বিভব,** $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 k r}$

$$\text{কাজেই}, \; C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 k r \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (2.42)$$

এখানে $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ কুলম্ব^2/ নিউটন-মিটার^2 ($C^2/N\text{-}m^2$)।

(২) **'কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব 1 ফ্যারাড'** বলতে বুঝায় যে, তার বিভব 1 ভোল্ট বৃদ্ধি করতে 1 কুলম্ব চার্জ দিতে হয় এবং পরিবাহীটির ধারকত্ব 9×10^9 m ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার পরিবাহীর শূন্য মাধ্যমে বা বায়ুতে ধারকত্বের সমান।

(৩) k এর একক ফ্যারাড/মিটার (F/m)।

কাজ : গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ বাড়ালে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায় কেন ?

আমরা জানি, গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব $C = 4\pi\epsilon_0 r$ বা $C \propto r$। এখানে r = গোলকের ব্যাসার্ধ। চার্জ গোলকের বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। ব্যাসার্ধ বেশি হলে, গোলকের পৃষ্ঠ পর্যন্ত দূরত্ব বেশি হয়। তাই গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ বাড়ালে ধারকত্ব বাড়ে।

কর্ম অনুশীলন : একই ব্যাসার্ধের দুটি ধাতব গোলকের একটি ফাঁপা ও একটি নিরেট। এদের একই তড়িৎ বিভবে চার্জিত করলে কোনটিতে বেশি চার্জ থাকবে ?

ফাঁপা ও নিরেট যে কোনো গোলকের ধারকত্ব ($C = 4\pi\epsilon_0 R$) সমান হবে যদি পারিপার্শ্বিক মাধ্যম একই হয়। আবার পারিপার্শ্বিক মাধ্যম বায়ু হলে ধারকত্ব $= 4\pi\epsilon_0 R$, যেখানে R = গোলকের ব্যাসার্ধ। উল্লেখিত গোলক দুটির ব্যাসার্ধ সমান। সুতরাং এদের ধারকত্ব সমান হবে। প্রযুক্ত বিভব V হলে প্রত্যেকটিতে চার্জের পরিমাণ $Q = CV$ হবে। সুতরাং দুটি গোলকেই সমান তড়িৎ আধান বা চার্জ থাকবে।

তড়িৎ ধারকত্ব
Electric capacitance or capacity

আমরা জানি প্রত্যেক বস্তুর তাপ গ্রহণের একটি ক্ষমতা আছে। একে বস্তুর তাপধারণ ক্ষমতা বা তাপগ্রাহীতা বলে।

তেমনি প্রত্যেক বস্তুরই তড়িৎ ধারণের একটি নির্দিষ্ট ক্ষমতা আছে। সাধারণত একে বস্তুর **তড়িৎ ধারকত্ব** বা সংক্ষেপে **ধারকত্ব** (capacitance) বলা হয়।

আমরা জানি, কোনো একটি পরিবাহীতে চার্জের পরিমাণ বাড়ালে তার তড়িৎ বিভব বেড়ে যায়। চার্জ এবং বিভব পরস্পরের সমানুপাতিক।

মনে করি কোনো একটি পরিবাহীতে Q পরিমাণ চার্জ যুক্ত করায় তার বিভব হলো V। অতএব আমরা লিখতে পারি,

$Q \propto V$ বা, Q = ধ্রুবক $\times V$

বা, $Q = CV$ ... ... (2.43)

এখানে, C একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এই ধ্রুবকই পরিবাহীর ধারকত্ব।

$\therefore$ **চার্জ = ধারকত্ব × বিভব**

এখন ভাষায় ধারকত্বের সংজ্ঞা দিতে গিয়ে ধরি, $V = 1$ (একক)।

$\therefore$ সমীকরণ (2.43) হতে পাই, $Q = C$

অর্থাৎ **কোনো পরিবাহীর বিভব এক একক বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ চার্জের প্রয়োজন হয় তাকে উক্ত পরিবাহীর তড়িৎ ধারকত্ব বলে।** একে C দ্বারা ব্যক্ত করা হয়। **এটি পরিবাহীর আকার, মাধ্যমের প্রকৃতি এবং অন্য বস্তুর সান্নিধ্যের উপর নির্ভর করে।**

কাজ ও বিভব উভয়ই স্কেলার রাশি। তাই ধারকত্বও স্কেলার রাশি।

ধারকত্বের একক
Unit of capacitance

ধারকত্বের এস. আই. বা ব্যবহারিক একক হলো ফ্যারাড (Farad)। বিখ্যাত বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডের নাম অনুসারে এই এককের প্রচলন করা হয়েছে। ফ্যারাড একককে সংক্ষেপে F দ্বারা সূচিত করা হয়।

1 ফ্যারাড : কোনো পরিবাহীর বিভব 1 ভোল্ট বৃদ্ধি করতে যদি 1 কুলম্ব চার্জের প্রয়োজন হয়, তবে তার ধারকত্বকে 1 ফ্যারাড বলে।

আমরা জানি, $C = \dfrac{Q}{V}$ $\boxed{\therefore\ 1F = \dfrac{1C}{1V}}$

কিন্তু ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ফ্যারাড একক খুবই বড় হওয়ায় ক্ষুদ্র এককও ব্যবহার করা হয়। এসব ক্ষুদ্র এককের নাম **মাইক্রো ফ্যারাড** (μF) এবং **মাইক্রোমাইক্রো ফ্যারাড** বা **পিকো ফ্যারাড** ($\mu\mu F$ or pF)।

$\therefore$ $1F = 10^6\ \mu F = 10^{12}\ \mu\mu F$ বা pF

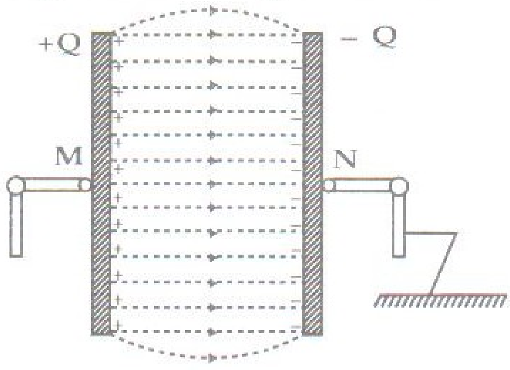
বা, $1\ \mu F = 10^{-6} F$

এবং $1\ \mu\mu F$ বা $1\ pF = 10^{-12} F$।

সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব
Capacitance of parallel plate condenser

বর্ণনা : সমান্তরাল পাত ধারকে দুটি সমান্তরাল ধাতব পাত আছে। এরা যথাক্রমে M ও N [চিত্র ২.২০]। পাত দুটি পরস্পর হতে সামান্য দূরে থাকে এবং এদের মধ্যে বায়ু অথবা অন্য কোনো পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম যেমন প্যারাফিন, গন্ধক, কাচ, ইবোনাইট, অভ্র প্রভৃতি ব্যবহার করা হয়। এ ছাড়া পাত M কুপরিবাহী দণ্ড দ্বারা ভূমি হতে অন্তরীত অবস্থায় এবং পাত N ভূ-সংযুক্ত অবস্থায় থাকে।

কার্যনীতি : মনে করি, ধারকের পাত দুটির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রফল A, তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব d এবং মধ্যবর্তী মাধ্যম বায়ু। এখন M পাতে $+Q$ পরিমাণ চার্জ প্রদান করলে, M হতে নির্গত বলরেখাগুলো নিকটবর্তী ভূ-সংযুক্ত পরিবাহী N পাতের উপর পড়বে। এর ফলে বৈদ্যুতিক আবেশ চরম হবে এবং N পাতের ভেতরের পৃষ্ঠের আবিষ্ট ঋণ চার্জ, M পাতের আবেশী ধন চার্জের সমান হবে। পাত দুটি পরস্পরের অতি নিকটে বলে M পাত হতে অভিলম্বভাবে বলরেখাগুলো বের হয়ে মোটামুটি পরস্পরের সমান্তরালে যেয়ে N পাতের উপর পড়বে এবং পাত দুটির মধ্যে তড়িৎ প্রাবল্য সর্বত্র প্রায় সমান হবে। আবার যেহেতু ভূ-সংযুক্ত পাত N-এর বিভব শূন্য, কাজেই M পাতের বিভবকে M ও N-এর মধ্যকার বিভব বৈষম্য গণ্য করা যেতে পারে।



চিত্র ২.২০

ধারকত্বের হিসাব : সমান্তরাল পাতদ্বয়ের পৃষ্ঠের তড়িৎ প্রাবল্য এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানের তড়িৎ প্রাবল্য একই হবে।

আমরা জানি, কোনো পাত্রের পৃষ্ঠে তড়িৎ প্রাবল্য $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Q}{A\epsilon}$. এখানে, σ = চার্জ ঘনত্ব, ϵ = মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা।

আমরা জানি, ধারকত্ব, $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Ed} = \frac{Q}{Qd/A\epsilon} = \frac{A\epsilon}{d}$ $(\because V = Ed)$

সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব, $C = \frac{A\epsilon}{d}$ ... ... [2.43(a)]

এবং বায়ু বা শূন্য মাধ্যমের জন্য ধারকত্ব, $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ ... ... [2.43(b)]

কাজ : একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পাত দুটি বৃত্তাকার। প্রতিটি পাতের ব্যাস 2 cm এবং তাদের মাঝখানে 1 cm বায়ু স্তরের ব্যবধান আছে। যদি ধারকটিতে 9×10^{-7} coul চার্জ প্রদান করা হয় তবে পাতদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য কত হবে ?

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{d} = \frac{4\pi\epsilon_0 r^2}{4d}$$
$$= \frac{(1 \times 10^{-2})^2}{9 \times 10^9 \times 4 \times 1 \times 10^{-2}} = 2.8 \times \times 10^{-13}$$
এবং $V = \frac{Q}{C} = \frac{9 \times 10^{-7}}{2.8 \times 10^{-13}} = 3.2 \times 10^6$ volt

এখানে,
$r = \frac{d}{2} = \frac{2}{2} = 1\text{ cm} = 1 \times 10^{-2}\text{ m}$
$d = 1\text{ cm} = 1 \times 10^{-2}\text{ m}$
$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9\text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
$Q = 9 \times 10^{-7}\text{ C}$

অনুসন্ধানমূলক কাজ : একটি ধারকের গায়ে 0.09 μF — 220 V লেখা আছে। এ কথার অর্থ কী ?

লেখাটি থেকে বোঝা যায় যে ওই ধারকের ধারকত্ব 0.09 μF এবং এটি সর্বোচ্চ 220V বিভব পার্থক্যে ব্যবহার করা যেতে পারে। 220V-এর বেশি বিভব পার্থক্যে ধারকটি নষ্ট হয়ে যেতে পারে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ক্ষেত্রফল 1.4 m^2 এবং বায়ু মাধ্যমে পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.03 m। এর ধারকত্ব মাইক্রোফ্যারাডে নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০১১]

আমরা জানি,
$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$
$$= \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1.4}{0.03}$$
$$= 4.13 \times 10^{-10}\text{ F}$$
$$= 4.13 \times 10^{-4}\ \mu\text{F}$$

এখানে,
$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\text{ m}^{-1}$
$A = 1.4\text{ m}^2$
$d = 0.03\text{ m}$

২। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল 1.5×10^6 mm^2 এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 cm। যদি বিভব পার্থক্য 60 V হয়, তবে প্রত্যেক পাতের চার্জ নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০১০]
($\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ m^{-1})

মনে করি, ধারকের ধারকত্ব $= C$
আমরা জানি,

$$Q = C \times V \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

আবার, $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

$$\therefore \quad C = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1.5}{0.02}$$

সমীকরণ (1)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$Q = C \times V = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1.5 \times 60}{0.02} = 3.98 \times 10^{-8} \text{ coul}$$

এখানে,
$A = 1.5 \times 10^6 \text{ mm}^2 = 1.5 \text{ m}^2$
$d = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m}$
$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ m}^{-1}$
$V = 60 \text{ V}$
$Q = ?$

৩। একটি তড়িৎ আহিত ধারক তার দ্বিগুণ ধারকত্বসম্পন্ন অপর একটি অনাহিত ধারকের সঙ্গে নিজ আধান বণ্টন করে নিল। এ অবস্থায় উভয় ধারকের মোট শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর।

তড়িৎ আহিত ধারক অনাহিত ধারকের সঙ্গে আধান বণ্টন করে নেওয়ার অর্থ হলো ধারক দুটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত।

অতএব, তাদের তুল্য ধারকত্ব

$$C + 2C = 3C$$

আমরা জানি,

$$\text{শক্তি, } E_1 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

$$\therefore \quad \text{সমবায়ের শক্তি, } E = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{3C} = \frac{1}{3} \cdot \frac{Q^2}{2C} = \boxed{\frac{1}{3} E_1}$$

এখানে, মনে করি
তড়িৎ আহিত ধারকের ধারকত্ব $= C$
এবং আধান $= Q$
অপর ধরকের ধারকত্ব $= 2C$
আধান বণ্টনের আগে আহিত ধারকের শক্তি $= E_1$
উভয় ধারকের মোট শক্তি, $E = ?$

ধারকের শ্রেণি ও সমান্তরাল সংযোগ এবং তুল্য ধারকত্ব
Combination of Series, Parallel Condensers and Equivalent Capacitance

সুবিধামতো ধারকত্ব পাওয়ার জন্য একাধিক ধারক যুক্ত করা হয়। একে **ধারকের সজ্জা** বলে। এটি দুই প্রকারে করা যেতে পারে; যথা—(১) **শ্রেণি বা সিরিজ সমবায়** (Grouping in series) ও (২) **সমান্তরাল সমবায়** (Grouping in parallel)।

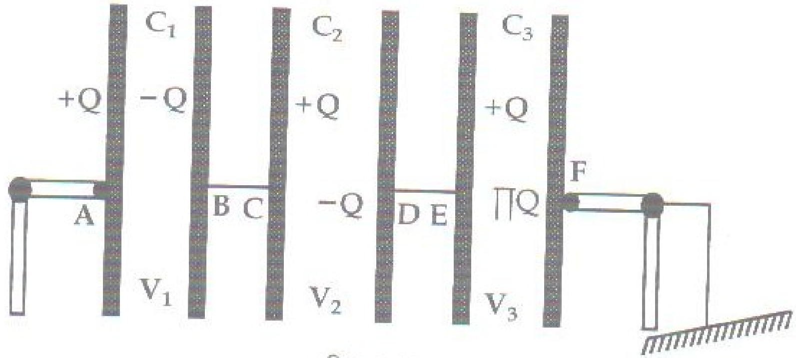
তুল্য ধারকত্ব (Equivalent capacitance) : ধারকের কোনো সমবায়ের পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে যদি ধারকের পাতে চার্জ এবং বিভব পার্থক্য সমবায়ের চার্জ ও বিভব পার্থক্যের সমান থাকে, তবে ঐ ধারকের ধারকত্বকে সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব বলে।

ধারকের শ্রেণি বা সিরিজ বিন্যাস
Combination of Series Capacitors

যখন কতকগুলো ধারককে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাত দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতের সাথে, দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় পাত তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতের সাথে ইত্যাদি একের পর এক যুক্ত থাকে এবং সর্বশেষ ধারকের শেষ পাত ভূ-সংযুক্ত থাকে তখন একে শ্রেণিবিন্যাস বলে। শ্রেণিবিন্যাসে অন্তর্ভুক্ত শেষ ধারকের শেষ পাত ছাড়া অন্য পাতগুলো পৃথিবী হতে অন্তরীত অবস্থায় থাকে। ২.২১ নং চিত্রে C_1, C_2 ও C_3 ধারকত্বের তিনটি ধারক AB, CD, EF শ্রেণিবিন্যাসে আছে দেখানো হয়েছে।

প্রথম ধারকের প্রথম পাত A-তে Q পরিমাণ ধন চার্জ প্রদান করলে তড়িৎ আবেশের দরুন এর দ্বিতীয় পাত B-তে Q পরিমাণ ঋণ চার্জ এবং দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাত C-তে Q পরিমাণ ধন চার্জ আবিষ্ট হবে। দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতের ধন চার্জের দরুন তার দ্বিতীয় পাতে Q পরিমাণ ঋণ চার্জ এবং তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতে Q পরিমাণ ধন চার্জ আবিষ্ট হবে। এভাবে প্রত্যেক ধারকের প্রথম পাত Q পরিমাণ ধন চার্জ এবং দ্বিতীয় পাত Q পরিমাণ ঋণ চার্জ প্রাপ্ত হবে। প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাত দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতের সাথে সংযুক্ত বলে তাদের বিভব সমান হবে। একই কারণে দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় পাত ও তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতের বিভব সমান হবে। ধরা যাক প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয়

ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যে বিভব বৈষম্য যথাক্রমে V_1, V_2 ও V_3 এবং সংযোজনের অন্তর্গত প্রথম পাত A এবং শেষ পাত F-এর মধ্যে বিভব বৈষম্য V, তা হলে, $V = V_1 + V_2 + V_3$।



চিত্র ২·২১

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

$$\therefore \quad V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.44)$$

কিন্তু যদি সমগ্র সংযোজনের পরিবর্তে C_s ধারকত্বের কোনো একটি ধারকের প্রথম পাতে Q পরিমাণ ধন চার্জ প্রদান করলে তার অন্তরীত ও ভূ-সংযুক্ত পাত দুটির মধ্যে বিভব বৈষম্য V হয়, তাহলে

$$V = \frac{Q}{C_s} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.45)$$

সমীকরণ (2.44) ও (2.45) অনুসারে, $\frac{Q}{C_s} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right)$

$$\therefore \quad \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.46)$$

C_s-ই হচ্ছে তুল্য ধারকত্ব।

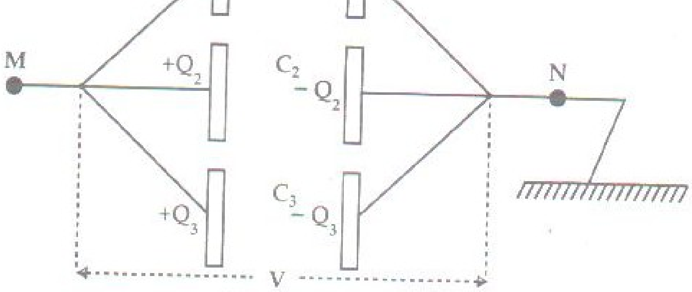
অনুরূপভাবে দেখানো যায় যে, শ্রেণি সংযোজনের অন্তর্গত C_1, C_2, C_3, ... , C_n ধারকত্বের nটি ধারকের তুল্য ধারকত্ব C_s হলে,

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots \ldots + \frac{1}{C_n} = \Sigma\frac{1}{C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.47)$$

সুতরাং শ্রেণি সংযোজনের অন্তর্ভুক্ত ধারকগুলোর ধারকত্বের বিপরীত মানের সমষ্টি তুল্য ধারকত্বের বিপরীত মানের সমান ।

ধারকের সমান্তরাল সংযোগ
Combination of Parallel capacitors

যখন কতগুলো ধারককে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রত্যেক ধারকের প্রথম পাত এক বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় পাত অপর এক বিন্দুতে যুক্ত থাকে তখন একে ধারকের সমান্তরাল সংযোজন বলে ।



চিত্র ২·২২

২·২২নং চিত্রে সমান্তরাল সংযোজনের অন্তর্ভুক্ত C_1, C_2 ও C_3 ধারকত্বের তিনটি ধারকের প্রত্যেকের প্রথম পাত M বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় পাত ভূ-সংযুক্ত অবস্থায় N বিন্দুতে যুক্ত আছে দেখানো হয়েছে। এ অবস্থায় M বিন্দুতে Q পরিমাণ ধন চার্জ প্রদান করলে প্রত্যেক ধারকের পাত দুটির মধ্যে বিভব বৈষম্য সমান হবে এবং Q চার্জ ধারকত্ব অনুযায়ী ধারকগুলোতে ছড়িয়ে পড়বে।

ধরা যাক, C_1, C_2, C_3 ধারকত্বের ধারক তিনটিতে সঞ্চিত চার্জের পরিমাণ যথাক্রমে Q_1, Q_2 ও Q_3 এবং M ও N-এর মধ্যে বিভব বৈষম্য V।

তাহলে, $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$, $Q_3 = C_3V$ এবং $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$\therefore \quad Q = C_1V + C_2V + C_3V$$
$$= (C_1 + C_2 + C_3)V \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.48)$$

যদি সমগ্র সমান্তরাল সংযোজনের পরিবর্তে C_p ধারকত্বের একটি ধারকের প্রথম ও দ্বিতীয় পাত যথাক্রমে M ও N বিন্দুতে যোগ করে M বিন্দুতে Q পরিমাণ ধন চার্জ প্রদান করলে M ও N বিন্দুর মধ্যে বিভব বৈষম্য V হয়, তাহলে

$$Q = C_pV = (C_1 + C_2 + C_3)V$$
$$\therefore \quad C_p = C_1 + C_2 + C_3 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.49)$$

C_p হচ্ছে তুল্য ধারকত্ব।

একইভাবে দেখানো যায় যে, $C_1, C_2, C_3, \ldots\ldots, C_n$ ধারকত্বের nটি ধারকের সমান্তরাল সংযোজনের সমতুল্য তুল্য ধারকত্ব C_p হলে,

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots + C_n = \Sigma C \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.50)$$

সুতরাং, **সমান্তরাল সংযোজনের অন্তর্ভুক্ত ধারকগুলোর ধারকত্বের সমষ্টি সংযোজনের তুল্য ধারকত্বের সমান।**

যাচাই কর : দেখাও যে, সমান ধারকত্বের দুটি ধারকের সমান্তরাল সমবায়ে থাকাকালীন ধারকত্ব শ্রেণিবন্ধ সমবায়ে থাকাকালীন সমতুল ধারকত্বের 4 গুণ।

ধরা যাক, প্রত্যেকটি ধারকের ধারকত্ব $= C$

এদের সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব $C_p = C + C = 2C \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (i)

আবার শ্রেণি সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{2}{C}$; $C_s = \frac{C}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (ii)

(i) ÷ (ii) হতে পাই, $\frac{C_p}{C_s} = 2C \times \frac{2}{C} = 4 \quad \therefore C_p = 4C_s$

গাণিতিক উদাহরণ

১। প্রমাণ কর যে, সমান ধারত্বের 4টি ধারকের শ্রেণি সমবায়ে থাকাকালীন সমতুল ধারকত্ব তাদের সমান্তরাল সমবায়ে থাকাকালীন সমতুল ধারকত্বের $\frac{1}{16}$ গুণ। [ঢা. বো. ২০০৪]

সমান্তরাল বিন্যাস।

শ্রেণি সমবায়।

মনে করি, প্রতিটি ধারকের ধারকত্ব C এবং সমান্তরাল সমবায়ে সাজালে তুল্য ধারকত্ব হবে C_p।

$$\therefore \quad C_p = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$
$$= C + C + C + C = 4C$$
$$\therefore \quad C = \frac{C_p}{4} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

সিরিজ সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব C_s হলে

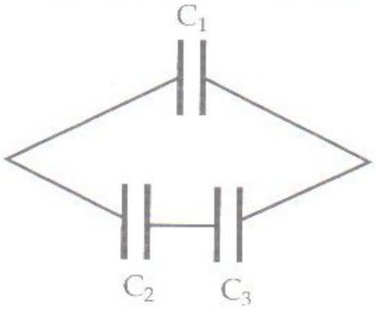
$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{4}{C}$$

$$\therefore \quad C_s = \frac{C}{4} = \frac{C_p}{4 \times 4} \quad [\text{(i) নং দ্বারা}]$$

$$= \frac{1}{16} C_p \text{ (প্রমাণিত)}$$

২। তিনটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 3, 2 এবং 1 μF। এদের দ্বিতীয় এবং তৃতীয়টিকে শ্রেণি সমবায়ে সাজিয়ে প্রথমটির সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

[কু. বো. ২০০৯; ব. বো. ২০০৪]



মনে করি শ্রেণি সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব = C_s

∴ আমরা পাই, $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{1}$

বা, $\frac{1}{C_s} = \frac{1+2}{2} = \frac{3}{2}$ ∴ $C_s = \frac{2}{3}\mu F$

শেষটি সমান্তরাল সংযোজনী; মনে করি এক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্ব = C_p

∴ আমরা পাই, $C_p = C_s + C_1 = \frac{2}{3} + 3$

বা, $C_p = \frac{2+9}{3} = \frac{11}{3}$

∴ $C_p = 3{\cdot}66\ \mu F$

ধারকের স্থিতি বা সঞ্চিত শক্তি
Potential energy of a condenser or capacitor

মনে করি কোনো ধারকের একটি পাতকে ভূ-সংলগ্ন করে অপর পাতটি V বিভবে চার্জিত করে ধারকটিকে চার্জিত করা হলো। ধারকটিকে চার্জিত করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয়, তাই ধারকে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে। এক্ষেত্রে একটি পাতকে V বিভবে চার্জিত করতে যে কাজ করতে হয় তাই ধারককে চার্জিত করার জন্যে প্রয়োজনীয় কাজ এবং এটিই হলো ধারকের স্থিতিশক্তি। মনে করি V বিভবে চার্জিত করার নিমিত্তে যখন পাতটিকে একটু একটু করে চার্জযুক্ত করা হয়েছিল তখন কোনো সময় পাতটির বিভব হয়েছিল V। ঐ সময় পাতটিকে আরো dq পরিমাণ চার্জ সরবরাহ করতে সাধিত কাজের পরিমাণ $= Vdq = \frac{q}{C}dq$ এবং পাতটিকে যদি মোট Q চার্জ সরবরাহ করা হয়, তবে মোট সাধিত কাজের পরিমাণ

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C}dq,$$ এখানে C হলো ধারকের ধারকত্ব।

$$= \frac{1}{C}\left[\frac{q^2}{2}\right]_0^Q = \frac{1}{C}\left[\frac{Q^2}{2}\right] = \frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.51)$$

M
1
(02–06)

∴ ধারকের স্থিতিশক্তি

$$\text{P.E.} = W = \frac{Q^2}{2C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.52)$$

$$= \frac{1}{2}Q \times \frac{Q}{C} = \frac{1}{2}QV \quad \left[\because V = \frac{Q}{C}\right] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.53)$$

$$= \frac{1}{2}CV^2 \quad [\because Q = CV] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.54)$$

যদি Q কুলম্ব, V ভোল্টে এবং C ফ্যারাডে প্রকাশ করা হয়, তবে স্থিতিশক্তি **জুলে** (J) প্রকাশিত হবে।

চার্জিত ধারকে সঞ্চিত শক্তি পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থান করে। সমীকরণ (2.52), (2.53) এবং (2.54)-এর প্রত্যেকটি হলো ধারকের স্থিতিশক্তির রাশিমালা।

তড়িৎ ক্ষেত্রের একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা

একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি,

$$u = \frac{W}{\text{আয়তন}} = \frac{W}{Ad} = \frac{\frac{1}{2}CV^2}{Ad} = \frac{\frac{1}{2}C(Ed)^2}{Ad} \quad \left[\because E = \frac{V}{d} \ \therefore V = Ed\right] \quad \ldots \quad (2.55)$$

সমীকরণ [2.43 (b)] ব্যবহার করে আমরা পাই,

$$u = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{\epsilon_0 A}{d}\right) \times (Ed)^2}{Ad} \quad \left[\because \text{শূন্য মাধ্যমের জন্যে}, C = \frac{\epsilon_0 A}{d}\right]$$

$$= \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.56)$$

যদি পাত দুটির মধ্যে বায়ু ছাড়া অন্য কোনো মাধ্যম থাকে যার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $\in_r$, তবে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ হবে,

$$u = \frac{1}{2}\in_r\in_0 E^2 = \frac{1}{2}\in E^2 \qquad [\because \in_r\in_0 = \in] \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.57)$$

ক্রিয়াকর্ম : কোনো ধারককে কী যে কোনো উচ্চ মানের বিভবে আহিত করা সম্ভব—ব্যাখ্যা কর।

কোনো ধারককে যে কোনো উচ্চ মানের বিভবে আহিত করা সম্ভব নয়। বিভবের মান খুব বেশি হলে পারিপার্শ্বিক বায়ুস্তরের আস্তরণ (insulation) ভেঙ্গে যায় এবং ধারক ও বায়ুর মধ্যে তড়িৎ ক্ষরণ ঘটতে থাকে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রত্যেকটি পাতের ক্ষেত্রফল $0.03\ m^2$। পাত দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 2.0×10^{-3} m এবং পাত দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য 150 V হলে, (i) ধারকের ধারকত্ব; (ii) পাত দুটির মধ্যে সঞ্চিত শক্তি এবং (iii) পাত দুটির মধ্যে যে কোনো বিন্দুতে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি বের কর।

মনে করি পাত ধারকত্ব $= C$
পাত দুটির মধ্যে সঞ্চিত শক্তি $= U$
এবং পাত দুটির মধ্যে যে কোনো বিন্দুতে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি $= u$

দেওয়া আছে,
$A = 0.03\ m^2$
$d = 2 \times 10^{-3} m$
$V = 150\ V$
$\in_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ F/m$

(i) আমরা জানি,

$$C = \frac{\in_0 A}{d} = \frac{(8.85 \times 10^{-12}\ F/m)(0.03\ m^2)}{2 \times 10^{-3} m}$$

$$= \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 3 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-3}} F = 13.27 \times 10^{-11}\ F$$

(ii) পাত দুটির মধ্যে সঞ্চিত শক্তি

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}(13.27 \times 10^{-11}\ F)(150)^2 = 14.9 \times 10^{-7}\ J$$

(iii) পাত দুটির মধ্যে যে কোনো বিন্দুতে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি,

$$u = \frac{1}{2}\in_0 E^2 = \frac{1}{2}\in_0\left(\frac{V}{d}\right)^2 \qquad [\because V = Ed]$$

$$= \frac{1}{2}(8.85 \times 10^{-12}\ Fm^{-1})\left(\frac{150V}{2 \times 10^{-3}\ m}\right)^2$$

$$= \frac{8.85 \times 150 \times 150 \times 10^{-12} \times 10^{6}}{2 \times 2 \times 2} = 2.49 \times 10^{-7}\ J\ m^{-3}$$

২। একটি বিচ্ছিন্ন সমান্তরাল পাত ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব দ্বিগুণ করা হলে ধারকের সঞ্চিত শক্তির কী পরিবর্তন হবে ?

আমরা জানি,

ধারকের সঞ্চিত শক্তি, $U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{\in_0 A}{d}V^2 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad$ (i)

এবং পরিবর্তিত ক্ষেত্রে শক্তি, $U_1 = \frac{1}{2}C_1V^2 = \frac{1}{2}\frac{\in_0 A}{2d}V^2 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad$ (ii)

দেওয়া আছে,
$C = \frac{\in_0 A}{d}$
$C_1 = \frac{\in_0 A}{2d}$

$$(ii) \div (i) = \frac{U_1}{U} = \frac{\frac{1}{2}\frac{\in_0 A}{2d}V^2}{U}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\frac{\in_0 A\,V^2}{d} \times \frac{1}{2}}{U} = \frac{U \times \frac{1}{2}}{U} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore U_1 = \frac{1}{2}U$$

অর্থাৎ ধারকের সঞ্চিত শক্তি পূর্বের শক্তির অর্ধেক হবে।

৩। একটি ধারকের দুই পাতের মধ্যে বিভব পার্থক্য V এবং ধারকের সঞ্চিত শক্তি U। ধারকের বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করে 3V করা হলে সঞ্চিত শক্তি বৃদ্ধি পেয়ে কত হবে ?

আমরা জানি, সঞ্চিত শক্তি,

$$U = \frac{1}{2}CV_1^2$$

$$\therefore \quad U_1 = \frac{1}{2}C(3V)^2$$

$$= 9 \times \frac{1}{2}CV^2 = 9U$$

দেওয়া আছে,

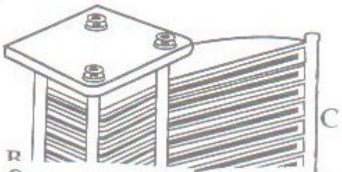
$V_1 = 3V$

সঞ্চিত শক্তি $= U$

পরিবর্তিত সঞ্চিত শক্তি, $U_1 = ?$

ধারকের ব্যবহার
Uses of condenser

(ক) পরিবর্তনীয় ধারক (Variable condenser) : ধারকত্ব পরিবর্তন উপযোগী। এটি এক প্রকার বায়ু মাধ্যম সমান্তরাল পাত ধারক। এটি বেতার গ্রাহক যন্ত্রের টিউনের কাজে এবং কোনো কোনো ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে ব্যবহৃত হয়।



এ জাতীয় ধারকে একই অক্ষবিশিষ্ট দুই সারি অর্ধ-বৃত্তাকার অ্যালুমিনিয়ামের পাত B ও C থাকে [চিত্র ২·২৩]। এক সারি B স্থির এবং অন্য সারি C-কে ঘুরানো যায়। পাতগুলো পরস্পর সমান্তরাল এবং এদের পারস্পরিক দূরত্ব সমান। স্থির পাতগুলো পরস্পরের সাথে ঃ ঘূর্ণনক্ষম পাতগুলো হতে অন্তরীত। পাতগুলোর মধ্যবর্তী বায়ু পরাবিদ্যুতের কাজ করে। ঘূর্ণনক্ষম পাতগুলোকে একটি ...-এর সাথে আটকান থাকে। সুতরাং দণ্ডটি ঘুরালে তার সাথে পাতগুলো স্থির পাতগুলোর ফাঁকে ফাঁকে ঢুকে যায় বা বের হয়ে ।। এই ঘূর্ণনে ধারকের কার্যকর ক্ষেত্রফল পরিবর্তনের সাথে ধারকত্ব পরিবর্তিত হয়।

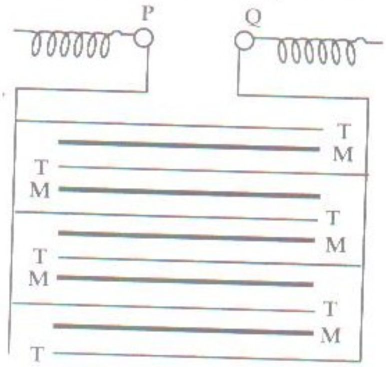
সিরামিক ধারক এদের টিউনিং সার্কিটে, ডিকাপলিং সার্কিটে এবং কাপলিং করার জন্য ব্যবহার করা হয়।

অভ্র ধারক: বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এধরনের ধারক ব্যবহার করা হয়।

পরিবর্তনীয় বায়ু ধারক: বেতার গ্রাহক যন্ত্রে টিউনিং এর কাজে প্রধানত ধরনের ধারক ব্যবহার করা হয়।

ইলেকট্রোলাইটিক ধারক: কম জায়গায় বেশি তড়িৎ সঞ্চয় করার জন্য ধারক ব্যবহার করা হয়।

(খ) স্থিরমান ধারক বা অভ্র ধারক (Fixed condenser or mica condenser) : বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এরূপ ধারক ব্যবহৃত হয়ে থাকে। এ জাতীয় ধারকে কতকগুলো টিনের পাত T থাকে [চিত্র ২·২৪]। পাতগুলো পরস্পর হতে অভ্রের পাত (বা মোমযুক্ত কাগজ) M দ্বারা পৃথক করা থাকে। ধারকে প্রথম, তৃতীয়, পঞ্চম ইত্যাদি বিজোড় সংখ্যক টিনের পাতগুলো পরস্পরের সাথে ধাতব দণ্ড বা পাত দ্বারা যুক্ত করে P বন্ধনীর সাথে এবং দ্বিতীয়, চতুর্থ, ষষ্ঠ ইত্যাদি জোড় সংখ্যক টিনের পাতগুলো পরস্পরের সাথে অপর একটি পাত বা দণ্ড দ্বারা যুক্ত করে বন্ধনী Q-এ সংযোগ করা হয়। এখানে টিনের পাতগুলো ধারকের পাতের ও অভ্রের পাতগুলো পরাবিদ্যুতের কাজ করে এবং ধারকগুলো সমান্তরাল সংযোজনে যুক্ত হয়ে একটি বড় ধারকে পরিণত হয়। এ ধারকের P ও Q বন্ধনী দুটির যে কোনো একটিকে ভূ-সংযুক্ত করে অপরটিতে চার্জ প্রদান করতে হয়।



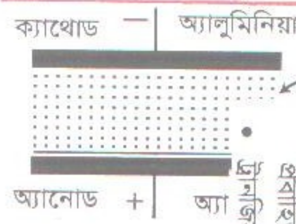
চিত্র ২·২৪

চিত্র ২·২৫

(গ) কাগজ ধারক (Paper condenser) : ইলেকট্রনিক বর্তনীতে টিউন সার্কিট বা ট্যাঙ্ক সার্কিট কম্পাঙ্ক নির্ধারণে ব্যবহৃত হয় [চিত্র ২·২৫]। এটি এক প্রকার স্থির মান সমান্তরাল পাত ধারক। টিন বা অ্যালুমিনিয়ামের দুই পাত ধারকের প্লেটের ও প্লেটদ্বয়ের মধ্যে রক্ষিত প্যারাফিন মোমে ভিজানো পাতলা কাগজের ফালি পরাবিদ্যুতের কাজ করে। কাগজের ফালিসহ পাত দুটিকে জড়িয়ে চোঙাকৃতি করা হয়। এটি সহজে তৈরি করা যায় ও খুব কম মূল্যে পাওয়া যায়।

M-04-05

(ঘ) **তড়িৎ-বিশ্লেষক ধারক (Electrolytic condenser) :** বেতার গ্রাহক যন্ত্রে প্রচুর পরিমাণে এই ধারক ব্যবহৃত হয় [চিত্র ২·২৬]। অ্যামোনিয়াম বোরেটের একটি দ্রবণে দুটি অ্যালুমিনিয়াম প্লেট নিমজ্জিত রেখে এই ধারক তৈরি হয়। এর একটি প্লেট অ্যানোড ও আর একটি প্লেট ক্যাথোড-এর কাজ করে। এর ধারকত্ব অনেক বেশি এবং একে অপরিবর্তী প্রবাহ ছাড়া পরিবর্তী প্রবাহে ব্যবহার করা যায় না।



চি

সমতড়িৎ প্রবাহ পাঠালে অ্যানোড প্লেটে অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের একটি পরাবিদ্যুতের কাজ করে।

ধারকের ব্যবহার:
- স্বল্প স্থানে উচ্চ মাত্রার বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র উৎপন্ন করা যায়
- পদার্থের অন্তরক বস্তুর আচরণ জানা যায়
- বিদ্যুৎ সঞ্চিত রেখে প্রয়োজনে ব্যবহার করা যায়
- বৈদ্যুতিক বর্তনীতে স্পার্কিং দূর করা যায়
- স্বল্প বিদ্যুৎ প্রবাহ পরিমাপ করা যায়
- স্থির বিদ্যুৎ যন্ত্রে 'সঞ্চায়ক' হিসেবে ব্যবহার হয়
- স্থির বিভব বৈষম্যে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করার কাজে ব্যবহৃত হয়
- D. C বা একমুখী প্রবাহ বন্ধ করার কাজে এবং A. C পরিবর্তী প্রবাহ প্রবাহিত করার কাজে ব্যবহৃত হয়
- ট্রানজিস্টর, টেলিভিশন প্রভৃতিতে ধারকের ভূমিকা গুরুত্বপূর্ণ

এক নজরে ধারকের ব্যবহার
Uses of Capacitor at a glance

১। টেলিগ্রাফ, টেলিফোনে এবং বেতার গ্রাহক যন্ত্রে টিউনিং-এর কাজে ধারক ব্য

২। বৈদ্যুতিক পাখাকে জোরে ঘুরাবার জন্য ধারক ব্যবহৃত হয়।

৩। বিবর্ধক যন্ত্রে কাপলিং কাজে ধারক ব্যবহার করা হয়।

৪। বৈদ্যুতিক বর্তনীতে চার্জিং এবং ডিসচার্জিং এর কাজে ব্যবহৃত হয়।

৫। বৈদ্যুতিক বর্তনীতে ডিসি ব্লকিং হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

৬। ফিলটার সার্কিটে ধারক ব্যবহার করা হয়।

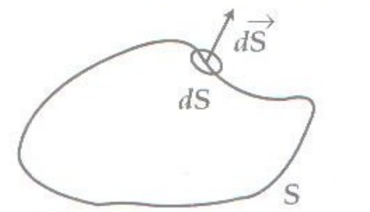
৭। স্পন্দকে ধারক ব্যবহার করা হয়।

৮। এছাড়া চার্জ সঞ্চিত করতে এবং বৈদ্যুতিক নানা কাজে ধারক ব্যবহার করা

২.৮ গাউসের সূত্র
Gauss's Law

জার্মান বিজ্ঞানী কার্ল **ফ্রেডরিক গাউস** তড়িৎ ফ্লাক্স ও চার্জের মধ্যে একটি গুরুত্বপূর্ণ সূত্র প্রদান করেন। কোনো একটি বন্ধ তলের বিভিন্ন বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয়ের জন্য এ সূত্র ব্যবহৃত হয়। সূত্রটি বিবৃত করার আগে তড়িৎ ফ্লাক্স, ক্ষেত্র ভেক্টর ও গাউসীয় তল কী জানা দরকার।

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



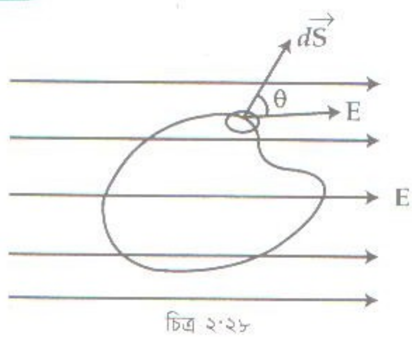
চিত্র ২·২৭

ব্যাখ্যা : ধরা যাক S একটি বন্ধ তল। এর ওপরে dS একটি ক্ষুদ্র ক্ষেত্র। dS এর ওপর বন্ধ তলের বাইরের দিকে একটি লম্ব টানা হলো। সুতরাং $\overrightarrow{dS}$ হলো ক্ষেত্র ভেক্টর। অর্থাৎ ক্ষেত্র ভেক্টরের দিক তল থেকে তলের বাইরের দিকে ধরা হয়।

তড়িৎ ফ্লাক্স (Electric Flux) : তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনো তলের মধ্য দিয়ে লম্বভাবে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যাকে তড়িৎ ফ্লাক্স বলে। একে φ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। φ একটি স্কেলার রাশি।

ব্যাখ্যা : $\vec{E}$ প্রাবল্যবিশিষ্ট একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি বন্ধ তল S এর ওপর একটি ক্ষুদ্র ক্ষেত্র $d\vec{S}$ নেয়া হলো [চিত্র ২·২৮]। $\vec{E}$ ও $d\vec{S}$ এর মধ্যে কোণ হলো θ। সুতরাং, $d\vec{S}$ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স,

$$d\varphi = \vec{E} \cdot d\vec{S}$$
$$= E\,dS \cos\theta$$
$$= (E\cos\theta)\, dS = E_{\parallel} dS \qquad \ldots \quad \ldots \qquad (2.58)$$



চিত্র ২·২৮

এখানে $E_{\parallel} = E\cos\theta$ = তড়িৎ প্রাবল্যের অভিলম্ব উপাংশ।

এখন, সমগ্র তলটি এরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ক্ষেত্র $\vec{dS}$ এর সমষ্টি। সুতরাং সমগ্র S বন্ধ তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স হবে।

$$\varphi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

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

গাউসীয় তল (Gaussian surface) : একটি চার্জের চারদিকে কল্পিত বন্ধ তলকে গাউসীয় তল বলে।

গাউসের সূত্র (Gauss's law) : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনো বন্ধ কল্পিত তলের তড়িৎ ফ্লাক্স ঐ তল দ্বারা বেষ্টিত মোট আধানের $\in_0$ গুণের সমান হবে।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, শূন্য মাধ্যমে কোনো বন্ধ তলের ক্ষেত্রফল S এবং ঐ তল দ্বারা আবদ্ধ মোট আধান q। সুতরাং গাউসের সূত্র অনুসারে,

$$\in_0 \varphi = q$$

বা $$\in_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.59)$$

এখানে $\in_0$ হলো শূন্য স্থানের তড়িৎ ভেদনযোগ্যতা (permittivity)। অন্য কোনো মাধ্যমে গাউসীয় সূত্র হবে, $\in \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$, এখানে $\in$ হলো ঐ মাধ্যমের তড়িৎ ভেদনযোগ্যতা।

বি. দ্র. যদি গাউসীয় তলে কোনো আধান না থাকে অথবা সমসংখ্যক ঋণাত্মক ও ধনাত্মক আধান থাকে, তবে $\varphi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$ হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\vec{E} = 5\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}$ Vm^{-1}। এই তড়িৎ ক্ষেত্রের অভ্যন্তরে yz তলে 15 m^2 মাপের ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্সের পরিমাণ নির্ণয় কর।

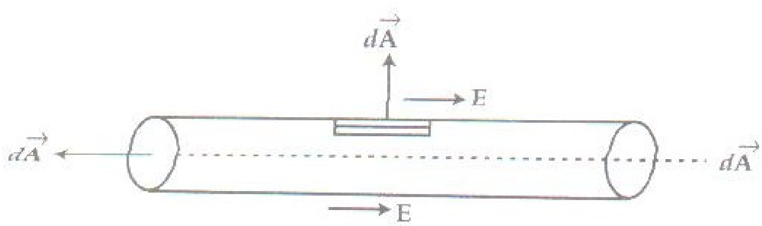
এখানে, তড়িৎ প্রাবল্য, $\vec{E} = 5\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}$ Vm^{-1}

yz তলের ক্ষেত্রফল, $\vec{S} = S\hat{i} = 15\hat{i}$ m^2

অতএব এই মাপের ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স,

$$\varphi = \vec{E} \cdot \vec{S} = (5\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}) \cdot 15\hat{i} = 75 \text{ Vm}.$$

২। চিত্রে প্রদর্শিত চোঙের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A হলে চোঙের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্সের মান নির্ণয় কর।



চিত্রে $\vec{E}$ = তড়িৎক্ষেত্র, $\vec{dA}$ = ক্ষুদ্র ক্ষেত্র ভেক্টর, A = প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

ধরা যাক, চোঙটির বামদিক ও ডানদিকের বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদ দুটির মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স যথাক্রমে φ_1 ও φ_2। φ_3 চোঙটির বক্রতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স।

এখন, বক্রতলের উপর অভিলম্ব $\vec{dA}$ ও তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এর মধ্যবর্তী কোণ = 90°। অতএব,

$$\varphi_3 = \int_A E\,dA \cos\theta = \int_A E\,dA \cos 90° = 0$$

আবার, $\varphi_1 = \int_A E\,dA \cos 180° = -E\int_A dA = -EA$

ও $\varphi_2 = \int_A E\,dA \cos 0° = E\int_A dA = EA$

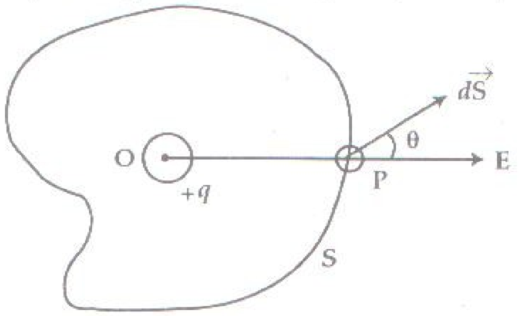
সুতরাং মোট ফ্লাক্স, $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = -EA + EA + 0 = 0$

(ক) কুলম্বের সূত্র হতে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন
Derivation of Gauss's law from Coulomb's law

ধরা যাক, O বিন্দুতে অবস্থিত $+q$ পরিমাণ আধানকে ঘিরে S একটি বন্ধ তল (গাউসীয় তল) [চিত্র ২.২৯]। ঐ তলের ওপরে P বিন্দুকে ঘিরে dS একটি ক্ষুদ্র তল কল্পনা করা হলো। ধনাত্মক আধান $+q$ এর জন্য তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ ব্যাসার্ধ OP বরাবর বহির্মুখী।

চিত্র ২.২৯-এর P বিন্দুতে একটি একক আধান স্থাপন করলে কুলম্বের সূত্র অনুযায়ী ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \qquad \dots \qquad \dots \qquad (2.60)$$



চিত্র ২.২৯

এর দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী।

এখন, dS তলে মোট তড়িৎ ফ্লাক্স,

$$d\varphi = \vec{E} \cdot d\vec{S} = EdS\cos\theta$$

বা, $d\varphi = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dS\cos\theta$ [সমীকরণ (2.60) ব্যবহার করে]

এখানে θ হলো $d\vec{S}$ ও $\vec{E}$ এর মধ্যবর্তী কোণ।

বা, $d\varphi = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \dfrac{dS\cos\theta}{r^2} = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0} d\omega$

$d\omega$ হচ্ছে dS ক্ষেত্র তলের জন্য O বিন্দুতে ঘনকোণ।

সুতরাং, সমগ্র আবদ্ধ তল S-এর জন্য মোট ফ্লাক্স,

$$\begin{aligned}\varphi &= \oint d\varphi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} \\ &= \oint \frac{q}{4\pi\epsilon_0} d\omega = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\oint d\omega \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\omega = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \times 4\pi \\ &= \frac{q}{\epsilon_0} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (2.61)\end{aligned}$$

এখানে $\oint d\omega = \omega = 4\pi$ স্টেরেডিয়ান (Steradian)

ω হচ্ছে O বিন্দুতে সমগ্র তল দ্বারা উৎপন্ন মোট ঘনকোণ।

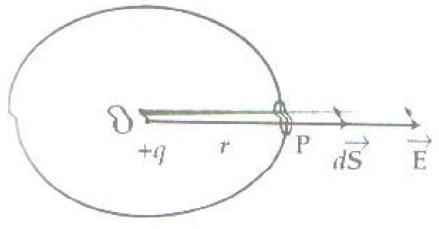
$\therefore \quad \varphi = \dfrac{q}{\epsilon_0}$

বা, $\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \dfrac{q}{\epsilon_0} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (2.62)$

সমীকরণ (2.61) ও (2.62)-ই হলো **গাউসের সূত্র।**

(খ) গাউসের সূত্র হতে কুলম্বের সূত্র প্রতিপাদন
Deduction of Coulomb's law from Gauss's law

ধরা যাক, O বিন্দুতে স্থাপিত $+q$ চার্জ হতে r দূরত্বে P একটি বিন্দু। এখন q-কে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গাউসীয় বন্ধ তল বিবেচনা করা যায় [চিত্র ২.৩০]। প্রতিসাম্য বিবেচনায় বলা যায়, ধনাত্মক চার্জ $+q$ এর জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। এই প্রাবল্য গাউসীয় তলের সঙ্গে অভিলম্ব এবং সর্বত্র ধ্রুবক। সুতরাং $d\vec{S}$ ও $\vec{E}$ গাউসীয় তলের প্রতিটি বিন্দুতে সমান্তরাল। সুতরাং



চিত্র ২.৩০

$$\vec{E} \cdot d\vec{S} = EdS\cos 0^\circ = EdS$$

অতএব, গাউসের সূত্রানুসারে মোট ফ্লাক্স,

$$\varphi = \oint \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$= E\oint dS \quad [\because \text{ গাউসীয় তলের সর্বত্র E ধ্রুবক}]$$

$$= E.4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

বা, $E = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

ধরা যাক, P বিন্দুতে একটি চার্জ q_0 স্থাপন করা হলো। সুতরাং q_0 চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল হবে,

$$F = q_0E$$

$$\therefore \quad F = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.63)$$

এটিই **কুলম্বের সূত্র।**

সুতরাং কুলম্বের সূত্র গাউসের সূত্র হতে প্রতিপাদিত হলো।

২.৯ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয়ে গাউসের সূত্রের ব্যবহার
Applications of Gauss's Law to determine the electric field intensity

বিভিন্ন তড়িৎ ক্ষেত্রে প্রাবল্য নির্ণয়ে গসের সূত্র ব্যবহার করা হয়। নিম্নে কয়েকটি ক্ষেত্রে তা বর্ণনা করা হলো।

১। চার্জিত গোলকের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : R ব্যাসার্ধের একটি নিরেট গোলক বিবেচনা করা যাক। গোলকে $+q$ পরিমাণ চার্জ প্রদান করলে এই চার্জ সুষমভাবে গোলক পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়বে। কোনো চার্জ গোলকের ভেতরে প্রবেশ করবে না। এখন গোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয়ের জন্য উক্ত বিন্দু দিয়ে $\vec{r}$ ব্যাসার্ধের একটা গোলীয় গাউসীয় তল বিবেচনা করা যাক। প্রতিসাম্যের কারণে গাউসীয় তলের সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$-এর মান সমান এবং দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী হবে। তবে গাউসীয় তল কোনো চার্জ ধারণ করবে না।

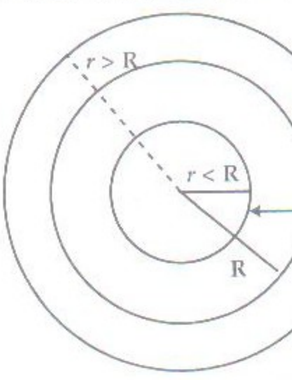
সুতরাং, গাউসের সূত্রানুসারে,

$$\oint_s \vec{E}.d\vec{a} = \oint_s E da = E\oint da = E(4\pi r^2) = 0$$

$$\therefore \quad E = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.64)$$

সুতরাং গোলকের অভ্যন্তরে অর্থাৎ $r < R$ বিন্দুতে ক্ষেত্রের মান শূন্য।

আবার, $r > R$ বিন্দুতে অর্থাৎ গোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয়ের জন্য উক্ত বিন্দু দিয়ে r ব্যাসার্ধের গোলীয় গাউসীয় তল কল্পনা করা যাক [চিত্র ২.৩১]। তাহলে এই তল কর্তৃক আবদ্ধ চার্জের পরিমাণ হবে q।



চিত্র ২.৩১

আবার গাউসীয় তলের সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ সুষম মানসম্পন্ন হবে এবং ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী ক্রিয়া করবে। সুতরাং গাউসীয় সূত্রানুসারে পাই,

$$\oint_s \vec{E}.d\vec{a} = E(4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0}$$

বা, $E = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

ভেক্টর আকারে লিখে পাই, $\vec{E} = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3}\vec{r}$

এই সমীকরণ হতে দেখা যায়, চার্জিত গোলকের দরুন বহিস্থ কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের রাশি বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের রাশির অনুরূপ। সুতরাং বলা যায় যে, বহিস্থ কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয়ের ক্ষেত্রে গোলকের

চার্জ এমন আচরণ করে যে, প্রদত্ত চার্জ কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত থেকে বিন্দু চার্জের ন্যায় আচরণ করে। যদি গোলকের চার্জের তল ঘনত্ব σ হয়, তবে $\sigma = q/4\pi r^2$ হবে। অতএব,

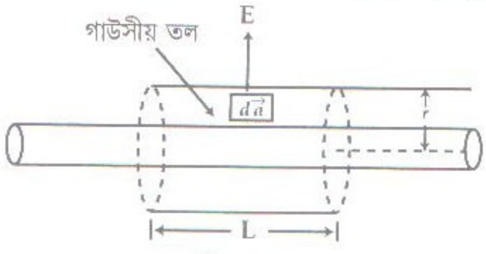
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.65)$$

ভেক্টর আকারে, $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}\hat{n}$

যখন $\hat{n}$ হলো পৃষ্ঠে বহির্মুখী একক ভেক্টর।

২। চার্জিত একটা লম্বা চোঙের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : a ব্যাসার্ধের সুষমভাবে চার্জিত একটা লম্বা চোঙ বিবেচনা করা যাক যার প্রতি একক দৈর্ঘ্যের চার্জ λ। ধরা যাক, চোঙের অক্ষ থেকে r দূরে বহিস্থ কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে।

চোঙের সাথে সমাক্ষে r ব্যাসার্ধ এবং L দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি চোঙ বিবেচনা করা যাক। এভাবে গঠিত চোঙকে গাউসীয় চোঙ বলে। চার্জিত চোঙটি খুবই দীর্ঘ বলে এর দুই প্রান্তের প্রভাব অগ্রাহ্য করা যায়। তাহলে প্রতিসাম্য গুণাবলির কারণে গাউসীয় চোঙের সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$-এর মান সমান এবং দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী হবে। গাউসীয় তলে বিবেচিত কোনো ক্ষুদ্র ক্ষেত্র $d\vec{a}$-এর দিকও ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী হবে [চিত্র ২·৩২] গাউসীয় তল কর্তৃক চার্জের পরিমাণ $q = \lambda L$ হবে।



চিত্র ২·৩২

এখন গাউসের সূত্রানুসারে পাই,

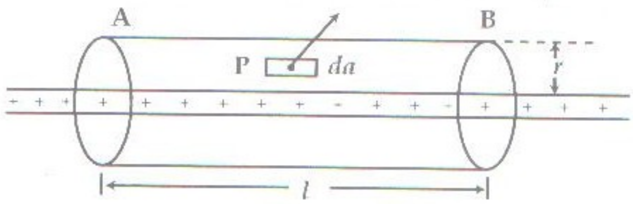
$$\oint_s \vec{E}\cdot d\vec{a} = \oint_s E da = \frac{q}{\epsilon_0}$$

বা, $E(2\pi rL) = \frac{\lambda L}{\epsilon_0}$

$$\therefore \quad E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.66)$$

এটাই নির্ণেয় তড়িৎ ক্ষেত্র। ভেক্টর আকারে প্রকাশ করে পাই, $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0}\frac{\vec{r}}{r^2}$

৩। অসীম দৈর্ঘ্যের চার্জিত রেখার জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : সুষমভাবে চার্জিত অসীম দৈর্ঘ্যের একটি



চিত্র ২·৩৩

তার অথবা চার্জ রেখা বিবেচনা করা যাক যার চার্জ ঘনত্ব বা একক দৈর্ঘ্যের চার্জ λ। চার্জ রেখা হতে r দূরত্বে কোনো বিন্দু P বিবেচনা করা যাক [চিত্র ২·৩৩]। P বিন্দুর তড়িৎ ক্ষেত্র E নির্ণয় করতে হবে।

চার্জ রেখাকে অক্ষ করে l দৈর্ঘ্য এবং r ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি গাউসীয় চোঙ কল্পনা করা যাক। তাহলে P বিন্দু চোঙের বক্রতলে অবস্থান করবে। এই বক্রতলের সকল বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$-এর মান সমান এবং অভিমুখ বক্রতলের অভিলম্ব বরাবর বহির্মুখী।

সুতরাং P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং ক্ষেত্র ভেক্টর $d\vec{a}$ সমমুখী। কাজেই গাউসের সূত্রানুসারে পাই,

$$\epsilon_0\oint \vec{E}.d\vec{a} = \epsilon_0\oint E da = \lambda l$$

বা, $\epsilon_0 E\oint da = \lambda l$

বা, $\epsilon_0 E(2\pi rl) = \lambda l$

$$\therefore \quad E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.67)$$

গাউসীয় চোঙের দুই বৃত্তাকার তলের অভিলম্বের সাথে E সমকোণে ক্রিয়া করে। কাজেই, উভয় বক্রতলের জন্য $\in \oint \vec{E}.d\vec{a} = 0$। অতএব, নির্ণেয় তড়িৎ ক্ষেত্র,

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\in_0 r}$$

গানিতিক উদাহরণ

১। একটি সরু তারের দৈর্ঘ্য 4 m। তারটি 6 μC চার্জে সুষমভাবে চার্জিত হলে (i) তারের একক দৈর্ঘ্যে চার্জের পরিমাণ এবং (ii) তারটির কেন্দ্র হতে 2 m দূরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

(i) একক দৈর্ঘ্যে চার্জের পরিমাণ,

$$\lambda = \frac{q}{l} = \frac{6\times10^{-6}}{4} = 1.5\times10^{-6}\ \text{C m}^{-1}$$

(ii) তড়িৎ প্রাবল্য, $E = \frac{1}{2\pi\in_0}\cdot\frac{\lambda}{r}$

বা, $E = \frac{1.5\times10^{-6}}{2\times3.14\times8.85\times10^{-12}\times2}$

$= 1.35\times10^{4}\ \text{NC}^{-1}$

এখানে,
তারের দৈর্ঘ্য, $l = 4\text{m}$
চার্জ, $q = 6\ \mu\text{C} = 6\times10^{-6}\ \text{C}$
দূরত্ব, $r = 2\text{m}$
$\in_0 = 8.85\times10^{-12}\ \text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$
$\lambda = ?$
$E = ?$

২। কোনো গোলকের অভ্যন্তরে শূন্য স্থানে অবস্থিত চার্জের জন্য গোলকের সমগ্র তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স হলো $5.6\times10^5\ \text{Nm}^2\text{C}^{-1}$। গোলকের অভ্যন্তরস্থ চার্জের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

গোলকের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত

মোট তড়িৎ ফ্লাক্স, $\varphi = \frac{1}{\in_0}q$

$\therefore \frac{1}{\in_0}q = 5.6\times10^5$

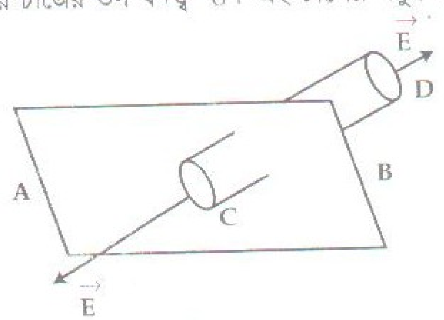
বা, $q = 5.65\times10^5\times\in_0$

$= 5.6\times10^5\times8.854\times10^{-12}$

$= 4.96\times10^{-8}\ \text{C}$

এখানে,
$\varphi = 5.6\times10^5\ \text{Nm}^2\text{C}^{-1}$
$\in_0 = 8.854\times10^{-12}\ \text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$
$q = ?$

৪। চার্জিত সমতল পরিবাহীর সন্নিকটে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : মনে করি, AB একটি চার্জিত সমতল পৃষ্ঠ। এর চার্জের তল ঘনত্ব σ। এই চার্জের দরুন নিকটবর্তী কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র E নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র ২.৩৪

সমতল পৃষ্ঠের উভয় দিকে দুটি বিন্দু C ও D বিবেচনা করি এবং এই দুই বিন্দু দিয়ে da প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি চোঙ কল্পনা করি [চিত্র ২.৩৪]। এখন C বিন্দুতে da ক্ষেত্রের উপর অভিলম্ব আবেশ হবে Eda এবং এটা বহির্মুখী। অনুরূপভাবে D বিন্দুতে da ক্ষেত্রের উপর অভিলম্ব আবেশ Eda এবং এটা বহির্মুখী হবে। আবার চোঙের বক্রপৃষ্ঠে অভিলম্ব আবেশ $\int\vec{E}.d\vec{a} = 0$। অতএব কাল্পনিক চোঙের উপর মোট অভিলম্ব আবেশ $= Eda + Eda = 2Eda$ এবং এর দিক বহির্মুখী। গাউসের সূত্রানুসারে পাই,

$$\oint\vec{E}.d\vec{a} = \frac{q}{\in_0}$$

বা, $Eda + Eda = \frac{\sigma da}{\in_0}$ $[\because q = \sigma da]$

সুতরাং মোট অভিলম্ব আবেশ,

$$2Eda = \frac{\sigma da}{\epsilon_0}$$

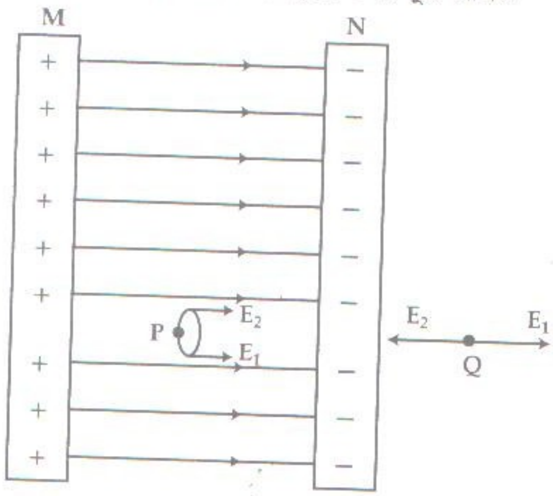
বা, $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ... ... (2.68)

ভেক্টর আকারে লিখে পাই,

$$\therefore \quad \vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}\hat{n}$$

যখন $\hat{n}$ প্রদত্ত সমতলের উপর বহির্মুখী লম্ব একক ভেক্টর। সমীকরণ (2.68) থেকে দেখা যায় যে, চার্জিত সমতলের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র দূরত্ব নিরপেক্ষ হয়।

৫। দুটি চার্জিত সমান্তরাল পাতের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : ধরা যাক, M ও N দুটি চার্জিত সমান্তরাল পরিবাহী [চিত্র ২.৩৫]। M পাত ধনচার্জে এবং N পাত ঋণচার্জে একই তল ঘনত্বে চার্জিত। এদের উভয়ের চার্জের তল ঘনত্ব σ। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো বিন্দু P-এর তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র ২.৩৫

এখন M পাতের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের মান হবে $E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ এবং এর দিক হবে MN বরাবর। আবার N পাতের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের মান $E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ হবে এবং N পাত ঋণচার্জে চার্জিত বলে E_2-এর দিক MN বরাবর হবে। অতএব, P বিন্দুতে মোট তড়িৎ ক্ষেত্রের মান হবে,

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$\therefore \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ... ... (2.69)

তড়িৎ ক্ষেত্রের দিক হবে M পাত হতে N পাতের দিকে অর্থাৎ ধনচার্জ হতে ঋণচার্জের দিকে।

পাতদ্বয়ের বাইরে কোনো বিন্দু Q-তে M ও N পাতের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্রের মান যথাক্রমে $E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ এবং $E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ হবে। কিন্তু এরা পরস্পর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করায় লব্ধি ক্ষেত্র শূন্য হবে। এর অর্থ হলো পাতদ্বয়ের বাইরে কোনো তড়িৎ ক্ষেত্র থাকবে না।

২.১০ কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা
Limitation of Coulomb's Law

১। কুলম্বের সূত্র কেবলমাত্র বিন্দু চার্জের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য অনিয়মিত আকৃতির চার্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে এ সূত্র প্রয়োগ করা যায় না। কেননা ঐ সমস্ত বস্তুর কেন্দ্র সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায় না।

২। চার্জযুক্ত বস্তু যাদের আকৃতি এদের মধ্যকার দূরত্বের চেয়ে অনেক ছোট, সেই সমস্ত চার্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র প্রযোজ্য। চার্জিত বস্তু বড় হলে তড়িৎ বলের উপর মহাকর্ষ বলের প্রভাব পড়বে।

৩। কুলম্বের সূত্র স্থির চার্জ বা চার্জ বিন্যাসের জন্য প্রযোজ্য। গতিশীল চার্জের ক্ষেত্রে সঠিকভাবে প্রয়োগ করা যায় না।

* দুটি চার্জের পারস্পরিক বলের সাথে চুম্বক এবং মহাকর্ষের অনুরূপ রাশিমালার সূত্রের সাদৃশ্য বিদ্যমান

৪। যখন চার্জিত কণাসমূহের বেগ আলোর বেগের কাছাকাছি হয়, তখন ঐ কণাসমূহের মধ্যে বিদ্যমান পারস্পরিক তড়িৎ চুম্বকীয় মিথস্ক্রিয়া কুলম্বের সূত্র দ্বারা ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয়।

৫। সদৃশ চার্জ (যেমন গোলাকার চার্জ) বিন্যাসের ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র প্রয়োগ করা দুরূহ।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{q_1q_2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$W = mg \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$E = \frac{W}{q} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$F = Eq \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$V = \frac{W}{q} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2} \text{ বা, } \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{q}{4\pi r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$P = q \times 2l \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{2P}{r^3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$C = \frac{Q}{V} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$K = \frac{F_0}{F} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{2M}{r^3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 kr \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots\ldots\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (16)$$

$$P.E. = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}Q \times V = \frac{B^2}{2C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (17)$$

$$U = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (18)$$

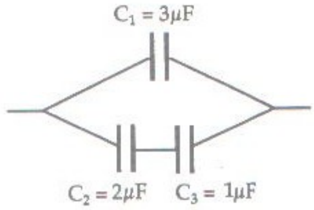
$$E = \frac{V}{d},\ W = VQ,\ E = \frac{-dV}{dr} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (19)$$

$$E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

$$= \frac{1}{\epsilon_0} q \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (20)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। সজীব একটি ইলেকট্রিক সার্কিটে তিনটি ধারক $3\mu F$, $2\mu F$ এবং $1\mu F$ ব্যবহার করে ধারকগুলোকে পার্শ্বের চিত্রের অনুরূপ যুক্ত করেছিল।



(ক) উদ্দীপকে উল্লেখিত ব্যবস্থাটির তুল্য ধারকত্ব কত ?

(খ) উক্ত ধারকগুলিকে কীভাবে ব্যবহার করলে কমপক্ষে $4\mu F$ ধারকত্ব পাওয়া যাবে, তা গাণিতিক বিশ্লেষণ করে ব্যাখ্যা কর।

(ক) ধরি, $C_1 = 3\,\mu F$
$C_2 = 2\,\mu F$
$C_3 = 1\,\mu F$

যেহেতু C_2 এবং C_3 শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত কাজেই এদের তুল্য ধারকত্ব

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{2} + \frac{1}{1} = \frac{1+2}{2} = \frac{3}{2}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{C_s} = \frac{3}{2}$$

$$\therefore \quad C_s = \frac{2}{3}\mu F$$

এখন এই C_s পুনরায় $3\mu F$ এর সাথে সমান্তরালে যুক্ত কাজেই তুল্য ধারকত্ব

$$C_s = \frac{2}{3} + 3 = \frac{2+9}{3} = \frac{11}{3}\mu F$$

(খ) শ্রেণিতে 3টি ধারকের তুল্য ধারকত্ব

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} = \frac{2+3+6}{6} = \frac{11}{6}$$

$$\therefore \ C_p = \frac{6}{11}\mu F$$

সমান্তরালে তুল্য ধারকত্ব $C_p = C_1 + C_2 + C_3 = 3 + 2 + 1 = 6\,\mu F$

$6\mu F > \frac{6}{11}\mu F$, গাণিতিক বিশ্লেষণ করে দেখা যায় ধারক 3টিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে হবে।

২। নোহার নিকট তামার দুই জোড়া পাতলা পাত আছে। এক জোড়ার ক্ষেত্রফল অপর জোড়ার অর্ধেক। সে দুটি পাতের মধ্যে বায়ু রেখে প্রত্যেক জোড়া পাত দিয়ে সমান্তরাল ধারক তৈরি করল। রীমা বলল, পাতগুলো যেভাবেই বসানো হোক না কেন ধারক দুটির ধারকত্ব কখনই সমান হবে না। প্রথম ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল $8\ cm^2$.
[দি. বো. ২০১৫]

(ক) প্রথম ধারকে 40C চার্জ দেওয়া হলে পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে তড়িৎ প্রাবল্য কত হবে ?

(খ) নোহা ধারকের পাতগুলি কীভাবে স্থাপন করলে রীমার উক্তটি সঠিক হবে ?

(ক) আমরা জানি,

প্রাবল্য, $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

$$\therefore \quad E = \frac{5 \times 10^{-4}\ cm^{-2}}{8.854 \times 10{-}12\ C^2N^{-1}m^{-2}} = 5.647 \times 10^{15}\ CN^{-1}$$

এখানে,

$$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{40\ C}{8 \times 10^{-4}\,m^2} = 5 \times 10^{-4}\ cm^{-2}$$

(খ) প্রথম ধারকের ক্ষেত্রফল A_1 এবং দ্বিতীয় ধারকের ক্ষেত্রফল $A_2 = \frac{A_1}{2}$

প্রথম ধারকের ধারকত্ব, $C_1 = \frac{\epsilon_0 A_1}{d_1}$, দ্বিতীয় ধারকের ধারকত্ব, $C_2 = \frac{\epsilon_0 A_2}{d_2}$

ধারক দুটির ধারকত্ব সমান হলে, $C_1 = C_2$ হবে।

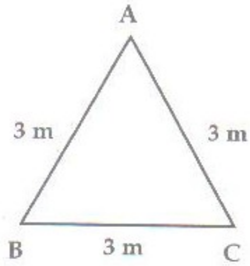
$$\frac{\epsilon_0 A_1}{d_1} = \frac{\epsilon_0 A_2}{d_2}$$

বা, $\frac{d_1}{d_2} = \frac{A_2}{A_1}$ বা, $\frac{A_1/L}{A_1} = \frac{1}{2}$

$$\therefore \quad d_2 = \frac{d_1}{2}$$

সুতরাং যে ধারকের ক্ষেত্রফল কম, সে ধারকের ক্ষেত্রে পাতদ্বয়ের দূরত্ব অপর ধারকের তুলনায় অর্ধেক হলে ধারকদ্বয়ের ধারকত্ব সমান হবে এবং রীমার উক্তিটি সঠিক হবে।

৩। প্রথমে ত্রিভুজের A বিন্দুতে 250 কুলম্ব চার্জ রাখা হলো। পরবর্তীতে B বিন্দুতে —250 কুলম্ব চার্জ রাখা হলো।



(ক) প্রথম ক্ষেত্রে C বিন্দুতে বিভব কত হবে ?

(খ) B বিন্দুতে চার্জ রাখার পূর্বে ও পরে C বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) প্রথম ক্ষেত্রে C বিন্দুর বিভব

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} = 9 \times 10^9 \times \frac{250}{3} = 7{\cdot}5 \times 10^{11}\ V$$

(খ) B বিন্দুতে চার্জ রাখার পূর্বে C বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{250}{(3)^2} = 2{\cdot}5 \times 10^{11}\ NC^{-1}$$

B বিন্দুতে চার্জ রাখার পর C বিন্দুর প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{-250}{(3)^2} = -2{\cdot}5 \times 10^{11}\ NC^{-1}$$ (—চিহ্ন আকর্ষণধর্মী বুঝায়)

E_1 ও E_2 এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 180° - 60° = 120°$

B বিন্দুতে চার্জ রাখার পর C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos 120°}$$

$$= 2{\cdot}5 \times 10^{11}\sqrt{1 + 1 + 2 \times \left(-\frac{1}{2}\right)} = 2{\cdot}5 \times 10^{11}\ NC^{-1}$$

বি.দ্র. C বিন্দুতে প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

A বিন্দুর চার্জের জন্য C বিন্দুর প্রাবল্য, $E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{250}{(3)^2}$

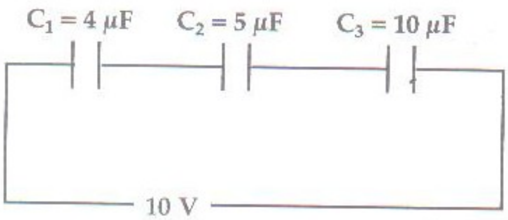
B বিন্দুর চার্জের জন্য C বিন্দুর প্রাবল্য, $E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{250}{(3)^2}$

E_1 ও E_2 এর মধ্যবর্তী কোণ, $\theta = 60°$

$\therefore$ C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\theta}\ NC^{-1}$

দিক : C বিন্দুতে প্রাবল্যের দিক C হতে AB এর ওপর লম্বের বিপরীত দিকে।

৪।



(ক) উদ্দীপকে উল্লেখিত ধারকগুলোকে যদি সমান্তরাল সমবায়ে সাজানো হয় তাহলে শ্রেণি সমবায়ে সঞ্চিত তুল্য ধারকত্বের সাথে কী পরিবর্তন ঘটবে ?

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত ধারকগুলোর পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে নতুন ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তি ধারকগুলোতে সঞ্চিত বিভব শক্তির সমষ্টির সাথে কিরূপ পরিবর্তন হবে ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) শ্রেণি সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব,

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

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{5+4+2}{20} = \frac{11}{20}$$

$$\therefore\ C_s = \frac{20}{11} = 1{\cdot}8\ \mu F = 1{\cdot}8 \times 10^{-6}\ F$$

সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব $C_p = C_1 + C_2 + C_3 = 4 + 5 + 10 = 19\ \mu F = 19 \times 10^{-6}\ F$

$\therefore$ সমান্তরাল সমবায়ে সাজালে তুল্য ধারকত্ব শ্রেণি সমবায়ে সজ্জিত তুল্য ধারকত্বের 10.55 গুণ হবে। চার্জের মান Q ধরলে, এই চার্জ তুল্য ধারকের যে কোনো পাতের চার্জের সমান হবে।

(খ) ধারকগুলো শ্রেণিতে যুক্ত থাকায় প্রতিটি ধারকে চার্জের মান সমান হবে। এই চার্জের মান Q ধরলে, এই চার্জ তুল্য ধারকের যে কোনো পাতের চার্জের সমান হবে।

তুল্য ধারকের ক্ষেত্রে $Q = C_s \times V = \frac{20}{11} \times 10 = 18.18\ \mu C = 18.18 \times 10^{-6}\ C$

প্রথম ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তি, $U_1 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_1} = \frac{1}{2} \times \frac{(18.18)^2 \times 10^{-12}}{4 \times 10^{-6}} = 4.131 \times 10^{-5}\ J$

দ্বিতীয় ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তি, $U_2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_2} = \frac{1}{2} \times \frac{(18.18)^2 \times 10^{-12}}{5 \times 10^{-6}} = 3.305 \times 10^{-5}\ J$

তৃতীয় ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তি, $U_3 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_3} = \frac{1}{2} \times \frac{(18.18)^2 \times 10^{-12}}{10 \times 10^{-6}} = 1.653 \times 10^{-5}\ J$

সুতরাং তিনটি ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তির সমষ্টি,

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = (4.131 + 3.305 + 1.653) \times 10^{-5}\ J$$
$$= 9.09 \times 10^{-5}\ J$$

উদ্দীপকে উল্লেখিত 3টি ধারকের পরিবর্তে 1টি মাত্র ধারক ব্যবহার করা হলে সঞ্চিত শক্তি

$$U' = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_s} = \frac{1}{2}\frac{(18.18 \times 10^{-6})^2}{1.8 \times 10^{-6}} = 9.09 \times 10^{-5}\ J$$

সুতরাং উদ্দীপকে বর্ণিত ধারকগুলোর পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে সঞ্চিত শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে না।

৫। A গোলকে 30×10^{-6} C এবং B গোলকে -60×10^{-6} C চার্জ প্রদান করে বায়ু মাধ্যমে 1.4 m দূরে স্থাপন করলে গোলক দুটির বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

(ক) গোলকদ্বয়ের সংযোগরেখার ঠিক মধ্যস্থলে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে গোলকের আধানের মান অপরিবর্তিত রেখে এদের মধ্যকার দূরত্ব 100 cm করলে এদের মধ্যবিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) গোলকদ্বয়ের সংযোগরেখার ঠিক মধ্যস্থলে লব্ধি তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = E_1 + E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{d^2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{d^2}$$
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 d^2}[q_1 + q_2] = 9 \times 10^9 \times \frac{1}{(0.7)^2}(30 + 60) \times 10^{-6}$$
$$= 1.65 \times 10^6\ NC^{-1}$$

(খ) উদ্দীপকের গোলক দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 100 cm = 1 m হলে যে কোনো গোলক হতে মধ্যবিন্দুর দূরত্ব,

$$d = \frac{1\,m}{2} = 0.5\ m$$

$\therefore$ 30×10^{-6} C চার্জের জন্য প্রাবল্য, $E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{30 \times 10^{-6}}{(0.5)^2}\ NC^{-1}$

আবার, -60×10^{-6} C চার্জের জন্য প্রাবল্য, $E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{60 \times 10^{-6}}{(0.5)^2}\ NC^{-1}$

লব্ধি প্রাবল্য, $E' = E_1 + E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{1}{(0.5)^2}[30 + 60] \times 10^{-6}\ NC^{-1}$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{1}{2.5} \times 90 \times 10^{-6}$$

$\therefore$ $E' = 3.24 \times 10^6\ NC^{-1}$

যেহেতু $E' > E_1$, কাজেই তড়িৎ প্রাবল্যের মান বৃদ্ধি পাবে।

সার-সংক্ষেপ

কুলম্বের সূত্র	:	কোনো নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল চার্জ দুটির গুণফলের সমানুপাতিক এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক। এই বল চার্জ দুটির সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।
তড়িৎ বলরেখা	:	তড়িৎ ক্ষেত্রে বাধামুক্ত এবং বিচ্ছিন্ন কোনো তড়িৎ আধান রাখলে আধানটি যে পথে গমন করে সেই পথকে তড়িৎ বলরেখা বলা হয়। উক্ত রেখার যে কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লব্ধি বলের বা প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে।
তড়িৎ ফ্লাক্স	:	কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি তল কল্পনা করলে ঐ তলের মধ্যদিয়ে লম্বভাবে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যাকে তড়িৎ ফ্লাক্স বলে।
গাউসের সূত্র	:	কোনো বন্ধতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত মোট তড়িৎ ফ্লাক্স ওই তলের অভ্যন্তরে অবস্থিত মোট তড়িৎ আধানের $\frac{1}{\epsilon_0}$ গুণ।
তড়িৎ দ্বিমেরু	:	সমপরিমাণ এবং বিপরীতধর্মী দুটি বিন্দু তড়িৎ আধান ক্ষুদ্র দূরত্বের ব্যবধানে যে সংস্থা গঠন করে তাকে তড়িৎ দ্বিমেরু বলা হয়।
দ্বিমেরু ভ্রামক	:	তড়িৎ দ্বিমেরুর যে কোনো একটি আধানের পরিমাণ ও আধান দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফল হলো দ্বিমেরু ভ্রামকের পরিমাণ। এর অভিমুখ ঋণাত্মক আধান হতে ধনাত্মক আধানের দিকে।
গাউসীয় তল	:	যে কোনো বন্ধতল যা পৃষ্ঠ সমাকলনের জন্য নেয়া হয় তাকে গাউসীয় তল বলা হয়। এই তলের প্রতিটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান এবং তড়িৎ ফ্লাক্স তলের উপর লম্ব হয়।
ইলেকট্রন ভোল্ট	:	একটি ইলেকট্রনের আধানের সমপরিমাণ আধানবিশিষ্ট কোনো কণা এক ভোল্ট বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে গেলে যে পরিমাণ কার্য সম্পাদিত হয়, তাকে এক ইলেকট্রন ভোল্ট বলা হয়।
বিভব পার্থক্য	:	একটি একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ ক্ষেত্রের এক বিন্দু থেকে অপর বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয়, তা ওই বিন্দু দুটির মধ্যের বিভব পার্থক্য।
ডাইইলেকট্রিক	:	যে সমস্ত পদার্থের মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না এবং এদের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় না; কিন্তু তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপন করলে পৃষ্ঠতলে আবিষ্ট আধানের সৃষ্টি হয়, তাদেরকে ডাইইলেকট্রিক বা পরাবিদ্যুৎ বলে।
ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক	:	দুটি নির্দিষ্ট বিন্দু চার্জ একই দূরত্বে থাকলে শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল এবং একই দূরত্বের অন্য কোনো মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের অনুপাতকে ডাইইলেকট্রিক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলে।
1 ফ্যারাড	:	কোনো পরিবাহীর বিভব এক ভোল্ট বৃদ্ধি করতে যদি 1 কুলম্ব চার্জের প্রয়োজন হয়, তবে তার ধারকত্বকে 1 ফ্যারাড বলে।
1 কুলম্ব চার্জ	:	দুটি সমধর্মী এবং সম-পরিমাণ বিন্দু চার্জ শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে 1 মিটার দূরে থেকে 9×10^9 নিউটন বল দ্বারা বিকর্ষণ করলে তাদের প্রত্যেককে 1 কুলম্ব চার্জ বলে।
তড়িৎ ক্ষেত্র	:	কোনো একটি চার্জিত বস্তু তার চারদিকে যে অঞ্চল ব্যাপী তার প্রভাব বিস্তার করে তাকে ঐ চার্জের তড়িৎ ক্ষেত্র বলে।
তড়িৎ প্রাবল্য	:	তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ধন চার্জের উপর যে পরিমাণ বল প্রযুক্ত হয় তাকে উক্ত ক্ষেত্রের ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য বলে। এটা একটি দিক রাশি।
তড়িৎ বিভব	:	অসীম দূরত্ব হতে একক ধন চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয়, তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে। এটা একটি অদিক রাশি।
সমবিভব তল	:	যে চার্জিত তলের প্রতিটি বিন্দুর বিভব সমান তাকে সমবিভব তল বলে।
ধারকত্ব	:	কোনো একটি পরিবাহীর বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধিতে প্রয়োজনীয় চার্জের পরিমাণকে তার ধারকত্ব বলে। একে C দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।
তুল্য ধারকত্ব	:	একাধিক ধারকের শ্রেণি বা সমান্তরাল সংযোজনের পরিবর্তে সংযোজনের সমতুল্য মানের একটি ধারকের ধারকত্বকে তুল্য ধারকত্ব বলে।
ধারক	:	যে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ায় কোনো একটি পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি করা যায়, তাকে ধারক বলে বা পরিবাহীতে চার্জ সঞ্চিত রাখার যান্ত্রিক প্রক্রিয়াকে ধারক বলে।
ধারকের সংযোজন	:	সুবিধামতো ধারকত্ব লাভের জন্য ধারকগুলোকে দুই ভাবে সংযোজন করা যায়; যথা—(১) শ্রেণি বা সারিবন্ধ সংযোজন ও (২) সমান্তরাল সংযোজন।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সারসংক্ষেপ

১। কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য 5.57×10^{-11} NC^{-1} হলে সেখানে একটি ইলেকট্রন তার ওজনের সমান বল অনুভব করবে।

২। চার্জিত গোলাকার পরিবাহী কর্তৃক সৃষ্ট সমবিভব তলগুলো তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সাথে সমকোণী হয় এবং একই মানের বিভব সম্পন্ন বহুসংখ্যক বিন্দু দিয়ে গঠিত।

৩। দুটি চার্জিত বস্তুর একটি হতে অপরটিতে চার্জের আদান-প্রদান বস্তু দুটির বিভবের ওপর এবং মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রনের ঘনত্বের ওপর নির্ভর করে।

৪। গোলকের ভেতরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হয়। আবার পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরা হয়।

৫। তড়িৎ বলরেখা চার্জিত পরিবাহীর পৃষ্ঠের সাথে $90°$ কোণে অবস্থান করে।

৬। সমবিভব তলে কোনো চার্জ প্রবাহিত হয় না।

৭। তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ প্রাবল্য পরস্পর সমানুপাতিক।

৮। দূরত্বের সাথে তড়িৎ বিভব হ্রাস পায়।

৯। তড়িৎ ক্ষেত্র এবং তলের অভিলম্ব যখন সমকোণে থাকে তখন ফ্লাক্স শূন্য হয়।

১০। কোনো বস্তুতে মোট চার্জ $q = n$C।

১১। প্রকৃতিতে ন্যূনতম চার্জের পরিমাণ 1.60218×10^{-19} C।

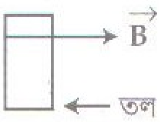
১২। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি।

১৩। শূন্য মাধ্যমে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান 1।

১৪। $1\mu F = 10^{-6}$ F, $1\,nF = 10^{-9}$ F, $1\,pf = 10^{-12}$ F।

১৫। কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব এবং ব্যাসার্ধের অনুপাতকে 4π দ্বারা ভাগ করলে বৈদ্যুতিক ভেদনযোগ্যতা পাওয়া যায়।

১৬। আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা সবচেয়ে বেশি প্লাস্টিকের।

১৭। 

এই ক্ষেত্রে ফ্লাক্স সর্বাধিক।

১৮। সবচেয়ে বেশি চার্জ থাকে চার্জিত বস্তুর উত্তল তলে।

১৯। তড়িৎ দ্বিমেরু লম্ব দ্বিখণ্ডক রেখার যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য।

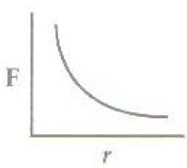
২০। $\vec{P}$ ভ্রামকবিশিষ্ট একটি তড়িৎ দ্বিমেরু $\vec{E}$ প্রাবল্যের একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে ঝুলানো আছে। এর উপর প্রযুক্ত টর্ক, $\vec{P} \times \vec{E}$।

২১। ইলেকট্রন ভোল্ট হলো বৈদ্যুতিক ক্ষমতার একক।

২২। দুটি সমান ধারকত্বকে শ্রেণিতে এবং পরে সমান্তরালে যুক্ত করা হলে শ্রেণি ও সমান্তরাল তুল্য ধারকত্বের অনুপাত হবে 1 : 4।

২৩। তড়িৎ ক্ষেত্রের মান নির্ণয় করা যায়—অ্যাম্পিয়ারের এবং গাউসের সূত্র থেকে।

২৪। দুটি ইলেকট্রনকে পরস্পর থেকে দূরে সরিয়ে নিলে দূরত্বের সাথে বলের পরিবর্তনের লেখচিত্র হবে—



২৫। দুটি চার্জের মধ্যবর্তী দূরত্ব তিনগুণ করা হলে বল $\frac{1}{9}$ গুণ হবে।

২৬। আধান ও বিভবের গুণফলের একক জুল।

২৭। বিভব পার্থক্য স্থির থাকলে, একটি চার্জিত ধারকের শক্তি তার চার্জের সমানুপাতিক।

২৮। বিন্দু আধানের জন্য তড়িৎ বিভব দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

২৯। ধারকত্ব দ্বিগুণ হবে যখন দুটি পাতের মধ্যবর্তী দূরত্ব অর্ধেক করা হয়।

৩০। যে আধানের প্রভাবে তড়িৎ আবেশ ঘটে তাকে আবেশী আধান বলে।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। দুটি আধানের মধ্যবর্তী দূরত্ব তিনগুণ করা হলে বল কতগুণ হবে ?

ⓚ $\frac{1}{9}$

ⓚh 9

ⓖ $\frac{1}{3}$

ⓖh 3

২। কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র—

(i) নিরবচ্ছিন্ন, যদি ওই বিন্দুতে কোনো আধান না থাকে

(ii) বিচ্ছিন্ন, যদি ওই বিন্দুতে কেবলমাত্র কোনো ধনাত্মক আধান থাকে

(iii) বিচ্ছিন্ন, যদি ওই বিন্দুতে কোনো আধান থাকে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓚh i ও iii

ⓖ ii ও iii

ⓖh i, ii ও iii

৩। কোনো তলের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স সর্বাধিক হয় যদি ওই তলের অভিলম্বের সাথে বলরেখার কোণ হয়—

ⓚ 0°

ⓚh 45°

ⓖ 90°

ⓖh 135°

৪। সুষমভাবে আহিত ফাঁপা গোলকের জন্য তার কেন্দ্র থেকে r দূরত্বে ($r > R$) তড়িৎ প্রাবল্য হলো—

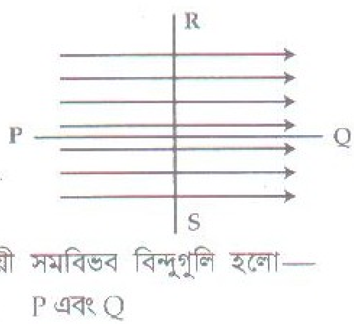
ⓚ $E \propto r$

ⓚh $E \propto \frac{1}{r}$

ⓖ $E \propto \frac{1}{r^2}$

ⓖh $E \propto r^2$

৫।



চিত্র অনুযায়ী সমবিভব বিন্দুগুলি হলো—

ⓚ P এবং Q

ⓚh S এবং Q

ⓖ S এবং R

ⓖh P এবং R

৬। আধানের কোয়ান্টায়নের ক্ষেত্রে কোনটি সত্য—

(i) কোনো বস্তুতে আধানের মান নিরবিচ্ছিন্ন মানের

(ii) কোনো বস্তুতে মোট আধানের পরিমাণ ইলেকট্রনের আধানের গুণিতক হবে

(iii) কোনো বস্তুতে আধান বিচ্ছিন্ন মানের

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓚh ii ও iii

ⓖ i ও iii

ⓖh i, ii ও iii

৭। যখন একটি বস্তুর সঙ্গে পৃথিবীর সংযোগ ঘটানো হয় তখন পৃথিবী থেকে বস্তুটিতে ইলেকট্রন যায়। এর অর্থ হলো বস্তুটি—

ⓚ ঋণাত্মক আধানে আহিত

ⓚh অন্তরক

ⓖ অনাহিত

ⓖh ধনাত্মক আধানে আহিত

৮। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক—

(i) একটি ভেক্টর রাশি

(ii) অভিমুখ ঋণাত্মক আধান হতে ধনাত্মক আধানের দিকে

(iii) এর একক cm^2

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓚh ii ও iii

ⓖ i ও iii

ⓖh i, ii ও iii

৯। একটি অর্ধগোলক সুষমভাবে ধনাত্মক আধানে আহিত। অর্ধগোলকটির কেন্দ্রে তড়িৎ প্রাবল্য হলো-

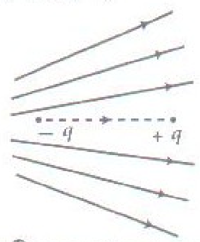
ⓚ ব্যাসের উপর লম্ব

ⓚh ব্যাসের সঙ্গে সমান্তরাল

ⓖ ব্যাসের সঙ্গে তির্যকভাবে আনত এবং অর্ধ গোলক অভিমুখী

ⓖh ব্যাসের সঙ্গে তির্যকভাবে আনত এবং অর্ধ গোলক থেকে বাইরের দিকে

১০। চিত্রে একটি তড়িৎ ক্ষেত্রের বলরেখা দেখানো হয়েছে। ওই ক্ষেত্রে একটি দ্বিমেরু রাখা হয়েছে। নিচের কোনটি সঠিক ?



ⓚ দ্বিমেরুটি কোনো বল অনুভব করবে না

ⓚh দ্বিমেরুটি ডানদিকে একটি বল অনুভব করবে

ⓖ দ্বিমেরুটি বামদিকে বল অনুভব করবে

ⓖh দ্বিমেরুটি উপরের দিকে বল অনুভব করবে

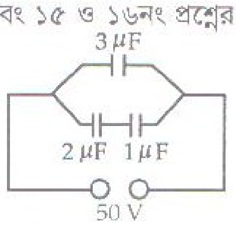
১১। যদি কোনো তলে $\oint \vec{E}.d\vec{S} = 0$ হয়, তবে
(i) ওই তলের ভেতরে তড়িৎক্ষেত্র সুষম
(ii) ওই তলে যতগুলি তড়িৎ ফ্লাক্স প্রবেশ করে, ঠিক ততগুলি তড়িৎ ফ্লাক্স নির্গত হয়
(iii) সমস্ত আধানগুলি তলের বাইরে অবস্থিত
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

১২। একটি আধান Q-কে কেন্দ্র করে R ব্যাসার্ধের একটি গোলীয় গাউসীয় তল কল্পনা করা হলো। ব্যাসার্ধ দ্বিগুণ করা হলে বহির্মুখী তড়িৎ ফ্লাক্স—
ক চারগুণ বৃদ্ধি পাবে
খ অর্ধেক হবে
গ একই থাকবে
ঘ দ্বিগুণ হবে

১৩। ধারকের ক্ষেত্রে কোনটি সঠিক ?
ক $W = \frac{1}{2}\frac{Q}{C}$
খ $W = \frac{1}{2}CI^2$
গ $W = \frac{1}{2}VC^2$
ঘ $W = \frac{1}{2}CV^2$

১৪। সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব নির্ভর করে—
(i) পাতের ক্ষেত্রফলের ওপর
(ii) পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের ওপর
(iii) পাতের উপাদানের ওপর
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

চিত্রটি লক্ষ কর এবং ১৫ ও ১৬নং প্রশ্নের উত্তর দাও :



বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব—
ক 3·66 μF
খ 6 μF
গ 6·67 μF
ঘ $\frac{2}{3}$ μF

সবগুলো ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব হবে—
ক 3·66 μF
খ 6 μF
গ 10 μF
ঘ 0

১৭। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল 0·04 m^2। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·002 m এবং বিভব পার্থক্য 60V। ধারকের একক আয়তনে সঞ্চিত বিভব শক্তি কত জুল ? [দি. বো. ২০১৫]
ক $3·18 \times 10^{-7}$
খ 251·57
গ 0·004
ঘ 2·52

১৮। 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

১৯। একটি সমান্তরাল পাত ধারককে চার্জিত করার ফলে এর পাত দুইটির মধ্যে বিভব পার্থক্য হয় V। ধারকটির সঞ্চিত শক্তি দ্বিগুণ করার জন্য বিভব পার্থক্য কত হবে ?
ক $\frac{1}{4}$ V
খ $\frac{1}{2}$ V
গ $\sqrt{2}$ V
ঘ 2 V

২০। সমান্তরাল পাত ধারকের দুই পাতের মধ্যে ডাই-ইলেকট্রিক দ্বারা পূর্ণ করায় ধারকত্ব 5μF থেকে বেড়ে 60μF হয়। ডাইইলেকট্রিকের ডাই-ইলেকট্রিক (পরাবৈদ্যুতিক) ধ্রুবকের মান হবে—
ক 65
খ 55
গ 12
ঘ 10

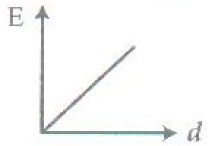
২১। পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের একক হলো—
(i) $C^2N^{-1}m^{-2}$
(ii) Nkg^2m^2
(iii) Fm^{-1}
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

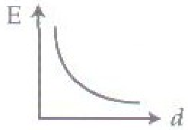
২২। একটি সমান্তরাল পাত ধারককে আহিত করার পর ব্যাটারি থেকে বিযুক্ত করা হলো, যদি ধারকের পাত দুটি একটি অন্তরক হাতল দ্বারা দূরে সরানো হয় তবে—
ক ধারকের আধান বৃদ্ধি পাবে
খ পাত দুটির বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি পাবে
গ ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে
ঘ ধারকে সঞ্চিত শক্তি হ্রাস পাবে

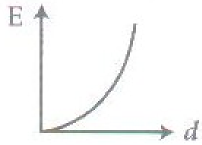
২৩। তিনটি একই ধরনের ধারক প্রত্যেকটির মান C শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো এবং সমবায়টিকে অপর একটি একই ধরনের ধারকের সঙ্গে সমান্তরালভাবে যুক্ত করা হলো। সমগ্র সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব—

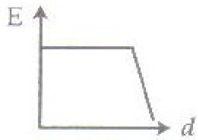
ⓚ $3C$
ⓚ $\frac{4}{3}C$
ⓖ $\frac{3}{4}C$
ⓖ $2C$

২৪। নিচের কোন লেখচিত্রটি তড়িৎ প্রাবল্য এবং দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে ?

ⓚ 

ⓚ 

ⓖ 

ⓖ 

২৫। ইলেকট্রন ভোল্ট (1 eV) হলো—
ⓚ 1.6×10^{-9} J
ⓚ 1.6×10^{9} J
ⓖ 1.6×10^{-19} J
ⓖ 1.6×10^{19} J

২৬। বিভব পার্থক্য স্থির থাকলে একটি চার্জের ধারকের শক্তি তার চার্জের— [চ. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৫]
ⓚ ব্যস্তানুপাতিক
ⓚ সমানুপাতিক
ⓖ বর্গের ব্যস্তানুপাতিক
ⓖ বর্গমূলের সমানুপাতিক

২৭। একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর চার্জ দুটির পরিমাণ কত হবে? [চ. বো. ২০১৫]
ⓚ 2×10^{-19} C ও 8×10^{-19} C
ⓚ 6×10^{-19} C ও 4×10^{19} C
ⓖ 5×10^{-19} C ও -5×10^{-19} C
ⓖ 3×10^{-19} C ও 7×10^{-19} C

২৮। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল $0.04\ m^2$। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.002 m এবং বিভব পার্থক্য 60 V। ধারকের একক আয়তনে সঞ্চিত বিভব শক্তি কত জুল ? [দি. বো. ২০১৫]
ⓚ 1.2×10^{13} V
ⓚ 3.6×10^{13} V
ⓖ 8×10^{13} V
ⓖ 7.2×10^{14} V

২৯। একটি দ্বিপোলের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য কীরূপে পরিবর্তিত হয় ? [সি. বো. ২০১৫]
ⓚ r^{-1}
ⓚ r^{-2}
ⓖ r^{-3}
ⓖ r^{-4}

৩০। আধান ও বিভবের গুণফলের একক কী ? [সি. বো. ২০১৫]
ⓚ জুল
ⓚ ভোল্ট
ⓖ ফ্যারাড
ⓖ হেনরি

উত্তর :

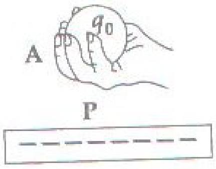
১। ক	২। খ	৩। ক	৪। গ	৫। গ	৬। খ	৭। ঘ	৮। ক	৯। ক	১০। গ
১১। গ	১২। গ	১৩। ঘ	১৪। ক	১৫। ক	১৬। খ	১৭। গ	১৮। ক	১৯। গ	২০। গ
২১। গ	২২। খ	২৩। খ	২৪। খ	২৫। গ	২৬। খ	২৭। গ	২৮। ক	২৯। গ	৩০। ক

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। পাশের চিত্রে q_1 এবং q_2 দুটি বিন্দু চার্জ পরস্পর হতে r দূরত্বে অবস্থিত। এরা পরস্পরের উপর F পরিমাণ বল প্রয়োগ করে। এখানে, $q_1 = q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $r = 4 \times 10^{-15}$ m।

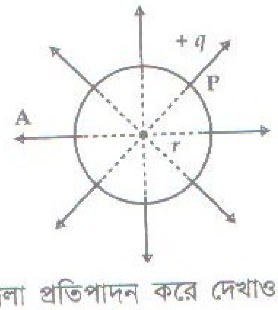
(ক) বিন্দু চার্জ কী ?
(খ) কোনো গোলকের অভ্যন্তরে যে কোনো বিন্দুর বিভব পৃষ্ঠের বিভবের সমান হয় কেন ?
(গ) উদ্দীপকের চিত্রের ডাটা থেকে চার্জদ্বয়ের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়াশীল বলের মান বের কর।
(ঘ) চার্জদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব অর্ধেক হলে ক্রিয়াশীল বলের পরিবর্তন গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

২। মাহিরের হাতে একটি চার্জিত বল $+q_0$ রয়েছে। ঐ চার্জিত বলের কেন্দ্র হতে r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য E। এখানে $+q_0 = 1{\cdot}6 \times 10^{-8}$ C, $r = 0{\cdot}15$ m।



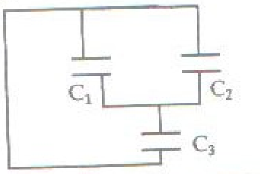
(ক) তড়িৎ ফ্লাক্স কী?
(খ) তড়িৎ ক্ষেত্র বলতে কী বোঝায় ?
(গ) উদ্দীপকের ডাটা ব্যবহার করে মাহির কীভাবে P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান নির্ণয় করবে ?
(ঘ) উদ্দীপকের চিত্রের আলোকে P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান তড়িৎ বিভবের সাথে কীভাবে সম্পর্কযুক্ত গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৩। পাশের চিত্রে A একটি গোলক। এর ব্যাসার্ধ $r = 2$cm। গোলকে $+q = 4 \times 10^{-6}$ coul চার্জ প্রদান করা হলো।



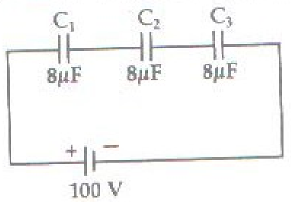
(ক) চার্জ কী ?
(খ) তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ প্রাবল্যের মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।
(গ) উদ্দীপকের চিত্রের আলোকে গোলকের পৃষ্ঠে P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।
(ঘ) উদ্দীপকের চিত্রের সাহায্যে গোলকের পৃষ্ঠে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা প্রতিপাদন করে দেখাও যে গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান—উক্তিটি গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৪। পাশের চিত্রে তিনটি ধারককে বিভিন্ন সজ্জায় দেখানো হয়েছে। এদের প্রথম ও দ্বিতীয়টি সমান্তরালে রেখে তৃতীয়টির সাথে শ্রেণিতে সংযুক্ত করা হলো। এখানে, $C_1 = 3$mF, $C_2 = 4$mF এবং $C_3 = 2$mF।



(ক) ধারকত্ব কী ?
(খ) তুল্য ধারকত্ব বলতে কী বোঝায় ?
(গ) উদ্দীপকের চিত্র অনুসারে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।
(ঘ) উপরের বর্তনী চিত্রে C_1 ও C_2 ধারকদ্বয় শ্রেণি সমন্বয়ে যুক্ত করলে সঞ্চিত শক্তি পূর্বের তুলনায় কত কম বা বেশি হবে ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৫।



(ক) তড়িৎ দ্বিমেরু কাকে বলে ?
(খ) ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?
(গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত ধারক সমবায়ের জন্য প্রতিটি ধারকে সঞ্চিত চার্জের পরিমাণ কত ?
(ঘ) সর্বাধিক শক্তি সঞ্চয়ের জন্য উপরের সমবায়টি কী যথার্থ ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর।
[ব. বো. ২০১৫]

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। কুলম্বের সূত্র বিবৃত কর। এ থেকে একক চার্জের সংজ্ঞা দাও।
২। ক্ষেত্রতত্ত্বটি লিখ।
৩। দুটি বিন্দু আধানের মধ্যে পারস্পরিক বল সংক্রান্ত কুলম্বের সূত্রটি বিবৃত কর।
৪। 1 কুলম্বের সংজ্ঞা দাও।
৫। কোনো মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলতে কী বোঝ ?
৬। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলতে কী বোঝ ?
৭। তড়িৎ ক্ষেত্রের সংজ্ঞা দাও।
৮। পরাবিদ্যুৎ কী ?
৯। সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বলতে কী বোঝায় ?
১০। তড়িৎ ফ্লাক্স কাকে বলে ?
১১। কী অবস্থায় তড়িৎ ফ্লাক্স ধনাত্মক ও ঋণাত্মক হয় ?
১২। তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে বিভবের সংজ্ঞা দাও।

১৩। একটি স্থির আধানের জন্য যে কোনো বিন্দুতে উৎপন্ন তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।
১৪। একটি বিন্দু আধান $+q$ থেকে r দূরত্বে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
১৫। SI-তে তড়িৎ প্রাবল্যের একক N/C-কে $\frac{V}{m}$ এককে প্রকাশ কর।
১৬। তড়িৎ বলরেখার সংজ্ঞা দাও।
১৭। দুটি তড়িৎ বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করে না—ব্যাখ্যা কর।
১৮। দুটি $+q$ মানের বিন্দু আধান বায়ুতে r দূরত্বে রয়েছে। তড়িৎ বলরেখাগুলো অঙ্কন কর।
১৯। তড়িৎ ক্ষেত্র উদাসীন বিন্দু বলতে কী বোঝ ? তড়িৎ ক্ষেত্রে এ ধরনের কোনো বিন্দু থাকে কী ?
২০। তড়িৎ বলরেখার ধর্মসমূহ বিবৃত কর।
২১। তড়িৎক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য বলতে কী বোঝ ?
২২। 1 V বিভব পার্থক্য বলতে কী বোঝ ?
২৩। যে কোনো একটি আধানের ওপর বহু সংখ্যক আধান কর্তৃক ক্রিয়াশীল লব্ধি বলের মান নির্ণয়ের জন্য উপরিপাতের নীতিটি বিবৃত কর এবং ব্যাখ্যা কর।
২৪। পৃথিবীর বিভব শূন্য—এই উক্তির ব্যাখ্যা কর।
২৫। দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য তাদের সংযোগকারী পথের উপরে নির্ভর করে না ? —ব্যাখ্যা কর।
২৬। একটি বিন্দু আধান $+q$ থেকে r দূরত্বে বিভব নির্ণয় কর। আধানটিকে K পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকবিশিষ্ট একটি মাধ্যমে রাখলে বিভবের কী পরিবর্তন লক্ষ করা যাবে ?
২৭। আধান সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তি বলতে কী বোঝ ?
২৮। ইলেকট্রন ভোল্ট কাকে বলে ? একে জুল এককে প্রকাশ কর।
২৯। তড়িৎ বিভব এবং তড়িৎ স্থিতিশক্তির মধ্যে পার্থক্য কী ?
৩০। তড়িৎ দ্বিমেরু কী ?
৩১। তড়িৎ দ্বিমেরু বলতে কী বোঝ ? এর অভিমুখ কী ?
৩২। তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক কাকে বলে ? একটি তড়িৎ দ্বিমেরু মধ্যবিন্দু থেকে r দূরত্বে তার অক্ষের ওপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর।
৩৩। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি তড়িৎ দ্বিমেরুকে যে কোনো কোণে ঘোরাতে কৃত কাজ নির্ণয় কর।
৩৪। তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্বসমদ্বিখণ্ডকের উপরিস্থিত কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর। দ্বিমেরু খুব ক্ষুদ্র হলে ওই ক্ষেত্র প্রাবল্যের মানের কী পরিবর্তন হয় ?
৩৫। সুষম তড়িৎক্ষেত্রে অবস্থিত তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপর প্রযুক্ত টর্ককে ভেক্টররূপে প্রকাশ কর।
৩৬। তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য যে কোনো বিন্দুতে $P(r, \theta)$-তে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর।
৩৭। সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপরে ক্রিয়াশীল টর্কের মান কখন সর্বাধিক এবং কখন সর্বনিম্ন হয় ? মানগুলি কত ?
৩৮। কীভাবে ক্ষেত্রফলকে ভেক্টররূপে প্রকাশ করা হয় ?
৩৯। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু অক্ষে অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা নির্ণয় কর।
৪০। দেখাও যে, একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্বসমদ্বিখণ্ডকের ওপরে অবস্থিত যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য।
৪১। তড়িৎ দ্বিমেরুর স্থিতিশক্তি বলতে কী বোঝ ?
৪২। কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব বলতে কী বোঝ ?
৪৩। কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?
৪৪। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্বের রাশিমালা নির্ণয় কর।
৪৫। কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন কর।
৪৬। পানির ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক '80' বলতে কী বোঝায় ?
৪৭। দুটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব ক্ষুদ্রতর মানের ধারকত্ব অপেক্ষা কম হয়—প্রমাণ কর।
৪৮। কতকগুলো ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব কত হবে নির্ণয় কর।
৪৯। কতকগুলো ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে তুল্য ধারকত্ব কত হবে নির্ণয় কর।
৫০। কোনো ধারককে কী যে কোনো উচ্চমানের বিভবে আহিত করা সম্ভব ?
৫১। ধারকে কী ধরনের শক্তি সঞ্চিত থাকে ?
৫২। দুটি ধারককে কীভাবে যুক্ত করলে প্রত্যেকের আধান একই থাকে ?
৫৩। কয়েকটি ধারককে কীভাবে যুক্ত করলে প্রত্যেকের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য একই থাকবে ?
৫৪। একটি সমান্তরাল পাত ধররকের সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।
৫৫। ধারকে সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।
৫৬। চার্জের কোয়ান্টায়ন বলতে কী বুঝ ? চার্জের সংরক্ষণশীলতার নীতিটি লিখ।
৫৭। পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরা হয় কেন ?
৫৮। স্থির তড়িৎ সম্পর্কিত গাউসের সূত্রটি বিবৃত কর।
৫৯। গাউসের সূত্র ব্যবহার করে সুষমভাবে আহিত এবং অন্তরীত পরিবাহী গোলকের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

৬০। গাউসের সূত্রের সাহায্যে অসীম দৈর্ঘ্যের তার থেকে r দূরত্বে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর। ওই তারটির একক দৈর্ঘ্যে λ পরিমাণ তড়িৎ আধান রয়েছে।

৬১। গাউসের সূত্রের সাহায্যে দেখাও যে, আহিত গোলকের অভ্যন্তরে ক্ষেত্র প্রাবল্য শূন্য।

৬২। গাউসের সূত্র প্রয়োগ করে সুষমভাবে আহিত পাতলা গোলীয় খোলকের জন্য বহিস্থ ও অন্তস্থ বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর।

৬৩। দেখাও যে, সুষমভাবে আহিত পরিবাহী খোলকের কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের ক্ষেত্রে তড়িৎ আহিত খোলকটি এমন ব্যবহার করে যেন তার সমস্ত আধান এর কেন্দ্রে অবস্থিত।

৬৪। কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা আলোচনা কর।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

প্রতিবেদন রচনা : স্থির তড়িতের ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র এবং গাউসের সূত্রের সীমাবদ্ধতার উপর প্রতিবেদন রচনা কর। শ্রেণি শিক্ষকের নিকট জমা দেওয়ার পর শিক্ষক মহোদয় সবচেয়ে ভালো প্রতিবেদনটি ক্লাসে উপস্থাপন করবেন।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। সমভাবে আহিত দুটি শোলা বল বায়ুতে 3.0 cm ব্যবধানে রাখলে পরস্পরকে 4×10^{-5} N বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেক শোলা বলের আধান নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০১] [উত্তর : $q = \pm 2 \times 10^{-9}$ C]

২। বায়ুতে 50 C চার্জ হতে 2 m দূরত্বে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 11.25×10^{10} N/C]

৩। 0.02 m এবং 0.04 m ব্যাসার্ধের দুটি গোলককে পরস্পরের পৃষ্ঠ হতে 0.14 m দূরত্বে রাখা হলো। প্রতিটি গোলককে 40C চার্জ প্রদান করা হলে তাদের মধ্যে কত বল ক্রিয়া করবে নির্ণয় কর। [উত্তর : 3.6×10^{13} N]

৪। বায়ুতে দুটি ধন চার্জের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.1 m এবং এদের মধ্যে পারস্পরিক বিকর্ষণ বল 9×10^{-5} N। চার্জ দুটির একটি অপরটির চার গুণ হলে তাদের পরিমাণ নির্ণয় কর। [উত্তর : 5×10^{-9} এবং 20×10^{-9} C]

৫। 5×10^{-9} C চার্জ বহনকারী একটি ক্ষুদ্র বস্তু তড়িৎ ক্ষেত্রের একটি বিন্দুতে রাখা হলে এটি নিচের দিকে 20×10^{-9} N পরিমাণ বলের ক্রিয়া অনুভব করে। (ক) ঐ বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত ? (খ) ঐ বিন্দুতে স্থাপিত একটি ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান ও দিক কি হবে ?
[উত্তর : (ক) 4N/C, (খ) 6.4×10^{-19} N নিম্নমুখী]

৬। পরস্পর হতে 0.20 m দূরে বায়ুতে অবস্থিত 40C এবং 60C দুটি চার্জের সংযোজক সরলরেখার ঠিক মধ্যস্থলে প্রাবল্য কত হবে ? [উত্তর : 1.8×10^{13} N/C]

৭। $+1.5 \times 10^{-6}$ C এবং $+3 \times 10^{-6}$ C আধানের দূরত্ব 10 m। তাদের সংযোজক সরলরেখার কোন্ কোন্ বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের পরিমাণ শূন্য হবে ? [ঢা. বো. ২০০৯]
[উত্তর : দুর্বল চার্জ হতে সবল চার্জের দিকে 4.1m দূরে প্রাবল্য শূন্য হবে।]

৮। 2m বাহুবিশিষ্ট একটি সমবাহু ত্রিভুজের A ও B বিন্দুতে যথাক্রমে + 2 C এবং − 2 C চার্জ স্থাপন করা হলো। C বিন্দুতে ক্রিয়াশীল প্রাবল্যের মান ও দিক নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০০৩]
[উত্তর : 4.5×10^{9} N/C ; C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য AB-এর সমান্তরাল হবে]

৯। 10, − 5 এবং 3 C মানের তিনটি চার্জ 0.10 m ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধির তিনটি ভিন্ন বিন্দুতে অবস্থিত। বৃত্তের কেন্দ্রে বিভব কত ? [উত্তর : 72×10^{10} Volt]

১০। একটি বর্গক্ষেত্রের তিনটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে 3, − 6 এবং 7C চার্জ স্থাপন করা হলো। বর্গক্ষেত্রের চতুর্থ কৌণিক বিন্দুতে কত চার্জ স্থাপন করলে কেন্দ্রে বিভব শূন্য হবে ? [সি. বো. ২০০১] [উত্তর : − 4 C]

১১। একটি বিন্দু আধান থেকে 20 cm দূরে তড়িৎ বিভবের মান 50 V। ওই বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান কত ? [উত্তর : 250 Vm^{-1}]

১২। তড়িৎ বিভব, $V = 5 + 4x^2$ সম্পর্ক দ্বারা নির্দেশিত। V-কে volt এককে এবং x-কে metre এককে প্রকাশ করা হলে $x = 0.5$ m অবস্থানে -2×10^{-6} C আধান কত বল অনুভব করবে ? [উত্তর : 8×10^{-6} N]

১৩। 2m ব্যাসার্ধের একটি গোলকের কেন্দ্রে 2 μC একটি চার্জ স্থাপন করলে গোলকের পৃষ্ঠ দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স বের কর। [উত্তর : 2.26×10^{5} Nm^2C^{-1}]

১৪। বায়ু মাধ্যমে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু অক্ষের উপর দ্বিমেরুর কেন্দ্র থেকে 5 cm দূরে তড়িৎ প্রাবল্য 2.5×10^{4} NC^{-1} এবং 10 cm দূরে তড়িৎ প্রাবল্য 2×10^{3} NC^{-1}। তড়িৎ দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 0.05 m]

১৫। শূন্য স্থানে 8 μC এবং − 8μC বিন্দু আধান দুটি 10^{-3} m ব্যবধানে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। এর দ্বিমেরু ভ্রামক এবং দ্বিমেরুর কেন্দ্র থেকে 20 cm দূরে এর অক্ষের উপর তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
[উত্তর : 8×10^{-9} C m; 18×10^{3} NC^{-1}]

১৬। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 2 mm ব্যবধানে রাখা ± 20 μC আধান দিয়ে তৈরি। ওই দ্বিমেরুর অক্ষের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের ওপর অবস্থিত দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু থেকে 10 cm দূরে অবস্থিত একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
[উত্তর : 36×10^{4} NC^{-1}]

১৭। $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$ সমীকরণ থেকে প্রমাণ কর যে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{Q}{r^2}$।

১৮। নিরবচ্ছিন্নভাবে বন্টিত অসীম রৈখিক আধান থেকে 2 cm দূরে $9 \times 10^4\ NC^{-1}$ তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে। আধানের রৈখিক ঘনত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : $10^{-7}\ C\ m^{-1}$]

১৯। 12 cm ব্যাসার্ধের একটি পরিবাহী গোলকের তল সুষমভাবে 1.6×10^{-7} C আধানে আহিত। (ক) গোলকের অভ্যন্তরে, (খ) গোলকের পৃষ্ঠে এবং (গ) গোলকের কেন্দ্র থেকে 18 cm দূরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : (ক) শূন্য; (খ) $10^5\ NC^{-1}$; (গ) $4.44 \times 10^4\ NC^{-1}$]

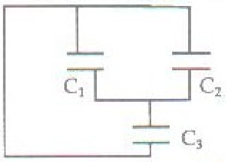
২০। 0.2 m ব্যাসার্ধের একটি গোলকীয় গাউসীয় তলের কেন্দ্রে 2.5×10^{-6} C চার্জ স্থাপন করলে উক্ত তলে ফ্লাক্স কত হবে ? [উত্তর : 2.82×10^5 Wb]

২১। একটি সরু তারের দৈর্ঘ্য 2 m। তারটি 3×10^{-6} C চার্জে সুষমভাবে চার্জিত হলে (i) তারের একক দৈর্ঘ্যে চার্জের পরিমাণ ও (ii) 1.5 m দূরের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : $1.5 \times 10^{-6}\ Cm^{-1}$; $1.8 \times 10^4\ NC^{-1}$]

২২। একটি অন্তরীত পরিবাহীতে 500 C চার্জ প্রদান করায় এর বিভব 100 V হলো। পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : 5 F]

২৩। দুটি ধারককে সমান্তরালে সংযুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 5F এবং শ্রেণিতে সংযুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 1.2F হয়। ধারক দুটির ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : 3F, 2F অথবা 2F, 3F]

২৪। চিত্রে প্রদর্শিত ধারকসমূহের সমবায়ের জন্য তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। $C_1 = 10\mu F$, $C_2 = 5\mu F$ এবং $C_3 = 4\mu F$. [উত্তর : $3.16\ \mu F$]



২৫। 300 $\mu\mu F$ এবং 500 $\mu\mu F$ ধারকত্ববিশিষ্ট দুটি ধারক সমান্তরাল বিন্যাসে যুক্ত করে 120 ভোল্টের একটি ব্যাটারী ঐ সমন্বয়ের ওপর প্রয়োগ করা হলো। প্রত্যেক ধারকের চার্জ এবং সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : 3.6×10^{-8}, 6×10^{-8} C এবং 8×10^{-8} F]

২৬। 4μF ধারকত্ববিশিষ্ট একটি ইলেকট্রনিক্স যন্ত্রের টার্মিনালদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য 300 V হলে ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর। [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯–১০] [উত্তর : 0.18 J]

২৭। 10 cm ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের পরিধিতে 10C মানের দুটি চার্জ স্থাপন করা হয়েছে। বৃত্তের কেন্দ্রে তড়িৎ বিভবের মান নির্ণয় কর। [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০–১১] [উত্তর : 18×10^{11} V]

২৮। দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য 322 kV। এদের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে 9μF চার্জ স্থানান্তর করলে কৃত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৮–০৯] [উত্তর : 2.89 J]

২৯। q কুলম্ব তড়িৎ আধান একটি ঘনকের কেন্দ্রে থাকলে প্রতিসাম্যের জন্য ঘনকের প্রতি তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে ? [উত্তর : $\frac{1}{6}\cdot\frac{q}{\epsilon_0}$]

৩০। 20 cm ব্যাসার্ধের গোলীয় খোলককে 20 μC আধানে আহিত করা হলো। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলোতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। (i) খোলকের কেন্দ্র থেকে 15 cm দূরে এবং (ii) খোলকের কেন্দ্র থেকে 40 cm দূরে। [উত্তর : 0; $1.125 \times 10^6\ NC^{-1}$]

৩১। একটি তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $\vec{E} = (5\hat{i} + 3\hat{j} + 2\hat{k})$ একক দ্বারা প্রকাশিত। ওই ক্ষেত্রে YZ তলে 200 একক ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে তড়িৎ ফ্লাক্সের পরিমাণ নির্ণণ কর। [উত্তর : 1000 একক]

৩২। বায়ুতে অবস্থিত 1 C ধনাত্মক আধান থেকে নির্গত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে ? [উত্তর : $1.13 \times 10^{11}\ Nm^2\ C^{-1}$]

৩৩। কোনো গোলকের অভ্যন্তরে শূন্যস্থানে অবস্থিত আধানের জন্য গোলকের সমতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স হলো $6.5 \times 10^3\ Nm^2C^{-1}$। গোলকের অভ্যন্তরস্থ আধানের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 5.75×10^{-8} C]

৩৪। একটি পজিট্রন $(+e)$ এবং একটি ইলেকট্রন $(-e)$ পরস্পর হতে 10^{-8} m দূরে অবস্থিত থেকে তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। দ্বিমেরুর দ্বিমেরু ভ্রামকের মান কত এবং এর অভিমুখ কী ? $(e = 1.6 \times 10^{-19}\ C)$ [উত্তর : 1.6×10^{-27} C m; ভ্রামকের অভিমুখ ইলেকট্রন থেকে পজিট্রনের দিকে]

৩৫। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 10^4 N/C সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রের সঙ্গে 30° কোণ করে থাকলে 9×10^{-26} Nm টর্ক অনুভব করে। তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক কত ? [উত্তর : 1.8×10^{-29} C m]

৩৬। একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিনটি শীর্ষ বিন্দুতে তিনটি আধান q, $-2q$ ও q অবস্থিত। এদের তুল্য দ্বিমেরু ভ্রামকের মান কত ? [উত্তর : $\sqrt{3}\,qa$]