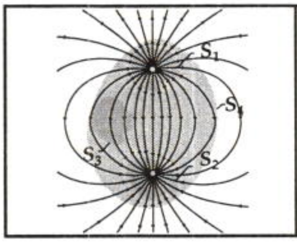
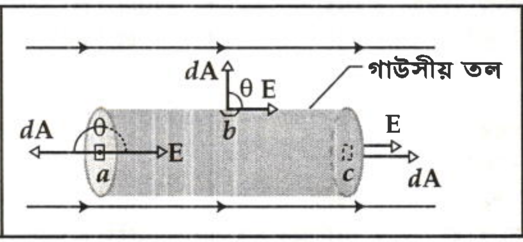
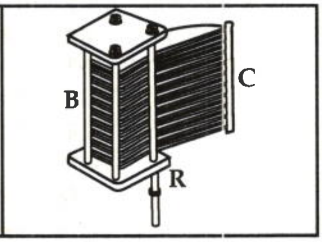
২
স্থির তড়িৎ
ELECTROSTATICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : কুলম্বের সূত্র, 1 কুলম্ব চার্জ, ক্ষেত্র তত্ত্ব, তড়িৎ ক্ষেত্র, তড়িৎ প্রাবল্য, তড়িৎ বিভব, তড়িৎ দ্বিমেরু, তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ প্রাবল্য, চার্জের কোয়ান্টায়ন, ডাই ইলেকট্রিক, ধারক, ধারকত্ব, ফ্যারাড, ধারকের সংযোজন, ধারকের সঞ্চিত শক্তি, গাউসের সূত্র, গাউসের সূত্রের ব্যবহার, কুলম্বের সূত্রের ব্যবহার।







সূচনা
Introduction

লক্ষ করলে, বিশেষ করে শীতকালে আমরা দেখতে পাই যে, চিরুনি দিয়ে মাথা আঁচড়াবার পর ছোট ছোট কাগজের টুকরার ওপর ধরলে চিরুনি কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। এ ঘটনা আমাদের অনেকেরই জানা। ছোট ছোট ছেলেমেয়েরা এ ঘটনায় খুব আনন্দ পায়; কিন্তু তারা জানেনা এটা কী এবং কেন। গ্রিক দার্শনিক **থেলিস** (Thales : 640-548 B.C.) সর্বপ্রথম পর্যবেক্ষণ করেন যে সোলেমানি 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 ধর্ম বা গুণাগুণ লক্ষ করেন। ড. গিলবার্ট পরবর্তীতে লক্ষ করেন যে ঘর্ষণের ফলে প্রত্যেক বস্তু অন্য বস্তুকে কম-বেশি আকর্ষণ করে এবং এই ধর্মই **তড়িতাহিতকরণ** (Electrification) নামে পরিচিত।

এ অধ্যায়ে আমরা কুলম্বের সূত্র, ক্ষেত্র তত্ত্ব, তড়িৎ ক্ষেত্র, তড়িৎ বিভব, তড়িৎ দ্বিমেরু, তড়িৎ মেরুর জন্য তড়িৎ প্রাবল্য, চার্জের সংরক্ষণশীলতা ও কোয়ান্টায়ন, ডাই ইলেকট্রিক, ধারক, ধারকত্ব, ধারকের স্থিতিশক্তি, গাউসের সূত্র এবং গাউসের সূত্রের ব্যবহার ইত্যাদি আলোচনা করবো।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- কুলম্বের সূত্রকে ক্ষেত্র তত্ত্বের আলোকে ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- একটি বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ বল, তড়িৎ ক্ষেত্র, তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং তড়িৎ বিভবের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করতে পারবে।
- সমবিভব তল, তড়িৎ দ্বিমেরু, চার্জের কোয়ান্টায়ন এবং সংরক্ষণশীলতার ধর্ম, অপরিবাহী ও ডাই ইলেকট্রিক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য ক্ষেত্র প্রাবল্য এবং তড়িৎ বিভবের মান নির্ণয় করতে পারবে।
- ধারকের শ্রেণি ও সমান্তরাল সংযোগ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ধারকের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবে।
- ধারক ও ধারকত্ব ব্যাখ্যা, ধারকের শক্তি পরিমাপসহ দৈনন্দিন জীবনে ধারকের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কুলম্বের সূত্র হতে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন করতে পারবে।
- গাউসের সূত্র ব্যবহার করে বিভিন্ন ক্ষেত্রে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করতে পারবে।
- কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।

২.১ কুলম্বের সূত্র ও ক্ষেত্র তত্ত্ব
Coulomb's law and field theory

২.১.১ কুলম্বের সূত্র
Coulomb's law

ঘর্ষণের ফলে এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত ইলেকট্রনের একটি মৌলিক ও বৈশিষ্ট্যমূলক ধর্ম হচ্ছে চার্জ বা আধান। ঘর্ষণে এক বস্তু অন্য বস্তুকে কমবেশি আকর্ষণ করে তখন বস্তু তড়িৎ আহিত হয়।

চার্জ (Charge) :

পদার্থ সৃষ্টিকারী মৌলিক ও বৈশিষ্ট্যমূলক ধর্মকে চার্জ বা আধান বলে।

বিন্দু চার্জ (Point charge)

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

আমরা জানি একটি চার্জ অপর একটি চার্জকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে। দুটি চার্জের মধ্যকার আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল বিষয়ক সূত্রই হলো কুলম্বের সূত্র। দুটি চার্জের মধ্যকার এই আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান তিনটি শর্তের ওপর নির্ভর করে; যথা—

(i) চার্জ দুটির পরিমাণ

(ii) চার্জ দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং

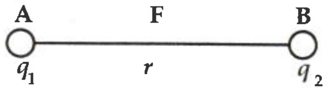
(iii) চার্জ দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যম। [MAT 2024-25]

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 কী তা জানা দরকার। কারণ কুলম্বের সূত্র কেবলমাত্র বিন্দু চার্জের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। অর্থাৎ যেসব তড়িতাহিত বস্তুর আকার তাদের অন্তর্বর্তী দূরত্বের তুলনায় নগণ্য কেবলমাত্র তাদের ক্ষেত্রেই এই সূত্র প্রযোজ্য। কুলম্বের সূত্র সরাসরি প্রয়োগ করে দুটি তড়িতাহিত বিস্তৃত বস্তুর পারস্পরিক বল নির্ণয় করা যায় না। দুটি চার্জের পারস্পরিক বলের সাথে চুম্বক এবং মহাকর্ষের অনুরূপ রাশিগুলোর সুস্পষ্ট সাদৃশ্য রয়েছে।

বিন্দু চার্জের সাহায্যে **কুলম্বের সূত্র** (Coulomb's law) নিম্নরূপে বিবৃত করা যায়—

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। [MAT 2013-14]

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো মাধ্যমে q_1 এবং q_2 দুটি বিন্দু চার্জ পরস্পর হতে r দূরে অবস্থিত [চিত্র ২·১]। এরা যদি পরস্পরের ওপরে 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

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$ [MAT : 16-17]

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

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

শূন্য মাধ্যমে কুলম্বের সূত্র : যদি চার্জ দুটি শূন্য মাধ্যমে থাকে তাহলে এস.আই. (S.I.) পদ্ধতিতে $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$। যেখানে ϵ_0-কে বলা হয় শূন্য মাধ্যমের তড়িৎভেদ্যতা (permittivity)। ϵ_0 এর একক $C^2N^{-1}m^{-2}$ এবং মাত্রা সমীকরণ $[M^{-1}L^{-3}T^{-4}I^2]$.

$$\therefore \quad K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.854 \times 10^9\ Nm^2C^{-2} \simeq 9 \times 10^9\ Nm^2C^{-2}$$ (প্রায়)

শূন্য মাধ্যমে কুলম্বের সূত্রের রূপ হলো, $$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad [2.1(a)]$$

কোন একটি মাধ্যমে কুলম্বের সূত্র : এখন, চার্জ দুটিকে যদি কোনো বাস্তব মাধ্যমে, যেমন মাইকা, প্যারাফিন, কাগজ, তেল ইত্যাদিতে রাখা হয় তাহলে $K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$; যেমন ϵ-কে বলা হয় মাধ্যমের তড়িৎভেদ্যতা (permittivity)।

সুতরাং এস.আই. (S.I.) পদ্ধতিতে যেকোনো মাধ্যমে কুলম্বের সূত্রকে লেখা যায়,

$$F_m = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad [2.1(b)]$$

আপেক্ষিক তড়িৎভেদ্যতা (Relative permittivity)

দুটি চার্জকে বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে রাখলে এদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল,

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.2)$$

ওই দুটি চার্জকে আবার অন্য কোনো মাধ্যমে রাখলে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল,

$$F_m = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.3)$$

এখন, $\frac{F_0}{F_m} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r$

ϵ_r-কে বলা হয় কোনো মাধ্যমের **আপেক্ষিক তড়িৎভেদ্যতা** বা **পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক।** একে K দ্বারাও প্রকাশ করা হয়। অতএব,

$$\epsilon_r \text{ বা } K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{F_0}{F} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.4)$$

অতএব K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট যেকোনো মাধ্যমে কুলম্বের সূত্রের সাধারণ রূপ হলো,

$$F_m = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [2.4(a)]$$

সংজ্ঞা : কোনো মাধ্যমের তড়িৎভেদ্যতা এবং শূন্য মাধ্যমের তড়িৎভেদ্যতার অনুপাতকে ওই মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (dielectic constant) বা আপেক্ষিক তড়িৎভেদ্যতা (relative permittivity) বলে। এটি একটি মাত্রাহীন রাশি। এর কোনো একক নেই। যেকোনো পরিমাপ পদ্ধতিতে এর একক একই।

জানা দরকার : দুটি চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল স্থির তড়িৎ বল অন্য কোনো চার্জের উপস্থিতির জন্য প্রভাবিত হয় না। তাই স্থির তড়িৎ বল দুটি চার্জের পারস্পরিক ক্রিয়া।

একক চার্জ (Unit charge) :

দুটি সমপরিমাণ বিন্দু চার্জকে শূন্যস্থান বা বায়ু মাধ্যমে 1 m দূরে রাখলে যদি এরা পরস্পরের ওপর 1N বল প্রয়োগ করে তবে প্রতিটি বিন্দু চার্জকে একক চার্জ বলে।

কুলম্বের সূত্রের ভেক্টর রূপ (Vector form of Coulomb's law)

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

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.5)$$

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

এখানে $\hat{n} = \frac{\vec{r}}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.6)$

$$\therefore \vec{F} = \hat{n} F = \frac{\vec{r}}{r} F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.7)$$

চার্জের একক (Unit of charge) :

এস. আই. (S. I.) পদ্ধতিতে চার্জের একক **কুলম্ব।** [DAT : 20-21]

সমীকরণ (2.2) অনুসারে 1 কুলম্বের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : দুটি সমমানের চার্জ শূন্য মাধ্যমে 1 মিটার দূরে অবস্থান করে পরস্পরের ওপর 9×10^9 N বল প্রয়োগ করলে ওই চার্জ দুটির প্রত্যেককে একক চার্জ বলে এবং এই একক চার্জকে এক কুলম্ব বলে। 1C = 1A × 1S

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 (2.2)-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।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : শূন্য স্থানের তুলনায় যেকোনো মাধ্যমে দুটি তড়িৎ আধানের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল কম হয় কেন ? —ব্যাখ্যা কর।

শূন্য স্থানের তড়িৎ ভেদ্যতার তুলনায় যেকোনো মাধ্যমের তড়িৎভেদ্যতা বেশি। দুটি তড়িৎ আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল, $F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}$; এখানে ϵ হলো মাধ্যমের তড়িৎভেদ্যতা। এখন যেহেতু ϵ-এর মান অন্য মাধ্যমের জন্য বেশি, তাই চার্জদ্বয়ের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল কম হবে।

২·১·২ ক্ষেত্র তত্ত্ব
Field theory

কুলম্বের সূত্র থেকে আমরা 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 তড়িৎ ক্ষেত্রের 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 ওই অঞ্চলে অন্য কোনো চার্জিত বস্তু আনলে তার ওপর তড়িৎ বল ক্রিয়াশীল হয়। কোনো অঞ্চলে একটি চার্জ আনলে এর ওপর যদি তড়িৎ বল ক্রিয়া করে, তবে ওই অঞ্চলে তড়িৎ ক্ষেত্র রয়েছে ধরা হয়। কাজেই তড়িৎ ক্ষেত্র 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 তড়িৎ ক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত হয়, যদিও কয়েক মিটার পর এর মান এত ক্ষুদ্র হয় যে তা পরিমাপ করা সম্ভব হয় না।**

২·১·৩ 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। কোনো বিন্দুতে মোট চার্জের মান নিরবিচ্ছিন্ন হতে পারে না। অর্থাৎ **সকল চার্জিত বস্তুর মধ্যে বিদ্যমান চার্জই এই ক্ষুদ্রতম চার্জের গুণিতক মাত্র; অর্থাৎ ইলেকট্রনের চার্জেরই গুণিতক হবে। একে চার্জের কোয়ান্টায়ন বলে।** কোনো বস্তুতে যেকোনো মানের চার্জ থাকতে পারে না। ইলেকট্রনের চার্জ e হলে কোনো বস্তুর মোট চার্জ $\boxed{q = ne}$। 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 কাচ দণ্ডকে 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 কাচ দণ্ড 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।**

জানার বিষয় :

I. আহিত বস্তুর চার্জের পৃষ্ঠে অবস্থান করে।
II. কেন্দ্রে চার্জ শূন্য।
III. সংযোগ বেশি চার্জ থাকে চার্জিত বস্তুর উত্তল তলে।
IV. অবতল তল ভেতরে থাকায় চার্জ কম থাকে।

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,

$W = mg = 0.002 \times 9.8 = 0.0196$ N

আবার, তড়িৎ বল $F = Eq = W$

$\therefore \quad E = \frac{W}{q} = \frac{0.0196}{10^{-4}}$

$= \frac{196 \times 10^{-4}}{10^{-4}} = 196\ NC^{-1}$

RMDAT

এখানে,
$m = 0.002$ kg
$q = 10^{-4}$ C
$g = 9.8\ ms^{-2}$
$E = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ২.১

১। লোহার নিউক্লিয়াসে অবস্থানরত দুটি প্রোটনের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়াশীল বল কত যদি তাদের মধ্যে দূরত্ব 4×10^{-15} m হয় ? [চ. বো. ২০০৮; JnU Admission Test, 2019-20]

মনে করি বল = F
$\therefore$ আমরা পাই,

$F = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (i)$

সমীকরণ (i) হতে পাই,

$F = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(4 \times 10^{-15})^2}$

= 14·4 নিউটন (N)

এখানে,
$q_1 = q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ C
$r = 4 \times 10^{-15}$ m
$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9\ Nm^2C^{-2}$

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,

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

$\therefore \quad 4 \times 10^{-5} = 9 \times 10^9 \times \frac{q^2}{(0.002)^2}$

বা, $q^2 = \frac{4 \times 10^{-5} \times (0.002)^2}{9 \times 10^9}$

বা, $q^2 = 1.78 \times 10^{-20}$

$\therefore \quad q = 1.33 \times 10^{-10}$ Coulomb

এখানে,
$F = 4 \times 10^{-5}$ N
$r = 2.0$ mm $= 0.002$ m
$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9\ N\text{-}m^2/C^2$
$q_1 = q_2 = q = ?$

৩। 2 Å দূরত্বে থাকা অবস্থায় একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটনের মধ্যে ক্রিয়াশীল স্থির তড়িৎ বলের জন্য তাদের ত্বরণের মান কত হবে ? [দেয়া আছে, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C]

আমরা জানি,

ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল,

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

$$\therefore \quad F_e = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-10})^2} \quad [\text{এখানে } q = e]$$

$$= 5.76 \times 10^{-9} \text{ N}$$

এখানে,

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

$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

$m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

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

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

আবার, $F = ma$, বা, $a = \frac{F}{m}$

সুতরাং, ইলেকট্রনের ত্বরণ, $a_e = \frac{F_e}{m_e} = \frac{5.76 \times 10^{-9}}{9.1 \times 10^{-31}} = 6.33 \times 10^{21}$ ms^{-2}

এবং প্রোটনের ত্বরণ, $a_p = \frac{F_e}{m_p} = \frac{5.76 \times 10^{-9}}{1.67 \times 10^{-27}} = 3.45 \times 10^{18}$ ms^{-2}

৪। শূন্যস্থানে রাখা দুটি সম আয়তনের কিন্তু বিপরীত চার্জে চার্জিত ধাতব গোলকের মধ্যে দূরত্ব 0.5 m এবং তাদের মধ্যে আকর্ষণ বল 0.144N। গোলক দুটিকে একটি ধাতব তার দ্বারা যুক্ত করলে গোলকদ্বয়ের মধ্যে বিকর্ষণ বল 0.081N। গোলক দুটির মধ্যে প্রাথমিক চার্জ কত ?

ধরা যাক, গোলক দুটির মধ্যে চার্জ q_1 ও $-q_2$

আমরা জানি,

শূন্য মাধ্যমে আকর্ষণ বল,

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

এখানে,

$r = 0.5$ m

$F_0 = 0.144$N

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

প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{(0.5)^2} = 0.144 \text{ বা, } 9 \times 10^9 \cdot \frac{q_1 q_2}{0.25} = 0.144$$

$$\text{বা, } q_1 q_2 = \frac{0.144 \times 0.25}{9 \times 10^9} = 4 \times 10^{-12}$$

তার দিয়ে গোলক দুটি যুক্ত করলে চার্জ একটি গোলক থেকে অন্য গোলকে প্রবাহিত হয় যতক্ষণ না উভয়ের বিভব সমান হয়। যেহেতু উভয় গোলকের আয়তন সমান, সুতরাং উভয় গোলকে সমান চার্জ থাকবে এবং উভয় গোলকের চার্জের পরিমাণ হবে $\left(\frac{q_1 - q_2}{2}\right)$। তাই তারা উভয়েই বিকর্ষণ করবে।

এখন, বিকর্ষণ বল $= 0.081$ N

$$\therefore \quad \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q_1 - q_2)^2}{4 \times (0.5)^2} = 0.081$$

$$\text{বা, } \quad \frac{9 \times 10^9 \times (q_1 - q_2)^2}{4 \times 0.25} = 0.081$$

$$\text{বা, } \quad (q_1 - q_2)^2 = \frac{0.081 \times 0.25 \times 4}{9 \times 10^9} = 9 \times 10^{-12}$$

$$\text{বা, } \quad q_1 - q_2 = 3 \times 10^{-6} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

$$\therefore \quad q_1 + q_2 = \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + 4 q_1 q_2} = \sqrt{9 \times 10^{-12} + 4 \times 4 \times 10^{-12}}$$

$$= 5 \times 10^{-6} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$q_1 = 4 \times 10^{-6}$ C এবং $q_2 = 1 \times 10^{-6}$ C

অতএব, গোলক দুটির প্রাথমিক আধান যথাক্রমে $+4 \times 10^{-6}$ C এবং $+1 \times 10^{-6}$ C

৫। একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটনের মধ্যে ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল ও মহাকর্ষীয় বলের অনুপাত নির্ণয় কর। [দেওয়া আছে, প্রোটনের ভর $= 1.67 \times 10^{-27}$ kg, ইলেকট্রনের ভর $= 9.1 \times 10^{-31}$ kg, ইলেকট্রনের আধান $= 1.6 \times 10^{-19}$ C, $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ Nm²C⁻², G $= 6.67 \times 10^{-11}$ Nm²kg⁻²]

ধরা যাক, ইলেকট্রনের আধান এবং প্রোটনের আধান $= e$ এবং উভয়ের মধ্যে দূরত্ব $= r$

এখানে,

$m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

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

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

$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$

এখন, কুলম্বের সূত্র থেকে পাওয়া যায়,

$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$ এবং

নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্র থেকে পাওয়া যায়,

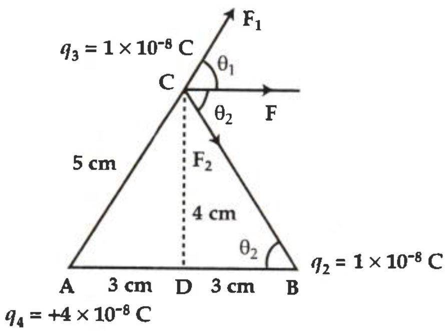
$$F_G = G \cdot \frac{m_p m_e}{r^2}$$

$$\therefore \frac{F_C}{F_G} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r^2}}{G \cdot \frac{m_p m_e}{r^2}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 G} \cdot \frac{e^2}{m_p m_e}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{6.67 \times 10^{-11} \times 1.67 \times 10^{-27} \times 9.1 \times 10^{-31}}$$

$$= 2.27 \times 10^{39}$$

৬। 4.0×10^{-8} C মানের দুইটি ক্ষুদ্র সমান ও বিপরীতধর্মী আধান 6.0 cm ব্যবধানে A ও B বিন্দুতে অবস্থিত। আধানদ্বয়ের সংযোগ সরলরেখা AB-এর লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের ওপর 4 cm দূরে P বিন্দুতে স্থাপিত 1×10^{-8} C আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয় কর। $\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}\right)$ [BUET Admission Test, 2013-14]



চার্জ A ও চার্জ C-এর মধ্যে ক্রিয়াশীল বল,

$$F_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-8} \times 1 \times 10^{-8}}{(0.05)^2}$$

$$= 1.44 \times 10^{-3} \text{ N}$$

এখানে, q_1 ও q_2 আধানদ্বয় সমান।

$AC = BC = 5$ cm $[\because AC^2 = AD^2 + DC^2 = (3)^2 + (4)^2$

$= 9 + 16 = 25$

$AC = \sqrt{25} = 5$ cm$]$

অর্থাৎ q_1 কর্তৃক q_3-এর প্রতি বিকর্ষণ ও q_2 কর্তৃক q_3-এর প্রতি আকর্ষণ বলদ্বয় সমান, যারা যথাক্রমে $\overrightarrow{AC}$ ও $\overrightarrow{CB}$ বরাবর ক্রিয়াশীল।

$\therefore F_1 = F_2 = 1.44 \times 10^{-3}$ N

এবং $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ $[\because F_1 = F_2]$

এখন, $F = F_1 \cos\theta + F_2 \cos\theta = 2 F_1 \cos\theta$

$$= 2 \times 1.44 \times 10^{-3} \times \frac{3}{5} \quad \left[\because \cos\theta = \frac{3}{5}\right]$$

$$= 1.728 \times 10^{-3} \text{ N}$$

২.২ বিন্দু চার্জের জন্য 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

২.২.১ তড়িৎ বল

Electric force

পূর্বের অনুচ্ছেদে বিন্দু চার্জ এবং এর ফলে সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র সম্বন্ধে আমরা জেনেছি। তড়িৎ ক্ষেত্রের যেকোনো বিন্দুতে অবস্থিত চার্জের ওপর সর্বদা একটি বল প্রযুক্ত হয়। চার্জটি ধনাত্মক হলে এই বল ওই 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 ওই বিন্দুতে ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল,

$$\boxed{F = qE} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.8)$$

অর্থাৎ **তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত কোনো আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল বা তড়িৎ বল ওই 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।

২·২·২ স্থির তড়িৎ বল এবং মহাকর্ষ বলের তুলনা
Comparison between electrostatic force and gravitational force

দুটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর মধ্যে স্থির তড়িৎ বল এবং মহাকর্ষ বল উভয়ই ক্রিয়া করে। এই দুটি বলের সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্য নিম্নরূপ :

RMDAT

সাদৃশ্য :

~~১.~~ দুটি বলই বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।
~~২.~~ দুটি বলই সংরক্ষণশীল বল; অর্থাৎ এই বল দুটি দ্বারা কৃত কাজ পথের ওপর নির্ভরশীল নয়।
~~৩.~~ দুটি বলই শূন্যস্থানে কাজ করে।
~~৪.~~ দুটি বলই কেন্দ্রীয় বল (central force) এবং এই বল বস্তুদ্বয়ের কেন্দ্রবিন্দু দুটির সংযোগকারী সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।

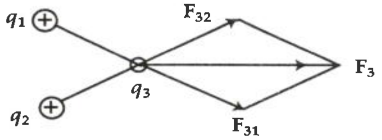
বৈসাদৃশ্য :

স্থির তড়িৎ বল	মহাকর্ষ বল Negative
১. এই বল অনেক বেশি শক্তিশালী।	১. এই বল খুবই দুর্বল।
২. আধানের প্রকৃতি অনুযায়ী এই বল আকর্ষণধর্মী বা বিকর্ষণধর্মী হতে পারে।	২. এই বল সবসময়ই আকর্ষণধর্মী হয়।
৩. এই বল সংশ্লিষ্ট মাধ্যমের ওপর নির্ভরশীল।	৩. এই বল সংশ্লিষ্ট মাধ্যমের ওপর নির্ভর করে না।

২·২·৩ 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 ওই চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল নিট (resultant) বল বের করতে হয়। এই নিট 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 ওপর ক্রিয়াশীল নিট 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 ওপর q_1 ও q_2 এর জন্য সৃষ্ট বিকর্ষণ বল বের করব। প্রথমে q_1 চার্জের জন্য q_3-এর ওপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}_{31}$-এর মান ও দিক নির্ণয় করি। এবার q_2 চার্জের জন্য q_3-এর ওপর বিকর্ষণ বল $\vec{F}_{32}$-এর মান ও দিক বের করি। এখন q_3-এর ওপরে লব্ধি বা নিট 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 ওপর q_1 এর ক্রিয়াশীল বল বের করার সময় q_2 অনুপস্থিত ধরা হয়েছে। আবার q_3 এর ওপর q_2 এর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয়ের সময় q_1 অনুপস্থিত ধরা হয়েছে। এ পদ্ধতি অনুসরণ করে যেকোনো সংখ্যক চার্জের জন্য কোনো একটি চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল নিট বল বের করা যায়।

জানার বিষয় : ১। দুটি আধানের মধ্যে ক্রিয়ারত স্থির তড়িৎ বল অন্য কোনো আধানের উপস্থিতির ওপর নির্ভর করে না।
২। স্থির তড়িৎ বল সংরক্ষণশীল বল।
৩। তত্ত্বীয়ভাবে স্থির তড়িৎ বলের সীমা অসীম।

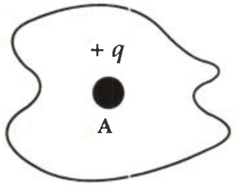
নিজে কর : একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে গতিশীল আহিত কণার ওপর চৌম্বক ক্ষেত্র বল প্রয়োগ করলে, আহিত কণার শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে কী ?

যদিও গতিশীল আহিত কণার ওপর চৌম্বক ক্ষেত্র বল প্রয়োগ করে, তবুও কণার শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে না। কারণ কার্যকর বল ব্যাসার্ধমুখী (radial) হওয়ায় এটি অকার্যকর বল অর্থাৎ বস্তুর ওপর কোনো কাজ করা হয় না। সুতরাং কণার শক্তিরও কোনো পরিবর্তন হবে না।

২·২·৪ 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 ওপর 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]। ওই 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 নগণ্য 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 ওই বিন্দু চার্জের চারদিকে এক ধরনের আলোড়ন সৃষ্টি হয় যার ফলে ওই অঞ্চলে কোনো পরখ চার্জ স্থাপন করলে বল অনুভূত হয়। তিনি এই আলোড়নের নাম দেন তড়িৎ ক্ষেত্র (electric field)। সুতরাং তড়িৎ ক্ষেত্রের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায় :

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

তড়িৎ ক্ষেত্রের একক :

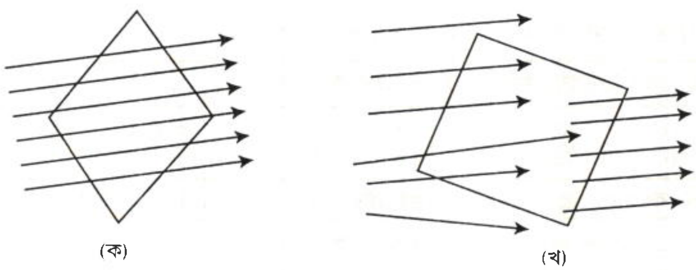
এস. আই. (S. I.) পদ্ধতিতে বলের একক নিউটন এবং চার্জের একক কুলম্ব। অতএব, তড়িৎ ক্ষেত্রের একক হবে নিউটন/কুলম্ব (N/C)। এ ছাড়া আরও একটি একক আছে। সেটি হলো ভোল্ট/মিটার (V/m)। বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের নতি বিবেচনা করে লেখা যায় $E = -\frac{dV}{dx}$ । অতএব ভোল্ট/মি. এককটি বেশি ব্যবহৃত হয়।

তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের মাত্রা সমীকরণ $[MLT^{-3}I^{-1}]$

২·২·৫ 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)]।


(ক) (খ)

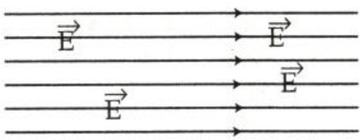
চিত্র ২·৪

(ii) তড়িৎ ক্ষেত্র এবং তলের অভিলম্ব যখন সমকোণে থাকে তখন তড়িৎ ফ্লাক্স শূন্য হয় [চিত্র ২·৪ (খ)]

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

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

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



চিত্র ২·৫

সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র (Uniform electric field) :

কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের সকল বিন্দুতে প্রাবল্য যদি একই হয় তবে ওই তড়িৎ ক্ষেত্রকে সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বলে। অন্য কথায় **কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের মান ও দিক সর্বত্র সমান হলে তাকে সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বলে** [চিত্র ২·৫]। চিত্রে সমান ফাঁকবিশিষ্ট সমান্তরাল বল রেখা দ্বারা সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বুঝানো হয়েছে।

হিসাব কর : ছয়টি তড়িৎ দ্বিমেরুর প্রতিটির আধান e একটি ঘনকের অভ্যন্তরে আছে। ঘনকের অভ্যন্তরে মোট তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে?

একটি তড়িৎ দ্বিমেরু দুটি সমান কিন্তু বিপরীত আধান দ্বারা গঠিত হয়। সুতরাং ঘনকের মধ্যে নিট আধান শূন্য। তাই ঘনকের মধ্য সংশ্লিষ্ট নিট তড়িৎ ফ্লাক্স শূন্য।

জানার বিষয় :

১। কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ঐ তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে তড়িৎ ফ্লাক্স বলে।

২। তড়িৎ ফ্লাক্স $\phi = \vec{E} \cdot \vec{S}$

৩। ইহা একটি স্কেলার রাশি।

৪। তড়িৎ ফ্লাক্সের একক, $NC^{-1}m^2$

২·২·৬ তড়িৎ বলরেখা
Electric line of force

তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি মুক্ত ধনাত্মক চার্জ স্থাপন করলে এটি যে পথে পরিভ্রমণ করে তাকে তড়িৎ বলরেখা বলে। একে তড়িৎ ক্ষেত্র রেখাও বলে। তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে বল রেখার সাথে অঙ্কিত স্পর্শক ওই বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে। বলরেখার সাথে লম্বভাবে অবস্থিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা প্রাবল্যের মানের সমানুপাতিক।

RMDAT

ধর্ম :

~~১।~~ তড়িৎ বলরেখা খোলা বক্র রেখা।

২। বলরেখাগুলো পরস্পরের ওপর আড়াআড়িভাবে পার্শ্বচাপ দেয়।

~~৩।~~ দুটি বলরেখা কখনো পরস্পরকে ছেদ করে না।

~~৪।~~ বলরেখাগুলো ধনাত্মকভাবে চার্জিত পৃষ্ঠ হতে বের হয়ে ঋণাত্মক পৃষ্ঠে শেষ হয়। [DAT : 22-23]

৫। বলরেখাগুলো স্থিতিস্থাপক সুতার মতো দৈর্ঘ্য বরাবর সঙ্কুচিত হওয়ার চেষ্টা করে।

৬। তড়িৎ ক্ষেত্রে বলরেখাগুলো ঘন সন্নিবিষ্ট হলে সেখানে তড়িৎ প্রাবল্য বৃদ্ধি পায় এবং বলরেখাগুলোর ঘনত্ব কম হলে তড়িৎ প্রাবল্য হ্রাস পায়।

~~৭।~~ একই পরিবাহীতে কোনো তড়িৎ বলরেখারই শুরু ও শেষ হয় না।

কাজ : তড়িৎ ক্ষেত্রে দুটি তড়িৎ বলরেখা কখনই পরস্পর ছেদ করে না কেন?

দুটি বলরেখা কখনই ছেদ করতে পারে না, কেননা যদি তারা করে তবে ছেদবিন্দুতে দুটি স্পর্শক দুই দিকে অঙ্কন করা সম্ভব। এর অর্থ হলো তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের একই বিন্দুতে দুটি দিক রয়েছে যা কখনই সম্ভব নয়।

সম্প্রসারিত কাজ : কোনো বলরেখা শুরু ও শেষ কি একই পরিবাহীতে হতে পারে ? —ব্যাখ্যা কর।

কোনো পরিবাহীর এক অংশ ধনাত্মক ও অপর অংশ ঋণাত্মক আধানে আহিত হলেই কেবল কোনো বলরেখার শুরু ও শেষ একই পরিবাহীতে হতে পারে। তবে কোনো আহিত পরিবাহীর আধান তার পৃষ্ঠতলে সাধারণত ছড়িয়ে থাকে; ফলে পরিবাহীর এক অংশ ধনাত্মক ও অপর অংশ ঋণাত্মক আধানে আহিত হতে পারে না। সুতরাং কোনো বলরেখাই একই পরিবাহীতে শুরু ও শেষ হতে পারে না।

হিসাব : 1C ধনাত্মক চার্জ থেকে কত সংখ্যক বলরেখা নির্গত হবে ? [চ. বো. ২০২৩]

নির্গত বলরেখা সংখ্যা $= \frac{1}{\epsilon_0} = \frac{1}{8.854 \times 10^{-12}} = 1.129 \times 10^{11}$

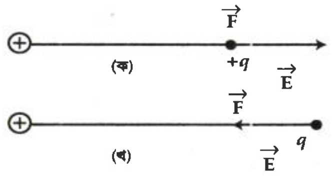
২.২.৭ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তড়িৎ প্রাবল্য

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 ওই 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 ওপর ক্রিয়াশীল বল একই মানের হয়। সুতরাং তড়িৎ প্রাবল্যের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক চার্জ স্থাপন করলে সেটি যে বল অনুভব করে তাকে ওই বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য বলে। অর্থাৎ কোনো বিন্দুতে একক আধান বা চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বলকে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা হয়। একে ক্ষেত্র প্রাবল্যও (field intensity) বলে। তড়িৎ প্রাবল্যের একক নিউটন/কুলম্ব।

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



চিত্র ২.৬

তড়িৎ ক্ষেত্র যেহেতু ভেক্টর রাশি, অতএব এর দিক ও মান রয়েছে। **E-এর দিক হলো একটি ধনাত্মক পরখ চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বলের দিক [চিত্র ২.৬(ক)], ঋণাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে $\vec{E}$-এর দিক $\vec{F}$-এর বিপরীতমুখী হয়** [চিত্র ২.৬(খ)]। আধানটি ধনাত্মক হলে তড়িৎ প্রাবল্যের অভিমুখ আধান থেকে বাইরের দিকে এবং ঋণাত্মক হলে আধানের দিকে।

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

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

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

সমীকরণ (2.11) 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।

আধান ঘনত্ব বা আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব

Charge density or surface charge density

সংজ্ঞা : **পরিবাহীর পৃষ্ঠের কোনো বিন্দুর চারদিকে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপরিস্থিত চার্জের বা আধানের পরিমাণকে ওই বিন্দুর আধান ঘনত্ব বলে। একে তলমাত্রিক ঘনত্বও বলে।** কোনো তলের ক্ষেত্রফল A এবং ওই তলে চার্জের মোট পরিমাণ Q হলে আধান ঘনত্ব, $\boxed{\sigma = \frac{Q}{A}}$।

একক : আধান ঘনত্বের একক কুলম্ব/মিটার² (Cm^{-2})। এর মাত্রা সমীকরণ [ITL^{-2}].

গাণিতিক উদাহরণ ২.২

১। একটি গোলকের মোট চার্জ 9 C, ব্যাসার্ধ = 30 cm হলে চার্জ ঘনত্ব কত ?

[BUET Admission Test, 2015–16]

আমরা জানি,

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

$$\therefore \quad \sigma = \frac{9}{4\pi (0.3)^2} = \frac{100}{12.56} = 7.96\ Cm^{-2}$$

এখানে,

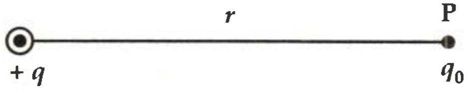
$Q = 9\,C$

$R = 30\,cm = 0.3\,m$

$\sigma = ?$

২·২·৮ বিন্দু আধানের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা
Expression for the electric field intensity at a point in an electric field due to a point charge

মনে করি কোনো মাধ্যমে একটি ধনাত্মক আধান $+q$ রয়েছে। ওই 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 ওপর ক্রিয়াশীল বল,

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\frac{qq_0}{r^2}\hat{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.12)$$

এখানে k হলো ওই 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 ওপর ক্রিয়াশীল বল। অর্থাৎ, $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ $\quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.13)$

সমীকরণ (2.12) ব্যবহার করে আমরা পাই,

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\frac{qq_0}{r^2}\hat{n}\frac{1}{q_0}$$

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

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

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

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

বি.দ্র. পরখ চার্জের আশেপাশে এক বা একাধিক চার্জই হলো তড়িৎ ক্ষেত্রের উৎস। মনে রাখা দরকার যে সমীকরণ (2.14)-এ পরখ চার্জের আশেপাশের চার্জের জন্য সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র বুঝায়, পরখ চার্জের জন্য নয়। পরখ চার্জ এত ক্ষুদ্র যে এর উপস্থিতি ওই তড়িৎ ক্ষেত্রকে প্রভাবিত বা বিকৃত করে না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : চার্জিত গোলকের পরিবাহীর কেন্দ্রে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হয় কেন?

কোনো চার্জিত পরিবাহী গোলকের অভ্যন্তরে কোনো চার্জ থাকে না। সমস্ত চার্জ অবস্থান করে এর পৃষ্ঠে। তড়িৎ বলরেখা নির্গত হয় চার্জ থেকে, তাই বলা যায় চার্জিত গোলকের পরিবাহীর অভ্যন্তরে কোনো বলরেখা থাকে না। এজন্য চার্জিত পরিবাহী গোলকের কেন্দ্রে প্রাবল্য শূন্য।

গাণিতিক উদাহরণ ২.৩

১। একটি তড়িতাহিত তৈল বিন্দু 4×10^4 V/m প্রাবল্যের সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থির অবস্থায় থাকছে। তৈল বিন্দুর আধানের পরিমাণ নির্ণয় কর। (তৈল বিন্দুর ভর 5×10^{-15} kg)

আমরা জানি, তৈল বিন্দুর ওজন সমান তড়িৎ বলের সমান অর্থাৎ,

$$mg = qE$$

বা, $q = \frac{mg}{E} = \frac{5 \times 10^{-15} \times 9.8}{4 \times 10^4}$

$= 12.25 \times 10^{-19}$ C

$= 1.225 \times 10^{-18}$ C

এখানে,

$E = 4 \times 10^4$ Vm^{-1}

$m = 5 \times 10^{-15}$ kg

২। 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

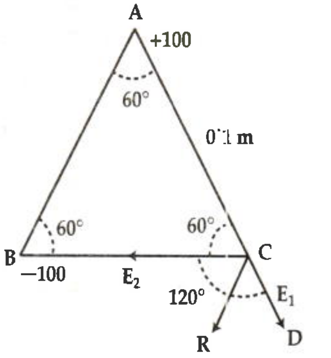
$r = 0.15$ m

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

$E = ?$

৩। 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। [চ. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১১; SUST Admission Test, 2017-18]

ধরি মাধ্যম বায়ু।



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

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

পুন, − 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 তড়িৎ ক্ষেত্রের C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য AB-এর সমান্তরাল হবে।

অতএব লব্ধি প্রাবল্য,

$$R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\alpha}$$

$$= \sqrt{(9 \times 10^{13})^2 + (9 \times 10^{13})^2 + 2 \times 9 \times 10^{13} \times 9 \times 10^{13} \cos 120°}$$

$$= \sqrt{(9 \times 10^{13})^2 + (9 \times 10^{13})^2 + 2 \times 9 \times 10^{13} \times 9 \times 10^{13} \left(-\frac{1}{2}\right)}$$

$$= \sqrt{81 \times 10^{26} + 81 \times 10^{26} - 81 \times 10^{26}}$$

$$= \sqrt{162 \times 10^{26} - 81 \times 10^{26}}$$

$$= \sqrt{81 \times 10^{26}} = 9 \times 10^{13}$$ নিউটন/কুলম্ব (N/C)

৪। দুটি বিন্দু আধানের মান যথাক্রমে +90 μC ও −10 μC। তারা পরস্পর থেকে 20 cm দূরে অবস্থিত। তাদের সংযোগকারী রেখার ওপর কোন বিন্দুতে তড়িৎ প্রবাল্য শূন্য হবে ?

আধান দুটি বিপরীত প্রকৃতির হওয়ায় Q_1 ও Q_2 এর মধ্যবর্তী কোনো স্থানে তড়িৎ প্রবাল্য শূন্য হতে পারে না।

এখানে,

A বিন্দুর $Q_1 = 90$ μC $= 90 \times 10^{-6}$ C

B বিন্দুর $Q_2 = -10$ μC $= -10 \times 10^{-6}$ C

Q_1 ও Q_2 এর মধ্যবর্তী দূরত্ব, $r = 20$ cm $= 0.2$ m

ধরা যাক, B বিন্দু হতে x m দূরে C বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।

এখন, A বিন্দুর আধানের জন্য C বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $= \frac{90 \times 10^{-6}}{(0.2 + x)^2}$; এর অভিমুখ $\overrightarrow{AB}$ বরাবর।

আবার, B বিন্দুর আধানের জন্য C বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $= \frac{10 \times 10^{-6}}{x^2}$; এর অভিমুখ $\overrightarrow{CB}$ বরাবর।

যেহেতু, C বিন্দুতে প্রাবল্য শূন্য, অতএব

$$\frac{90 \times 10^{-6}}{(0.2 + x)^2} = \frac{10 \times 10^{-6}}{x^2}$$

বা, $\frac{9}{(0.2 + x)^2} = \frac{1}{x^2}$

বা, $\left(\frac{x}{0.2 + x}\right)^2 = \frac{1}{9}$

বা, $\frac{x}{0.2 + x} = \pm\frac{1}{3}$

বা, $x = 0.1$ m বা, $x = -0.05$ m

এখানে $-ve$ মান সম্ভব নয়।

অতএব, B বিন্দু হতে 0.1 m বা 10 cm দূরে তড়িৎ প্রবাল্য শূন্য হবে।

৫। 1.6×10^{-20} g ভর এবং 1.6×10^{-19} C আধানযুক্ত একটি ধনাত্মক আধানকে শূন্য স্থানে 100 Vm^{-1} তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থিরাবস্থা থেকে ছেড়ে দেওয়া হলো। 50 cm দূরত্ব অতিক্রম করার পর আধানটির গতিবেগ ও ত্বরণ কত হবে ?

এখানে,
$m = 1.6 \times 10^{-20}$ g $= 1.6 \times 10^{-23}$ kg
$E = 100\ Vm^{-1}$
$s = 50$ cm $= 0.5$ m
$q = 1.6 \times 10^{-19}$ C

আধানটির ওপর তড়িৎ ক্ষেত্র কর্তৃক প্রযুক্ত বল,

$F = E \times q = 100 \times 1.6 \times 10^{-19}$ N

$\therefore$ আধানটির ত্বরণ, $a = \frac{F}{m} = \frac{100 \times 1.6 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-23}}$

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

50 cm দূরত্ব অতিক্রম করার পর আধানটির গতিবেগ v হলে,
আমরা পাই,

$v^2 = u^2 + 2as$

বা, $v^2 = 0 + 2 \times 1 \times 10^6 \times 0.5 = 1 \times 10^6$

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

৬। স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন 50 kV বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে পাঠানো হলে ইলেকট্রন 1.5×10^8 ms^{-1} গতিবেগ অর্জন করে। ইলেকট্রনের আধান ও ভরের অনুপাত (e/m) নির্ণয় কর।

এখানে,
$v = 1.5 \times 10^8\ ms^{-1}$
$V = 50$ kV $= 5 \times 10^4$ volt

আমরা জানি,

$\frac{1}{2} mv^2 = eV$

$\therefore\ \frac{e}{m} = \frac{v^2}{2V} = \frac{(1.5 \times 10^8)^2}{2 \times 5 \times 10^4}$

$= 0.225 \times 10^{12}$ C/kg

$= 2.25 \times 10^{11}$ C/kg

৭। 8.4×10^{-10} kg ভরের একটি চার্জিত শোলা বালব $2.6 \times 10^4\ Vm^{-1}$ সুষম তড়িৎক্ষেত্রে ঝুলন্ত অবস্থায় রয়েছে। বলটির চার্জ কত? ($g = 9.81\ ms^{-2}$)

এখানে,
$m = 8.4 \times 10^{-10}$ kg
$E = 2.6 \times 10^{-4}\ Vm^{-1}$
$g = 9.81\ ms^{-2}$

আমরা জানি,

$F = qE$

বালবটি যেহেতু ঝুলন্ত অবস্থায় রয়েছে, সুতরাং কুলম্ব বল দ্বারা বলটির ওজন নিষ্ক্রিয় হয়। অর্থাৎ

$mg = qE$ বা, $q = \frac{mg}{E}$

$\therefore\ q = \frac{8.4 \times 10^{-10} \times 9.81}{2.6 \times 10^4} = \frac{8.4 \times 9.81 \times 10^{-14}}{2.5}$

$= 3.2 \times 10^{-13}$ C

৮। m_e ভরের একটি ইলেকট্রন স্থিরাবস্থা থেকে একটি সুষম তড়িৎক্ষেত্র t_1 সময় একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব অতিক্রম করে। m_p ভর সম্পন্ন একটি প্রোটনও স্থিরাবস্থা থেকে ওই সুষম তড়িৎক্ষেত্রে t_2 সময়ে ওই একই দূরত্ব অতিক্রম করে। $\frac{t_2}{t_1}$ এর অনুপাত কত হবে ?

আমরা জানি, E প্রাবল্যের তড়িৎক্ষেত্রে q আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল, $F = qE$ এবং ত্বরণ, $a = \frac{qE}{m}$

আবার, স্থিরাবস্থা হতে t সময়ে আধান যে দূরত্ব অতিক্রম করে তা হলো,

$$S = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m}\right)t^2$$

এখন, ইলেকট্রনের জন্য দূরত্ব, $S_e = \frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m_e}\right)t_1^2$

এবং প্রোটনের দূরত্ব, $S_p = \frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m_p}\right)t_2^2$

প্রশ্নানুসারে,

$$S_e = S_p$$

$$\therefore \quad \frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m_e}\right)t_1^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m_p}\right)t_2^2$$

বা, $\frac{t_2^2}{t_1^2} = \frac{m_p}{m_e}$

$$\therefore \quad \frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{m_p}{m_e}}$$

২·২·৯ তড়িৎ বিভব
Electric potential

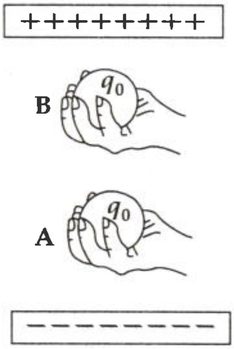
তড়িৎ বিজ্ঞানে তড়িৎ বিভব একটি বিশেষ প্রয়োজনীয় ও গুরুত্বপূর্ণ রাশি। দুটি চার্জিত বা আহিত বস্তুকে একটি তড়িৎ পরিবাহী তার দ্বারা সংযোগ স্থাপন করলে বস্তু দুটির মধ্যে চার্জের আদান-প্রদান ঘটতে পারে, আবার নাও ঘটতে পারে। চার্জের আদান-প্রদান বস্তু দুটির মধ্যে চার্জের পরিমাণের ওপর নির্ভর করবে না, বস্তু দুটির মধ্যে বিশেষ এক তড়িৎ অবস্থার ওপর 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 ক্ষেত্রে পাত্রে পানির পরিমাণ বা বস্তুর মধ্যে তাপের পরিমাণের ওপর 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। [MAT : 23-24]

এখন আমরা তড়িৎ বিভব শক্তি এবং এই 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 ২·৮]। যেহেতু পাত দুটি আহিত, ফলে পরখ চার্জটি তড়িৎ বল দ্বারা নিচের পাতের দিকে আকৃষ্ট হবে। এই 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 এই সম্পাদিত কাজ W_{AB} তড়িৎ বিভব শক্তির পরিবর্তনের সমান হবে। অর্থাৎ



চিত্র ২·৮

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

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 ওপর কৃত কাজ,

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

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

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

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 ওই বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে।

পৃথিবীর বিভব (Potential of the earth) : কোনো বস্তুর বিভব পরিমাপের সময় পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরে এর সাপেক্ষে ওই 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। কোনো চার্জিত বস্তুকে পৃথিবীর সাথে যুক্ত করলে বস্তুটি নিস্তড়িত হয়।

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

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

$$\text{বা,} \quad V = \frac{W}{q_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.21)$$

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 ওই বিন্দুর বিভব বা তড়িৎ বিভব বলে। একে V দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

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

কাজ = বিভব × চার্জ

অর্থাৎ $W = V \times q$ বা, $\boxed{V = \frac{W}{q} = \frac{\text{কাজ}}{\text{চার্জ}}}$ ... ... (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

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

[DAT : 21-22]

তড়িৎ বিভবের এই জুল/কুলম্ব এককে ভোল্ট বলে। এর মাত্রা সমীকরণ $[ML^2T^{-3}I^{-1}]$.

1 ভোল্ট : অসীম দূরত্ব হতে 1 কুলম্ব ধন চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যদি 1 জুল কাজ করতে হয় তবে ওই 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।

গাণিতিক উদাহরণ ২.৪

১। 20 μC বিশিষ্ট একটি চার্জ বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র তৈরি করে। চার্জটি থেকে 10 cm এবং 5 cm দূরত্বে দুটি বিন্দুর অবস্থান। একটি বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে একটি ইলেকট্রন নিতে কাজের পরিমাণ বের কর।

[BUET Admission Test 2006–07]

আমরা জানি,

$$W = q(V_2 - V_1) = q\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$$

$$\therefore W = 20 \times 10^{-6} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 9 \times 10^9 \left(\frac{1}{0{\cdot}05} - \frac{1}{0{\cdot}1}\right)$$

$$W = 2{\cdot}88 \times 10^{-13} \text{ J}$$

এখানে,

$Q = 20\ \mu C = 20 \times 10^{-6}$ C
$r_1 = 10$ cm $= 0{\cdot}1$ m
$r_2 = 5$ cm $= 0{\cdot}05$ m
$q = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$W = ?$

২। 50 μC বিশিষ্ট একটি চার্জ বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র তৈরি করে। চার্জটি থেকে 30 cm এবং 15 cm দূরত্বে দুটি বিন্দুর অবস্থান। একটি বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে একটি ইলেকট্রন নিতে কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2006-07 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি, কৃত কাজ,

$$W = q(V_2 - V_1)$$

আবার,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r}$$

$$\therefore W = 50 \times 10^{-6}\left\{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{0{\cdot}15} - \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{0{\cdot}30}\right\}$$

$$= 50 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^3 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\left(\frac{1}{0{\cdot}15} - \frac{1}{0{\cdot}30}\right)$$

$$= 50 \times 9 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-16} \times \left(\frac{2-1}{0{\cdot}30}\right)$$

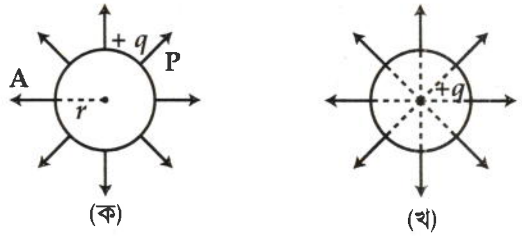
$$= 50 \times 9 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-16} \times \frac{1}{0{\cdot}30} = 2{\cdot}4 \times 10^{-13} \text{ J}$$

এখানে,

$q = 50\ \mu C = 50 \times 10^{-6}$ C
$r_1 = 30$ cm $= 0{\cdot}3$ m
$r_2 = 15$ cm $= 0{\cdot}15$ m
$Q = 1{\cdot}6 \times 10^{-10}$ C
$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ Nm^{2}C^{-2}

২·২·১০ চার্জগ্রস্ত গোলকের বিভব
Potential of a charged sphere

মনে করি A একটি গোলক [চিত্র ২·৯(ক)]। এর ব্যাসার্ধ $= r$। গোলককে $+q$ পরিমাণ চার্জ প্রদান করলে তা গোলকের তলে সমভাবে ছড়িয়ে পড়বে। গোলকের তল হতে বলরেখাসমূহ লম্বভাবে সব দিকে সরলরেখায় গমন করবে। এই 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 ২·৯(খ)]। অতএব যেকোনো দিক হতেই বিবেচনা করা হোক না কেন $+q$ পরিমাণ চার্জ গোলকের কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত ধরা যায়। সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠে P একটি বিন্দু নিলে ওই বিন্দুতে তার বিভব হবে,



চিত্র ২·৯

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \times \frac{q}{r}$$ এবং তড়িৎ

গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব এবং পৃষ্ঠের বিভব সমান তাই গোলকের বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}$$

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

বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে $K = 1$ হলে $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}$ এবং $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2}$ হয়।

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

$\therefore$ তড়িৎ প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} = \frac{q}{4\pi r^2 \epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 A}$ $[\because A = 4\pi r^2]$

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

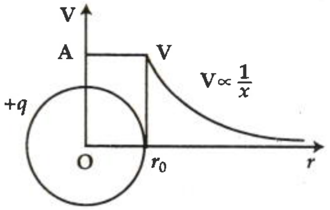
দূরত্বের সাথে বিভব ও প্রাবল্যের পরিবর্তন

গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান চিত্র AB অংশ দ্বারা নির্দেশ করা হচ্ছে। কেননা গোলকের পৃষ্ঠে বিভব V এবং অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে বিভব V_0 হলে, $V - V_0 =$ প্রাবল্য × দূরত্ব $= 0$, যেহেতু গোলকের অভ্যন্তরে প্রাবল্য শূন্য।

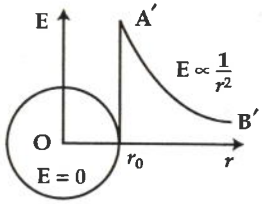
$\therefore$ $V = V_0$ । অতএব গোলকের পৃষ্ঠে বা অভ্যন্তরে বিভব, $\boxed{V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}}$

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

বায়ু মাধ্যমে গোলকের কেন্দ্র হতে $x(x > r)$ দূরত্বে যেকোনো বিন্দুতে বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}$। চিত্র ২·৯(গ)-এ দূরত্বের সাথে V এর পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।



চিত্র ২·৯(গ)



চিত্র ২·৯(ঘ)

চিত্র ২·৯(ঘ)-তে আহিত গোলকের ক্ষেত্রে দূরত্বের সাথে প্রাবল্যের পরিবর্তন দেখানো হয়েছে। গোলকের ভেতরে কোনো চার্জ না থাকায় গোলকের ভেতরে $r = 0$ থেকে $r = r_0$ পর্যন্ত যেকোনো বিন্দুতে প্রাবল্য $E = 0$। সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠে প্রাবল্যের মান সর্বোচ্চ এবং ইহা দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। চিত্রে A′B′ দ্বারা দেখানো হয়েছে।

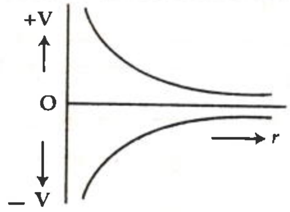
কাজ : ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ বিভবের মান চার্জ থেকে দূরত্বের সাথে কীভাবে পরিবর্তিত হয় ব্যাখ্যা কর।

$+q$ বিন্দু চার্জের জন্য r দূরত্বে তড়িৎ বিভব,

$$V = \frac{+q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

এবং $-q$ বিন্দু চার্জের জন্য r দূরত্বে তড়িৎ বিভব,

$$V = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 r}$$



$+q$ চার্জ থেকে দূরত্ব বৃদ্ধির সাথে তড়িৎ বিভবের মান ক্রমশ কমতে থাকবে এবং $-q$ চার্জ থেকে দূরত্বের মান বাড়তে থাকলে তড়িৎ বিভবের মান ক্রমশ বাড়তে থাকবে। চিত্রে এই পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

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। এই কারণে একই ব্যাসার্ধের ফাঁপা ধাতব গোলক ও নিরেট ধাতব গোলক উভয়কে একই তড়িৎ বিভবে চার্জিত করলে উভয়ে সমান চার্জ ধারণ করবে।

কাজ : কোনো গোলকের অভ্যন্তরে যেকোনো 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। এই কারণেই তড়িৎ বিভবের সংজ্ঞানুসারে, কোনো গোলকের অভ্যন্তরে যেকোনো বিন্দুর বিভব পৃষ্ঠের বিভবের সমান।

জানার বিষয় :

I. গোলকের অভ্যন্তরে এবং পৃষ্ঠ বিভব সমান থাকে।

II. গোলকের ভেতর প্রাবল্য শূন্য। পৃষ্ঠে প্রাবল্য থাকে।

III. তড়িৎ ক্ষেত্র সংরক্ষীত, কারণ তড়িৎ ক্ষেত্রে কোনো আধানকে এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে নিতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় তা বিন্দুদ্বয়ের অবস্থানের ওপর নির্ভর করে, পথের ওপর নয়।

IV. পৃথিবীর বিভব শূন্য।

V. ভূ–সংযোগ বস্তুর তড়িৎ বিভব শূন্য হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ২.৫

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]

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,

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q}{R} = 9\times10^9\times\frac{20}{0{\cdot}1}$$

$$= 1{\cdot}8\times10^{12}\text{ V}$$

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,

$$= 9\times10^9\times\frac{20}{0{\cdot}12} = 1{\cdot}5\times10^{12}\text{ V}$$

এখানে,

গোলকের ব্যাসার্ধ, $R = 10\text{ cm} = 0{\cdot}1\text{ m}$

মোট চার্জ, $q = 2\times10\text{ C} = 20\text{ C}$

গোলকের কেন্দ্র হতে দূরত্ব যথাক্রমে,

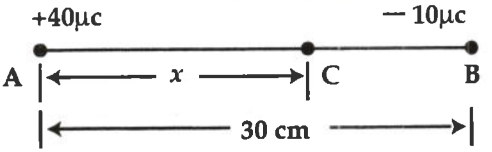
$x_1 = 8\text{ cm} = 0{\cdot}08\text{ m}$

এবং $x_2 = 12\text{ cm} = 0{\cdot}12\text{ m}$

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9\times10^9\text{ N-m}^2/\text{C}^2$

বিভব, $V_1 = ?$ এবং $V_2 = ?$

২। একটি 10μC ঋণাত্মক চার্জ বায়ুতে 40μC ধনাত্মক চার্জ থেকে 30 cm দূরে অবস্থিত। ওই দুই চার্জের সংযোজক সরলরেখার কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভব শূন্য হবে? [KUET Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]



এখানে,

$q_1 = -10\mu C = -10 \times 10^{-6}\, C$

$q_2 = 40\mu C = 40 \times 10^{-6}\, C$

$r = 30\, cm = 30 \times 10^{-2}\, m$

ধরা যাক, AB রেখোর C বিন্দুতে তড়িৎ বিভব শূন্য এবং $AC = x$

এখন, C বিন্দুতে + 40 μC চার্জের জন্য বিভব $= \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r} = \dfrac{40 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^9}{x}$

C বিন্দুতে — 10 μC চার্জের জন্য বিভব $= \dfrac{-10 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^9}{(30 - x)}$

প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{40 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^9}{x} - \frac{10 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^9}{30 - x} = 0$$

বা, $\dfrac{40}{x} = \dfrac{10}{30 - x}$

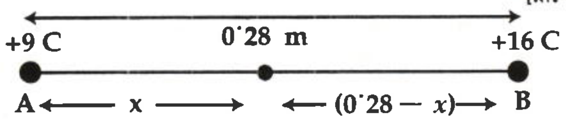
বা, $120 - 4x = x$

বা, $5x = 120$

$\therefore\ x = \dfrac{120}{5} = 24\, cm$

অতএব, + 40 μC চার্জ থেকে 24 cm দূরে তড়িৎ বিভব শূন্য হবে।

৩। 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 বিন্দু হতে x m দূরে উভয় চার্জের জন্য প্রাবল্য সমান হবে।

আমরা জানি,

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

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

এখানে,

$q_1 = 9\, C$

$q_2 = 16\, C$

$r = 0{\cdot}28\, m$

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

$\therefore$ শর্তানুসারে আমরা পাই,

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

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

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

বা, $4x = 0{\cdot}84 - 3x$

বা, $4x + 3x = 0{\cdot}84$

বা, $7x = 0{\cdot}84$

$\therefore\ x = \dfrac{0{\cdot}84}{7} = 0{\cdot}12\, m$

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

৪। $+20 \times 10^{-9}$ 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।

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

এখন A বিন্দুর আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

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

আবার, B বিন্দুর আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

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

− 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।

২·২·১১ 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 ওই দুই বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য বলে।

তড়িৎ ক্ষেত্রের একটি বিন্দু হতে অপর একটি বিন্দুতে একক ধন চার্জকে আনতে যে পরিমাণ কাজ করা হয় তাই ওই দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্যের পরিমাপ। কাজেই দুটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B হলে সমীকরণ (2.20) অনুসারে ওই 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 অথবা, যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করে তাকে 1 ইলেকট্রন ভোল্ট বা সংক্ষেপে 1 eV বলে।**

সুতরাং, 1 eV = 1টি ইলেকট্রনের আধান $\times$ 1 V

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

এক ইলেকট্রন ভোল্টের 10 লক্ষ গুণ অর্থাৎ 10^6 গুণ বড় একককে মেগা ইলেকট্রন ভোল্ট বা মিলিয়ন ইলেকট্রন ভোল্ট বলে। 1 MeV = 10^6 eV = $1{\cdot}6 \times 10^{-13}$ J

J-এর তুলনায় eV খুবই ছোট একক, তাই পরমাণু বিজ্ঞানেই এর ব্যবহার রয়েছে অন্যত্র এর ব্যবহার নেই।

গাণিতিক উদাহরণ ২.৬

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।

আমরা জানি,

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

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

বা, $dV = -\frac{5}{x^3}dx$

এখানে,

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

P বিন্দুর দূরত্ব, $x_1 = 1$ m

Q বিন্দুর দূরত্ব, $x_2 = 2$ m

$\Delta V = ?$

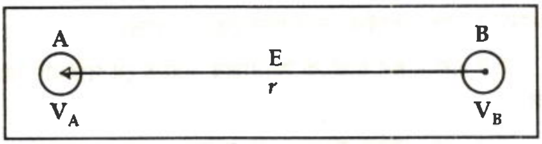
$$\therefore \quad V_P - V_Q = \int_2^1 -\frac{5}{x^3}dx = 5\left[\frac{1}{2x^2}\right]_2^1 = \frac{5}{2}\left[\frac{1}{x^2}\right]_2^1$$

$$= \frac{5}{2}\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{4}\right) = \frac{5}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{15}{8} \text{ একক}$$

২.২.১২ 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 ২.১০]। মনে করি A বিন্দুর তড়িৎ বিভব $= V_A$ এবং B বিন্দুর তড়িৎ বিভব $= V_B$। যদি $V_A > V_B$ হয়, তবে বিভব পার্থক্য

$$= V_A - V_B \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.25)$$



চিত্র ২.১০

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

$\therefore$ একক ধন চার্জকে B হতে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ

$$= \text{প্রাবল্য} \times \text{দূরত্ব} = E \times AB \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.26)$$

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

$\therefore$ 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, $\boxed{E = -\frac{dV}{dr}}$ $\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.28)$

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 ওই 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)।

২.২.১৩ আধান ঘনত্ব এবং তড়িৎ প্রাবল্যের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between charge density and electric intensity

সংজ্ঞা : পরিবাহীর পৃষ্ঠের কোনো বিন্দুর চারদিকে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপরস্থ আধানের পরিমাণকে ওই বিন্দুর আধান ঘনত্ব (charge density) বলে। একে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বও বলে।

কোনো তলের ক্ষেত্রফল A এবং ওই তলে মোট আধানের পরিমাণ Q হলে উক্ত তলে আধান ঘনত্ব, $\sigma = \frac{Q}{A}$।

আধান ঘনত্বের একক কুলম্ব/মিটার^2 (Cm^{-2})

সম্পর্ক : মনে করি একটি গোলক K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট কোনো মাধ্যমে অবস্থিত। একটি গোলাকার পরিবাহীর পৃষ্ঠে +Q পরিমাণ চার্জ সুষমভাবে বণ্টিত থাকলে তা ওই গোলকের কেন্দ্রে স্থাপিত বলে ধরে নেওয়া যায়। গোলকের ব্যাসার্ধ r হলে এর পৃষ্ঠে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য,

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 K r^2}$$

পরিবাহীর ক্ষেত্রফল $A = 4\pi r^2$ এবং আধান ঘনত্ব σ হলে, $\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4\pi r^2}$

উপরোক্ত সমীকরণে $\frac{Q}{4\pi r^2}$-এর মান বসিয়ে পাই,

$$\therefore \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 K}$$

কোনো মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা ϵ হলে $\epsilon = \epsilon_0 K$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (2.29)$$

বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে K = 1 হলে $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ $\qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (2.30)$

উপরোক্ত E এর দুটি সমীকরণ হলো তড়িৎ প্রাবল্য এবং আধান ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক।

গাণিতিক উদাহরণ ২.৭

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

আমরা জানি,

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

এখানে,
$V = -5x + 3y + \sqrt{15}\,z$

প্রশ্নানুসারে,

$$E_x = -\frac{dV_x}{dx} = -\frac{d}{dx}(-5x) = 5$$
$$E_y = -\frac{dV_y}{dy} = -\frac{d}{dy}(3y) = -3$$
$$E_z = -\frac{dV_z}{dz} = -\frac{d}{dz}(\sqrt{15}\,z) = -\sqrt{15}$$
$$\therefore \quad E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$
$$= \sqrt{25 + 9 + 15} = \sqrt{49} = 7 \text{ একক}$$

২। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে 50 cm ব্যবধানে অবস্থিত দুটি বিন্দুর বিভব পার্থক্য 200V। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর।
[ব. বো. ২০২২; চ. বো. ২০০৯; সি. বো. ২০০৩]

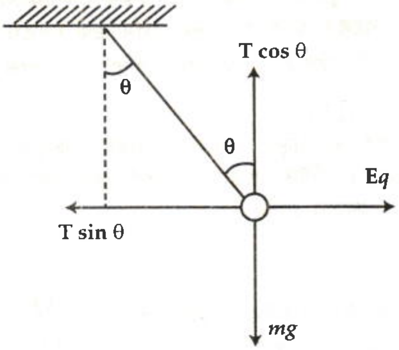
মনে করি, তড়িৎ প্রাবল্য = E

আমরা জানি,

$$E = \frac{dV}{dr} \quad \text{[ঋণ চিহ্ন পরিহার করে]}$$
$$\therefore \quad E = \frac{200V}{50 \times 10^{-2}\,m} = 400\ Vm^{-1}$$

এখানে,
বিভব পার্থক্য, $dV = 200V$
দূরত্ব, $dr = 50\ cm = 50 \times 10^{-2}\ m$

৩। 100 mg ওজনের একটি দোলক পিণ্ড 2×10^{-8} C আধান বহন করে। দোলক পিণ্ডটি 2×10^4 Vm^{-1} অনুভূমিক তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থির রয়েছে। দোলকের সুতায় টান এবং উল্লম্বের সাথে সুতার কোণ নির্ণয় কর।



ধরা যাক, সাম্যাবস্থায় দোলক সুতাটি উল্লম্বের সাথে θ কোণে আনত রয়েছে [চিত্র দ্রষ্টব্য]। মনে করি তড়িৎ ক্ষেত্র = E এবং পিণ্ডে আধান = q। দোলক পিণ্ডের ওপর ক্রিয়াশীল বলগুলো দেখানো হয়েছে।

সাম্যাবস্থায়,

$$T \sin\theta = Eq \; ; \; T\cos\theta = mg$$

$$\therefore \quad \tan\theta = \frac{Eq}{mg} = \frac{2 \times 10^4 \times 2 \times 10^{-8}}{100 \times 10^{-6} \times 9.8}$$

$$= 0.408 \qquad \text{বা, } \theta = \tan^{-1}(0.408)$$

$$\therefore \quad \theta \approx 22.2^\circ \text{ (প্রায়)}$$

সুতরাং, $$T = \frac{mg}{\cos\theta} = \frac{100 \times 10^{-6} \times 9.8}{\cos 22.2^\circ}$$

$$= \frac{980 \times 10^{-6}}{0.926} = 1.06 \times 10^{-3}\ \text{N}$$

এখানে,

$q = 2 \times 10^{-8}$ C

$m = 100$ mg $= 100 \times 10^{-6}$ kg

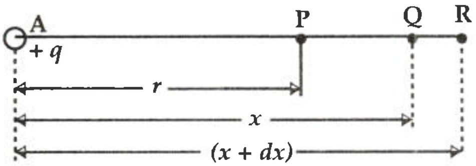
$g = 9.8$ ms^{-2}

E $= 2 \times 10^4$ Vm^{-1}

২·২·১৪ বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে সম্পর্ক

Relation between electric potential at a point in the electric field due to a point charge and electric field

মনে করি A বায়ু মাধ্যমে একটি বিন্দু [চিত্র ২·১১]। উক্ত বিন্দুতে $+q$ পরিমাণ ধন চার্জ রাখা হয়েছে। এই চার্জের দরুন A হতে r দূরত্বে P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র ২·১১

AP যোগ করি ও বর্ধিত করি। বর্ধিত রেখার ওপর 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,

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

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 × সরণ = — প্রাবল্য × সরণ

বা, $$dW = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \times \frac{q}{x^2}\, dx$$ [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 $x = \infty$ এই সীমার মধ্যে সমাকলন করতে হবে।

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

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

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

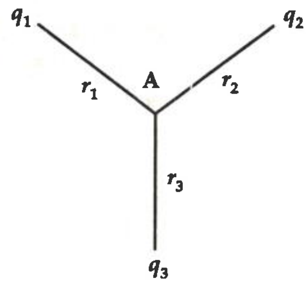
$$\therefore \quad W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \times \frac{q}{r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.31)$$

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

$$\therefore \quad V = W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \times \frac{q}{r}$$

বায়ু বা শূন্য মাধ্যমের ক্ষেত্রে K = 1 হয়।

সেক্ষেত্রে $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.32)$



চিত্র ২.১১(ক)

একাধিক চার্জের জন্য সৃষ্ট মোট বিভব : যদি তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট 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।

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

শূন্য মাধ্যমে K = 1

$$\text{বা, } V = 9 \times 10^9 \sum \frac{q}{r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.33)$$

[শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে]

$$\text{এবং } V = 9 \times 10^9 \sum \frac{q}{\epsilon_r r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.34)$$

[শূন্য বা বায়ু মাধ্যম ছাড়া অন্য মাধ্যমে]

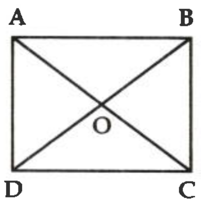
গাণিতিক উদাহরণ ২.৮

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

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

$$= 9 \times 10^9 \left[\frac{2\times10^{-9}}{AO} + \frac{2\times10^{-9}}{BO} + \frac{2\times10^{-9}}{CO} + \frac{2\times10^{-9}}{DO}\right]$$



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

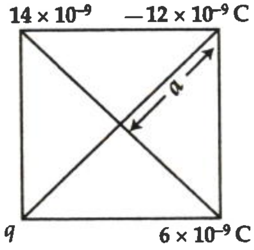
$\therefore \quad AC = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}$

$\therefore \quad AO = BO = CO = DO = \frac{1}{2} \times AC = \sqrt{2}$

$\therefore \quad V = \frac{9 \times 10^9}{\sqrt{2}} \times 4 \times 2 \times 10^{-9} = 50{\cdot}91$ volt

২। কোনো বর্গক্ষেত্রের তিনটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে $+6\times10^{-9}$ 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? [ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন), ২০০২; য. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০০৮]

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 $V_1+V_2+V_3+V_4=0$

$\therefore \quad 0=\dfrac{1}{4\pi\in_0}\left(\dfrac{6\times10^{-9}}{a}-\dfrac{12\times10^{-9}}{a}+\dfrac{14\times10^{-9}}{a}+\dfrac{q}{a}\right)$

বা, $6\times10^{-9}-12\times10^{-9}+14\times10^{-9}+q=0$

বা, $8\times10^{-9}+q=0$

$\therefore \quad q=-8\times10^{-9}$ 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,

$$V=\frac{q}{4\pi\in_0 r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এবং $$E=\frac{q}{4\pi\in_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

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

সমীকরণ (i) ও (ii)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$10=\frac{q}{4\pi\in_0 r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (iii)$$

এবং $$20=\frac{q}{4\pi\in_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (iv)$$

সমীকরণ (iii)-কে বর্গ করে পাই,

$$100=\frac{q^2}{(4\pi\in_0)^2r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (v)$$

সমীকরণ (v)-কে সমীকরণ (iv) দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$5=\frac{\dfrac{q^2}{(4\pi\in_0)^2r^2}}{\dfrac{q}{4\pi\in_0 r^2}}=\frac{q}{4\pi\in_0}$$

$$\therefore \quad q \quad =5\times4\pi\in_0=\frac{5}{9\times10^9}$$

$$=5{\cdot}56\times10^{-10}\ C$$

৪। 0·24 m ব্যাসের একটি গোলাকৃতি পরিবাহীর পৃষ্ঠে $33{\cdot}3\times10^{-9}$ C চার্জ দেওয়া হলো। গোলকের কেন্দ্র হতে (ক) 0·5 m দূরে (খ) 0·06 m দূরে কোনো বিন্দুর তড়িৎ বিভব ও প্রাবল্য নির্ণয় কর। [য. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি,

বিভব, $V \ =\dfrac{1}{4\pi\in_0}\times\dfrac{Q}{r_1}$

$=\dfrac{9\times10^9\times33{\cdot}3\times10^{-9}}{0{\cdot}5}$

$=599{\cdot}4$ V

এখানে,
চার্জ, $Q = 33{\cdot}3\times10^{-9}$ C
বৃত্তের ব্যাসার্ধ, $r=\dfrac{0{\cdot}24}{2}$ m $=0{\cdot}12$ m
$r_1=0{\cdot}5$ m
V = ?
E = ?

প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q}{r_1^2}$

$= \frac{9 \times 10^9 \times 33{\cdot}3 \times 10^{-9}}{(0{\cdot}5)^2}$

$= 1198{\cdot}8\ NC^{-1}$

(খ) বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q}{r}$

$= \frac{9 \times 10^9 \times 33{\cdot}3 \times 10^{-9}}{0{\cdot}12}$

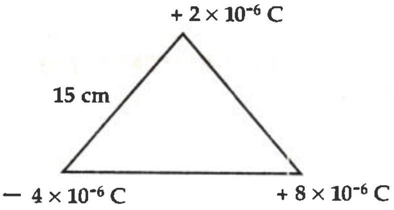
$= 2497{\cdot}5\ V$

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

এখানে,
$r_2 = 0{\cdot}06\ m$
এই বিন্দুটির অবস্থান পরিবাহীর ভিতরে। এক্ষেত্রে গোলকের ভিতরে যে কোনো বিন্দুর বিভব পৃষ্ঠের বিভবের সমান।

এক্ষেত্রে যেহেতু বিবেচ্য বিন্দুর দূরত্ব $0{\cdot}06\ m < 0{\cdot}12\ m$, কাজেই উক্ত বিন্দুর প্রাবল্য $E = 0$

৫। বায়ু মাধ্যমে 15 cm বাহুবিশিষ্ট একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিনটি শীর্ষ বিন্দুতে $+2 \times 10^{-6}$ C, -4×10^{-6} C এবং $+8 \times 10^{-6}$ C চার্জ রয়েছে। ওই সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তি নির্ণয় কর।



সংস্থাটির স্থিতিশক্তি প্রতি জোড়া চার্জের স্থিতিশক্তিগুলির বীজগাণিতিক যোগফল।

আমরা জানি, q_1 আধানের জন্য r দূরত্বে বিভব,

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r}$$

এবং q_1 ও q_2 চার্জ সম্বলিত সংস্থাটি গঠন করতে কৃত কাজ = চার্জ সংস্থাটির তড়িৎ স্থিতিশক্তি $= q_2 V_1$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{(+2 \times 10^{-6}) \times (-4 \times 10^{-6})}{0{\cdot}15} \right\}$$

∴ সংস্থার মোট স্থিতিশক্তি

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{(+2 \times 10^{-6}) \times (-4 \times 10^{-6})}{0{\cdot}15} + \frac{(-4 \times 10^{-6}) \times (+8 \times 10^{-6})}{0{\cdot}15} + \frac{(+8 \times 10^{-6}) \times (+2 \times 10^{-6})}{0{\cdot}15} \right\}$$

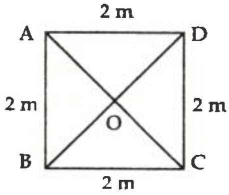
এখানে,
$q_1 = +2 \times 10^{-6}$ C
$q_2 = -4 \times 10^{-6}$ C
$q_3 = +8 \times 10^{-6}$ C
$r = 15\ cm = 0{\cdot}15\ m$

$$= \frac{9 \times 10^9}{0{\cdot}15} \{-8 \times 10^{-12} - 32 \times 10^{-12} + 16 \times 10^{-12}\}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times (-24 \times 10^{-12})}{0{\cdot}15} = -1{\cdot}44 J$$

ঋণাত্মক চিহ্ন বোঝায় যে চার্জগুলোকে তাদের নির্দিষ্ট অবস্থান থেকে অসীম দূরত্বে নিয়ে যেতে $-1{\cdot}44 J$ কাজ করতে হবে।

৬। ABCD বর্গের A, B ও C বিন্দুতে 3×10^{-9} C, 4×10^{-9} C ও -2×10^{-9} C চার্জ আছে। বর্গের বাহু 2 m হলে, (i) D বিন্দুতে বিভব বের কর। (ii) কর্ণদ্বয়ের ছেদবিন্দু O-তে বিভব নির্ণয় কর। (iii) 3×10^{-9} C চার্জ D বিন্দু থেকে O বিন্দুতে আনতে সম্পাদিত কাজ বের কর।



এখানে, কর্ণ $BD = AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}$

$= \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{8}\ m$

$= 2\sqrt{2}\ m$

∴ $OA = OB = OD = OC = \frac{2\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2}\ m$

(i) D বিন্দুতে মোট বিভব,

$$V_D = V_A + V_B + V_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q_A}{AD} + \frac{q_B}{BD} + \frac{q_C}{CD}\right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{3\times10^{-9}}{2} + \frac{4\times10^{-9}}{2\sqrt{2}} + \frac{-2\times10^{-9}}{2}\right)$$

$$= 9\times10^{9}\times10^{-9}\,(1{\cdot}5 + 1{\cdot}414 - 1)$$

$$= 9\times(-\,0{\cdot}586) = -\,17{\cdot}46\text{ V}$$

(ii) O বিন্দুতে মোট বিভব,

$$V_O = V_A + V_B + V_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q_A}{AO} + \frac{q_B}{BO} + \frac{q_C}{CO}\right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{3\times10^{-9}}{\sqrt{2}} + \frac{4\times10^{-9}}{\sqrt{2}} + \frac{-2\times10^{-9}}{\sqrt{2}}\right)$$

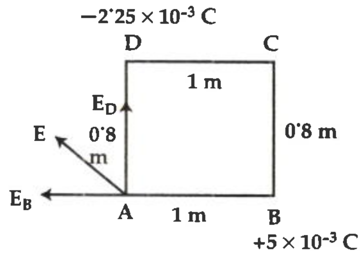
$$= 9\times10^{3}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\times10^{-9}\,(3+4-2) = \frac{9}{\sqrt{2}}\times5 = \frac{45}{\sqrt{2}} = 31{\cdot}82\text{ V}$$

(iii) D বিন্দু থেকে O বিন্দুতে $q = 3\times10^{-9}$ C চার্জ নিতে সম্পাদিত কাজ,

$$W = q(V_O - V_D) = 3\times10^{-9}\times(31{\cdot}81 - 17{\cdot}46)$$

$$= 3\times10^{-9}\times14{\cdot}36 = 43{\cdot}08\times10^{-9}\text{ J} = 4{\cdot}3\times10^{-8}\text{ J}$$

৭। ABCD আয়তক্ষেত্রের B ও D বিন্দুতে যথাক্রমে $+5\times10^{-3}$C এবং $-2{\cdot}25\times10^{-3}$C চার্জ স্থাপন করা হলো (বায়ু মাধ্যম)। [অভিন্ন প্রশ্ন 'খ' সেট ২০১৮]



(ক) A বিন্দুতে প্রাবল্য কত?

(খ) A ও C কে ধাতব পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত করলে কোন দিক হতে ধনাত্মক চার্জ প্রবাহিত হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি,

q চার্জ হতে r দূরত্বে প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r_2}$

এখানে,
$BA = r_1 = 1$m
$DA = r_2 = 0{\cdot}8$ m
BA বরাবর A বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য, E = ?

B বিন্দুর চার্জের জন্য A বিন্দুর প্রাবল্য,

$$E_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{q_1}{r_1^2}$$

$$= 9\times10^{9}\text{ Nm}^2\text{C}^{-2}\times\frac{5\times10^{-3}\text{C}}{(1\text{m})^2}$$

$$= 45\times10^{6}\text{ NC}^{-1};\ \text{BA বরাবর}$$

D বিন্দুর চার্জের জন্য A বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_D = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{q_2}{r_1^2} = 9\times10^{9}\text{ Nm}^2\text{C}^{-2}\times\frac{(-\,2{\cdot}25\times10^{-3}\text{C})}{(0{\cdot}8\text{ m})^2}$$

$$= 31{\cdot}64\times10^{6}\text{ NC}^{-1};\ \text{AD বরাবর}$$

∴ A বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_B^2 + E_D^2}\ ;\ E_B, E_D \text{ পরস্পর লম্ব।}$$

$$= \sqrt{45\times10^{6} + 31{\cdot}64\times10^{6}} = 55\times106\text{ NC}^{-1}$$

লব্ধি প্রাবল্য AD এর সাথে θ কোণ উৎপন্ন করলে $\tan\theta = \frac{E_B}{E_D} = \frac{45 \times 10^6\ NC^{-1}}{31.64 \times 10^6\ NC^{-1}}$

$\therefore\ \theta = 54.9°$

(খ) A ও C বিন্দুদ্বয় ধাতব পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত করলে, A ও C এর যে বিন্দুতে বিভব বেশি সে বিন্দু থেকে কম বিভবের দিকে ধনাত্মক চার্জ প্রবাহিত হবে।

আমরা জানি, তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$$

এখানে,
$q_1 = 5 \times 10^{-3}\ C$
$q_2 = -2.25 \times 10^{-3}\ C$
$AB = DC = r_1 = 1m$
$AD = BC = r_2 = 0.8\ m$
A বিন্দুতে বিভব, $V_A = ?$
C বিন্দুতে বিভব, $V_C = ?$

A বিন্দুতে বিভব,

$$V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{1.0} + \frac{-2.25 \times 10^{-3}}{0.8}\right)$$

$$= 19.68 \times 10^6\ V$$

আবার, C বিন্দুতে বিভব,

$$V_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \left(\frac{q_1}{r_2} + \frac{q_2}{r_1}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{0.8} + \frac{-2.25 \times 10^{-3}}{1.0}\right)$$

$$= 36 \times 10^6\ V$$

$\therefore\ V_C > V_A$। অর্থাৎ C বিন্দুর বিভব A বিন্দুর বিভবের চেয়ে বেশি কাজেই ধনাত্মক চার্জ C বিন্দু থেকে A বিন্দুর দিকে প্রবাহিত হবে।

২.৩ সমবিভব তল
Equipotential surface

আমরা জেনেছি যে ভূপৃষ্ঠের সর্বত্র বিভব সমান (শূন্য) কারণ ভূপৃষ্ঠ একটি তড়িৎ পরিবাহী। তড়িৎ পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভব পার্থক্য থাকা সম্ভব নয় কারণ বিভব পার্থক্যের নতিমাত্রা (gradient) থাকলে পৃষ্ঠে একটি তড়িৎ ক্ষেত্র কাজ করবে এবং পৃষ্ঠের ইলেকট্রনগুলো ওই তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে নিজেদের এরূপভাবে পুনর্বণ্টন করবে যাতে তড়িৎ ক্ষেত্র লোপ পায়। পরিবাহীর মোট আধান ধনাত্মক কী ঋণাত্মক হোক কিংবা পরিবাহী তড়িৎবিহীন হোক অথবা কোনো বস্তুর সাপেক্ষে পরিবাহীর প্রকৃত বিভব যাই হোক না কেন, সর্বক্ষেত্রে পৃষ্ঠের বিভব সর্বত্র সমান হবে।

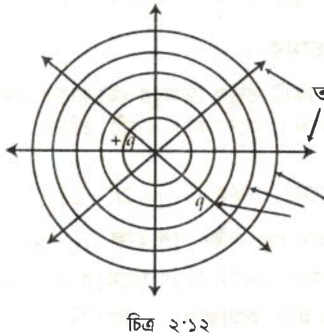
তাই বলা যায় **কোনো তল বা আয়তন যদি এরূপ হয় যে, তার বিভব সর্বত্র সমান, তবে ওই তল বা আয়তনকে সমবিভব তল বা আয়তন বলে।**

ব্যাখ্যা : একটি বিন্দু চার্জ $+q$ হতে r দূরত্বের যেকোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \quad \text{[সমীকরণ (2.31) অনুসারে]}$$

এখন q ও ϵ_0 ধ্রুব বলে বিন্দু চার্জ হতে যেকোনো 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 ২.১২-এ দ্বিমাত্রিক স্থানে বৃত্ত এঁকে বিভিন্ন সমবিভব তল দেখানো হয়েছে।

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



চিত্র ২.১২

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

সমবিভব তলের যেকোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তড়িৎ প্রাবল্য ওই তলের সাথে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

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

সমবিভব তলের যেকোনো দুটি বিন্দুর বিভব সমান। সুতরাং ওই 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। RMDAT

২·৩·১ সমবিভব তলের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of equipotential surface

(i) তড়িতাহিত পরিবাহীর তল সর্বদা সমবিভব তল। এই তলের ওপর তড়িৎ আধানগুলো স্থির থাকে।

(ii) তড়িৎ বলরেখা সমবিভব তলকে সমকোণে ছেদ করে।

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

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

অনুসন্ধান : চার্জিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভব তল হওয়ায় ওই তলের ওপর চার্জগুলো স্থির থাকে—ব্যাখ্যা কর।

ধরা যাক, চার্জিত পরিবাহীর দুটি বিন্দুতে বিভব পার্থক্য রয়েছে। সেক্ষেত্রে উচ্চ বিভবের বিন্দু থেকে নিম্ন বিভবস্থ বিন্দুতে চার্জ প্রবাহিত হবে। এই তড়িৎ প্রবাহ চলতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত না বিন্দু দুটির বিভব সমান হয়। বিভব সমান হলে এই প্রবাহ বন্ধ হয়ে যাবে। অর্থাৎ চার্জ স্থির হয়ে যাবে। সুতরাং চার্জিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ একটি সমবিভব তল, তাই ওই তলের ওপর চার্জ স্থির থাকে।

২·৪ তড়িৎ দ্বিমেরু
Electric dipole

২·৪·১ 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-দ্বিখণ্ডক রেখার যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য হওয়ায় এই রেখা বরাবর ধনাত্মক চার্জকে সরাতে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ শূন্য হয়।

সংজ্ঞা : **দুটি সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীতধর্মী বিন্দু চার্জ পরস্পরের খুব কাছাকাছি অবস্থিত থাকলে তাকে তড়িৎ দ্বিমেরু বলে।**

উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ধন প্রোটন এবং একটি ঋণ ইলেকট্রন আছে। অতএব ইহা একটি তড়িৎ দ্বিমেরু। পানি (H_2O), ক্লোরোফরম ($CHCl_3$), অ্যামোনিয়া (NH_3) হলো স্থায়ী দ্বিমেরুর উদাহরণ। এসব অণুতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান বণ্টনের কেন্দ্র কখনো একই বিন্দুতে হয় না।

তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক :

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

∴ দ্বিমেরু ভ্রামক $\boxed{p = q \times 2l = 2ql}$

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।

একক ও মাত্রা সমীকরণ : তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামকের SI একক Cm এবং মাত্রা সমীকরণ [ITL].

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 যেকোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য হওয়ায় এই রেখা বরাবর ধনাত্মক চার্জকে সরাতে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ শূন্য হয় অর্থাৎ কোনো কাজ করতে হয় না।

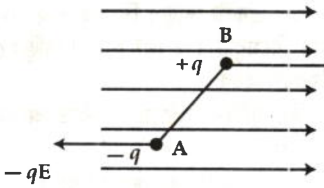
২·৪·২ সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপর প্রযুক্ত টর্ক

Torque on a dipole in a uniform electric field

মনে করি $+q$ ও $-q$ আধানবিশিষ্ট একটি তড়িৎ দ্বিমেরু AB সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত। $AB = 2l$। ধরি, তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ তড়িৎ ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে θ কোণে রয়েছে। B বিন্দুতে $+q$ আধানের ওপর $+qE$ বল তড়িৎ ক্ষেত্রের দিক বরাবর ক্রিয়া করে। পক্ষান্তরে A বিন্দুতে $-q$ আধানের ওপর $-qE$ বল তড়িৎ ক্ষেত্রের দিকের বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে। সুতরাং দুটি সমান, সমান্তরাল ও বিপরীত বল দ্বিমেরুর ওপর ক্রিয়া করে। তাই দ্বিমেরুর ওপর ক্রিয়ারত লব্ধি বল শূন্য। তবে বল দুটি একই রেখায় ক্রিয়ারত না হওয়ায় এরা দ্বিমেরুর ওপর টর্ক প্রয়োগ করে। এই টর্কের মান হবে—

τ = একটি বলের মান $\times$ বলদ্বয়ের মধ্যবর্তী লম্ব দূরত্ব

$\therefore \quad \tau = qE \times 2l \sin\theta = pE \sin\theta \quad [\because p = 2ql] \quad \ldots \quad (2.35)$



চিত্র ২·১৩

এখানে p হচ্ছে দ্বিমেরু ভ্রামক।

সমীকরণ (2.35)-কে ভেক্টররূপে লেখা যায়—

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.36)$$

সমীকরণ (2.36)-ই তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপর ক্রিয়ারত টর্কের সঙ্গে দ্বিমেরু ভ্রামক ও তড়িৎ ক্ষেত্রের সম্পর্ক।

(i) যখন $\theta = 90°$, অর্থাৎ $\tau = pE \sin 90° = pE$, তখন টর্কের মান সর্বোচ্চ হয়, অতএব $\tau_{max} = pE$

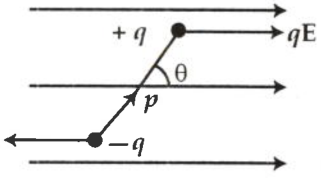
(ii) যখন $\theta = 0°$, অর্থাৎ $\tau = pE \sin 0° = 0$, তখন টর্কের মান শূন্য হয়। অর্থাৎ $\tau_{min} = 0$

তড়িৎ ক্ষেত্রে দ্বিমেরুকে বিক্ষিপ্ত করতে কৃত কাজ

Work done to deflect a dipole in an electric field

বাধাহীনভাবে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে থাকলে তড়িৎ দ্বিমেরুটি তড়িৎ ক্ষেত্রের সাথে সমান্তরালে থাকে। এই সাম্য অবস্থা থেকে দ্বিমেরুটি বিক্ষিপ্ত করতে হলে এর ওপর কাজ করতে হয়। এই কৃত কাজ দ্বিমেরুতে স্থিতিশক্তি রূপে সঞ্চিত থাকে।

ধরা যাক, ঘূর্ণনের সময় যেকোনো মুহূর্তে দ্বিমেরুটি তড়িৎ ক্ষেত্রের সাথে θ কোণে আনত রয়েছে। এই সময় দ্বিমেরুর ওপর প্রযুক্ত টর্ক,



চিত্র ২·১৪

$$\tau = pE \sin\theta$$

এখন দ্বিমেরুটিকে অতিরিক্ত $d\theta$ কোণে সরণ ঘটাতে হলে কৃত কাজ,

$$dW = \tau d\theta = pE \sin\theta \, d\theta$$

সুতরাং দ্বিমেরুটিকে α কোণে ঘুরাতে কৃত কাজ,

$$W = pE \int_0^{\alpha} \sin\theta \, d\theta = pE(1 - \cos\alpha)$$

সুতরাং, এই অবস্থানে তড়িৎ দ্বিমেরুর স্থিতিশক্তি,

$$U = pE(1 - \cos\alpha) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.37)$$

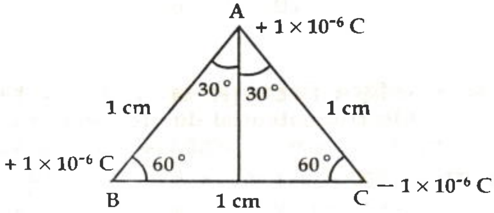
(i) দ্বিমেরুটিকে $\alpha = 90°$ কোণে ঘুরাতে কৃত কাজ, $W = pE(1 - \cos 90°) = pE$

(ii) দ্বিমেরুটিকে $\alpha = 180°$ কোণে ঘুরাতে কৃত কাজ, $W = pE(1 - \cos 180°) = pE(1 + 1) = 2pE$

গাণিতিক উদাহরণ ২.৯

১। নিচের চিত্রে একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিনটি শীর্ষ বিন্দুতে $1\mu C$, $-1\mu C$ ও $1\mu C$ 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

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

এবং অন্যটি $BC = p_2 = q_2 \times 2l$

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

$= 1 \times 10^{-8}$ C m

$\therefore$ লব্ধি দ্বিমেরু ভ্রামক, $p = p_1 \cos 30° + p_2 \cos 30°$

$= (p_1 + p_2) \cos 30° = (1 \times 10^{-8} + 1 \times 10^{-8}) \times 0{\cdot}866$

$= 2 \times 10^{-8} \times 0{\cdot}866 = 1{\cdot}73 \times 10^{-8}$ 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

২। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 1×10^{-4} কুলম্ব মানের দুইটি বিপরীত চার্জ দ্বারা গঠিত এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 সেমি। দ্বিমেরুটি 1×10^5 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,

$W = -pE(\cos\theta - \cos\theta_0) = -pE\{\cos(180°) - \cos(0°)\}$

$= -pE(-1) + pE$

$= pE + PE = 2pE$

$\therefore \quad W = 2pE = 2 \times 2ql \times E \quad [\because p = 2ql]$

$= 2 \times 1 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{-2} \times 1 \times 10^5 \quad [\because 2l = 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}]$

$= 0{\cdot}4$ J

৩। $\pm 10{\cdot}0\ \mu$C চার্জ দ্বারা গঠিত একটি ইলেকট্রিক দ্বিপোল 2 mm দূরত্বে আছে। দ্বিপোলের মধ্যবিন্দু হতে অভিলম্ব বরাবর 10 cm দূরত্বে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান কত?

আমরা জানি, তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{P}{(r^2 + l^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{2ql}{(r^2 + l^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-3}}{\{(10 \times 10^{-2})^2 + (1 \times 10^{-3})^2\}^{3/2}}$$

$$= \frac{180}{(100 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-6})^{3/2}} = 18 \times 10^4 \text{ NC}^{-1}$$

এখানে,

$q = 10\ \mu C = 10 \times 10^{-6}$ C

$2l = 2$ mm $= 2 \times 10^{-3}$ m

$\therefore \quad l = 1 \times 10^{-3}$ m

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

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

৪। 4 mm দূরত্বে রক্ষিত দুটি চার্জ $\pm 5\ \mu$C দ্বারা একটি ইলেকট্রিক দ্বিপোল গঠিত হয়েছে। দ্বিপোলটি 3×10^4 NC^{-1} তড়িৎ ক্ষেত্রে অভিলম্বভাবে স্থাপন করার জন্য কত টর্ক প্রয়োজন হবে?

আমরা জানি টর্ক,

$\tau = pE \sin\theta$

পুনরায়, $p = 2lq = 5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-3}$

$\therefore \quad \tau = 5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^4 \sin 90°$

$= 60 \times 10^{-5} = 6 \times 10^{-4}$ Nm

এখানে,

$q = 5\ \mu C = 5 \times 10^{-6}$C

$2l = 4$ mm $= 4 \times 10^{-3}$ m

$E = 3 \times 10^4$ NC^{-1}

$e = 90°$

$\tau = ?$

২·৪·৩ তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ বিভব

Electric potential due to electric dipole

মনে করি $+q$ এবং $-q$ দুইটি বিন্দু চার্জ। এরা শূন্য মাধ্যমে A ও B বিন্দুতে $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু সৃষ্টি করেছে [চিত্র ২·১৫]। ধরি A ও B-এর মধ্য-বিন্দু 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 ওপর যথাক্রমে AN′ ও BN লম্ব।

∴ P বিন্দুতে বিভব,

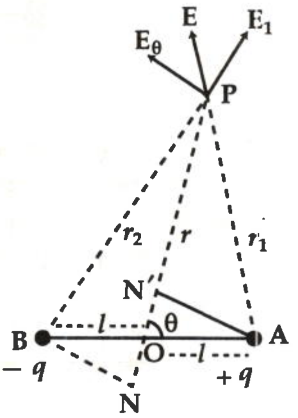
$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q}{AP} + \left(-\frac{q}{BP}\right)\right\}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{AP} - \frac{q}{BP}\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.38)$$

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

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

∴ সমীকরণ (2.39) হতে পাই,



চিত্র ২·১৫

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

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

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

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

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

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

∴ 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,

$$\boxed{V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{p\cos\theta}{r^2}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.39)$$

এটিই হলো তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য বিভবের রাশিমালা।

দ্রষ্টব্য : (i) যদি $\theta = 0°$ 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 $\theta = 90°$ হয়, অর্থাৎ P বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর অভিলম্ব হয়, তবে

$\boxed{V_P = 0}$ অর্থাৎ দ্বিমেরু দৈর্ঘ্যের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের ওপর যে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব শূন্য।

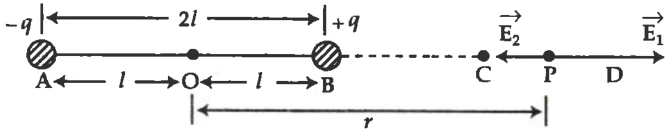
(iii) অন্য কোনো মাধ্যমে,

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

২·৪·৪ তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য ক্ষেত্র প্রাবল্য
Electric field due to an electric dipole

নিম্নে তিনটি বিভিন্ন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য আলোচনা করা হলো :

(i) তিড়ৎ দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য (Electric field at a point on the axis of a dipole) :



চিত্র ২.১৬

চিত্র ২.১৬-এ AB একটি তড়িৎ দ্বিমেরু। এর দৈর্ঘ্য $2l$। দ্বিমেরুটির অক্ষের ওপর অবস্থিত P বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। ধরা যাক, দ্বিমেরু কেন্দ্র O হতে P বিন্দুর দূরত্ব r।

এখন, $BP = r - l$ এবং $AP = r + l$

$+q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(r-l)^2}, \text{ এর অভিমুখ } \overrightarrow{BP} \text{ বরাবর।}$$

এবং $-q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(r+l)^2}, \text{ এর অভিমুখ } \overrightarrow{PB} \text{ বরাবর।}$$

সুতরাং, P বিন্দুতে মোট তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = E_1 + (-E_2) = E_1 - E_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{1}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2}\right]$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{4qrl}{(r^2 - l^2)^2}\right]$$

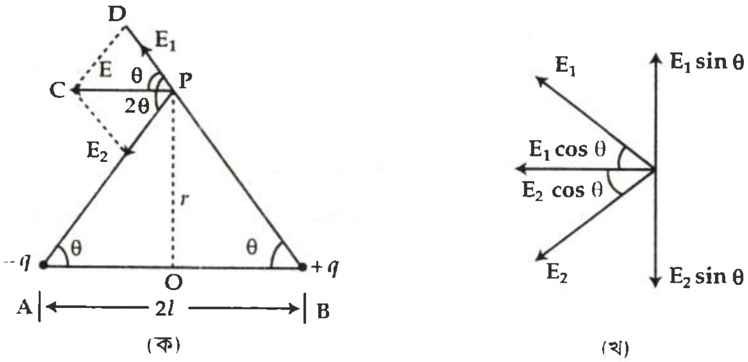
$$\therefore \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2pr}{(r^2 - l^2)^2}\text{ ; PD বরাবর,} \quad [\because 2ql = p], \quad \overrightarrow{BP} \text{ বরাবর}$$

বিশেষ ক্ষেত্রে : যদি $r >> l$ হয়, তবে $r^2 - l^2 = r^2$

$$\therefore \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3}, \text{ দ্বিমেরু ভ্রামক } \vec{p} \text{ বরাবর}$$

অতএব, p বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য, $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\vec{p}}{r^3}$

(ii) তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব দ্বিখণ্ডকের ওপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য (Electric field at a point on the equatorial line of the dipole) :



চিত্র ২.১৭

চিত্র ২˙১৭(ক)–এ AB একটি তড়িৎ দ্বিমেরু। এর আধানদ্বয় $-q$ ও $+q$, যথাক্রমে A ও B বিন্দুতে অবস্থিত।

$AB = 2l$। AB-এর লম্ব দ্বিখণ্ডকের ওপর P একটি বিন্দু। এই বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। AB এর মধ্যবিন্দু O থেকে P এর দূরত্ব r।

এখানে, $OA = OB = l$

$\therefore \quad AP = BP = \sqrt{r^2 + l^2}$

এখন $+q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r^2 + l^2)}, \text{ এর অভিমুখ } \overrightarrow{PD} \text{ বরাবর}$$

এবং $-q$ চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r^2 + l^2)}, \text{ এর অভিমুখ } \overrightarrow{PA} \text{ বরাবর।}$$

E_1 ও E_2 এর মান সমান, তবে দিক ভিন্নতর। এদের লব্ধি নির্ণয় করতে হবে।

চিত্র ২˙১৭(খ) এ E_1 ও E_2 দুটি লম্ব উপাংশে বিভাজিত দেখানো হয়েছে। চিত্র থেকে দেখা যায় যে তাদের লম্ব উপাংশগুলির মান সমান ও বিপরীতমুখী। তাই এরা পরস্পরকে প্রশমিত করে। কিন্তু অনুভূমিক উাপাংশ দুটির মান সমান এবং একই অভিমুখী। সুতরাং, E_1 ও E_2 এর লব্ধির মান।

$$E = E_1 \cos\theta + E_2 \cos\theta \text{ এবং এটি AB রেখার সমান্তরালে } \overrightarrow{PC} \text{ বরাবর ক্রিয়া করে।}$$

$$\therefore \quad E = \frac{2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r^2 + l^2)} \times \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}} \qquad \left[\,Q \cos\theta = \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}}\,\right]$$

$$\therefore \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p}{(r^2 + l^2)^{3/2}}, \text{ অভিমুখ } \overrightarrow{PC} \text{ বরাবর} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (i)$$

সমীকরণ (i) তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব দ্বিখণ্ডকের ওপর অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের রাশিমালা।

বিশেষ ক্ষেত্র (Special case) :

যদি $r >> l$ হয় তবে, $(r^2 - l^2)^{3/2} = r^3$

$$\therefore \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p}{r^3}, \text{ এর অভিমুখ } \overrightarrow{PC} \text{ বরাবর।}$$

সুতরাং, দ্বিমেরুর লম্ব দ্বিখণ্ডকের ওপর অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$\vec{E} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p}}{r^3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$ [ঋণাত্মক চিহ্ন নির্দেশ করে যে $\vec{E}$ এর অভিমুখ $\vec{P}$ এর বিপরীত দিকে]

বায়ু বা শূন্য মাধ্যম ভিন্ন অন্য কোনো মাধ্যমে দ্বিমেরু অবস্থিত হলে,

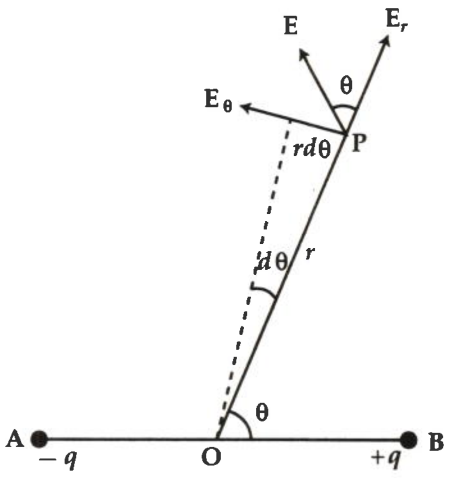
$$\vec{E} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{\vec{p}}{r^3}, \text{ এখানে } K = \text{মাধ্যমের পরাবিদ্যুৎ ধ্রুবক।}$$

(iii) তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য (Electric field intensity due to electric dipole) :

তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : আমরা জানি, দূরত্ব সাপেক্ষে বিভব পরিবর্তনের হারকে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য বলে এবং প্রাবল্য,

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

এখন OP বরাবর তড়িৎ প্রাবল্যের উপাংশের নাম ব্যাসার্ধমুখী উপাংশ (radial component)। একে E_r দ্বারা সূচিত করা হয় [চিত্র ২˙১৮]।



চিত্র ২·১৮

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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) :

১. বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর অবস্থিত হয় তবে $\theta = 0°$ হবে। সেক্ষেত্রে

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

২. বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর লম্ব সমদ্বিখণ্ডের ওপর অবস্থিত হয় তবে $\theta = 90°$ হবে। সেক্ষেত্রে

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

৩. $0° < \theta < 90°$, অর্থাৎ বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর অক্ষের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের ডান পাশে তথা ধনাত্মক চার্জ যে পাশে সেই পাশে হয় তাহলে $\cos\theta = +ve$ এবং বিভব ধনাত্মক হবে।

৪. $90° < \theta < 180°$, অর্থাৎ বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর অক্ষের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের বাম পাশে তথা ঋণাত্মক চার্জ যে পাশে সেই পাশে হয় তাহলে $\cos\theta = -ve$ এবং বিভব V ঋণাত্মক হবে।

৫. $\theta = 180°$, অর্থাৎ বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর হয় এবং ঋণাত্মক চার্জ যে পাশে সেই পাশে হয় তাহলে $\cos 180° = -1$ এবং $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 K}\times\frac{p}{r^2}$ হবে।

$\therefore$ তড়িৎ দ্বিমেরুর সমীকরণগুলো থেকে দেখা যায় যে, প্রাবল্য দূরত্বের ঘনফলের ব্যস্তানুপাতিক আর বিভব দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

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

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

গাণিতিক উদাহরণ ২.১০

১। 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 ওপর এর কেন্দ্র থেকে 50 cm দূরে একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর; (খ) দ্বিমেরুর লম্ব দ্বিখণ্ডকের ওপর কেন্দ্র থেকে 50 cm দূরে একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর এবং (ii) তড়িৎ দ্বিমেরুটিকে 2×10^6 NC^{-1} প্রাবল্যের তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এর ওপর কত বল ক্রিয়া করবে ?

[য. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]

এখানে,

$q = 2\ \mu C = 2 \times 10^{-6}$ C

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

$r = 50$ cm $= 0.5$ m

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$ Nm^{2}C^{-2}

(i) আমরা জানি,

তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$$p = q \times 2l = 2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-2}$$
$$= 4 \times 10^{-8}\ \text{C m}$$

(ক) এখন, দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{2p}{r^3} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 4 \times 10^{-8}}{(0.5)^3}$$

$$\therefore E_1 = 5.76 \times 10^3\ \text{NC}^{-1}$$

(খ) আবার, লম্ব দ্বিখণ্ডকের ওপর তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{p}{r^3}$$

$$\therefore E_2 = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-8}}{(0.5)^3} = 2.88 \times 10^3\ \text{NC}^{-1}$$

(ii) তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপর ক্রিয়াশীল বল,

এখানে,

$E = 2 \times 10^{-6}$ NC^{-1}

$$F = qE = 2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^6$$

$\therefore F = 4$ N, তড়িৎ ক্ষেত্র বরাবর।

২। + 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।

[JU unit-H set-A Admission Test, 2020-21]

এখানে,

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

$2l = 5$ cm $= 0.05$ m $= 5 \times 10^{-2}$ m

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

$V = ?$

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,

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

$$\therefore V = \frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-8}}{(15 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^4\ \text{volt}$$

৩। একটি দ্বিপোলের অক্ষের কেন্দ্র হতে 4 mm দূরত্বে বায়ু মাধ্যমে তড়িৎ ক্ষেত্র 4×10^5 NC^{-1} এবং 8 cm দূরত্বে তড়িৎ ক্ষেত্র 3×10^4 NC^{-1}। তড়িৎ দ্বিপোলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2pr}{(r^2 - l^2)^2}$$

প্রশ্নানুসারে,

$$4 \times 10^5 = 9 \times 10^9 \times \frac{2p \times 0{\cdot}04}{\{(0{\cdot}04)^2 - l^2\}^2} \quad \cdots \quad (i)$$

পুনরায়, $$3 \times 10^4 = 9 \times 10^9 \times \frac{2p \times 0{\cdot}08}{\{(0{\cdot}08)^2 - l^2\}^2} \quad \cdots \quad \cdots \quad (ii)$$

সমীকরণ (i)-কে (ii) দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$\frac{4 \times 10^5}{3 \times 10^4} = \frac{\{(0{\cdot}08)^2 - l^2\}^2 \times 0{\cdot}04}{\{(0{\cdot}04)^2 - l^2\}^2 \times 0{\cdot}08}$$

বা, $$\frac{13{\cdot}33}{0{\cdot}5} = \frac{\{(0{\cdot}08)^2 - l^2\}^2}{\{(0{\cdot}04)^2 - l^2\}^2}$$

বা, $$5{\cdot}16 = \frac{(0{\cdot}08)^2 - l^2}{(0{\cdot}04)^2 - l^2}$$

বা, $$5{\cdot}16 \times (0{\cdot}04)^2 - 5{\cdot}16\, l^2 = (0{\cdot}08)^2 - l^2$$

বা, $$4{\cdot}16\, l^2 = 8{\cdot}256 \times 10^3 - 6{\cdot}4 \times 10^{-3} = 1{\cdot}856 \times 10^{-3}$$

বা, $$l = \sqrt{\frac{1{\cdot}856 \times 10^{-3}}{4{\cdot}16}}$$

$$= 2{\cdot}1 \times 10^{-2}\ \text{m} = 0{\cdot}021\ \text{m}$$

$$\therefore\ 2l = 0{\cdot}021 \times 2 = 0{\cdot}042\ \text{m}$$

এখানে,

$r_1 = 4$ cm $= 0{\cdot}04$ m

$r_2 = 8$ cm $= 0{\cdot}08$ m

$E_1 = 4 \times 10^5$ NC^{-1}

$E_2 = 3 \times 10^4$ NC^{-1}

$2l = ?$

২·৫ অপরিবাহী বা অন্তরক ও ডাইইলেকট্রিক
Insulator and dielectric

২·৫·১ অপরিবাহী বা অন্তরক
Insulator

অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থ :

যেসব পদার্থের মধ্যে কোনো মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না এবং যেসব পদার্থ তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে না, তাদেরকে অন্তরক পদার্থ বলে। যেমন কাঁচ, রবার, প্লাস্টিক, এবোনাইট ইত্যাদি।

ডাইইলেকট্রিক বা পরাবৈদ্যুতিক পদার্থ :

কিছু কিছু অন্তরক পদার্থ আছে যারা তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে না ঠিকই; কিন্তু বৈদ্যুতিক ফলাফল প্রভাবিত করতে পারে। এসব পদার্থকে তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এদের পৃষ্ঠতলে আবিষ্ট আধানের সৃষ্টি হয়। কিন্তু এদের মধ্য দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। এই ধরনের পদার্থকে পরাবৈদ্যুতিক পদার্থ বা পরাবিদ্যুৎ বলে।

তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে একটি ডাইইলেকট্রিক পদার্থ রাখলে পরমাণুগুলোর ধনাত্মক চার্জ তড়িৎ ক্ষেত্রের দিকে এবং ঋণাত্মক চার্জ তড়িৎ ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য সরে যায়, ফলে প্রতিটি অণু এক একটি তড়িৎ দ্বিমেরুতে পরিণত হয়। এভাবে সৃষ্ট দ্বিমেরু আবেশ প্রক্রিয়াকে পোলারায়ন (Polarization) বলে।

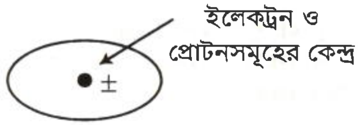
সংজ্ঞা : যেসব অপরিবাহী পদার্থকে তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে পোলারায়ন ঘটে তাদেরকে ডাইইলেকট্রিক বলে।

তাই বলা যায় সকল অপরিবাহী ডাই-ইলেকট্রিক নয় কিন্তু সকল ডাইইলেকট্রিক অপরিবাহী। ডাইইলেকট্রিক হচ্ছে উচ্চ পোলারায়িত অপরিবাহী। তাই ধারকে শক্তি সঞ্চয়ের জন্য ডাইইলেকট্রিক পদার্থ ব্যবহার করা হয়। যেমন মিথেন (CH_4), পানি, মাইকা (mica), প্লাস্টিক, অভ্র, সিরামিক, রাবার, অ্যাম্বার, কাঁচ ইত্যাদি।

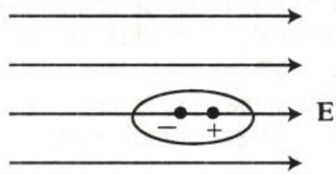
পরাবৈদ্যুতিক পদার্থের অণুর মধ্যে আধানের অবস্থান অনুযায়ী পরাবৈদ্যুতিক পদার্থকে দুইটি ভাগে ভাগ করা যায়:

(i) অমেরুবর্তী পদার্থ (Non-polar substance) এবং
(ii) মেরুবর্তী পদার্থ (Polar substance)

(i) অমেরুবর্তী পদার্থ (Non-polar substance) : যেসব পদার্থের অণুর ধনাত্মক আধান বণ্টনের কেন্দ্র এবং ইলেকট্রনসমূহের বণ্টনের কেন্দ্র একই বিন্দুতে থাকে তাদেরকে অমেরুবর্তী পদার্থ বলে। এদের কোনো স্থায়ী তড়িৎ



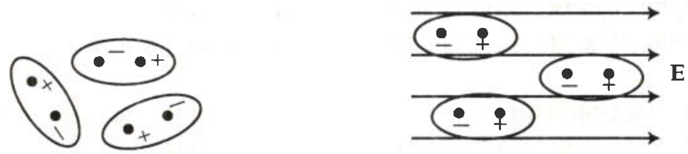
চিত্র ২·১৯(ক) : অমেরুবর্তী অণু।



চিত্র ২·১৯(খ) : তড়িৎ ক্ষেত্রে অমেরুবর্তী অণু।

দ্বিমেরু থাকে না [চিত্র ২·১৯(ক)]; কিন্তু তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপন করলে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান বণ্টনের কেন্দ্রের সামান্য আপেক্ষিক সরণ ঘটে; ফলে তড়িৎ দ্বিমেরুর সৃষ্টি হয় [চিত্র ২·১৯(খ)]। অমেরুবর্তী পদার্থের উদাহরণ মিথেন (CH_4), H_2, Cl_2, O_2, N_2, CO_2 ইত্যাদি। অমেরুবর্তী বা অ-পোলার (non-polar) ডাইইলেকট্রিক পদার্থের দ্বিমেরু ভ্রামক শূন্য হয়।

(ii) মেরুবর্তী পদার্থ (Polar substance) : যেসব পদার্থের অণুর ইলেকট্রনসমূহের বণ্টনের কেন্দ্র এবং ধনাত্মক আধান বণ্টনের কেন্দ্র একই বিন্দুতে অবস্থিত না থেকে সামান্য ব্যবধানে থাকে তাদেরকে মেরুবর্তী পদার্থ বলে



মেরুবর্তী অণু। তড়িৎ ক্ষেত্রে মেরুবর্তী অণু।

চিত্র ২·২০

[চিত্র ২·২০]। মেরুবর্তী পদার্থের উদাহরণ হলো অ্যামোনিয়া (NH_3), পানি (H_2O), HF, HCl, CO ইত্যাদি। এই পদার্থের প্রতিটি অণুর স্থায়ী দ্বিমেরু ভ্রামক থাকে।

২·৫·২ ডাইইলেকট্রিক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক
Dielectric constant

দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যবর্তী মাধ্যম শূন্য (vacuum) বা বায়ু হলে এদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের মান

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

এখানে ϵ_0 = শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা

আবার, অন্য যেকোনো মাধ্যমে এই ক্রিয়াশীল বলের মান,

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

এখানে ϵ = মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা

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

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

$$\therefore \quad k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{F_0}{F} = \text{দুটি বিন্দু চার্জের জন্য একই দূরত্বে } \frac{\text{শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে বল}}{\text{অন্য মাধ্যমে বল}} \quad \ldots \quad (2.40)$$

$$\text{বা,} \quad k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{\text{মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা}}{\text{শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা}}$$

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

সংজ্ঞা : দুটি নির্দিষ্ট বিন্দু চার্জ একই নির্দিষ্ট দূরত্বে থাকলে শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল এবং একই দূরত্বে অন্য কোনো মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের অনুপাতকে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলে। একই জাতীয় দুটি রাশির অনুপাত হেতু k-এর কোনো একক নাই।

বিকল্প সংজ্ঞা : কোনো ধারকের পরিবাহী পাত দুটির মধ্যে শূন্য মাধ্যমের পরিবর্তে অন্য কোনো অন্তরক পদার্থ থাকলে ধারকের ধারকত্ব যত গুণ বৃদ্ধি পায় তাকে ওই অন্তরকের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (dielectric constant) বা আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা ($\in_r$) বা তড়িৎ মাধ্যাঙ্ক (k) বলে।

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,

$$k = \frac{C}{C_0} = \frac{\text{অন্তরক পদার্থপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব}}{\text{বায়ু বা শূন্য মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.41)$$

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

পরাবৈদ্যুতিক বা ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবকের তাৎপর্য
Significance of dielectric constant

পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক পরিমাপের এককের ওপর 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 অন্য কোনো মাধ্যমে অবস্থিত ওই বিন্দু চার্জ দুটির মধ্যকার পারস্পরিক বল অপেক্ষা 2·5 গুণ বেশি। অর্থাৎ শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে এবং অন্য কোনো মাধ্যমে সমদূরত্বে অবস্থিত দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যকার পারস্পরিক বলের অনুপাত 2·5।

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

বিভিন্ন ডাইইলেকট্রিক পদার্থ ও ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক

ডাইইলেকট্রিক পদার্থ	ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক	ডাইইলেকট্রিক পদার্থ	ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক
টাইটানিয়াম ডাইঅক্সাইড	100	মোমে ভেজানো কাগজ অ্যাম্বার	2·7
পানি	80·0	পলিথিন	2·3
অভ্র	7·0	বায়ু	1·05
কাঁচ	5·10	শূন্যস্থান	1·00
ইবোনাইট	2·8		

২·৬ ধারক বা তড়িৎ আধার
Capacitor or condenser

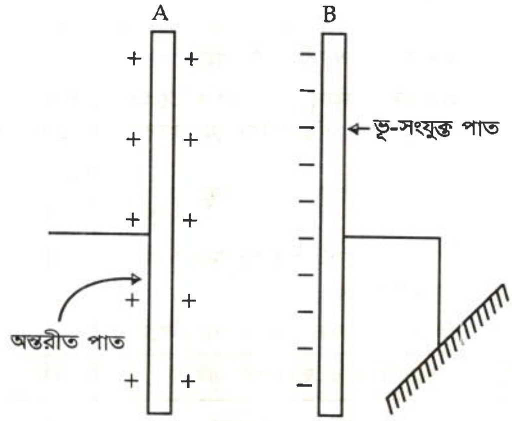
২·৬·১ ধারণা
Concept

'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 ২.২১]। 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 ওপর ঋণ বিভব উপরিস্থাপিত (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 ২.২১

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।

২.৬.২ 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 ওপর নির্ভর করে। উপরন্তু, নিকটবর্তী পরিবাহীগুলো অন্তরিত অথবা ভূমির সাথে যুক্ত কিনা তার ওপরও নির্ভর করে।

উপরোক্ত আলোচনা থেকে লেখা যায়,

$$q \propto V$$

বা, $$\frac{q}{V} = \text{ধ্রুবক} = \text{ধারকত্ব}$$

বা, $$\boxed{C = \frac{q}{V} = \frac{\text{আধান}}{\text{বিভব}}}$$

এই ধ্রুবকটিকে পরিবাহীটির ধারকত্ব (capacitance or capacity) বলা হয়।

ধারকত্ব : অর্থাৎ **কোনো পরিবাহীর বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ চার্জের প্রয়োজন হয় তাই ওই পরিবাহীর ধারকত্ব।** এর মান পরিবাহীটির আধানের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে।

$$\text{ধারকত্ব (C)} = \frac{\text{আধান}}{\text{বিভব}} = \frac{q}{V}$$

মাত্রা : $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{W/Q} = \frac{VQ^2}{W}$

$$\therefore [C] = \frac{I^2T^2}{ML^2T^{-2}} = M^{-1}L^{-2}T^4I^2$$

একক : ধারকত্বের একক ফ্যারাড (F) এবং ক্ষুদ্রতম একক মাইক্রোফ্যারাড (μF) ন্যানো ফ্যারাড (nF) পিকো ফ্যারাড (PF)।

$\therefore$ $1\mu F = 10^{-6}F$, $1nF = 10^{-9}F$ এবং $1PF = 10^{-12}F$

1 ফ্যারাড : কোনো পরিবাহীর বিভব 1 Volt বাড়াতে যদি 1 Coul. চার্জের প্রয়োজন হয় তাহলে ঐ পরিবাহীর ধারকত্বকে 1 ফ্যারাড (1F) বলে।

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

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।

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

$$\therefore\ \text{কোনো ধারকের ধারকত্ব} = \frac{\text{অন্তরীত পরিবাহীর চার্জ}}{\text{দুই পরিবাহীর মধ্যে বিভব বৈষম্য}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.42)$$

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

কোনো ধারকের ধারকত্ব 2F বলতে বুঝায়—ঐ পরিবাহকের বিভব 1V বাড়াতে 2C চার্জের প্রয়োজন হয়।

কাজ : 1 ফ্যারাড ধারকত্ববিশিষ্ট একটি পরিবাহী তৈরি করা কী সম্ভব—ব্যাখ্যা কর।

ধরি পরিবাহীটি গোলকাকার। এখন আমরা জানি গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব, $C = 4\pi\epsilon_0 r$। 1 ফ্যারাড ধারকত্বের জন্য পরিবাহীটির ব্যাসার্ধ হবে,

$$r = \frac{C}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{\frac{1}{9\times10^9}} = 9\times10^9\,\text{m}$$

এই মান অত্যন্ত বড় যা পৃথিবীর ব্যাসার্ধের চেয়েও বেশি। সুতরাং 1 ফ্যারাড ধারকত্ববিশিষ্ট পরিবাহী তৈরি করা সম্ভব নয়।

২·৬·৩ পরিবাহীর ধারকত্ব যে যে বিষয়ের ওপর 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, সেসব 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 মধ্যবর্তী মাধ্যম : পরিবাহীর মধ্যবর্তী মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের ওপর তার ধারকত্ব নির্ভর করে। অপেক্ষাকৃত উচ্চ পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে পরিবাহীর ধারকত্ব বেশি হয় এবং নিম্ন পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক-সম্পন্ন মাধ্যমে পরিবাহীর ধারকত্ব কম হয়। একটি পরিবাহীর ধারকত্ব শূন্য স্থানে বা বায়ুতে C_0 এবং k পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে C_k হলে সমীকরণ (2.42) হতে দেখানো যায় যে,

$$k = \frac{C_k}{C_0} = \frac{\text{কোনো মাধ্যমে একটি পরিবাহীর ধারকত্ব}}{\text{শূন্যস্থানে বা বায়ুতে ওই পরিবাহীর ধারকত্ব}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.43)$$

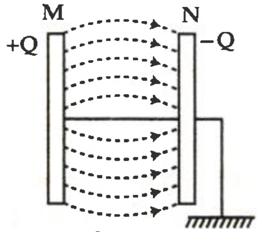
(গ) পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব : সমান্তরাল পাত ধারকের মধ্যবর্তী দূরত্ব বৃদ্ধি পেলে ধারকত্ব কমে এবং দূরত্ব কমলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

(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 ?

ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি করা যায়—

(১) ধারকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বাড়িয়ে
(২) ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যকার দূরত্ব কমিয়ে
(৩) পাতদ্বয়ের মধ্যে বেশি মানের ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবকের পদার্থ স্থাপন করে এবং
(৪) পাতদ্বয়ের যেকোনো একটিকে ভূ-সংযুক্ত করে।

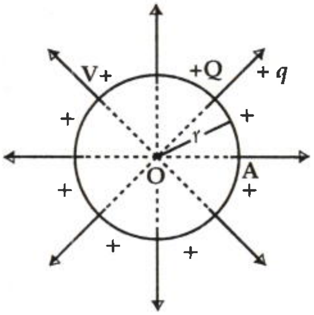


চিত্র ২·২২

২·৬·৪ 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 ২·২৩]। ধরি গোলকের ধারকত্ব C এবং পৃষ্ঠের বিভব V। অতএব ধারকত্বের সংজ্ঞা অনুসারে,

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{অথবা,} \quad V = \frac{Q}{C} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2.44)$$



চিত্র ২·২৩

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 ওই চার্জ হতে বলরেখাগুলো একইভাবে নির্গত হবে। এ কারণে চার্জগ্রস্ত গোলাকার পরিবাহীর ক্ষেত্রে সমস্ত চার্জ তার কেন্দ্রে অবস্থিত কল্পনা করা যায়।

∴ গোলাকার পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q}{r} \quad \dots \quad (2.45)$

সমীকরণ (2.44) ও (2.45) অনুসারে, $\frac{Q}{C} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q}{r}$

$$\therefore \; C = 4\pi\epsilon_0 r \quad \dots \quad \dots \quad (2.46)$$

সুতরাং এ প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যায় যে,

১. k পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে গোলকের পৃষ্ঠে বিভব,

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 kr}$$

কাজেই, $C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 kr \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2.47)$

এখানে $\epsilon_0 = 8{\cdot}854 \times 10^{-12}$ কুলম্ব²/ নিউটন-মিটার² ($C^2/N\text{-}m^2$)।

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)। এটি ϵ_0 এর একক

গাণিতিক উদাহরণ ২.১১

১। প্রতিটি 220V চার্জিত সম আকারের আটটি ছোট ফোঁটাকে মিলিত করে একটি বড় ফোঁটায় পরিণত করা হলো। বড় ফোঁটার বিভব কত ? [BUET Admission Test, 2014–15]

এখানে,

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = 8 \times \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$R^3 = 8r^3 = (2r)^3$$

$$R = 2r$$

আবার, $Q = 8q$

$$V \times C = 8 \times V_1 C_1 \qquad \left[\because C = \frac{Q}{V}\right]$$

$$V \times 4\pi\varepsilon_0 R = 8 \times 220 \times 4\pi\varepsilon_0 r$$

$$V = \frac{8 \times 220 \times r}{R} = \frac{8 \times 220 \times r}{2r} = 880 \text{ V}$$

২। একটি পানিপূর্ণ ধাতব পাত্র অন্তরিত এবং 5V বিভবে চার্জিত আছে। পাত্রের তলায় একটি ছিদ্র দিয়ে ফোঁটা ফোঁটা পানি পড়ছে। প্রতিটি ফোঁটার চার্জ নির্ণয় কর। ফোঁটার ব্যাসার্ধ 1 mm।

আমরা জানি, গোলাকার ফোঁটার ধারকত্ব,

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

$$\therefore \quad C = \frac{10^{-3}}{9 \times 10^9} = \frac{1}{9} \times 10^{-12} \text{ F}$$

এখানে,
$V = 5V$
$R = 1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$

$\therefore$ প্রতিটি ফোঁটার চার্জ,

$$q = CV = \frac{1}{9} \times 10^{-12} \times 5 = 5{\cdot}55 \times 10^{-13} \text{ C}$$

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 ($C = 4\pi\epsilon_0 kr$) সমান হবে যদি পারিপার্শ্বিক মাধ্যম একই হয়। আবার পারিপার্শ্বিক মাধ্যম বায়ু হলে ধারকত্ব $= 4\pi\epsilon_0 r$, যেখানে $r =$ গোলকের ব্যাসার্ধ। উল্লিখিত 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।

২·৬·৫ তড়িৎ ধারকত্ব

Electric capacitance or capacity

আমরা জানি প্রত্যেক বস্তুর তাপ গ্রহণের একটি ক্ষমতা আছে। একে বস্তুর তাপধারণ ক্ষমতা বা তাপগ্রহীতা 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,

$$Q \propto V \quad \text{বা,} \quad Q = \text{ধ্রুবক} \times V$$

$$\text{বা,} \quad Q = CV \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.48)$$

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 (2.48) 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 ওপর নির্ভর করে।**

কাজ ও বিভব উভয়ই স্কেলার রাশি। তাই ধারকত্বও স্কেলার রাশি। ধারকত্ব সর্বদা ধনাত্মক রাশি।

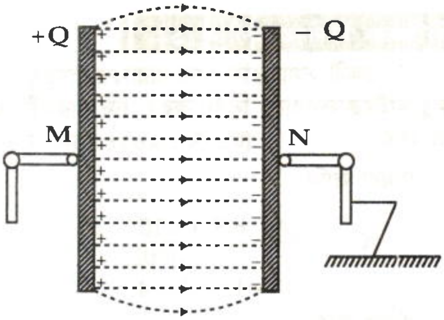
কাজ : পানির পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান খুব বেশি। কিন্তু পানিকে ধারকের ডাই-ইলেকট্রিক পদার্থ হিসেবে ব্যবহার করা হয় না—ব্যাখ্যা কর। [য. বো. ২০১৯]

পানির পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক অনেক বেশি; তবে বিশুদ্ধ অবস্থায় থাকলেই কেবল এটি ভালো অন্তরকের মতো আচরণ করে। কিন্তু পানিতে অপদ্রব্য দ্রবীভূত থাকলে পানি পরিবাহীর মতো আচরণ করে, তাই পানি ধারকের ডাই-ইলেকট্রিক হিসেবে উপযুক্ত নয়। তাছাড়া পানি তরল পদার্থ হওয়ায় এটি ধারকের ডাই-ইলেকট্রিক হিসেবেও সুবিধাজনক নয়।

২.৬.৬ সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব
Capacitance of a parallel plate condenser

বর্ণনা : সমান্তরাল পাত ধারকে দুটি সমান্তরাল ধাতব পাত আছে। এরা যথাক্রমে M ও N [চিত্র ২.২৪]। 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 ওপর 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 ওপর 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 ২.২৪

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, $C = \frac{A\epsilon}{d}$ ... ... [2.48(a)]

এবং বায়ু বা শূন্য মাধ্যমের জন্য ধারকত্ব, $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ ... ... [2.48(b)]

আবার, $K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ বা, $\epsilon = \epsilon_0 K$

সুতরাং বায়ু ভিন্ন অন্য মাধ্যমের ক্ষেত্রে, $C = \frac{A\epsilon}{d} = \boxed{\frac{A\epsilon_0 K}{d}} = \frac{\epsilon_0 KA}{d}$ ... ... [2.48(c)]

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 ?

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{d}$$
$$= \frac{4\pi\epsilon_0 r^2}{4d} = \frac{(1 \times 10^{-2})^2}{9 \times 10^9 \times 4 \times 1 \times 10^{-2}}$$
$$= 2.8 \times \times 10^{-13}$$

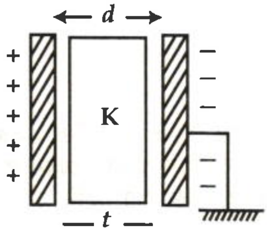
এবং $V = \frac{Q}{C} = \frac{9 \times 10^{-7}}{2.8 \times 10^{-13}} = 3.2 \times 10^6$ volt

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

ডাইইলেকট্রিক ফলকযুক্ত সমান্তরাল পাত ধারক



চিত্র ২·২৪(ক) K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট ধারক।

কোনো একটি সমান্তরালে পাত ধারকের দুটি পাতের মধ্যস্থলে বায়ুর পরিবর্তে K তড়িৎ মাধ্যমাঙ্কবিশিষ্ট বা ডাইইলেকট্রিক মাধ্যম স্থাপন করলে তার ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে এবং ধারকত্ব হবে,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{\left[d - t\left(1 - \frac{1}{K}\right)\right]}$$

এখানে, d = পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব।
t = ডাইইলেকট্রিক পদার্থের পুরুত্ব।

গাণিতিক উদাহরণ ২.১২

১। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ক্ষেত্রফল 1·4 m² এবং বায়ু মাধ্যমে পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·03 m। এর ধারকত্ব মাইক্রোফ্যারাডে নির্ণয় কর। যদি ধারকটি 500V বৈদ্যুতিক উৎসের সাথে যুক্ত করা হয় তবে ধারকে কত শক্তি সঞ্চিত হবে? [ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০১১; BUET Admission Test, 2017-18 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{8·854 \times 10^{-12} \times 1·4}{0·03}$$
$$= 4·13 \times 10^{-10}\ F = 4·13 \times 10^{-4}\ \mu F$$

সঞ্চিত শক্তি,

$$V = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 4·13 \times 10^{-10} \times (500)^2$$
$$= 5·16 \times 10–5\ J$$

এখানে,
$\epsilon_0 = 8·854 \times 10^{-12}\ Fm^{-1}$
$A = 1·4\ m^2$
$d = 0·03\ m$

২। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল 1·5 × 10⁶ mm² এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 cm। যদি বিভব পার্থক্য 60 V হয়, তবে প্রত্যেক পাতের চার্জ নির্ণয় কর। [$\epsilon_0 = 8·854 \times 10^{-12}\ Fm^{-1}$]
[দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১০; KUET Admission Test, 2015-16]

মনে করি, ধারকের ধারকত্ব = C
আমরা জানি,

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

আবার, $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

$$\therefore \quad C = \frac{8·854 \times 10^{-12} \times 1·5}{0·02}$$

সমীকরণ (i)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$Q = C \times V = \frac{8·854 \times 10^{-12} \times 1·5 \times 60}{0·02} = 3·98 \times 10^{-8}\ \text{coulomb}$$

এখানে,
$A = 1·5 \times 10^6\ mm^2 = 1·5\ m^2$
$d = 2\ cm = 0·02\ m$
$\epsilon_0 = 8·854 \times 10^{-12}\ Fm^{-1}$
$V = 60\ V$
$Q = ?$

৩। 12 μF এবং 24 μF ধারকত্বের দুটি ধারক শ্রেণিবন্ধভাবে সংযুক্ত করলে ধারকত্ব কত হবে ? এদের দুই প্রান্ত 40 V এর একটি ব্যাটারির সাথে সংযুক্ত করলে এটি কত চার্জ গ্রহণ করবে ? একটি 100 Ω রোধক উক্ত ধারক দুটির সাথে শ্রেণি সংযোগ করলে গৃহীত চার্জের কী পরিবর্তন হবে ? [KUET Admission Test, 2003–04]

আমরা জানি,

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

$$\therefore \quad C_s = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{12 \times 24}{12 + 24} = 8\ \mu F$$

এখানে,
$C_1 = 12\ \mu F$
$C_2 = 24\ \mu F$
$V = 40\ V$
$R = 100\ \Omega$

আবার,

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

বা, $Q = CV = 8 \times 10^{-6} \times 40 = 3{\cdot}2 \times 10^{-4}\ C$

যেহেতু ডিসি (DC) কারেন্ট ধারকের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত হয় না, সুতরাং বর্তনীতে রোধ যুক্ত করলে চার্জের কোনো পরিবর্তন হবে না।

৪। 2 μF ধারকত্বের একটি গোলাকার তরল বিন্দু ভেঙ্গে ৪টি ছোট তরল বিন্দুতে পরিণত হলে প্রতিটি ছোট তরল বিন্দুর ধারকত্ব কত?

ধরা যাক, বড় তরল বিন্দুর ব্যাসার্ধ = R এবং ছোট তরল বিন্দুর ব্যাসার্ধ = r

সুতরাং, বড় তরল বিন্দুর আয়তন $= \frac{4}{3}\pi R^3$ এবং ছোট তরল বিন্দুর আয়তন $= \frac{4}{3}\pi r^3$

এখন প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = 8 \times \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\therefore \quad r = \frac{R}{2}$$

আমরা জানি, গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব $C = 4\pi\epsilon_0 R$

অতএব, প্রতিটি ছোট তরল বিন্দুর ধারকত্ব,

$$C' = 4\pi\epsilon_0 r = 4\pi\epsilon_0 \times \frac{R}{2} = \frac{C}{2}$$

$$\therefore \quad C' = \frac{2}{2}\ \mu F = 1\ \mu F$$

এখানে, $C = 2\ \mu F$

২·৭ 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)।

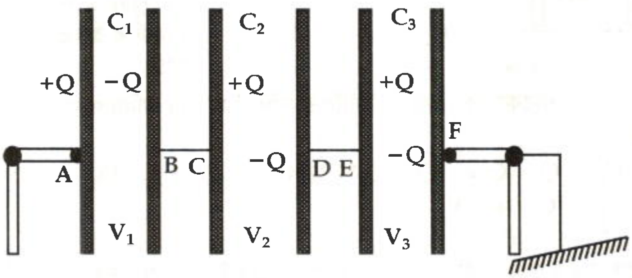
তুল্য ধারকত্ব (Equivalent capacitance) : ধারকের কোনো সমবায়ের পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে যদি ধারকের পাতে চার্জ এবং বিভব পার্থক্য সমবায়ের চার্জ ও বিভব পার্থক্যের সমান থাকে, তবে ওই ধারকের ধারকত্বকে সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব বলে।

RMDAT

২·৭·১ ধারকের শ্রেণি বা সিরিজ বিন্যাস
Combination of series capacitors

যখন কতগুলো 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। ২·২৫ 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



চিত্র ২·২৫

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, $V = V_1 + V_2 + V_3$।

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

$$\therefore \quad V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$= Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.49)$$

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

$$V = \frac{Q}{C_s} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.50)$$

সমীকরণ (2.49) ও (2.50) অনুসারে,

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

$$\therefore \quad \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.51)$$

C_s-ই হচ্ছে তুল্য ধারকত্ব।

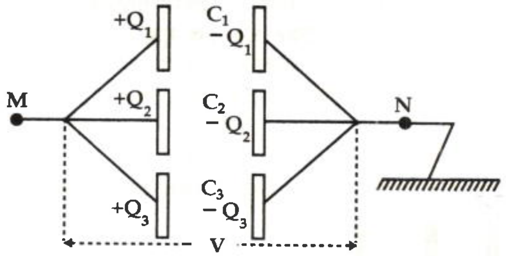
অনুরূপভাবে দেখানো যায় যে, শ্রেণি সংযোজনের অন্তর্গত C_1, C_2, C_3, ..., C_n ধারকত্বের nটি ধারকের তুল্য ধারকত্ব C_s হলে,

$$\boxed{\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots \ldots + \frac{1}{C_n} = \Sigma\frac{1}{C}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.52)$$

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

২·৭·২ ধারকের সমান্তরাল সংযোগ
Parallel combination of 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 সংযোগ বলে।



চিত্র ২·২৬

২·২৬নং চিত্রে সমান্তরাল সংযোগের 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। এই 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 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

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

$$= (C_1 + C_2 + C_3)V \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.53)$$

যদি সমগ্র সমান্তরাল সংযোগের 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

$$Q = C_pV = (C_1 + C_2 + C_3)V$$

$$\therefore \quad C_p = C_1 + C_2 + C_3 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.54)$$

C_p হচ্ছে তুল্য ধারকত্ব।

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

$$\boxed{C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots + C_n = \sum C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.55)$$

সুতরাং, **সমান্তরাল সংযোগের 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 $= C$

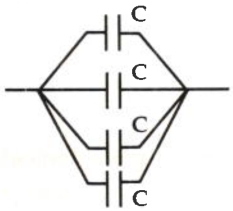
এদের সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব $C_p = C + C = 2C \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

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 ২.১৩

১। প্রমাণ কর যে, সমান ধারকত্বের 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।

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

সিরিজ সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব C_s হলে

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$
$$= \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{4}{C}$$
$$\therefore C_s = \frac{C}{4} = \frac{C_p}{4 \times 4} \quad \text{[(i) নং দ্বারা]}$$
$$= \frac{1}{16} C_p \text{ (প্রমাণিত)}$$

২। দুটি ধারকের শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব যথাক্রমে 5μF ও 1.2 μF। প্রতিটি ধারকের ধারকত্ব নির্ণয় কর। [DU (প্রযুক্তি) Admission Test, 2020–21 (মান ভিন্ন)]

ধরা যাক, ধারক দুটি যথাক্রমে $C_1\mu F$ এবং $C_2\mu F$। প্রশ্নানুসারে,

$$C_1 + C_2 = 5\mu F \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এবং $\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 1.2\ \mu F$

বা, $C_1 C_2 = 1.2(C_1 + C_2) = 1.2 \times 5 = 6 \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

বা, $C_1(5 - C_1) = 6$ বা, $C_1(5 - C_1) - 6 = 0$ [সমীকরণ (i) ব্যবহার করে]

বা, $C_1^2 - 5C_1 + 6 = 0$ বা, $(C_1 - 3)(C_1 - 2) = 0$

$\therefore C_1 = 3,$ বা 2

যদি $C_1 = 3$ হয় তবে $C_2 5 - 3 = 2\mu F$

এবং যদি $C_1 = 2$ হয় তবে $C_2 = 5 - 2 = 3\mu F$

সুতরাং, ধারক দুটির ধারকত্ব 3μF এবং 2μF।

৩। তিনটি ধারক 2μF, 3μF এবং 4μF শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত এবং সমবায়ের দুই প্রান্তে 220V প্রয়োগ করা হয়েছে। প্রতিটি ধারকের চার্জ এবং বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

এখানে,

$C_1 = 2\mu_1 = 2\times10^{-6}$ F

$C_2 = 3\mu F = 3\times10^{-6}$ F

$C_3 = 4\mu F = 4\times10^{-6}$ F

$V = 220V$

আমরা জানি শ্রেণি সমবায়ের জন্য ধারকত্ব,

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

$$= \frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4} = \frac{13}{12}$$

$$\therefore C = \frac{12}{13} = \mu F = \frac{12}{13}\times10^{-6}\text{ F}$$

সুতরাং, মোট চার্জ, $Q = CV$

$$\therefore Q = \frac{12}{13}\times10^{-6}\times220 = 2{\cdot}03\times10^{-4}\text{ C}$$

যেহেতু, ধারকগুলো শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। সুতরাং প্রতিটি ধারকে চার্জ মোট চার্জের সমান; অর্থাৎ $2{\cdot}03\times10^{-4}$ C

এখন, ১ম ধারকের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য, $V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{2{\cdot}03\times10^{-4}}{2\times10^{-6}} = 101{\cdot}5V$

২য় ধারকের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য, $V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{2{\cdot}03\times10^{-4}}{3\times10^{-6}} = 67{\cdot}67V$

৩য় ধারকের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য, $V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{2{\cdot}03\times10^{-4}}{4\times10^{-6}} = 50{\cdot}75V$

২·৭·৩ ধারকের স্থিতি বা সঞ্চিত শক্তি
Potential energy of a condenser or a capacitor

ধারকের পাত দুটিকে একটি তার দ্বারা যুক্ত করে যদি আধানের ক্ষরণ ঘটানো হয়, তবে এই সঞ্চিত স্থিতিশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ক্ষরণের সময় তড়িৎ স্ফুটিঙ্গের সৃষ্টি হলে তড়িৎ স্থিতিশক্তি, তাপ, আলোক ও শব্দশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। 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, তা-ই ধারকে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে। এক্ষেত্রে একটি পাতকে V বিভবে চার্জিত করতে যে কাজ করতে হয় তা-ই 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। ওই সময় পাতটিকে আরো dq পরিমাণ চার্জ সরবরাহ করতে সাধিত কাজের পরিমাণ, $dW = Vdq = \frac{q}{C}dq$ এবং পাতটিতে যদি মোট Q চার্জ সরবরাহ করা হয়, তবে মোট সাধিত কাজের পরিমাণ,

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

$$= \frac{1}{C}\left[\frac{q^2}{2}\right]_0^Q = \frac{1}{C}\left[\frac{Q^2}{2}\right]$$

$$= \frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.56)$$

$\therefore$ ধারকের স্থিতিশক্তি,

$$P.E. = W = \frac{Q^2}{2C} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.57)$$

$$= \frac{1}{2}Q\times\frac{Q}{C} = \frac{1}{2}QV \quad \left[\because V = \frac{Q}{C}\right] \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.58)$$

$$= \frac{1}{2}CV^2 \quad [\because Q = CV] \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.59)$$

যদি Q কুলম্বে, 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 (2.57), (2.58) এবং (2.59)-এর প্রত্যেকটি হলো ধারকের স্থিতিশক্তির রাশিমালা। অর্থাৎ একটি আহিত ধারকে মোট শক্তির পরিমাণ, $\boxed{U = \frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV}$। ধারকে সঞ্চিত শক্তি নির্ভর করে ধারকের দুই পাতের মধ্যবর্তী বিভব পার্থক্য ধারকের ধারকত্ব এবং চার্জের ওপর। একটি নির্দিষ্ট ধারকে সঞ্চিত শক্তি তার আধানের বর্গের সমানুপাতিক এবং বিভব পার্থক্য স্থির থাকলে ধারকের সঞ্চিত শক্তি তার চার্জের সমানুপাতিক হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ২.১৪

১। 0·6 μF ধারকত্বের একটি পরিবাহীকে 84 V বিভবে আহিত করা হলো। পরিবাহীটির আধান এবং সঞ্চিত শক্তি নির্ণয় কর।

আমরা জানি, পরিবাহীর আধান,

$$q = CV$$

$$\therefore\ q = 0·6 \times 10^{-6} \times 84$$

$$= 50·4 \times 10^{-6}\ C = 5·04 \times 10^{-5}\ C$$

এবং সঞ্চিত শক্তি, $U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 0·6 \times 10^{-6} \times (84)^2$

$$= 2·117 \times 10^{-3}\ J$$

এখানে,
$C = 0·6\ \mu F = 0·6 \times 10^{-6}\ F$
$V = 84\ V$
$q = ?$
$U = ?$

২। দুটি ধারকের সমান্তরাল সমবায়ের এবং শ্রেণি সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব যথাক্রমে 5 μF এবং 1·2 μF হলে ধারক দুটির ধারকত্ব নির্ণয় কর। ধারক দুটি সমান্তরাল সমবায়ে থাকাকালীন 9·0V ব্যাটারি দ্বারা আহিত করলে এতে কী পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত হবে ?

ধরা যাক, ধারক দুটির ধারকত্ব C_1 এবং C_2

এখন, প্রশ্নানুসারে, $C_1 + C_2 = 5\ \mu F \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

এবং $\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 1·2\ \mu F$

$$\therefore\ C_1 C_2 = 1·2 \times (C_1 + C_2) = 1·2 \times 5 = 6\ (\mu F)^2$$

আবার, $C_1 - C_2 = \sqrt{(C_1 + C_2)^2 - 4C_1C_2}$

$$= \sqrt{25 - 4 \times 6} = \sqrt{25 - 24} = 1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$$2C_1 = 6\ \mu F \qquad \therefore\ C_1 = \frac{6}{2} = 3\ \mu F$$

এবং $2C_2 = 4 \qquad \therefore\ C_2 = \frac{4}{2} = 2\ \mu F$

অতএব, নির্ণেয় ধারক দুটি হলো $C_1 = 3\ \mu F$ এবং $C_2 = 2\ \mu F$

সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব, $C_P = C_1 + C_2 = 3 + 2 = 5\ \mu F = 5 \times 10^{-6}\ F$

$\therefore$ সঞ্চিত শক্তি, $U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-6} \times (9·0)^2 = 2·03 \times 10^{-4}\ J$

৩। একটি ধারককে 220 V সরবরাহ লাইনে যুক্ত করে সম্পূর্ণভাবে চার্জ করা হলো। অতঃপর ধারকটিকে একটি ছোট রোধ কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে ডিসচার্জ করা হলো। রোধ কুণ্ডলীটি একটি তাপ অন্তরীত ব্লকের ভেতরে ঢুকানো ছিল। ব্লকের ভর 0·15 kg এবং আপেক্ষিক তাপ $2·2 \times 10^2\ J\ kg^{-1}K^{-1}$। ব্লকের তাপমাত্রা 0·4°C বৃদ্ধি পেলে ধারকের ধারকত্ব নির্ণয় কর।

আমরা জানি, ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

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

$$= \frac{1}{2} \times C \times (220)^2$$

$$= 2·42 \times 10^4\ CJ$$

ধারকে সঞ্চিত এই শক্তিই ব্লকে তাপশক্তির সৃষ্টি করবে।

এখানে,
লাইন ভোল্টেজ, $V = 220\ V$
ব্লকের ভর, $m = 0·15\ kg$
ব্লকের আপেক্ষিক তাপ,
$S = 2·2 \times 10^2\ Jkg^{-1}K^{-1}$
তাপমাত্রা বৃদ্ধি, $\theta = 0·4°C = 0·4\ K$
ধারকের ধারকত্ব, $C = ?$

এখন, ব্লকে উৎপন্ন তাপশক্তি,

$$mS\theta = 0.15 \times 2.2 \times 10^2 \times 0.4 = 0.132 \times 10^2 \text{ J}$$

অতএব, প্রশ্নানুসারে,

$$2.42 \times 10^4 \text{ CJ} = 0.132 \times 10^2 \text{ J}$$

বা, $2.42 \times 10^4 \text{ C} = 0.132 \times 10^2$

$$\therefore \quad C = \frac{0.132 \times 10^2}{2.42 \times 10^4} = \frac{0.132 \times 10^{-2}}{2.42}$$

$$= \frac{13.2}{2.42} \times 10^{-4}$$

$$= 5.45 \times 10^{-4} \text{ F} = 545 \times 10^{-6} \text{ F} = 545 \ \mu\text{F}$$

২.৭.৪ তড়িৎ ক্ষেত্রের একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা
Equation of stored energy in unit volume of electric field

একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি,

$$U = \frac{W}{\text{আয়তন}} = \frac{W}{Ad}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}CV^2}{Ad} = \frac{\frac{1}{2}C(Ed)^2}{Ad} \quad \left[\because E = \frac{V}{d} \quad \therefore V = Ed\right] \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.60)$$

সমীকরণ [2.48(b)] ব্যবহার করে আমরা পাই,

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

$$= \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.61)$$

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

$$U = \frac{1}{2}\epsilon_r \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2}\epsilon E^2 \qquad [\because \epsilon_r \epsilon_0 = \epsilon] \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.62)$$

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

কোনো ধারককে যেকোনো 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 ২.১৫

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 যেকোনো বিন্দুতে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি বের কর।

[চ. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]

মনে করি, পাত ধারকত্ব $= C$

পাত দুটির মধ্যে সঞ্চিত শক্তি $= U$ এবং

পাত দুটির মধ্যে যেকোনো বিন্দুতে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি $= u$

দেওয়া আছে,

$A = 0.03 \text{ m}^2$

$d = 2 \times 10^{-3}\text{m}$

$V = 150 \text{ V}$

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

(i) আমরা জানি,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(0.03 \text{ m}^2)}{2 \times 10^{-3}\text{m}}$$

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

(ii) পাত দুটির মধ্যে সঞ্চিত শক্তি

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}(13{\cdot}27\times10^{-11}\,F)(150)^2$$
$$= 14{\cdot}9\times10^{-7}\,J$$

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

$$U = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2}\epsilon_0\left(\frac{V}{d}\right)^2 \qquad [\because V = Ed]$$
$$= \frac{1}{2}(8{\cdot}85\times10^{-12}\,Fm^{-1})\left(\frac{150V}{2\times10^{-3}m}\right)^2$$
$$= \frac{8{\cdot}85\times150\times150\times10^{-12}\times10^6}{2\times2\times2}$$
$$= 2{\cdot}49\times10^{-2}\,J\,m^{-3}$$

২। একটি বিচ্ছিন্ন সমান্তরাল পাত ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব দ্বিগুণ করা হলে ধারকের সঞ্চিত শক্তির কী পরিবর্তন হবে ? [JU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]

দেওয়া আছে,

$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

$C_1 = \frac{\epsilon_0 A}{2d}$

আমরা জানি,

ধারকের সঞ্চিত শক্তি, $U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{\epsilon_0 A}{d}V^2$ ... ... (i)

এবং পরিবর্তিত ক্ষেত্রে শক্তি, $U_1 = \frac{1}{2}C_1V^2 = \frac{1}{2}\frac{\epsilon_0 A}{2d}V^2$ ... ... (ii)

(ii) ÷ (i), $\frac{U_1}{U} = \frac{\frac{1}{2}\frac{\epsilon_0 A}{2d}V^2}{U} = \frac{\frac{1}{2}\frac{\epsilon_0 A\,V^2}{d}\times\frac{1}{2}}{U} = \frac{U\times\frac{1}{2}}{U} = \frac{1}{2}$

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

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 ?

দেওয়া আছে,

$V_1 = 3V$

সঞ্চিত শক্তি $= U$

পরিবর্তিত সঞ্চিত শক্তি, $U_1 = ?$

আমরা জানি, সঞ্চিত শক্তি,

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

ধারকের বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করায় সঞ্চিত শক্তি,

$$\therefore\ U_1 = \frac{1}{2}C(3V)^2 = 9\times\frac{1}{2}CV^2 = 9U$$

৪। 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।

এখানে, মনে করি

তড়িৎ আহিত ধারকের ধারকত্ব $= C$

এবং আধান $= Q$

অপর ধারকের ধারকত্ব $= 2C$

আধান বণ্টনের আগে আহিত ধারকের শক্তি $= E_1$

উভয় ধারকের মোট শক্তি, $E = ?$

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,

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

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

৫। প্রযুক্ত ভোল্টেজ স্থির রেখে যদি সমান্তরাল পাত ধারকের দুই পাতের ব্যবধান 20% কমানো হয়, তবে ধারকে সঞ্চিত শক্তির কত শতাংশ পরিবর্তিত হবে?

আমরা জানি, সমান্তরাল পাত ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{\epsilon_0 A}{d}V^2 \quad \left[\because C = \frac{\epsilon_0 A}{d}\right]$$

যদি পাতদ্বয়ের মধ্যে প্রাথমিক ব্যবধান d এবং পরিবর্তিত ব্যবধান d' হয়, তবে প্রশ্নানুসারে,

$$d' = d - d\text{-এর } 20\% = d - \frac{20}{100}d = d - \frac{1}{5}d = \frac{4}{5}d = 0{\cdot}80\, d$$

এখন, পরিবর্তিত সঞ্চিত শক্তি, $U' = \dfrac{\frac{1}{2}\epsilon_0 AV^2}{0{\cdot}80\, d} = 1{\cdot}25 \times \dfrac{\frac{1}{2}\epsilon_0 AV^2}{d} = 1{\cdot}25\, U$

সুতরাং, সঞ্চিত শক্তির শতকরা পরিবর্তন $= \dfrac{U' - U}{U} \times 100\%$

$$= \frac{1{\cdot}25U - U}{U} \times 100\%$$

$$= 0{\cdot}25 \times 100\% = 25\%$$

৬। বায়ু মাধ্যমবিশিষ্ট কোনো ধারকের সমতল পাত দুটির ক্ষেত্রফল 12 cm^2 এবং তারা পরস্পর হতে 2 mm দূরে অবস্থিত। ধারকটিকে 2 μC আধানে আহিত করা হলে পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য হয় 4 mV।

(ক) ধারকটির মধ্যবর্তী স্থানের প্রাবল্য কত ?

(খ) একজন ছাত্র প্রত্যেকটি পাতকে সমদ্বিখণ্ডিত করে 0·5 mm ব্যবধানবিশিষ্ট দুটি ধারক তৈরি করে তাদেরকে পরস্পর শ্রেণিতে যুক্ত করল। ছাত্র কর্তৃক সৃষ্ট ধারক সমবায়ের ধারকত্বের সাথে পূর্বের ধারকত্বের তুলনা কর।

[রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন), ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

(ক) $E = \dfrac{V}{d_1} = \dfrac{4 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 2\, NC^{-1}$

(খ) $C_1 = \dfrac{\epsilon_0 A_1}{d_1} = \dfrac{8{\cdot}854 \times 10^{-12} \times 12 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-3}} = 5{\cdot}3 \times 10^{-12}\, F$

$C_2 = \dfrac{\epsilon_0 A_2}{d_2} = \dfrac{8{\cdot}854 \times 10^{-12} \times 6 \times 10^{-4}}{0{\cdot}5 \times 10^{-3}} = 1{\cdot}06 \times 10^{-11}\, F$

একইভাবে অন্য আর একটি ধারকের ধারকত্ব

$C'_2 = 1{\cdot}06 \times 10^{-11}\, F$

শ্রেণির সমবায়ের জন্য

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_2'} = \frac{1}{1{\cdot}06 \times 10^{-11}} + \frac{1}{1{\cdot}06 \times 10^{-11}}$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{2}{1{\cdot}06 \times 10^{-11}}$$

$$\therefore C_s = \frac{1{\cdot}06 \times 10^{-11}}{2} = 5{\cdot}3 \times 10^{-12}\, F$$

$$\therefore \frac{C_1}{C_s} = \frac{5{\cdot}3 \times 10^{-12}}{5{\cdot}3 \times 10^{-12}}$$

বা, $\dfrac{C_1}{C_s} = 1$ বা, $C_1 = C_2$

অর্থাৎ **পূর্বের ধারকত্ব পরের ধারকত্বের সমান হবে।**

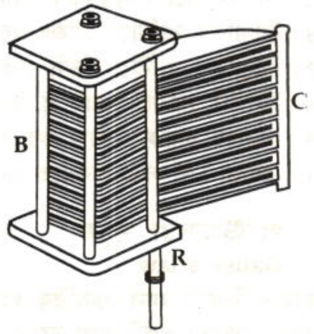
অনুসন্ধানমূলক কাজ : বিদ্যুৎ সরবরাহ বিচ্ছিন্ন করার পরেও ধারকযুক্ত কোনো বর্তনীকে সাবধানে নাড়াচাড়া করার দরকার হয় কেন ব্যাখ্যা কর।

ধারক সংযুক্ত কোনো তড়িৎ বর্তনীকে উচ্চ বিভবের উৎসের সঙ্গে যুক্ত করলে ধারকটি উচ্চ বিভবে চার্জিত হয়। এখন উৎস সরিয়ে নিলেও সাধারণত ধারকটি ক্ষরিত হতে বেশ সময় নেয়। তাই উৎস সরানোর সঙ্গে সঙ্গে বর্তনী স্পর্শ করলে শক লাগার সম্ভাবনা থাকে। এ কারণে ধারকযুক্ত বর্তনী সাবধানে নাড়াচাড়া করা উচিত।

২·৭·৫ ধারকের প্রকারভেদ ও ব্যবহার
Kinds of condenser and uses

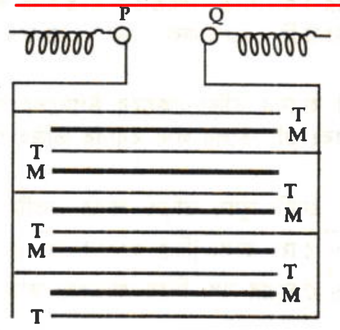
(ক) পরিবর্তনীয় ধারক (Variable condenser or capacitor) : ধারকত্ব পরিবর্তন উপযোগী। এটি এক প্রকার বায়ু মাধ্যম সমান্তরাল পাত ধারক। এটি বেতার গ্রাহক যন্ত্রের টিউনের কাজে এবং কোনো কোনো ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে ব্যবহৃত হয়।

এ জাতীয় ধারকে একই অক্ষবিশিষ্ট দুই সারি অর্ধ-বৃত্তাকার অ্যালুমিনিয়ামের পাত B ও C থাকে [চিত্র ২·২৭]। এক সারি B স্থির এবং অন্য সারি C-কে ঘুরানো যায়। পাতগুলো পরস্পর সমান্তরাল এবং এদের পারস্পরিক দূরত্ব সমান। স্থির পাতগুলো পরস্পরের সাথে যুক্ত এবং ঘূর্ণনক্ষম পাতগুলো হতে অন্তরীত। পাতগুলোর মধ্যবর্তী স্থানের বায়ু পরাবিদ্যুতের কাজ করে। ঘূর্ণনক্ষম পাতগুলোকে একটি দণ্ড R-এর সাথে আটকানো থাকে। সুতরাং দণ্ডটি ঘুরালে তার সাথে যুক্ত পাতগুলো স্থির পাতগুলোর ফাঁকে ফাঁকে ঢুকে যায় বা বের হয়ে আসে। এই ঘূর্ণনে ধারকের কার্যকর ক্ষেত্রফল পরিবর্তনের সাথে সাথে ধারকত্ব পরিবর্তিত হয়।



চিত্র ২·২৭

(খ) স্থিরমান ধারক বা অভ্র ধারক (Fixed condenser or mica condenser) : বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এরূপ ধারক ব্যবহৃত হয়ে থাকে। এ জাতীয় ধারকে কতগুলো টিনের পাত T থাকে [চিত্র ২·২৮]। 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। এই ধারকের P ও Q বন্ধনী দুটির যেকোনো একটিকে ভূ-সংযুক্ত করে অপরটিতে চার্জ প্রদান করতে হয়।



চিত্র ২·২৮

(গ) কাগজ ধারক (Paper condenser) : ইলেকট্রনিক বর্তনীতে টিউন সার্কিট বা ট্যাঙ্ক সার্কিট কম্পাঙ্ক নির্ধারণে ব্যবহৃত হয় [চিত্র ২·২৯]। 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।

চিত্র ২·২৯

(ঘ) তড়িৎ-বিশ্লেষক ধারক (Electrolytic condenser) : বেতার গ্রাহক যন্ত্রে প্রচুর পরিমাণে এই ধারক ব্যবহৃত হয় [চিত্র ২·৩০]। 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 কেবল অপরিবর্তী প্রবাহে ববহার করা যায়; কিন্তু পরিবর্তী প্রবাহে কখনো ব্যবহার করা যায় না।

চিত্র ২·৩০

সমতড়িৎ প্রবাহ পাঠালে অ্যানোড প্লেটে অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের একটি অতি পাতলা প্রলেপ পড়ে যা পরা-বিদ্যুতের কাজ করে। কম জায়গায় বেশি তড়িৎ সঞ্চয়ে ব্যবহৃত হয়
[MAT: 14-15]

২·৭·৬ এক নজরে ধারকের ব্যবহার
Uses of capacitor at a glance

১। টেলিগ্রাফ, টেলিফোনে এবং বেতার গ্রাহক যন্ত্রে টিউনিং-এর কাজে ধারক ব্যবহৃত হয়।
২। বৈদ্যুতিক পাখাকে জোরে ঘুরাবার জন্য ধারক ব্যবহৃত হয়।
৩। বিবর্ধক যন্ত্রে সংযুক্তকরণ (coupling) কাজে ধারক ব্যবহার করা হয়।
৪। বৈদ্যুতিক বর্তনীতে চার্জিং এবং ডিসচার্জিং এর কাজে ব্যবহৃত হয়।
৫। বৈদ্যুতিক বর্তনীতে ডিসি ব্লকিং (DC blocking) হিসেবে ব্যবহৃত হয়। AC ও DC উভয় বর্তনীতে ব্যবহৃত হয় [MAT : 14-15]
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 হয়।

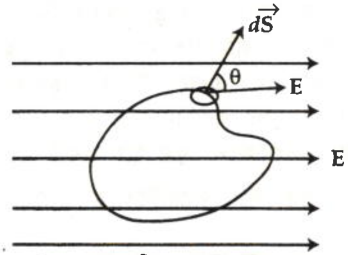
২.৮ গাউসের সূত্র
Gauss's law

জার্মান বিজ্ঞানী **কার্ল ফ্রেডরিক গাউস** (Carl Friedrich Gauss) 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।

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। এর একক Nm^2C^{-1} বা Vm।

তড়িৎ ফ্লাক্সের মাত্রা সমীকরণ $= [ML^3T^{-3}I^{-1}]$

অন্যভাবে বলা যায় কোনো তলের ক্ষেত্রফল এবং ওই তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্রের উপাংশের গুণফলকে ওই তলের সাথে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স বলে। কোনো তলের ক্ষেত্রফল S এবং ওই তলের লম্ব বরাবর তড়িৎ ক্ষেত্র E হলে তড়িৎ ফ্লাক্স $\varphi = ES$



চিত্র ২·৩১

ব্যাখ্যা : $\vec{E}$ প্রাবল্যবিশিষ্ট একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি বন্ধ তল S এর ওপর একটি ক্ষুদ্র ক্ষেত্র $d\vec{S}$ নেয়া হলো [চিত্র ২·৩১]। $\vec{E}$ ও $d\vec{S}$ এর মধ্যে কোণ হলো θ। সুতরাং, $d\vec{S}$ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স,

$$\begin{aligned} d\varphi &= \vec{E} \cdot d\vec{S} \\ &= E dS \cos\theta \\ &= (E\cos\theta)\, dS = E_{//} dS \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.63) \end{aligned}$$

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

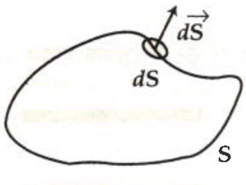
এখন, সমগ্র তলটি এরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ক্ষেত্র $d\vec{S}$ এর সমষ্টি। সুতরাং সমগ্র S বন্ধ তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স হবে।

$$\varphi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.64)$$

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

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।

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 $d\vec{S}$ হলো ক্ষেত্র ভেক্টর। অর্থাৎ ক্ষেত্র ভেক্টরের দিক তল থেকে তলের বাইরের দিকে ধরা হয়।



চিত্র ২·৩২

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 ওই তল দ্বারা বেষ্টিত মোট আধানের $\frac{1}{\epsilon_0}$ গুণের সমান হবে।

RMDAT

অন্যভাবে কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে কোনো বন্ধ কল্পিত তলের (গাউসীয় তলের) তড়িৎ ফ্লাক্সের ϵ_0 গুণ হবে ওই তল দ্বারা আবদ্ধ মোট তড়িতাধানের সমান। এখানে ϵ_0 হচ্ছে শূন্য স্থানের ভেদনযোগ্যতা।

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

$$\varphi = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

বা, $\epsilon_0 \varphi = q$

বা, $\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$ (সমীকরণ (2.64) ব্যবহার করে) ... ... (2.65)

এখানে ϵ_0 হলো শূন্য স্থানের তড়িৎ ভেদনযোগ্যতা (permittivity)। এর **একক** $C^2N^{-1}m^{-2}$। অন্য কোনো মাধ্যমে গাউসীয় সূত্র হবে,

$\epsilon \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$; এখানে ϵ হলো ওই 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।

গাউস : গাউস হলো চৌম্বক ক্ষেত্রের একক। অবশ্য এটি এস. আই. একক নয়। টেসলা (T) বা ওয়েবার মিটার$^{-2}$ হলো এস. আই. একক। $1\text{ T} = 10^4$ gauss

১ কুলম্ব চার্জ হতে নির্গত ফ্লাক্সের পরিমাণ : $\phi = \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{1\text{ C}}{8.85 \times 10^{-12}\text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}} = 1.129 \times 10^{18}\text{ Nm}^2\text{C}^{-1}$

গাণিতিক উদাহরণ ২.১৬

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

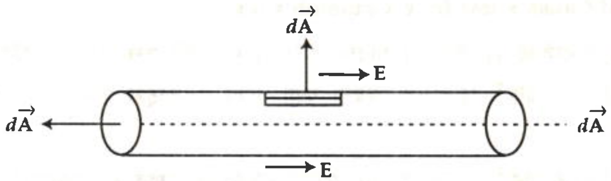
এখানে, তড়িৎ প্রাবল্য, $\vec{E} = 5\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}\ \text{Vm}^{-1}$

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

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, $d\vec{A}$ = 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 ওপর অভিলম্ব $d\vec{A}$ 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, $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = -EA + EA + 0 = 0$

৩। (i) $\vec{E} = 3\hat{i} + 5\hat{j} + 8\hat{k}$ প্রাবল্যবিশিষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপিত $\vec{S} = 12\hat{j}$ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে?

(ii) কোনো একটি বিন্দুতে কত তড়িৎ আধান রাখলে তা থেকে 5500 সংখ্যক বলরেখা নির্গত হবে?

(iii) 12 cm বাহুবিশিষ্ট একটি ঘনকের কেন্দ্রে 1μC তড়িৎ আধান রাখলে ঘনকের যেকোনো তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে?

(i) আমরা জানি, তড়িৎ ফ্লাক্স,

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

$$\therefore \varphi = (3\hat{i} + 5\hat{j} + 8\hat{k}).12\hat{j}$$

$$= 60 \text{ unit}$$

এখানে,

$$\vec{E} = 3\hat{i} + 5\hat{j} + 8\hat{k}$$

$$\vec{S} = 12\hat{j}$$

(ii) গাউসের সূত্রানুযায়ী শূন্যস্থানে কোনো বদ্ধতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত মোট তড়িৎ ফ্লাক্স ওই তলের অভ্যন্তরে অবস্থিত মোট তড়িৎ আধানের $\frac{1}{\epsilon_0}$ গুণ। অর্থাৎ

$$\varphi = \frac{1}{\epsilon_0} q$$

$$\therefore q = \epsilon_0 \varphi = 8.854 \times 10^{-12} \times 5500$$

$$= 4.87 \times 10^{-8} \text{ C}$$

এখানে,

$\varphi = 5500$

$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$

(iii) আমরা জানি, মোট ফ্লাক্স,

$$\varphi = \frac{1}{\epsilon_0} q = \frac{1 \times 10^{-6}}{8.854 \times 10^{-12}}$$

$$= 1.129 \times 10^5 \text{ Nm}^2\text{C}^{-1}$$

এখানে,

$q = 1\mu\text{C} = 1 \times 10^{-6}$ C

যেহেতু ঘনকের 6টি তল, তাই প্রতি তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স

$$= \frac{1}{6} \times 1.129 \times 10^5 = 1.88 \times 10^4 \text{ N-m}^2\text{C}^{-1}$$

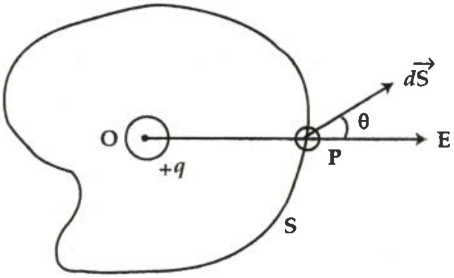
২·৮ ক. কুলম্বের সূত্র হতে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন করা যায়
Derivation of Gauss's law from Coulomb's law

ধরা যাক, O বিন্দুতে অবস্থিত $+q$ পরিমাণ আধানকে ঘিরে S একটি বন্ধ তল (গাউসীয় তল) [চিত্র ২·৩৩]। ওই 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 ২·৩৩-এর P বিন্দুতে একটি একক আধান স্থাপন করলে কুলম্বের সূত্র অনুযায়ী ওই বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \dots \quad \dots \quad (2.66)$$

এর দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী।



চিত্র ২·৩৩

এখন, dS তলে মোট তড়িৎ ফ্লাক্স,

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

বা, $d\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dS \cos\theta$ [সমীকরণ (2.66) ব্যবহার করে]

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

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

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

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

$$\varphi = \oint d\varphi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$
$$= \oint \frac{q}{4\pi\epsilon_0} d\omega = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \oint d\omega$$
$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \omega = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \times 4\pi$$
$$= \frac{q}{\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.67)$$

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

ω হচ্ছে O বিন্দুতে সমগ্র তল দ্বারা উৎপন্ন মোট ঘনকোণ।

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

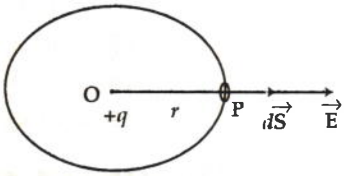
বা, $$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.68)$$

সমীকরণ (2.67) ও (2.68)-ই হলো **গাউসের সূত্র**। ইহা চার্জ এবং ফ্লাক্সের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে।

২·৮ খ. গাউসের সূত্র হতে কুলম্বের সূত্র প্রতিপাদন করা যায়
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 ২·৩৪]। 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 গাউসীয় তলের প্রতিটি বিন্দুতে $d\vec{S}$ ও $\vec{E}$ সমান্তরাল। সুতরাং

$$\vec{E} \cdot d\vec{S} = E\,dS\cos 0° = E\,dS$$



চিত্র ২·৩৪

অতএব, গাউসের সূত্রানুসারে মোট ফ্লাক্স,

$$\varphi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$
$$= E \oint dS \qquad [\because \text{ গাউসীয় তলের সর্বত্র } E \text{ ধ্রুবক}]$$
$$= E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

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

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

$$F = q_0 E$$
$$\therefore \quad F = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.69)$$

এটিই **কুলম্বের সূত্র**।

সুতরাং কুলম্বের সূত্র গাউসের সূত্র হতে প্রতিপাদিত হলো।

গাণিতিক উদাহরণ ২.১৭

১। শূন্য স্থানে একটি আয়তাকার গাউসীয় তলের মধ্যে 6×10^{-6} C চার্জ আছে। ওই তলের মধ্য দিয়ে তড়িৎ ক্ষেত্রের ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\varphi = \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{6 \times 10^{-6}}{8.85 \times 10^{-12}}$$
$$= 6.78 \times 10^5 \text{ Nm}^2\text{C}^{-1}$$

এখানে,
চার্জ, $q = 6 \times 10^{-6}$ C
শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা
$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$
$\varphi = ?$

২। একটি তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য 1000 NC^{-1}। উক্ত ক্ষেত্রে 5.5 mm বাহুবিশিষ্ট একটি বর্গাকৃতি ক্ষেত্র অবস্থিত। তড়িৎ বল রেখাগুলো ক্ষেত্রটির বহির্মুখী অভিলম্বের সাথে $60°$ কোণ উৎপন্ন করে। ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

আমরা জানি, তড়িৎ ফ্লাক্স

$$\varphi = ES\cos\theta$$
$$= 1000 \times (5.5 \times 10^{-3})^2 \cos 60°$$
$$= 1000 \times 5.5 \times 5.5 \times 10^{-6} \times \frac{1}{2}$$
$$= 15125 \times 10^{-6} = 0.015125 \text{ Nm}^2\text{C}^{-1}$$

এখানে,
তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য
$E = 1000 \text{ NC}^{-1}$
ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল
$S = (5.5 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2$

৩। 2 m ব্যাসার্ধের একটি গোলকের কেন্দ্রে 2 μC একটি চার্জ স্থাপন করলে গোলকের পৃষ্ঠ দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2}$$
$$= 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{(2)^2} = 4500 \text{ NC}^{-1}$$

আবার, $\varphi = ES = 4500 \times 4\pi r^2$
$$= 4500 \times 4 \times 3.14 \times (2)^2$$
$$= 2.26 \times 10^5 \text{ Nm}^2\text{C}^{-1}$$

এখানে,
$r = 2\text{m}$
$q = 2\mu\text{C} = 2 \times 10^{-6}$ C
$\varphi = ?$
গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল, $S = 4\pi r^2$

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 গাউসের সূত্র ব্যবহার করা হয়। নিম্নে কয়েকটি ক্ষেত্রে তা বর্ণনা করা হলো।

২.৯ ক. 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 r ব্যাসার্ধের একটা গোলকীয় 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।

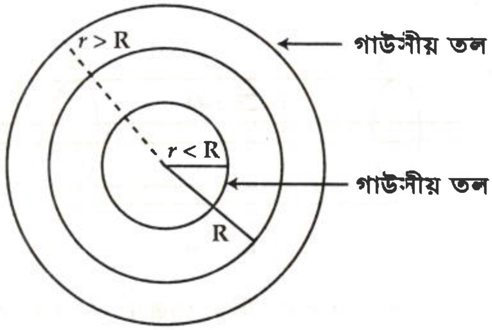
সুতরাং, গাউসের সূত্রানুসারে,

$$\oint_s \vec{E}.d\vec{a} = \oint_s E da = E\oint da$$
$$= E(4\pi r^2) = 0$$
$$\therefore \quad E = 0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2.70)$$

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 ২·৩৫]। তাহলে এই তল কর্তৃক আবদ্ধ চার্জের পরিমাণ হবে q।

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



চিত্র ২·৩৫

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

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

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 $\sigma = \dfrac{q}{4\pi r^2}$ হবে। অতএব,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.71)$$

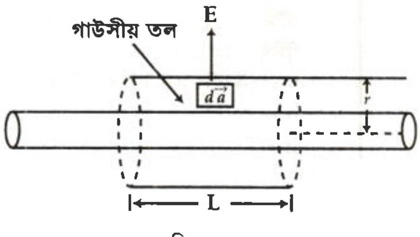
ভেক্টর আকারে, $\vec{E} = \dfrac{\sigma}{\epsilon_0}\hat{n}$

যেখানে $\hat{n}$ হলো পৃষ্ঠের বহির্মুখী একক ভেক্টর।

২·৯ খ. চার্জিত একটা লম্বা চোঙের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য

সুষমভাবে চার্জিত a ব্যাসার্ধের 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 ২·৩৬]। গাউসীয় তল কর্তৃক চার্জের পরিমাণ $q = \lambda L$ হবে।



চিত্র ২·৩৬

এখানে λ = প্রতি একক দৈর্ঘ্যে চার্জের পরিমাণ।

এখন গাউসের সূত্রানুসারে পাই,

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

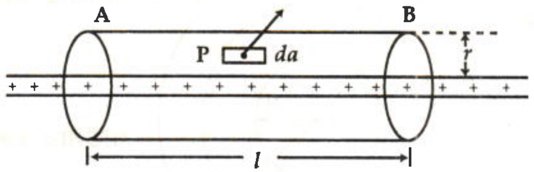
বা, $$E(2\pi r L) = \frac{\lambda L}{\epsilon_0}$$

$$\therefore \quad E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.72)$$

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

২.৯ গ. অসীম দৈর্ঘ্যের চার্জিত রেখার জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য

সুষমভাবে চার্জিত অসীম দৈর্ঘ্যের একটি 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 ২.৩৭]। P বিন্দুর তড়িৎ ক্ষেত্র E নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র ২.৩৭

চার্জ রেখাকে অক্ষ করে l দৈর্ঘ্য এবং r ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট 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,

$$\in_0 \oint \vec{E}.d\vec{a} = \in_0 \oint E da = \lambda l$$

বা, $\in_0 E \oint da = \lambda l$

বা, $\in_0 E\,(2\pi r l) = \lambda l$

$$\therefore \quad E = \frac{\lambda}{2\pi \in_0 r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.73)$$

গাউসীয় চোঙের দুই বৃত্তাকার তলের অভিলম্বের সাথে E সমকোণে ক্রিয়া করে। কাজেই, উভয় বক্রতলের জন্য $\in_0 \oint \vec{E}.d\vec{a} = 0$। অতএব, নির্ণেয় তড়িৎ ক্ষেত্র,

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

গাণিতিক উদাহরণ ২.১৮

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,

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

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

বা, $E = \frac{1.5\times10^{-6}}{2\times3.14\times8.854\times10^{-12}\times2}$

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

এখানে,

তারের দৈর্ঘ্য, $l = 4m$

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

দূরত্ব, $r = 2m$

$\in_0 = 8.854\times10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$

$\lambda = ?$

$E = ?$

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

আমরা জানি,

গোলকের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত

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

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

বা, $q = 5.6\times10^{5}\times\in_0$

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

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

এখানে,

$\varphi = 5.6\times10^{5}\ Nm^2C^{-1}$

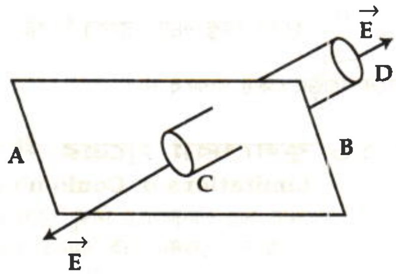
$\in_0 = 8.854\times10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$

$q = ?$

২.৯ ঘ. 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।

সমতল পৃষ্ঠের উভয় দিকে দুটি বিন্দু C ও D বিবেচনা করি এবং এই দুই বিন্দু দিয়ে da প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি চোঙ কল্পনা করি [চিত্র ২.৩৮]। এখন C বিন্দুতে da ক্ষেত্রের ওপর অভিলম্ব আবেশ হবে Eda এবং এটা বহির্মুখী। অনুরূপভাবে D বিন্দুতে da ক্ষেত্রের ওপর অভিলম্ব আবেশ Eda এবং এটা বহির্মুখী হবে। আবার চোঙের বক্রপৃষ্ঠে অভিলম্ব আবেশ $\int \vec{E}.d\vec{a} = 0$। অতএব কাল্পনিক চোঙের ওপর মোট অভিলম্ব আবেশ $= Eda + Eda = 2Eda$ এবং এর দিক বহির্মুখী। গাউসের সূত্রানুসারে পাই,



চিত্র ২.৩৮

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

বা, $$Eda + Eda = \frac{\sigma da}{\epsilon_0} \qquad [\because q = \sigma da]$$

সুতরাং মোট অভিলম্ব আবেশ,

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

বা, $$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.74)$$

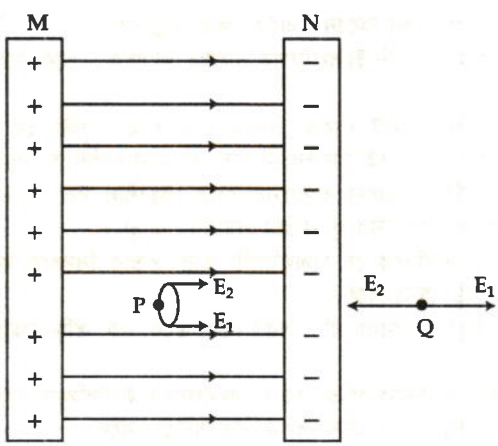
ভেক্টর আকারে লিখে পাই,

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

যখন $\hat{n}$ প্রদত্ত সমতলের ওপর বহির্মুখী লম্ব একক ভেক্টর। সমীকরণ (2.73) থেকে দেখা যায় যে, চার্জিত সমতলের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র দূরত্ব নিরপেক্ষ হয়।

২.৯ ঙ. দুটি চার্জিত সমান্তরাল পাতের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য

ধরা যাক, M ও N দুটি চার্জিত সমান্তরাল পরিবাহী [চিত্র ২.৩৯]। 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 ২.৩৯

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,

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

$$\therefore \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.75)$$

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 [MAT:24-25]

Limitations of Coulomb's law

১। কুলম্বের সূত্র কেবলমাত্র বিন্দু চার্জের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য; অনিয়মিত আকৃতির চার্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে এ সূত্র প্রয়োগ করা যায় না। কেননা ওই 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 ওপর মহাকর্ষ বলের প্রভাব পড়বে।

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

৪। যখন চার্জিত কণাসমূহের বেগ আলোর বেগের কাছাকাছি হয়, তখন ওই 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।

সার-সংক্ষেপ

RMDAT

বিন্দু চার্জ : আহিত বা চার্জিত বস্তুর আকার যখন খুবই ক্ষুদ্র হয়, তখন ওই চার্জিত বস্তুর চার্জকে বিন্দু চার্জ বলে।

পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক তড়িৎ ভেদ্যতা : কোনো মাধ্যমের তড়িৎ ভেদ্যতা এবং শূন্য মাধ্যমের তড়িৎ ভেদ্যতার অনুপাতকে ওই মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক তড়িৎ ভেদ্যতা বলে।

একক চার্জ : দুটি সমপরিমাণ বিন্দু চার্জকে শূন্যস্থান বা বায়ু মাধ্যমে 1 m দূরে রাখলে যদি এরা পরস্পরের ওপর 1 N বল প্রয়োগ করে তবে প্রতিটি বিন্দু চার্জকে একক চার্জ বলে।

1 কুলম্ব : দুটি সমমানের চার্জ শূন্য মাধ্যমে 1 m দূরে অবস্থান করে পরস্পরের ওপর 9×10^9 N বল প্রয়োগ করলে ওই চার্জ দুটির প্রত্যেককে একক চার্জ বলে এবং এই একক চার্জকে এক কুলম্ব বলে।

ক্ষেত্র তত্ত্ব : দুটি চার্জিত বস্তুর মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ পারস্পরিক ক্রিয়া ব্যাখ্যা করার জন্য ফ্যারাডে তড়িৎ ক্ষেত্রের ধারণা উপস্থাপন করেন। একে ক্ষেত্র তত্ত্ব বলে।

চার্জের কোয়ান্টায়ন : সকল চার্জিত বস্তুর মধ্যে বিদ্যমান চার্জ ইলেকট্রনের চার্জের গুণিতক, একে চার্জের কোয়ান্টায়ন বলে।

চার্জের সংরক্ষণশীলতা : বিশ্বের মোট চার্জের পরিমাণ সর্বদা একই থাকে। নতুন চার্জ যেমন সৃষ্টি হয় না, তেমনি কোনো চার্জ ধ্বংসও হয় না। একেই চার্জের নিত্যতা বা সংরক্ষণশীলতা বলে।

তড়িৎ বল : তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত কোনো আধানের ওপর ক্রিয়াশীল বল বা তড়িৎ বল ওই বিন্দুতে প্রাবল্য ও স্থাপিত আধানের গুণফলের সমান। $F = qE$।

তড়িৎক্ষেত্র : কোনো একটি চার্জিত বস্তু এর চারদিকে যে অঞ্চলব্যাপী তার প্রভাব বিস্তার করে, সেই অঞ্চলকে চার্জিত বস্তুর তড়িৎক্ষেত্র বলে।

সুষম তড়িৎক্ষেত্র : কোনো তড়িৎক্ষেত্রের সকল বিন্দুতে প্রাবল্য যদি একই হয় তবে ওই তড়িৎক্ষেত্রকে সুষম তড়িৎক্ষেত্র বলে।

আধান ঘনত্ব : পরিবাহীর পৃষ্ঠের কোনো বিন্দুর চারদিকে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপরিস্থিত চার্জের পরিমাণকে ওই বিন্দুর আধান ঘনত্ব বলে। একে তলমাত্রিক ঘনত্বও বলে।

তড়িৎ বিভব : দুটি চার্জিত বস্তুর মধ্যে চার্জের আদানপ্রদান যে তড়িৎ অবস্থার দ্বারা নির্ধারিত হয়, তাকে তড়িৎ বিভব বলে। অথবা, অসীম দূর হতে একটি একক ধনচার্জকে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয় তাকে উক্ত ক্ষেত্রের দরুন ওই বিন্দুর বিভব বা তড়িৎ বিভব বলে।

বিভব পার্থক্য : তড়িৎক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ বিভবের ব্যবধানকে বিভব পার্থক্য বলে। অথবা, তড়িৎক্ষেত্রের এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে একক ধন চার্জকে স্থানান্তর করতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয় তাকে ওই দুই বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য বলে।

সমবিভব তল : কোনো তল বা আয়তন যদি এরূপ হয় যে, তার বিভব সর্বত্র সমান, তবে ওই তল বা আয়তনকে সমবিভব তল বা আয়তন বলে।

তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক : কোনো একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর যেকোনো একটির আধানের পরিমাণ এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফলকে তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক বলে।

ডাই ইলেকট্রিক বা পরাবৈদ্যুতিক পদার্থ : কিছু কিছু অন্তরক পদার্থ আছে যারা তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে না, কিন্তু বৈদ্যুতিক ফলাফল প্রভাবিত করতে পারে। এসব পদার্থকে তড়িৎক্ষেত্রে স্থাপন করলে এদের পৃষ্ঠতলে আবিষ্ট আধানের সৃষ্টি হয়। কিন্তু এদের মধ্য দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। এই ধরনের পদার্থকে পরাবৈদ্যুতিক পদার্থ বা পরাবিদ্যুৎ বলে।

অমেরুবর্তী পদার্থ : যেসব পদার্থের অণুর ধনাত্মক আধান বণ্টনের কেন্দ্র এবং ইলেকট্রনসমূহের বণ্টনের কেন্দ্র একই বিন্দুতে থাকে তাদেরকে অমেরুবর্তী পদার্থ বলে।

মেরুবর্তী পদার্থ : যেসব পদার্থের অণুর ইলেকট্রনসমূহের বণ্টনের কেন্দ্র এবং ধনাত্মক আধান বণ্টনের কেন্দ্র একই বিন্দুতে অবস্থিত না থেকে সামান্য ব্যবধানে থাকে তাদেরকে মেরুবর্তী পদার্থ বলে।

পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক : কোনো ধারকের পরিবাহী পাত দুটির মধ্যে শূন্য মাধ্যমের পরিবর্তে অন্য কোনো অন্তরক পদার্থ থাকলে ধারকের ধারকত্ব যতগুণ বৃদ্ধি পায় তাকে ওই অন্তরকের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা বা তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বলে।

পরিবাহীর ধারকত্ব : কোনো পরিবাহীর বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ চার্জের প্রয়োজন হয় তাই ওই পরিবাহীর ধারকত্ব।

তুল্য ধারকত্ব : ধারকের কোনো সমবায়ের পরিবর্তে একটিমাত্র ধারক ব্যবহার করলে যদি ধারকের পাতে চার্জ এবং বিভব পার্থক্য সমবায়ের চার্জ ও বিভব পার্থক্যের সমান থাকে তবে ওই ধারকের ধারকত্বকে সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব বলে।

ধারকের শ্রেণিবিন্যাস : যখন কতগুলো 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।

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \dots + \frac{1}{C_n} = \sum \frac{1}{C}$$

ধারকের সমান্তরাল সংযোগ : 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 সংযোগ বলে।

$$C_p = C_1 + C_2 + \cdots\cdots + C_n = \sum C$$

গাউসীয় তল : একটি চার্জের চারদিকে কল্পিত বন্ধ তলকে গাউসীয় তল বলে।

গাউসের সূত্র : কোনো তড়িৎক্ষেত্রে অবস্থিত কোনো বন্ধ কল্পিত তলের তড়িৎ ফ্লাক্স ওই তল দ্বারা বেষ্টিত মোট আধানের $\frac{1}{\epsilon_0}$ গুণের সমান হবে।

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 ওই বিন্দুতে লব্ধি বলের বা প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে।

তড়িৎ ফ্লাক্স : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি তল কল্পনা করলে ওই তলের মধ্য দিয়ে 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 যেকোনো একটি আধানের পরিমাণ ও আধান দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফল হলো দ্বিমেরু ভ্রামকের পরিমাণ। এর অভিমুখ ঋণাত্মক আধান হতে ধনাত্মক আধানের দিকে।

গাউসীয় তল : যেকোনো 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।

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 ডাই-ইলেকট্রিক 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 ডাই- ইলেকট্রিক 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 সমপরিমাণ 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 ওই চার্জের তড়িৎ ক্ষেত্র বলে।

তড়িৎ প্রাবল্য : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ধন চার্জের ওপর যে পরিমাণ বল প্রযুক্ত হয় তাকে উক্ত ক্ষেত্রের ওই বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য বলে। এটা একটি দিক রাশি।

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।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

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

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{n} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2)$$

$$k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{F_0}{F} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3)$$

$$W = mg \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4)$$

$$E = \frac{W}{q} = -\frac{dV}{dr}, \; E = \frac{V}{r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (5)$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6)$$

$$F = Eq \quad \ldots \quad (7)$$

$$V = \frac{W}{q} \quad \ldots \quad (8)$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} = Er \quad \ldots \quad (9)$$

$$V_B - V_A = \Delta V = \frac{W}{q_0} \quad \ldots \quad (10)$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2} \text{ বা, } \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{F}{q} \quad \ldots \quad (11)$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots\ldots\ldots + \vec{E}_n = \Sigma\vec{E}_n \quad \ldots \quad (12)$$

$$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{q}{4\pi r^2} \quad \ldots \quad (13)$$

$$P = q \times 2l \quad \ldots \quad (14)$$

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad \ldots \quad (15)$$

$$\tau = pE\sin\theta \quad \ldots \quad (16)$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2\vec{p}}{r^3} \quad \ldots \quad (17)$$

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{p\cos\theta}{r^2} \quad \ldots \quad (18)$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{2P}{r^3} \quad \ldots \quad (19)$$

$$C = \frac{Q}{V} \quad \ldots \quad (20)$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 kr \quad \ldots \quad (21)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad \ldots \quad (22)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 KA}{d} \quad \ldots \quad (23)$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots\ldots\ldots \quad \ldots \quad (24)$$

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots \quad \ldots \quad (25)$$

$$P.E. = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}Q \times V = \frac{Q^2}{2C} \quad \ldots \quad (26)$$

$$U = \frac{1}{2}\epsilon E^2 = \frac{1}{2}\epsilon_r\epsilon_0 E^2 \quad \ldots \quad (27)$$

$$E = \frac{V}{d},\ W = VQ,\ E = \frac{-dV}{dr} \quad \ldots \quad (28)$$

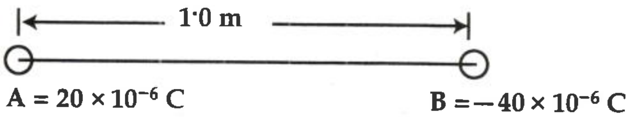
$$\varphi = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \ldots \quad (29)$$

$$E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad \ldots \quad (30)$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \quad \ldots \quad (31)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। চিত্রে দুটি বিন্দু চার্জ নির্দিষ্ট দূরত্বে শূন্য মাধ্যমে আছে।



(ক) চার্জ দুটির মধ্যে ক্রিয়াশীল কুলম্ব বলের মান নির্ণয় কর।

(খ) চার্জদ্বয়ের সংযোজক রেখার ওপর কোনো বিন্দুতে বৈদ্যুতিক প্রাবল্য শূন্য হওয়া সম্ভব কিনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০১৭]

(ক) এখানে, $q_1 = 20 \times 10^{-6}$ C, $q_2 = -40 \times 10^{-6}$ C, $r = 1·0$ m

চার্জদ্বয়ের মধ্যে কুলম্ব বল,

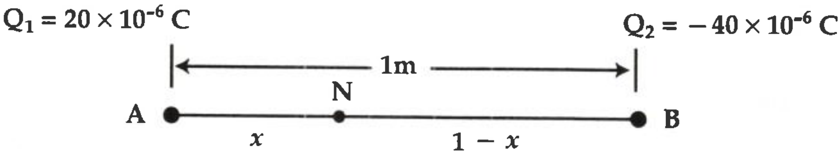
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{20 \times 10^{-6} \times (-40) \times 10^{-6}}{1^2}$$

$$= -9 \times 8 \times 10^9 \times 10^2 \times 10^{-12}$$

$= -72 \times 10^{-1} = -7·2$ N (ঋণাত্মক চিহ্ন আকর্ষণ বল বুঝায়)

(খ) ধরা যাক, সংযোগ রেখার N বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।

A বিন্দু হতে N বিন্দুর দূরত্ব $= x$, B বিন্দু হতে N বিন্দুর দূরত্ব $= (1·0 - x)$ m



এখন 20×10^{-6} C চার্জের জন্য N বিন্দুতে প্রাবল্য $= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{20 \times 10^{-6}}{x^2}$ এবং -40×10^{-10} C চার্জের জন্য N বিন্দুতে প্রাবল্য $= \frac{40 \times 10^{-6}}{4\pi\epsilon_0 .(1-x)^2}$

শর্তানুসারে আমরা পাই,

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{20 \times 10^{-6}}{x^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{40 \times 10^{-6}}{(1-x)^2}$$

বা, $\frac{20}{x^2} = \frac{40}{(1-x)^2}$ বা, $\frac{1}{x^2} = \frac{2}{(1-x)^2}$

বা, $\frac{(1-x)^2}{x^2} = 2$ বা, $\frac{1-x}{x} = \pm\sqrt{2} = \pm 1·414$

বা, $1 - x = 1·414x$ বা, $2·414x = 1$ $\therefore$ $x = \frac{1}{2·414} = 0·414$ m

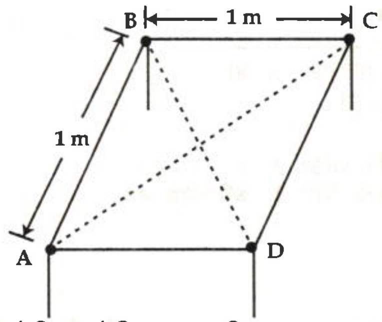
আবার, $\frac{1-x}{x} = -1·414$ বা, $-1·414x = 1 - x$

বা, $-0·414x = 1$ $\therefore$ $x = -\frac{1}{0·414} = -2·41$m

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, 20×10^{-6} C চার্জ থেকে 0·414 m সামনে অর্থাৎ -40×10^{-6} C চার্জ থেকে $1·0 - 0·414 = 0·586$ m সামনে একটি বিন্দুতে এবং 20×10^{-6} C চার্জ থেকে 2·41 m পিছনে অর্থাৎ -40×10^{-6} C চার্জ থেকে $(1 + 2·41)$ m $= 3·41$ m সামনে একটি বিন্দুতে প্রাবল্যের মান সমান হবে।

লব্ধি প্রাবল্য শূন্য হতে হলে প্রাবল্য দুটির মান সমান ও বিপরীতমুখী হতে হবে। দুটি বিপরীত জাতীয় চার্জের মধ্যবর্তী কোনো বিন্দুতে এদের সৃষ্ট প্রাবল্যের দিক একই হয় এবং বাইরের কোনো বিন্দুতে দিক বিপরীতমুখী। সুতরাং চার্জদ্বয়ের বাইরে 20×10^{-6} C চার্জ থেকে 2·41m পিছনে বা -40×10^{-10} C চার্জ থেকে 3·41 m সামনে কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য শূন্য হওয়া সম্ভব।

২।



চিত্রে 1m দৈর্ঘ্যর একটি বর্গাকার টেবিল। টেবিলের চারটি কোণ A, B, C এবং D-তে যথাক্রমে 4×10^{-12} C, 4×10^{-12} C, 2×10^{-12} C এবং 2×10^{-12} C চার্জ স্থাপন করা হলো এবং পরবর্তীকালে 10 gm ভরের + 1C মানের চার্জিত একটি শোলা বল বর্গাকার তলের কেন্দ্রে স্থাপন করা হলো।

(ক) কেন্দ্রে চার্জিত বস্তু স্থাপনের পূর্বে কেন্দ্রে বিভবের মান নির্ণয় কর।

(খ) শোলা বলের ওপর ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল ও অভিকর্ষজ বলের মান ভিন্ন—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[দি., বো. ২০২২]

(ক) উদ্দীপক মতে বর্গাকার টেবিলের কর্ণের দৈর্ঘ্য $= \sqrt{2}\, a = \sqrt{2} \times 1 = \sqrt{2}$ m

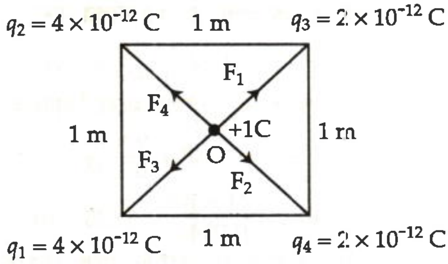
বর্গাবার টেবিলের প্রতিটি কৌণিক বিন্দু হতে বর্গের কেন্দ্রের দূরত্ব

$$r = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\therefore \text{ বিভব, } V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \left(\frac{q_A}{r} + \frac{q_B}{r} + \frac{q_C}{r} + \frac{q_D}{r}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{10^{-12}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} \; [4 + 4 + 2 + 2] = 0\text{·}153 \text{ V}$$

(খ) ধরি বর্গের দুটি কর্ণের ছেদ বিন্দু O। অতএব O বিন্দুতে ক্রিয়াশীল বল,



$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1 \times 1}{r^2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-12} \times 1}{(0\text{·}707)^2}$$

$= 0\text{·}072$ N, এই বলের দিক চিত্র অনুযায়ী OC বরাবর।

অনরূপভাবে, B বিন্দুর চার্জ $q_1 = q_2$ হওয়ায় q_2 চার্জের দরুন O বিন্দুতে ক্রিয়াশীল বল,

$F_2 = 0\text{·}072$N, দিক OD বরাবর।

আবার, C বিন্দুর q_3 চার্জের জন্য O বিন্দুতে ক্রিয়াশীল বল,

$$F_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_3 \times 1}{r^2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-12} \times 1}{(0\text{·}707)^2}$$

$= 0\text{·}036$ N, এই বলের দিক OA বরাবর।

অনরূপভাবে, D বিন্দুর চার্জ $q_4 = q_3$ হওয়ায় q_4 চার্জের দরুন O বিন্দুতে ক্রিয়াশীল বল,

$F_4 = 0\text{·}036$N, এই বলের দিক OB বরাবর।

এখন F_1 ও F_3-এর দিক বিপরীত হওয়ায় এদের লব্ধি,

$F' = F_1 — F_2 = (0\text{·}072 — 0\text{·}036)$ N $= 0\text{·}036$N; OC বরাবর।

একইভাবে F_3 ও F_4-এর লব্ধি F′ হলে,

$$F'' = F_2 — F_4$$
$$= (0\text{·}072 — 0\text{·}036)\text{N}$$
$$= 0\text{·}036 \text{ N; OD বরাবর}$$

F' এবং F'' এর লব্ধি বল F হলে,

$$F_e = \sqrt{(F')^2 + (F'')^2 + 2F' \times F'' \cos 90°}$$
$$= \sqrt{(0{\cdot}036)^2 + (0{\cdot}036)^2}$$
$$= 0{\cdot}0509 \text{ N}$$

$\therefore$ শোলা বলের ওপর ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল $F = 0{\cdot}0509$ N

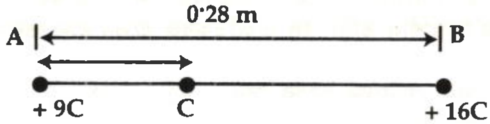
কেন্দ্রে স্থাপিত শোলা বলের ওপর ক্রিয়াশীল অভিকর্ষজ বল,

$$F_g = mg$$
$$\therefore F_g = 0{\cdot}01 \times 9{\cdot}8$$
$$= 0{\cdot}098 \text{ N}$$

এখানে,
$m = 10 \text{ gm} = 0{\cdot}01 \text{ kg}$
$g = 9{\cdot}8 \text{ ms}^{-2}$

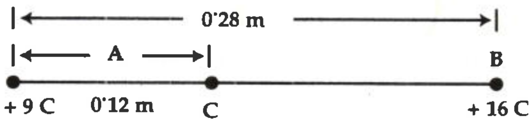
এখানে, $F_e < F_g$ অর্থাৎ শোলা বলের ওপর তড়িৎ বল এবং অভিকর্ষজ বল ভিন্ন।

৩। দুটি ক্ষুদ্র গোলক A ও B-তে যথাক্রমে +9C এবং +16C চার্জ প্রদান করা হলো। গোলক দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·28 m।



(ক) A এর ওপর B এর বলের মান কত ?

(খ) উদ্দীপকের C বিন্দুতে 1 C চার্জ রাখলে চার্জটা কোনো বল অনুভব করবে কী ? গাণিতিক যুক্তি দিয়ে মতামত দাও। [সি. বো. ২০১৭]



(ক) A এর ওপর B এর বলের মান,

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{9 \times 16}{(0{\cdot}28)^2} = 1{\cdot}65 \times 10^{13} \text{ N}$$

(খ) +9C ও 1C চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল,

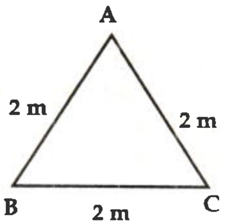
$$F_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{9 \times 1}{(0{\cdot}12)^2}$$
$$F_1 = \frac{81 \times 10^9}{0{\cdot}0144} = 5{\cdot}625 \times 10^{12} \text{ N}$$

এবং +16C ও 1C চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল,

$$F_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{16 \times 1}{(0{\cdot}28 - 0{\cdot}12)^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 16}{(0{\cdot}16)^2}$$
$$F_2 = \frac{144 \times 10^9}{0{\cdot}0256} = 5{\cdot}625 \times 10^{12} \text{ N}$$

যেহেতু F_1 এবং F_2 সমান এবং বিপরীতমুখী, অতএব C বিন্দুতে চার্জটি কোনো বল অনুভব করবে না।

৪।



$q_1 = 3 \times 10^{-9}$ C, $q_2 = 3 \times 10^{-9}$ C

চিত্রে ভূমির উল্লম্ব বরাবর ABC একটি সমবাহু ত্রিভুজ।

(ক) A বিন্দুতে বিভবের মান কত ?

(খ) A বিন্দুতে 2 kg ভরের একটি বস্তু ঝুলিয়ে রাখতে হলে কী বৈদ্যুতিক ব্যবস্থা নিতে হবে ? বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, A বিন্দুতে q_1 চার্জের জন্য বিভব,

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1}{r}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-9}}{2} = 13.5 \text{ V}$$

এখানে,
$q_1 = 3 \times 10^{-9}$ C
$q_2 = 3 \times 10^{-9}$ C
$r = 2$m

এবং q_2 চার্জের জন্য A বিন্দুতে বিভব,

$$V_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-9}}{2} = 13.5\text{V}$$

সুতরাং A বিন্দুতে মোট বিভব,

$$V = V_1 + V_2 = 13.5 + 13.5 = 27 \text{ V}$$

(খ) q_1 চার্জের জন্য A বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-9}}{2^2} = \frac{27}{4} = 6.75\text{N/C}$$; এর দিক BA বরাবর

এখানে,
$m = 2$ kg

q_2 চার্জের জন্য A বিন্দুতে তড়িৎ প্রবাল্য,

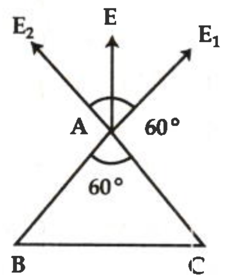
$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-9}}{2^2} = 6.75 \text{ N/C}$$; এর দিক CA বরাবর

আমরা জানি, তড়িৎ ক্ষেত্রের লব্ধি,

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

$$= \sqrt{(6.75)^2 + (6.75)^2 + 2 \times 6.75 \times 6.75 \times \cos 60°}$$

$$= 11.69 \text{ N/C}$$



এখন, A বিন্দুতে কোনো বস্তুর ওপর ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল,

$F_e = q \times E = 11.69\, q$; যা ওপরের দিকে ক্রিয়াশীল,

এবং ওই বিন্দুতে অভিকর্ষজ বল,

$F_g = mg = 2 \times 9.8 = 19.6$ N; যা নিচের দিকে ক্রিয়াশীল

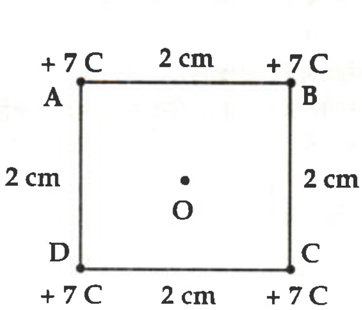
A বিন্দুতে বস্তুটি ঝুলিয়ে রাখতে হলে $F_e = F_g$ হতে হবে। অর্থাৎ,

$$11.69\, q = 19.6$$

$$\therefore \quad q = \frac{19.6}{11.69} = 1.68 \text{ C}$$

সুতরাং 2 kg ভরের বস্তুর চার্জ 1.68C হলে তা A বিন্দুতে ঝুলে থাকবে।

৫।



কেন্দ্র O এবং 2 cm বাহুবিশিষ্ট একটি বর্গক্ষেত্র ABCD। বর্গক্ষেত্রটির প্রত্যেক বিন্দু A, B, C, D-তে +7C চার্জ আছে।

(ক) উদ্দীপকের O বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের ABCD বর্গক্ষেত্রটির কেন্দ্রে বিভব শূন্য পাওয়ার জন্য B বিন্দুতে কী পরিবর্তন দরকার—বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৭]

(ক) এখানে, AB = BC = CD = AD = 2 cm

প্রতিটি কৌণিক বিন্দু থেকে O বিন্দুর দূরত্ব,

$$r = \frac{1}{2}\sqrt{AB^2 + BC^2}$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{2^2 + 2^2} = \frac{2\sqrt{2}}{2}$$

$$= \sqrt{2}\text{ cm} = \sqrt{2} \times 10^{-2}\text{ m}$$

এখানে, A, B, C ও D বিন্দুর চার্জের জন্য O বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য যথাক্রমে E_1, E_2, E_3 ও E_4 হলে,

O বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য $E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$ [$\because$ E_1 ও E_3 এবং E_2 ও E_4 এর দিক পরস্পর বিপরীত]

$$\therefore \quad E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_A}{r^2} + \frac{q_B}{r^2} - \frac{q_C}{r^2} - \frac{q_D}{r^2}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \left(\frac{7}{(\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} + \frac{7}{(\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} - \frac{7}{(\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} - \frac{7}{(\sqrt{2} \times 10^{-2})^2}\right)$$

$$= 9 \times 10^{+9} \times 0 = 0$$

$\therefore$ O বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য।

(খ) A, B, C ও D বিন্দুতে চার্জ, $q_A = q_B = q_C = q_D = 7\text{ C}$

প্রতিটি কৌণিক বিন্দু থেকে কেন্দ্রের দূরত্ব, $r = \sqrt{2} \times 10^{-2}\text{ m}$

এখানে ধরি, B বিন্দুর চার্জ q হলে কেন্দ্রে বিভব শূন্য হবে

$$\therefore \quad 0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_A}{r} + \frac{q}{r} + \frac{q_C}{r} + \frac{q_D}{r}\right)$$

বা, $\frac{1}{r}(q_A + q + q_C + q_D) = 0$

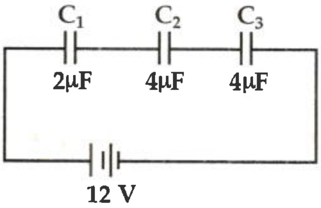
বা, $q_A + q + q_C + q_D = 0$

বা, $q = -(q_A + q_C + q_D)$

$= -(7 + 7 + 7) = -21\text{ C}$

$\therefore$ B বিন্দুতে 7 C চার্জের পরিবর্তে – 21 C চার্জ স্থাপন করতে হবে।

৬।



(ক) সমবায়টিতে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর।

(খ) সর্বোচ্চ সঞ্চিত শক্তি পেতে উদ্দীপকের সমবায়টির কী রকমের পরিবর্তন প্রয়োজন—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর। [ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); রা. বি. ২০১৭; মাদরাসা বোর্ড, ২০১৭ (মান ভিন্ন)]

(ক) এখানে, $C_1 = 2\mu F$, $C_2 = 4\mu F$, $C_3 = 4\mu F$

বিভব পার্থক্য, V = 12 V হলে, সঞ্চিত শক্তি, U = ?

তুল্য ধারকত্ব C_s হলে,

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

$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2 + 1 + 1}{4}$$

$$\therefore \quad C_s = 1\ \mu F = 1 \times 10^{-6}\text{ F}$$

$\therefore$ সঞ্চিত শক্তি, $U = \frac{1}{2}C_sV^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-6} \times (12)^2 = 7{\cdot}2 \times 10^{-5}$ J

(খ) উদ্দীপকের সমবায়টিতে ধারকত্রয় শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত।
এক্ষেত্রে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ, $7{\cdot}2 \times 10^{-5}$ J (ক থেকে প্রাপ্ত)
এখন ধারকত্রয়কে সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত করলে তুল্য ধারকত্বের মান হবে,

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$
$$= 2 + 4 + 4 = 10\ \mu F = 10 \times 10^{-6}\ F$$

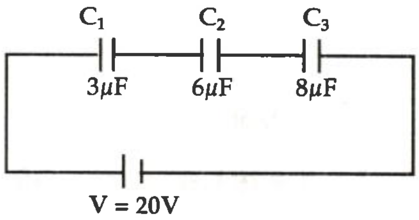
এক্ষেত্রে, সঞ্চিত শক্তি U_1 হলে,

$$U_1 = \frac{1}{2}C_pV^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-6} \times (12)^2$$
$$= 7{\cdot}2 \times 10^{-4}\ J$$

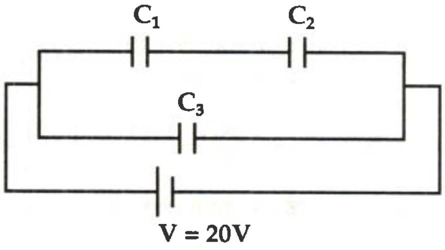
এখানে, $U_1 > U$

আমরা জানি ধারকের সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্বের মান সর্বোচ্চ হয়। এক্ষেত্রে বিভব পার্থক্যের মান অপরিবর্তিত রেখে সর্বোচ্চ সঞ্চিত শক্তি পেতে হলে ধারকগুলোকে সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত করতে হবে।

৭। চিত্রটি লক্ষ কর :



(a)



(b)

(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত ধারকগুলোর তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) C_1 ও C_2 শ্রেণিতে যুক্ত করে C_3-কে ওই সমাবায়ের সঙ্গে সমান্তরালে যুক্ত করে 20V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে (a) ও (b) সমবায়ের কোনটিতে সঞ্চিত শক্তি বেশি হবে ? — গাণিতিকভাবে দেখাও।

[সি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]

(ক) তুল্য ধারকত্ব,

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = \frac{8+4+3}{24} = \frac{15}{24}$$

$$\therefore\ C_S = \frac{24}{15} = 1{\cdot}6\ \mu F = 1{\cdot}6 \times 10^{-6}\ F$$

(খ) C_1 ও C_2 শ্রেণিতে যুক্ত, সুতরাং এদের তুল্য ধারকত্ব,

$$\frac{1}{C_S'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6}$$

বা, $C_S' = \frac{3 \times 6}{3+6} = \frac{18}{9} = 2\ \mu F = 2 \times 10^{-6}\ F$

C_S' এর সাথে C_3 সমান্তরালে যুক্ত, সুতরাং তুল্য ধারকত্ব,

$$C_P = 2 + 8 = 10\ \mu F = 10 \times 10^{-6}\ F$$

এখন, 'ক' সমবায়ের জন্য সঞ্চিত শক্তি,

$$U_1 = \frac{1}{2}C_SV^2 = \frac{1}{2} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-6} \times (20)^2 = 0{\cdot}8 \times 10^{-6} \times 400 = 320 \times 10^{-6}\ J = 3{\cdot}20 \times 10^{-4}\ J$$

এবং 'খ' সমবায়ের জন্য সঞ্চিত শক্তি,

$$U_2 = \frac{1}{2}C_PV^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-6} \times (20)^2 = 5 \times 10^{-6} \times 400 = 2000 \times 10^{-6} = 2 \times 10^{-3}\ J$$

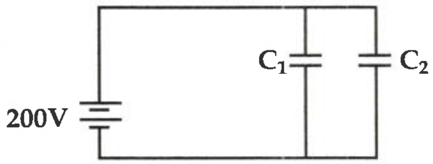
এখানে, $U_2 > U_1$; অর্থাৎ 'খ' সমবায়ের জন্য সঞ্চিত শক্তি বেশি হবে।

৮। পার্শ্বের বর্তনীতে C_1 ও C_2 দুটি সমান্তরাল পাত ধারক যুক্ত রয়েছে। যাদের প্রতিটির দুই পাতের ব্যবধান 0·5 cm এবং ধারকত্ব 600 *p*F। পরবর্তীতে C_1 ধারককে কাগজ (K = 3·5) দ্বারা পূর্ণ করা হলো এবং C_2 এর ঠিক মাঝখানে সমান্তরাল পাতের অনুরূপ পাতলা পাত প্রবেশ করানো হলো। [$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ C^2.N^{-1}m^{-2}$]

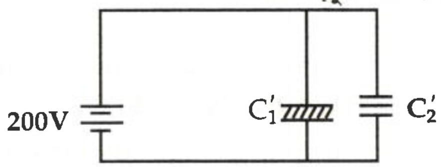
(ক) ধারকের প্রতি পাতের ক্ষেত্রফল নির্ণয় কর।

(খ) ধারক দুটি কাগজ ও পাত প্রবেশ করালে বর্তনীর সঞ্চিত তড়িৎশক্তির কীরূপ পরিবর্তন হবে—গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [কু. বো. ২০১৯]

(ক)



চিত্র ১



চিত্র ২

আমরা জানি,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

বা, $$A = \frac{C \times d}{\epsilon_0}$$

$$\therefore\ A = \frac{600 \times 10^{-12} \times 0.5 \times 10^{-2}}{8.854 \times 10^{-12}} = 0.339\ m^2$$

এখানে,

$C = 600\ pF = 600 \times 10^{-12}\ F$

$d = 0.5\ cm = 0.5 \times 10^{-2}\ m$

$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$

(খ) ২য় ক্ষেত্রে, $C'_1 = \frac{\epsilon_0 KA}{d} = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 3.5 \times 0.339}{0.5 \times 10^{-2}} = 2100\ pF$

C_2 এর মধ্যবিন্দুতে সমান্তরাল পাত স্থাপন করলে এটি দুটি ধারকের শ্রেণি সমবায় হবে। প্রতিটি ধারকের পাতের মধ্যে দূরত্ব হবে $= \frac{0.5}{2} = 0.25\ cm$ এবং ধারকত্ব,

$$C'_2 = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{8.854 \times 0.339 \times 10^{-12}}{0.25 \times 10^{-2}} = 1200\ pF$$

এখন এরূপ দুটি ধারক শ্রেণিতে যুক্ত। অতএব তুল্য ধারকত্ব ,

$$C_2' = \frac{1200 \times 1200}{1200 + 1200} = \frac{1200 \times 1200}{2400}\ pF = 600\ pF$$

আবার, বর্তনীর প্রাথমিক সঞ্চিত তড়িৎ শক্তি,

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

$$\therefore\ U_1 = \frac{1}{2} \times 1200 \times 10^{-12} \times (200)^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.2 \times 10^{-9} \times 4 \times 10^4$$

$$= 2.4 \times 10^{-5}\ J$$

এখানে,

$C = C_1 + C_2$ ($\because$ সমান্তরালে যুক্ত)

$= 600 + 600$

$= 1200\ pF = 1200 \times 10^{-12}\ F$

ধারক দুটিতে কাগজ ও পাত প্রবেশ করালে সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব,

$$C' = C_1' + C_2'' = 2100 \times 10^{-12} + 600 \times 10^{-12} = 2700 \times 10^{-12}\ F$$

এখন, ধারকের পরিবর্তিত অবস্থায় সঞ্চিত শক্তি,

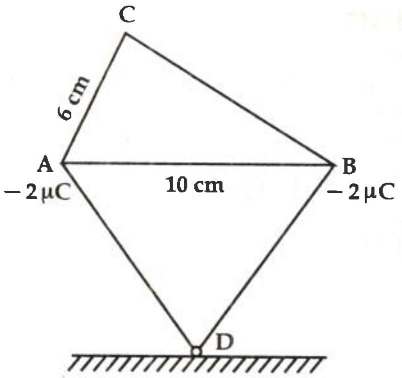
$$U_2 = \frac{1}{2}C'V^2 = \frac{1}{2} \times 2700 \times 10^{-12} \times (200)^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 27 \times 10^2 \times 10^{-12} \times 4 \times 10^4$$

$$= 5400 \times 10^{-8}\ J = 5.4 \times 10^{-5}\ J$$

অর্থাৎ সঞ্চিত শক্তি বৃদ্ধি পাবে।

৯।



চিত্রে 100 g ভর এবং 1 μC চার্জের একটি গোলক ভূমির ওপর D বিন্দুতে অবস্থিত। এখানে AB = AD = BD এবং ∠ACB = 90°। সমগ্র ব্যবস্থাটি উল্লম্ব অবস্থায় রাখা আছে।

(ক) A ও B বিন্দুর চার্জের জন্য C বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

(খ) D বিন্দুর গোলকটি ওপরে ওঠবে কি না— গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ঢা. বো. ২০২২; রা. বো. ২০২২]

(ক) C বিন্দুতে A বিন্দুর চার্জ কর্তৃক সৃষ্ট তড়িৎ বিভব, V_A হলে—

$$V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_A}{r_A}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{-2 \times 10^{-6}}{6 \times 10^{-2}}$$

$$= -3 \times 10^5 \text{ V}$$

C বিন্দুতে B বিন্দুর চার্জ কর্তৃক সৃষ্ট তড়িৎ বিভব, V_B হলে—

$$V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_B}{r_B}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{-2 \times 10^{-6}}{8 \times 10^{-2}}$$

$$= -2.25 \times 10^5 \text{ V}$$

এখানে,

A বিন্দুতে চার্জ, $q_A = -2\mu C = -2 \times 10^{-6} C$

দূরত্ব, $r_A = AC = 6 \text{ cm} = 6 \times 10^{-2} \text{ m}$

B বিন্দুতে চার্জ, $q_B = -2\mu C = -2 \times 10^{-6} C$

দূরত্ব, $r_B = BC = 8 \text{ cm} = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$

ΔABC থেকে $BC^2 = AB^2 - AC^2$

$BC^2 = AB^2 - AC^2$

$BC = \sqrt{AB^2 - AC^2}$

$= \sqrt{10^2 - 6^2}$

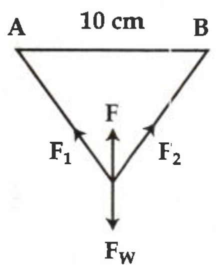
$= 8 \text{ cm} = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$

∴ C বিন্দুতে মোট তড়িৎ বিভব,

$$V = V_A + V_B = -3 \times 10^5 + (-2.25 \times 10^5) = -5.25 \times 10^5 \text{ V}$$

(খ) বস্তুটিকে সাম্যাবস্থায় রাখতে হলে D বিন্দুতে স্থাপিত গোলকটির উপর ক্রিয়াশীল বলগুলোর লব্ধি শূন্য হতে হবে।

$Q_A = -2 \times 10^{-6} C$ বা, $Q_B = -2 \times 10^{-6} C$ চার্জের জন্য D বিন্দুতে স্থাপিত $1\mu C = 1 \times 10^{-6} C$ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান,



$$F_1 = F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q_A \times 1 \times 10^{-6}}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{-2 \times 10^{-6} \times 10^{-6}}{(10 \times 10^{-2})^2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times (-2) \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-4}}$$

[∵ $AB = AD = BD = 10 \text{ cm} = 10 \times 10^{-2} \text{ m}$]

$$= -1.8 \times 10^6 \text{ N}$$

F_1 ও F_2 বলের জন্য লব্ধ বল F হলে,

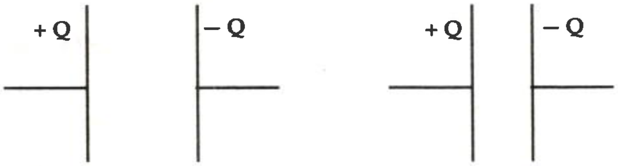
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \times F_2 \cos 60°}$$
$$= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_1 \times F_2}$$
$$\therefore F = \sqrt{3F_1^2} \qquad [\because F_1 = F_2]$$
$$= \sqrt{3 \times (-1{\cdot}8 \times 10^6)^2}$$
$$= \sqrt{3 \times 3{\cdot}24 \times 10^{12}}$$
$$= 3{\cdot}12 \times 10^6 \text{ N}$$

যেহেতু F_1 ও F_2 বলের মান সমান, তাই এদের লব্ধি F_1 ও F_2 এর মধ্য বরাবর ক্রিয়া করে এবং এই লব্ধির দিক উল্লম্ব বরাবর ওপরের দিকে।

বস্তুর ওজন F_W হলে, $F_W = mg = 0{\cdot}1 \times 9{\cdot}8 = 0{\cdot}98$ N

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, লব্ধি বল এবং বস্তুর ওজন পরস্পর বিপরীত দিকে ক্রিয়াশীল এবং $F > F_W$; ফলে বস্তুর ওপর প্রযুক্ত নিট বলের দিক ওপরের দিকে। তাই গোলকটি ওপরের দিকে ওঠবে।

১০। চিত্রে দুটি সমান্তরাল পাত ধারক দেখানো হলো।



পাতের ক্ষেত্রফল = 4 cm^2 পাতের ক্ষেত্রফল = 2 cm^2

উভয় ক্ষেত্রে, Q = 2 C এবং K = 1

চিত্র (i) চিত্র (ii)

(ক) চিত্র (i) এর পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য 2 V হলে ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর।

(খ) (i) ও (ii) চিত্রের ধারকের পাতগুলোকে কীভাবে স্থাপন করলে উভয় ধারকের ধারকত্বের মান সমান হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$U = \frac{1}{2}QV$$
$$= \frac{1}{2} \times 2\text{ C} \times 2\text{ V}$$
$$= 2\text{ J}$$

এখানে,
পাতের ক্ষেত্রফল, $A = 4\text{ cm}^2 = 4 \times 10^{-4}\text{ m}^2$
চার্জ, $Q = 2$ C
বিভব পার্থক্য, $V = 2$ V
পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক, $K = 1$
সঞ্চিত শক্তি, $V = ?$

(খ) ধরা যাক, চিত্র (i) এর পাতদ্বয়ের দূরত্ব d_1 এবং চিত্র (ii) এর পাতদ্বয়ের দূরত্ব d_2 হলে উভয় ধারকের ধারকত্ব সমান হয়। প্রত্যেক ধারকের ধারকত্ব C হলে,

আমরা জানি,

$$C = \frac{\varepsilon_0 K A_1}{d_1} = \frac{\varepsilon_0 K A_2}{d_2}$$

বা, $$\frac{A_1}{d_1} = \frac{A_2}{d_2}$$

বা, $$\frac{4 \times 10^{-4}}{d_1} = \frac{2 \times 10^{-4}}{d_2}$$

$$\therefore d_1 = 2d_2$$

এখানে,
চিত্র (i) এর পাতের ক্ষেত্রফল,
$A_1 = 4\text{ cm}^2 = 4 \times 10^{-4}\text{ m}^2$
চিত্র (ii) এর পাতের ক্ষেত্রফল,
$A_2 = 2\text{ cm}^2 = 2 \times 10^{-4}\text{ m}^2$
চার্জ, $Q = 2$ C

অর্থাৎ চিত্র (i) এর পাত দুটিকে সরিয়ে চিত্র (ii) এর পাত দুটির চেয়ে দ্বিগুণ দূরত্বে রাখলে উভয় ধারকের ধারকত্ব সমান হবে।

১১। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রত্যেকটি পাতের ক্ষেত্রফল $1{\cdot}65\ m^2$। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 cm এবং এটি বায়ু দ্বারা পূর্ণ। পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য 60 V। ($\varepsilon_0 = 8{\cdot}854 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$)

(ক) উদ্দীপক অনুসারে ধারকটির ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) ধারকটির মধ্যবর্তী স্থানে $2{\cdot}8$ ডাই ইলেকট্রিক ধ্রুবকের একটি বস্তু দ্বারা পূর্ণ করলে সঞ্চিত শক্তির কীরূপ পরিবর্তন হবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা দাও। [ব. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{8{\cdot}854 \times 10^{-12} \times 1{\cdot}65}{2 \times 10^{-2}}$$
$$= 7{\cdot}3 \times 10^{-10}\ F$$

$A = 1{\cdot}65\ m^2$
$d = 2\ cm = 2 \times 10^{-2}\ m$
$V = 60V$
$\epsilon_0 = 8{\cdot}854 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$

(খ) এখানে, $K = 2{\cdot}8$

আবার, $C' = \frac{\epsilon_0 KA}{d} = 7{\cdot}3 \times 10^{-10} \times 2{\cdot}8 = 20{\cdot}44 \times 10^{-10} = 2{\cdot}044 \times 10^{-9}\ F$

আমরা জানি, ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

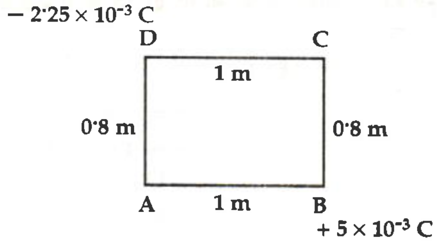
$$U = \frac{1}{2}CV^2$$

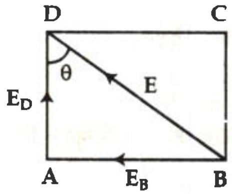
বায়ুপূর্ণ ধারকের ক্ষেত্রে, $U = \frac{1}{2}C.V^2 = \frac{1}{2} \times 7{\cdot}3 \times 10^{-10} \times (60)^2 = 1{\cdot}31 \times 10^{-6}\ J$

ডাইইলেকট্রিক মাধ্যমে, $U = \frac{1}{2}C'V^2 = \frac{1}{2} \times 2{\cdot}044 \times 10^{-9} \times (60)^2 = 3679 \times 10^{-9} = 3{\cdot}68 \times 10^{-6}\ J$

ধারকে সঞ্চিত শক্তি $= 3{\cdot}68 \times 10^{-6} - 1{\cdot}31 \times 10^{-6} = 2{\cdot}37 \times 10^{-6}\ J$ বৃদ্ধি পাবে।

১২। ABCD আয়তাকার ক্ষেত্রের B ও D বিন্দুতে যথাক্রমে $+5 \times 10^{-3}$ C এবং $-2{\cdot}25 \times 10^{-3}$ C চার্জ স্থাপন করা হলো। (বায়ু মাধ্যমে)





(ক) A বিন্দুতে প্রাবল্য কত ?

(খ) A ও C কে ধাতব পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত করলে কোন দিক হতে ধনাত্মক চার্জ প্রবাহিত হবে গাণিতিভাবে মতামত দাও। [ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); অভিন্ন প্রশ্ন (খ) সেট, ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

q হতে r দূরত্বে তড়িৎ প্রাবল্য, $E = = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q}{r^2}$

সুতরাং B বিন্দুর চার্জের জন্য A বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q_1}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-3}}{(1)^2} = 45 \times 10^6\ NC^{-1}$$, BA বরাবর

আবার, D বিন্দুর চার্জের জন্য A বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_D = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q_2}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{-2{\cdot}25 \times 10^{-3}}{(0{\cdot}8)^2} = 31{\cdot}64 \times 10^6\ NC^{-1}$$, AD বরাবর

A বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_B^2 + E_D^2}\ \sqrt{(45 \times 10^6)^2 + (31{\cdot}64 \times 10^6)^2} = 55 \times 10^6\ NC^{-1}$$

এক্ষেত্রে লব্ধি প্রাবল্য AD এর সাথে $\theta°$ কোণ উৎপন্ন করলে,

$$\tan\theta = \frac{E_B}{E_D} = \frac{45 \times 10^6}{31.64 \times 10^6} = 1.4225$$

$$\therefore \quad \theta = \tan^{-1}(1.4225) = 54.9°$$

(খ) A বিন্দুতে বিভব, $V_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}\right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{1.0} + \frac{-2.25 \times 10^{-3}}{0.8}\right)$

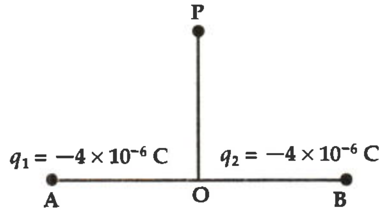
$= 19.6876 \times 10^6$ V

C বিন্দুতে বিভব, $V_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_2} + \frac{q_2}{r_1}\right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{0.8} + \frac{-2.25 \times 10^{-3}}{1.0}\right)$

$= 36 \times 10^6$ V

এক্ষেত্রে স্পষ্ট যে, $V_C > V_A$ অর্থাৎ C বিন্দুর বিভব A বিন্দুর বিভবের চেয়ে বেশি। তাই ধনাত্মক চার্জ C বিন্দু হতে A বিন্দুর দিকে প্রবাহিত হবে।

১৩।



A বিন্দুতে চার্জের পরিমাণ, $q_1 = -4 \times 10^{-6}$ C এবং B বিন্দুতে, $q_2 = -4 \times 10^{-6}$ C
এখন OP = OA = OB = 10 cm
(ক) q_1 ও q_2 চার্জের জন্য 'O' বিন্দুতে বিভব নির্ণয় কর।
(খ) বর্ণিত চার্জদ্বয়ের জন্য O ও P বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য একই হবে কি না যাচাই করে মতামত দাও।

[রা. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$$

সুতরাং, q_1 চার্জের জন্য O বিন্দুতে বিভব

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1}{r}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{(-4 \times 10^{-6})}{0.1}$$

$$= -3.6 \times 10^5 \text{ V}$$

এখানে,

$q_1 = -4 \times 10^{-6}$ C

$q_2 = -4 \times 10^{-6}$ C

r = OP = OA = OB = 10 cm = 0.1 m

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

আবার, q_2 চার্জের জন্য O বিন্দুতে বিভব,

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_2}{r}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{(-4 \times 10^{-6})}{0.1} = -3.6 \times 10^5 \text{ V}$$

সুতরাং, q_1 ও q_2 চার্জদ্বয়ের জন্য O বিন্দুতে বিভব,

$$V = V_1 + V_2 = -(3.6 \times 10^5 + 3.6 \times 10^5) = -7.2 \times 10^5 \text{ V}$$

(খ) এখন, q_1 চার্জের জন্য O বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi_0}\frac{q_1}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(-4 \times 10^{-6})}{(0.1)^2}$$

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

$= -36 \times 10^5 = -3.6 \times 10^6$ NC^{-1} এর দিক $\overrightarrow{OA}$ বরাবর

আবার, q_2 চার্জের জন্য O বিন্দুতে প্রাবল্য,

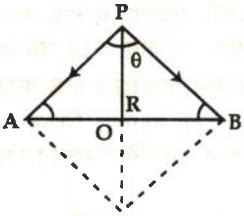
$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r^2} = 9\times10^9\times\frac{(-4\times10^{-6})}{(0{\cdot}1)^2} = -3{\cdot}6\times10^6\ NC^{-1}$$ এর দিক $\overrightarrow{OB}$ বরাবর

q_1 ও q_2 চার্জদ্বয়ের জন্য O বিন্দুতে প্রাবল্য সমান কিন্তু বিপরীতমুখী; সুতরাং মোট প্রাবল্য '0'।
এখন, P বিন্দুতে q_1 চার্জের জন্য প্রাবল্য,

$$E_1' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{AP^2}$$
$$= \frac{9\times10^9\times(-4\times10^{-6})}{AO^2+OP^2}$$
$$= \frac{9\times10^9\times(-4\times10^{-6})}{0{\cdot}1+0{\cdot}1}$$
$$= \frac{9\times10^9\times(-4\times10^{-6})}{0{\cdot}2}$$
$$= -1{\cdot}8\times10^5\ NC^{-1}$$ এর দিক $\overrightarrow{PA}$ বরাবর

অনুরূপভাবে q_2 চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_2' = \frac{9\times10^9\times(-4\times10^{-6})}{0{\cdot}2}$$
$$= -1{\cdot}8\times10^5\ NC^{-1}$$ এর দিক $\overrightarrow{PB}$ বরাবর

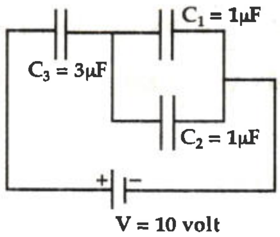


সুতরাং, লব্ধি প্রাবল্য,

$$R = \sqrt{E_1'^2 + E_2'^2 + 2E_1'E_2'\cos\theta}$$
$$= \sqrt{(-1{\cdot}8\times10^5)^2 + (-1{\cdot}8\times10^5)^2 + 2\times(-1{\cdot}8\times10^6)\times(-1{\cdot}8\times10^6)\cos 90^\circ}$$
$$= \sqrt{3{\cdot}24\times10^{10} + 3{\cdot}24\times10^{10}} = 2{\cdot}54\times10^5\ NC^{-1}$$

সুতরাং, বর্ণিত চার্জদ্বয়ের জন্য O এবং P বিন্দুতে প্রাবল্য এক হবে না।

১৪। নিচের বর্তনীটি লক্ষ কর এবং প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) বর্তনীটির তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনীটির সকল ধারককে সমান্তরালে সংযোগ করলে প্রাপ্ত সঞ্চিত শক্তি, প্রদত্ত বর্তনীর সঞ্চিত শক্তি অপেক্ষা বেশি হবে না কম হবে—গাণিতিক যুক্তি দ্বারা দেখাও। [কু. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৬]

(ক) বর্তনীতে C_1 ও C_2 সমান্তরালে যুক্ত এবং এদের তুল্য ধারকত্বের সাথে C_3 শ্রেণিতে যুক্ত। অতএব,

$$C_p = C_1 + C_2 = 1 + 2$$
$$= 3\ \mu F = 3\times10^{-6}\ F$$

আবার, C_3 এবং C_p শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। অতএব,

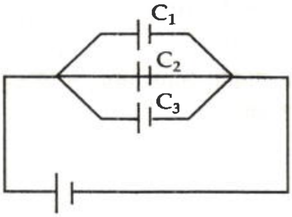
$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_p} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$$

বা, $C_s = \frac{3}{2}\ \mu F = \frac{3}{2}\times10^{-6}\ F = 1{\cdot}5\ \mu F$

বর্তনীটির তুল্য ধারকত্ব হলো $1{\cdot}5\ \mu F$

এখানে,
$C_1 = 1\ \mu F$
$C_2 = 2\ \mu F$
$C_3 = 3\ \mu F$
$V = 10$ volt

(খ) প্রশ্নানুসারে, C_1, C_2 ও C_3 সমান্তরালে সজ্জিত বর্তনী হবে নিম্নরূপ :



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

এখন, বর্তনীর সঞ্চিত শক্তি, $E_1 = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 6 \times 10^{-6} \times (10)^2 = 300 \times 10^{-6}$ J

আবার, প্রদত্ত বর্তনীর সঞ্চিত শক্তি, $E_2 = \frac{1}{2}C_1V^2 = \frac{1}{2} \times 1.5 \times 10^{-6} \times (10)^2 = 75 \times 10^{-6}$ J

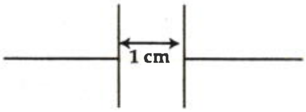
অতএব, $E_1 > E_2$ অর্থাৎ সমান্তরালে যুক্ত বর্তনীর সঞ্চিত শক্তি প্রদত্ত বর্তনীর সঞ্চিত শক্তি অপেক্ষা বেশি হবে।

১৫। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতি পাতের ক্ষেত্রফল 10^{-4} cm²। পাতদ্বয় বায়ুতে পরস্পর হতে 1 cm ব্যবধানে অবস্থিত। প্রত্যেক পাতে সরবরাহকৃত চার্জের পরিমাণ 8.9×10^{-10} C।

(ক) ধারকের পাতদ্বয়ের চার্জ ঘনত্ব নির্ণয় কর।

(খ) পাতদ্বয়ের মধ্যকার বিভব পার্থক্য অর্ধেক করা হলে ধারকটির সঞ্চিত শক্তি পূর্বেকার সঞ্চিত শক্তির এক-চতুর্থাংশ হবে কি না—গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [চ. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন), ২০১৯; ম. বো. ২০২২]

(ক)



এখানে,
$A = 10^{-4}$ cm²
$d = 1$ cm
$q = 8.9 \times 10^{-10}$ C

আমরা জানি, পাতদ্বয়ে চার্জ ঘনত্ব,

$$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{8.9 \times 10^{-10}}{10^{-4}} = 8.9 \times 10^{-6}\ \text{cm}^2$$

(খ) ধারকে সঞ্চিত শক্তি, $E_p = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2} \times 8.9 \times 10^{-10}\ \text{VJ} = 4.45 \times 10^{-10}\ \text{VJ}$

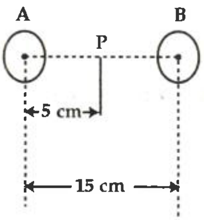
বিভব পার্থক্য অর্ধেক করা হলে অর্থাৎ $V' = \frac{V}{2}$ **হলে,**

ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

$$E_p' = \frac{1}{2}qV' = \frac{1}{2} \times 8.9 \times 10^{-10} \times \frac{V}{2}\ \text{J}$$
$$= \frac{1}{4} \times 8.9 \times 10^{-10}\ \text{VJ}$$
$$= 2.225 \times 10^{-10}\ \text{VJ} = \frac{1}{2}E_P$$

সুতরাং E_p', পূর্বেকার সঞ্চিত শক্তির অর্ধেক; এক-চতুর্থাংশ নয়।

১৬। সমান ব্যাসার্ধের দুটি গোলক A ও B শূন্যস্থানে পরস্পর থেকে 15 cm দূরে অবস্থিত। A গোলকে চার্জ $+3 \times 10^{-12}$ C এবং B গোলকে চার্জ $+12 \times 10^{-12}$ C আছে।



(ক) P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

(খ) P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হতে পারে কি ? গাণিতিক বিশ্লেষণ করে যুক্তি উপস্থাপন কর।

[দি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

P বিন্দুতে চার্জ q_1 এর জন্য বিভব,

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r_1}$$

$$\therefore \quad V_1 = 9\times10^9\times\frac{+3\times10^{-12}}{0{\cdot}05}$$

$$= \frac{9\times3\times10^{-3}\times10^2}{5} = 0{\cdot}54 \text{ volt}$$

এখানে,

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

$q_1 = +3\times10^{-12}\text{ C}$

$q_2 = +12\times10^{-12}\text{ C}$

$r_1 = 5\text{ cm} = 0{\cdot}05\text{ m}$

এবং P বিন্দুতে চার্জ q_2 এর জন্য বিভব,

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r_2} = 9\times10^9\times\frac{(+12\times10^{-12})}{0{\cdot}10}$$

$$= 1080\times10^{-3} = 1{\cdot}08 \text{ volt}$$

সুতরাং P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব,

$$V = V_1 + V_2 = 0{\cdot}54 + 1{\cdot}08 = 1{\cdot}62 \text{ volt}$$

(খ) q_1 চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r_1^2} = 9\times10^9\times\frac{3\times10^{-12}}{(0{\cdot}05)^2}$$

$$= \frac{9\times3\times10^{-3}}{5\times5\times10^{-4}} = 10{\cdot}8 \text{ N/C}$$

E_1 এর অভিমুখ AB বরাবর।

এবং q_2 চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r_2^2} = 9\times10^9\times\frac{12\times10^{-12}}{(0{\cdot}10)^2}$$

$$= \frac{9\times12\times10^{-3}}{0{\cdot}01} = 9\times12\times10^{-3}\times10^2 = 10{\cdot}8 \text{ N/C}$$

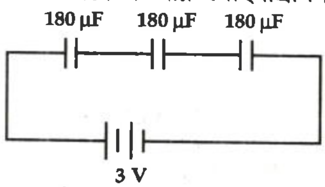
E_2 এর অভিমুখ BA বরাবর।

সুতরাং E_1 ও E_2 সমান এবং বিপরীতমুখী। এদের লব্ধি $E_1 - E_2 = 0$। অর্থাৎ P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।

১৭। ব্যবহারিক পরীক্ষায় শিক্ষক প্রতিটি 180 μF মানের তিনটি ধারক নিয়ে শ্যামলীকে তাদের শ্রেণি সমবায়ের সাথে একটি 3 V এর তড়িৎকোষ সংযুক্ত করে বর্তনী তৈরি করতে বললেন। রেশমাকে 3 V এর তিনটি তড়িৎকোষ দিয়ে সমান্তরাল সমবায়ে এবং সমবায়ের সাথে 50 Ω মানের একটি রোধ যুক্ত করতে বললেন। শিক্ষক শ্যামলীকে পূর্ণ নম্বর দিলেও রেশমাকে শূন্য দিলেন। উল্লেখ্য রেশমা বর্তনীর মোট তড়িৎপ্রবাহ পেয়েছিল 0·18 A।

(ক) শ্যামলীর বর্তনীতে সঞ্চিত বৈদ্যুতিক বিভব শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর।

(খ) রেশমা কী ভুল করেছিল ? সঠিক বর্তনী এঁকে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০১৬]



(ক) আমরা জানি, সঞ্চিত বিভব শক্তি, $U = \frac{1}{2}CV^2$

এখানে তিনটি ধারক শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য ধারকত্ব,

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3} = \frac{1}{180}+\frac{1}{180}+\frac{1}{180} = \frac{3}{180}$$

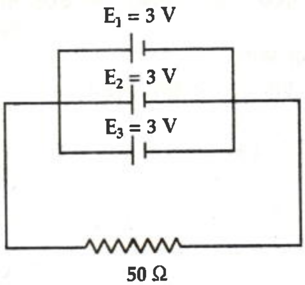
$$\therefore \quad C_s = \frac{180}{3} = 60\ \mu\text{F} = 60\times10^{-6}\text{ F}$$

$$\therefore \quad U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\times60\times10^{-6}\times(3)^2 = 30\times10^{-6}\times9 = 2{\cdot}7\times10^{-4}\text{ J}$$

(খ) রেশমা কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত না করে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করেছিল। তাই সে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহমাত্রা,

$$I = \frac{nE}{R} = \frac{3 \times 3}{50} = \frac{9}{50} = 0{\cdot}18 \text{ A}$$ পেয়েছিল।

কোষগুলির সঠিক সংযোগসহ বর্তনীর চিত্র হবে নিম্নরূপ :

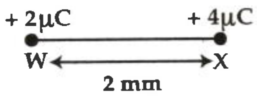


$\therefore$ বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{nE}{nR + r}$। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ উপেক্ষণীয় তাই, $I = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$

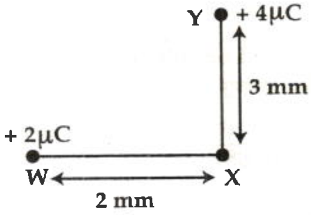
$$\therefore \quad I = \frac{3}{50} \text{ A} = 0{\cdot}06 \text{ A}$$

সুতরাং বর্তনীর প্রবাহমাত্রা $0{\cdot}06$ A

১৮।



চিত্র (i)



চিত্র (ii)

(ক) +2μC চার্জটির উপর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয় কর।

(খ) W বিন্দুতে +2μC চার্জটিকে স্থির রেখে + 4μC চার্জটিকে Y বিন্দুতে সরানো হলো চিত্র (ii)। চিত্র (i) অবস্থানে এবং চিত্র (ii) অবস্থানে +4μC চার্জটির তড়িৎ বিভবের কোনো পরিবর্তন হবে কী ? বিশ্লেষণ কর।

[ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(2 \times 10^{-3})^2}$$

$$= 1{\cdot}8 \times 10^4 \text{ N}$$

এখানে,

$q_1 = 2\mu C = 2 \times 10^{-6}$ C

$q_2 = 4\mu C = 4 \times 10^{-6}$ C

$r = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3}$ m

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

ক্রিয়াশীল বল, $F = ?$

(খ) এখানে, চার্জ $q_1 = 2\mu C = 2 \times 10^{-6}$ m

চিত্র (i) অবস্থানে + 4μC এর তড়িৎ বিভব

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r_1}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-3}}$$

$$= 9 \times 10^6 \text{ V}$$

চিত্র (ii) অবস্থানে q_1 থেকে + 4μC এর দূরত্ব

$$r_2 = \sqrt{2^2 + 3^2} \text{ mm} = \sqrt{13} \text{ mm} = \sqrt{13} \times 10^{-3} \text{ m}$$

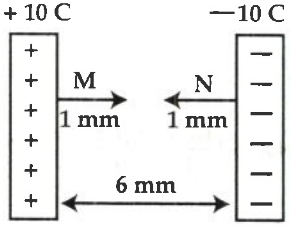
চিত্র (ii) অবস্থানে 4μC এর তড়িৎ বিভব

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r_2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{\sqrt{13} \times 10^{-3}}$$

$$= 4{\cdot}99 \times 10^6 \text{ V}$$

$\therefore$ তড়িৎ বিভবের পরিবর্তন, $9 \times 10^6 \text{ V} - 4{\cdot}99 \times 10^6 \text{ V} = 4{\cdot}01 \times 10^6 \text{ V}$

১৯। উদ্দীপকটি লক্ষ কর :



প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল $2\ cm^2$; $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ Nm^2C^{-2}$

(ক) উদ্দীপকের ধারকটির ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের M বিন্দু হতে N বিন্দুতে + 2C আধানকে নিতে কোনো কাজ সম্পন্ন হবে কি? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও। [ঢা. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

বা, $$C = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 2 \times 10^{-4}}{6 \times 10^{-3}}$$

$$= 2.95 \times 10^{-13}\ F$$

এখানে,
$A = 2\ cm^2 = 2 \times 10^{-4}\ m^2$
$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ Nm^2C^{-2}$
$d = 6\ mm = 6 \times 10^{-3}\ m$

(খ) এখানে, কৃত কাজ, $W = Fx$

এবং বিভাব পার্থক্য,

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{10}{2.95 \times 10^{-13}} = 3.39 \times 10^{13}\ volt$$

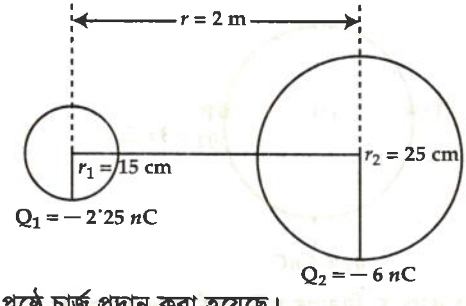
এখানে,
$x = 4\ mm = 4 \times 10^{-3}\ m$

এখন, $V = Ed$ বা, $E = \frac{V}{d} = \frac{3.39 \times 10^{13}}{6 \times 10^{-3}} = 0.565 \times 10^{16}\ N/C$

আবার, $F = qE = +2 \times 0.565 \times 10^{16} = 1.13 \times 10^{16}\ N$

$\therefore\ W = Fx = 1.13 \times 10^{16} \times 10^{16} \times 4 \times 10^{-3} = 4.52 \times 4.52 \times 10^{13}\ J$

২০।



চিত্রে দুটি ফাঁপা গোলকের পৃষ্ঠে চার্জ প্রদান করা হয়েছে।

(ক) গোলকদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর নিরপেক্ষ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় কর।

(খ) গোলকদ্বয় একটি পরিবাহী তার দ্বারা সংযুক্ত করা হলে গোলকদ্বয়ে চূড়ান্ত চার্জের পরিমাণের তুলনামূলক বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০২৩]

(ক) মনে করি, P নিরপেক্ষ বিন্দু, এর দূরত্ব Km গোলক $r_1 = 15\ cm$ হতে।

নিরপেক্ষ বিন্দুতে একটি চার্জ কোনো বল অনুভব করবে না। ওই বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য সমান হবে,

আমরা জানি তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = 9 \times 10^9 \frac{q}{r^2}$$

Q_1 চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{(-2.25 \times 10^{-9})}{x^2}$$

এখানে,
$r_1 = 15\ cm = 0.15\ m$
$r_2 = 25\ cm = 0.25\ m$
$r = 2\ m$
$Q_1 = -2.25\ nC$
$= -2.25 \times 10^{-9}\ C$
$Q_2 = -6\ nC = -6 \times 10^{-9}\ C$

এবং Q_2 চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রবাল্য,

$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{(-6 \times 10^{-9})}{(2-x)^2}$$

এখন শর্তানুসারে P বিন্দুতে, $E_1 = E_2$

অর্থাৎ $\dfrac{9 \times 10^9 (-2.25 \times 10^{-9})}{x^2} = 9 \times 10^9 \dfrac{(-6 \times 10^{-9})}{(2-x)^2}$

বা, $\left(\dfrac{2-x}{x}\right)^2 = \dfrac{+6}{+2.25}$

বা, $\dfrac{2-x}{x} = \sqrt{\dfrac{6}{2.25}} = 1.633$

বা, $2 - x = 1.633x$ বা, $3.633x = 2$

$\therefore \quad x = \dfrac{2}{3.633} = 0.55\text{ m}$

সুতরাং, $r_1 = 0.15$ m ব্যাসার্ধের গোলক হতে নিরপেক্ষ বিন্দুর অবস্থান 0.55 m দূরে।

(খ) $r_1 = 0.15$ m গোলকের পৃষ্ঠে তড়িৎ বিভব,

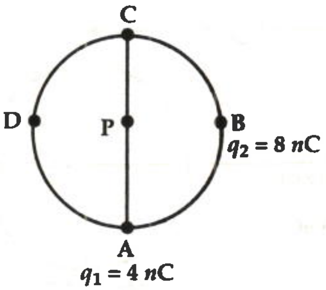
$$V_1 = 9 \times 10^9 \frac{(-2.25 \times 10^{-9})}{0.15} = -\frac{9 \times 2.25}{0.15} = -135 \text{ volt}$$

এবং $r_2 = 0.25$ m গোলকের পৃষ্ঠে তড়িৎ বিভব

$$V_2 = 9 \times 10^9 \left(\frac{-6 \times 10^{-9}}{0.25}\right) = -\frac{9 \times 6}{0.25} = -216 \text{ volt}$$

একটি তার দ্বারা গোলকদ্বয় যুক্ত করলে উচ্চ বিভব হতে নিম্ন বিভবে চার্জ প্রবাহিত হবে যতক্ষণ পর্যন্ত উভয় গোলকের বিভব সমান হয়।

২১।



চিত্রে একটি বৃত্তাকার পথের A এবং B বিন্দুতে দুটি চার্জ স্থাপন করা হয়েছে। P বৃত্তের কেন্দ্র, বৃত্তের ব্যাসার্ধ 15 cm এবং AB = BC = CD = DA।

(ক) উদ্দীপকের P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

(খ) C ও D বিন্দুর সাথে একটি পরিবাহী তার যুক্ত করলে, পরিবাহীর মুক্ত ইলেকট্রনগুলো কোন দিকে গতিশীল হবে? গাণিতিকভাবে মতামত দাও। [কু. বো. ২০২৩]

(ক) এখানে, AB = BC = CD = DA এবং PC = PD = PB = PA = 15 cm

$\therefore \quad BC = CD = \sqrt{PB^2 + BC^2} = \sqrt{(0.15)^2 + (0.15)^2} = \sqrt{0.045} = 0.212$ m

B চার্জের জন্য C বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য, $E_1 = 9 \times 10^9 \times \dfrac{8 \times 10^{-9}}{(0.15)^2} = 3200\text{ NC}^{-1}$

A চার্জের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য, $E_2 = 9 \times 10^9 \times \dfrac{4 \times 10^{-9}}{(0.15)^2} = 1600\text{ N/C}$

সুতরাং, P বিন্দুতে মোট তড়িৎ প্রাবল্য, $E = E_1 + E_2 = 3200 + 1600 = 4800\text{ NC}^{-1}$

(খ) C বিন্দুতে q_2 চার্জের জন্য তড়িৎ বিভব, $V_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{8 \times 10^{-9}}{0.212} = \frac{9 \times 8}{0.212} = 339.6$ volt

C বিন্দুতে q_1 " " " " $V_2 = \frac{9 \times 4}{0.30} = 120$ volt

D বিন্দুতে q_1 চার্জের জন্য তড়িৎ বিভব, $V_3 = \frac{9 \times 4}{0.212} = 169.8$ volt

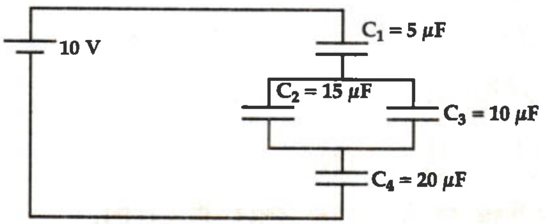
D বিন্দুতে q_2 " " " " $V_4 = \frac{9 \times 8}{0.30} = 240$ volt

সুতরাং, C বিন্দুতে মোট তড়িৎ বিভব, $V_1 + V_2 = 339.6 + 120 = 459.6$ volt

এবং D " " " " $V_3 + V_4 = 169.8 + 240 = 409.8$ volt

এখন, যেহেতু C বিন্দুর বিভব বেশি, সুতরাং নিম্ন বিভব অর্থাৎ D বিন্দু হতে C বিন্দুতে মুক্ত ইলেকট্রন গতিশীল হবে।

২২।



(ক) বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব বের কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীটিকে ভোল্টেজ বিবর্ধক হিসেবে ব্যবহার করা যায় কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২৩]

(ক) C_2 ও C_3 ধারক দুটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। এদের তুল্য ধারকত্ব,

$C_P = C_2 + C_3 = 15 + 10 = 25\ \mu F$

C_P, C_1 এবং C_4 শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। এদের তুল্য ধারকত্ব,

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_P} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_4} = \frac{1}{25} + \frac{1}{5} + \frac{1}{20}$$

$$= \frac{4 + 20 + 5}{100} = \frac{29}{100}$$

$$\therefore \quad C_S = \frac{100}{29} = 3.448\ \mu F$$

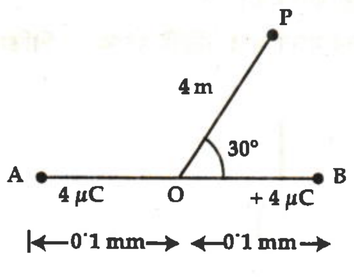
(খ) ধারকে সঞ্চিত শক্তি, $W = \frac{1}{2} CV^2$; এখানে $V =$ ধ্রুবক

$\therefore$ $W \propto C$, সুতরাং বর্তনীর যে ধারকের মান বেশি, সেটিতে সঞ্চিত শক্তি বেশি হবে। C_4 যেহেতু সবচেয়ে বড়, অতএব এর মধ্যে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ হবে,

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} \times (10)^2$$

$$= 1 \times 10^{-3}\ J$$

২৩।



(ক) উদ্দীপকের P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব বের কর।

(খ) OP রেখা দ্বিমেরুর মধ্য বিন্দুতে যথাক্রমে 0° এবং 90° কোণ উৎপন্ন করলে P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে? গাণিতিক ব্যাখ্যা কর। [য. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{p\cos\theta}{r^2} \quad [\because r >> 1]$$

$$\therefore \quad V_P = 9\times10^9 \times \frac{8\times10^{-11}}{(4)^2}$$

$$= \frac{9\times8\times10^{-2}}{16} = \frac{72}{16}\times10^{-2}$$

$$= 4{\cdot}5\times10^{-2}\ V$$

এখানে,

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

$2l = 0{\cdot}1 + 0{\cdot}1 = 0{\cdot}2\ mm$

$= 0{\cdot}2\times10^{-3}\ m$

$\therefore p = q2l = 0{\cdot}2\times0{\cdot}4\times10^{-9}$

$= 8\times10^{-11}\ Cm$

$r = 4m$

$\theta = 30°$

(খ) তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$\vec{E} = \frac{1}{4r\pi\epsilon_0}\frac{2\vec{P}}{r^3}$$

$$\text{বা,} \quad |E| = 9\times10^9\times\frac{2\times8\times10^{-11}}{(4)^3}$$

$$= \frac{9\times16\times10^{-2}}{64} = \frac{144}{64} = 2{\cdot}25\ NC^{-1}$$

এবং তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব দ্বিখণ্ডকের ওপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

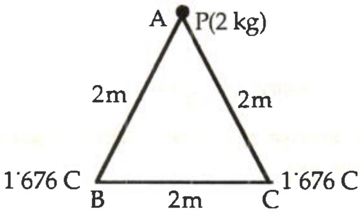
$$E = \frac{1}{4r\pi\epsilon_0}\frac{P}{r^3} \quad [\because r >> l]$$

$$\therefore \quad E = 9\times10^9\times\frac{8\times10^{-11}}{(4)^3}$$

$$= \frac{72\times10^{-2}}{64} = 1{\cdot}125\ NC^{-1}$$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে অক্ষের ওপর অবস্থিত বিন্দুর জন্য তড়িৎ প্রাবল্য লম্ব দ্বিখণ্ডকে অবস্থিত বিন্দুর চেয়ে দ্বিগুণ হবে।

২৪।



চিত্রে ABC একটি সমবাহু ত্রিভুজ।

দ্বাদশ শ্রেণির ছাত্রী লাবিবা বলল, A বিন্দুতে স্থাপিত P বস্তুটি ঝুলবে। কিন্তু তার বান্ধবী লামিয়া বলল, এটি সম্ভব নয়।

(ক) উদ্দীপকের A বিন্দুর বিভবের মান কত?

(খ) উদ্দীপকে উল্লিখিত দুই জনের মধ্যে কার উক্তিটি সঠিক? গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [য. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, A বিন্দুতে বিভব,

$$V = 9\times10^9\left[\frac{1{\cdot}676}{2}+\frac{1{\cdot}676}{2}\right]$$

$$= 9\times10^9\times\left(\frac{1{\cdot}676+1{\cdot}676}{2}\right)$$

$$= 9\times10^9\times1{\cdot}676 = 15{\cdot}1\times10^9\ volt$$

(খ) এখন, B বিন্দুর 1·676 C চার্জের জন্য A বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{1{\cdot}673}{2^2} = 3{\cdot}771 \times 10^9$$

এবং C বিন্দুর 1·676 C চার্জের জন্য A বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{1{\cdot}673}{2^2} = 3{\cdot}771 \times 10^9$$

তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\theta}$$
$$= \sqrt{(3{\cdot}771 \times 10^9)^2 + (3{\cdot}771 \times 10^9)^2 + 2 \times 3{\cdot}771 \times 10^9 \times 3{\cdot}771 \times 10^9 \cos 60°}$$
$$= \sqrt{3 \times (3{\cdot}771 \times 10^9)^2}$$
$$= \sqrt{42{\cdot}66 \times 10^{18}} = 6{\cdot}53 \times 10^9 \text{ N}$$

তড়িৎ বল, $Fe = qE = q \times 6{\cdot}53 \times 10^9$ N

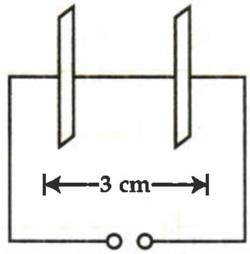
এবং A বিন্দুতে অভিকর্ষজ বল, $Fg = mg = 2 \times 9{\cdot}8 = 19{\cdot}6$N

এখন, A বস্তুটি ঝুলে থাকার শর্ত হলো, $Fe = Fg$ বা, $6{\cdot}53 \times 10^9\, q = 19{\cdot}6$

বা, $$q = \frac{19{\cdot}6}{6{\cdot}53 \times 10^9} = 3{\cdot}0 \times 10^{-9} \text{ C}$$

যদি A বিন্দুতে বস্তুটির চার্জ $3{\cdot}0 \times 10^{-9}$ C হয় তবে বস্তুটি ঝুলে থাকবে।

২৫।



20 cm² ক্ষেত্রফলের দুটি ধাতব পাতকে 3 cm ব্যবধানে রেখে চিত্র অনুযায়ী ধারক তৈরি করা হলো। পরবর্তীতে K = 5 এবং 2 mm পুরুত্ববিশিষ্ট একটি ব্লক পাতদ্বয়ের মাঝে রেখে ধারকত্ব নির্ণয় করা হলো।

(ক) প্রথম ক্ষেত্রে পাতদ্বয় সম্পূর্ণ চার্জিত হলে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর।

(খ) ১ম ক্ষেত্রের তুলনায় ২য় ক্ষেত্রে ধারকের কীরূপ পরিবর্তন হবে— গাণিতিকভাবে নির্ণয় কর।

[চ. বো. ২০২৩]

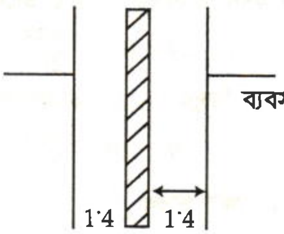
(ক) আমরা জানি ধারকত্ব,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$
$$= \frac{8{\cdot}854 \times 10^{-12} \times 20 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-2}}$$
$$= 59 \times 10^{-10} \text{ F}$$

এখানে,
$A = 20 \text{ cm}^2 = 20 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
$d = 3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m}$
$\epsilon_0 = 8{\cdot}854 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1}\text{C}^2\text{m}^{-2}$
$V = 200$ volt

সুতরাং, ধারকে সঞ্চিত শক্তি, $$W = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 59 \times 10^{-10} \times (200)^2$$
$$= 1{\cdot}18 \times 10^{-6} \text{ J}$$

(খ) ব্লকটি পাতদ্বয়ের মাঝ স্থাপন করলে তিনটি ধারক শ্রেণিতে তৈরি হয় এবং এগুলো শ্রেণিতে যুক্ত থাকে। ব্লকের পুরুত্ব 2mm। তিনটি ধারকের পুরুত্ব যথাক্রমে 1·4 cm, 0·2 cm এবং 1·4 cm। সুতরাং তুল্য ধারকত্ব,



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

বা, $C_1 = \frac{\epsilon_0 A}{d_1} = \frac{8·854\times10^{-12}\times20\times10^{-4}}{1·4\times10^{-2}}$

$= 1·265\times10^{-8}$ F

$C_2 = \frac{\epsilon_0 A}{d_2} = \frac{8·854\times5\times20\times10^{-4}\times10^{-12}}{0·2\times10^{-2}}$

$= 44·3 \times10^{-8}$ F

$C_3 = \frac{\epsilon_0 A}{d_3} = \frac{8·854\times10^{-12}\times20\times10^{-4}}{1·4\times10^{-2}}$

$=1·265\times10^{-8}$ F

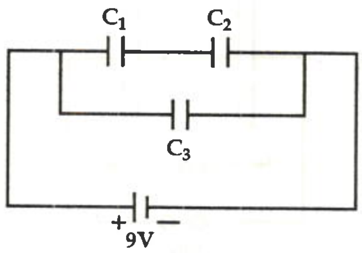
$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{1·265\times10^{-8}}+\frac{1}{44·3\times10^{-8}}+\frac{1}{1·265\times10^{-8}}$$

বা, $C_S = \frac{1·265\times10^{-8}\times1·265\times10^{-8}\times64·3\times10^{-8}}{(1·265+1·265+44·3)\times10^{-8}}$

$= 1·51\times10^{-16}$ F

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে দ্বিতীয় ক্ষেত্রের চেয়ে প্রথম ক্ষেত্রের ধারকত্ব অনেক বেশি।

২৬।



চিত্রানুযায়ী বর্তনীতে যুক্ত ধারকগুলোর প্রতিটির মান 900 PF। পাতদ্বয়ের ব্যবধান 0·4 cm। $\epsilon_0 = 8·85\times10^{-12}$ $C^2N^{-1}m^{-2}$।

(ক) ধারকের যেকোনো একটি পাতের ক্ষেত্রফল নির্ণয় কর।

(খ) C_3 ধারককে অপসারণ করে C_1 ধারকের মধ্যে কাগজ (K = 3) দ্বারা পূর্ণ করা হলে, বর্তনীর সঞ্চিত তড়িৎ শক্তি পূর্বাপেক্ষা বেশি হবে কি না—গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ব. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, ধারকত্ব,

$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ বা, $A = \frac{C\times d}{\epsilon_0}$

$\therefore$ $A = \frac{900\times10^{-9}\times0·4\times10^{-2}}{8·85\times10^{-12}} = \frac{900\times4}{8·85}$

$= 406·8$ m²

এখানে,

$C = 900$ pF $= 900\times10^{-9}$ F

$d = 0·4$ cm $= 0·4\times10^{-2}$ m

$\epsilon_0 = 8·85\times10^{-12}\, c^2N^{-1}m^{-2}$

(খ) বর্তনীর ধারক c_1 ও c_3 শ্রেণিতে যুক্ত। এদের তুল্য ধারকত্ব,

$$C_S = \frac{C_1\times C_2}{C_1+C_2} = \frac{900\times900}{900+900} = 450 \text{ pF}$$

C_S ও C_3 সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য ধারকত্ব,

$$C_P = C_S + C_3 = 450 + 900 = 1350 \text{ pF}$$

ধারকগুলোর মধ্যে সঞ্চিত তড়িৎ শক্তি,

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 1350 \times 10^{-9} \times (9)^2 = 5.47 \times 10^{-5} \text{ J}$$

C_1-এর মধ্যে কাগজ (K = 3) পূর্ণ করলে এর ধারকত্ব হবে,

$$C_1' = \frac{\epsilon_0 KA}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 3 \times 406.8}{0.4 \times 10^{-2}} = 2700 \times 10^{-9} \text{ F}$$

C_1' ও C_2 শ্রেণিতে যুক্ত, এদের তুল্য ধারকত্ব,

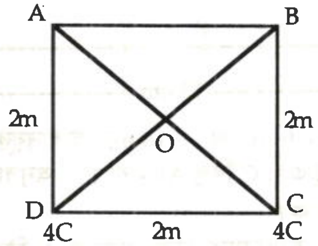
$$C' = \frac{2700 \times 900}{2700 + 900} = 675 \text{ pF} = 675 \times 10^{-9} \text{ F}$$

সুতরাং, C_1' ও C_2-এর মধ্যে সঞ্চিত তড়িৎ শক্তি,

$$U' = \frac{1}{2} 675 \times 10^{-9} \times (9)^2 = 2.73 \times 10^{-5} \text{ J}$$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সঞ্চিত তড়িৎ শক্তি পূর্বের সঞ্চিত তড়িৎ শক্তি অপেক্ষা কম হবে; বেশি হবে না।

২৭।



চিত্রানুযায়ী বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্র O-তে 1 μC চার্জে চার্জিত 12 kg ভরের একটি ধাতব গোলক রাখা হলো।

(ক) উদ্দীপকের 'O' বিন্দুতে মোট বিভব কত?

(খ) ধাতব গোলকটিকে সাম্যাবস্থায় রাখতে কী পরিমাণ বল কোন দিকে প্রয়োগ করতে হবে—গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ব. বো. ২০২৩]

(ক) D বিন্দুর চার্জের জন্য 'O' বিন্দুতে বিভব,

$$V_1 = 9 \times 10^9 \frac{4}{OD}$$
$$= 9 \times 10^9 \times \frac{4}{\sqrt{2}}$$
$$= 25.46 \times 10^9 \text{ volt}$$

এখানে,

$$DB^2 = 2^2 + 2^2 = 8$$

বা, $OB = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}$

$\therefore$ $OD = OC = \frac{DB}{2} = \sqrt{2}$

এবং C বিন্দুর চার্জের জন্য 'O' বিন্দুতে বিভব,

$$V_2 = 9 \times 10^9 \frac{4}{OC} = 9 \times 10^9 \times \frac{4}{\sqrt{2}}$$
$$= 25.46 \times 10^6 \text{ volt}$$

সুতরাং 'O' বিন্দুতে মোট বিভব,

$$V = V_1 + V_2$$
$$= 25.46 \times 10^9 + 25.46 \times 10^9$$
$$= 50.9 \times 10^9 \text{ volt}$$

(খ) D বিন্দুর চার্জের জন্য O বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{4}{(\sqrt{2})^2} = 18 \times 10^9 \text{ NC}^{-1}$$

এবং C বিন্দুর চার্জের O বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{4}{(\sqrt{2})^2} = 18 \times 10^9 \text{ NC}^{-1}$$

অতএব, লব্ধি প্রাবল্য, E $= \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos 90°}$

$= \sqrt{(18 \times 10^9)^2 + (18 \times 10^9)^2}$

$= \sqrt{2 \times (18 \times 10^9)^2} = \sqrt{648 \times 10^{18}}$

$= 25{\cdot}46 \times 10^9$ N

এখন, O বিন্দুতে 1 μC চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল,

$F_e = qE = 1 \times 10^{-6} \times 25{\cdot}46 \times 10^9 = 25{\cdot}46 \times 10^3$ N

O বিন্দুতে স্থাপিত বস্তুটির ওপর অবিকর্ষজ বল,

$F_g = mg = 10 \times 9{\cdot}8 = 98$ N

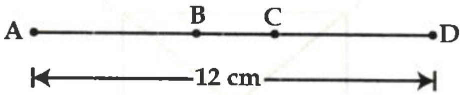
ধাতব গোলকটি O বিন্দুতে সাম্যাবস্থায় থাকার শর্ত হলো, $F_e = F_g$

কিন্তু এখানে, $F_e > F_g$, এখন $F_e = F_g$ হবে যদি,

$m = \dfrac{25{\cdot}46 \times 10^3}{9{\cdot}8} = 2{\cdot}6 \times 10^3$ kg হয়।

অর্থাৎ, এই বল নিচের দিকে ক্রিয়াশীল হবে।

২৮।



চিত্রের B ও C বিন্দুতে যথাক্রমে + 9 nC ও — 16 nC আধানযুক্ত দুটি বিন্দু বস্তু দৃঢ়ভাবে রাখা আছে। AD = 12 cm; B, AD-এর মধ্যবিন্দু এবং C বিন্দু AD-কে 2 : 1 অনুপাতে অন্তর্বিভক্ত করে।

(ক) D বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

(খ) তৃতীয় একটি একক ধনাত্মক আধানযুক্ত বিন্দু বস্তুকে A বিন্দুতে স্থাপন করলে বস্তুটি কোন দিকে গতিশীল হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ নির্ণয় কর। [সি. বো. ২০২৩]

(ক) B বিন্দুর চার্জের জন্য D বিন্দুতে বিভব,

$V_1 = 9 \times 10^9 \times \dfrac{9 \times 10^{-9}}{0{\cdot}06}$

$= 1350$ volt

C বিন্দুর চার্জের জন্য D বিন্দুতে বিভব,

$V_2 = 9 \times 10^9 \times \dfrac{(-16 \times 10^{-9})}{0{\cdot}04}$

$= -3600$ volt

এখানে,

$AD = 12\text{ cm} = 0{\cdot}12$ m

$BD = \dfrac{12}{2} = 6\text{ cm} = 0{\cdot}06$ m

$CD = \dfrac{12}{3} = 4\text{ cm} = 0{\cdot}04$ cm

বিন্দুতে চার্জ, $q_1 = 9\ nC = 9 \times 10^{-9}$ C

C বিন্দুতে চার্জ, $q_2 = -16\ nC = -16 \times 10^{-9}$ C

সুতরাং, D বিন্দুতে মোট তড়িৎ বিভব,

$V = V_1 + V_2 = 1350 - 3600 = -2250$ volt

(খ) A বিন্দুতে I_C চার্জের জন্য, AB-এর মধ্যে তড়িৎ বল,

$F_1 = 9 \times 10^9 \times \dfrac{1 \times 9 \times 10^{-9}}{(0{\cdot}06)^2} = \dfrac{81}{36} \times 10^4$

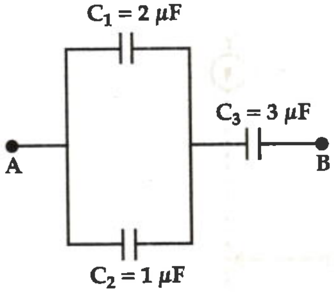
$= 2{\cdot}25 \times 10^4$ N

এবং AC-এর মধ্যে তড়িৎ বল,

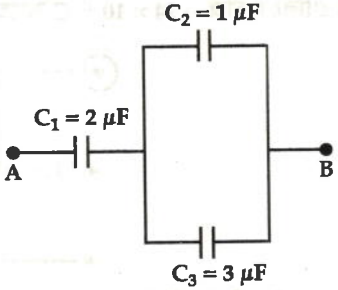
$F_2 = 9 \times 10^9 \times \dfrac{1 \times (-16 \times 10^{-9})}{(0{\cdot}08)^2} = -2{\cdot}25 \times 10^4$N

F_1-এর দিক A বিন্দু হতে বামদিকে এবং F_2-এর দিকে A বিন্দু হতে ডান দিকে। F_1 ও F_2-এর মান সমান এবং বিপরীতমুখী হওয়ায় A বিন্দুর চার্জটি স্থির থাকবে।

২৯।



চিত্র ১



চিত্র ২

চিত্র ১ ও চিত্র ২-এর উভয় বর্তনীর A ও B বিন্দুর মধ্যে 220V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হলো। প্রতিটি ধারকের প্রতিটি সমান্তরাল পাতের ক্ষেত্রফল 6 cm^2।

(ক) চিত্র ১-এর C_3 ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত? (শূন্যস্থানে)

(খ) চিত্র ১ ও চিত্র ২-এর C_1 ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ একই কি না —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[সি. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, ধারকত্ব,

$$C_3 = \frac{\in_0 A}{d_3} = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 6 \times 10^{-4}}{d_3}$$

বা, $$d_3 = \frac{8.854 \times 6 \times 10^{-16}}{3 \times 10^{-6}} = 17.7 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

এখানে, চিত্র ১-এ,
$V = 220V$
$C_1 = 2\mu F$
$C_2 = 14\ F$
$C_3 = 3\mu F$
$A = 6\ cm^2 = 6 \times 10^{-4}\ m^2$

(খ) চিত্র ১, C_1 ও C_2 সমান্তরালে যুক্ত, এদের তুল্য ধারকত্ব $C_P = C_1 + C_2 = 3\ \mu F$

C_P এবং C_3 শ্রেণিতে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য ধারকত্ব,

$$C = \frac{C_P \times C_3}{C_P + C_3} = \frac{3 \times 3}{3+3} = 1.5\ \mu F = 1.5 \times 10^{-6}\ F$$

এখন, $Q = CV = 1.5 \times 10^{-6} \times 220 = 330 \times 10^{-6} = 3.3 \times 10^{-4}\ C$

C_1 ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

$$N_1 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_1} = \frac{(3.3 \times 10^{-4})^2}{2 \times 2 \times 10^{-6}} = 2.72 \times 10^{-2}\ J$$

চিত্র ২, C_2 ও C_3 সমান্তরালে যুক্ত। এদের তুল্য ধারকত্ব, $C_P = 1 + 3 = 4\ \mu F$

C_P এবং C_1 শ্রেণিতে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য ধারকত্ব,

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_P} + \frac{1}{C_1} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$$

$$\therefore\ C' = \frac{4}{3}\ \mu F$$

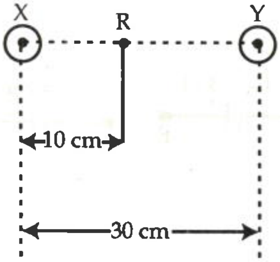
এখন, $Q' = C'V = \frac{4}{3} \times 10^{-6} \times 220 = 2.93 \times 10^{-4}\ C$

সুতরাং, C_1 ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

$$W_2 = \frac{1}{2}\frac{Q'^2}{C_1} = \frac{(2.93)^2 \times 10^{-8}}{2 \times 2 \times 10^{-6}} = 2.15 \times 10^{-2}\ J$$

দেখা যাচ্ছে যে, $W_1 > W_2$। অর্থাৎ চিত্র ১ ও চিত্র ২-এ C_1 ধারকে সঞ্চিত শক্তি এক নয়।

৩০। সমান ব্যাসার্ধের দুটি গোলক X ও Y শূন্যস্থানে পরস্পর থেকে 30 cm দূরে অবস্থিত। A গোলকে চার্জ $+6 \times 10^{-12}$ C এবং B গোলকে চার্জ $+24 \times 10^{-12}$ C আছে।



(ক) R বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

(খ) R বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হতে পারে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণ কর। [দি. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, তড়িৎ বিভব,

$$V = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r}$$

A গোলকের চার্জের জন্য R বিন্দুতে বিভব,

$$V_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-12}}{0.1} = 54 \times 10^{-3} \times 10^1 = 54 \times 10^{-2} = 0.54\text{V}$$

এবং B গোলকের চার্জের জন্য R বিন্দুতে বিভব,

$$V_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{24 \times 10^{-12}}{0.2} = 10.8 \times 10^{-2} = 1.08\text{V}$$

সুতরাং R বিন্দুতে মোট বিভব, $V = V_1 + V_2 = 0.54 + 1.08 = 1.62$ volt

(খ) A গোলকের চার্জের জন্য R বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

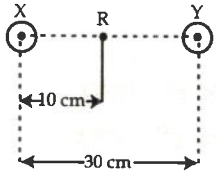
$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-12}}{(0.1)^2} = \frac{54 \times 10^{-3}}{0.01} = 5.4\text{ NC}^{-1}$$; এর অভিমুখ XR বরাবর

এবং B গোলকের চার্জের জন্য R বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{24 \times 10^{-12}}{(0.2)^2} = 5.4\text{ NC}^{-1}$$; এর অভিমুখ YR বরাবর

সুতরাং E_1 ও E_2-এর মান সমান এবং বিপরীতমুখী। সুতরাং R বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।

৩১। সমান ব্যাসার্ধের দুটি গোলক X ও Y শূন্যস্থানে পরস্পর থেকে 30 cm দূরে অবস্থিত। A গোলকে চার্জ $+6 \times 10^{-12}$ C এবং B গোলকে চার্জ $+24 \times 10^{-12}$ C আছে।



(ক) R বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

(খ) R বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হতে পারে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণ কর। [ম. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, তড়িৎ বিভব,

$$V = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r}$$

A গোলকের চার্জের জন্য R বিন্দুতে বিভব,

$$V_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-12}}{0.1}$$
$$= 54 \times 10^{-3} \times 10^1$$
$$= 54 \times 10^{-2} = 0.54\text{V}$$

এবং B গোলকের চার্জের জন্য R বিন্দুতে বিভব,

$$V_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{24 \times 10^{-12}}{0.2}$$
$$= 10.8 \times 10^{-2} = 1.08V$$

সুতরাং R বিন্দুতে মোট বিভব, $V = V_1 + V_2 = 0.54 + 1.08 = 1.62$ volt

(খ) A গোলকের চার্জের জন্য R বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-12}}{(0.1)^2}$$
$$= \frac{54 \times 10^{-3}}{0.01} = 5.4\ NC^{-1}$$; এর অভিমুখ XR বরাবর

এবং B গোলকের চার্জের জন্য R বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{24 \times 10^{-12}}{(0.2)^2} = 5.4\ NC^{-1}$$; এর অভিমুখ YR বরাবর

সুতরাং E_1 ও E_2-এর মান সমান এবং বিপরীতমুখী। সুতরাং R বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।

৩২। একটি ধারক 150টি বৃত্তাকার টিনের পাতের তৈরি। প্রতিটি পাত পরস্পর হতে 0.4 mm পুরু এবং 7.6×10^{-3} m ব্যাসার্ধের অভ্রের চাদর দ্বারা পৃথকীকৃত। অভ্রের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 6 এবং একটি অন্তর একটি পাত পরস্পর যুক্ত। [$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$]

(ক) উদ্দীপকের ধারকের ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) 220V বৈদ্যুতিক উৎসের সাথে 100টি টিনের পাত ও 0.6 mm পুরুত্ব মানের ধারক যুক্ত করলে উৎপন্ন শক্তি পূর্ববর্তী ধারকের উৎপন্ন শক্তি থেকে একই থাকবে না—উত্তরের সপক্ষে গাণিতিক যুক্তি দাও।

[রা. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, n সংখ্যক পাতের জন্য ধারকত্ব,

$$C = \frac{n\epsilon_0 A}{\left[d - t\left(1 - \frac{K}{1}\right)\right]}$$
$$= \frac{150 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 3.14 \times (7.6 \times 10^{-3})^2}{\left[0.4 \times 10^{-3} - 0.4 \times 10^{-3}\left(1 - \frac{1}{6}\right)\right]}$$
$$= 3.61 \times 10^{-9}\ F = 3.61 \times 10^{-9}\ F$$
$$\therefore C = 3.61\ nF$$

এখানে,
পাত সংখ্যা, $n = 150$
প্রতিটি পাতের পুরুত্ব,
$d = 0.4\ mm = 0.4 \times 10^{-3}\ m$
পাত দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব,
$t = 0.4 \times 10^{-3}\ m$
ব্যাসার্ধ, $r = 7.6 \times 10^{-3}$ m
পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক, $K = 6$
$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$
ধারকত্ব, $C = ?$

(খ) পূর্ববর্তী ধারকের শক্তি,

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 3.61 \times 10^{-9} \times (220)^2$$
$$= 8.74 \times 10^{-5}\ J$$

পরবর্তী ধারকের ধারকত্ব,

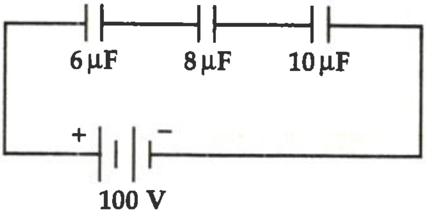
$$C' = \frac{n\epsilon_0 A}{\left[d - t\left(1 - \frac{1}{K}\right)\right]}$$
$$= \frac{100 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 3.14 \times (7.6 \times 10^{-3})^2}{\left[0.6 \times 10^{-3} - 0.4 \times 10^{-3}\left(1 - \frac{1}{6}\right)\right]}$$
$$C' = 6.02 \times 10^{-10}\ F = 0.602\ nF$$

এখানে,
$n = 100$
$d = 0.6\ mm = 0.6 \times 10^{-3}\ m$
$K = 6$
$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$
$t = 0.4 \times 10^{-3}\ m$

$\therefore$ শক্তি $= U' = \frac{1}{2}C'V^2 = \frac{1}{2} \times 6.02 \times 10^{-10} \times (220)^2 = 1.45 \times 10^{-5}\ J$

$\because U \neq U'$, কাজেই দুই ক্ষেত্রে সঞ্চিত শক্তি সমান না।

৩৩। নিচের বর্তনীটি লক্ষ কর এবং প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) বর্তনীটির মধ্যবর্তী ধারকের সঞ্চিত চার্জের পরিমাণ নির্ণয় কর।

(খ) সর্বাধিক শক্তি সঞ্চয়ের জন্য উদ্দীপকের সমবায়টি কি যথার্থ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর।
[রা. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, ধারকের শ্রেণিসমবায়ে প্রতিটি ধারকে সঞ্চিত চার্জের পরিমাণ,

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

আবার,

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

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{8} + \frac{1}{10}$$

$$= \frac{20 + 15 + 12}{120} = \frac{47}{120}$$

$$\therefore \quad C_S = \frac{120}{47}\,\mu F = \frac{120}{47} \times 10^{-6}$$

$$= 2.55 \times 10^{-6}\ F$$

$$\therefore \quad Q = C_S \times V = 2.55 \times 10^{-6} \times 100$$

$$= 2.55 \times 10^{-4}\ C$$

∴ মধ্যবর্তী ধারকে সঞ্চিত চার্জ $= 2.55 \times 10^{-4}\ C$

এখানে,

$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$

বিভব পার্থক্য, $V = 100\ V$

ধারকত্ব, $C_1 = 6\ \mu F$

$C_2 = 8\ \mu F$

$C_3 = 10\ \mu F$

প্রত্যেক ধারকে, $Q = ?$

চার্জ, $F = 2.55 \times 10^{-6}\ F$

(খ) ধারকের শ্রেণি সমবায়ে সঞ্চিত শক্তি,

$$U_S = \frac{1}{2} C_S \times V^2 \quad \ldots \quad (i)$$

আবার ধারকের সমান্তরাল সমবায়ে সঞ্চিত শক্তি,

$$U_P = \frac{1}{2} C_P \times V^2 \quad \ldots \quad (ii)$$

$$\therefore \quad U_S = \frac{1}{2} \times 2.55 \times 10^{-6} \times (100)^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 2.55 \times 10^{-6} \times 10^4$$

$$= 1.275 \times 10^{-2} = 0.01275\ J$$

আবার, $U_P = \frac{1}{2} \times 24 \times 10^{-6} \times (100)^2$

$$= \frac{1}{2} \times 24 \times 10^{-6} \times 10^4$$

$$= 12 \times 10^{-2} = 0.12\ J$$

এখানে,

শ্রেণি সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব,

$C_S = 2.55 \times 10^{-6}\ F$

সমান্তরালে তুল্য ধারকত্ব,

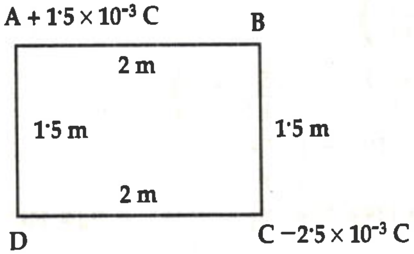
$C_P = (6 + 8 + 10)\ \mu F$

$= 24\ \mu F$

$= 24 \times 10^{-6}\ F$

∵ $U_P > U_S$, অর্থাৎ সমান্তরাল সমবায়ে সঞ্চিত শক্তি শ্রেণিসমবায়ে সঞ্চিত শক্তির চেয়ে বেশি। কাজেই সর্বাধিক শক্তি সঞ্চয়ের জন্য উদ্দীপকের সমবায়টি যথার্থ নয়।

৩৪।



উপরের চিত্রানুযায়ী বায়ু মাধ্যমে অবস্থিত ABCD আয়তক্ষেত্রের A ও C বিন্দুতে যথাক্রমে $+ 1{\cdot}5 \times 10^{-3}$ C এবং $- 2{\cdot}5 \times 10^{-3}$ C চার্জ স্থাপন করা হলো। [$\epsilon_0 = 8{\cdot}854 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$]

(ক) B বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

(খ) যদি B ও D বিন্দুকে একটি ধাতব তার দ্বারা যুক্ত করা হয় তবে ধনাত্মক আধান কোন দিক হতে প্রবাহিত হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও। [কু. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, q হতে r দূরত্বে তড়িৎ প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2}$

সুতরাং A বিন্দুর চার্জের জন্য B বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{(+1{\cdot}5 \times 10^{-3})}{4}$$

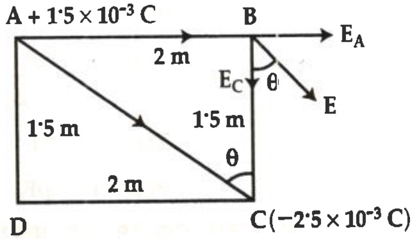
$$= 9 \times 10^9 \times 0{\cdot}375 \times 10^{-3} = 3{\cdot}33 \times 10^6\ NC^{-1}, \text{ AB বরাবর}$$

আবার C বিন্দুর চার্জের জন্য B বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{(-2{\cdot}5 \times 10^{-3})}{(1{\cdot}5)^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times (1{\cdot}11 \times 10^{-3}) = 9{\cdot}99 \times 10^6\ NC^{-1}, \text{ BC বরাবর}$$

এখানে —ve চিহ্ন আকর্ষণ বোঝায়।



B বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_A{}^2 + E_C{}^2}$$

[∵ EA এবং EC এর মধ্যবর্তী কোণ 90°]

$$= \sqrt{(3{\cdot}33 \times 10^6)^2 + (9{\cdot}99 \times 10^6)^2}$$

$$= \sqrt{11{\cdot}09 \times 10^{12} + 99{\cdot}80 \times 10^{12}}$$

লব্ধি প্রাবল্য BC-এর সাথে θ কোণ উৎপন্ন করলে,

$$\tan\theta = \frac{E_A}{E_C} = \frac{3{\cdot}33 \times 10^{+6}}{9{\cdot}99 \times 10^{+6}} = \frac{1}{3}$$

$$\therefore \theta = \tan^{-1}\left(\frac{1}{3}\right) = 18{\cdot}42°$$

(খ) D বিন্দুতে বিভব,

$$V_D = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \left(\frac{q_C}{r_{CD}} + \frac{q_A}{r_{AD}}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \times \left(\frac{-2{\cdot}5 \times 10^{-3}}{2} + \frac{1{\cdot}5 \times 10^{-3}}{1{\cdot}5}\right)$$

$$= 9 \times 10^9 \times (-1{\cdot}25 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3})$$

$$= 9 \times 10^9 \times -0{\cdot}25 \times 10^{-3}$$

$$= -2{\cdot}25 \times 10^6 = 2{\cdot}25 \times 10^6\ V$$

এখানে,

$q_C = -2{\cdot}5 \times 10^{-3}$ C

$q_A = 1{\cdot}5 \times 10^{-3}$ C

$r_{CD} = 2$ m

$r_{AD} = 1{\cdot}5$ m

আবার B বিন্দুতে বিভব,

$$V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \left(\frac{q_A}{r_{AB}} + \frac{q_C}{r_{BC}}\right)$$
$$= 9 \times 10^9 \times \left(\frac{1.5 \times 10^{-3}}{2} + \frac{-2.5 \times 10^{-3}}{1.5}\right)$$
$$= 9 \times 10^9 \times (0.75 \times 10^{-3} - 1.67 \times 10^{-3})$$
$$= -8.28 \times 10^6 \text{ V} = -8.28 \times 10^6 \text{ V}$$

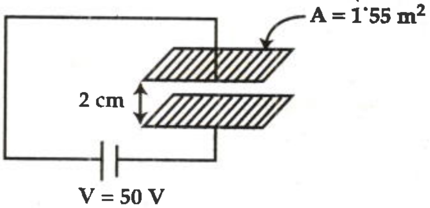
$\because$ B বিন্দুর বিভব $V_B >$ D বিন্দুর বিভব V_D। কাজেই ধনাত্মক চার্জ B বিন্দু হতে D বিন্দুর দিকে প্রবাহিত হবে।

৩৫। পরীক্ষাগারে দেখা যায়, একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রত্যেকটি পাতের ক্ষেত্রফল 1.55 m^2। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 cm এবং তা বাতাস দ্বারা পূর্ণ আছে। পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য 50 V। পাতদ্বয়ের মধ্যে 2.5 ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবকবিশিষ্ট পদার্থ দ্বারা পূর্ণ করলে সঞ্চিত শক্তির পরিবর্তন হয়। এক্ষেত্রে $\epsilon_0 = 8.854 \times 10–12$ $C^2N^{-1}m^{-2}$।

(ক) উদ্দীপক অনুসারে ধারকটির ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) ধারকটি ডাইইলেকট্রিক পদার্থ দ্বারা পূর্ণ করলে সঞ্চিত শক্তির যে পরিবর্তন হয় তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব (বাতাস দ্বারা পূর্ণ থাকা অবস্থায়),



$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$
$$= \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1.55 \times 10^{-4} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{M}^{-1}}{2 \times 10^{-2}}$$
$$= 6.862 \times 10^{-14} \text{ F}$$
$$= 6.862 \times 10^{-2} \text{ pF}$$

দেওয়া আছে,
$A = 1.55 \text{ cm}^2$
$= 1.55 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
$d = 2 \text{ cm}$
$= 2 \times 10^{-2} \text{ m}$
$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-1}$

(খ) বাতাস দ্বারা পূর্ণ থাকা অবস্থায় ধারকটিতে সঞ্চিত শক্তি,

$$U_0 = \frac{1}{2} C_0 V^2$$
$$= \frac{1}{2} \times \frac{\epsilon_0 A}{d} \times V^2 \quad \left[\because C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}\right]$$
$$= \frac{1}{2} \times \frac{8.854 \times 10^{-12} \text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2} \times 1.55 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times (50)^2 \text{ volt}^2}{2 \times 10^{-2} \text{ m}}$$
$$= 8577.5 \times 10^{-14} \text{ FV}^2$$
$$= 8577.5 \times 10^{-14} \text{ J}$$

এখানে,
$V = 50 \text{ V}$

ডাই ইলেকট্রিক পদার্থ প্রবেশ করানোর পর ধারকত্ব হবে,

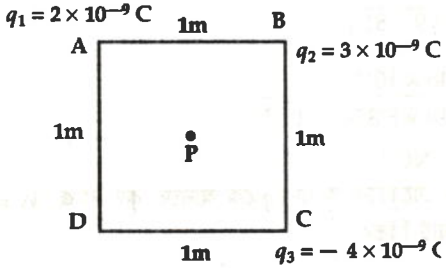
$$C = KC_0$$
$$= 2.5 \times 8.862 \times 10^{-14} \text{ F}$$
$$= 22.155 \times 10^{-14} \text{ F}$$

এখানে,
$K = 50 \text{ V}$

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 22{\cdot}155 \times 10^{-14}\text{ F} \times 50^2\text{ volt}^2$$
$$= 11{\cdot}0775 \times 2500\text{ F.volt}^2$$
$$= 27{\cdot}69375\text{ J}$$

সঞ্চিত শক্তির পরিবর্তন $U - U_0 = 19116{\cdot}25$ J। অর্থাৎ ডাইইলেকট্রিক বস্তু প্রবেশ করানোর পর ধারকের মধ্যে সঞ্চিত শক্তি $19116{\cdot}25$ J পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে।

৩৬। চিত্রে বায়ু মাধ্যমে বর্গক্ষেত্রের A, B ও C বিন্দুতে যথাক্রমে $q_1 = 2 \times 10^{-9}$ C, $q_2 = 3 \times 10^{-9}$ C ও $q_3 = -4 \times 10^{-9}$ C চার্জ আছে। বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য 1 m।



(ক) বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্র P তে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

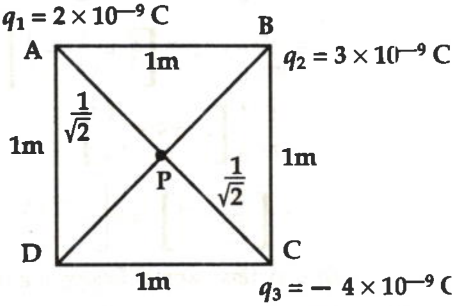
(খ) যেকোনো চার্জকে D বিন্দু হতে P বিন্দুতে আনতে কাজ সম্পাদিত হবে কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০২৪]

(ক) উদ্দীপকের P বিন্দুটি হলো বর্গক্ষেত্রে দুটি কর্ণের মধ্যবিন্দু

$\therefore \quad BD^2 = AB^2 + AD^2 = 1^2 + 1^2 = 2$

$\therefore \quad BD = \sqrt{2}$

$\therefore \quad BP = PD = \frac{BD}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$



বর্গক্ষেত্রে কর্ণদ্বয়, AC = BD

$\therefore \quad AP = PC = \frac{AC}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

q_1 চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$\vec{E}_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2} \hat{r}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times 2q_1 (\cos\theta\, \hat{i} - \sin\theta\, \hat{j})$$

q_2 চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$\vec{E}_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2} \hat{r}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times 2q_2 (-\cos\theta\, \hat{i} - \sin\theta\, \hat{j})$$

q_3 চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$\vec{E}_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times 2q_3 (\cos\theta\, \hat{i} - \sin\theta\, \hat{j})$$

$$\therefore \quad \vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = \frac{1}{2\pi\epsilon_0}(q_1\cos\theta\, \hat{i} - q_1\sin\theta\, \hat{j} - q_2\cos\theta\, \hat{i} - q_2\sin\theta\, \hat{j} + q_3\cos\theta\, \hat{i} - q_3\sin\theta\, \hat{j})$$

যেহেতু ABCD বর্গক্ষেত্র কাজেই এখানে $\theta = 45°$

$\therefore \quad \sin 45° = \cos 45° = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$\therefore \quad \vec{E} = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi\epsilon_0}(2\hat{i} - 2\hat{j} - 3\hat{i} - 3\hat{j} + 4\hat{i} - 4\hat{j}) \times 10^{-9}$, q_1, q_2, q_3 এর মান বসিয়ে পাই,

$= \frac{1}{2\sqrt{2}\pi\epsilon_0}(3\hat{i} - 9\hat{j}) \times 10^{-9}$

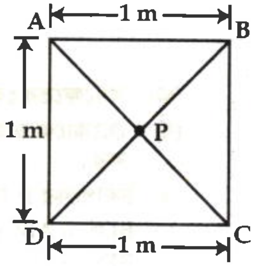
$\therefore \quad |\vec{E}| = \frac{10^{-9}}{2\sqrt{2}\pi\epsilon_0}(\sqrt{9+81})$

$= \frac{9.48 \times 10^{-9}}{2 \times \sqrt{2} \times 3.14 \times 8.854 \times 10^{-12}}$

$= 9.514 \times 10^{-3}\ NC^{-1}$

(খ) D বিন্দু হতে P বিন্দুতে যেকোনো আধান q-কে আনতে কৃত কাজ, $W = Vq$

এখানে, V = ওই বিন্দুতে মোট বিভব



আমরা জানি,

$V = \frac{E_q}{r}$

$\therefore \quad \Sigma V_D = V_A + V_B + V_C$

$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{q_A}{r_1} + \frac{q_B}{r_2} + \frac{q_C}{r_3}\right]$

$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times 10^{-9}\left[\frac{2}{1} + \frac{3}{\sqrt{2}} - \frac{4}{1}\right]$

$= \frac{10^{-9}}{4\pi\epsilon_0}\left[2 - 4 + \frac{3}{\sqrt{2}}\right]$

$= 9\left[\frac{3}{\sqrt{2}} - 2\right] = 9\left[\frac{3 - 2\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\right] \approx 1.1$

$\therefore$ q চার্জকে D বিন্দু থেকে P বিন্দুতে আনতে কৃত কাজ, $W = 1.1\,q$ হবে।

ইহাই q চার্জকে D বিন্দু থেকে P বিন্দুতে আনতে কৃত কাজ। অর্থাৎ উদ্দীপক অনুসারে কাজ সম্পাদিত হবে।

৩৭। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 4 cm এবং এটি বায়ু দ্বারা পূর্ণ। ধারকটিতে 9.6 μC চার্জ প্রদান করায় পাতদ্বয়ের মধ্যে 200 NC⁻¹ তড়িৎ প্রাবল্যের সৃষ্টি হয়। পরবর্তীতে ধারকটির পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে K = 1.5 মানের পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম দ্বারা পূর্ণ করা হলো।

(ক) প্রথম ক্ষেত্রে ধারকটির ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ধারকটির সঞ্চিত শক্তির পরিবর্তন গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব,

$C = \frac{\epsilon A}{d}$ ... (i)

আবার,

$E = \frac{Q}{\epsilon A}$

বা, $A = \frac{Q}{E\epsilon}$

(i)নং সমীকরণ অনুযায়ী,

$C = \frac{\epsilon \times Q}{E\epsilon \times d} = \frac{Q}{Ed} = \frac{9.6 \times 10^{-6}}{200 \times 0.04}$

$= 1.92 \times 10^{-9}\ F = 1.92\ nF$

এখানে,

পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$d = 4\ cm = 0.04\ m$

$C = ?$

চার্জ, $Q = 9.6\ \mu C = 9.6 \times 10^{-6}\ C$

তড়িৎ প্রাবল্য, $E = 200\ NC^{-1}$

(খ) আমরা জানি, ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

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

পরবর্তীতে ধারকের মধ্যে K = 1·5 মানের পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম রাখলে ধারকত্ব,

$$C' = \frac{KQ}{Ed} = \frac{1{\cdot}5 \times 9{\cdot}6 \times 10^{-6}}{200 \times 0{\cdot}04} = 2{\cdot}88 \times 10^{-9}\ F = 2{\cdot}88\ nF$$

∴ ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

$$E' = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \times \frac{(9{\cdot}6 \times 10^{-6})^2}{2{\cdot}88 \times 10^{-9}}$$

$$= 132{\cdot}71 \times 10^{-3} = 0{\cdot}1327\ J$$

এখানে,
$Q = 9{\cdot}6 \times 10^{-6}\ C$
$C = 2{\cdot}88 \times 10^{-9}\ F$

প্রথম ক্ষেত্রে ধারকে সঞ্চিত শক্তি,

$$E = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}\frac{(9{\cdot}6 \times 10^{-6})^2}{1{\cdot}92 \times 10^{-9}}$$

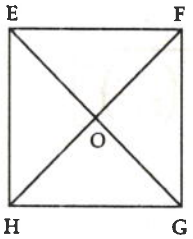
$$= 88{\cdot}47 \times 10^{-3} = 0{\cdot}0885\ J$$

এখানে,
$Q = 9{\cdot}6 \times 10^{-6}\ C$
$C = 1{\cdot}92 \times 10^{-9}\ F$

∴ সঞ্চিত শক্তির পরিবর্তন,

$$\Delta E = E' - E = (0{\cdot}1327 - 0{\cdot}0885)\ J = 0{\cdot}0442\ J$$

৩৮।

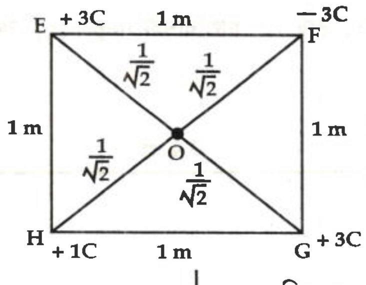


চিত্রে EFGH বর্গক্ষেত্রটির কেন্দ্র O। EF = FG = GH = HE = 1m
প্রথম E, F ও G বিন্দুতে যথাক্রমে +3C, —3C ও +3C চার্জ রয়েছে।
দ্বিতীয় ক্ষেত্রে H বিন্দুতে +1C চার্জের একটি হালকা বস্তু স্থাপন করা হলো।

(ক) **প্রথম ক্ষেত্রে বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভবের মান কত হবে?**

(খ) **দ্বিতীয় ক্ষেত্রে রক্ষিত বস্তুটি কোন দিকে গতিশীল হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।** [সি. বো. ২০২৪]

(ক)



বর্গক্ষেত্রটির কেন্দ্রে বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{q_E}{\frac{1}{\sqrt{2}}} + \frac{q_F}{\frac{1}{\sqrt{2}}} + \frac{q_G}{\frac{1}{\sqrt{2}}}\right]$$

$$= 9 \times 10^9 \times \sqrt{2}\ [3 - 3 + 3]$$

$$= 9 \times 10^9\ Nm^2C^{-2} \times \frac{C}{m} \times 4{\cdot}243$$

$$= 38{\cdot}183 \times 10^9\ NmC^{-1}$$

∴ $V = 38{\cdot}183 \times 10^9$ volt

চিত্র অনুযায়ী ΔEEH ত্রিভুজ হতে,

$$HF_2 = EH_2 + EF_2$$
$$= (1)^2 + (1)^2 = 2$$

∴ $HF = \sqrt{2}$

এবং $HO = OF = OE = OG = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

(খ) বর্গের H বিন্দুতে একটি + 1C চার্জ রাখলে চৌম্বকক্ষেত্রের লব্ধির দিকে কণাটি গতিশীল হবে। চিত্র অনুযায়ী E বিন্দুতে অবস্থিত চার্জের জন্য লব্ধি ক্ষেত্র F বিন্দুতে অবস্থিত চার্জের লব্ধির বিপরীতমুখী।

H কোণার E ও G-এর জন্য লব্ধি ক্ষেত্র,

$$\vec{E}_{EG} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{q_E}{(1)^2}(-\hat{j}) + \frac{q_G}{(1)^2}(-\hat{i})\right]$$

$$= \frac{-3}{4\pi\epsilon_0}\hat{i} - \frac{3}{4\pi\epsilon_0}\hat{j}$$

$$\therefore\ E_{EG} = |\vec{E}_{EG}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sqrt{9+9} = 9\times10^9\times4{\cdot}242$$

$$= 38{\cdot}18\times10^9\ \text{NC}^{-1}$$

F কোণার চার্জের জন্য লব্ধি ক্ষেত্র,

$$\vec{F}_F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q_F}{(\sqrt{2})^2}\cos\theta\,\hat{i} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_F}{(\sqrt{2})^2}\sin\theta\,\hat{j}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{3}{2\sqrt{2}}\hat{i} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{3}{2\sqrt{2}}\hat{j}$$

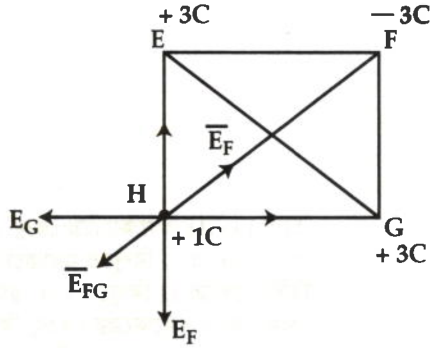
$$F_F = |\vec{F}_F| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\sqrt{\left(\frac{3}{2\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{3}{2\sqrt{2}}\right)^2}\right]^2$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\sqrt{\frac{2\times9}{4\times2}}\right]$$

$$= 9\times10^9\times\sqrt{\frac{9}{4}}$$

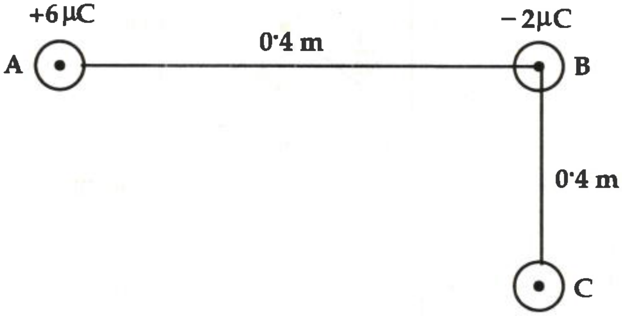
$$= 9\times10^9\times1{\cdot}5$$

$$= 13{\cdot}5\times10^9\ \text{NC}^{-1}$$



যেহেতু $|E_{EG}| > |E_F|$, E_{EG} এবং E_F-এর দিক পরস্পর বিপরীতমুখী এবং E_{EG}-এর দিক কর্ণ বরাবর বাইরের দিকে যেমনটা ছবিতে দেখানো হয়েছে, তাই 1 C চার্জবিশিষ্ট বস্তুটি $\overline{E}_{FG}$ বরাবর গতিশীল হবে।

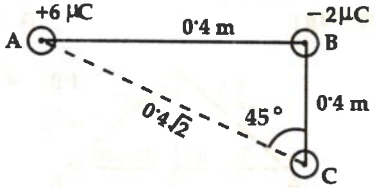
৩১। চিত্রটি লক্ষ কর :



[C বিন্দুতে 2 kg ভরের একটি বস্তু এবং 0·2 C চার্জ স্থাপন করা হলো]

(ক) C বিন্দুতে (চার্জ স্থাপনের পূর্বে) তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

(খ) 'C' বিন্দুতে চার্জিত বস্তুটি স্থির থাকবে কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [দি. বো. ২০২৪

(ক) 

এখানে,

A বিন্দুতে চার্জ $= 6\,\mu C$

$q_1 = 10^{-6}\,C$

B বিন্দুতে চার্জ $= -2\,\mu C$

$q_2 = 2\times10^{-6}\,C$

$AC = 0{\cdot}4\sqrt{2}m$

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

V_1 = A বিন্দুতে চার্জের জন্য বিভব

V_2 = B বিন্দুতে চার্জের জন্য বিভব

C বিন্দুতে বিভব,

$$\Sigma V = V_1 + V_2$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{q_1}{0{\cdot}4V_2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{q_2}{0{\cdot}4}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{6\times10^{-6}}{0{\cdot}4\sqrt{2}} - \frac{2\times10^{-6}}{0{\cdot}4}\right]$$

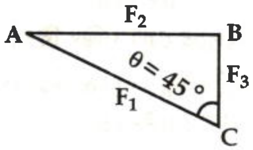
$$= \frac{9\times10^9\times10^{-6}}{0{\cdot}4}\left[\frac{6}{\sqrt{2}} - 2\right]$$

$$= 50{\cdot}45\times10^3\,V = 50{\cdot}45\,kV$$

(খ) বস্তু স্থির থাকার শর্ত হলো,

লব্ধি বল, $\Sigma\vec{F} = 0$

$\therefore\ \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots\ldots\ldots \vec{F}_n = 0$



লব্ধি বল $= \sqrt{\left\{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{6\times10^{-6}\times0{\cdot}2}{(0{\cdot}4\sqrt{2})^2}\right\}^2 + \left\{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{-2\times10^{-6}\times0{\cdot}2}{(0{\cdot}4)^2}\right\}^2 + 2\left\{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{6\times10^{-6}\times0{\cdot}2}{(0{\cdot}4\sqrt{2})^2}\right\}}$

$$\times\sqrt{\left\{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{-2\times10^{-6}\times0{\cdot}2}{(0{\cdot}4)^2}\right\}}\times\cos45°$$

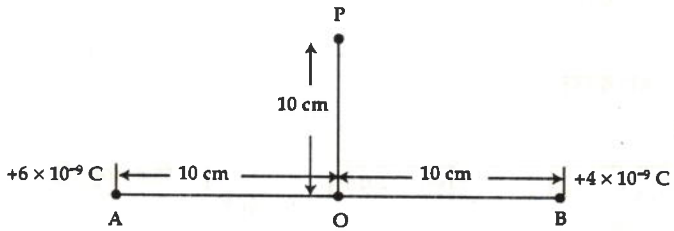
$$= \sqrt{\left\{\frac{9\times10^9\times6\times10^{-6}\times0{\cdot}2}{(0{\cdot}4\sqrt{2})^2}\right\}^2 + \left\{\frac{9\times10^9\times-2\times10^{-6}\times0{\cdot}2}{(0{\cdot}4)^2}\right\}^2}$$

$$+\sqrt{2\times9\times10^9\times\frac{6\times10^{-6}\times0{\cdot}2}{(0{\cdot}4\sqrt{2})^2}\times\frac{9\times10^9\times-2\times10^{-6}\times0{\cdot}2}{(0{\cdot}4)^2}\cos45°}$$

$$= 23903{\cdot}85\,N$$

যেহেতু লব্ধি বলের মান শূন্য না, কাজেই C বিন্দুতে চার্জিত বস্তুটি স্থির থাকবে না।

৪০।



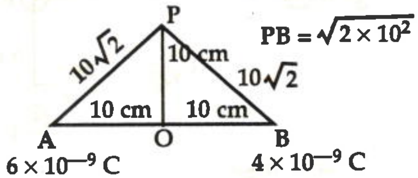
A ও B বিন্দুতে চার্জের পরিমাণ যথাক্রমে $+6\times10^{-9}$ C ও $+4\times10–9$ C,

OA = OB = OP = 10 cm, OP ⊥ AB।

(ক) P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

(খ) B বিন্দুতে $+4 \times 10^{-9}$ C চার্জটির পরিবর্তে সমমানের বিপরীত চার্জ স্থাপন করলে P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ম. বো. ২০২৪]

(ক) P বিন্দুতে $+6 \times 10^{-9}$ C চার্জের জন্য তড়িৎ বিভব,



$$V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_A}{AP} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{6 \times 10^{-9}C}{10\sqrt{2} \times 10^{-2}\ m}$$

$$= 9 \times 10^9\ Nm^2C^{-2} \times \frac{6 \times 10^{-9}C}{10\sqrt{2} \times 10^{-2}\ m}$$

$$= 3{\cdot}82 \times 10^2\ NmC^{-1}$$

$$= 3{\cdot}82 \times 10^2\ volt$$

আবার, P বিন্দুতে $+4 \times 10^{-9}$ C চার্জের জন্য তড়িৎ বিভব,

$$V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_B}{PB}$$

$$= 9 \times 10^9\ Nm^2C^{-2} \times \frac{4 \times 10^{-9}}{10\sqrt{2} \times 10^{-2}\ m}$$

$$= 2{\cdot}55 \times 10^2\ volt$$

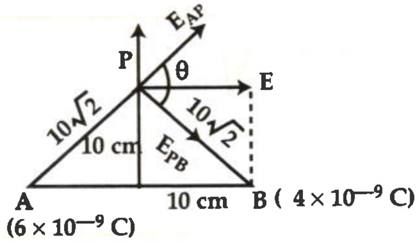
∴ P বিন্দুতে মোট তড়িৎ বিভব,

$$V = V_A + V_B = (3{\cdot}82 + 2{\cdot}55) \times 10^2\ volt$$

$$= 6{\cdot}37 \times 10^2\ volt$$

(খ) প্রথম ক্ষেত্রে,

B বিন্দুতে —ve চার্জ স্থাপনের পূর্বে P বিন্দুতে প্রাবল্য,



$$E_{BP} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{4 \times 10^{-9}}{(10\sqrt{2})^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times 10^{-9} \times \frac{4}{(10\sqrt{2})^2}$$

$$= 9 \times 0{\cdot}2828$$

$= 2{\cdot}545\ NC^{-1}$, BP বরাবর

আবার A বিন্দুতে চার্জের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য

এখানে,
$R = R_{AP} = R_{PB}$

$$E_{AB} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{6 \times 10^{-9}}{(10\sqrt{2})^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times 10^{-9} \times \frac{6}{(10\sqrt{2})^2}$$

$$= 9 \times 0{\cdot}424$$

$= 3{\cdot}816\ NC^{-1}$, AP বরাবর

P বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_{BP}^2 + E_{AB}^2 + 2E_{BP}E_{AB}\cos(180° - 90°)}$$

[∵ চিত্র অনুযায়ী, $\theta = 180° - 90° = 90°$]

$$= \sqrt{(2{\cdot}55)^2 + (3{\cdot}816)^2 + 0}$$

$$= \sqrt{6{\cdot}50 + 14{\cdot}52}$$

$$= 4{\cdot}58\ NC^{-1}$$

২য় ক্ষেত্রে,

আবার B বিন্দুতে —ve চার্জ স্থাপনের পূর্বে P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E'_{BP} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{-4 \times 10^{-9}}{(10\sqrt{2})^2}$$

$$= -2.545\ NC^{-1},\ PB \text{ বরাবর}$$

—ve চিহ্ন আকর্ষণ নির্দেশ করে।

∴ P বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E' = \sqrt{(E'_{BP})^2 + (E'_{AB})^2 + 2E'_{BP}E'_{AB}\cos(180^\circ - 90^\circ)}$$

$$= \sqrt{(-2.55)^2 + (3.816)^2 + 0}$$

$$= 4.58\ NC^{-1}$$

সতুরাং দেখা যায় যে, B বিন্দুতে —ve চার্জ স্থাপনের পূর্বে ও পরে প্রাবল্য একই থাকবে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য $5.57 \times 10^{-11}\ NC^{-1}$ 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 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 $q = nC$

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

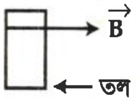
১২। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি।

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 ব্যাসার্ধ্যের 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।

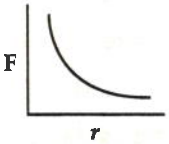
২০। $\vec{P}$ ভ্রামকবিশিষ্ট একটি তড়িৎ দ্বিমেরু $\vec{E}$ প্রাবল্যের একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে ঝুলানো আছে। এর ওপর প্রযুক্ত টর্ক, $\vec{P} \times \vec{E}$ ।

২১। ইলেকট্রন ভোল্ট হলো বৈদ্যুতিক শক্তির 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। চার্জ এবং বিভবের গুণফলের একক হলো 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।

৩১। শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা বা ভেদ্যতা, $\in_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ কুলম্ব²/নিউটন-মিটার² এবং $\frac{1}{4\pi\in_0} = 9 \times 10^9$ নিউটন-মিটার²/কুলম্ব²।

৩২। যদি $F_0 = 9 \times 10^9$ N, $r = 1$m, তবে $q = \pm 1$ coul।

৩৩। শূন্য মাধ্যমের তুলনায় যে কোনো মাধ্যমে দুটি তড়িৎ আধানের মধ্যে তড়িৎ বল কম হয়।

৩৪। একটি ইলেকট্রন বা প্রোটনের চার্জই প্রকৃতিতে ন্যূনতম চার্জ। এর মান $e = 1.60218 \times 10^{-19}$ C। e-এর ভগ্নাংশের অস্তিত্ব নেই।

৩৫। স্থির তড়িৎ বল সংরক্ষণশীল বল।

৩৬। স্থির তড়িৎ বলের সীমা তত্ত্বীয়ভাবে অসীম।

৩৭। তড়িৎ ক্ষেত্রের একক N/C বা V/m। E এবং V-এর মধ্যে সম্পর্ক হলো $E = -\frac{dV}{dx}$।

৩৮। সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে প্রাবল্যের মান ও দিক সর্বত্র সমান। তড়িৎ বলরেখাগুলো খোলা বক্ররেখা।

৩৯। গোলকের ভেতরে প্রাবল্য শূন্য। পৃষ্ঠে প্রাবল্য থাকে।

৪০। $1\,eV = 1.6 \times 10^{-19}$ J। পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান সবসময়ই 1-এর চেয়ে বেশি হয়।

৪১। পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক K-এর একক ফ্যারাড/মিটার (F/m)। ধারকত্ব স্কেলার রাশি।

৪২। একটি নির্দিষ্ট ধারকে সঞ্চিত শক্তি তার আধানের বর্গের সমানুপাতিক এবং বিভব পার্থক্য স্থির থাকলে সঞ্চিত শক্তি তার চার্জের সমানুপাতিক।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। দুটি আধানের মধ্যবর্তী দূরত্ব তিনগুণ করা হলে বলের পরিবর্তন কতগুণ হবে ? [চ. বো. ২০১৬; Medical Admission Test, 2016-17]

ⓚ $\frac{1}{9}$

ⓚ 9

ⓖ $\frac{1}{3}$

ⓖ 3

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

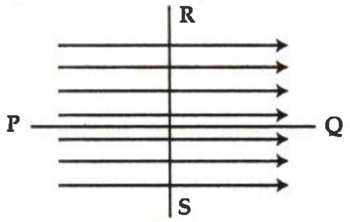
ⓚ $E \propto r$

ⓚ $E \propto \frac{1}{r}$

ⓖ $E \propto \frac{1}{r^2}$

ⓖ $E \propto r^2$

৩।



চিত্র অনুযায়ী সমবিভব বিন্দুগুলি হলো— [ব. বো. ২০২৩]

ⓚ P এবং Q

ⓚ S এবং Q

ⓖ S এবং R

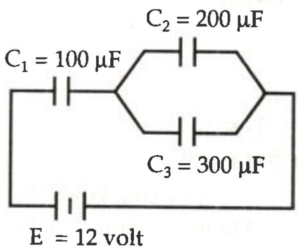
ⓖ P এবং R

৪। 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
ⓚ ii ও iii
ⓖ i ও iii
ⓖ i, ii ও iii

৫। 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

৬। ধারকে সঞ্চিত শক্তির ক্ষেত্রে কোনটি সঠিক ?
[ঢা. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৬
Admission Test : CUET 2012–13; MBSTU 2019-20; RU 2017-18; SAU 2018-19; JU unit-A 2020-21]
(ক) $W = \frac{1}{2}\frac{Q}{C}$
(খ) $W = \frac{1}{2}CI^2$
(গ) $W = \frac{1}{2}VC^2$
(ঘ) $W = \frac{1}{2}CV^2$

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ৭নং ও ৮নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); সকল বোর্ড ২০১৮]



৭। বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব কত হবে ?
[ব. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]
(ক) 83.3×10^{-6} F
(খ) 8.33×10^{-6} F
(গ) 833.3×10^{-6} F
(ঘ) 8333.3×10^{-6} F

৮। উদ্দীপকের বর্তনী অনুসারে সঞ্চিত শক্তি ও ধারকগুলো সমান্তরালে সংযুক্ত অবস্থায় সঞ্চিত শক্তির অনুপাত কত ?
(ক) 7.2 : 1
(খ) 1 : 7.2
(গ) 1 : 0.138
(ঘ) 0.138 : 1

$+4\mu C$ আধানবিশিষ্ট দুটি গোলক 0.01 m দূরে রাখা হয়েছে। ওপরের তথ্যের আলোকে ৯নং ও ১০নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০১৬]

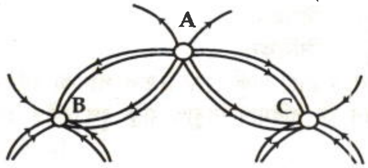
৯। চার্জ দুটির মধ্যবর্তী বলের মান কত ?
(ক) 1.44×10^{5} N
(খ) 1.44×10^{15} N
(গ) 1.82×10^{11} N
(ঘ) 1.90×10^{11} N

১০। +4C চার্জের পরিবর্তে — 4C চার্জ স্থাপন করা হলে আধানদ্বয়ের মধ্যকার স্থির তড়িৎ বলের মান—
(ক) শূন্য হবে
(খ) পূর্বের সমান হবে
(গ) বেশি হবে
(ঘ) কম হবে

১১। ধারকের সঞ্চিত শক্তি নির্ভর করে ধারকের—
[রা. বো. ২০১৬]
(i) ধারকত্বের ওপর
(ii) চার্জের ওপর
(iii) বিভব পার্থক্যের ওপর
নিচের কোনটি সঠিক ?
(ক) i ও ii
(খ) i ও iii
(গ) ii ও iii
(ঘ) i, ii ও iii

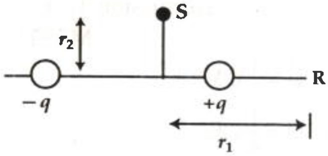
১২। 1 coulomb চার্জ কতটি ইলেকট্রনের চার্জের সমান?
[কু. বো. ২০১৬; CU Admission Test, 2016–17]
(ক) 3.00×10^{8}
(খ) 9.00×10^{9}
(গ) 6.25×10^{18}
(ঘ) 0.02×10^{23}

১৩। [কু. বো. ২০১৬]



(ক) A ঋণাত্মক, B ও C ধনাত্মক
(খ) A ধনাত্মক, B ও C ঋণাত্মক
(গ) B ঋণাত্মক, A ও C ধনাত্মক
(ঘ) B ধনাত্মক, A ও C ঋণাত্মক

উদ্দীপকের আলোকে নিচের ১৪ ও ১৫নং প্রশ্নের উত্তর দাও :



চিত্রে একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর মধ্য বিন্দু হতে r_1 দূরত্বে দ্বিমেরুর অক্ষের ওপর R একটি বিন্দু ও r_2 দূরত্বে লম্ব

দ্বিখণ্ডকের ওপর S একটি বিন্দু। চার্জ দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব উপেক্ষণীয়। [য. বো. ২০১৬]

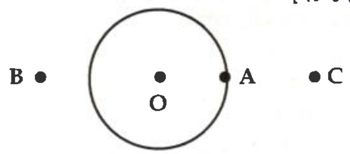
১৪। চিত্রে R বিন্দুতে বিভব কত ?

ⓚ $V = \frac{R}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}$
ⓚ $V = \frac{2R}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}$
ⓖ $V = \frac{R}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}$
ⓖ $V = \frac{2R}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}$

১৫। যদি R ও S বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য সমান হয় তবে—

ⓚ $r_2^3 = r_1^3$
ⓚ $r_1^2 = 2r_2^2$
ⓖ $r_2^2 = 2r_1^2$
ⓖ $r_1^3 = 2r_2^2$

১৬। [য. বো. ২০১৬]



চিত্রে কোন দুটি বিন্দুর বিভব সমান ?

ⓚ A এবং B
ⓚ B এবং C
ⓖ O এবং B
ⓖ O এবং A

১৭। নিচের কোনটি অন্তরক ? [চ. বো. ২০১৬]

ⓚ লোহা
ⓚ সিরামিক
ⓖ বিসমাথ
ⓖ সিলিকন

১৮। যখন 8 mC চার্জ 12V বিভব পার্থক্য অতিক্রম করে তখন কী পরিমাণ বিদ্যুৎ শক্তি রূপান্তরিত হয় ? [চ. বো. ২০১৬]

ⓚ 96 J
ⓚ 48 J
ⓖ 0·096 J
ⓖ 0·048 J

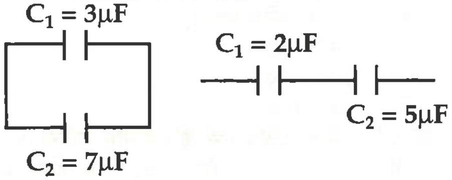
১৯। একটি চার্জিত ধারকের শক্তি ঘনত্ব নির্ণয় করা যাবে নিচের কোন সমীকরণের সাহায্যে ? [দি. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৬; Admission Test : IU 2015-16; MBSTU 2015-16]

ⓚ $U = \frac{1}{2}QV$
ⓚ $U = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$
ⓖ $U = \frac{1}{2}Q^2C$
ⓖ $U = \frac{1}{2}\varepsilon_0 V^2$

২০। গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব বনাম ব্যাসার্ধ লেখ-চিত্রের গ্রেডিয়েন্ট (নতি) হবে— [কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৬]

ⓚ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$
ⓚ $4\pi\varepsilon_0$
ⓖ $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$
ⓖ $\frac{\varepsilon_0}{d}$

২১। [ব. বো. ২০১৬]



চিত্র অনুসারে $C_P : C_S$ = ?

ⓚ 10 : 1
ⓚ 7 : 1
ⓖ 1 : 10
ⓖ 1 : 7

২২। ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব বৃদ্ধি করলে ধারকত্ব— [সি. বো. ২০১৬; JU Admission Test, 2019-20]

(i) বৃদ্ধি পাবে
(ii) হ্রাস পাবে
(iii) অপরিবর্তিত থাকবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i
ⓚ ii
ⓖ iii
ⓖ i, ii ও iii

২৩। পৃথিবীর বিভব হলো— [ঢা. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০১৬; Medical Admission Test, 2017-18; Admission Test : BRU 2012-13, 2014-15; IU(E) 2017-18]

ⓚ ধনাত্মক
ⓚ ঋণাত্মক
ⓖ শূন্য
ⓖ অসীম

২৪। সবচেয়ে বেশি আধান থাকে আহিত বস্তুর— [ঢা. বো. ২০২২; দি. বো. ২০১৬; KU Admission Test, 2019-20]

ⓚ কেন্দ্রে
ⓚ অবতল তলে
ⓖ সমতল তলে
ⓖ উত্তল তলে

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ২৫নং ও ২৬নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০১৫]

A ও B অভিন্ন গোলকদ্বয়ের আধান যথাক্রমে q_1 ও q_2।

২৫। A গোলক কতটি ইলেকট্রন হারিয়েছে ?

ⓚ 1.6×10^{-19}
ⓚ 3.2×10^{-19}
ⓖ 6.25×10^{-18}
ⓖ 1.25×10^{19}

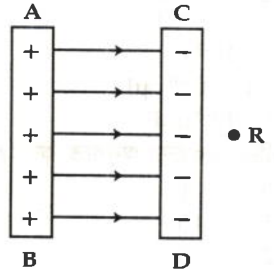
২৬। উপরোল্লিখিত উদ্দীপকের ক্ষেত্রে—
(i) A ও B গোলকের ভর সমান
(ii) A ও B গোলকের পৃষ্ঠের আধান ঘনত্ব সমান
(iii) A ও B গোলকের পৃষ্ঠে তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২৭। তড়িৎ ক্ষেত্রের মান নির্ণয় করা যায়— [রা. বো. ২০১৫; KU Admission Test, 2018-19]
(i) কুলম্বের সূত্র থেকে
(ii) অ্যাম্পিয়ারের সূত্র থেকে
(iii) গাউসের সূত্র থেকে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২৮। আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা সবচেয়ে বেশি— [দি. বো. ২০১৫; RU–G_1 Admission Test, 2017–18]
ক অভ্রের
খ এবোনাইটের
গ কাচের
ঘ পলিথিনের

২৯। কুলম্বের সূত্রের ভেক্টররূপ— [ঢা. বো. ২০১৫]
ক $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} \vec{r}$
খ $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^3} \hat{r}$
গ $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^3} \vec{r}$
ঘ $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r} \hat{r}$

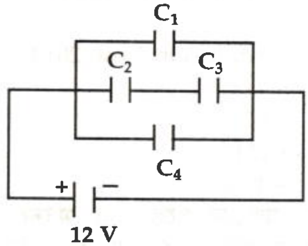
৩০। [চ. বো. ২০১৫]



চিত্রে R বিন্দুতে শূন্য মাধ্যমে তড়িৎ প্রাবল্য কত ?
ক $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$
খ 0
গ 1
ঘ $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$

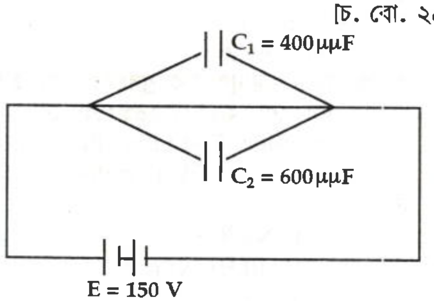
৩১। আধান ঘনত্বের একক কী ? [সি. বো. ২০১৫; Admission Test : JUST 2016-17; JnU 2011-12]
ক Cm^{-3}
খ Cm^{-2}
গ Cm^2
ঘ Cm^3

৩২। চিত্রে প্রতিটি ধারকের ধারকত্ব 2μF হলে বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব হবে— [ব. বো. ২০১৫; BUET Admission Test, 2014-15]]



ক 0.8 μF
খ 1.25 μF
গ 5 μF
ঘ 5F

নিচের বর্তনীর আলোকে ৩৩নং ও ৩৪নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৫]



৩৩। বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব কত ?

ⓚ 2.4×10^{-10} F
ⓚ 1×10^{-9} F
ⓖ 2.4×10^{-10} μμF
ⓖ 1×10^{-9} μμF

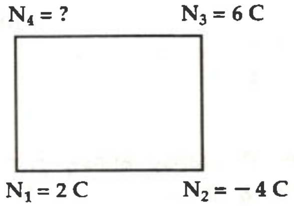
৩৪। ধারক দুটির আধানের অনুপাত কত ?

ⓚ 15 : 1
ⓚ 1 : 15
ⓖ 2 : 3
ⓖ 16 : 36

৩৫। একটি আহিত বস্তুকে পৃথিবীর সাথে যুক্ত করলে বস্তুটিতে আধানের পরিমাণ—
[ম. বো. ২০২২; ব. বো. ২০১৫]

ⓚ বৃদ্ধি পাবে
ⓚ হ্রাস পাবে
ⓖ অপরিবর্তিত থাকবে
ⓖ শূন্য হবে

৩৬। [য. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০২২; রা. বো. ২০১৫]



উদ্দীপকের বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভবের মান শূন্য হলে N_4 = কত ?
[JnU. Admission Test, 2010-11 (মান ভিন্ন)]

ⓚ -4 C
ⓚ $+4$ C
ⓖ $+12$ C
ⓖ -12 C

৩৭। কোনো গোলকের পৃষ্ঠে 20 C মানের 10টি আধান সুষমভাবে ছড়িয়ে দেওয়া হয়। উক্ত গোলকের ব্যাসার্ধ 15 cm। গোলকের কেন্দ্র হতে 5 cm দূরে বিভব কত ? [কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন), ২০১৫; দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]

ⓚ 1.2×10^{13} V
ⓚ 3.6×10^{13} V
ⓖ 8×10^{13} V
ⓖ 7.2×10^{14} V

৩৮। কুলম্বের সূত্রে সমানুপাতিক ধ্রুবকের মান কত ?
[সি. বো. ২০২৩, ২০১৫;রা. বো. ২০১৯; Admission Test : BSFMSTU 2019-20; DU (7 colleges) 2020-21]

ⓚ 1 C
ⓚ 9×10^9 Nm^2C^{-2}
ⓖ 8.854×10^{-12} $CN^{-1}m^{-2}$
ⓖ 2×10^{-7} N

নিম্নলিখিত উদ্দীপকের আলোকে ৩৯নং ও ৪০নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

বায়ু মাধ্যমবিশিষ্ট কোনো ধারকের সমতল পাত দুটির প্রত্যেকের ক্ষেত্রফল 12 cm^2 এবং তারা পরস্পর হতে 2 mm দূরে অবস্থিত। ধারকটিকে 2μC আধানে আহিত করা হলে পাতদ্বয়ের বিভব পার্থক্য হয় 4 mV। এক ছাত্র ধারকটির প্রত্যেকটি পাতকে সমদ্বিখণ্ডিত করে 0.5 mm ব্যবধানবিশিষ্ট দুটি ধারক বানিয়ে তাদের পরস্পর শ্রেণিতে যুক্ত করল।

৩৯। প্রত্যেক ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানের প্রাবল্য কত ?

ⓚ 8×10^{-6} NC^{-1}
ⓚ 8×10^{-3} NC^{-1}
ⓖ 2×10^{-3} NC^{-1}
ⓖ 2 NC^{-1}

৪০। ছাত্র কর্তৃক সৃষ্ট ধারক সমবায়ের ধারকত্ব পূর্বের ধারকটির—

ⓚ অর্ধেক
ⓚ সমান
ⓖ দ্বিগুণ
ⓖ চার গুণ

৪১। 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; BUET Admission Test, 2018-19 (মন ভিন্ন)]

ⓚ 3.18×10^{-7}
ⓚ 2.52
ⓖ 0.004
ⓖ 251.57

৪২। পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের একক হলো—
[রা. বো. ২০২২, ২০১৭; চ. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৫; Admission Test : Com.U 2019-20; DU (7 colleges) 2020-21]

(i) $C^2N^{-1}m^{-2}$
(ii) Nkg^2m^2
(iii) Fm^{-1}

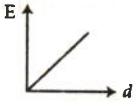
নিচের কোনটি সঠিক ?

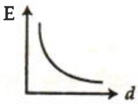
ⓚ i ও ii
ⓚ ii ও iii
ⓖ i ও iii
ⓖ i, ii ও iii

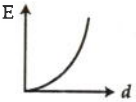
৪৩। তিনটি একই ধরনের ধারক প্রত্যেকটির মান C শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো এবং সমবায়টিকে অপর একটি একই ধরনের ধারকের সঙ্গে সমান্তরালভাবে যুক্ত করা হলো। সমগ্র সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব—

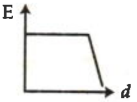
ⓚ 3C
ⓚ $\frac{4}{3}$ C
ⓖ $\frac{3}{4}$ C
ⓖ 2 C

৪৪। নিচের কোন লেখচিত্রটি তড়িৎ প্রাবল্য এবং দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে ? [ম. বো. ২০২২; সি. বো. ২০১৬]

(ক) 

(খ) 

(গ) 

(ঘ) 

৪৫। 1 ইলেকট্রন ভোল্ট (1 eV) হলো— [ঢা. বো. ২০১৭; DU. (প্রযুক্তি), Admission Test, 2018-19]

(ক) $1{\cdot}6 \times 10^{-9}$ J
(খ) $1{\cdot}6 \times 10^{9}$ J
(গ) $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J
(ঘ) $1{\cdot}6 \times 10^{19}$ J

৪৬। বিভব পার্থক্য স্থির থাকলে একটি চার্জের ধারকের শক্তি তার চার্জের— [কু. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৫]

(ক) ব্যস্তানুপাতিক
(খ) সমানুপাতিক
(গ) বর্গের ব্যস্তানুপাতিক
(ঘ) বর্গমূলের সমানুপাতিক

৪৭। একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর চার্জ দুটির পরিমাণ কত হবে? [চ. বো. ২০১৫]

(ক) 2×10^{-19} C ও 8×10^{-19} C
(খ) 6×10^{-19} C ও 4×10^{19} C
(গ) 5×10^{-19} C ও -5×10^{-19} C
(ঘ) 3×10^{-19} C ও 7×10^{-19} C

৪৮। একটি দ্বিপোলের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য কীরূপে পরিবর্তিত হয় ? [রা. বো. ২০২২; সি. বো. ২০১৫; Admission Test : DU 2015–16, 2019-20; JSTU 2019-20; BSMRSTU 2017-18]

(ক) r^{-1}
(খ) r^{-2}
(গ) r^{-3}
(ঘ) r^{-4}

৪৯। আধান ও বিভবের গুণফলের একক কী ? [সি. বো. ২০১৫]

(ক) জুল
(খ) ভোল্ট
(গ) ফ্যারাড
(ঘ) হেনরি

৫০। কুলম্বের সূত্রানুসারে কোনটি সঠিক নয় ? দুটি বিন্দু চার্জ পরস্পরকে যে বলে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে তা চার্জদ্বয়ের— [Medical Admission Test, 2013-14]

(ক) গুণফলের সমানুপাতিক
(খ) মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক
(গ) সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে
(ঘ) মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের অর্ধেকের ব্যস্তানুপাতিক

৫১। ফিউজ তার-এর বৈশিষ্ট্য কোনটি ? [সি. বো. ২০২২; Medical Admission Test, 2015-16]

(ক) কম রোধ এবং উচ্চ গলনাঙ্ক
(খ) উচ্চ রোধ এবং কম গলনাঙ্ক
(গ) উচ্চ রোধ এবং উচ্চ গলনাঙ্ক
(ঘ) কম রোধ এবং কম গলনাঙ্ক

৫২। দুটি সমান্তরাল তার দিয়ে একই দিকে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে— [Medical Admission Test, 2015-16]

(ক) একে অপরকে আকর্ষণ করে
(খ) তাদের মধ্যে কোনো বল কাজ করে না
(গ) একে অপরকে বিকর্ষণ করে
(ঘ) পরস্পরের বিপরীতমুখী হয়

৫৩। নিচের কোনটি চার্জ প্রবাহের হার পরিমাপের একক? [য. বো. ২০১৬]

(ক) কুলম্ব
(খ) ভোল্ট
(গ) অ্যাম্পিয়ার
(ঘ) সিমেন্স

৫৪। বায়ুতে একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতি পাতে চার্জের তলমাত্রিক ঘনত্ব $8{\cdot}854 \times 10^{-12}$ Cm^{-2}। ধারকের অভ্যন্তরে $K = 5$ পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকযুক্ত পদার্থ প্রবেশ করানো হলে তড়িৎ প্রাবল্য হবে— [দি. বো. ২০১৭]

(ক) $0{\cdot}02$ NC^{-1}
(খ) $0{\cdot}2$ NC^{-1}
(গ) $0{\cdot}5$ NC^{-1}
(ঘ) $1{\cdot}0$ NC^{-1}

৫৫। একটি চার্জিত সমতল পরিবাহীর সন্নিকটে তড়িৎ প্রাবল্যের মান কোনটি ? [কু. বো. ২০১৭; CU unit-A Admission Test, 2020-21]

(ক) $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
(খ) $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}$
(গ) $E = \dfrac{2\sigma}{\varepsilon_0}$
(ঘ) $E = \dfrac{3\sigma}{2\varepsilon_0}$

৫৬। দুটি সমান চার্জের মধ্যবর্তী দূরত্ব অর্ধেক করা হলে এবং চার্জ দুটির মান কমিয়ে অর্ধেক করা হলে বলের মান–
[DU Admission Test, 2017–18]
ⓚ অর্ধেক হবে
ⓚ দ্বিগুণ হবে
ⓖ অপরিবর্তিত থাকবে
ⓘ চারগুণ হবে

৫৭। একটি বিন্দু চার্জ হতে 2m দূরত্বে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান E হলে, 1m দূরত্বে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান কত?
[DU Admission Test, 2015–16]
ⓚ E
ⓚ 2E
ⓖ 4E
ⓘ E/2

৫৮। একটি সমান্তরাল পাত ধারককে চার্জিত করলে পাত দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য হয় V। ধারকটির সঞ্চিত শক্তি দ্বিগুণ করার জন্য বিভব পার্থক্য কত হবে? [Admission Test : DU 2013–14; DU (প্রযুক্তি) 2020-21]
ⓚ $\frac{1}{4}$V
ⓚ $\frac{1}{2}$V
ⓖ $\sqrt{2}$ V
ⓘ 2 V

৫৯। 4 μF বিশিষ্ট একটি ধারককে 9·0 V ব্যাটারি দ্বারা আহিত করা হলো। ধারকটিতে কী পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত হবে?
[Admission Test : JnU 2013–14; CU 2002–03; SUST 2002–03; JU 2005–06; BUET 2006–07; DU (7 colleges) 2020-21]
ⓚ $1·62 \times 10^{-4}$ J
ⓚ 1·62 J m/s
ⓖ 260 J
ⓘ 324 J

৬০। বৈদ্যুতিক পাখায় ব্যবহৃত ক্যাপাসিটরের সমমানের একটি ক্যাপাসিটর সমান্তরালে যোগ করলে বৈদ্যুতিক পাখার ক্যাপাসিটরের মান—
[JU Admission Test, 2017–18]
ⓚ সমান থাকবে
ⓚ বেড়ে যাবে
ⓖ কমে যাবে
ⓘ কোনোটিই হবে না

৬১। একটি মেঘে কী পরিমাণ চার্জ আছে তা মাপা যায় কোন সূত্রের প্রয়োগে সম্ভব?
[JU Admission Test, 2017–18]
ⓚ গাউসের সূত্র
ⓚ লেঞ্জের সূত্র
ⓖ কুলম্বের সূত্র
ⓘ কোনোটিই নয়

৬২। ইলেকট্রোলাইটিক ধারকে দুটি পাতলা অ্যালু-মিনিয়াম পাতের মধ্যে ডাইইলেকট্রিক মাধ্যম হিসেবে থাকে—
[JU Admission Test, 2017–18]
ⓚ অভ্র
ⓚ মোমযুক্ত কাগজ
ⓖ অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড
ⓘ বোরেট দ্রবণ

৬৩। বাহ্যিক তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে যে সকল মাধ্যমের প্রতিটি পরমাণু এক একটি তড়িৎ দ্বিমেরুতে পরিণত হয় তাকে বলা হয়—
[JU Admission Test, 2017–18]
ⓚ ডাইইলেকট্রিক
ⓚ সেমিকন্ডাক্টর
ⓖ পরিবাহী
ⓘ অপরিবাহী

৬৪। 0·50 m ব্যাসার্ধের একটি গোলকে 20 C চার্জ দেওয়া আছে। গোলকের কেন্দ্রে বৈদ্যুতিক প্রাবল্যের মান—
[সি. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); Admission Test : JU 2017–18; CU 2019-20]
ⓚ 0
ⓚ $3·6 \times 10^{11}$
ⓖ $2·81 \times 10^{11}$
ⓘ কোনোটিই নয়

৬৫। একটি আহিত ধারকে শক্তি সঞ্চিত থাকে —
[Admission Test : RU-H 2017–18; IU 2015-16]
ⓚ ধনাত্মক প্লেটে
ⓚ ঋণাত্মক ও ধনাত্মক প্লেটে
ⓖ প্লেটের মধ্যবর্তী তড়িৎ ক্ষেত্রে
ⓘ প্লেট দুটির প্রান্তের চারপাশে

৬৬। একটি m ভরের পানির ফোঁটাকে এক ইলেকট্রনের চার্জ দেওয়া হলো। এই পানির ফোঁটাকে শূন্যে ভাসিয়ে রাখতে হলে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রাবল্য প্রয়োজন হবে?
[RU-H Admission Test, 2017–18]
ⓚ mg/e
ⓚ em/g
ⓖ emg
ⓘ mg

৬৭। যদি 1 Coulomb মানের দুটি চার্জ বাতাসে পরস্পরের সাথে 1 meter দূরত্ব রেখে অবস্থান করে তবে তাদের মধ্যবর্তী বল কত?
[Admission Test : CU 2017–18; DU (7 colleges) 2020-21; DU (প্রযুক্ত) 2020-21]
ⓚ 2·2 N
ⓚ $8·85 \times 10^{22}$ N
ⓖ $1·6 \times 10^{19}$ N
ⓘ 9×10^{9} N
ⓤ 9×10^{10} N

৬৮। a বাহুবিশিষ্ট একটি বর্গক্ষেত্রের কৌণিক বিন্দু A, B, C ও D-তে যথাক্রমে চারটি চার্জ $+q$, $+q$, $-q$ ও $-q$ স্থাপন করা হলো। উহার কেন্দ্রে 0 বিন্দুতে বৈদ্যুতিক বিভবের মান হবে—

[BUET Admission Test, 2013–14]

ⓚ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{a}$

ⓚ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{a}$

ⓖ $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4q}{a}$

ⓖ 0

৬৯। সমান্তরাল পাত ধারকের দুই পাতের মধ্যে ডাইইলেকট্রিক দ্বারা পূর্ণ করায় ধারকত্ব 5 μF থেকে বেড়ে 60 μF হয়। ডাইইলেকট্রিকের ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবকের মান হবে—

[BUET Admission Test, 2013–14]

ⓚ 65

ⓚ 55

ⓖ 12

ⓖ 10

৭০। ধনাত্মক চার্জে চার্জিত ধাতব গোলক M-কে অচার্জিত গোলক N-এর সংস্পর্শে আনা হলো। তার ফলে—

[BUET Admission Test, 2012–13]

ⓚ উভয় গোলক ধনাত্মক চার্জে চার্জিত

ⓚ গোলক M ধনাত্মক চার্জে চার্জিত এবং গোলক N ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত

ⓖ গোলক M ধনাত্মক চার্জে চার্জিত এবং গোলক N চার্জ নিরপেক্ষ

ⓖ উভয় গোলক ঋণাত্মক চার্জে চার্জিত

৭১। দুটি শোলা বলের প্রত্যেকটির ওজন 10^{-3} kg এবং 0·8 m দৈর্ঘ্যের সিল্কের সুতার মাধ্যমে একই বিন্দু থেকে ঝুলানো হয়েছে। এরা সমভাবে চার্জিত এবং একে অন্যকে 0·04 m দূরে বিকর্ষণ করে। প্রতি বলে চার্জের পরিমাণ নির্ণয় কর।

[KUET Admission Test, 2017–18]

ⓚ 6×10^{-9} C

ⓚ $6{\cdot}53 \times 10^{-9}$ C

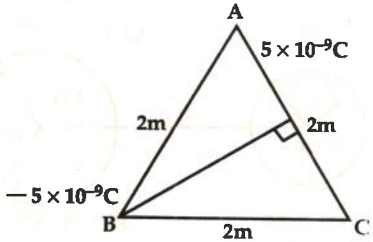
ⓖ $6{\cdot}6 \times 10^{-9}$ C

ⓖ $3{\cdot}14 \times 10^{-9}$ C

ⓙ 8×10^{-9} C

চিত্রটি লক্ষ কর এবং ৭২ ও ৭৩নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

[দি. বো. ২০১৯]



৭২। B বিন্দুতে অবস্থিত চার্জের জন্য AC-এর মধ্য-বিন্দুতে বিভবের মান কত?

ⓚ 9·00 V

ⓚ 11·25 V

ⓖ 20·12 V

ⓖ 22·50 V

৭৩। C বিন্দুতে 2C-এর আধান স্থাপন করলে আধানটি—

i. 22·5N বল অনুভব করবে

ii. AB-এর সমান্তরালে গতিশীল হবে

iii. ∠C-এর দ্বিখণ্ডক রেখা বরাবর গতিশীল হবে

নিচের কোনটি সঠিক?

ⓚ i ও ii

ⓚ i ও iii

ⓖ ii ও iii

ⓖ i, ii ও iii

৭৪। $5NC^{-1}$ প্রাবল্যের সুষম তড়িৎক্ষেত্রে অবস্থিত দুটি বিন্দুর দূরত্ব 10 cm হলে তাদের বিভব পার্থক্য কত?

[ব. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৯]

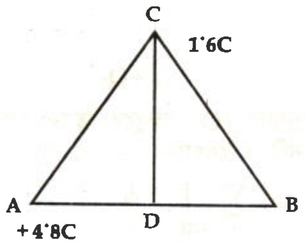
ⓚ 0·02V

ⓚ 0·5V

ⓖ 2·0V

ⓖ 50V

৭৫।



B বিন্দুতে কত চার্জ স্থাপন করলে D বিন্দুতে মোট তড়িৎ বিভব শূন্য হবে? [সি. বো. ২০১৯]

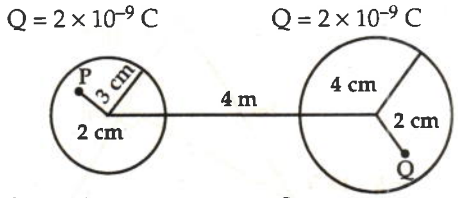
ⓚ $-4{\cdot}8$C

ⓚ $-3{\cdot}2$C

ⓖ $+1{\cdot}6$C

ⓖ $+3{\cdot}2$C

নিচের চিত্রটি লক্ষ কর এবং ৭৬ ও ৭৭নং প্রশ্নের উত্তর দাও: [ব. বো. ২০১৯]



চিত্র : ছোট গোলক চিত্র : বড় গোলক

৭৬। উদ্দীপক অনুসারে—

i. P বিন্দুতে বিভব Q বিন্দুতে বিভবের চেয়ে বেশি
ii. P ও Q বিন্দুর প্রাবল্য শূন্য
iii. ছোট গোলকের ধারকত্ব বড় গোলকের ধারকত্বের চেয়ে বেশি

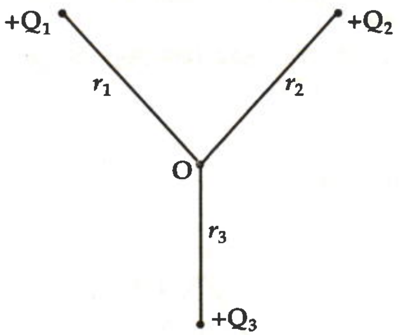
নিচের কোনটি সঠিক?

ⓚ i ও ii
ⓚh i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖh i, ii ও iii

৭৭। গোলকদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখার কোন বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য শূন্য হবে?

ⓚ 1.0 m
ⓚh 1.3 m
ⓖ 2.0 m
ⓖh 3.6 m

৭৮। [চ. বো. ২০১৯]



ওপরের চিত্রানুযায়ী 'O' বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয়ের সমীকরণ কোনটি ? [যেখানে $n = 1, 2, 3$]

ⓚ $V = \sum_n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_n}{r_n}$

ⓚh $V = \sum_n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_n}{r_n^2}$

ⓖ $V = \sum_n 4\pi\epsilon_0 \frac{Q_n}{r_n}$

ⓖh $V = \sum_n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_n^2}{r_n^2}$

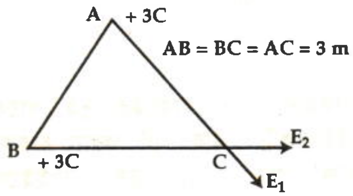
৭৯। দুটি চার্জের মধ্যকার বলের মান নির্ভর করে— [য. বো. ২০১৯]

i. চার্জের পরিমাণের ওপর
ii. মধ্যবর্তী দূরত্বের ওপর
iii. ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবকের ওপর

নিচের কোনটি সঠিক?

ⓚ i ও ii
ⓚh i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖh i, ii ও iii

৮০। [কু. বো. ২০১৯]



C বিন্দুতে লব্ধি ক্ষেত্র প্রাবল্য কত হবে?

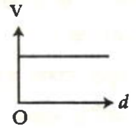
ⓚ $1.5 \times 10^9\ NC^{-1}$
ⓚh $3.0 \times 10^9\ NC^{-1}$
ⓖ $5.2 \times 10^9\ NC^{-1}$
ⓖh $60 \times 10^9\ NC^{-1}$

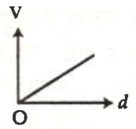
৮১। $\oint \bar{E}.\, \bar{ds} = \frac{q}{\epsilon_0}$, এটি—

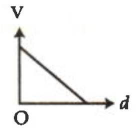
[কু. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৯; MBSTU Admission Test, 2015-16]

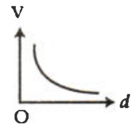
ⓚ অ্যাম্পিয়ারের সূত্র
ⓚh গাউসের সূত্র
ⓖ বায়োট-স্যাভার্টের সূত্র
ⓖh ফ্যারাডের সূত্র

৮২। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের তড়িৎ প্রাবল্য স্থির রাখতে হলে তড়িৎ বিভব V ও পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের (d) মধ্যকার সম্পর্ক নিম্নের কোন গ্রাফটি নির্দেশ করে ? [ব. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৯]

ⓚ 

ⓚh 

ⓖ 

ⓖh 

৮৩। সমবিভব তল ও তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যবর্তী কোণ—
[য. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) $60°$
(খ) $90°$
(গ) $120°$
(ঘ) $180°$

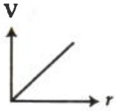
নিচের উদ্দীপকের আলোকে ৮৪ ও ৮৫নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০১৯]

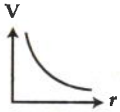
90 cm ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা গোলকে 9×10^{-10}C চার্জ আছে।

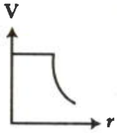
৮৪। গোলকের অভ্যন্তরে তড়িৎ প্রাবল্য কত ?

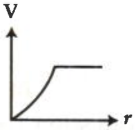
(ক) অসীম
(খ) $10\ NC^{-1}$
(গ) $9\ NC^{-1}$
(ঘ) $0\ NC^{-1}$

৮৫। চার্জিত গোলকটির ক্ষেত্রে তড়িৎ বিভব V ও কেন্দ্র হতে দূরত্বের (r) মধ্যে কোন লেখচিত্রটি সঠিক ?
[দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২২]

(ক) 

(খ) 

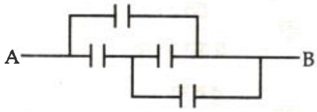
(গ) 

(ঘ) 

৮৬। যদি তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য + x-অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করে এবং $E = Cx^2$ হয়, যেখানে C = ধ্রুবক, তবে তড়িৎ বিভব V—
[Admission Test : DU 2018-19; RU unit-C 2020-21]

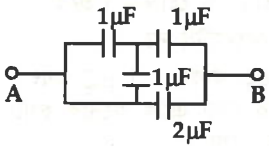
(ক) $-2Cx$
(খ) $2Cx$
(গ) $-\frac{Cx^3}{3}$
(ঘ) $\frac{Cx^2}{3}$

৮৭। বর্ণিত চিত্রে প্রতিটি ধারকের ধারকত্ব $3\ \mu F$। A ও B বিন্দুর মধ্যে কার্যকর ধারকত্ব হবে—
[ঢা. বো. ২০২২]



(ক) $\frac{3}{4}\mu F$
(খ) $3\ \mu F$
(গ) $6\ \mu F$
(ঘ) $5\ \mu F$

৮৮। প্রদত্ত চিত্রে A ও B এর মধ্যে তুল্য ধারকত্ব হলো— [চ. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৫ (মান ভিন্ন); Admission Test : RU 2020-21; BUET 2014-15 (মান ভিন্ন)]



(ক) $\frac{8}{3}\mu F$
(খ) $\frac{7}{6}\mu F$
(গ) $\frac{5}{6}\mu F$
(ঘ) $2\ \mu F$

৮৯। পৃথিবীকে $6{\cdot}4 \times 10^8$ cm ব্যাসার্ধের গোলক ধরলে মাইক্রোফ্যারাড এককে এর ধারকত্ব হবে—
[য. বো. ২০২২; ম. বো. ২০২২]

(ক) $7{\cdot}117\ \mu F$
(খ) $71{\cdot}17\ \mu F$
(গ) $711{\cdot}7\ \mu F$
(ঘ) $7117\ \mu F$

৯০। দুটি পরিবাহীর ধারকত্ব যথাক্রমে $2\ \mu F$ ও $3\ \mu F$। তাদের বিভব যথাক্রমে 18 V ও 8 V। তাদের একটি তার দ্বারা যুক্ত করলে বিভব কত হবে ?

(ক) 12 V
(খ) 15 V
(গ) 16 V
(ঘ) 10 V

৯১। একটি গোলকের ধারকত্ব 1 F হলে তার ব্যাসার্ধ হবে— [ম. বো. ২০২৩]

(ক) 1 cm
(খ) 9×10^5 cm
(গ) 9×10^{11} cm
(ঘ) 100 cm

৯২। নিচের সম্পর্কগুলির মধ্যে সঠিক কোনটি ?
ক জুল = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার
খ জুল = কুলম্ব × ভোল্ট
গ জুল = $\frac{\text{ভোল্ট}}{\text{অ্যাম্পিয়ার}}$
ঘ জুল = $\frac{\text{কুলম্ব}}{\text{ভোল্ট}}$

৯৩। একটি বিচ্ছিন্ন ধনাত্মক আধানের বল রেখাগুলো—
ক বামাবর্তী
খ দক্ষিণাবর্তী
গ লম্বভাবে বহির্মুখী
ঘ লম্বভাবে অন্তর্মুখী

৯৪। সুষম দ্রুতিতে গতিশীল আধান উৎপন্ন করে—
ক তড়িৎক্ষেত্র
খ চৌম্বকক্ষেত্র
গ তড়িৎ ও চৌম্বক উভয়ই
ঘ কোনোটিই নয়

৯৫। 'd' দূরত্বে থাকা $+1\ \mu C$ এবং $+5\ \mu C$ দুটি আধানের দ্বারা একে অন্যের ওপর প্রযুক্ত বলের অনুপাত হলো—
ক 1 : 5
খ 1 : 1
গ 5 : 1
ঘ 1 : 25

৯৬। কুলম্ব ধনাত্মক আধান থেকে নির্গত বলরেখা সংখ্যা—
ক 9×10^9
খ 8.85×10^{-12}
গ $\frac{1}{8.854 \times 10^{-12}}$
ঘ ∞

৯৭। কোনো স্থানের তড়িৎ বিভব $V = 3x + 2x^2$। (3, 1) বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্রের মান হবে—
ক $3\ Vm^{-1}$
খ $2\ Vm^{-1}$
গ $5\ Vm^{-1}$
ঘ 0

৯৮। 1 cm ব্যবধানে দুটি পাত আছে এবং তাদের মধ্যে বিভব পার্থক্য 10 ভোল্ট। পাত দুটির মধ্যে তড়িৎ প্রাবল্য হবে—
ক $1000\ NC^{-1}$
খ $100\ NC^{-1}$
গ $10\ NC^{-1}$
ঘ $1100\ NC^{-1}$

৯৯। $\in_r$ পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকবিশিষ্ট একটি মাধ্যমে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য E হলে শক্তি ঘনত্ব হবে—
ক $\frac{1}{2}\in_r E^2$
খ $\frac{1}{2}\in_0 \in_r E^2$
গ $\frac{1}{2}\in_0 E^2$
ঘ $\in_0 \in_r E^2$

১০০। প্রোটন ও ইলেকট্রনের মধ্যে তড়িৎ বল এবং মহাকর্ষীয় বলের অনুপাত—
ক 1
খ 10^{10}
গ 10^{20}
ঘ 10^{39}

১০১। একটি পরিবাহী গোলকের ব্যাস 20 cm। এতে $12.56\ \mu C$ আধান প্রদান করলে আধানের তল মাত্রিক ঘনত্ব কত ?
ক 0
খ $10^{-4}\ C/m^2$
গ $10^{-8}\ C/m^2$
ঘ কোনোটিই নয়

১০২। Q_1 এবং Q_2 আধানযুক্ত দুটি কণাকে কিছু দূরত্বে রাখলে এদের মধ্যে বল হয় F। এদের মধ্যে দূরত্ব অর্ধেক এবং প্রত্যেক আধান দ্বিগুণ করলে বল কত হবে ?
ক 2F
খ 4F
গ 8F
ঘ 16F

১০৩। একটি ফাঁপা ধাতব গোলকের ব্যাসার্ধ R। একে Q আধান প্রদান করা হলে এর মধ্যে কেন্দ্র হতে r দূরত্বে $(r < R)$ তড়িৎ প্রাবল্য কত ?
ক 0
খ $\frac{Q}{r}$
গ $\frac{Q}{R^2}$
ঘ $\frac{Q}{R}$

১০৪। তড়িৎ বিভবের মাত্রা— [ম. বো. ২০২৩; JU Admission Test, 2019-20]
ক $ML^2T^{-3}A^{-1}$
খ MLTA
গ $MLT^{-3}A^{-1}$
ঘ $M^{-1}L^{-1}TA$

১০৫। একটি ইলেকট্রনকে 1 V বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে পাঠানো হলো। এর গতিবেগ কত হবে ?
ক $6 \times 10^{-6}\ ms^{-1}$
খ $6 \times 10^5\ ms^{-1}$
গ $6 \times 10^{-6}\ cms^{-1}$
ঘ $6 \times 10^5\ cms^{-1}$

১০৬। 100 pF ধারকত্বের একটি ধারককে 500V বিভবে আহিত করে প্লেট দুটির মধ্যে ব্যবধান অর্ধেক করা হলো। তাহলে বিভব হবে—
ⓚ 1000V
ⓚh 250V
ⓖ 500V
ⓖh 100V

১০৭। 4 μF ও 6 μF ধারকত্বের দুটি ধারককে শ্রেণিতে যুক্ত করে 500V বিভব পার্থক্যে প্রয়োগ করলে প্রত্যেকের আধান কত হবে ?
ⓚ 1200C
ⓚh 6000C
ⓖ 1200 μC
ⓖh 6000 μC

১০৮। প্রাথমিকভাবে স্থির একটি ইলেকট্রন 180 volt বিভব পার্থক্য অতিক্রমের পর কত অন্তিম বেগ অর্জন করবে ? ইলেকট্রনের আধান $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C এবং ভর 9×10^{-31} kg।
ⓚ 4×10^6 ms^{-1}
ⓚh 8×10^6 ms^{-1}
ⓖ 3×10^6 ms^{-1}
ⓖh 40 ms^{-1}

১০৯। তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি $1{\cdot}5 \times 10^{-4}$ C আধানের ওপর বল 2·25 N। ওই বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত ?
ⓚ 1500 NC^{-1}
ⓚh 150 NC^{-1}
ⓖ 15000 NC^{-1}
ⓖh কোনোটিই নয়

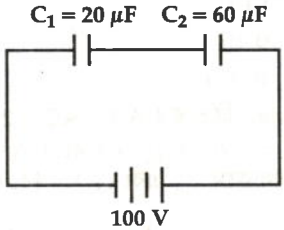
১১০। একটি ইলেকট্রন তড়িৎ ক্ষেত্রে নিজ ওজনের সমান বল অনুভব করে। ওই তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য—
ⓚ $1{\cdot}7 \times 10^{11}$ NC^{-1}
ⓚh $5{\cdot}0 \times 10^{11}$ NC^{-1}
ⓖ $5{\cdot}0 \times 10^{-11}$ NC^{-1}
ⓖh 5·6 NC^{-1}

১১১। বায়ু মাধ্যমে 1C ধনাত্মক আধান থেকে কত তড়িৎ ফ্লাক্স নির্গত হবে ?
ⓚ 9×10^9
ⓚh $8{\cdot}85 \times 10^{-12}$
ⓖ $\frac{1}{8{\cdot}85} \times 10^{12}$
ⓖh ∞

১১২। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের একটি পাতের ক্ষেত্রফল 90 cm^2 এবং পাত দুটির ব্যবধান 2·5 mm। এটিকে 400 বিভব পার্থক্যের মধ্যে যুক্ত করে আহিত করা হলো। ধারকটিতে সঞ্চিত শক্তি কত ? [ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2017-18 (মান ভিন্ন)]
ⓚ 2·55 J
ⓚh $2{\cdot}55 \times 10^{-2}$ J
ⓖ $2{\cdot}55 \times 10^{-4}$ J
ⓖh $2{\cdot}55 \times 10^{-6}$ J

১১৩। 2 pF এবং 6 pF ধারক দুটিকে শ্রেণিতে যুক্ত করে 5000 V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হলো। এরপর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে ধারক দুটিকে সমান্তরালে যুক্ত করা হলো। সমবায়টিতে বিভব পার্থক্য কত?
ⓚ 2222 V
ⓚh 1111 V
ⓖ 3333 V
ⓖh 5000 V

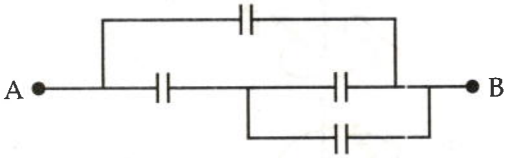
নিচের উদ্দীপকের আলোকে ১১৪ ও ১১৫নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০২৩]



১১৪। ধারকদ্বয়ের তুল্য ধারকত্ব কত?
ⓚ 80 μF
ⓚh 20 μF
ⓖ 15 μF
ⓖh $\frac{1}{15}$ μF

১১৫। ধারকদ্বয়ের বিভব পার্থক্যের অনুপাত—
ⓚ 1 : 3
ⓚh 1 : 2
ⓖ 2 : 1
ⓖh 3 : 1

১১৬। চিত্রের প্রতিটি ধারকের ধারকত্ব 3 μF। A ও B বিন্দুর মধ্যে কার্যকর ধারকত্ব হবে— [ঢা. বো. ২০২২]



ⓚ $\frac{3}{4}$ μF
ⓚh 3 μF
ⓖ 4 μF
ⓖh 5 μF

১১৭। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6500 km। এর ধারকত্ব কত? [ম. বো. ২০২২]
ⓚ 711 F
ⓚh 722 μF
ⓖ 640 μF
ⓖh 614 μF

১১৮। পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক হলো— [ম. বো. ২০২৩]

i. $\frac{F_0}{F}$

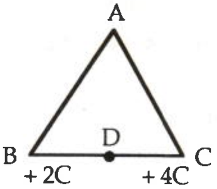
ii. $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$

iii. $\frac{C_0}{C}$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii
(খ) i ও iii
(গ) ii ও iii
(ঘ) i, ii ও iii

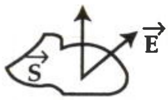
১১৯। চিত্রে ABC ত্রিভুজের AB = AC = 2BD = 2CD এবং $q_B = +2C$ ও $q_C = +4C$। A ও D বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_D। [ব. বো. ২০২৩]

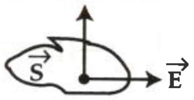


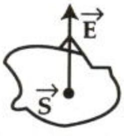
নিচের কোনটি সঠিক?

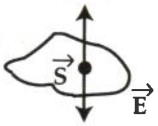
(ক) $V_A > V_D$
(খ) $V_A < V_D$
(গ) $V_A = V_D$
(ঘ) $2V_D > V_A$

১২০। নিচের কোন চিত্রে তড়িৎফ্লাক্স সর্বোচ্চ হবে? [য. বো. ২০২৩]

(ক) 

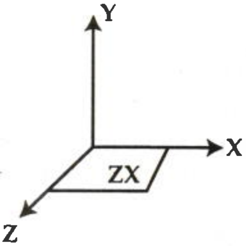
(খ) 

(গ) 

(ঘ) 

Note : $\theta = 0°$ হলে $\phi = ES \cos 0°$
$= ES$ (সর্বোচ্চ)

১২১। চিত্রে একটি সুষম তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E} = (2\hat{i} + 5\hat{j} + 6\hat{k})\ NC^{-1}$



তড়িৎক্ষেত্রের ZX তলে স্থাপিত 40 m^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট তলে তড়িৎ ফ্লাক্স কত? [য. বো. ২০২৩]

(ক) $0\ Nm^2C^{-1}$
(খ) $80\ Nm^2C^{-1}$
(গ) $200\ Nm^2C^{-1}$
(ঘ) $240\ Nm^2C^{-1}$

Note : $Nm^2C^{-1} = Vm$

১২২। একটি বর্গক্ষেত্রের শীর্ষবিন্দুতে চারটি বিন্দু আধান আছে। যাদের মান যথাক্রমে $-Q, -q, 2q$ এবং $2Q$। Q ও q-এর মধ্যে নিচের কোন সম্পর্কের জন্য বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভব শূন্য হবে? [চ. বো. ২০২৩]

(ক) $Q = -q$
(খ) $Q = -\frac{1}{q}$
(গ) $Q = q$
(ঘ) $Q = \frac{1}{q}$

১২৩। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রযুক্ত ভোল্টেজ স্থির রেখে পাত দুটির ব্যবধান ২৫% কমানো হলে ধারকে সঞ্চিত শক্তির শতকরা কত পরিবর্তন হবে? [ব. বো. ২০২৪]

(ক) 16·10%
(খ) 33·33%
(গ) 45·38%
(ঘ) 77·77%

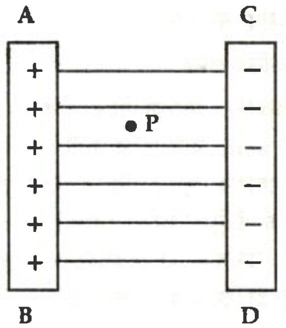
১২৪। একটি চার্জিত সমতল পরিবাহীর সন্নিকটে তড়িৎ প্রবাল্যের মান কোনটি? [য. বো. ২০২৪; কু. বো. ২০১৭]

(ক) $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$
(খ) $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$
(গ) $E = \frac{2\epsilon_0}{\sigma}$
(ঘ) $E = \frac{\epsilon_0}{\sigma}$

১২৫। নিচের কোন পদার্থের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান সর্বোচ্চ? [ঢা. বো. ২০২৪]

ক বায়ু
খ কাগজ
গ সিলিকন
ঘ পানি

১২৬।



চিত্রের P বিন্দুতে শূন্য মাধ্যমে তড়িৎ প্রাবল্য কত? [ঢা. বো. ২০২৪]

ক $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$
খ 0
গ 1
ঘ $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

১২৭। আধান ও বিভবের গুণফলের একক কোনটি? [ম. বো. ২০২৪]

ক ভোল্ট
খ ফ্যারাড
গ জুল
ঘ হেনরি

Hints : $W = VQ$

১২৮। 20 cm ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা গোলককে বায়ুতে স্থাপন করে 2×10^{-9} C চার্জে চার্জিত করা হলো। গোলকের কেন্দ্র থেকে 18 cm দূরে কোনো বিন্দুর বিভব কত? [ম. বো. ২০২৪]

ক 0 Volt
খ 45 Volt
গ 90 Volt
ঘ 100 Volt

১২৯। কোনো গোলাকার পরিবাহীর আধান ও ক্ষেত্রফল চার গুণ করা হলে চার্জের তলমাত্রিক ঘনত্ব হবে— [রা. বো. ২০২৪]

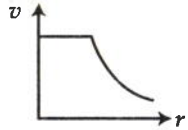
ক ষোলো গুণ
খ চার গুণ
গ অসীম
ঘ অপরিবর্তিত থাকবে

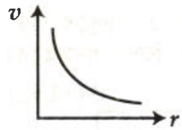
১৩০। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামকের মাত্রা কোনটি? [রা. বো. ২০২৪]

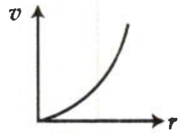
ক LT^{-1}
খ LTI
গ L^2TI
ঘ LTI^2

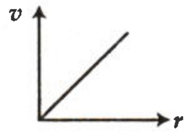
Note : তড়িৎ দ্বিমেরুর একক কুলম্ব-মিটার।

১৩১। চার্জিত গোলকের জন্য দূরত্ব বনাম বিভবের লেখচিত্রটি হবে– [রা. বো. ২০২৪; চ. বো. ২০১৭]

ক


খ


গ


ঘ


১৩২। তড়িৎ বিভবের ঋণাত্মক গ্রেডিয়েন্টকে কী বলে? [কু. বো. ২০২৪]

ক চার্জ ঘনত্ব
খ তড়িৎ ফ্লাক্স
গ তড়িৎ প্রাবল্য
ঘ ধারকত্ব

১৩৩। শূন্য মাধ্যমে 1C ধনাত্মক চার্জ হতে কত তড়িৎ ফ্লাক্স নির্গত হবে? [দি. বো. ২০২৪]

ক 8.85×10^{-12} Nm^2C^{-1}
খ 8.85×10^{12} Nm^2C^{-1}
গ 1.1×10^{-11} Nm^2C^{-1}
ঘ 1.1×10^{11} Nm^2C^{-1}

১৩৪। একটি সরু তারের দৈর্ঘ্য 4m। এটিতে $+6\mu C$ চার্জ থাকলে— [কু. বো. ২০২৪]

i. তারটি থেকে তড়িৎ বলরেখা বাইরের দিকে নির্গত হয়
ii. তারটির একক দৈর্ঘ্য চার্জের পরিমাণ 1.5×10^{-6} Cm^{-1}
iii. তারটির কেন্দ্র হতে 2 m দূরে তড়িৎ প্রাবল্যের মান 13.48×10^3 Vm^{-1}

নিচের কোনটি সঠিক?

ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

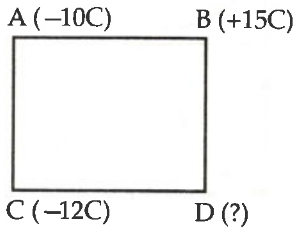
Hints : $\lambda = \frac{q}{l}$, $E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \times \frac{\lambda}{r}$

১৩৫। একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর ক্ষেত্রে তড়িৎ বিভবের মান দূরত্বের (r) সাথে কীভাবে পরিবর্তিত হয়?

[ব. বো. ২০২৪]

ক r^{-1}
খ r^{-2}
গ r^{-3}
ঘ r^{-4}

১৩৬। চিত্রে বর্গক্ষেত্রের D বিন্দুতে কত চার্জ স্থাপন করলে এর কেন্দ্রের বিভব শূন্য হবে?



ক — 15C
খ — 13C
গ — 10C
ঘ 0C

১৩৭। দুটি ধারক শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 2·4 μF হয়। একটি ধারকের ধারকত্ব 6 μF হলে অন্যটির ধারকত্ব কত?

[JU Admission Test, 2023-24]

ক 3 μF
খ 4 μF
গ 2 μF
ঘ 6 μF

১৩৮। a দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দুটি বর্গাকার পাত দিয়ে গঠিত ধারক, যার পাত দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব d এবং $d << a$। ধারকের সমস্ত রৈখিক মাত্রা তিনগুণ করা হলে ধারকত্ব কতগুণ পরিবর্তন হবে?

[DU Admission Test, 2022-23]

ক $\frac{1}{3}$
খ 1
গ 3
ঘ 9

১৩৯। দুটি আহিত বস্তু পরস্পরের সাথে সংযুক্ত করলে আধানের প্রবাহ যে দিকে হবে তা কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে?

[Medical Admission Test, 2023-24]

ক তড়িৎ বিভব
খ তড়িৎ প্রাবল্য
গ আধানের পরিমাণ
ঘ তড়িৎ ক্ষেত্র

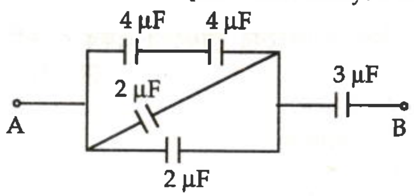
১৪০। পদার্থবিজ্ঞান ল্যাবরেটরিতে একজন ছাত্র 0·4 m এবং 0·6 m ব্যাসার্ধের দুটি গোলককে চার্জিত করে, গোলক দুটির বিভব যথাক্রমে 5V এবং 10V এ উন্নিত করে পরস্পর হতে 1m দূরত্বে স্থাপন করল। গোলকদ্বয়ের সংযোগ রেখার কোথায় প্রাবল্যের মান শূন্য হবে?

[CKRUET 2023-24]

ক 37·0 m
খ 0·47 m
গ 0·36 m
ঘ 36 m

১৪১। নিচের বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব কত μF?

[GST university, 2023-24]



ক 1
খ 2
গ 3
ঘ 2·2

১৪২। পাত দূরত্ব d এবং ধারকত্ব C, এমন একটি সমান্তরাল পাত–ধারকের পাত দুটির মাঝখানে $\frac{d}{2}$ পুরুত্ববিশিষ্ট একটি ধাতব পাত স্থাপন করা হলো। নতুন ধারকত্ব কত হবে?

[DU Admission Test, 2023-24]

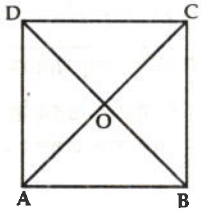
ক $\frac{C}{d}$
খ $\frac{C}{2}$
গ $4Cd$
ঘ $2C$

উত্তর :

১। ক	২। গ	৩। গ	৪। ক	৫। গ	৬। ঘ	৭। ক	৮। খ	৯। খ	১০। খ
১১। ঘ	১২। গ	১৩। খ	১৪। গ	১৫। গ	১৬। ঘ	১৭। খ	১৮। গ	১৯। খ	২০। খ
২১। খ	২২। খ	২৩। গ	২৪। ঘ	২৫। ঘ	২৬। ঘ	২৭। খ	২৮। ক	২৯। গ	৩০। খ
৩১। খ	৩২। গ	৩৩। খ	৩৪। গ	৩৫। ঘ	৩৬। ক	৩৭। ক	৩৮। খ	৩৯। ঘ	৪০। খ
৪১। গ	৪২। গ	৪৩। খ	৪৪। খ	৪৫। গ	৪৬। খ	৪৭। গ	৪৮। গ	৪৯। ক	৫০। ঘ
৫১। ঘ	৫২। ক	৫৩। গ	৫৪। খ	৫৫। ক	৫৬। গ	৫৭। গ	৫৮। গ	৫৯। ক	৬০। খ
৬১। ক	৬২। ঘ	৬৩। ক	৬৪। ক	৬৫। গ	৬৬। ক	৬৭। ঘ	৬৮। ঘ	৬৯। গ	৭০। ক
৭১। গ	৭২। গ	৭৩। গ	৭৪। খ	৭৫। খ	৭৬। ক	৭৭। গ	৭৮। ক	৭৯। ঘ	৮০। গ
৮১। খ	৮২। খ	৮৩। খ	৮৪। ঘ	৮৫। গ	৮৬। গ	৮৭। ঘ	৮৮। ক	৮৯। গ	৯০। ক
৯১। গ	৯২। খ	৯৩। গ	৯৪। গ	৯৫। খ	৯৬। গ	৯৭। গ	৯৮। ক	৯৯। খ	১০০। ঘ
১০১। খ	১০২। ঘ	১০৩। ক	১০৪। ক	১০৫। খ	১০৬। খ	১০৭। গ	১০৮। খ	১০৯। ক	১১০। গ
১১১। গ	১১২। ঘ	১১৩। ক	১১৪। গ	১১৫। ঘ	১১৬। ঘ	১১৭। খ	১১৮। ক	১১৯। খ	১২০। গ
১২১। খ	১২২। ক	১২৩। খ	১২৪। ক	১২৫। ঘ	১২৬। ক	১২৭। গ	১২৮। গ	১২৯। ঘ	১৩০। খ
১৩১। ক	১৩২। গ	১৩৩। ঘ	১৩৪। ঘ	১৩৫। খ	১৩৬। খ	১৩৭। খ	১৩৮। গ	১৩৯। গ	১৪০। গ
১৪১। খ	১৪২। ঘ								

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

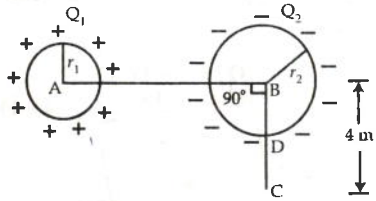
১। 10 cm বাহুবিশিষ্ট ABCD বর্গক্ষেত্রের A, B ও C বিন্দুতে যথাক্রমে 2C, – 2C ও 2C চার্জ আছে।



(ক) D বিন্দুতে বিভব নির্ণয় কর।

(খ) D বিন্দুতে প্রাবল্য বের করে এর দিক বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০১৬]

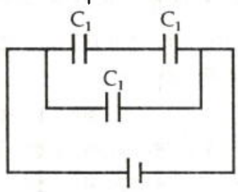
২। নিচের চিত্রে A ও B কেন্দ্রবিশিষ্ট দুটি গোলক বায়ু মাধ্যমে স্থাপন করা হয়েছে; যেখানে $Q_1 = 2 \times 10^{-9}$ C, $Q_2 = 3 \times 10^{-9}$ C, $r_1 = 1$m, $r_2 = 2$m এবং $AB = 4\sqrt{3}$m।



(ক) উদ্দীপকে BD এর মধ্যবিন্দুতে মোট তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

(খ) C বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে উহা কোনদিকে গতিশীল হবে?—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০১৬]

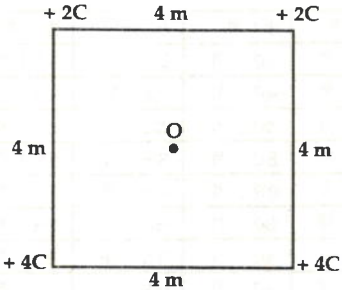
৩। পাশের বর্তনীতে যুক্ত ধারকগুলোর প্রতিটির মান 0·2 μF।



(ক) বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনী হতে C_3-কে সরিয়ে নিলে সঞ্চিত তড়িৎ শক্তির কীরূপ পরিবর্তন হবে গাণিতিক বিশ্লেষণ দাও। [ব. বো. ২০১৯]

৪।

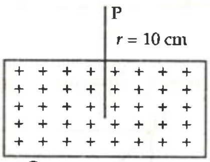


পরবর্তীতে বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্র (O)-তে + 1C চার্জে চার্জিত 9·8 kg ভরের একটি বস্তু রাখা হলো।

(ক) উদ্দীপকে 'O' বিন্দুতে বিভব কত?

(খ) ২য় ক্ষেত্রে বস্তুটি সাম্যাবস্থায় থাকবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মন্তব্য কর। [সি. বো. ২০১৯]

৫।



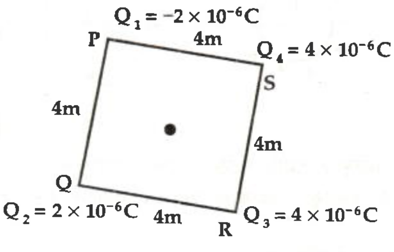
(ব্যবস্থাটি বায়ু মাধ্যমে স্থাপিত)

চিত্রে ধনাত্মকভাবে চার্জিত অসীম বিস্তৃতির তল যার চার্জের তলমাত্রিক ঘনত্ব $2{\cdot}5\ \mu C/m^2$। তল হতে খাড়া ওপরে 10 cm দূরত্বে P একটি বিন্দু। [অভিকর্ষজ ত্বরণ $10\ ms^{-2}$ এবং বায়ু মাধ্যমে ভেদনযোগ্যতা $8{\cdot}854 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$]

(ক) P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

(খ) কোনো অবলম্বন ছাড়া কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে 2 mg ভরের একটি শোলা বল P বিন্দুতে স্থির অবস্থায় থাকবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [মাদরাসা বোর্ড ২০১৯]

৬। চিত্রে প্রদর্শিত উল্লম্ব তলে রক্ষিত বর্গাকার ক্ষেত্রের চার কৌণিক বিন্দুতে চারটি চার্জ স্থাপন করা হলো। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে 2×10^{-6} C মানের চার্জযুক্ত $2{\cdot}5 \times 10^{-4}$ kg ভরের একটি বস্তু শূন্যে স্থাপন করা হয়। ($g = 10\ ms^{-2}$)



(ক) বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে নতুন চার্জটি বসানোর পূর্বে বিভবের মান নির্ণয় কর।

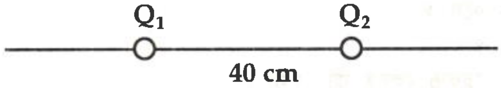
(খ) উদ্দীপকে কৌণিক বিন্দুগুলোর চার্জসমূহ পুনর্বিন্যস্ত করে কেন্দ্রের চার্জিত বস্তুটিকে ভাসমান রাখা সম্ভব—গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে দেখাও। [কু. বো. ২০১৭]

৭। নোহার নিকট তামার দুই জোড়া পাতলা পাত আছে। এক জোড়ার ক্ষেত্রফল অপর জোড়ার ক্ষেত্রফলের 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 $8\ cm^2$।

(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 ? [দি. বো. ২০১৫]

৮। উদ্দীপকে $Q_1 = -4{\cdot}5\ nC$ এবং $Q_2 = +9{\cdot}1\ nC$ চার্জদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 40 cm।



(ক) চার্জদ্বয়ের মধ্য বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য কত হবে ?

(খ) চার্জদ্বয়ের সংযোগ রেখার কোন বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হবে—বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০১৭]

৯। A গোলকে 30×10^{-6} C এবং B গোলকে -60×10^{-6} C চার্জ প্রদান করে বায়ু মাধ্যমে $1{\cdot}4$ m দূরে স্থাপন করলে গোলক দুটির বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

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

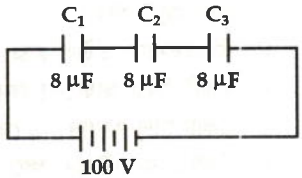
(খ) উদ্দীপকে গোলকের আধানের মান অপরিবর্তিত রেখে এদের মধ্যকার দূরত্ব 100 cm করলে এদের মধ্যবিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

১০। 200 V বৈদ্যুতিক সরবরাহের সাথে যুক্ত একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল 100 cm^2 এবং পাতগুলি বায়ু মাধ্যমে 2 mm দূরত্বে রাখা আছে। এরপর দুই পাতের মধ্যে K = 6 পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকবিশিষ্ট পদার্থ ভরে দেওয়া হলো।

(ক) বায়ু মাধ্যমে ও পরাবৈদ্যুতিক পদার্থের মাধ্যমে ধারকত্ব নির্ণয় কর।

(খ) এই পরিবর্তনের সময় : (i) উৎস যুক্ত থাকলে এবং (ii) উৎস খুলে রাখলে ধারকের আধান ও বিভব পার্থক্যের কী পরিবর্তন হবে? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

১১। নিচের বর্তনীটি লক্ষ কর :



(ক) উদ্দীপকে উল্লিখিত ধারক সমবায়ের জন্য প্রতিটি ধারকে সঞ্চিত চার্জের পরিমাণ কত ?

(খ) সর্বাধিক শক্তি সঞ্চয়ের জন্য ওপরের সমবায়টি কী যথার্থ ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৫]

১২। পদার্থবিজ্ঞান ল্যাবরেটরিতে একজন ছাত্র $0{\cdot}2$ m ও $0{\cdot}3$ m ব্যাসার্ধের দুটি গোলককে চার্জিত করে গোলক দুটির বিভব যথাক্রমে 5V ও 10 V এ উন্নীত করে পরস্পর হতে 1 m দূরে স্থাপন করল।

(ক) উদ্দীপকের প্রথম গোলকের চার্জের পরিমাণ নির্ণয় কর।

(খ) গোলকদ্বয়ের সংযোগ সরলরেখার কোথায় প্রাবল্যের মান শূন্য হবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও। [য. বো. ২০১৬]

(গ) সংক্ষিপ্ত-উত্তর প্রশ্ন

১। বিন্দু চার্জ কাকে বলে ? [চ. বো. ২০২২; দি. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৬]

২। তড়িৎ দ্বিমেরু কাকে বলে ? [রা. বো. ২০২৩, ২০১৯, ২০১৬; য. বো. ২০২৩, ২০২২, ২০১৯, ২০১৭; ঢা. বো. ২০২২, ২০১৯; ব. বো. ২০১৯, ২০১৫; কু. বো. ২০১৯, ২০১৫]

৩। গাউসের সূত্র বিবৃত কর। [ব. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২২; দি. বো. ২০২২, ২০১৫; ঢা. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৬]

৪। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক কাকে বলে ? [সি. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৭, ২০১৬]

৫। পরাবিদ্যুৎ বা ডাইইলেকট্রিক কী ? [য. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০১৬]

৬। পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক কাকে বলে ? [সি. বো. ২০২৩, ২০১৮, ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০১৮, ২০১৬]

৭। গাউসীয় তল কী ? [রা. বো. ২০২২; চ. বো. ২০১৫]

৮। চার্জের কোয়ান্টায়ন কাকে বলে ? [কু. বো. ২০২২; চ. বো. ২০২২; ব. বো. ২০২২; সি. বো. ২০১৯; রা. বো. ২০১৭, ২০১৫]

৯। চার্জের তল ঘনত্ব কাকে বলে ? [সি. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২২; রা. বো. ২০১৫]

১০। অতিপরিবাহিতা কাকে বলে ? [য. বো. ২০১৫]

১১। কুলম্বের সূত্র বিবৃত কর।

১২। 1 কুলম্বের সংজ্ঞা দাও। [ঢা. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২২; সি. বো. ২০২২]

১৩। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলতে কী বোঝ ?

১৪। সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বলতে কী বোঝায় ?

১৫। তড়িৎ ফ্লাক্স কাকে বলে ? [রা. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২৩]

১৬। তড়িৎ বলরেখা কী ?

১৭। কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব বলতে কী বোঝ ?

১৮। তড়িৎ দ্বিমেরুর স্থিতিশক্তি বলতে কী বোঝ ?

১৯। 1V বিভব পার্থক্য বলতে কী বোঝ ?

২০। ধারকে কী ধরনের শক্তি সঞ্চিত থাকে ?

২১। পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরা হয় কেন ?

২২। আধান সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তি বলতে কী বোঝ ?

২৩। কীভাবে ক্ষেত্রফলকে ভেক্টররূপে প্রকাশ করা হয় ?

২৪। তড়িৎ বিভব কী ? [দি. বো. ২০১৯]

২৫। ধারকত্বের সংজ্ঞা দাও। [ব. বো. ২০২৩, ২০২২; ম. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০১৯]

২৬। এক ফ্যারাড কী ? [ঢা. বো. ২০২২; রা. বো. ২০২২; চ. বো. ২০১৯]

২৭। তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক কাকে বলে ?
[ঢা. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬, ২০১৫; দি. বো. ২০১৬, অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

(ঘ) কাঠামোবদ্ধ ও বর্ণনামূলক প্রশ্ন

১। ক্ষেত্রতত্ত্বটি লিখ।

২। কী অবস্থায় তড়িৎ ফ্লাক্স ধনাত্মক ও ঋণাত্মক হয় ?

৩। একটি স্থির আধানের জন্য যে কোনো বিন্দুতে উৎপন্ন তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

৪। একটি বিন্দু আধান $+q$ থেকে r দূরত্বে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

৫। চার্জের কোয়ান্টায়ন বলতে কী বুঝ ? [দি. বো. ২০১৭] চার্জের সংরক্ষণশীলতার নীতিটি লিখ।

৬। S. I.-তে তড়িৎ প্রাবল্যের একক N/C-কে V/m এককে প্রকাশ কর।

৭। দুটি তড়িৎ বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করে না—ব্যাখ্যা কর।

৮। দুটি $+q$ মানের বিন্দু আধান বায়ুতে r দূরত্বে রয়েছে। তড়িৎ বলরেখাগুলো অঙ্কন কর।

৯। তড়িৎ ক্ষেত্র উদাসীন বিন্দু বলতে কী বোঝ ? তড়িৎ ক্ষেত্রে এ ধরনের কোনো বিন্দু থাকে কী ?

১০। তড়িৎ বলরেখার ধর্মসমূহ উল্লেখ কর।

১১। তড়িৎক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য বলতে কী বোঝ ?

১২। একক চার্জ দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র সুষম হয় না কেন ? [রা. বো. ২০১৯, ২০১৫]

১৩। কোনো গোলাকার পরিবাহীর আধান 4 গুণ করা হলে এর চার্জের তল ঘনত্বের পরিবর্তন কীরূপ হবে ?
[ব. বো. ২০১৯]

১৪। কোনো বস্তুতে যে কোনো মানের আধান থাকতে পারে না—ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৯]

১৫। কোনো বস্তুর চার্জ $0{\cdot}8 \times 10^{-19}$ C হতে পারে না—ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২৩;
সি. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০১৯]

১৬। চার্জিত গোলাকার পরিবাহীর কেন্দ্রে ও পৃষ্ঠে বিভব সমান—ব্যাখ্যা কর।
[দি. বো. ২০১৯, ২০১৮; ঢা. বো. ২০১৮; সি. বো. ২০১৮]

১৭। গোলকের অভ্যন্তরে সকল বিন্দুর বিভব সমান—ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৯]

১৮। কোনো সমবিভব তলে চার্জ স্থানান্তরে কৃত কাজ শূন্য—ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৭]

১৯। তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য শূন্য হলে বিভবও কি শূন্য হয় ? [দি. বো. ২০২২; কু. বো. ২০১৯]

২০। ইলেকট্রন ভোল্ট কাকে বলে ? [ঢা. বো. ২০১৯] তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক কী ? [কু. বো. ২০১৭, ২০১৬]
পোলার ডাই-ইলেকট্রিক কাকে বলে ? [সি. বো. ২০১৯]

২১। পৃথিবীর বিভব শূন্য—এই উক্তির ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৭]

২২। দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য তাদের সংযোগকারী পথের ওপরে নির্ভর করে না ? —ব্যাখ্যা কর।

২৩। একটি বিন্দু আধান $+q$ থেকে r দূরত্বে বিভব নির্ণয় কর। আধানটিকে K পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকবিশিষ্ট একটি মাধ্যমে রাখলে বিভবের কী পরিবর্তন লক্ষ করা যাবে ?

২৪। ইলেকট্রন ভোল্ট কাকে বলে ? একে জুল এককে প্রকাশ কর। [চ. বো. ২০২৩]

২৫। তড়িৎ বিভব এবং তড়িৎ স্থিতিশক্তির মধ্যে পার্থক্য কী ?

২৬। তড়িৎ দ্বিমেরু বলতে কী বোঝ ? এর অভিমুখ কী ? [ঢা. বো. ২০১৯; রা. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৯]

২৭। তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক কাকে বলে ? [কু. বো. ২০১৭, ২০১৬]

২৮। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি তড়িৎ দ্বিমেরুকে যে কোনো কোণে ঘোরাতে কৃত কাজ নির্ণয় কর।

২৯। তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্বসমদ্বিখণ্ডকের উপরিস্থিত কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর। দেখাও যে, কোনো লম্ব দ্বিখণ্ডকের উপরিস্থিত কোনো বিন্দুতে চার্জ গতিশীল রাখতে কোনো কাজ করতে হয় না। [দি. বো. ২০১৯]

৩০। সুষম তড়িৎক্ষেত্রে অবস্থিত তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপর প্রযুক্ত টর্ককে ভেক্টররূপে প্রকাশ কর।

৩১। তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য যে কোনো বিন্দুতে $P(r, \theta)$-তে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর।

৩২। সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপরে ক্রিয়াশীল টর্কের মান কখন সর্বাধিক এবং কখন সর্বনিম্ন হয় ? মানগুলি কত ?

৩৩। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু অক্ষে অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা নির্ণয় কর।

৩৪। দেখাও যে, একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্বসমদ্বিখণ্ডকের ওপরে অবস্থিত যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য।

৩৫। চার্জিত গোলকের কেন্দ্রে প্রাবল্য শূন্য কেন ? [ঢা. বো. ২০২২, ২০১৬]

৩৬। কোনো বস্তুকে হাত দ্বারা ঘর্ষণ করলে উহা আহিত হয় না কেন ? ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৬]

৩৭। তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর বিভব 15V বলতে কী বোঝায় ? [দি. বো. ২০১৬]

৩৮। বিভব পার্থক্যের SI একক $kgm^2A^{-1}s^{-3}$ ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০১৫]

৩৯। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব $16{\cdot}4\ \mu F$ বলতে কী বোঝায় ? [চ. বো. ২০১৫]

৪০। তুল্য রোধ ও তুল্য ধারকত্বের মধ্যে পার্থক্য লিখ। [য. বো. ২০১৫]

৪১। সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী মাধ্যমের ওপর নির্ভর করে কি ? ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৯]

৪২। চার্জিত সমান্তরাল পাত ধারকের বাইরে তড়িৎক্ষেত্র থাকে না—ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৯]

৪৩। কোন ধারকের গায়ে $0{\cdot}06\mu F$ — 210 V লেখা আছে। কথাটির অর্থ কী ? [চ. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০১৭]

৪৪। গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব ব্যাসার্ধের ওপর নির্ভরশীল—ব্যাখ্যা কর। [য. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০১৯]

৪৫। ধারকে কীভাবে শক্তি সঞ্চিত হয় ? [কু. বো. ২০১৬]

৪৬। পানির পরাবৈদুতিক ধ্রুবকের মান বেশি হওয়া সত্ত্বেও কেন ডাই ইলেকট্রিক হিসেবে পানি ব্যবহার করা হয় না ? [য. বো. ২০১৯]

৪৭। গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ বাড়লে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায় কেন ? [ম. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০১৯; দি. বো. ২০১৫]

৪৮। দুটি বিন্দুর বিভব পার্থক্য 10V বলতে কী বোঝায় ? [কু. বো. ২০২২; দি. বো. ২০১৫]

৪৯। ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের ওপর নির্ভর করে ? [ব. বো. ২০১৫]

৫০। কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের ওপর নির্ভর করে ?

৫১। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্বের রাশিমালা নির্ণয় কর।

৫২। পানির ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক '80' বলতে কী বোঝায় ?

৫৩। দুটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব ক্ষুদ্রতর মানের ধারকত্ব অপেক্ষা কম হয়—প্রমাণ কর।

৫৪। কতকগুলো ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব কত হবে নির্ণয় কর।

৫৫। কতকগুলো ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে তুল্য 'ধারকত্ব কত হবে নির্ণয় কর।

৫৬। কোনো ধারককে কি যে কোনো উচ্চমানের বিভবে আহিত করা সম্ভব ?

৫৭। দুটি ধারককে কীভাবে যুক্ত করলে প্রত্যেকের আধান একই থাকে ?

৫৮। কয়েকটি ধারককে কীভাবে যুক্ত করলে প্রত্যেকের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য একই থাকবে ?

৫৯। একটি সমান্তরাল পাত ধররকের সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।

৬০। ধারকে সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।

৬১। দেখাও যে, সুষমভাবে আহিত পরিবাহী খোলকের কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের ক্ষেত্রে তড়িৎ আহিত খোলকটি এমন ব্যবহার করে যেন তার সমস্ত আধান এর কেন্দ্রে অবস্থিত।

৬২। কুলম্বের সূত্রের সীমাবন্ধতা আলোচনা কর। [ম. বো. ২০২৩]

৬৩। কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন কর।

৬৪। গাউসের সূত্র ব্যবহার করে সুষমভাবে আহিত এবং অন্তরীত পরিবাহী গোলকের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

৬৫। গাউসের সূত্রের সাহায্যে অসীম দৈর্ঘ্যের তার থেকে r দূরত্বে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর। ওই তরটির একক দৈর্ঘ্যে λ পরিমাণ তড়িৎ আধান রয়েছে। [দি. বো. ২০২২]

৬৬। গাউসের সূত্রের সাহায্যে দেখাও যে, আহিত গোলকের অভ্যন্তরে ক্ষেত্র প্রাবল্য শূন্য।

৬৭। গাউসের সূত্র প্রয়োগ করে সুষমভাবে আহিত পাতলা গোলীয় খোলকের জন্য বহিস্থ ও অন্তস্থ বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর।

(ঙ) ক্রিয়াকর্ম

প্রতিবেদন রচনা : স্থির তড়িতের ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র এবং গাউসের সূত্রের সীমাবন্ধতার ওপর প্রতিবেদন রচনা কর। শ্রেণি শিক্ষকের নিকট জমা দেওয়ার পর শিক্ষক মহোদয় সবচেয়ে ভালো প্রতিবেদনটি ক্লাসে উপস্থাপন করবেন।

(চ) 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] [উ. $q = \pm 2 \times 10^{-9}$ C]

২। 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। [উ. $3·6 \times 10^{14}$ N]

৩। 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। [উ. 5×10^{-9} C এবং 20×10^{-9} C]

৪। একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটন 1 Å দূরত্বে থাকলে এদের মধ্যে স্থির বিদ্যুৎ বলের জন্য ত্বরণ নির্ণয় কর। [উ. $a_e = 2·5 \times 10^{22}$ ms^{-2}, $a_P = 1·4 \times 10^{19}$ ms^{-1}]

৫। দুটি সমান চার্জ Q-এর সংযোজনকারী সরলরেখার মধ্যবিন্দুতে q চার্জ স্থাপন করা হলো। q চার্জের মান কত হলে তিনটি চার্জের সংস্থাটি সাম্যাবস্থায় থাকবে? [উ. $q = -\frac{Q}{4}$]

৬। যথাক্রমে 8×10^{-6} C ও -2×10^{-6} C আধানযুক্ত দুটি কণা A ও B-কে 20 cm ব্যবধানে দৃঢ়ভাবে রাখা আছে। তৃতীয় একটি তড়িদাধানযুক্ত কণাকে কোথায় রাখা হলে সেটি কোনো তড়িৎ বল অনুভব করবে না ?

[উ. A ও B এর বাহিরে 0·2 m দূরে]

৭। সমান চার্জযুক্ত প্রতিটি 3 mm ব্যাসার্ধের 27টি পানির ফোঁটা একত্রিত হয়ে একটি বড় ফোঁটায় পরিণত হয়। বড় ফোঁটা ও প্রতিটি ছোট ফোঁটার চার্জের তল ঘনত্বের অনুপাত নির্ণয় কর। [উ. 3 : 1]

৮। 4 cm ও 8 cm ব্যাসার্ধের দুটি গোলকের প্রতিটিতে একই পরিমাণ চার্জ রয়েছে। এদের চার্জের তল ঘনত্বের অনুপাত বের কর। [উ. 4 : 1]

৯। বায়ুতে 50 C চার্জ হতে 2 m দূরত্বে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উ. $11·25 \times 10^{10}$ N/C]

১০। 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) ওই বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত ? (খ) ওই বিন্দুতে স্থাপিত একটি ইলেকট্রনের ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান ও দিক কী হবে ? [উ. (ক) 4N/C, (খ) $6·4 \times 10^{-19}$ N নিম্নমুখী]

১১। পরস্পর হতে 0·20 m দূরে বায়ুতে অবস্থিত 40C এবং 60C দুটি চার্জের সংযোজক সরলরেখার ঠিক মধ্যস্থলে প্রাবল্য কত হবে ? [উ. $1·8 \times 10^{13}$ N/C]

১২। $+1.5\times10^{-6}$ C এবং $+3\times10^{-6}$ C আধানের দূরত্ব 10 m। তাদের সংযোজক সরলরেখার কোন্ কোন্ বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের পরিমাণ শূন্য হবে ? [ঢা. বো. ২০০৯]

[উ. দুর্বল চার্জ বা প্রথম চার্জ হতে সবল চার্জের দিকে 4.1m দূরে প্রাবল্য শূন্য হবে।]

১৩। 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]

[উ. 4.5×10^{9} N/C ; C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য AB-এর সমান্তরাল হবে]

১৪। 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।

[উ. (ক) শূন্য; (খ) 10^5 NC^{-1} ; (গ) 4.44×10^4 NC^{-1}]

১৫। 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।

[উ. (i) 0; (ii) 1.125×10^6 NC^{-1}]

১৬। 10×10^{-19}C আধান এবং 5g ভরের একটি কণা 500 V বিভব পার্থক্যে 300 cm দূরত্বে যায়। কণাটি যদি স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা শুরু করে তবে গতিবেগ ও ত্বরণ কত ? [উ. 0.04899 ms^{-1}; 0.0004 ms^{-2}]

১৭। প্রাথমিকভাবে স্থির একটি ইলেকট্রন 100 V বিভব পার্থক্য অতিক্রমের পর কত অন্তিম বেগ অর্জন করে ? ইলেকট্রনের ভর ও আধান যথাক্রমে 9×10^{-31} kg এবং 1.6×10^{-19} C। [উ. 8×10^6 ms^{-1}]

১৮। 10, -5 এবং 3 C মানের তিনটি চার্জ 0.10 m ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধির তিনটি ভিন্ন বিন্দুতে অবস্থিত। বৃত্তের কেন্দ্রে বিভব কত ? [উ. 72×10^{10} Volt]

১৯। নিরবচ্ছিন্নভাবে বন্টিত অসীম রৈখিক আধান থেকে 2 cm দূরে 9×10^4 NC^{-1} তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে। আধানের রৈখিক ঘনত্ব নির্ণয় কর। [উ. 2×10^{-7} C m^{-1}]

২০। 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] [উ. -4 C]

২১। একটি বিন্দু আধান থেকে 20 cm দূরে তড়িৎ বিভবের মান 50 V। ওই বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান কত ?

[উ. 250 Vm^{-1}]

২২। 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 ? [উ. 8×10^{-6} N]

২৩। $V=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$ সমীকরণ থেকে প্রমাণ কর যে, $E=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{Q}{r^2}$।

২৪। 10 cm ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের পরিধিতে 10C মানের দুটি চার্জ স্থাপন করা হয়েছে। বৃত্তের কেন্দ্রে তড়িৎ বিভবের মান নির্ণয় কর। [উ. 18×10^{11} V] [D. U. Admission Test, 2010-11]

২৫। দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য 322 kV। এদের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে 9μF চার্জ স্থানান্তর করলে কৃত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। [উ. 2.89 J] [BUET Admission Test, 2008-09]

২৬। 3×10^{-10} C আধানযুক্ত একটি গোলাকার তেলের ফোঁটার তলের বিভব 500 V। যদি এরকম দুটি ফোঁটা মিলে একটি গোলাকার ফোঁটার সৃষ্টি হয় তাহলে উক্ত ফোঁটার তলের বিভব কত হবে ? [উ. 793.7 V]

($\epsilon_0=8.85\times10^{-12}$ C^{2}N^{-1}m^{-2})

[BUET Admission Test, 2008-09]

২৭। একটি গোলকের কেন্দ্রে (-1 m, 2m, 3m) বিন্দুতে তড়িৎ বিভব রয়েছে : $V=10x^2-5y^2-3z^2$। ওই বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের তিনটি উপাংশ নির্ণয় কর। [উ. $E_x=20$ Vm^{-1}, $E_y=-20$ Vm^{-1}, $E_z=18$ Vm^{-1}]

২৮। তড়িৎ বিভব প্রকাশ করা হয়েছে $V=6x-8xy^2-8y+6yz-4z^2$। কেন্দ্রে 2C চার্জ স্থাপন করলে এর ওপর ক্রিয়াশীল বলের মান কত হবে? [উ. 20 N]

২৯। b দৈর্ঘ্যের একটি বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি কৌণিক বিন্দুতে q চার্জ রয়েছে। এই চার্জ সমবায়ের জন্য বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয় কর। [উ. $\frac{4}{\sqrt{3}}\frac{q}{\pi\epsilon_0 b}$, শূন্য]

৩০। একটি ফাঁপা অন্তরিত ধাতব গোলকে সর্বোচ্চ কী পরিমাণ চার্জ প্রদান করা যেতে পারে যাতে বাতাসে ক্ষরণ না হয়। গোলকে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ বিভব কত? বাতাসে ক্ষরণ শুরুর তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান 3×10^6 Vm^{-1} ধরে নাও।

[উ. $q=3\times10^{-3}$ C, $V=9\times10^6$ V]

৩১। মিটার এককে প্রকাশিত একটি বিন্দু (x, y, z)-তে তড়িৎ বিভব V দেওয়া আছে, $V = 8x^2$ volt (1, 0, 2) বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র কত? [উ. $-8\hat{i}$ Vm^{-1}]

৩২। একই ব্যাসার্ধবিশিষ্ট 27টি গোলাকার পারদ বিন্দুর প্রত্যেকটিকে 10 V বিভবে আহিত করা হলো। পারদ বিন্দুগুলি পরস্পর সংযুক্ত হয়ে একটি বৃহৎ গোলাকার পারদ বিন্দুতে পরিণত হলে ওই বিন্দুর বিভব কত হবে? [উ. 90 V]

৩৩। কোনো স্থানে একটি তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E} = (20\hat{i} + 30\hat{j})$ NC^{-1}। যদি মূল বিন্দুতে তড়িৎ বিভব শূন্য হয়, তবে (2 , 2) স্থানাঙ্কে তড়িৎ বিভব কত হবে ? [উ. — 100V]

৩৪। বায়ু মাধ্যমে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু অক্ষের ওপর দ্বিমেরুর কেন্দ্র থেকে 5 cm দূরে তড়িৎ প্রাবল্য $2{\cdot}5 \times 10^4$ NC^{-1} এবং 10 cm দূরে তড়িৎ প্রাবল্য 2×10^3 NC^{-1}। তড়িৎ দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 0·05 m]

৩৫। 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 ওপর তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
[উ. 8×10^{-9} C m; 18×10^3 NC^{-1}]

৩৬। 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।
[উ. 36×10^4 NC^{-1}]

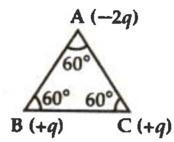
৩৭। H_2^1 অণু থেকে একটি ইলেকট্রন সরিয়ে নিলে একটি হাইড্রোজেন আণবিক আয়ন H_2^+ পাওয়া যায়। ভূমিস্তরে H_2^+ এর প্রোটন দুটির মধ্যে দূরত্ব $1{\cdot}5\mathring{A}$ (প্রায়) এবং ইলেকট্রনটি প্রত্যেক প্রোটন থেকে $1\mathring{A}$ দূরে আছে। সংস্থাটির স্থিতিশক্তি নির্ণয় কর। (উ. — 19·2 eV)

৩৮। 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 ? $(e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C)
[উ. $1{\cdot}6 \times 10^{-27}$ C m; ভ্রামকের অভিমুখ ইলেকট্রন থেকে পজিট্রনের দিকে]

৩৯। তিনটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 5μF, 10μF এবং 1 μF। এদের প্রথম ও তৃতীয়টিকে শ্রেণিতে সংযুক্ত করে দ্বিতীয়টির সাথে সমান্তরালে সংযুক্ত করা হলে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উ. 10·8 μF]
[BUET Admission Test, 2004-05]

৪০। 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 ? [উ. $1{\cdot}8 \times 10^{-29}$ C m]

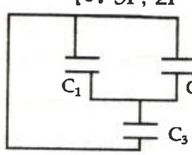
৪১। একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিনটি শীর্ষ বিন্দুতে তিনটি আধান $q, -2q$ ও q অবস্থিত। এদের তুল্য দ্বিমেরু ভ্রামকের মান কত ? [উ. $\sqrt{3}\,qa$]



৪২। একটি অন্তরীত পরিবাহীতে 500 C চার্জ প্রদান করায় এর বিভব 100 V হলো। পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উ. 5 F]

৪৩। দুটি ধারককে সমান্তরালে সংযুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 5F এবং শ্রেণিতে সংযুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 1·2F হয়। ধারক দুটির ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উ. 3F, 2F অথবা 2F, 3F]

৪৪। চিত্রে প্রদর্শিত ধারকসমূহের সমবায়ের জন্য তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। $C_1 = 10\mu F$, $C_2 = 5\mu F$ এবং $C_3 = 4\mu F$.
[উ. 3·16 μF]

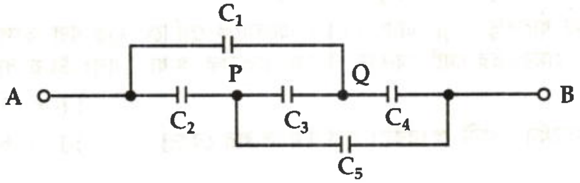


৪৫। 300 μμF এবং 500 μμF ধারকত্ববিশিষ্ট দুটি ধারক সমান্তরাল বিন্যাসে যুক্ত করে 120 ভোল্টের একটি ব্যাটারি ওই সমন্বয়ের ওপর প্রয়োগ করা হলো। প্রত্যেক ধারকের চার্জ এবং সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।
[উ. $3{\cdot}6 \times 10^{-8}$, 6×10^{-8} C এবং 8×10^{-10} F]

৪৬। 4μF ধারকত্ববিশিষ্ট একটি ইলেকট্রনিক্স যন্ত্রের টার্মিনালদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য 300 V হলে ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর। [উ. 0·18 J] [D. U. Admission Test, 2009-10]

৪৭। 0·1 μF এবং 0·01 μF ধারকত্বের দুটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়টিতে 25 V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হলো। তুল্য ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ কত ? ধারক দুটিকে এখন সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে সঞ্চিত শক্তির কী পরিবর্তন হবে ? [উ. $2·84 \times 10^{-6}$ J; $31·5 \times 10^{-6}$ J; শক্তি বৃদ্ধি পাবে]

৪৮।



ওপরের চিত্রে 5টি ধারককে একটি বর্তনীতে সাজানো হয়েছে। প্রত্যেক ধারকের ধারকত্ব C। A ও B বিন্দুর মধ্যে কার্যকর ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উ. $\frac{8}{5}$C]

৪৯। চার্জিত উৎসের ভোল্টেজ স্থির রেখে যদি একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পাত দুটির মধ্যে ব্যবধান 10% কমানো হয় তবে ধারকে সঞ্চিত শক্তির শতকরা পরিবর্তন কত হবে ? [উ. 11·1%]

৫০। 1 μC মানের দুটি বিপরীত চার্জ 2 cm দূরত্বে অবস্থান করে শূন্য মাধ্যমে একটি তড়িৎ দ্বিপোল সৃষ্টি করে। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর : (i) দ্বিপোলের অক্ষের ওপর অবস্থিত কেন্দ্র থেকে 60 cm দূরে একটি বিন্দুতে (ii) দ্বিপোলের সমদ্বিখণ্ডকের কেন্দ্র থেকে অভিলম্ব বরাবর 60 cm দূরে একটি বিন্দুতে।

[উ. (i) 666·6 NC^{-1}; অক্ষ বরাবর (ii) 833·3 NC^{-1}, দ্বিপোলের অক্ষের সমান্তরালে]

৫১। 2 cm দূরে স্থাপিত ± 2 μC চার্জ একটি তড়িৎ দ্বিপোল তৈরি করে। দ্বিপোলের সমদ্বিখণ্ডকের কেন্দ্র থেকে অভিলম্ব বরাবর 10 cm দূরে একটি বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয় কর। (দেওয়া আছে, $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10·1$ Nm^2C^{-2})

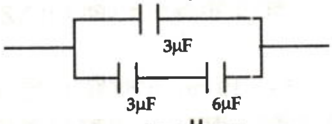
[উ. $3·6 \times 10^{-5}$ NC^{-1}]

৫২। একটি পরিবাহকের ধারকত্ব ও বিভব যথাক্রমে 10 একক ও 50 একক। অন্য একটি পরিবাহক B-এর ক্ষেত্রে ওই রাশিগুলোর মান যথাক্রমে 5 একক ও 5 একক। ওই দুটি পরিবাহক একটি পরিবাহক তার দ্বারা যুক্ত করলে পরিবাহক দুটিতে চার্জের পরিমাণ নির্ণয় কর। [উ. 550 একক, 275 একক]

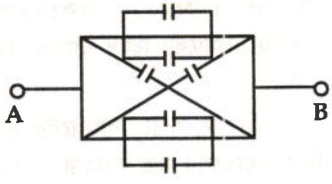
৫৩। বায়ু মাধ্যমে একটি বায়ু সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব 2pF পাত দুটির মধ্যে ব্যবধান দ্বিগুণ করলে এবং মধ্যবর্তী স্থান মোম দ্বারা পূর্ণ করলে যদি ধারকত্ব বৃদ্ধি পেয়ে 6 pF হয়, তবে মোমের ডাই ইলেকট্রিক ধ্রুবক কত? [উ. 6]

৫৪। একটি 20 μF ধারককে 50 ভোল্টে চার্জিত করা হলো, অতঃপর অচার্জিত 10 μF ধারকের সাথে যুক্ত করা হলো। সাধারণ বিভব এবং দুটি ধারকে সঞ্চিত শক্তির অনুপাত নির্ণয় কর। [উ. 13·33 V, 2 : 1]

৫৫। 3 μF, 3 μF ও 6 μF ধারকত্বের তিনটি ধারক কীভাবে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 5 μF পাওয়া যাবে?



৫৬। চিত্র অনুসারে 2 μF মানের ছয়টি ধারক সংযোগ দেওয়া হলো। A ও B বিন্দুর মধ্যে তুল্য ধারকত্ব কত? [উ. 12 μF]



৫৭। একজন ইলেকট্রিশিয়ান 1 kV বিভব পার্থক্যে বর্তনীতে 2 μF মানের ধারকত্ব প্রয়োজন। তাঁর কাছে 1 μF মানের বহু সংখ্যক ধারক রয়েছে যেগুলো প্রতিটি 400 V-এর বেশি বিভব পার্থক্যে ক্রিয়াশীল হয়। একটি সম্ভাব্য বিন্যাস নির্ণয় কর যাতে সর্বনিম্ন সংখ্যক ধারক ব্যবহার করা হয়। [উ. 6 সারি প্রতিটিতে 3টি করে ধারক সমান্তরাল সমবায়ে]

৫৮। তিনটি অভিন্ন ধারকের শ্রেণি সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব 1 μF । (ক) যদি এগুলো সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত হয় তবে তুল্য ধারকত্ব কত হবে? (খ) উভয় সমবায় যদি অভিন্ন উৎসের সাথে যুক্ত হয় তবে উভয় সমবায়ে সঞ্চিত শক্তির অনুপাত নির্ণয় কর। [উ. 9 μF, 1 : 9]

৫৯। একটি পানির ফোঁটা যার ধারকত্ব $1·0 \times 10^{-7}$ μC এবং ভর 10 μg। সাম্যাবস্থায় রাখতে স্থির বিদ্যুৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হবে? [উ. $9·8 \times 10^{5}$ NC^{-1}]

৬০। 500 μF ধারকত্বের একটি ধারককে 1000 V-এ আহিত করা হলো। ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমান কত ?
[উ. 25 J]

৬১। তিনটি ধারকের ধারকত্বের অনুপাত 1 : 2 : 3। শ্রেণি সমবায়ে এবং সমান্তরাল সমবায়ে এদের তুল্য ধারকত্বের পার্থক্য 6 μF। ধারকগুলির ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উ. 1·1 μF, 2·2 μF and 3·3 μF]

৬২। দুটি ধারকের ধারকত্ব 2 μF এবং 8 μF। এদেরকে শ্রেণিতে যুক্ত করা হলো এবং সমবায়টিতে 100 V বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করা হলো। সমবায়ের মোট আধান, উভয় ধারকের আধান এবং উভয় ধারকের বিভব পার্থক্য কত ?
[উ. $1{\cdot}6 \times 10^{-4}$C, $1{\cdot}6 \times 10^{-6}$C, 80V ও 20V]

৬৩। 0·2 m ব্যাসার্ধের একটি গোলকীয় গাউসীয় তলের কেন্দ্রে $2{\cdot}5 \times 10^{-6}$ C চার্জ স্থাপন করলে উক্ত তলে ফ্লাক্স কত হবে ? [উ. $2{\cdot}82 \times 10^{5}$ Wb]

৬৪। 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।
[উ. (i)$1{\cdot}5 \times 10^{-6}$ Cm^{-1} ; (ii) $1{\cdot}8 \times 10^{4}$ NC^{-1}]

৬৫। q কুলম্ব তড়িৎ আধান একটি ঘনকের কেন্দ্রে থাকলে প্রতিসাম্যের জন্য ঘনকের প্রতি তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে ? [উ. $\frac{1}{6}\cdot\frac{q}{\epsilon_0}$]

৬৬। একটি তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $\vec{E} = (5\hat{i} + 3\hat{j} + 2\hat{k})$ একক দ্বারা প্রকাশিত। ওই ক্ষেত্রে YZ তলে 200 একক ক্ষেত্রফল-বিশিষ্ট ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে তড়িৎ ফ্লাক্সের পরিমাণ নির্ণণ কর। [উ. 1000 একক]

[Hints : তড়িৎ ক্ষেত্র, $dS = 200\hat{j} + 200\hat{k}$

$\varphi = \vec{E}\cdot\vec{dS} = 600 + 400 = 1000$]

৬৭। বায়ুতে অবস্থিত 1 C ধনাত্মক আধান থেকে নির্গত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে ? [উ. $1{\cdot}13 \times 10^{11}$ Nm^2 C^{-1}]

[Hints : $\varphi = \frac{q}{\varepsilon_0}$]

৬৮। কোনো গোলকের অভ্যন্তরে শূন্যস্থানে অবস্থিত আধানের জন্য গোলকের সমতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স হলো $6{\cdot}5 \times 10^{3}$ Nm^{2}C^{-1}। গোলকের অভ্যন্তরস্থ আধানের মান নির্ণয় কর। [উ. $5{\cdot}755\times 10^{-8}$ C]

৬৯। $6{\cdot}5 \times 10^{3}$ Nm^{2}C^{-1} সংখ্যক তড়িৎ ফ্লাক্স একটি গোলকের মধ্যে শূন্য মাধ্যম কিছু পরিমাণ চার্জ থাকার কারণে গোলকের সাথে সংযুক্ত। চার্জের পরিমাণ বের কর। [উ. $5{\cdot}78 \times 10^{-8}$ C]

৭০। X-অক্ষ বরাবর 200 NC^{-1} মানের তড়িৎ ক্ষেত্র ক্রিয়াশীল রয়েছে। একটি YZ তলে একটি বর্গাকার তল যার বাহু 10 cm এর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে? [উ. 8 Nm^{2}C^{-1}]

৭১। একস্থানে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য, $4\hat{j} + 3\hat{k}$ NC^{-1} ক্রিয়াশীল। যদি 60 cm বাহুবিশিষ্ট বর্গক্ষেত্র স্থাপন করা হয় (i) YZ তলের সমান্তরালে এবং (ii) XZ তলের সমান্তরালে, তবে কী পরিমাণ তড়িৎ ফ্লাক্স অতিক্রম করবে?
[উ. (i) 6, (ii) 1·44 Nm^{2}C^{-1}]

৭২। 10 cm ব্যাসার্ধের কেন্দ্রে একটি চার্জের উপস্থিতির কারণে গোলকের তল দিয়ে — 6×10^{3} Nm^{2}C^{-1} তড়িৎ ফ্লাক্স অতিক্রম করে। (i) গোলকের অভ্যন্তরে চার্জের পরিমাণ কত? (ii) যদি একটি সমকেন্দ্রিক গোলাকার গাউসীয় তল গোলকের ব্যাসার্ধের দ্বিগুণ ব্যাসার্ধ দ্বারা আবৃত হয়, তবে ওই তল দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ ফ্লাক্স অতিক্রম করবে?
[উ. (i) — $5{\cdot}31 \times 10^{-8}$ C (ii) পূর্বের ন্যায় একই থাকবে]

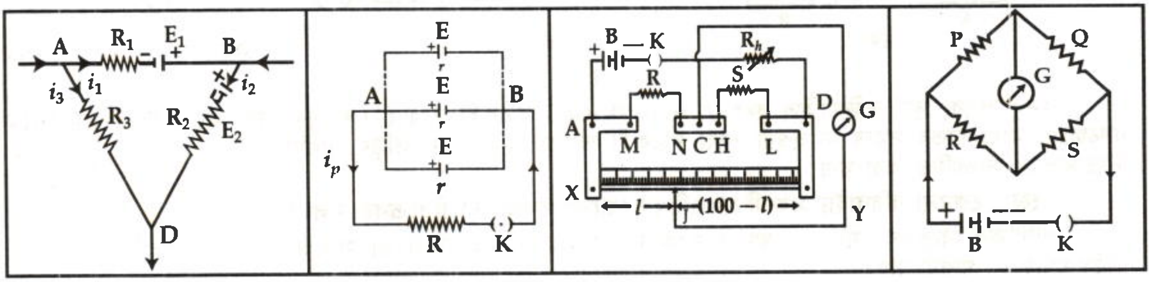
৭৩। R_1 ও R_2 ব্যাসার্ধের দুটি সমকেন্দ্রিক পাতলা ধাতব গোলক (এখানে $R_1 < R_2$) যথাক্রমে q_1 ও q_2 চার্জে চার্জিত। গাউসের সূত্র ব্যবহার করে দেখাও যে, (i) তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $r <$ R ব্যাসার্ধে শূন্য (ii) r ব্যাসার্ধে (যেখানে $R_1 < r < R_2$) তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r^2}$ এবং (iii) $r_2 >$ R ব্যাসার্ধে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 + q_2}{r^2}$।

৭৪। কোনো গোলাকার অভ্যন্তরে শূন্যস্থানে অবস্থিত আধানের জন্য গোলকের সমগ্রতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স হলো $6{\cdot}5 \times 10^{3}$ NM^{2}C^{-1}। গোলকের অভ্যন্তরে আধানের মান নির্ণয় কর।
($\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ C^{2}N^{-1}M^{-2}) [উ. $5{\cdot}75 \times 10^{-8}$C]

৩

চল তড়িৎ
CURRENT ELECTRICITY

প্রধান শব্দ (Key Words) : রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক, জুলের তাপীয় সূত্র, বিদ্যুৎ শক্তি ও ক্ষমতা, তাপীয় যান্ত্রিক সমতা, তড়িচ্চালক বল, অভ্যন্তরীণ রোধ, নষ্ট ভোল্ট, বিদ্যুৎ কোষের সমবায়, কির্শফের সূত্র, হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি, শান্টের ব্যবহার, পোটেনশিওমিটার, মিটার ব্রিজ, পোস্ট অফিস বক্স।



সূচনা
Introduction

এ অধ্যায়ে আমরা তড়িৎ আধান গতিশীল হওয়ার দরুন উদ্ভূত ঘটনাবলি সম্পর্কে আলোচনা করব। বস্তুত চলমান তড়িতাধানই তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। এই সকল ঘটনার অধ্যয়ন ও প্রয়োগ আমাদের জীবনযাত্রায় প্রভূত পরিবর্তন এনেছে। বিভিন্ন সামগ্রী উৎপাদনের ক্ষেত্রে বিদ্যুতের ব্যবহার অফুরন্ত। আমাদের চারপাশে দৈনন্দিন কাজে আমরা যা দেখি যেমন বৈদ্যুতিক পাখা, লাইট, রেফ্রিজারেটর সবই বিদ্যুৎ দ্বারা চালিত হয়। সংক্ষেপে বলা যায় আমরা বাস করছি বিদ্যুতের যুগে (age of electricity)। এ অধ্যায়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ সংক্রান্ত নানাবিধ নীতি, পরিমাপ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট ক্রিয়া সম্পর্কে জানতে সক্ষম হব।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

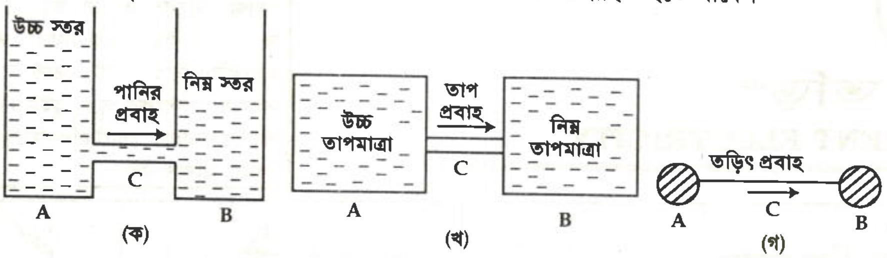
- রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব, তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবে।
  ব্যবহারিক : তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয় করতে পারবে।
- কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, তড়িচ্চালক বলের গাণিতিক সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- বর্তনীতে কোষের শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায় ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কির্শফের সূত্র ব্যবহার করে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয় করতে পারবে।
- বর্তনীতে শান্টের ব্যবহার করতে পারবে।
  ব্যবহারিক : (১) পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে তড়িচ্চালক বলের তুলনা,
  (২) মিটার ব্রিজের সাহায্যে আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় এবং
  (৩) পোস্ট অফিস বক্স ব্যবহার করে রোধ নির্ণয় করতে পারবে।

৩·১ তড়িৎ প্রবাহ
Electric current

তড়িৎ প্রবাহ হলো আধানের প্রবাহ। তড়িৎ প্রবাহকে পানি প্রবাহ অথবা তাপ প্রবাহের সাথে তুলনা করা যেতে পারে। যেখানে যথাক্রমে উঁচু লেভেল থেকে নিচু লেভেলে পানির অথবা বেশি তাপমাত্রার উৎস থেকে নিম্ন তাপমাত্রার আধারে তাপের প্রবাহ ঘটে। নল দ্বারা দুটি পাত্র যুক্ত করলে পানি উচ্চ লেভেল থেকে নিম্ন লেভেলের দিকে প্রবাহিত হয়। অনুরূপভাবে, তাপীয় পরিবাহী দ্বারা সংযুক্ত দুটি বস্তুর মধ্যে তাপ উৎস থেকে নিম্ন তাপমাত্রার গামলার দিকে তাপ প্রবাহিত হয়।

A ও B পাত্র দুটি C নল দ্বারা যুক্ত রয়েছে [চিত্র ৩·১(ক)]। পাত্র A থেকে পাত্র B-তে নল C-এর মধ্য দিয়ে পানির প্রবাহ ঘটে যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয় পাত্রের পানির লেভেল সমান হয়। চিত্র ৩·১(খ)–এ দুটি বস্তু A ও B দণ্ড C দ্বারা

যুক্ত। তাপমাত্রার পার্থক্য শূন্য না হওয়া পর্যন্ত নল C-এর মধ্য দিয়ে তাপ প্রবাহিত হতে থাকে।



চিত্র ৩·১

অনুরূপভাবে, দুটি তড়িতাহিত বস্তু A ও B-কে একটি পরিবাহী তার C দ্বারা যুক্ত করা হলো [চিত্র ৩·১(গ)]। বস্তুদ্বয়ের মধ্যে বিভব সমান না হওয়া পর্যন্ত পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ আধান প্রবাহিত হয়। তড়িৎ প্রবাহ নিম্নোক্তভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

সংজ্ঞা : কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ আধানের প্রবাহকে তড়িৎ প্রবাহ বলা হয়।

গাণিতিক বিশ্লেষণ : যদি Δq আদান যেকোনো প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে Δt সেকেন্ড সময় ধরে প্রবাহিত হলে গড় তড়িৎ প্রবাহ I_{av} পাওয়া যায়।

$$I_{av} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{বা, } \Delta q = I_{av} \times \Delta t$$

যদি স্থির প্রবাহ না হয় তবে তাৎক্ষণিক তিড়ৎ প্রবাহ নিম্নোক্তভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়,

$\boxed{I = \frac{dq}{dt}}$; এখানে তড়িৎ প্রবাহ সময়ের অপেক্ষক অর্থাৎ $I = I(t)$।

পরিবাহীর যেকোনো প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে 0 থেকে t সময়ের ব্যবধানে অতিক্রান্ত মোট তড়িৎ আধান অবকলনের মাধ্যমে পাওয়া যায়। অর্থাৎ,

$$q = \int dq = \int_0^t I(t)dt \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

তড়িৎ প্রবাহের একক (Unit of electric current) : তড়িৎ প্রবাহের একক হলো অ্যাম্পিয়ার।

[MAT : 22-23]
[DAT : 21-22]

$$\text{তড়িৎ প্রবাহের একক} = \frac{\text{আধানের একক}}{\text{সময়ের একক}}$$

$$\text{অর্থাৎ, } \boxed{1 \text{ অ্যাম্পিয়ার} = \frac{1 \text{ কুলম্ব}}{1 \text{ সেকেন্ড}}}$$

সুতরাং পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে বলতে বুঝায় যে, এর যেকোনো প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে 1 কুলম্ব তড়িৎ আধান প্রবাহিত হয়।

৩·২ রোধ
Resistance

একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে যখন তড়িৎ প্রবাহ ঘটে তখন পরিবাহীর একটি বৈশিষ্ট্যের জন্য এটি বাধাগ্রস্থ হয়, যাকে পরিবাহীর রোধ বলা হয়। সুতরাং রোধকে নিম্নোক্তভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

সংজ্ঞা : **যে ধর্মের জন্য কোনো পরিবাহী ওর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহকে বাধা দেয়, তাকে ওই পরিবাহীর রোধ বলা হয়।** রোধের একক ওহম (Ω)।

৩·৩ রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব
Effect of temperature on resistance

তোমরা হিটারের কয়েলের দিকে লক্ষ করলে দেখবে বিদ্যুৎ প্রবাহের সাথে সাথে তা গরম হয়ে লাল টকটকে হয়ে যায়। এর কারণ কী কখনো ভেবেছ ? পরিবাহীর রোধের কারণে এটি গরম হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে সাধারণত পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা হ্রাস পেলে পরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। তবে কার্বনের বা অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে ক্ষেত্রে এর ব্যতিক্রম দেখা যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে অর্ধপরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। তবে মনে রাখতে হবে পরিবাহীতে রোধ তাপমাত্রার সমানুপাতিক হয়। রোধের উষ্ণতা সহগ তাপমাত্রার সাথে রোধের সম্পর্ক স্থাপন করে। তড়িৎ প্রবাহের ফলে তড়িৎ বর্তনীতে যে তাপের উদ্ভব হয় তার কারণ ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

তড়িৎ এবং বিদ্যুৎ একই অর্থ বহন করে। এই অধ্যায়ে দুটোই ব্যবহার করা হয়েছে। এতে কোনো অসামঞ্জস্য নেই।

৩·৩·১ বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহী গরম হওয়া এবং প্রবাহমাত্রা কমার কারণ
Causes of conductor being hot due to flow of current

তড়িৎ পরিবাহকে বহু সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। পরিবাহকের দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলো আন্তঃআণবিক স্থানের মধ্য দিয়ে চলার সময় অণু পরমাণুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। ফলে পরিবাহীতে রোধের সৃষ্টি হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে অতিরিক্ত শক্তি অর্জন করায় পরিবাহকের অণু পরমাণুগুলোর স্পন্দন বেড়ে যায়। ফলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর সাথে এদের সংঘর্ষ বৃদ্ধি পায়। সাথে সাথে রোধও বাড়তে থাকে। ফলে পরিবাহী গরম হয়।

আবার, $I = \frac{V}{R}$ সূত্রানুসারে, রোধ বৃদ্ধি পাওয়ায় তাপমাত্রা বাড়লে পরিবাহীর প্রবাহমাত্রা কমে যায়।

পরিবাহীর রোধ উহার তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। সাধারণত পরিবাহীর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা কমলে রোধ কমে যায়।

রোধের উষ্ণতা সহগ

মনে করি, $0°C$ তাপমাত্রায় কোনো পরিবাহীর রোধ R_0 এবং $t°C$ তাপমাত্রায় এর রোধের মান R_t, তাহলে

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.1)$$

এখানে α = ধ্রুবক, একে রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বা সহগ বলে।

$$\therefore \boxed{\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}}$$

$R_0 = 1$, $t = 1°C$ হলে $\alpha = R_t - R_0$

সংজ্ঞা : $0°C$ তাপমাত্রার একক রোধের কোনো পরিবাহীর তাপমাত্রা প্রতি একক বৃদ্ধিতে তার রোধের যে বৃদ্ধি ঘটে তাকে ওই পরিবাহীর উপাদানের রোধের উষ্ণতা সহগ বা তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বলে।

তাপমাত্রা গুণাঙ্কের একক $°C^{-1}$ বা K^{-1}

"অ্যালুমিনিয়ামের রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক $3{\cdot}9 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$" বলতে বুঝায় $0°C$ তাপমাত্রায় 1Ω রোধবিশিষ্ট কোনো অ্যালুমিনিয়াম পরিবাহীর তাপমাত্রা $1°C$ বৃদ্ধি পেলে এর রোধ $3{\cdot}9 \times 10^{-3}\ \Omega$ বৃদ্ধি পাবে।

নিজে কর : একটি পদার্থের নাম বল যার রোধ উষ্ণতার পরিবর্তনে খুব সামান্য পরিবর্তিত হয়, আবার উষ্ণতার বৃদ্ধিতে রোধ হ্রাস পায়।

ম্যাঙ্গানিন নামক সংকর ধাতুর রোধ উষ্ণতার পরিবর্তনে খুব সামান্য পরিবর্তিত হয়। যেসব পদার্থের রোধের উষ্ণতা সহগ α ঋণাত্মক, উষ্ণতা বৃদ্ধিতে সেসব পদার্থের রোধ হ্রাস পায়। যেমন কার্বন, থার্মিস্টর ইত্যাদি।

সম্প্রতি অর্ধপরিবাহীর রোধ পরিবর্তনের দ্বারা তাপমাত্রা পরিবর্তন পরিমাপের উপায় উদ্ভাবিত হয়েছে। একে বলে থার্মিস্টর। এর সাহায্যে খুব অল্প তাপমাত্রা পরিবর্তন (প্রায় $0{\cdot}005°C$) মাপা যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু অর্ধপরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। অর্ধপরিবাহীর বেলায়, $\alpha = -6 \times 10^{-2}\ °C^{-1}$। আবার অতি নিম্ন তাপমাত্রায় কিছু পদার্থের রোধ শূন্যে নেমে আসে। এই সকল পদার্থ অতিপরিবাহিতা ধর্ম প্রদর্শন করে।

4.2K তাপমাত্রায় পারদ [MAT : 23-24]

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১

১। $25°C$ তাপমাত্রায় টাংস্টেন তারের রোধ 65Ω। $200°C$ তাপমাত্রায় এর রোধ কত হবে ? (টাংস্টেনের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক, $\alpha = 4{\cdot}5 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$)। [ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); কু. বো. ২০১০; য. বো. ২০১১; KUET Admission Test, 2016-17 (মান ভিন্ন)]

মনে করি, $200°C$ তাপমাত্রায় তারের রোধ $= R_{200}$

আমরা জানি,

$$R_t = R_0 [1 + \alpha t]$$

অতএব, $R_{25} = R_0 (1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 25) \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

এবং $R_{200} = R_0 (1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 200) \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

সমীকরণ (i) ও (ii) হতে পাই,

$$\frac{R_{200}}{R_{25}} = \frac{R_0 (1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 200)}{R_0 (1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 25)} = \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125}$$

$$\therefore R_{200} = \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125} \times R_{25}$$

$$= \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125} \times 65 = 111\ \Omega$$

এখানে,
$T_1 = 25°C$
$T_2 = 200°C$
$R_{25} = 65\Omega$
$\alpha = 4{\cdot}5 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$
$R_{200} = ?$

২। গলন্ত বরফের মধ্যে রাখা একটি তারের কুণ্ডলীর রোধ হুইটস্টোন ব্রিজের সাহায্যে মেপে 5Ω পাওয়া গেল। কুণ্ডলীকে 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে এবং এর সঙ্গে একটি 100Ω রোধ সমান্তরালে যুক্ত করলে ব্রিজের নিস্পন্দ অবস্থা অপরিবর্তিত থাকে। কুণ্ডলী তারের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

100°C তাপমাত্রায় কুণ্ডলীর রোধ R হলে রোধ R এবং 100Ω রোধের সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য রোধ 5Ω হয়।

অর্থাৎ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R} + \frac{1}{100} = \frac{R+100}{R \times 100}$

বা, $R_p = \frac{R \times 100}{R+100} = 5$

বা, $100R = 5R + 500$

বা, $95R = 500$

বা, $R = \frac{500}{95} = \frac{100}{19}\ \Omega$

কুণ্ডলী তারের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক α হলে, আমরা জানি,

$R = R_0(1 + \alpha t)$

বা, $\alpha = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{t} = \frac{\frac{100}{19 \times 5} - 1}{100} = \frac{5}{9500}$

$= 5{\cdot}26 \times 10^{-4}/°C$

এখানে,

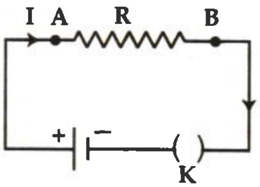
$R_0 = 5\ \Omega$

$t = 100°\ C$

৩·৪ তড়িৎ প্রবাহের দরুন উৎপন্ন তাপ
Amount of heat generated by electric current

মনে করি, AB পরিবাহীর রোধ R ও'ম এবং A ও B বিন্দুর বিভব পার্থক্য V ভোল্ট [চিত্র ৩·২]। এই বিভব পার্থক্যের দরুন এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে q কুলম্ব চার্জ প্রবাহিত হলে সম্পন্ন কাজের পরিমাণ হবে W জুল।

$\therefore W = Vq$



চিত্র ৩·২

আমরা জানি, প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{q}{t}$ বা, $q = It$

$\therefore W = VIt$

সুতরাং কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V ভোল্ট হলে এবং তার মধ্য দিয়ে I অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ t সে. সময় ব্যাপী চালালে ব্যয়িত তড়িৎ শক্তি W এর মান হবে VIt জুল।

তড়িৎ প্রবাহ পরিবাহীর রোধ অতিক্রম করার সময় এই কাজ তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

উৎপন্ন তাপ H হলে, H = W জুল হয়।

বা, $H = VIt$ জুল ... ... [3.1(a)]

আবার ও'মের সূত্র থেকে আমরা জানি, V = IR

$\therefore\ H = IR \times It = I^2Rt$ জুল ... ... [3.1(b)]

$I = \frac{V}{R}$ এই মান সমীকরণ 3.1(b)-এ বসিয়ে পাই,

RMDAT

$H = \left(\frac{V}{R}\right)^2 \times Rt = \frac{V^2}{R}t$ জুল ... ... [3.1(c)]

আমরা জানি বৈদ্যুতিক ক্ষমতা $P = VI$

সমীকরণ 3.1(a) থেকে পাই, $H = Pt$ ... ... [3.1(d)]

$\therefore$ $\boxed{H = VIt = I^2Rt \text{ বা, } \frac{V^2}{R}t = Pt \text{ জুল}}$

[MAT : 20-21]

এটিই উৎপন্ন তাপের হিসাব।

৩·৫ জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্র
Joule's laws for the generation of heat

1841 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত ইংরেজ বিজ্ঞানী জে. পি. জুল (J. P. Joule) পরিবাহীর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ ও এর ফলে উৎপন্ন তাপের পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে তিনটি সূত্র বিবৃত করেন। জুলের নামানুসারে এদেরকে তাপ উৎপাদনের ক্ষেত্রে জুলের সূত্র বলা হয়।

সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো :

১. বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সূত্র (প্রথম সূত্র) :

বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ R ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল t অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto i^2$, যদি R এবং t স্থির থাকে ।

এই সূত্রের অর্থ—পরিবাহীতে প্রবাহমাত্রা দ্বিগুণ করলে উদ্ভূত তাপ প্রাথমিক তাপের চারগুণ হবে। প্রবাহমাত্রা অর্ধেক করলে উদ্ভূত তাপ প্রাথমিক তাপের এক-চতুর্থাংশ হবে ।

কোনো পরিবাহীর ভেতর দিয়ে একই সময়ে i_1, i_2, i_3, ... বিদ্যুৎ চালনা করলে পরিবাহীতে যদি উৎপন্ন তাপ যথাক্রমে H_1, H_2, H_3 ...... হয়, তবে এ সূত্র অনুসারে

$$\frac{H_1}{i_1^2} = \frac{H_2}{i_2^2} = \frac{H_3}{i_3^2} = \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.2)$$

২. রোধের সূত্র (দ্বিতীয় সূত্র) :

বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা এবং বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto R$, যদি i এবং t স্থির থাকে ।

এই সূত্রের অর্থ—পরিবাহীর রোধ দ্বিগুণ বা অর্ধেক হলে উদ্ভূত তাপ যথাক্রমে প্রাথমিক তাপের দ্বিগুণ বা অর্ধেক হবে।

কাজেই বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য R_1, R_2, R_3, ... রোধে t সময়ে উদ্ভূত তাপ যথাক্রমে H_1, H_2, H_3, ... হলে,

$$\frac{H_1}{R_1} = \frac{H_2}{R_2} = \frac{H_3}{R_3} = \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.3)$$

৩. সময়ের সূত্র (তৃতীয় সূত্র) :

বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহকালের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto t$, যদি i এবং R স্থির থাকে।

এই সূত্রের অর্থ—বিদ্যুৎ প্রবাহকাল দ্বিগুণ বা চারগুণ বৃদ্ধি করলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ বৃদ্ধি পেয়ে যথাক্রমে তাপের দ্বিগুণ বা চারগুণ হবে ।

কাজেই একই বিদ্যুৎ প্রবাহে একটি রোধে t_1, t_2, t_3, ... সেকেন্ডে যথাক্রমে H_1, H_2, H_3, ... পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হলে, $\frac{H_1}{t_1} = \frac{H_2}{t_2} = \frac{H_3}{t_3} \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.4)$

1 J = 0.24 cal
1 cal = 4.2 J
[MAT: 12-13]

সূত্র তিনটি একত্রিত করলে আমরা পাই,

$$H \propto i^2Rt = Ki^2Rt = 0{\cdot}24\, i^2Rt \text{ cal} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.5)$$

এখানে K হলো সমানুপাতিক ধ্রুবক। সমীকরণ (3.5)-এর বিভিন্ন রাশির এককের ওপর K-এর মান নির্ভর করে, H-কে calorie-তে, i-কে ampere-এ, R-কে ohm-এ এবং t-কে sec-এ প্রকাশ করলে $K = 0{\cdot}24$, অর্থাৎ $K = \frac{1}{J}$।
এখানে J = তাপের যান্ত্রিক সমতুল বা তুল্যাঙ্ক।

তাপের যান্ত্রিক সমতুল
Mechanical equivalent of heal

W জুল কাজ সম্পন্ন করতে যদি H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হয় বা H ক্যালরি তাপ প্রয়োগে যদি W জুল কাজ পাওয়া যায় তাহলে কাজ ও তাপ পরস্পরের সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ $W \propto H$ হয় বা $W = JH$ হয়।

সেক্ষেত্রে $J = \frac{W}{H}$, অর্থাৎ কাজ ও তাপের অনুপাতকে তাপের যান্ত্রিক সমতুল বলে; যা J দ্বারা প্রকাশিত হয়।

সংজ্ঞা : **একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় বা একক তাপ দ্বারা যে পরিমাণ কাজ করা যায়, তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতুল বলে।**

হিসাব কর : দুটি বৈদ্যুতিক হিটারের কুণ্ডলী একই উপাদান দিয়ে তৈরি। এদেরকে সমান্তরাল সমবায়ে মেইন্‌সের সাথে যুক্ত করা হলো। একটি কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস অপর কুণ্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ। কোনটিতে বেশি তাপ উৎপন্ন হবে ?

মনে করি P ও Q কুণ্ডলী দুটি মেইন্‌সের সাথে সমান্তরালে যুক্ত। P কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস Q কুণ্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ।

Q তারের রোধ, $R_Q = \rho\frac{l}{A} = \frac{\rho l}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$

P তারের রোধ, $R_P = \frac{4\rho \times 2l}{\pi(2d)^2} = \frac{8\rho l}{4\pi d^2} = \frac{2\rho l}{\pi d^2}$

এখন P তারের দৈর্ঘ্য (l) ও ব্যাস (d) দ্বিগুণ বলে এই সমীকরণ অনুযায়ী P তারের রোধ Q তারের রোধের অর্ধেক। তার দুটি সমান্তরাল সমবায়ে থাকায়, কম রোধের তারে অর্থাৎ P তারে বেশি প্রবাহ চলবে এবং বেশি তাপ উৎপন্ন হবে।

জানার বিষয় : I. তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পরিবাহীর রোধ বাড়ে কিন্তু পরিবাহকত্ব হ্রাস পায়।
II. পরিবাহীর রোধ দৈর্ঘ্য, উপাদান, তাপমাত্রা, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ওপর নির্ভর করে কিন্তু স্থিতিস্থাপক ধর্মের ওপর নির্ভর করে না।
III. তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে অর্ধ পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়।

৩.৬ মুক্ত ইলেকট্রন
Free electron

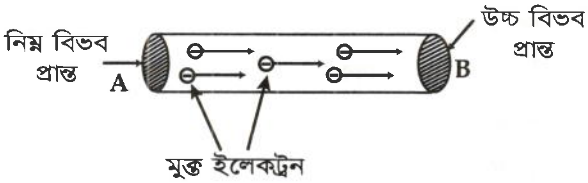
ধাতব পদার্থ যেমন রূপা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি ধাতুর পরমাণুর একেবারে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলো পরমাণুর কেন্দ্রের সঙ্গে হাল্কাভাবে আবদ্ধ থাকে। তাই এই ইলেকট্রনগুলো পরমাণু থেকে সহজেই বিচ্ছিন্ন হয়ে মুক্ত হতে পারে। এগুলোকে মুক্ত ইলেকট্রন বলা হয়। এই ইলেকট্রনগুলো স্বাধীনভাবে ধাতুর মধ্যে বিক্ষিপ্তভাবে ঘোরাফেরা করতে পারে।

তাড়ন বেগ (Drift velocity) : মুক্ত ইলেকট্রনসমূহ ধাতব তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় যে বেগে চলে তাকে মুক্ত ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ বলে। অনেক সময় এই বেগকে তাড়ন দ্রুতি (drift speed)-ও বলা হয়। তাড়ন বেগের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

"বিদ্যুৎ প্রবাহের সময় যে বেগে ইলেকট্রন নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভব প্রান্তের দিকে ধাবিত হয় তাকে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ বলে।"

বিদ্যুৎ প্রবাহ ও তাড়ন বেগের সম্পর্ক
Relation between current and drift velocity

ধরা যাক AB একটি ধাতব পরিবাহী যার মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৩.৩]।



চিত্র ৩.৩

মনে করি, ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $= v$
একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা $= n$
পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= A$
প্রতিটি মুক্ত ইলেকট্রনের চার্জ $= e$
পরিবাহীর মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহ $= I$

এখন, dt সময়ে ইলেকট্রন কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব, $l = vt$

সুতরাং, dt সময়ে পরিবাহীর কোনো প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা

$N = nV = nAl = nAvdt$

V হলো dt সময়ে পরিবাহীর অতিক্রান্ত দূরত্ব l অংশের আয়তন

$\therefore$ dt সময়ে প্রবাহিত চার্জের পরিমাণ $dq = eN = enAvdt$

আমরা জানি,

$$\text{বিদ্যুৎ প্রবাহ, } I = \frac{dq}{dt} = \frac{enAvdt}{dt}$$

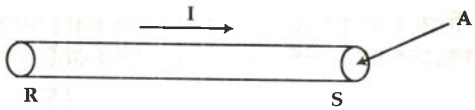
$$= nAve \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.6)$$

$$\text{বা, } v = \frac{I}{nAe} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad 3.6(a)$$

সমীকরণ 3.6(a) হলো বিদ্যুৎ প্রবাহ এবং তাড়ন বেগ সম্পর্কীয় রাশিমালা।

প্রবাহ ঘনত্ব ও তাড়ন বেগের সম্পর্ক
Relation between current density and drift velocity

সংজ্ঞা : কোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের একক ক্ষেত্রফল দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহকে প্রবাহ ঘনত্ব বলে। একে $\vec{j}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। $\vec{j}$ একটি ভেক্টর রাশি। $\vec{j}$ এর দিক হবে বিদ্যুৎ প্রাবল্যের দিক বরাবর। অর্থাৎ বিদ্যুৎ ক্ষেত্রে একটি ধনাত্মক চার্জের সঞ্চালন পথই এর দিক।



চিত্র ৩·৪

ব্যাখ্যা : চিত্র ৩·৪-এ RS একটি সুষম প্রস্থচ্ছেদের পরিবাহী। A হলো এর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল। মনে করি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রস্থচ্ছেদের অভিলম্ব বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহ I। সুতরাং সংজ্ঞানুসারে প্রবাহ ঘনত্ব j-এর মান হবে,

$$\boxed{j = \frac{I}{A}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.7)$$

$$\text{বা, } I = jA \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.8)$$

এস. আই. (SI) এককে **j-এর একক Am^{-2}**

সমীকরণ 3.6(a) অনুসারে

$$\boxed{v = \frac{I}{nAe} = \frac{jA}{neA} = \frac{j}{ne}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.9)$$

সমীকরণ (3.9) তাড়ন বেগ ও প্রবাহ ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.২

১। একটি তামার পরিবাহীতে মুক্ত ইলেকট্রনের ঘনত্ব 3×10^{29} m^{-3} এবং প্রবাহ ঘনত্ব $1{\cdot}65 \times 10^{6}$ Am^{-2}। ওই পরিবাহীতে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ কত ? [$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C] [কৃষি গুচ্ছ পদ্ধতি সেট A, 2020-21 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$v = \frac{j}{ne}$$

$$\therefore v = \frac{1{\cdot}65 \times 10^{6}}{3 \times 10^{29} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= 3{\cdot}437 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,
$n = 3 \times 10^{29}$ m^{-3}
$j = 1{\cdot}65 \times 10^{6}$ Am^{-2}
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$v = ?$

২। 1 cm^2 প্রস্থচ্ছেদযুক্ত একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 5 A প্রবাহমাত্রা পাঠানো হচ্ছে। পরিবাহীটির মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা 8×10^{28} m^{-3} হলে ওদের তাড়ন বেগ কত ? পরিবাহীটির দৈর্ঘ্য 2 cm হলে একটি ইলেকট্রন তাড়িত হয়ে পরিবাহীটির এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে ? [CKRUET Admission Test, 2020-21]

আমরা জানি,

$$I = nevA$$

$$\text{বা, } v = \frac{I}{neA}$$

$$\therefore v = \frac{5}{8 \times 10^{28} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 10^{-4}}$$

$$= 3{\cdot}9 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,
A $= 1$ cm$^2 = 1 \times 10^{-4}$ m^2
$i = 5$ A
$l = 2$ cm $= 2 \times 10^{-2}$ m
$n = 8 \times 10^{28}$ m^{-3}
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$v = ?$
$t = ?$

ধরা যাক, ইলেকট্রন পরিবাহীটির এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তে যেতে সময় লাগে t s।

$$\therefore t = \frac{l}{v} = \frac{2 \times 10^{-2}}{3{\cdot}9 \times 10^{-6}} = 5{\cdot}128 \times 10^{3} = 1 \text{ hr. } 25 \text{ min. } 28 \text{ sec}$$

৩। $1\ mm^2$ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি তারের মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহিত হয়। যদি ধাতবের ইলেকট্রন ঘনত্ব $4 \times 10^{29}\ m^{-3}$ হয় তবে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ নির্ণয় কর।

আমরা জানি তাড়ন বেগ,

$$v_A = \frac{I}{nAe}$$

$$\therefore \quad v_A = \frac{2}{4 \times 10^{29} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{-6}}$$

$$= \frac{2 \times 10^{-4}}{4 \times 1{\cdot}6} = 0{\cdot}31 \times 10^{-4}$$

$$= 3{\cdot}1 \times 10^{-5}\ ms^{-1}$$

এখানে,
$I = 2A$
$A = 1\ min^2 = 1 \times 10^{-6}\ m^2$
$n = 4 \times 10^{29}\ m^{-3}$
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ C$

৪। একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 4 ঘণ্টা ধরে 12 A স্থির তড়িৎ প্রবাহ চলালে (i) পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে অতিক্রান্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা নির্ণয় কর। (ii) প্রবাহিত মোট আধানের পরিমাণ কত ?

(i) আমরা জানি, আধান,

$$q = It$$

$$\therefore \quad q = 12 \times 4 \times 60 \times 60$$

$$= 172{,}800 \text{ coulomb}$$

এখানে,
$I = 12\ A$
$t = 4$ hrs. $= 4 \times 60 \times 60$ s
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ C$

(ii) প্রতি সেকেন্ডে অতক্রান্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা $= \dfrac{12A \times 1\ s}{\text{ইলেকট্রনের চার্জ}}$

$$\therefore \quad n = \frac{12 \times 1}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 7{\cdot}5 \times 10^{19}$$

৫। 200 V এ কার্যরত 100 W এর একটি বাতির ফিলামেন্টের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহিত ইলেকট্রনের সংখ্যা নির্ণয় কর। দেওয়া আছে ইলেকট্রনের চার্জ $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C [BUET Admission Test, 2014–15]

আমরা জানি,

$$P = VI$$

বা, $I = \dfrac{P}{V} = \dfrac{100}{200} = \dfrac{1}{2}$

$\therefore \quad I = \dfrac{q}{t} = \dfrac{ne}{t} = \dfrac{n \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{1}$

বা, $\dfrac{1}{2} = \dfrac{n \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{1}$

বা, $2n \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} = 1$

$$\therefore \quad n = \frac{1}{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = \frac{10}{2 \times 1{\cdot}6} \times 10^{18} = 3{\cdot}125 \times 10^{18}$$

এখানে,
$V = 200$ V
$P = 100$ W
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$n = ?$

৬। তড়িৎ প্রবাহ I তারের মধ্য দিয়ে সময়ের সাথে, $I = 4t^2 + 3t + 5$ সমীকরণ অনুসারে নির্ভর করে। $t = 0$ থেকে $t = 3$ সেকেন্ডে তারের প্রস্থচ্ছেদের ভেতর দিয়ে কী পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হয়?

আমরা জানি,

$$q = \int I dt$$

$$\therefore \quad q = \int_v^t (4t^2 + 3t + 5)dt = 4\int_0^3 t^2 dt + 3\int_0^3 t dt + 5\int_0^3 dt$$

$$= 4\left[\frac{t^3}{3}\right]_0^3 + 3\left[\frac{t^2}{2}\right]_0^3 + 5[t]_0^3 = \frac{4 \times 27}{3} + \frac{3 \times 9}{2} + 5 \times 3$$

$$= 36 + 13{\cdot}5 + 15 = 64{\cdot}5C$$

এখানে,
$I = 4t^2 + 3t + 5$

৩·৭ রোধ ও আপেক্ষিক রোধ
Resistance and specific resistance

রোধ : কোনো একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে পরিবাহী কর্তৃক তা বাধা পায়। বাধা প্রদানের এই ধর্মকে ওই পরিবাহীর রোধ বলে।

রোধের এস. আই. একক ও'ম। একে Ω (Omega) চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। রোধের মাত্রা সমীকরণ $[ML^2T^{-3}I^{-2}]$

1 ও'ম : কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 1 ভোল্ট এবং এর ভেতর দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ওই পরিবাহীর রোধকে 1 ও'ম (1 Ω) বলে।

রোধের সূত্র : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো একটি পরিবাহীর রোধ ওই পরিবাহীর দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ওপর নির্ভর করে। এ সংক্রান্ত তিনটি সূত্র রয়েছে। যথা—

(i) দৈর্ঘ্যের সূত্র

(ii) প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের সূত্র এবং

(iii) তাপমাত্রার সূত্র।

(i) দৈর্ঘ্যের সূত্র : তাপমাত্রা ও প্রস্থচ্ছেদ এবং উপাদান স্থির থাকলে কোনো একটি পরিবাহীর রোধ R ওই পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

$$\therefore \; R \propto l$$

(ii) প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের সূত্র : তাপমাত্রা, দৈর্ঘ্য এবং উপাদান স্থির থাকলে কোনো একটি পরিবাহীর রোধ তার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ $R \propto \frac{1}{A}$, এখানে A পরিবাহীটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

এখন l এবং A পরিবর্তন করলে উপরোক্ত সূত্র দুটি থেকে পাই,

$$\therefore \quad R \propto \frac{l}{A}$$

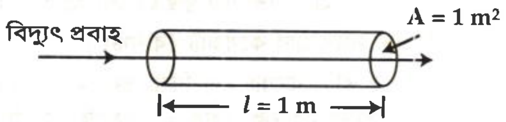
[MAT: 14-15, MAT: 15-16, MAT: 23-24]

বা, $R = \rho \frac{l}{A}$ [এখানে ρ একটি ধ্রুবক] ... ... (3.10)

(iii) তাপমাত্রার সূত্র : পরিবাহীর রোধ তাপমাত্রার সমানুপাতিক। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে রোধ বৃদ্ধি পায় এবং হ্রাসে রোধ হ্রাস পায়।

একে **আপেক্ষিক রোধ (Specific resistance) বা রোধাঙ্ক (resistivity) বলে।** **কোনো পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ বা রোধাঙ্ক এর উপাদান এবং তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে।** [PAT: 22-23]

মনে করি কোনো একটি পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, $l = 1$ মিটার এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, A = 1 বর্গ মিটার [চিত্র ৩·৫]।



চিত্র ৩·৫

∴ সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$$R = \frac{\rho \times 1}{1} = \rho$$

সুতরাং, আপেক্ষিক রোধের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায় :

সংজ্ঞা : একক দৈর্ঘ্য এবং একক প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোনো একটি পরিবাহী তার প্রস্থচ্ছেদের অভিলম্ব-ভাবে বিদ্যুৎ প্রবাহে যে পরিমাণ বাধা প্রদান করে তাকে তার আপেক্ষিক রোধ বলে।

একক : আপেক্ষিক রোধের একক ও'ম মিটার (Ω-m)।

রোধের নির্ভরশীলতা : কোনো পরিবাহীর রোধ চারটি বিষয়ের ওপর নির্ভর করে। যথা—

১। পরিবাহীর দৈর্ঘ্য

২। পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল [MAT : 22-23]

৩। পরিবাহীর উপাদান [MAT : 18-19]

৪। পরিবাহীর তাপমাত্রা [MAT : 13-14]

রোধের সমবায়
Combination of resistances

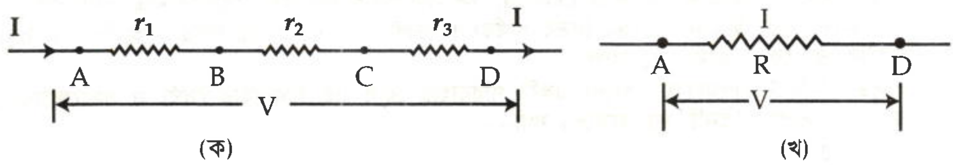
ব্যবহারিক ক্ষেত্রে একটি তড়িৎ বর্তনীতে সাধারণত একাধিক তড়িৎযন্ত্র যুক্ত থাকে এবং প্রতিটি তড়িৎযন্ত্রেরই নিজস্ব রোধ থাকে। তাই বলা যায়, একটি তড়িৎ বর্তনীতে সাধারণত একাধিক রোধ যুক্ত থাকে; এদেরকে রোধের সমবায় বলে। বাসাবাড়িতে একই সঙ্গে অনেকগুলো বাতি, পাখা, ফ্রিজ, টেলিভিশন এবং আরও অনেক তড়িৎ যন্ত্রপাতি থাকে যা রোধের সমবায়ের প্রকৃষ্ট উদাহরণ।

একাধিক রোধকে প্রধানত দুই ধরনের সমবায়ে যুক্ত করা হয়—যথা : (i) শ্রেণি সমবায় (series combination) এবং (ii) সমান্তরাল সমবায় (parallel combination)।

তুল্য রোধ (Equivalent resistance) : একটি তড়িৎ বর্তনীতে সংযুক্ত কোনো রোধের সমবায়কে একটিমাত্র রোধ দ্বারা এমনভাবে প্রতিস্থাপিত করা হয়, যাতে উক্ত বর্তনীর মোট তড়িৎ প্রবাহ এবং উক্ত বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য উভয়ই অপরিবর্তিত থাকে। ওই একক রোধকে উক্ত রোধের সমবায়ের তুল্য রোধ বলে।

(i) রোধের শ্রেণি সমবায় (series combination of resistances) : যদি কয়েকটি রোধকে এমনভাবে জোড়া লাগানো হয় যাতে একটির শেষ প্রান্তের সাথে অপরটির প্রথম প্রান্ত এবং দ্বিতীয়টির শেষ প্রান্তের সাথে তৃতীয়টির প্রথম প্রান্ত ইত্যাদি যুক্ত থাকে, তবে ওই সমবায়কে রোধের শ্রেণি সমবায় বলে।

চিত্র ৩·৬(ক)-এ তিনটি রোধের শ্রেণি সমবায় দেখানো হয়েছে :



চিত্র ৩·৬

তুল্য রোধ নির্ণয় : চিত্র ৩·৬(ক)–এর তড়িৎ বর্তনীর A ও D বিন্দুর মধ্যে তিনটি রোধ r_1, r_2 ও r_3 শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা I হলে, ও'মের সূত্র অনুসারে,

$$V_A - V_B = Ir_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$
$$V_B - V_C = Ir_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$
$$V_C - V_D = Ir_3 \quad \ldots \quad \ldots \quad (iii)$$

সমীকরণ (i), (ii) ও (iii) যোগ করে পাই,

$$V_A - V_D = I(R_1 + R_2 + R_3) \quad \ldots \quad \ldots \quad (iv)$$

সমবায়টির তুল্য রোধ যদি R হয় তবে সেটি বর্তনীর A ও D বিন্দুর মধ্যে যোগ করলে বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে। সুতরাং,

$$V_A - V_D = IR \quad \ldots \quad \ldots \quad (v)$$

সমীকরণ (iv) ও (v) থেকে পাওয়া যায়,

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

অনুরূপভাবে n সংখ্যক রোধকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য রোধ পাই,

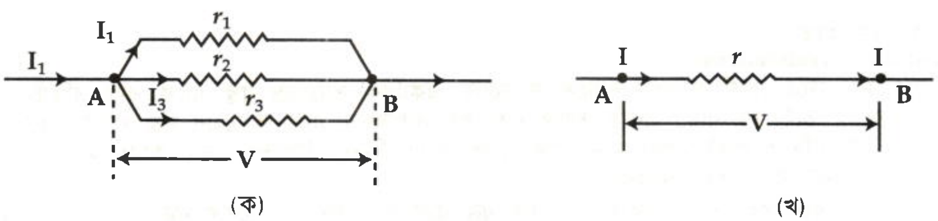
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n \quad \ldots \quad \ldots \quad (vi)$$

সুতরাং, **শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত রোধের শ্রেণি সমবায়ের তুল্য রোধ = রোধসমূহের সমষ্টি।**

রোধের শ্রেণি সমবায়ের কয়েকটি বৈশিষ্ট্য :

(১) প্রতিটি রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা সমান।
(২) সমবায়ের তুল্য রোধ = রোধগুলির সমষ্টি।
(৩) সমবায়ের তুল্য রোধ সমবায়ের যেকোনো রোধের চেয়ে বড়।
(৪) সমবায়ের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য = রোধগুলোর প্রান্তীয় বিভব পার্থক্যের সমষ্টি।
(৫) যেহেতু বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা ধ্রুবক, সুতরাং যেকোনো রোধের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য ওই রোধের সমানুপাতিক।
(৬) সমবায়ে যুক্ত রোধগুলির অবস্থান পরিবর্তন করলেও প্রবাহমাত্রা বা তুল্য রোধের কোনো পরিবর্তন হয় না।

(ii) রোধের সমান্তরাল সমবায় (parallel combination of resistances) : যদি কতগুলো রোধকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যে রোধগুলোর একপ্রান্ত একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে এবং অপর প্রান্তগুলো অন্য একটি বিন্দুতে যুক্ত করা হয় তবে ওই সমবায়কে রোধের সমান্তরাল সমবায় বলে। চিত্র ৩·৭(ক)–এ তিনটি রোধ r_1, r_2 ও r_3 এর সমান্তরাল সমবায় দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৩·৭

তুল্য রোধ নির্ণয় : চিত্র ৩·৭(ক)–এ তিনটি রোধ r_1, r_2 ও r_3 এর সমান্তরাল সমবায় দেখানো হয়েছে। যেহেতু বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা I বর্তনীর তিনটির রোধের মধ্যে বিভক্ত হয় সুতরাং,

$I = I_1 + I_2 + I_3$ [এখানে I_1, I_2 ও I_3 যথাক্রমে রোধ r_1, r_2 ও r_3 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা]

তিনটি রোধের প্রত্যেকটির প্রান্ত দুটি হলো A ও B। সুতরাং ও'মের সূত্রানুসারে,

r_1 এর জন্য প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \frac{V_A - V_B}{r_1}$ ... ... (vii)

r_2 এর জন্য প্রবাহমাত্রা, $I_2 = \frac{V_A - V_B}{r_2}$ ... ... (viii)

r_3 এর জন্য প্রবাহমাত্রা, $I_3 = \frac{V_A - V_B}{r_3}$ ... ... (ix)

সমীকরণ (vii), (viii) ও (ix) যোগ করে পাই,

$$I_1 + I_2 + I_3 = (V_A - V_B)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)$$

বা, $I = (V_A - V_B)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)$ ... ... (x)

সমবায়টির তুল্য রোধ যদি r হয় তবে সেটিকে A ও B বিন্দুর মধ্যে যুক্ত করলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা একই থাকবে। অর্থাৎ,

$I = \frac{V_A - V_B}{r}$ ... ... (xi)

সুতরাং, সমীকরণ (x) ও (xi) থেকে পাই,

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

অনুরূপভাবে n সংখ্যক রোধকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে পাই,

$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots\ldots\ldots + \frac{1}{r_n}$ ... ... (xii)

অর্থাৎ সমান্তরাল সমবায়ের অন্তর্গত রোধগুলোর বিপরীত মানের সমষ্টি তুল্য রোধের বিপারীত মানের সমান।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৩

১। 0·48 মিটার দীর্ঘ ও 0·12 mm ব্যাসের একটি তারের রোধ 15 ও'ম। তারটির উপাদানের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় কর।

মনে করি তারটির উপাদানের আপেক্ষিক রোধ $= \rho$

আমরা পাই,

$R = \frac{\rho l}{A}$ ... ... (i)

সুতরাং, সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

$$\therefore \rho = \frac{R \times \pi r^2}{l} = \frac{15 \times 3{\cdot}14 \times (6 \times 10^{-5})^2}{0{\cdot}48}$$

$$= 3{\cdot}53 \times 10^{-7}\ \Omega m$$

এখানে,

$R = 15\ \Omega$

$l = 0{\cdot}48\ m$

$r = \frac{d}{2} = \frac{0{\cdot}12}{2}\ mm$

$= 0{\cdot}06\ mm = 6 \times 10^{-5}\ m$

$\rho = ?$

২। 6Ω রোধের একটি তারকে আয়তন অপরিবর্তিত রেখে টেনে তিনগুণ লম্বা করা হলে তারটির বর্তমান রোধ কত ?

তারের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ ρ হলে,

আমরা জানি,

$R_1 = \frac{\rho L_1}{A_1}$ এবং $R_2 = \frac{\rho L_2}{A_2}$

বা, $\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho L_2}{A_2} \times \frac{A_1}{\rho L_1} = \frac{3L_1 \times A_1}{\frac{A_1}{3} \times L_1} = 9$

$\therefore \frac{R_2}{R_1} = 9$

$\therefore R_2 = 9R_1 = 9 \times 6 = 54\ \Omega$

এখানে,

$R_1 = 6\ \Omega$

আদি দৈর্ঘ্য L_1 হলে শেষ দৈর্ঘ্য $L_2 = 3L_1$

তারে আদি প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A_1 হলে

এখানে, $V_1 = V_2$

বা, $A_1L_1 = A_2L_2$

বা, $A_1L_1 = A_2 \times 3L_1$

বা, $A_2 = \frac{1}{3}A_1$

শেষ রোধ $R_2 = ?$

৩। 20Ω রোধের তামার তারকে টেনে এমনভাবে লম্বা করা হলো তারের দৈর্ঘ্য পাঁচগুণ হয় এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এক-পঞ্চমাংশ হয়। পরিশেষে রোধ কত হবে?

এখানে,

$R_1 = 20\ \Omega$

প্রাথমিক দৈর্ঘ্য L_1 হলে শেষ দৈর্ঘ্য $L_2 = 5L_1$

প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A_1 হলে চূড়ান্ত ক্ষেত্রফল, $A_2 = \frac{A_1}{5}$

$R_2 = ?$

আমরা জানি,

$$R_1 = \frac{\rho L_1}{A_1} \text{ এবং } R_2 = \frac{\rho L_2}{A_2}$$

বা, $$\frac{R_2}{R_1} = \frac{L_2}{A_2} \times \frac{A_1}{L_1} = \frac{5L_1}{L_1} \times \frac{5A_1}{A_1}$$

$$\therefore\ R_2 = 25R_1$$

$$= 25 \times 20 = 500\Omega$$

৪। একই উপাদানের দুটি রোধকের রোধ সমান। রোধক দুটির ব্যাসের অনুপাত 2 : 4 হলে দৈর্ঘ্যের অনুপাত কত হবে?

আমরা জানি,

$$R_1 = \frac{\rho L_1}{A_1} = \frac{\rho L_1}{\pi\left(\frac{d_1}{2}\right)^2} = \frac{\rho 4L_1}{\pi d_1^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এবং $$R_2 == \frac{\rho L_2}{\pi\left(\frac{d_2}{2}\right)^2} = \frac{\rho 4L_2}{\pi d_2^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

$$\because\ R_1 = R_2$$

$$\frac{\rho \times 4 \times L_1}{\pi d_1^2} = \frac{\rho \times 4L_2}{\pi d_2^2}$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} = \left(\frac{2}{4}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

$$\therefore\ L_1 : L_2 = 1 : 4$$

৫। দুটি রোধ কুণ্ডলীর শ্রেণি সমবায়ে ও সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য রোধ যথাক্রমে 12 Ω ও $\frac{5}{3}$Ω। প্রত্যেকটি রোধের মান নির্ণয় কর।

ধরা যাক, রোধ দুটি R_1 ও R_2

প্রশ্নানুসারে, শ্রেণি সমবায়ে তুল্য রোধ,

$$R_1 + R_2 = 12 \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এবং সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য রোধ,

$$\frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5}{3}$$

বা, $$\frac{R_1R_2}{12} = \frac{5}{3}$$

বা, $$R_1R_2 = \frac{60}{3} = 20$$

সুতরাং $$(R_1 - R_2)^2 = (R_1 + R_2)^2 - 4R_1R_2 = (12)^2 - 4 \times 20$$

$$= 144 - 80 = 64$$

$$\therefore\ R_1 - R_2 = \sqrt{64} = 8 \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

সমীকরণ (i) ও (ii) যোগ করে পাই,

$$2R_1 = 20 \quad \text{বা,} \quad R_1 = 10\ \Omega$$

সমীকরণ (i) এ R_1 মান বসিয়ে পাই,

$$R_2 = 12 - 10 = 2\ \Omega$$

৬। একটি 120 W — 60 V বাতিকে 100 V DC লাইনে লাগানো হলো। পূর্ণ উজ্জ্বলতার জন্য বাতির শ্রেণি সমবায়ে কত রোধ লাগাতে হবে? [RUET Admission Test, 2017-18]

আমরা জানি,

$$R_1 = \frac{V_1^2}{P} = \frac{(60)^2}{120} = 30\ \Omega$$

আবার,

$$I = \frac{P}{V_1} = \frac{120}{60} = 2\ A$$

$$\therefore\ R' = \frac{V}{I} = \frac{100}{2} = 50\ \Omega$$

শ্রেণিতে যোগ করতে হবে, $R_2 = n' - R_1 = 50 - 30 = 20\ \Omega$

৭। একটি পদার্থের আপেক্ষিক রোধ 8×10^{-8} Ω-m। ওই পদার্থের 3 mm ব্যাসের কত দৈর্ঘ্যের তার নিলে রোধ 12Ω হবে ? [ব. বো. ২০২৩]

আমরা জানি,

$$R = \rho\frac{l}{A} = \rho\frac{l}{\pi r^2}$$

বা, $$l = \frac{R \times \pi r^2}{\rho}$$

$$\therefore\ l = \frac{12 \times 3{\cdot}14 \times (1{\cdot}5 \times 10^{-3})^2}{8 \times 10^{-8}}$$

$$= 10{\cdot}597 \times 10^2\ m \quad = 1059{\cdot}7\ m$$

এখানে,

$\rho = 8 \times 10^{-8}$ Ω-m

$R = 12\ \Omega$

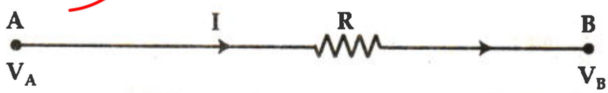
$d = 3\ mm = 3 \times 10^{-3}\ m$

$\therefore\ r = \frac{d}{2} = \frac{3}{2} \times 10^{-3} = 1{\cdot}5 \times 10^{-3}\ m$

$l = ?$

৩·৭·১ ও'মের সূত্র
Ohm's Law

সূত্র : তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীর মধ্য দিয়ে যে তড়িৎ প্রবাহ চলে তা পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমানুপাতিক।



চিত্র ৩·৮(ক)

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, AB একটি পরিবাহী তার। এর দুই প্রান্তের বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_B। অতএব, বিভব পার্থক্য $V = V_A - V_B$। পরিবাহীতে A বিন্দু হতে B এর দিকে প্রবাহ চলছে [চিত্র ৩·৮(ক)]। এখন স্থির তাপমাত্রায় পরিবাহীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ I হলে ও'মের সূত্রানুসারে,

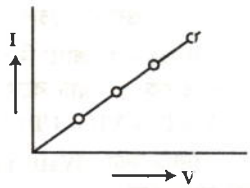
$$I \propto V$$

বা, $I = GV$, এখন G একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে পরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা বলে। $G = \frac{1}{R}$ অর্থাৎ G রোধ R-এর বিপরীত রাশি।

$$\therefore\ I = \frac{1}{R} \times V = \frac{V}{R},$$ এখানে R = পরিবাহীর রোধ।

বা, $\boxed{V = IR}$ ইহাই ও'মের সূত্র। ... ... (3.11)

ও'মের সূত্রের I — V লেখচিত্রটি ৩·৮(খ) চিত্রে দেখানো হলো। এই সূত্রানুসারে লেখচিত্রে সরল রেখার ঢাল $G = \frac{1}{R}$ ।



চিত্র ৩·৮(খ)

পরিবাহিতা : ও'মের সূত্র থেকে আমরা জানতে পারি,

$I = GV$, এখানে G = সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে পরিবাহীর পরিবাহিতা বলে। পরিবাহিতার একক সিমেন্স।

সংজ্ঞা : কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 1V হলে এবং তার মধ্য দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার (A) তড়িৎ প্রবাহ চললে ওই পরিবাহীর পরিবাহিতাকে 1 সিমেন্স (S) বলে।

$$\therefore\ 1\ S = \frac{1\ A}{1\ V} = 1\ AV^{-1}$$ $= 1\ \Omega^{-1} = 1\ ohm^{-1} = 1\ mho$ [MAT : 21-22]

৩·৮ বিদ্যুৎ শক্তি ও ক্ষমতা
Electrical energy and power

৩·৮·১ বিদ্যুৎ শক্তি

কোনো বৈদ্যুতিক যন্ত্র বা উৎসের কাজ করার সামর্থ্যকে এর বিদ্যুৎ শক্তি বলে।

ব্যাখ্যা : মনে করি একটি বৈদ্যুতিক উৎস হতে কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে t সময়ে Q পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হয়। যদি পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V হয়, তবে সম্পাদিত কাজ অর্থাৎ ব্যয়িত বিদ্যুৎ শক্তি,

$$W = VQ = Vit \quad (\because Q = it)$$

বা, $$W = iR \times it = i^2Rt \quad (\because V = iR) \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \qquad (3.12)$$

বা, $$W = \frac{V^2}{R}t$$

(3.12) সমীকরণগুলোর যেকোনো একটি সমীকরণ দ্বারা কৃত কাজ নির্ণয় করা হয়।

একক : কাজ ও শক্তিকে একই এককে প্রকাশ করা হয়। এদের ব্যবহারিক একক জুল।

1 জুল : 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যের ভেতর দিয়ে 1 কুলম্ব চার্জ প্রবাহিত হলে সম্পাদিত কাজ বা ব্যয়িত শক্তি = 1 জুল।

RMDAT

৩·৮·২ ক্ষমতা

কোনো উৎস বা যন্ত্রের কাজ করার হারকে ক্ষমতা বলে এবং একক সময়ের কৃত কাজ দ্বারা ক্ষমতা পরিমাপ করা হয়।

ব্যাখ্যা : মনে করি t সময়ে কোনো উৎস বা যন্ত্র W পরিমাণ কাজ সম্পাদন করে।

অতএব, ক্ষমতা, $P = \frac{\text{কাজ}}{\text{সময়}} = \frac{W}{t}$ একক।

কাজের অনুরূপ ক্ষমতার বিভিন্ন সমীকরণ রয়েছে যা নিম্নে বর্ণনা করা হলো :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Vit}{t} = Vi \text{ একক}$$

আবার $$P = \frac{W}{t} = \frac{i^2Rt}{t} = i^2R \text{ একক} \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \qquad (3.13)$$

এবং $$P = \frac{W}{t} = \frac{V^2}{R}\frac{t}{t} = \frac{V^2}{R} \text{ একক}$$

উপরোক্ত সমীকরণসমূহের যেকোনো একটি প্রয়োজন মতো ক্ষমতার সমীকরণ হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

একক : বৈদ্যুতিক ক্ষমতার একক ওয়াট (Watt)। [DAT: 21-22]

$\therefore$ $P = Vi$ ওয়াট $= i^2R$ ওয়াট $= \frac{V^2}{R}$ ওয়াট

[MAT: 21-22] [MAT: 20-21] [MAT: 16-17] [MAT: 15-16] [MAT: 14-15] [MAT: 12-13]

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\text{জুল}}{\text{সেকেন্ড}} = \text{জুল/সেকেন্ড} = \text{ওয়াট}$$

সুতরাং, 1 সেকেন্ডে 1 জুল কাজ করার ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলে। আবার, $P = Vi$ = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার

$\therefore$ ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার

সংজ্ঞা : 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যে কোনো একটি বৈদ্যুতিক যন্ত্র 1 অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ সরবরাহ করলে এর ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলে। আবার P ক্ষমতাসম্পন্ন কোনো যন্ত্র t সময় ব্যাপী কাজ করলে ওই যন্ত্রের ব্যয়িত শক্তি হবে $W = Pt = VIt = I^2Rt$ Watt।

ওয়াট-ঘণ্টা (Watt-hour) : 1 ওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন একটি যন্ত্র 1 ঘণ্টা কাজ করলে যে শক্তি ব্যয় হয় তাকে 1 ওয়াট-ঘণ্টা বলে।

কিলোওয়াট-ঘণ্টা (Kilowatt-hour) : 1 কিলোওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন একটি যন্ত্র 1 ঘণ্টা কাজ করলে যে শক্তি ব্যয় হয়, তাকে 1 কিলোওয়াট-ঘণ্টা বলে। সংক্ষেপে একে ইউনিট (Unit) বলে।

$\therefore$ $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \times 3600 \text{ J} = 3{\cdot}6 \times 10^6 \text{ J}$

BOT : সারা বিশ্বের বিদ্যুৎ সরবরাহ কোম্পানি এই একক ব্যবহার করে বিদ্যুৎ কেনা-বেচা করে, তাই একে বোর্ড অব ট্রেড (B. O. T unit) বা সংক্ষেপে Unit বলে। অর্থাৎ B. O. T Unit = 1 kWh = 1 Unit।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : 220 V—500 W **বাতির ফিলামেন্ট** 220 V—50W **বাতির ফিলামেন্টের চেয়ে সরু না মোটা ? ব্যাখ্যা কর।**

আমরা জানি, $P = \frac{V^2}{R}$ বা $R = \frac{V^2}{P}$। এখন বাতি দুটিতে সমান বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে, যার ক্ষমতা (P) বেশি তার রোধ কম হয়। সুতরাং 500W বাতির রোধ কম। আবার কোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ এবং রোধের সম্পর্ক হলো $R \propto \frac{1}{A}$, অর্থাৎ যেটির রোধ কম সেটির A এর মান বেশি অর্থাৎ মোটা। সুতরাং 500 W বাতির ফিলামেন্ট 50 W বাতির তুলনায় মোটা।

বিদ্যুৎ বিলের হিসাব

কল-কারখানা, অফিস বা বাসা বাড়িতে বিদ্যুতের মিটারের সাহায্যে বিদ্যুৎ বিলের হিসাব করা হয়। kWh বা BOT এককে হিসাব বা ইউনিটে বিদ্যুৎ বিল তৈরি করা হয়।

$$\text{ব্যায়িত বিদ্যুৎ শক্তি} = \frac{\text{ওয়াট} \times \text{ঘণ্টা}}{1000} = \frac{\text{Volt} \times \text{Amp} \times \text{hour}}{1000} \text{ Unit}$$

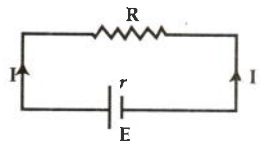
তড়িৎশক্তি প্রেরণের সময় তাপীয় অপচয়
Heat loss during transmission of electric power

তড়িৎ উৎপাদন কেন্দ্র থেকে দূরবর্তী স্থানে তড়িৎ শক্তি প্রেরণের জন্য তার ব্যবহার করা হয়। জুল ক্রিয়ার দরুন তার উত্তপ্ত হয়ে উঠে; ফলে তারে প্রেরিত তড়িৎ শক্তির অপচয় হয়। এই অপচয়কে হ্রাস করে তড়িৎশক্তি এক জায়গা হতে অন্য জায়গায় প্রেরণ করতে হয়।

আমরা জানি, ক্ষমতা, $P = I^2R$। এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে I এর মান কম হলে তাপ উৎপাদনে ব্যয়িত ক্ষমতা I^2R এর মানও কমতে থাকে; অর্থাৎ তাপীয় অপচয়ও কমতে থাকে। সুতরাং, **তড়িৎশক্তিকে উচ্চ বিভব পার্থক্য ও নিম্ন প্রবাহে এক জায়গা হতে অন্য জায়গায় প্রেরণ করতে হবে।** এটিই তাপীয় অপচয় হ্রাস করার গুরুত্বপূর্ণ শর্ত। এই জন্য বিদ্যুৎ সরবরাহ লাইনে 11000 V বা তারও চেয়ে বেশি ভোল্টেজে বিদ্যুৎ লাইনের মধ্য দিয়ে তড়িৎশক্তি প্রেরণ করা হয়। বিভিন্ন বাসাবাড়ি বা তড়িৎযন্ত্রে ব্যবহারের জন্য এই উচ্চ ভোল্টেজকে ট্রান্সফরমারের সাহায্যে 220V বা 240V-এ কমানো হয়।

তড়িৎ বর্তনীতে ব্যয়িত ক্ষমতা (Power in an electric circuit)

কোনো তড়িৎ বর্তনীতে ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল E, অভ্যন্তরীণ রোধ r এবং বহির্বর্তনীতে রোধ R হলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ,



$I = \frac{E}{R + r}$ এবং বর্তনীতে ব্যয়িত ক্ষমতা, $P = I^2(R + r) = \frac{E^2}{R + r}$

বহির্বর্তনীতে প্রাপ্ত সর্বোচ্চ ক্ষমতা (Maximum power in the external circuit) : বর্তনীর মোট ব্যয়িত ক্ষমতার একটি অংশ I^2r ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধের জন্য ব্যয় হয়। একে কাজে লাগানো যায় না। ক্ষমতার বাকি অংশ বহির্বর্তনীতে যুক্ত বিভিন্ন তড়িৎযন্ত্রে ব্যবহার করা যায়।

এখন, যেহেতু বহির্বর্তনীর রোধ R, অতএব বহির্বর্তনীতে প্রাপ্ত ক্ষমতা,

$$P' = I^2R = \frac{E^2R}{(R + r)^2}$$

স্থির তড়িচ্চালক বল ও নির্দিষ্ট অভ্যন্তরীণ রোধসম্পন্ন ব্যাটারির ক্ষেত্রে, E এবং r ধ্রুবক।

সুতরাং, বহির্বর্তনীতে সর্বোচ্চ ক্ষমতা প্রাপ্তির শর্ত হলো,

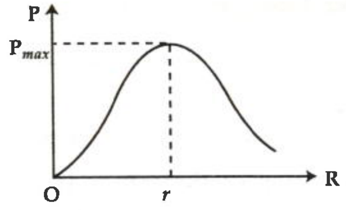
$$\frac{dP'}{dR} = 0$$

বা, $E^2 \frac{(R + r)^2 - 2(R + r)R}{(R + r)^2} = 0$

বা, $(R + r)^2 - 2R^2 - 2Rr = 0$

বা, $r^2 - R^2 = 0$

বা, $R = r$



চিত্র ৩·৯

অর্থাৎ, বহির্বর্তনীর রোধ যদি ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধের সমান হয় তবেই বহির্বর্তনীতে সর্বোচ্চ ক্ষমতা পাওয়া যায়। এটিই Maximum power transfer theorem হিসেবে পরিচিত।

চিত্র ৩·৯–এ ক্ষমতা বনাম রোধের চিত্র দেখানো হয়েছে। এই সর্বোচ্চ ক্ষমতার মান,

$$P_{max} = \frac{E^2R}{(R+R)^2} = \frac{E^2}{4R} = \frac{E^2}{4r}$$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৪

১। একটি বৈদ্যুতিক বাতির রোধ 400Ω। একে 200V সরবরাহ লাইনের সাথে যুক্ত করা হলো। যদি প্রতি ইউনিটের মূল্য 3·00 টাকা হয়, তাহলে বাতিটি 12 ঘণ্টা ব্যবহৃত হলে কত খরচ পড়বে?

[ব. বো. ২০১০; য. বো. ২০০৮, ২০০২; Admission Test : DU (HEC) 2020-21 (মান ভিন্ন); RUET 2010-11 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$\therefore \quad P = \frac{(200)^2}{400} = 100 \text{ Watt}$$

ব্যয়িত শক্তি, $N = \frac{P \times t}{1000}$

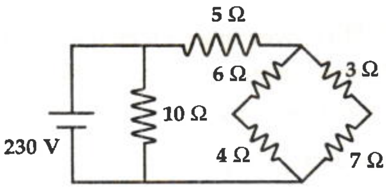
$$= \frac{100 \times 12}{1000} = 1{\cdot}2 \text{ kWh}$$

$\therefore$ ব্যয় $= 1{\cdot}2 \times 3{\cdot}0 = 3{\cdot}60$ টাকা

এখানে,
$V = 200$ V
$R = 400\ \Omega$
$t = 12$ hrs

২। নিচের চিত্রে 7 Ω রোধে এক মাসে কত ইউনিট বিদ্যুৎ শক্তি ব্যয় হবে ?

[CUET Admission Test, 2009–10]



(a)

আমরা জানি,

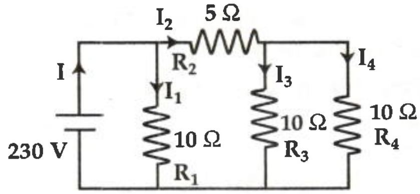
$$I = \frac{V}{R} = \frac{230}{5} = 46 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{5}{15} \times 46 = 15{\cdot}333 \text{ A}$$

এবং $I_2 = \frac{10}{15} \times 46 = 30{\cdot}67$ A

$$I_3 = \frac{10}{20} \times 30{\cdot}67 = 15{\cdot}335 \text{ A}$$

$$\therefore \quad I_4 = \frac{10}{20} \times 30{\cdot}67 = 15{\cdot}335 \text{ A}$$



(b) তুল্য বর্তনী

$R_3 \parallel R_4 = R_P$

$\therefore (R_P + R_2) \parallel R_1$

তুল্য রোধ $= 5\ \Omega$

$\therefore$ 7 Ω এ কারেন্ট $I_4 = 15{\cdot}335$ A

$$\therefore \quad P = I_4^2Rt = (15{\cdot}335)^2 \times 7 \times 30 \times 24 \times 10^{-3}$$
$$= 1185{\cdot}5 \text{ units}$$

৩। 1 hr-এ একটি 250 W-এর টিভি সেট বা 10 min-এ 1200 W-এর একটি ইস্ত্রি কোনটি বেশি শক্তি ব্যবহার করবে?
[সি. বো. ২০০৮; চ. বো. ২০০৭; ব. বো. ২০০৩; য. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

ব্যয়িত শক্তি, $N = \frac{P \times t}{1000}$ kWh

এখন, টি. ভি. সেট কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি, $N_1 = \frac{250 \times 1}{1000} = 0.25$ kWh

এবং ইস্ত্রি কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি, $N_2 = \frac{1200 \times 10}{1000 \times 60} = 0.2$ kWh

এখানে, $N_1 > N_2$

অতএব, টি. ভি. সেট বেশি শক্তি ব্যয় করবে।

এখানে,
টিভি-এর ক্ষেত্রে, $P = 250$ W
$t = 1$ hour
ইস্ত্রির ক্ষেত্রে, $P = 1200$ W
$t = \frac{10}{60}$ hour

৪। একটি বৈদ্যুতিক হিটার 220V সরবরাহ লাইন থেকে 20 ঘণ্টা ধরে 0.2 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ গ্রহণ করে। একটি 250 W এর টিভি সেটও একই সময় ধরে অন্য একটি সরবরাহ লাইনে যুক্ত করে চালানো হয়। কোনটি বেশি শক্তি ব্যয় করবে ?
[JU unit-H set-A Admission Test, 2020-21]

হিটারের ক্ষেত্রে ব্যয়িত শক্তি,

$$W_1 = VIt = 220 \times 0.2 \times 20$$
$$= 880 \text{ watt-hour}$$
$$= \frac{880}{1000} \text{ kWh} = 0.8 \text{ kWh}$$

এখানে,
$I = 0.2$ A
$t = 20$ hr
$P = 250$ W
$V = 220$ volt

টিভির ক্ষেত্রে ব্যয়িত শক্তি,

$$W_2 = Pt = 250 \times 20 = 5000 \text{ watt-hour}$$
$$= \frac{5000}{1000} \text{ kWh} = 5 \text{ kWh}$$

যেহেতু $W_2 > W_1$, কাজেই টিভি বেশি শক্তি ব্যয় করবে।

৫। 50 Ω রোধের ভেতর দিয়ে 2A প্রবাহ 100 sec চালনা করলে 0°C তাপমাত্রার কতটুকু পানির তাপমাত্রা 100°C-এ পৌঁছাবে ?

আমরা পাই,

$$H = i^2Rt$$
$$= (2)^2 \times 50 \times 100 = 20000 \text{ J}$$

এখানে,
$i = 2$A
$R = 50\ \Omega$
$t = 100$ sec

আবার, পানি কর্তৃক গৃহীত তাপ,

$$H = mS\theta$$
$$= m \times 4200 \times 100 \text{ J}$$
$$= 420000\, m \text{ J}$$

$S = 4200$ J kg^{-1} K^{-1}
$\theta = 100$°C
m = পানির ভর

$$\therefore 420000\, m = 20000$$
$$\therefore m = \frac{20000}{420000} = 0.0476 \text{ kg}$$

৬। 100 Ω রোধের একটি নিমজ্জক উত্তাপককে 2.50 kg পানিতে ডুবিয়ে 5 A প্রবাহ চালনা করলে কত সময় পর পানির তাপমাত্রা 24°C বৃদ্ধি পাবে ?

মনে করি, উৎপন্ন তাপ $= H$

আমরা পাই, $H = i^2Rt$ ... ... (i)

আবার, $H = mSd\theta$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$$i^2Rt = mSd\theta$$
$$\therefore t = \frac{mSd\theta}{i^2R}$$
$$= \frac{2.50 \times 4200 \times 24}{(5)^2 \times 100}$$
$$= 100.8 \text{ s} = 1 \text{ min } 40.8 \text{ s}$$

এখানে,
$m = 2.50$ kg
$S = 4200$ Jkg^{-1} K^{-1}
$d\theta = 24$° C $= 24$ K
$i = 5$A
$R = 100\ \Omega$
$t = ?$

৭। সুইচ অন করার পর একটি ইলেকট্রিক কেটলিতে 20 মিনিটে পানি ফুটতে থাকে। একই ক্ষমতার উৎস ব্যবহার করে 10 মিনিটে সমপরিমাণ পানি ফুটাতে হলে তাপীয় কুণ্ডলীর রোধের পরিমাণ কত পরিবর্তন করতে হবে?

আমরা জানি,

উৎপন্ন তাপ $\propto \frac{V^2}{R} t$

এখানে, $\frac{V^2 t_1}{R_1} = \frac{V^2 t_2}{R_2}$

$\therefore \quad R_2 = R_1 \frac{t_2}{t_1} = R_1 \times \frac{10}{20} = \frac{1}{2} R_1$

এখানে,

$t_1 = 20$ মিনিট

$t_2 = 10$ মিনিট

প্রাথমিক রোধ $= R_1$

চূড়ান্ত রোধ $= R_2$

অর্থাৎ, তাপ কুণ্ডলীর রোধ পূর্বের রোধের অর্ধেক ব্যবহার করতে হবে।

৮। 220V লাইনে ব্যবহার উপযোগী 250 W-এর দুটি বাল্ব শ্রেণিতে 110V লাইনের সাথে যুক্ত করা হলো। প্রতিটি বাল্ব কী পরিমাণ ক্ষমতা উৎপন্ন করবে?

আমরা জানি,

$$P = \frac{V^2}{R}$$

সুতরাং প্রতিটি বাল্বের রোধ,

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(220)^2}{250} = 193 \cdot 6 \Omega$$

যখন এগুলো শ্রেণিতে যুক্ত করা হয়, প্রতিটির দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য $= \frac{110}{2} = 55V$

$\therefore$ প্রতিটি বাল্বের ক্ষমতা $= \frac{(55)^2}{193 \cdot 6} = 15 \cdot 6$ watt

৯। 500 W ক্ষমতার একটি হিটার 230 V লাইনে কাজ করে। লাইন ভোল্টেজ 220 V হলে আউটপুট ক্ষমতার শতকরা হ্রাস কত হবে? হিটারের রোধ অপরিবর্তিত আছে।

আমরা জানি,

ক্ষমতা, $P = \frac{V^2}{R}$

বা, $R = \frac{V^2}{P} = \frac{(230)^2}{500}$

$= 105 \cdot 8\ \Omega$

এখানে,

$P = 500$ W

$V = 230$ V

পরিবর্তিত ভোল্টেজ, $V' = 220$ V

পরিবর্তিত ক্ষমতা, $P' = ?$

ক্ষমতার হ্রাস, $\Delta P = ?$

পরিবর্তিত ক্ষমতা, $P' = \frac{V'^2}{R}$

$\therefore \quad P' = \frac{(220)^2}{105 \cdot 8} = 457 \cdot 5$ watt

$\therefore$ আউটপুট ক্ষমতার শতকরা হ্রাস, $\Delta P = \frac{P - P'}{P} \times 100\%$

$$= \frac{500 - 457 \cdot 5}{500} \times 100\% = 8 \cdot 5\%$$

১০। 100Ω রোধের সাথে যুক্ত একটি অ্যামিটারের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। যদি 100Ω-এর দুই প্রান্তে 440Ω রোধের একটি ভোল্টমিটার যুক্ত করা হয়, তবে এটি 220V পাঠ দেয়। রোধের দুই প্রান্তে প্রকৃত বিভব পার্থক্য কত?

ভোল্টমিটারের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I_V = \frac{V}{R'} = \frac{220}{440} = 0 \cdot 5A$$

100Ω রোধ ভোল্টমিটারের সাথে যুক্ত করলে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I' = \frac{V}{R} = \frac{220}{100} = 2 \cdot 2A$$

এখানে,

রোধ, $R = 100\Omega$

ভোল্টমিটারের রোধ, $R' = 440\Omega$

ভোল্টমিটারের পাঠ, $V = 220V$

প্রকৃত বিভব পার্থক্য, $V' = ?$

সুতরাং, বর্তনীতে মোট তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = I_V + I' = 0 \cdot 5 + 2 \cdot 2 = 2 \cdot 7A$$

যদি ভোল্টমিটার বর্তনীতে সংযুক্ত করা না হয়, তবে মোট তড়িৎ 100Ω রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবে। সুতরাং, রোধের দুই প্রান্তে প্রকৃত বিভব পার্থক্য, $V' = IR = 2 \cdot 7 \times 100 = 270V$

১১। চারটি রোধক শ্রেণিতে যুক্ত করে যদি এদের দুই প্রান্ত তড়িচ্চালক শক্তির উৎসের সাথে যুক্ত করা হয় তবে 150 watt ক্ষমতা ব্যয় হয়। যদি রোধক 4টি সমান্তরাল সমবায়ে ওই একই তড়িচ্চালক শক্তির উৎসের সাথে যুক্ত করা হয় তবে কত ওয়াট ক্ষমতা ব্যয় হবে?

ধরি প্রতিটি রোধকের রোধ $= r$

শ্রেণিতে যুক্ত চারটি রোধের তুল্য রোধ, $R_1 = 4r$ এবং যখন এরা সমান্তরালে যুক্ত তখন তুল্য রোধ, $R_2 = \frac{r}{4}$

উভয় সমবায়ের জন্য যদি দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব পার্থক্য V হয়, তবে শ্রেণি সমবায়ের জন্য ক্ষমতা, $P_1 = \frac{V^2}{R_1}$

এবং সমান্তরাল সমবায়ের জন্য ক্ষমতা, $P_2 = \frac{V^2}{R_2}$।

সুতরাং, $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{V^2}{R_2}}{\frac{V^2}{R_1}}$ বা, $P_2 = P_1 \frac{R_1}{R_2}$

$\therefore \quad P_2 = 150 \times \frac{4r}{\frac{r}{4}} = 150 \times 16 = 2400$ watt

১২। রেগুলেটরের মাধ্যমে একটি ইলেকট্রিক পাখার দ্রুতি কমানো হলে শক্তি ব্যয়ের ক্ষেত্রে কী ঘটবে?

যদি একটি ইলেকট্রিক পাখার রোধ R, বিভব পার্থক্য V এবং t সময় ধরে চলে তবে কৃত কাজ,

$$W = I^2Rt = \frac{I^2R^2t}{R} = \frac{V^2}{R}\, t$$

পাখার দ্রুতি কমানোর জন্য ধরা যাক R_1 মানের রোধ শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে। সুতরাং, R ও R_1 এর সমবায়ের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য V।

অতএব, t সময়ে কৃত কাজ, $W_1 = \frac{V^2t}{R + R_1}$

স্পষ্টত W_1, W অপেক্ষা কম মানের। সুতরাং, শক্তি হ্রাস পাবে।

১৩। এক বালক 20°C হতে 25°C এবং 23°C হতে 27°C তাপমাত্রার পানি নিয়ে গবেষণা করে। এজন্য সে একটি চিনামাটির পাত্রে 12°C তাপমাত্রার 2 লিটার পানিতে 90Ω রোধের একটি নিমজ্জক হিটারে 20 মিনিট ধরে 1 A প্রবাহ চালনা করে।

(ক) উক্ত হিটারে কত জুল তাপ উৎপন্ন হবে ?

(খ) পানির চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হবে ?

(ক) আমরা জানি, উৎপন্ন তাপ,

$$H = I^2Rt = (1)^2 \times 90 \times 20 \times 60 = 108000 \text{ J}$$

(খ) চূড়ান্ত তাপমাত্রা θ_2 হলে,

$$H = ms(\theta_2 - \theta_1) = ms\Delta\theta$$

বা, $H = ms\Delta\theta$

বা, $\Delta\theta = \frac{H}{ms} = \frac{108000}{2 \times 4200} = 12.86 \text{ K} = 12.86\ °C$

আবার, $\theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta$

$\therefore \theta_2 = \Delta\theta + \theta_1 = (12.86 + 12)\ °C = 24.86\ °C$

এখানে,

$\theta_1 = 12°C$

$R = 90\ \Omega$

$m = 2 \text{ lit} = 2 \text{ kg}$

$t = 20 \text{ min} = 20 \times 60 \text{ s} = 1200 \text{ s}$

$I = 1 \text{ A}$

$H = ?$

১৪। একটি 1.5 kW ইলেকট্রিক কেটলিতে 2 লিটার পানি নিয়ে গরম করলে তা 6 min 20 sec পর ফুটতে শুরু করে। প্রথমে কেটলিতে পানির তাপমাত্রা কত ছিল ? কেটলিতে পানি ফুটাতে কত unit বিদ্যুৎ খরচ হয়েছে ? তাপ ক্ষয় নগণ্য ধরা যেতে পারে। [ব. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2017–18]

আমরা জানি,

$$ms(\theta_2 - \theta_1) = Pt$$

বা, $\frac{ms(\theta_2 - \theta_1)}{t} = 1.5 \times 10^3$

বা, $\frac{2 \times 4200\,(100 - \theta_1)}{6 \times 60 + 20} = 1.5 \times 10^3$

বা, $100 - \theta_1 = \frac{1.5 \times 10^3 \times 380}{2 \times 4200}$

$\therefore \theta_1 = 100 - \frac{1500 \times 380}{2 \times 4200} = 32.14°C$

এখানে,

$P = 1.5 \text{ kW} = 1.5 \times 10^3 \text{ W}$

$L = 2 \text{ lit}$

$t = 6 \text{ min } 20 \text{ sec} = (6 \times 60 - 20) \text{ s}$

১৫। একটি বিদ্যুৎ লাইনের মধ্য দিয়ে 2·2 MW হারে তড়িৎ শক্তি পাঠানো হচ্ছে। লাইন তারের রোধ 20Ω। লাইন ভোল্টেজ (i) 11 kV, (ii) 110 kV হলে প্রতি ক্ষেত্রে শক্তির কত শতাংশের তাপীয় অপচয় হচ্ছে ?

এখানে,

$$P = VI = 2{\cdot}2\text{ MW} = 2{\cdot}2 \times 10^6\text{ W}$$

(i) যখন $V = 11\text{ kV} = 11000\text{ V}$ তখন তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2{\cdot}2 \times 10^6}{11000} = 1{\cdot}1 \times 10^2\text{ A} = 110\text{A}$$

সেক্ষেত্রে তাপীয় অপচয় $= \frac{I^2R}{VI} \times 100\%$

$$= \frac{(110)^2 \times 20}{2{\cdot}2 \times 10^6} \times 100\% = 11\%$$

(ii) যখন $V = 110\text{ kV}$ তখন, $I = \frac{P}{V} = \frac{2{\cdot}2 \times 10^6}{110 \times 10^3} = 20\text{A}$

সেক্ষেত্রে তাপীয় অপচয় $= \frac{I^2R}{VI} \times 100\%$

$$= \frac{(20)^2 \times 20}{110 \times 10^3 \times 20} \times 100\% = 0{\cdot}36\%$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে লাইন ভোল্টেজ বেশি হলে শক্তির অপচয় কম হয়।

১৬। দুটি তারের উপাদান ও ভর সমান কিন্তু একটির দৈর্ঘ্য অন্যটির চারগুণ। প্রতিটি তারের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য সমান। দুই তারের উৎপন্ন তাপের অনুপাত কত ?

আমরা জানি,

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{0{\cdot}24\,V^2t}{R_1} \times \frac{R_2}{0{\cdot}24\,V^2t} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho l_2}{\pi r_2^2} \times \frac{\pi r_1^2}{\rho l_1}$$

$$= \left(\frac{l_2}{l_1}\right) \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \frac{4l_1}{l_1} \times \left(\frac{2r_2}{r_2}\right)^2$$

$$= \frac{4 \times 4}{1} = \frac{16}{1}$$

$$\therefore\ H_1 : H_2 = 16 : 1$$

৩·৯ বৈদ্যুতিক ফিউজ কম গলনাঙ্ক, কম রোধ [MAT : 15-16]
Electric fuse

আমাদের বাসাবাড়ি বা বিভিন্ন বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতিতে ফিউজ তার ব্যবহার করা হয়। বিভিন্ন তড়িৎ যন্ত্রের এবং তড়িৎ বর্তনীতে সংযোগকারী তারের উপাদান হিসেবে তামা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি ধাতুর তার ব্যবহার করা হয়। এগুলোর প্রত্যেকটিরই একটি নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক রয়েছে। যে কোনো তড়িৎ বর্তনীতে হঠাৎ কোনো কারণে তড়িৎ প্রবাহ বেশি হলে যন্ত্রপাতি নষ্ট হতে পারে বা অগ্নিকাণ্ড ঘটতে পারে। এই বিপদ প্রতিরোধ করার জন্য বর্তনীতে শ্রেণি সমবায়ে কম গলনাঙ্কের পরিবাহী তার যুক্ত করা হয়, একেই ফিউজ বলে। ফিউজ তারের উপাদান হিসেবে অপেক্ষাকৃত নিম্ন গলনাঙ্কবিশিষ্ট কোনো সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়। সাধারণত ৩ ভাগ সিসা ও ১ ভাগ টিনের মিশ্রণের সংকর ধাতু ফিউজ তার হিসেবে ব্যবহার করা হয়। যার গলনাঙ্ক 300°C। মূল বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ বিপদ সীমায় পৌঁছে সংযোগকারী তার বা মূল যন্ত্র নষ্ট করার আগেই কম গলনাঙ্কের ফিউজ তার গলনাঙ্কে পৌঁছে যায় এবং ফিউজ তারটি গলে গিয়ে মূল বর্তনী বিচ্ছিন্ন করে দেয়। বিশুদ্ধ পরিবাহী তারের গলনাঙ্ক অনেক বেশি হওয়ায় ফিউজ তার হিসেবে বিশুদ্ধ তার ব্যবহার করা হয় না। বর্তমানে ফিউজ এর পরিবর্তে সার্কিট ব্রেকার ব্যবহার করা হয়। বেশি বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে সার্কিট ব্রেকারের সুইচটি আপনা-আপনি বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ বন্ধ করে দেয়।

কাজ I : নিরাপত্তা ফিউজে বিশুদ্ধ ধাতু ব্যবহার না করার কারণ ব্যাখ্যা কর।

সিসা ও টিনের সংমিশ্রণে তৈরি একটি সরু তারকে নিরাপত্তা ফিউজ বলে। এই মিশ্রণে সিসা 75%, টিন 25%। এই তারের গলনাঙ্ক 300°C এর কম। সরু তারের রোধ বেশি ফলে তারের মধ্য দিয়ে অতিরিক্ত তড়িৎ প্রবাহিত হলে তারটি গরম হয় এবং তা গলে গিয়ে বিদ্যুৎ সরবরাহ বন্ধ করে দেয়। সংকর ধাতুর চেয়ে বিশুদ্ধ ধাতুর গলনাঙ্ক অনেক বেশি হওয়ায় নিরাপত্তা ফিউজে বিশুদ্ধ তার ব্যবহার করা হয় না।

RMDAT

কাজ II : 5A ফিউজ বলতে কী বুঝ?

5A ফিউজ বলতে বুঝায় এটিকে বর্তনীতে যুক্ত করলে সর্বাধিক 5A বিদ্যুৎ সহ্য করতে পারে। 5A এর অধিক প্রবাহমাত্রায় ফিউজটি গলে সার্কিটের সংযোগটি বিচ্ছিন্ন হয়ে যায়।

৩·১০ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	তাপের যান্ত্রিক সমতা J নির্ণয় **To determine the mechanical equivalent of heat, J**

তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয়ের জন্য দুটি বৈদ্যুতিক পদ্ধতি আছে—(১) **জুলের পদ্ধতি** এবং (২) **ক্যালেন্ডার ও বার্ণস-এর পদ্ধতি**। এখানে জুলের পদ্ধতি আলোচিত হলো।

মূলনীতি বা তত্ত্ব : আমরা জানি V ভোল্ট বিভব পার্থক্যে কোনো একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ t s সময় ধরে প্রবাহিত হলে কাজের পরিমাণ, $W = Vit$ J ... ... (3.14)

এই কাজ তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করলে আমরা পাই,

$$W = JH \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (3.15)$$

সমীকরণ (3.14) এবং (3.15) হতে পাই,

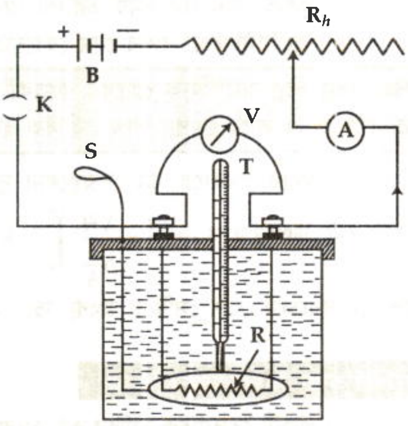
$$JH = Vit$$ [MAT: 24-25]

বা, $$\boxed{J = \frac{Vit}{H}\ \text{J cal}^{-1}}$$ [MAT: 16-17] ... ... (3.16)

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) : নাড়ানীসহ পরিষ্কার-পরিচ্ছন্ন শুষ্ক একটি জুলের ক্যালরিমিটার লই এবং শূন্য অবস্থায় এর ওজন বের করি। এখন ক্যালরিমিটারের মধ্যে খানিকটা তরল পদার্থ (পানি বা তার্পিন তেল) লই এবং পুনরায় ওজনের পার্থক্য হতে তরল পদার্থের ভর নির্ণয় করি। অতঃপর একটি থার্মোমিটার T-এর সাহায্যে ক্যালরিমিটার এবং তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা নির্ণয় করি।

এখন R ও'ম রোধবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীকে ক্যালরিমিটারে রক্ষিত তরলের মধ্যে আংশিকভাবে ডুবিয়ে এর দুই প্রান্তকে দুটি বন্ধনী স্ক্রুর সাহায্যে একটি ব্যাটারি B, পরিবর্তনশীল রোধ R_h, অ্যামিটার A এবং প্লাগ চাবি K-এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করি। কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য একটি ভোল্টমিটার V-কে কুণ্ডলীর সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করি [চিত্র ৩·১০]।

চাবিটি বন্ধ করি ও একটি নির্দিষ্ট সময়ের জন্য (প্রায় 15 মিনিট) বর্তনীর মধ্য দিয়ে একটি স্থির মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত করি। বিদ্যুৎ প্রবাহকালে ভোল্টমিটার এবং অ্যামিটারের পাঠ লই। বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপ ক্যালরিমিটার এবং তরল পদার্থ শোষণ করবে এবং এদের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। সমগ্র তরলে সুষম তাপ বিস্তারের জন্য নাড়ানী দ্বারা ক্যালরিমিটারের তরল ভালোভাবে নাড়ি এবং থার্মোমিটারের সাহায্যে ক্যালরিমিটার ও তরলের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা নির্ণয় করি।



চিত্র ৩·১০

ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ক্যালরিমিটারের ভর, M (g)	তরলের ভর, m (g)	ক্যালরিমিটারের আ. তাপ, s (cal g^{-1} C^{-1})	তরলের আ. তাপ, S (cal g^{-1} C^{-1})	ক্যালরিমিটারের ও তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা, θ_1 (°C)	ক্যালরিমিটারের ও তরলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা, θ_2 (°C)	প্রবাহ মাত্রা, i (amp)	ভোল্টমিটারের পাঠ V (Volt)

হিসাব (Calculation) :

ধরি, ক্যালরিমিটারের ভর = M g

তরলের ভর = m g

ক্যালরিমিটারের আপেক্ষিক তাপ = s cal $g^{-1}\,°C^{-1}$

তরলের আপেক্ষিক তাপ = S cal $g^{-1}\,°C^{-1}$

ক্যালরিমিটার এবং তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা = θ_1°C

বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা = i A

কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য = V volt

বিদ্যুৎ প্রবাহ কাল = t সেকেন্ড

ক্যালরিমিটার এবং তরলের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা = θ_2°C

গণনা : ক্যালরিমিটার এবং তরল কর্তৃক গৃহীত তাপ,

$H = (Ms + mS)\,(\theta_2 - \theta_1)$ cal ও বিদ্যুৎ প্রবাহে কৃত কাজ, $W = Vit$ J

$$\therefore \quad J = \frac{W}{H} = \frac{Vit}{(Ms + mS)\,(\theta_2 - \theta_1)} \text{ J cal}^{-1}$$

$\therefore$ এখন V, i, t, M, m, s, S, θ_1 এবং θ_2-এর মান জেনে J-এর মান পাওয়া যায়।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ দৃঢ়ভাবে দিতে হবে।

২। সংযোগ তারের প্রান্ত এবং সংযোগ স্ক্রু শিরিস কাগজ দিয়ে ভালো করে ঘষে নিতে হবে।

৩। কুণ্ডলী যেন সব সময় তরলের মধ্যে ডুবে থাকে সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।

৪। থার্মোমিটারের বাল্ব যেন কোনোক্রমেই রোধ কুণ্ডলীকে স্পর্শ না করে সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।

কাজ : ভিন্ন ভিন্ন আপেক্ষিক রোধের কয়েকটি সমান দৈর্ঘ্যের তার একটি ব্যাটারির দুই প্রান্তে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলে কোন তারে উৎপন্ন তাপ সর্বাধিক হবে ?

সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত তারগুলোর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য একই থাকে। সুতরাং জুলের তাপীয় সূত্র থেকে আমরা পাই, উৎপন্ন তাপ $= \frac{V^2t}{R} = \frac{V^2t}{\rho\frac{l}{A}}$ $\left[\because R = \rho\frac{l}{A}\right]$। সুতরাং তারগুলো সমান দৈর্ঘ্যের হওয়ায় যে তারের আপেক্ষিক রোধ (ρ) সবচেয়ে বেশি সেটিতে উৎপন্ন তাপ সর্বাধিক হবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৫

১। একটি বৈদ্যুতিক বাতির দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 2% কমে গেলে বাতির ক্ষমতা কত শতাংশ কমবে ?

ধরা যাক, প্রাথমিক বিভব পার্থক্য, 1 V

সুতরাং 2% বিভব পার্থক্য কমে গেলে চূড়ান্ত বিভব পার্থক্য হবে (100% — 2%) = 98%। অর্থাৎ 0·98 V

এখন প্রাথমিক ক্ষমতা, $P_1 = \frac{(1\text{ V})^2}{R} = \frac{V^2}{R}$

এবং চূড়ান্ত ক্ষমতা, $P_2 = \frac{(0{\cdot}98\text{ V})^2}{R}$

$$\therefore \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{(0{\cdot}98\text{ V})^2/R}{\frac{V^2}{R}} = (0{\cdot}98)^2 = 0{\cdot}96$$

$\therefore$ ক্ষমতার হ্রাস = 1 — 0·96 = 0·04

এবং শতকরা হ্রাস = 0·04 × 100 = 4%

২। 750 watt ক্ষমতাসম্পন্ন একটি বৈদ্যুতিক কেটলি 10 মিনিটে 1 লিটার পানিকে 20°C থেকে 100°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করতে পারে। পানিকে উত্তপ্ত করতে বৈদ্যুতিক শক্তির শতকরা কত ভাগ ব্যয় হয় ? ($J = 4.2 \text{ J cal}^{-1}$)

10 মিনিটে হিটার কর্তৃক উৎপন্ন তাপ,

$$Q_1 = Pt = 750 \times 10 \times 60$$
$$= 450000 \text{ J}$$

1 লিটার পানিতে তাপমাত্রা 20°C থেকে 100°C বৃদ্ধি করতে শোষিত তাপ,

$$Q_2 = ms\theta = 1 \times 4200 \times (100 - 20)$$
$$= 4200 \times 80 = 336000 \text{ J}$$

∴ শতকরা ব্যয়িত শক্তি,

$$\frac{Q_2}{Q_1} \times 100\% = \frac{336000}{450000} \times 100\% = 74.67\%$$

এখানে,
$P = 750$ watt
সময়, $t = 10 \text{ min} = 10 \times 60 \text{ s}$
তাপমাত্রা বৃদ্ধি, $\theta = (100 - 20)\ °\text{C} = 80°\text{C} = 80 \text{ K}$
পানির ভর, $m = 1$ litre
আপেক্ষিক তাপ $= 4200 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

৩·১১ তড়িৎ কোষ
Electric cell

যে যন্ত্রের সাহায্যে রাসায়নিক শক্তি বা অন্য শক্তি হতে তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখা হয় তাকে তড়িৎ কোষ বলে। তড়িৎ কোষের অভ্যন্তরে কোনো সচল যন্ত্রাংশ থাকে না। যেমন রাসায়নিক কোষ (Chemical cell), সৌর কোষ (Solar cell), আলোক তড়িৎ কোষ (Photoelectric cell)। সচল যন্ত্রাংশযুক্ত তড়িৎ কোষ হলো ডায়নামো (Dynamo)।

তড়িৎ কোষ মূলত দুই প্রকার; যথা— (১) প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ (Primary cell) এবং (২) গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ (Secondary cell)।

প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ : যে তড়িৎ কোষ নিজেই নিজের রাসায়নিক শক্তি হতে সরাসরি তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখে, তাকে প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ বলে। ভোল্টার কোষ, লেকল্যান্স কোষ, শুষ্ক কোষ ইত্যাদি প্রাথমিক কোষের উদাহরণ।

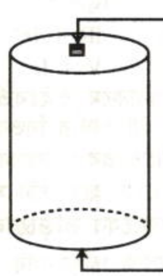
গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ : যে তড়িৎ কোষে বাহির হতে তড়িৎ প্রবাহিত করে তড়িৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করে রাখা হয় এবং পরে ওই রাসায়নিক শক্তিকে পুনরায় তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়, তাকে গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ বলে। গৌণ কোষকে বহুবার পুন ব্যবহার করা যায়। Rechargeable

উদাহরণ : লেড-এসিড সঞ্চয়ী কোষ, অ্যালকেলি (alkali) সঞ্চয়ী কোষ।

৩·১২ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ ও তড়িচ্চালক বল
Internal resistance of a cell and electromotive force

আমাদের দৈনন্দিন ব্যবহার্য জিনিসপত্র যেমন রেডিও, টেলিভিশন, ফ্রিজ, ক্যাসেট প্লেয়ার, টর্চলাইট ইত্যাদি যন্ত্রপাতি পরিচালনার জন্য বিদ্যুৎ শক্তির প্রয়োজন হয়। বিদ্যুৎ শক্তির বিভিন্ন উৎস রয়েছে, যেমন বিদ্যুৎ কোষ বা ব্যাটারি, জেনারেটর ইত্যাদি। একটি টর্চলাইটের কথা বিবেচনা করা যাক। এর ভেতর দুটি বা তিনটি শুষ্ক কোষ (একাধিক কোষের সিরিজ সংযোগকে ব্যাটারি বলে), একটি ছোট্ট বাল্ব এবং বাল্বের সঙ্গে ব্যাটারি সংযোগকারী তামার পাত রয়েছে। এখানে শক্তির উৎস হলো ব্যাটারি। ব্যাটারি হতে বিদ্যুৎ শক্তি বাল্বে গমন করে এবং বাল্বের ফিলামেন্ট উত্তপ্ত হয়ে আলো বিকিরণ করে।

এখন কোষ বা ব্যাটারির মধ্যে রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটনের মাধ্যমে সৃষ্ট আধান এর অভ্যন্তরে এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে প্রবাহিত হয়। এর ফলে কোষের এক প্রান্ত ধনাত্মক এবং অপর প্রান্ত ঋণাত্মক আধান সমৃদ্ধ হয় [চিত্র ৩·১১]।

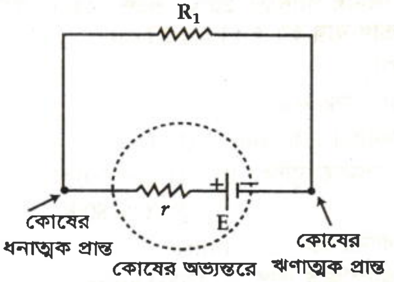


চিত্র ৩·১১

কোষের ভেতর তড়িৎ প্রবাহের দিক কোষের ঋণাত্মক পাত থেকে ধনাত্মক পাতের দিকে। এই পাতদ্বয়ের মধ্যকার বিভিন্ন উপাদান তড়িৎ প্রবাহকে বাধা প্রদান করে। **এই বাধাকেই কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বলে।** প্রত্যেক তড়িৎ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ থাকে। একে 'r' দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কোষের দুই প্রান্তে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের উপস্থিতির জন্য এদের মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। **বহিঃবর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন অবস্থায় কোষের দুই প্রান্তের সর্বোচ্চ বিভব পার্থক্যকে তড়িচ্চালক বল বলা হয়।**

emf



চিত্র ৩.১২

কোষটি বহিঃবর্তনীর রোধ R_1-এর সঙ্গে সংযুক্ত করলে [চিত্র ৩.১২] R_1-এর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলবে। সংযোগ বিচ্ছিন্ন না করলে বা কোষ নষ্ট না হলে বর্তনীতে এই প্রবাহ চলতে থাকবে অর্থাৎ কোষ হচ্ছে চালিকা শক্তি যা বিদ্যুৎ প্রবাহ বজায় রাখে।

সুতরাং তড়িচ্চালক বলের সংজ্ঞা এভাবেও দেওয়া যায়—

সংজ্ঞা : যে চালিকা শক্তি বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ বজায় রাখে তাকে তড়িচ্চালক বল বলে। অন্যভাবে বলা যায় **একক চার্জকে কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ওই বিন্দুতে নিতে যে কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে ওই কোষের তড়িচ্চালক বল বা শক্তি বলে।**[১] একে ε বা E দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

তড়িচ্চালক বলের একক (unit of emf) : তড়িচ্চালক বলের একক হলো জুল/কুলম্ব (JC^{-1}), বা ভোল্ট (volt, V)। তবে ভোল্টই সর্বাধিক ব্যবহৃত একক। সুতরাং তড়িচ্চালক বল ও বিভব পার্থক্যের একক একই। ভোল্টের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

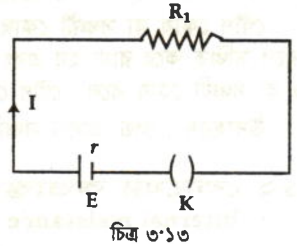
তড়িৎ বর্তনীর কোনো এক বিন্দু হতে 1 কুলম্ব চার্জকে তড়িৎ কোষসহ সম্পূর্ণ বর্তনী একবার ঘুরিয়ে পুনরায় ওই বিন্দুতে আনতে যত জুল কাজ সম্পন্ন করা হয় কোষের তড়িচ্চালক বল হবে তত ভোল্ট।

সাধারণত টর্চে ব্যবহৃত প্রতিটি কোষের $E = 1.5V$, অর্থাৎ কোষের অভ্যন্তরে রাসায়নিক ক্রিয়া কোষের ধনাত্মক প্রান্তের বিভব ঋণাত্মক প্রান্তের তুলনায় 1.5V (বা $1.5\ JC^{-1}$) বেশি রাখে। অন্যভাবে বলা যায়, 1 কুলম্ব চার্জকে ওই কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু হতে সম্পূর্ণ বর্তনী একবার ঘুরিয়ে ওই বিন্দুতে আনতে 1.5 J কাজ সম্পন্ন হয়।

বাস্তবে কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য তড়িচ্চালক শক্তি E-এর চেয়ে কম হয়। এর কারণ অনুচ্ছেদ ৩.১১-এ আলোচনা করা হলো।

৩.১৩ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং তড়িচ্চালক বলের মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক
Relation between internal resistance and electromotive force of a cell

প্রত্যেক বিদ্যুৎ শক্তির উৎস, যেমন কোষ বা জেনারেটরের অভ্যন্তরীণ রোধ রয়েছে। কোষের অভ্যন্তরে বিদ্যুৎ প্রবাহ যে পরিমাণ বাধা পায় তাই কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ। যে সমস্ত পদার্থ দিয়ে উৎস তৈরি তা থেকে এ রোধ সৃষ্টি হয়। যেমন কোষের ক্ষেত্রে এর মধ্যে ব্যবহৃত সক্রিয় রাসায়নিক বস্তুর প্রকৃতি, কোষের পাতদ্বয়ের মাঝে দূরত্ব, এবং পাতদ্বয়ের আকার, কোষের অভ্যন্তরের তাপমাত্রা ইত্যাদির ওপর অভ্যন্তরীণ রোধ r-এর মান নির্ভর করে। আবার জেনারেটরের ভেতরে ব্যবহৃত তার, বিভিন্ন যন্ত্রাংশ ইত্যাদির রোধ এর অভ্যন্তরীণ রোধ। বহিঃবর্তনীর রোধের সঙ্গে অভ্যন্তরীণ রোধ শ্রেণি-সমবায়ে সংযুক্ত হয় [চিত্র ৩.১৩]। সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ হবে



চিত্র ৩.১৩

$R = R_1 + r$, এখানে R_1 হলো বহিঃবর্তনীর রোধ।

সাধারণত r-এর মান খুবই কম হয়। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা I হলে, আমরা পাই,

$I = \dfrac{E}{R_1 + r}$, এখানে E কোষের তড়িচ্চালক বল।

$$\text{বা, } \boxed{\begin{aligned} E &= IR_1 + Ir \\ &= V + Ir \end{aligned}} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.17)$$

V এবং Ir যথাক্রমে বহিঃবর্তনীর রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য এবং কোষের অভ্যন্তরে r-এর জন্য বিভব পতন। V-কে বলা হয় প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য (Terminal potential difference) বা ভোল্টেজ (voltage)।

অর্থাৎ বর্তনীতে প্রবাহ চলাকালীন কোষের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্যই V

সমীকরণ (3.17) হতে এটা স্পষ্ট যে, $V < E$

বর্তনীতে কোষের তড়িচ্চালক বল সম্পূর্ণ কার্যকর না হওয়ার কারণ কী?

প্রান্তীয় ভোল্টেজ তড়িচ্চালক শক্তির চেয়ে কম হওয়ার কারণ হলো যে কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহ চালনা করার জন্য কিছু পরিমাণ তড়িচ্চালক বল প্রয়োজন হয় । এর ফলে কোষের ভেতর বিভব পতন[২] ঘটে।

---

১ 'বল' (force) শব্দটি এ প্রসঙ্গে ঐতিহাসিক কারণে আবির্ভূত হয়; যদিও এটি সঠিক নয়। তড়িৎ বিভব হচ্ছে একক চার্জের শক্তি যা বল নয়। আমরা জানি, বলের একক নিউটন। পক্ষান্তরে শক্তির একক হচ্ছে জুল। তড়িচ্চালক বলের একক ভোল্ট। 1 ভোল্ট = 1 জুল/কুলম্ব। 1 ভোল্ট হলো এক কুলম্ব চার্জ প্রবাহের জন্য শক্তির পরিমাণ। এই বই-এ আমরা তড়িচ্চালক শক্তি ব্যবহার করব।

২ একটি পরিবাহী বা রোধের এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ওই পরিবাহী বা রোধের ভেতর বিভব পতন হয়েছে বলা হয়। বিভব পতন এবং বিভব পার্থক্য একই।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে কোষের দুই প্রান্তের মধ্যে Ir পরিমাণ বিভব পার্থক্য কমে যায়; অর্থাৎ Ir পরিমাণ ভোল্ট বহিঃবর্তনীতে কোনো কাজে আসে না, বরং নষ্ট হয়। এজন্য **Ir-কে নষ্ট ভোল্ট (Lost volt) বলা হয়।** নষ্ট ভোল্ট, $Ir = E - V$।

সমীকরণ (3.17) অনুসারে বহিঃবর্তনী রোধ R_1 ক্ষুদ্র মানের হলে প্রান্তীয় বিভব তড়িচ্ছালক শক্তির তুলনায় অনেক ছোট হয়। আবার R_1 যখন খুব বড় মানের হয় তখন প্রান্তীয় বিভব তড়িচ্ছালক শক্তির প্রায় সমান হয়।

সমীকরণ (3.17)-এ $I = 0$ হলে,

$E = V$ হবে।

অর্থাৎ, **যখন বহিঃবর্তনীতে কোনো প্রবাহ থাকে না, অর্থাৎ বর্তনী খোলা অবস্থায় থাকে, তখন কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য ওই কোষের তড়িচ্ছালক শক্তির সমান হয়।**

কাজ : বর্তনীতে অভ্যন্তরীণ রোধের কাজ কী ? বিদ্যুৎ প্রবাহ চলার ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধের ভূমিকা কী ?

অভ্যন্তরীণ রোধের কাজ হলো কোষের ঋণাত্মক প্রান্ত হতে ধনাত্মক প্রান্তে ইলেকট্রনের প্রবাহে বাধা প্রদান করা। বিদ্যুৎ প্রবাহ (i) এবং তড়িচ্ছালক বলের মধ্যে সম্পর্ক হলো $i = \frac{E}{R+r}$। এই সমীকরণ থেকে বোঝা যায় যে, বহিঃবর্তনীর রোধ R নির্দিষ্ট হলে তড়িৎ প্রবাহ i কেবলমাত্র কোষের তড়িচ্ছালক বল E-এর ওপর নির্ভর করে না। এর অভ্যন্তরীণ রোধ r এর ওপরও নির্ভরশীল হয়। কাজেই কোনো কোষ হতে উচ্চ মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহ পেতে হলে এর অভ্যন্তরীণ রোধ স্বল্প হওয়া প্রয়োজন। কোনো কোষের দুই প্রান্ত নগণ্য রোধবিশিষ্ট ($R = 0$) তামার মোটা পাত দ্বারা যুক্ত করলে উহা সর্বাধিক তড়িৎ প্রবাহ প্রদান করে।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : কোনো তড়িৎ কোষের প্রান্তীয় বিভব তার তড়িচ্ছালক বলের সমান হয় কী?

কোষের তড়িচ্ছালক বল, $E = V + ir$, এখানে V = প্রান্তীয় বিভব এবং r = অভ্যন্তরীণ রোধ। প্রান্তীয় বিভব, $V = E - ir$। সুতরাং দুটি শর্তে $V = E$ হতে পারে।

(i) $r = 0$ অর্থাৎ কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ শূন্য হলে—যা বাস্তবে সম্ভব নয়।

(ii) $i = 0$ অর্থাৎ কোষটির মধ্য দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ না গেলে। মুক্ত বা খোলা বর্তনীতে এ ঘটনা ঘটে।

হিসাব কর : একটি কোষের তড়িচ্ছালক বল 2 volt কিন্তু তার সাথে 10 ohm একটি রোধক যুক্ত করলে কোষের পাত দুটির বিভব পার্থক্য দাঁড়ায় 1·6 volt; কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং নষ্ট ভোল্ট নির্ণয় কর।

মনে করি 10 ohm রোধে প্রবাহমাত্রা I। কাজেই $I = \frac{1 \cdot 6}{10} = 0 \cdot 16\text{A}$

এখন আমরা জানি, $r = \frac{E - V}{I}$

এখানে $E = 2\text{V}$, $V = 1 \cdot 6\text{ V}$ এবং $I = 0 \cdot 16\text{A}$

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = \frac{2 - 1 \cdot 6}{0 \cdot 16} = \frac{0 \cdot 4}{0 \cdot 16} = 2 \cdot 5\text{ ohm}$

এবং নষ্ট ভোল্ট, $Ir = 0 \cdot 16 \times 2 \cdot 5\text{ volt} = 0 \cdot 4\text{ volt}$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৬

১। একটি কোষের তড়িচ্ছালক শক্তি 2V। এতে যখন 5A তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তখন এর বিভব পার্থক্য 1·8 V হয়। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত ? [চ. বো. ২০১১; য. বো. ২০০২]

মনে করি, অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$

এখানে,

$E = 2\text{V}$

$i = 5\text{A}$

$V = 1 \cdot 8\text{ V}$

$r = ?$

আমরা জানি, $R = \frac{V}{i}$

$\therefore R = \frac{1 \cdot 8}{5} = 0 \cdot 36\ \Omega$

আবার, $i = \frac{E}{R + r}$

$\therefore 5 = \frac{2}{0 \cdot 36 + r}$

বা, $0 \cdot 36 + r = \frac{2}{5}$

বা, $0 \cdot 36 + r = 0 \cdot 40$

$\therefore r = 0 \cdot 40 - 0 \cdot 36 = 0 \cdot 04\ \Omega$

২। 4 Ω ও 6Ω এর দুটি রোধককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়টিকে 2·2V তড়িচ্চালক শক্তি ও 1Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষের সাথে যুক্ত করে বর্তনী পূর্ণ করা হলো। প্রতিটি রোধের প্রান্তীয় বিভব নির্ণয় কর।

[চ. বো. ২০০৭, ২০০৩; ব. বো. ২০০৬; সি. বো. ২০০৭]

মনে করি শ্রেণি সমবায়ে তুল্য রোধ R_s

ও প্রবাহমাত্রা $= i$

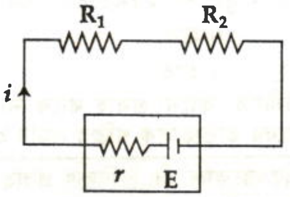
আমরা জানি,

$R_s = R_1 + R_2 = 4 + 6 = 10\Omega$

আবার $i = \dfrac{E}{R_s + r} = \dfrac{2{\cdot}2}{10+1} = \dfrac{2{\cdot}2}{11} = 0{\cdot}2A$

$\therefore \quad V_1 = iR_1 = 0{\cdot}2 \times 4 = 0{\cdot}8V$

এবং $V_2 = iR_2 = 0{\cdot}2 \times 6 = 1{\cdot}2V$



এখানে,

$R_1 = 4\Omega$

$R_2 = 6\Omega$

$E = 2{\cdot}2V$

$r = 1\,\Omega$

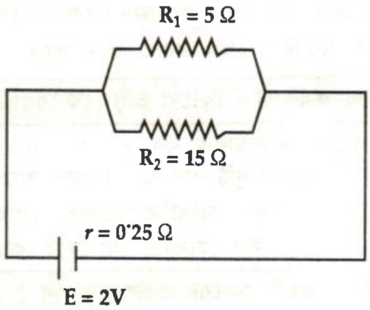
$V_1 = ?$

$V_2 = ?$

৩। একটি তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 2V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·25 Ω। 5 Ω এবং 15 Ω রোধের দুটি তার সমান্তরালভাবে সাজিয়ে কোষটির সাথে যুক্ত করলে প্রত্যেক তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

[ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১১; য. বো. ২০১০; BUET Admission Test, 2009-10]]

প্রশ্নানুসারে বর্তনীটির চিত্র দেখানো হলো।



মনে করি, মোট প্রবাহমাত্রা $= i$

আমরা পাই, $i = \dfrac{E}{R + r}$ ... ... (i)

এখানে, $E = 2V$, $r = 0{\cdot}25\ \Omega$ এবং R_1 ও R_2 রোধদ্বয়ের তুল্য রোধ R হলে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{5} + \frac{1}{15}$$

$$= \frac{3+1}{15} = \frac{4}{15}$$

$$\therefore \quad R = \frac{15}{4}\ \Omega$$

সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$i = \frac{2}{0{\cdot}25 + \frac{15}{4}} = \frac{2}{\frac{1{\cdot}00 + 15}{4}} = \frac{2}{\frac{16}{4}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0{\cdot}5\ A$$

$$\therefore \quad i = 0{\cdot}5\ A$$

ধরি, কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য $= V$

$$\therefore\ V = i \times R = 0{\cdot}5 \times \frac{15}{4} = 1{\cdot}875\ V$$

সুতরাং $R_1 = 5\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহ,

$$i_1 = \frac{1{\cdot}875}{5} = 0{\cdot}375\ A$$

এবং $R_2 = 15\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহ,

$$i_2 = \frac{1{\cdot}875}{15} = 0{\cdot}125\ A$$

৪। 10Ω, 50Ω এবং 190Ω রোধের তিনটি পরিবাহককে শ্রেণিতে সংযুক্ত করে সমষ্টির দুই প্রান্তে 250 V প্রয়োগ করা হয়েছে। পরিবাহক তিনটির প্রত্যেকের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$V_1 = \frac{R_1 \times V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{10 \times 250}{10 + 50 + 190} = 10\ V$$

$$V_2 = \frac{R_2 \times V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{50 \times 250}{10 + 50 + 190} = 50\ V$$

$$V_3 = \frac{R_3 \times V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{190 \times 250}{10 + 50 + 190} = 190\ V$$

এখানে,

$R_1 = 10\ \Omega$

$R_2 = 50\ \Omega$

$R_3 = 190\ \Omega$

$V = 250\ V$

$V_1, V_2, V_3 = ?$

৫। কোনো একটি রোধকের মধ্য দিয়ে নির্দিষ্ট মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চলছে। এর সাথে 120 Ω রোধ শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত করলে প্রবাহমাত্রা পূর্বের প্রবাহের অর্ধেক হয়। রোধকের মান কত ?

মনে করি, রোধকের মান R_1 এবং প্রাথমিক প্রবাহমাত্রা I_1

সুতরাং $V = I_1R_1$ ... ... (i)

দ্বিতীয় পর্যায়ে রোধ $= (R_1 + 120)\ \Omega$ এবং প্রবাহ মাত্রা $= \frac{I_1}{2}$

$\therefore\ V = (R_1 + 120) \times \frac{I_1}{2}$ ... ... (ii)

(i) ও (ii) থেকে পাই,

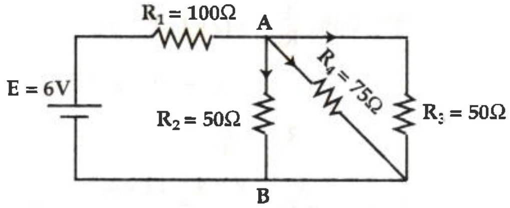
$I_1R_1 = (R_1 + 120) \times \frac{I_1}{2}$

বা, $2R_1 = R_1 + 120$

$\therefore\ R_1 = 120\ \Omega$

৬। (ক) নিচের বর্তনীর A ও B বিন্দুর বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]

(খ) R_3 কে খুলে ফেললে R_2 ও R_4 এর মধ্যে প্রবাহের কী পরিবর্তন হবে ?



(ক) বর্তনীতে R_2, R_3, R_4 সমান্তরালে যুক্ত

$\therefore\ \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{75}$

বা, $\frac{1}{R_p} = \frac{3+3+2}{150} = \frac{8}{150}$

$\therefore\ R_p = \frac{150}{8}\ \Omega$

আবার, R_1 ও R_p শ্রেণিতে যুক্ত। অতএব তুল্য রোধ

$R_s = R_1 + R_p = 100 + \frac{150}{8} = \frac{950}{8}\ \Omega$

বর্তনীর মূল প্রবাহ, $I = \frac{E}{R_s} = \frac{6}{\frac{950}{8}} = 0.0505\ A$

সুতরাং R_1 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ $= 0.0505A$

R_p এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য,

$V_p = I \times R_p = 0.0505 \times \frac{150}{8} = 0.947\ V$

$\therefore$ A ও B এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য $= 0.947\ V$

(খ) R_3 কে খুলে ফেললে, R_2 ও R_4 সমান্তরালে যুক্ত

$\therefore\ \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{50} + \frac{1}{75} = \frac{3+2}{150} = \frac{1}{30}\ \Omega$

$\therefore\ R_p = 30\ \Omega$

বর্তনীর তুল্য রোধ R হলে, $R = R_1 + R_p = 100 + 30 = 130\ \Omega$

বর্তনীর প্রবাহমাত্রা I হলে,

$I = \frac{E}{R} = \frac{6}{130} = 0.04615\ A$

এখন A ও B এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য,

$V_p' = I \times R_p = 0.04615\ A \times 30\ \Omega = 1.3845\ V$

R_2 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_2' = \frac{V_p'}{R_2} = \frac{1.3845}{50} = 0.0277\ A$

R_4 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_4' = \frac{V_p'}{R_4} = \frac{1.3845}{75} = 0.01846\ A$

R_3 কে খুলে না ফেললে, R_2 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_2 = \frac{V_p}{R_2} = \frac{0{\cdot}947}{50} = 0{\cdot}019$ A

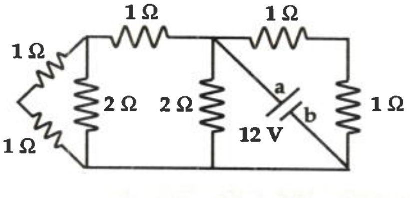
R_4 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা, $I_4 = \frac{V_p}{R_4} = \frac{0{\cdot}947}{75} = 0{\cdot}013$ A

সুতরাং দেখা যায় যে, $I_2' > I_2$ এবং $I_4' > I_4$

অতএব R_3 কে খুলে ফেললে R_2 এবং R_4 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহ পূর্বের তুলনায় বেশি পাওয়া যাবে।

৭। নিচের বর্তনীতে 12 V ব্যাটারি থেকে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহ I এর মান নির্ণয় কর।

[CUET Admission Test, 2008–09]



(a)

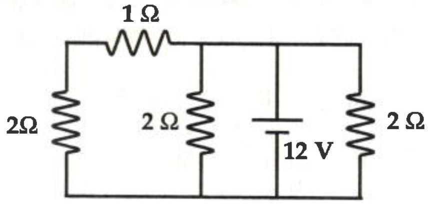
আমরা জানি,

তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_P} = (2+1) \parallel 2 \parallel 2$

$= 3^{-1} + 2^{-1} + 2^{-1} = \frac{4}{3}$

$\therefore R_P = \frac{3}{4}$

$\therefore \quad I = \frac{V}{R_P} = \frac{V}{3/4} = \frac{V \times 4}{3} = \frac{12 \times 4}{3} = 16$ A



(b) তুল্য বর্তনী

৮। 5 Ω, 10 Ω এবং 15 Ω এর তিনটি রোধ শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায়ে সাজানো আছে। উভয় ক্ষেত্রে তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

[RUET Admission Test, 2012–13]

আমরা জানি,

শ্রেণি সমবায়ে তুল্য রোধ, $R_S = R_1 + R_2 + R_3$

$= 5 + 10 + 15 = 30\ \Omega$

সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_P} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{15}$

$= \frac{6+3+2}{30} = \frac{11}{30}$

$\therefore \quad R_P = 2{\cdot}727\ \Omega$

এখানে,

$R_1 = 5\ \Omega$

$R_2 = 10\ \Omega$

$R_3 = 15\ \Omega$

৯। একই উপাদানের দুটি রোধ সমান। রোধক দুটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত 4 : 9 হলে রোধক দুটির ব্যাসের অনুপাত কত ?

মনে করি, রোধকের উপাদানের আপেক্ষিক রোধ $= \rho$

প্রশ্নানুসারে, $R = \frac{\rho L_1}{\pi r_1^2} = \frac{\rho L_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}}$ … … (i)

এবং $R = \frac{\rho L_2}{\frac{\pi d_2^2}{4}}$ … … (ii)

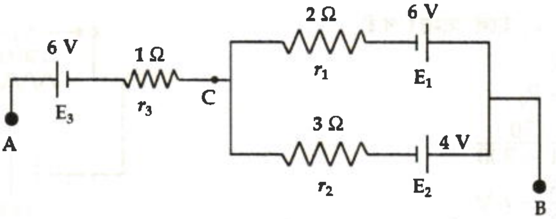
(i) ও (ii) থেকে পাই,

$$\frac{\rho L_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{\rho L_2}{\frac{\pi d_2^2}{4}}$$

বা, $\frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{4}{9}$

$\therefore \quad \frac{d_1}{d_2} = \frac{2}{3}$ বা, $d_1 : d_2 = 2 : 3$

১০। নিম্নের চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীর A ও B বিন্দুর সাপেক্ষে তুল্য তড়িচ্চালক বল ও তুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।



C ও B বিন্দুর সাপেক্ষে তড়িচ্চালক বল,

$$E_{CB} = \frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 + r_2} = -\frac{6\times3+4\times2}{2+3}$$

$$= -\frac{26}{5} = -5{\cdot}2\text{ V}$$

$$\therefore \quad E_{AB} = E_3 + E_{CB} = 6 + (-5{\cdot}2)$$

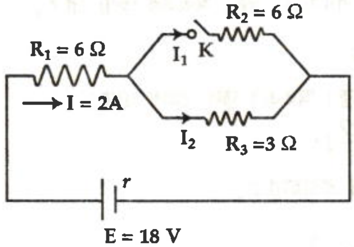
$$= 6 - 5{\cdot}2 = 0{\cdot}8\text{ V}$$

এবং $r_{CB} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = \frac{2\times3}{2+3} = \frac{6}{5}$

অতএব, $r_{AB} = 1 + \frac{6}{5} = \frac{11}{5} = 2{\cdot}2\ \Omega$

এখানে,
$E_1 = 6$ V
$E_2 = 4$ V
$E_3 = 6$ V
$r_1 = 2\ \Omega$
$r_2 = 3\ \Omega$
$r_3 = 1\ \Omega$

১১। 18 V তড়িচ্চালক বল সম্পন্ন একটি ব্যাটারি R_1, R_2 ও R_3 রোধের একটি সমবায়ের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ পাঠায়। যখন চাবি K বন্ধ থাকে তখন 6 Ω রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা 2A। (i) কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং I_1 ও I_2 তড়িৎ প্রবাহগুলোর মান কত? (ii) চাবি খোলা থাকলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা কত?



(i) আমরা জানি,

$$I = \frac{E}{R' + r} \quad \dots (1)$$

আবার,

$$R' = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad [\because R_2 \parallel R_3]$$

$$= 6 + \frac{18}{9} = 8\ \Omega$$

∴ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$2 = \frac{18}{8+r} \quad \text{বা,}\ 16 + 2r = 18$$

বা, $2r = 18 - 16 = 2$

$\therefore \quad r = \frac{2}{2} = 1\ \Omega$

এখন, $I_1 = I \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 2 \times \frac{3}{9} = \frac{6}{9} = 0{\cdot}667$ A

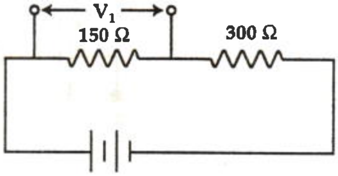
$I_2 = I - 0{\cdot}667 = 2 - 0{\cdot}667 = 1{\cdot}333$ A

(ii) K চাবি খোলা থাকলে, মোট রোধ $= R_1 + R_3 = 9\ \Omega$

∴ প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{18}{9+1} = \frac{18}{10} = 1{\cdot}8$ A

এখানে,
E = 18 V
$R_1 = 6\ \Omega$
$R_2 = 6\ \Omega$
$R_3 = 3\ \Omega$
I = 2 A
r = ?

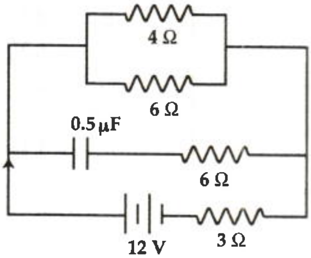
১২। চিত্রের বর্তনীতে একটি আদর্শ ভোল্টমিটার দ্বারা পরিমাপ করলে 150 Ω রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য কত পাওয়া যাবে?



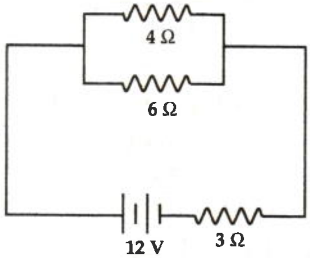
পরিমিত বিভব পার্থক্য V_1 হলে আমরা পাই,

$$V_1 = V \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$
$$= 18 \times \frac{150}{150 + 300}$$
$$= 18 \times \frac{150}{450} = 6\ V$$

১৩। চিত্রে [(ক)] প্রদর্শিত বর্তনীতে তড়িৎ কোষের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত স্থির প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। ধরে নাও, কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নগণ্য।



চিত্র (ক)



চিত্র (খ)

যেহেতু স্থির অবস্থায় ধারকের মধ্য দিয়ে কোনো একমুখী প্রবাহমাত্রা যায় না, তাই স্থির অবস্থায় প্রদত্ত বর্তনীর তুল্য বর্তনী হবে চিত্র (খ)-এর অনুরূপ।

4 Ω ও 6 Ω রোধ দুটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। অতএব তুল্য রোধ,

$$R_1 = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = \frac{24}{10} = \frac{12}{5}\ \Omega$$

R_1 ও 3 Ω রোধ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। অতএব তুল্য রোধ হবে,

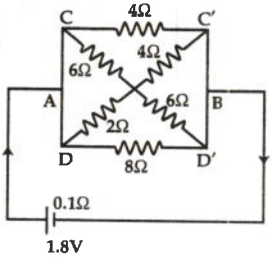
$$R = R_1 + 3\ \Omega = \frac{12}{5} + 3 = \frac{27}{5}\ \Omega$$

অতএব, তড়িৎ কোষের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা,

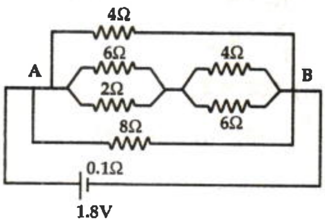
$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{\frac{27}{5}} = \frac{12 \times 5}{27} = 2{\cdot}22\ A$$

১৪। চিত্র ১–এ একটি বর্তনী দেখানো হয়েছে। ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল 1·8V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·1Ω।

C ও D বিন্দুর বিভব A বিন্দুর বিভবের সমান। পুনরায়, C′ ও D′ বিন্দুর বিভব B বিন্দুর বিভবের সমান। সুতরাং, চিত্র ২ চিত্র ১–এর তুল্য বর্তনী।



চিত্র ১



চিত্র ২

চিত্র ২–এ A ও B মধ্যে মধ্যবর্তী শাখার রোধ,

$$R_1 = \frac{6 \times 2}{6 + 2} + \frac{4 \times 6}{4 + 6} = \frac{12}{8} + \frac{24}{10}$$
$$= \frac{60 + 96}{40} = \frac{156}{40} = 3{\cdot}9\Omega$$

এখন, 4Ω, 3·9Ω এবং 8Ω-এর তুল্য রোধ R হয় তবে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4} + \frac{40}{156} + \frac{1}{8} = \frac{156+4+78}{624} = \frac{238}{624}$$

বা, $R = \frac{624}{238} = 2{\cdot}62\Omega$

∴ মূল তড়িৎ প্রবাহ,

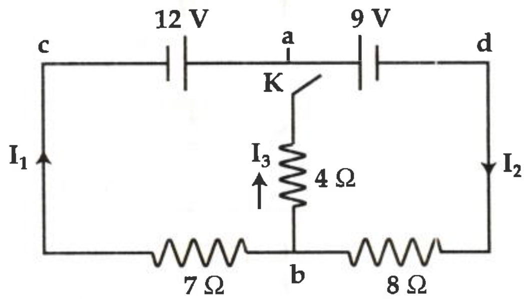
$$I = \frac{1{\cdot}8}{2{\cdot}62 + 0{\cdot}1} = \frac{1{\cdot}8}{2{\cdot}72} = 0{\cdot}66A$$

∴ $V_{AB} = IR = 0{\cdot}66 \times 2{\cdot}62 = 1{\cdot}73V$

অতএব, 4Ω রোধের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ $= \frac{V_{AB}}{4} = \frac{1{\cdot}73}{4} = 0{\cdot}43A$

১৫। চিত্রে প্রদর্শিত সার্কিটে সুইচ K খোলা অবস্থায় কারেন্ট I_1, I_2 এবং I_3 এর মান নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2014–15]



এখানে, $I_3 = 0$ এবং $I_1 = I_2$

cadbc বর্তনীতে কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$12 - 9 - I_2 \times 8 - I_2 \times 7 = 0$$

∴ $3 = 8\,I_2 + 7\,I_2$

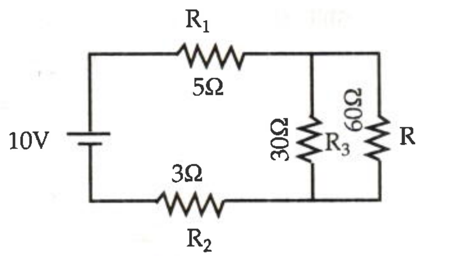
∴ $15\,I_2 = 3$

$I_2 = \frac{3}{15}$ Amp

∴ $I_1 = I_2 = \frac{3}{15}$ Amp

কর্ম অনুশীলন : নিচের বর্তনীগুলো দেখ এবং এগুলোর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ ও বিভব পার্থক্য ও রোধ নির্ণয়ের অনুশীলনীগুলো কর।

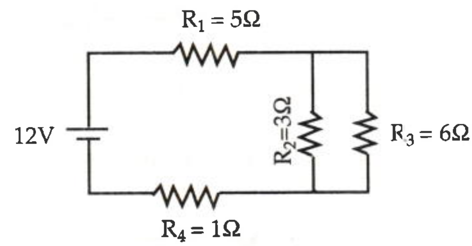
I.



R_3 রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের মান কত ? [উ. 0·24A]

[D.U. Admission Test, 2011-12]

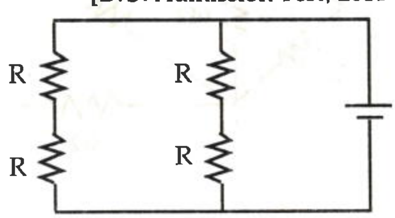
II.



R_3 রোধের মধ্যে বিভব পার্থক্য কত ?

[D.U. Admission Test, 2010-11] [উ. 3V]

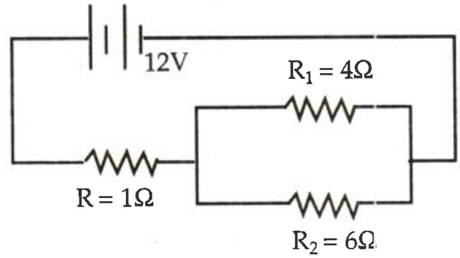
III.



বর্তনীর সমতুল্য রোধ কোনটি ?

[D.U. Admission Test, 2010-11] [উ. R]

IV.

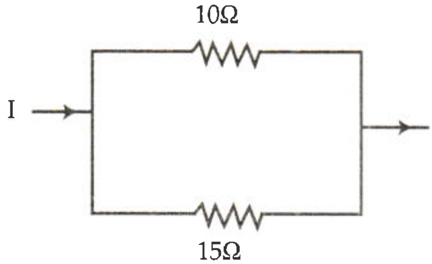


R_1, R_2 রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহের মান কত ?

[D.U. Admission Test, 2008-09]

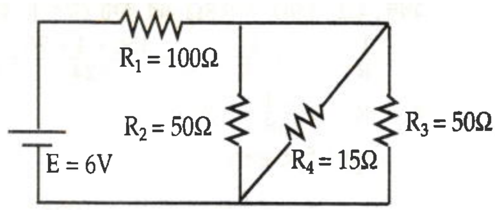
[উ. $I_1 = 2{\cdot}1$ A; $I_2 = 1{\cdot}4$ A]

V.



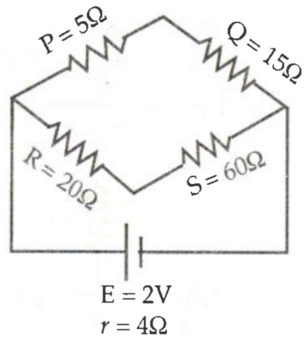
10 রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ কত হবে?
[D.U. Admission Test, 2007-08] [উ. 0·6I]

VI.



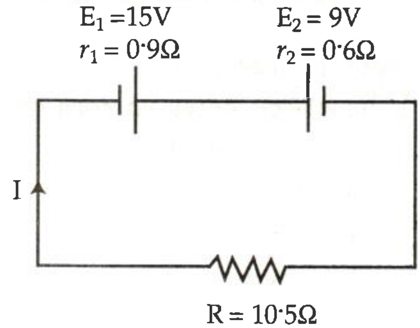
প্রতিটি রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ কত?
[উ. I_1=0·05A, I_2=I_3=0·1875A, I_4=0·015A]

VII.



বর্তনীর মোট প্রবাহ কত? [উ. 0·1A]

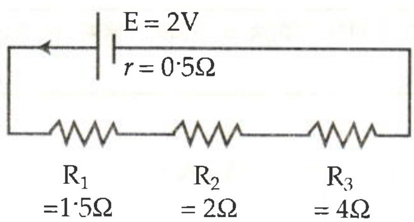
VIII.



বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

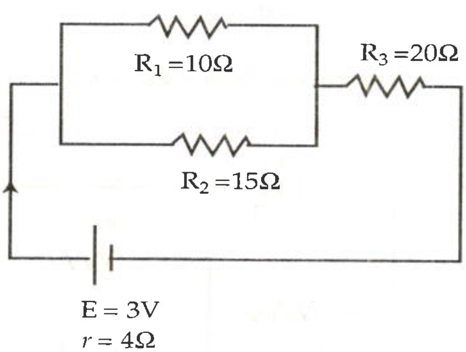
[উ. কোষদ্বয় পরস্পর বিপরীতভাবে যুক্ত
∴ $E_1 > E_2$ ফলে I এর অভিমুখ দক্ষিণাবর্তী বর্তনী
মোট তড়িচ্চালক বল $= E_1 - E_2 = 15 - 9 = 6V$
মোট রোধ $r_1 + r_2 + R = 0·9 + 0·6 + 10·5$
$= 12\Omega$
$\therefore\ I = \frac{6}{12} = 0·5$ A]

IX.



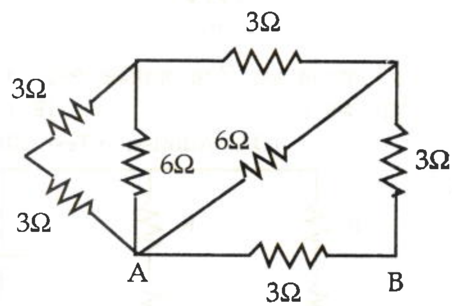
মধ্যবর্তী রোধকের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য কত?
[উ. 0·5V]

X.



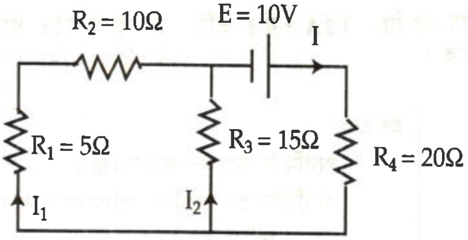
R_3 এর মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ এবং এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত ?
[উ. I = 0·1A, V = 2V]

XI.



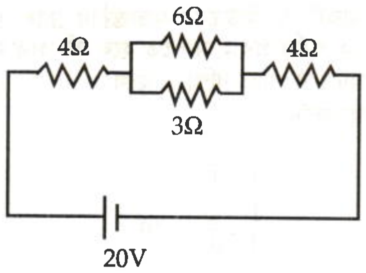
A ও B এর মধ্যে কার্যকর রোধ কত? [উ. 9Ω]
[Hints : R_6, R_7 শ্রেণিতে এবং R_5 এর সাথে সমান্তরালে এবং R_4 এর সাথে শ্রেণিতে। R_1 ও R_2 শ্রেণিতে এবং R_3 এর সাথে সমান্তরালে।]

XII.



কির্শফের পদ্ধতিতে I_1 ও I_2 এর সঠিক মান নির্ণয় কর। [উ. $I_1 = 0·182$ A, $I_2 = 0·182$ A
$I = I_1 + I_2 = 0·364$ A]

XIII.

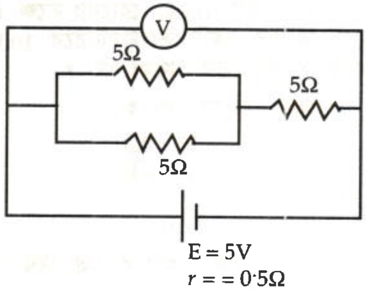


বর্তনীতে প্রবাহিত কারেন্টের মান কত ?

[D.U. Admission Test, 2006-07] [উ. 10A]

XIV. (ক) বর্তনীর মূল প্রবাহ $I = ?$

(খ) দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের তড়িৎকোষ ব্যবহার করলে ভোল্টমিটারের কীরূপ পরিবর্তন হবে?



(ক) এখানে মোট রোধ $R = 7·5\Omega$

$\therefore\ I = \dfrac{5}{7·5 + 0·5} = 0·625A$

উত্তর : 0·625A

(খ) একই তড়িচ্চালক শক্তি এবং দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের তড়িৎকোষ ব্যবহার করলে কোষের অভ্যন্তরে অধিকতর মানের বিভব পতন ঘটবে। এতে বহিঃবর্তনীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য এবং ভোল্টমিটারের পাঠ কমে যায়। পূর্বের ক্ষেত্রে ভোল্টমিটারের পাঠ $= IR = 0·625A \times 7·5\Omega = 4·69V$

কোষের অভ্যন্তরে বিভব পতন $= Ir = 0·625A \times 0·5\Omega = 0·31V$

বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রা, $I = \dfrac{E}{R+r} = \dfrac{5}{7·5 + 1} = 0·588$ A

ভোল্টমিটারের পাঠ, $IR = 0·588 \times 7·5 = 4·41V$

কোষের অভ্যন্তরে বিভব পতন, $Ir = 0·588 \times 1 = 0·588$ V

যেহেতু $4·69V > 4·41V$ এবং $0·31V < 0·5V$.

সুতরাং দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের কোষ ব্যবহার করলে প্রবাহমাত্রা সামান্য কমে গেলেও কোষের অভ্যন্তরীণ বিভব পতন বৃদ্ধি পাবে এবং বহিঃবর্তনীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কমে যাওয়ায় ভোল্টমিটারের পাঠ কমে যাবে।

XV. ভোল্টমিটারের পাল্লা বৃদ্ধি : $R = r(n-1)$; এখানে $n = \dfrac{V'}{V}$, $r =$ ভোল্টমিটারের রোধ।

অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি, $S = \dfrac{r}{n-1}$, $n = \dfrac{I'}{I}$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৭

১। একটি ভোল্টমিটার 15V পরিসরের এবং এর রোধ 1000 Ω। ভোল্টমিটার দ্বারা 150 V পর্যন্ত বিভব পার্থক্য পরিমাপের জন্য কী ব্যবস্থা অবলম্বন করতে হবে ?

ভোল্টমিটারের পাল্লা বৃদ্ধি n হলে,

আমরা জানি,

$$R = (n-1)\,r$$

এবং $n = \dfrac{V'}{V} = \dfrac{150}{15} = 10$

$\therefore\ R = (10-1) \times 1000 = 9000\ \Omega$

অতএব, শ্রেণি সমবায়ে 9000Ω এর রোধ যুক্ত করতে হবে।

এখানে,

ভোল্টমিটারের রোধ, $r = 1000\ \Omega$

ভোল্টমিটার দ্বারা পরিমাপযোগ্য বিভব পার্থক্য, $V = 15$ V

ভোল্টমিটার দ্বারা সর্বোচ্চ পরিমাপযোগ্য বিভব পার্থক্য দরকার, $V' = 150$ V

রোধ, $R = ?$

২। একটি অ্যামিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ 2Ω এবং এটি সর্বোচ্চ 0·2A পর্যন্ত তড়িৎ প্রবাহ মাপতে পারে। এর সাহায্যে 2·0A পর্যন্ত প্রবাহ মাপতে হলে কী ব্যবস্থা নিতে হবে ? [ব. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন)]

অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি n হলে,

আমরা জানি,

$$S = \frac{r}{n-1}$$

এবং $$n = \frac{I'}{I} = \frac{2}{0{\cdot}2} = 10$$

$$\therefore \quad S = \frac{2}{10-1} = \frac{2}{9} = 0{\cdot}22\ \Omega$$

অতএব, অ্যামিটারের সাথে 0·22Ω সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

এখানে,
অ্যামিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 2\Omega$
অ্যামিটারের সর্বোচ্চ পরিমাপযোগ্য তড়িৎ প্রবাহ, $I = 0{\cdot}2$ A
অ্যামিটারের সর্বোচ্চ পরিমাপযোগ্য তড়িৎ প্রবাহ, $I' = 2$ A
সান্ট, $S = ?$

৩। একটি 100Ω রোধের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত একটি অ্যামিটারের মধ্য দিয়ে স্থির তড়িৎ প্রবাহ চলছে। 440Ω রোধের একটি ভোল্টমিটারকে 100Ω রোধটির দুপ্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করলে 220V পাঠ পাওয়া যায়। রোধটির দুই প্রান্তের সঠিক বিভব পার্থক্য কত ?

ভোল্টামিটারের প্রবাহমাত্রা,

$$I_V = \frac{V}{R'} = \frac{220}{440} = 0{\cdot}5A$$

ভোল্টমিটার বর্তনীতে যুক্ত অবস্থায় 100Ω রোধটির মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা,

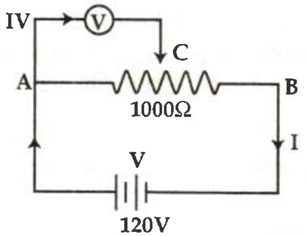
$$I' = \frac{V}{R} = \frac{220}{100} = 2{\cdot}2A$$

এখানে,
রোধ, $R = 100\Omega$
ভোল্টমিটারের রোধ, $R' = 440\Omega$
ভোল্টমিটারের পাঠ, $V = 220V$
সঠিক বিভব পার্থক্য, $V' = ?$

সুতরাং বর্তনীতে মূল প্রবাহমাত্রা, $I = I_V + I' = 0{\cdot}5 + 2{\cdot}2 = 2{\cdot}7A$

বর্তনীতে ভোল্টমিটার সংযুক্ত না থাকলে মূল প্রবাহের পুরোটাই 100Ω রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হতো। সুতরাং রোধটির দুই প্রান্তের সঠিক বিভব পার্থক্য. $V' = IR = 2{\cdot}7 \times 100 = 270V$

৪। 120V সরবরাহ লাইনে 1000Ω-এর একটি রোধ আছে। এর একপ্রান্ত ও মধ্যবিন্দুতে একটি ভোল্টমিটার সংযুক্ত করায় এটি 50V পাঠ দেয়। ভোল্টমিটারের রোধ নির্ণয় কর।



ধরা যাক ভোল্টমিটারের রোধ, R_1

চিত্রে C, AB-এর মধ্যবিন্দু।

সুতরাং, AC ও BC প্রতিটি অংশের রোধ $= \frac{1000}{2} = 500\Omega$

এখানে,
$V = 120V$
$V_1 = 50V$
$R = 1000\Omega$
$R_1 = ?$

যেহেতু ভোল্টমিটারের পাঠ 50V

$\therefore \quad V_A - V_C = 50V$ বা, $V_C - V_B = 70V$

এখন বর্তনীর মূল তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{V_C - V_B}{\text{BC-এর রোধ}} = \frac{70}{500} = 0{\cdot}14A$$

সুতরাং, AC এর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I' = \frac{V_A - V_C}{\text{AC–এর রোধ}} = \frac{50}{500} = 0{\cdot}10A$$

সুতরাং, ভোল্টমিটারের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I_V = I - I' = 0{\cdot}14 - 0{\cdot}10 = 0{\cdot}4A$$

অতএব ভোল্টমিটারের রোধ, $R_1 = \frac{V_A - V_C}{I_V} = \frac{50}{0{\cdot}04} = 1250\Omega$

৩.১৪ বিদ্যুৎ কোষের সমবায়
Combination of cells

কোনো কোনো ক্ষেত্রে বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা বা বিভব বৈষম্য পরিবর্তনের জন্য কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষকে একত্রে যুক্ত করা হয়। একে বিদ্যুৎ কোষের সমবায় বলে এবং এরূপ দলবদ্ধ বিদ্যুৎ কোষগুলোকে একত্রে ব্যাটারি বলে। বিদ্যুৎ কোষের সমবায় তিন প্রকার; যথা—

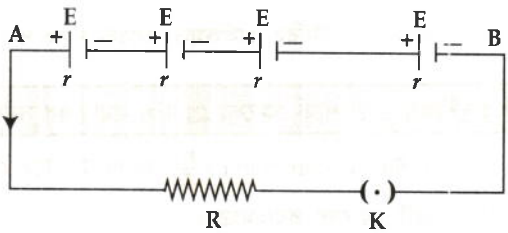
(ক) শ্রেণি বা সিরিজ সমবায় (Series combination)
(খ) সমান্তরাল সমবায় (Parallel combination) ও
(গ) মিশ্র সমবায় (Mixed combination)।

RMDAT

নিচে আমরা প্রথম দুটি সমবায় আলোচনা করব।

৩.১৪.১ শ্রেণি সমবায়
Series combination

যদি কতগুলো বিদ্যুৎ কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথমটির ঋণ পাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধন পাত, দ্বিতীয়টির ঋণ পাতের সাথে তৃতীয়টির ধন পাত পরপর এভাবে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে শ্রেণি সমবায় বলে।



চিত্র ৩.১৪

ধরা যাক R মানের একটি রোধের দুই প্রান্তের সাথে nটি বিদ্যুৎ কোষ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩.১৪]। প্রত্যেক বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। কোষগুলোর মিলিত বিদ্যুচ্চালক শক্তি বা ব্যাটারির বিদ্যুচ্চালক শক্তি অথবা বর্তনীর বিভব বৈষম্য nE এবং সমতুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ nr। কেননা রোধগুলো শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। কোষগুলোর অভ্যন্তরীণ রোধ আবার R-এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। কাজেই বর্তনীর মোট রোধ $= nr + \mathrm{R}$।

ও'মের সূত্র অনুসারে বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা,

$$i_s = \frac{\text{মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{n\mathrm{E}}{nr + \mathrm{R}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.18)$$

(১) যদি nr-এর তুলনায় R অনেক বড় হয় অর্থাৎ $nr << \mathrm{R}$, তবে nr অগ্রাহ্য করা যায়।

এই অবস্থায় $i_s = \frac{n\mathrm{E}}{\mathrm{R}} = n \times$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা $> \frac{n\mathrm{E}}{nr + \mathrm{R}}$।

সুতরাং উচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা সৃষ্টির জন্য কোষগুলোকে এমনভাবে যুক্ত করতে হবে যাতে nr-এর তুলনায় R অনেক বড় হয়।

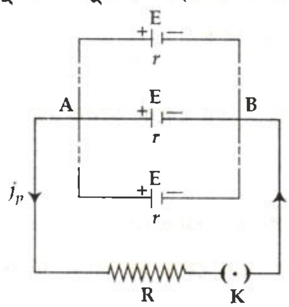
(২) যদি nr-এর তুলনায় R অনেক ছোট হয় তবে R উপেক্ষা করে পাওয়া যায়,

$i_s = \frac{n\mathrm{E}}{nr} = \frac{\mathrm{E}}{r} =$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা।

এ অবস্থায় ব্যাটারির কার্য ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় না।

৩.১৪.২ সমান্তরাল সমবায়
Parallel combination

যদি কতগুলো বিদ্যুৎ কোষের ধন পাতগুলো এক বিন্দুতে এবং ঋণ পাতগুলো অপর এক বিন্দুতে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে।



চিত্র ৩.১৫

ধরা যাক R মানের একটি রোধের সাথে n সংখ্যক বিদ্যুৎ কোষ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। প্রত্যেক বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। যেহেতু কোষগুলোর ধন পাতগুলো এক বিন্দু A-তে এবং ঋণ পাতগুলো অপর এক বিন্দু B-তে যুক্ত [চিত্র ৩.১৫], কাজেই সমবায়ের বা ব্যাটারির বিদ্যুচ্চালক শক্তি যেকোনো একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তির সমান হবে। আবার যেহেতু কোষগুলো সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে, অতএব তাদের অভ্যন্তরীণ রোধগুলোও সমান্তরাল সমবায়ে থাকবে। সুতরাং সমবায়ের বা ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ R_p হলে,

$$\frac{1}{\mathrm{R}_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \ldots\ldots\ldots \; n \text{ পদ} = \frac{n}{r}$$

$$\therefore \quad \mathrm{R}_p = \frac{r}{n}$$

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $= R + R_p = R + \frac{r}{n}$ । বর্তনী দিয়ে i_p মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ও'মের সূত্রানুসারে,

$$i_p = \frac{\text{মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি}}{\text{মোট রোধ}}$$

$$= \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$$

$$= \frac{nE}{nR + r} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.19)$$

(১) যদি r-এর তুলনায় nR অনেক বড় হয়, তবে r অগ্রাহ্য করে পাওয়া যায়, $i_p = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R} =$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ।

এ অবস্থায় ব্যাটারির কার্য ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় না ।

(২) যদি r-এর তুলনায় nR অনেক ছোট হয়, তবে $i_p = \frac{nE}{r} = n \times$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ।

এ অবস্থায় ব্যাটারির কার্যক্ষমতা যথেষ্ট বৃদ্ধি পায় ।

কর্ম অনুশীলন : কী শর্তে কোষের শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায়ে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় ? [ঢা. বো. ২০২১]

I. (a) যখন $R >> nr$ তখন $I = \frac{nE}{R}$ অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষপ্রদত্ত প্রবাহমাত্রার n গুণ। $\frac{E}{R}$ হলো একটি কোষের প্রবাহমাত্রা।

(b) যখন $nr >> R$, তখন $I = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার সমান।

(c) কাজেই যখন বহিঃবর্তনীর রোধ ব্যাটারির মোট অভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা খুব বেশি তখন শ্রেণি সমবায়ের ফলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

II. (a) যখন $nR >> r$, তখন $I = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার সমান।

(b) যখন $r >> nR$, তখন $I = \frac{nE}{r}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার n গুণ।

কাজেই যখন ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ বহিঃবর্তনীর রোধ অপেক্ষা খুব বেশি হয় তখন সমান্তরাল সমবায়ের ফলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

কাজ : একই মানের কোষের সমান্তরাল সমবায়ে সর্বোচ্চ পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ পাওয়ার ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধ কীরূপ হওয়ার প্রয়োজন ?

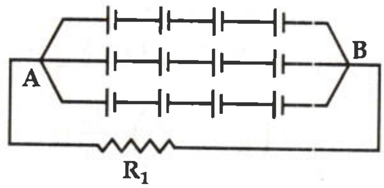
একই মানের কোষের সমান্তরাল সমবায়ে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়ার ক্ষেত্রে বহিঃস্থ রোধের তুলনায় অভ্যন্তরীণ রোধের মান যথেষ্ট বড় হওয়া প্রয়োজন। একই মানের কোষের সমান্তরাল সমবায়ে তড়িৎপ্রবাহ, $I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$. যেখানে E হচ্ছে প্রতিটি তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক বল, R হচ্ছে বহিঃস্থ রোধ, R এর মান যদি $\frac{r}{n}$ এর থেকে অনেক ছোট হয় অর্থাৎ যদি $R << \frac{r}{n}$ হয়; তবে R-কে উপেক্ষা করে পাওয়া যায়, $I = \frac{E}{r/n}$.

$\therefore I = n \times \frac{E}{r}$, যেখানে $\frac{E}{r}$ হলো বর্তনীতে একটি কোষ থাকা অবস্থায় তড়িৎ প্রবাহ। সমান্তরাল সমবায়ে n গুণ তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া সম্ভব। সুতরাং যখন কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের তুলনায় বহিঃস্থ রোধ ছোট হয় তখন শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়া যায়।

কোষের মিশ্র সমবায়
Mixed combination of cells

কতগুলো কোষকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে একটি সারি (row) গঠন করে, ওইরূপ একাধিক সারিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে কোষের মিশ্র সমবায় গঠিত হয়।

চিত্র ৩.১৬-এ তিনটি সারি এবং প্রতিটি সারিতে চারটি করে কোষ দেখানো হয়েছে। এক্ষেত্রে কোষের মোট সংখ্যা $3 \times 4 = 12$।



চিত্র ৩.১৬

প্রবাহমাত্রা নির্ণয় : ধরা যাক, প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r।

প্রতিটি সারিতে n সংখ্যক কোষ ও m সংখ্যক সারি থাকলে, প্রতিটি সারিতে তড়িচ্চালক বল $= n\mathrm{E}$ এবং প্রতিটি সারির অভ্যন্তরীণ রোধ $= nr$।

সুতরাং সমগ্র সমবায়টির তুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ, R′ হলে

$$\frac{1}{\mathrm{R}'} = \frac{1}{nr} + \frac{1}{nr} + \frac{1}{nr} + \ldots\ldots\ m \text{ তম পদ} = \frac{m}{nr}$$

$$\therefore \mathrm{R}' = \frac{nr}{m}$$, সুতরাং, বর্তনীর মোট রোধ,

$$\mathrm{R} = \mathrm{R}_1 + \mathrm{R}' = \mathrm{R}_1 + \frac{nr}{m}$$

এখন, যেহেতু সবকটি সারিই দুটি নির্দিষ্ট বিন্দু A ও B-তে সংযুক্ত, তাই সমগ্র কোষ সমবায়ের তড়িচ্চালক বল $= n\mathrm{E}$।

সুতরাং, R রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা,

$$\mathrm{I} = \frac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{n\mathrm{E}}{\mathrm{R}_1 + \frac{nr}{m}} = \frac{mn\mathrm{E}}{m\mathrm{R}_1 + nr} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.20)$$

বর্তনীতে সর্বোচ্চ প্রবাহের শর্ত : সমীকরণ (3.20) কে লেখা যায়,

$$\mathrm{I} = \frac{mn\mathrm{E}}{m\mathrm{R}_1 + nr} = \frac{mn\mathrm{E}}{(\sqrt{m\mathrm{R}_1} - \sqrt{nr})^2 + 2\sqrt{mn\mathrm{R}_1 r}}$$

এখন, I-এর মান সর্বোচ্চ হতে হলে ডানদিকের রাশির হরের মান সর্বনিম্ন হতে হবে। যেহেতু $2\sqrt{mn\mathrm{R}_1 r}$ রাশিটি ধ্রুবক; সুতরাং হরের মান সর্বনিম্ন হবে যদি $(\sqrt{m\mathrm{R}_1} - \sqrt{nr})^2 = 0$ হয়। অর্থাৎ

$$(\sqrt{m\mathrm{R}_1} - \sqrt{nr})^2 = 0$$

$$\therefore m\mathrm{R}_1 = nr \text{ বা, } \mathrm{R}_1 = \frac{nr}{m} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.21)$$

সুতরাং, বহির্বর্তনীর রোধ কোষের মিশ্র সমবায়টির তুল্য অভ্যন্তরীণ রোধের সমান হলে বহির্বর্তনীতে সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা পাওয়া যায়।

এই সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রার মান, $\mathrm{I}_{max} = \dfrac{mn\mathrm{E}}{2\sqrt{mn\mathrm{R}_1 r}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.22)$

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৮

১। দুটি তড়িৎ কোষের একটির তড়িচ্চালক বল 1.5V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.2Ω এবং অপরটির তড়িচ্চালক বল 2V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.1Ω। এদেরকে সমান্তরালে যুক্ত করে সমবায়টিকে একটি 10Ω এর বহিঃস্থ রোধের সঙ্গে যুক্ত করা হলো। ওই রোধটির মধ্যে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]

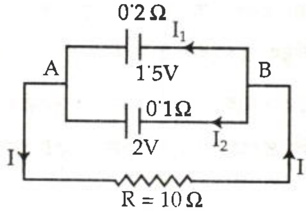
ধরা যাক, A ও B বিন্দুর বিভব পার্থক্য,

$$\mathrm{V_A} - \mathrm{V_B} = \mathrm{V}$$

সুতরাং ১ম কোষের ক্ষেত্রে,

$$\mathrm{V} = \mathrm{E}_1 - \mathrm{I}_1 r_1$$

$$\text{বা, } \mathrm{I}_1 = \frac{\mathrm{E}_1 - \mathrm{V}}{r_1}$$



এখানে,

$\mathrm{E}_1 = 1.5\mathrm{V}$

$r_1 = 0.2\Omega$

$\mathrm{E}_2 = 2\mathrm{V}$

$r_2 = 0.1\Omega$

$\mathrm{R} = 10\Omega$

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় কোষের ক্ষেত্রে, $I_2 = \frac{E_2 - V}{r_2}$

বহিঃস্থ বর্তনীর রোধের ক্ষেত্রে, $I = \frac{V}{R}$

এখন, $I = I_1 + I_2$

বা, $\frac{V}{R} = \frac{E_1 - V}{r_1} + \frac{E_2 - V}{r_2} = \frac{E_1}{r_1} - \frac{V}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} - \frac{V}{r_2}$

বা, $V\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}$

বা, $V\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{0.2} + \frac{1}{0.1}\right) = \frac{1.5}{0.2} + \frac{2}{0.1}$

বা, $V(0.1 + 5 + 10) = 7.5 + 20 = 27.5$

$\therefore$ $V = \frac{27.5}{15.1} = 1.82$

$\therefore$ R এর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{V}{R} = \frac{1.82}{10} = 0.182A$

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : সমান সংখ্যক অভিন্ন কোষ শ্রেণি সমবায়ে এবং সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। কী শর্তে বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত একটি রোধের মধ্যে প্রবাহের মান উভয় ক্ষেত্রে সমান হবে ?

ধর, প্রত্যেকটি তড়িচ্চালক বল E ও r অভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত n-সংখ্যক কোষ নেওয়া হলো। কোষগুলি শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত হলে,

বহিঃরোধক R এর মধ্যে প্রবাহ, $i_1 = \frac{nE}{R + nr}$ এবং কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে

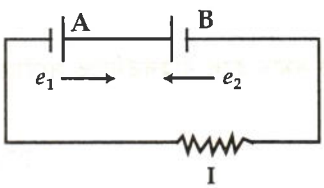
R এর মধ্যে প্রবাহ, $i_2 = \frac{nE}{nR + r}$

প্রদত্ত শর্তানুযায়ী $i_1 = i_2$ হবে যখন $R = r$ হয়।

কর্ম অনুশীলন : কোন অবস্থাতে কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য কোষের তড়িচ্চালক বল অপেক্ষা বেশি হয় ?

সাধারণভাবে কোষের তড়িচ্চালক বল কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য অপেক্ষা বেশি হয়।

কোষের তড়িচ্চালক বল = প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য + কোষের অভ্যন্তরীণ বিভব পতন



চিত্র ৩.১৭

কিন্তু দুটি ভিন্ন তড়িচ্চালক বলের কোষ যদি বিরুদ্ধ সমবায়ে (in opposition) যুক্ত করা হয় তবে বেশি তড়িচ্চালক বলের কোষটি অপর কোষকে চার্জ করবে অর্থাৎ কম তড়িচ্চালক বলের কোষটি নিজ হতে বর্তনীতে যে অভিমুখে তড়িতাধান পাঠাত, বেশি তড়িচ্চালক বলের কোষটি অপরটির ভেতর দিয়ে বিপরীতমুখী তড়িতাধান পাঠানোর ফলে কম তড়িচ্চালক বলের কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য তার তড়িচ্চালক অপেক্ষা বেশি হবে। ৩.১৭ চিত্রানুযায়ী e_1 তড়িচ্চালক বলযুক্ত একটি কোষকে e_2 তড়িচ্চালক বলের কোষের সঙ্গে বিরুদ্ধ সমবায়ে যুক্ত করা হয়েছে ($e_2 > e_1$)। এক্ষেত্রে B কোষ A কোষকে চার্জ করবে। A কোষের প্রান্তীয় বিভব পতন e_1 অপেক্ষা বেশি হবে।

বর্ধিত কাজ : শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য একই মানের কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধ বহিস্থ রোধ অপেক্ষা কম কেন ?

মনে করি, E তড়িচ্চালক বল এবং r অভ্যন্তরীণ রোধের n সংখ্যক তড়িৎ কোষকে শ্রেণিতে যুক্ত করে R মানের বহিস্থ রোধের সাথে যুক্ত করলে তড়িৎ প্রবাহের মান $I = \frac{nE}{R + nr}$, $R >> r$ এবং $R >> nr$ হলে, $I = \frac{nE}{R} = n\frac{E}{R}$। কিন্তু $\frac{E}{R}$ হলো একটি কোষের ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহ, কারণ $r = 0$। সুতরাং এক্ষেত্রে n সংখ্যক কোষ ব্যবহার করায় n গুণ তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়। সুতরাং শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য একই মানের কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধ বহিস্থ রোধ অপেক্ষা কম।

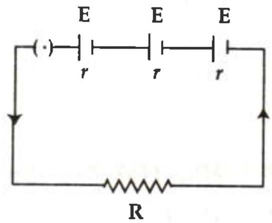
জানার বিষয় : দুটি রোধ (R_1 ও R_2) সমান্তরালে যুক্ত থাকলে প্রত্যেকের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ, $I_1 = \frac{R_2 \times I}{R_1 + R_2}$ এবং $I_2 = \frac{R_1 \times I}{R_1 + R_2}$, I = মোট প্রবাহ।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.৯

১। প্রতিটি 2 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 1·5 Ω-এর তিনটি বিদ্যুৎ কোষ নেয়া হলো। শ্রেণি সমবায়ে সাজিয়ে এদের প্রান্তগুলোকে 150 Ω রোধের পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করলে কত মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে ?

মনে করি বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা $= i$

∴ আমরা পাই, $i = \frac{nE}{R + nr}$ ... ... (i)



∴ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$i = \frac{3 \times 2}{150 + 3 \times 1·5}$$

$$= \frac{6}{150 + 4·5} = \frac{6}{154·5} = 0·0388 \text{ A}$$

এখানে,
$n = 3$
$E = 2 \text{ V}$
$R = 150\ \Omega$
$r = 1·5\ \Omega$

২। 1·5V তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট 9টি কোষকে সমান্তরালে সাজিয়ে 1Ω রোধের সাথে যুক্ত করা হলে বর্তনীতে 1·35A প্রবাহ চলে। প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত ?

আমরা জানি, কোষের সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে,

$$I = \frac{nE}{nR + r}$$

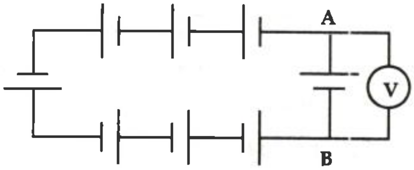
$$nR + r = \frac{nE}{I}$$

$$\therefore\ r = \frac{nE}{I} - nR = \frac{9 \times 1·5}{1·35} - 9 \times 1 = 10 - 9 = 1\Omega$$

$$\therefore\ r = 1\Omega$$

এখানে,
$E = 1·5 \text{ V}$
$n = 9$
$R = 1\ \Omega$
$I = 1·35 \text{ A}$
$r = ?$

৩। নিচের বর্তনীতে প্রত্যেকটি ব্যাটারি 6V-এর এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·1Ω। যদি ভোল্টমিটার আদর্শ ভোল্টমিটার হয়, তবে এর পাঠ কত?



আমরা জানি, আদর্শ ভোল্টমিটারের রোধ অসীম। সুতরাং, এর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ অত্যন্ত নগণ্য। এটি শুধুমাত্র A ও B মধ্যে বিভব পার্থক্য নির্দেশ করে।

অতএব, বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{8 \times E}{8r} = \frac{E}{r}$

এখানে, E হলো প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল এবং r হলো প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ।

সুতরাং, A ও B বিন্দুর মধ্যে সংযুক্ত ব্যাটারির হারানো ভোল্টেজ $Ir = \frac{E}{r} r = E$

∴ A ও B-এর মধ্যে বিভব পার্থক্য, $V = E - I_r = E - E = 0$

অতএব, ভোল্টমিটার শূন্য পাঠ দেয়।

৪। একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল 1·4 volt। এর প্রান্তদ্বয় 2·6 Ω রোধের একটি তার দিয়ে যুক্ত করলে প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য 1·3 volt পাওয়া যায়। কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

[KUET Admission Test, 2004–05]

আমরা জানি,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1·3}{2·6} = \frac{1}{2} \text{ A}$$

আবার, $I = \frac{E}{R + r}$

বা, $\frac{1}{2} = \frac{1·4}{2·6 + r}$

বা, $2·6 + r = 2·8$

বা, $r = 2·8 - 2·6 = 0·2\ \Omega$

এখানে,
$V = 1·3 \text{ volt}$
$E = 1·4 \text{ volt}$
$R = 2·6\ \Omega$

৫। 1·5 V তড়িচ্চালক বলযুক্ত দুটি একই ধরনের তড়িৎ কোষকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো। এই সমবায়কে একটি রোধ ও একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা 1 A হয়। কোষ দুটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা 0·6A হয়। কোষ দুটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

[ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন)]

ধরা যাক,

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$

বহিঃবর্তনীর রোধ ও গ্যালভানোমিটারের মিলিত রোধ $= \text{R}$

প্রবাহমাত্রা, $I_1 = 1\text{A}$

প্রবাহমাত্রা, $I_2 = 0{\cdot}6\text{A}$

কোষ দুটি শ্রেণি সমবায়ে থাকলে,

তড়িচ্চালক বল $= 1{\cdot}5 + 1{\cdot}5 = 3\text{V}$

অভ্যন্তরীণ রোধ $= r + r = 2r$

সুতরাং, প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \dfrac{\text{V}}{\text{R} + 2r}$

বা, $1 = \dfrac{3}{\text{R} + 2r}$

বা, $\text{R} + 2r = 3$

বা, $\text{R} = 3 - 2r$ ... ... (i)

কোষ দুটি সমান্তরালে থাকলে, তড়িচ্চালক বল = 1·5V

অভ্যন্তরীণ রোধ $= \dfrac{r \times r}{r + r} = \dfrac{r^2}{2r} = \dfrac{r}{2}$

সুতরাং, প্রবাহমাত্রা, $I_2 = \dfrac{\text{V}'}{\text{R} + \dfrac{r}{2}}$

বা, $0{\cdot}6 = \dfrac{1{\cdot}5}{\text{R} + \dfrac{r}{2}}$

বা, $\text{R} + \dfrac{r}{2} = \dfrac{1{\cdot}5}{0{\cdot}6} = \dfrac{5}{2}$

$\therefore$ $\text{R} = \dfrac{5}{2} - \dfrac{r}{2}$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$3 - 2r = \dfrac{5}{2} - \dfrac{r}{2}$

বা, $6 - 4r = 5 - r$

বা, $3r = 1$

বা, $r = \dfrac{1}{3}\Omega$

৬। 8Ω রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠানোর জন্য 1·5V তড়িচ্চালক বল ও 1Ω রোধবিশিষ্ট 12টি সদৃশ কোষ দেওয়া আছে। কোষগুলিকে নিম্নলিখিতভাবে যুক্ত করলে তড়িৎ প্রবাহ কত হবে নির্ণয় কর : (i) 4টি লাইন ও প্রতিটি লাইনে 3টি কোষ এবং (ii) 3টি লাইন ও প্রতিটি লাইনে 4টি কোষ।

এখাএন,

$\text{E} = 1{\cdot}5\text{V}$

$r = 1\Omega$

$mn = 12$

$\text{R} = 8\Omega$

(i) প্রতি লাইনে কোষের সংখ্যা $n = 3$ এবং লাইনের সংখ্যা $m = 4$।
সুতরাং তড়িৎ প্রবাহ,

$$\text{I} = \frac{mnr}{m\text{R} + nr} = \frac{4 \times 3 \times 1}{4 \times 8 + 3 \times 1}$$

$$= \frac{12}{35} = 0{\cdot}34 \text{ A}$$

(ii) এক্ষেত্রে, প্রতি লাইনে কোষের সংখ্যা, $n = 4$ এবং লাইনের সংখ্যা, $m = 3$। সুতরাং, তড়িৎ প্রবাহ,

$$\text{I} = \frac{mnr}{m\text{R} + nr} = \frac{3 \times 4 \times 1}{3 \times 8 + 4 \times 1}$$

$$= \frac{12}{28} = 0{\cdot}43\text{A}$$

৭। প্রতিটি 1.5 V এবং 1 ohm অভ্যন্তরীণ রোধের 36টি বিদ্যুৎ কোষ রয়েছে। এদের কীভাবে সাজালে 4 ohm রোধের একটি বর্তনীতে সর্বাপেক্ষা বেশি পরিমাণে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা পাওয়া যাবে এবং প্রবাহমাত্রা কত?

ধরা যাক, সারির সংখ্যা $= m$ এবং প্রত্যেক সারিতে n সংখ্যক কোষ রয়েছে।

এখানে,
$E = 1.5$ V
$r = 1\,\Omega$
$mn = 36$
$R = 4\,\Omega$

প্রশ্নানুসারে,

$$mn = 36 \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

এখন, সর্বাধিক বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য $mR = nr$

বা, $m \times 4 = n \times 1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

সমীকরণ (1) ও (2) থেকে পাই,

$4\,m^2 = 36$ বা, $m^2 = 9 \quad \therefore \; m = \sqrt{9} = 3$

$$\therefore \; n = \frac{36}{3} = 12$$

এখন, সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা,

$$I_{max} = \frac{mnE}{2\sqrt{mnRr}} = \frac{36 \times 1.5}{2 \times \sqrt{36 \times 4 \times 1}} = \frac{54}{24} = 2.25 \text{ A}$$

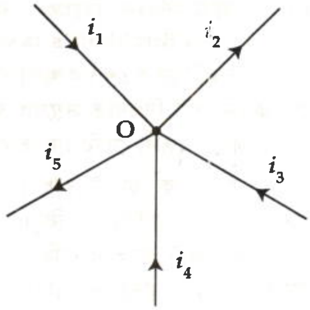
৩.১৫ কির্শফের সূত্র
Kirchhoff's laws

১ম সূত্র : KCL, কারেন্ট সূত্র, জাংশন সূত্র
২য় সূত্র : KVL, বিভবের সূত্র, লুপ উপপাদ্য, বর্তনী উপপাদ্য

৩.১৫.১ সূত্রের ধারণা
Concept of the laws

ও'মের সূত্রের সাহায্যে সরল বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ও রোধ নির্ণয় করা যায়। কিন্তু জটিল বর্তনীর ক্ষেত্রে ও'মের সূত্র যথেষ্ট নয়। এ কারণে জটিল বর্তনীর রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ইত্যাদি নির্ণয়ের জন্য কির্শফের দুটি সূত্র প্রয়োগ করা হয়। অবশ্য সরল বর্তনীতেও সূত্র দুটি প্রয়োগ করা যায়। কির্শফের সূত্র দুটি নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়।

প্রথম সূত্র : বিদ্যুৎ বর্তনীর কোনো সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহমাত্রাগুলোর বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়। এই সূত্র প্রবাহমাত্রা সূত্র নামে পরিচিত।



চিত্র ৩.১৮

ব্যাখ্যা : ধরা যাক একটি বর্তনীর O বিন্দুতে i_1, i_2, i_3, i_4 ও i_5 মাত্রার 5টি বিভিন্নমুখী বিদ্যুৎ প্রবাহ মিলিত হয়েছে [চিত্র ৩.১৮]। সাধারণ নিয়ম অনুসারে সংযোগ বিন্দুমুখী বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাগুলো ধন রাশি এবং সংযোগ বিন্দু হতে বাইরের দিকে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাগুলো ঋণ রাশি ধরা হয়। সুতরাং O বিন্দুতে মিলিত বিদ্যুৎ প্রবাহগুলোর ওপর কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$$i_1 + i_3 + i_4 - i_2 - i_5 = 0$$

বা, $i_1 + i_3 + i_4 + (-i_2) + (-i_5) = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.23)$

আমরা জানি, প্রবাহমাত্রা হলো চার্জের প্রবাহ। এখন সংযোগ বিন্দুতে প্রবাহগুলোর যোগফল শূন্য না হওয়ার অর্থ দাঁড়ায় ওই বিন্দুতে চার্জের সৃষ্টি বা ধ্বংস হওয়া যা চার্জের নিত্যতা সূত্রের সম্পূর্ণ পরিপন্থী। সুতরাং, বর্তনীর কোথাও চার্জ সঞ্চিত হতে পারে না। সঙ্কেতের সাহায্যে সূত্রটিকে এরূপভাবে প্রকাশ করা যায়, $\Sigma i = 0$।

দ্বিতীয় সূত্র : কোনো বন্ধ বর্তনীর অন্তর্গত মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি (e. m. f.) ওই বর্তনীর বিভিন্ন শাখাগুলোর রোধ এবং তাদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত সংশ্লিষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলসমূহের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।

অথবা, পরিবাহী বর্তনীর মধ্যে যেকোনো বন্ধ বর্তনীর বিভিন্ন অংশের রোধ এবং এদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলের বীজগাণিতিক যোগফল ওই বন্ধ বর্তনীর মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তির সমান হয়।

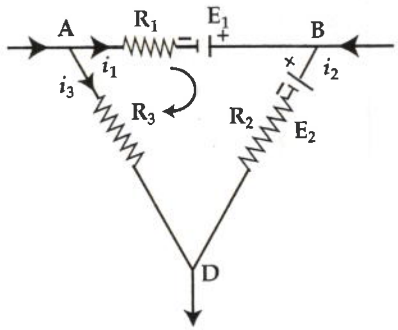
অর্থাৎ $\Sigma iR = \Sigma E$

[MAT: 23-24]

এই সূত্র কির্শফের ভোল্টেজ সূত্র নামে পরিচিত।

ব্যাখ্যা : একটি বন্ধ বর্তনীর কোনো অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহ বামাবর্তী এবং কোনো অংশে দক্ষিণাবর্তী হতে পারে। এই কারণে রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলের হিসাবে দক্ষিণাবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে গুণফল ধন রাশি ধরতে হবে। এই

হিসাবে বর্তনীতে কোনো বিদ্যুৎ কোষ যদি দক্ষিণাবর্তী প্রবাহ পাঠাবার চেষ্টা করে তবে ওই বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি ধন রাশি এবং যদি বামাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহ পাঠাবার চেষ্টা করে তবে তার বিদ্যুচ্চালক শক্তিকে ঋণ রাশি ধরতে হবে। ৩.১৯ নং চিত্রে ABDA একটি বদ্ধ বর্তনী নির্দেশ করছে। এর AB, BD ও DA অংশের রোধ যথাক্রমে R_1, R_2 ও R_3; AB ও BD অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1 ও i_2 দক্ষিণাবর্তী এবং AD অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা i_3 বামাবর্তী। এ ছাড়া E_1 বিদ্যুচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট AB অংশের বিদ্যুৎ কোষ দক্ষিণাবর্তী এবং E_2 বিদ্যুচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট BD অংশের বিদ্যুৎ কোষ বামাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহ পাঠাবার চেষ্টা করে। কাজেই দক্ষিণাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাকে ধন রাশি এবং বামাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাকে ঋণ রাশি ধরে এ বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে লেখা যায়,



চিত্র ৩.১৯

$$i_1R_1 + i_2R_2 - i_3R_3 = E_1 - E_2$$

বা, $$i_1R_1 + i_2R_2 + (-i_3R_3) = E_1 + (-E_2)$$

সমীকরণটিকে সঙ্কেত দ্বারা নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়, $\Sigma ir = \Sigma E$ ... (3.24)

বর্তনীতে বিদ্যুচ্চালক শক্তির উৎস না থাকলে, $\Sigma ir = 0$

[বি. দ্র. দক্ষিণাবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে রোধ ও প্রবাহমাত্রার গুণফল ঋণরাশি ধরলে বামাবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে গুণফল ধনরাশি ধরতে হবে। এ ক্ষেত্রে বিদ্যুচ্চালক শক্তিকে একইভাবে চিহ্নিত করতে হবে।]

কির্শফের সূত্রের বিভিন্ন প্রয়োগ রয়েছে। এখানে আমরা হুইটস্টোন ব্রিজে কির্শফের সূত্রের প্রয়োগ আলোচনা করব।

৩.১৫.২ তড়িৎ বর্তনীতে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার (বিদ্যুৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয়)

Application of Kirchhoff's laws in electric circuit (Determination of current and potential difference)

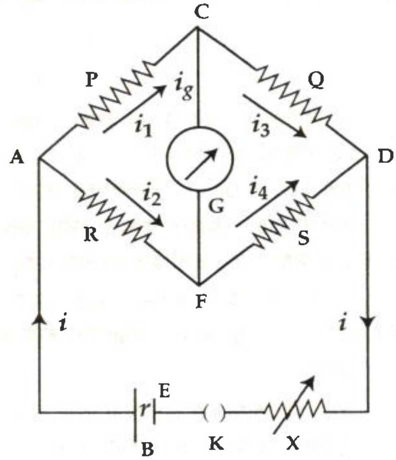
(i) হুইটস্টোন ব্রিজে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার করা হয়

Use of Kirchhoff's laws in Wheatstone bridge

চারটি রোধ শ্রেণিবদ্ধভাবে সজ্জিত করে একটি আবদ্ধ লুপ তৈরি করলে যে চারটি সংযোগস্থল তৈরি হয়, তার যে কোনো দুটি বিপরীত সংযোগস্থলের মাঝে একটি বিদ্যুৎ কোষ এবং অপর দুটি সংযোগস্থলের মাঝে গ্যালভানোমিটার সংযোগে যে বর্তনী তৈরি হয় তাকে হুইটস্টোন ব্রিজ বলে।

ধরা যাক, চারটি রোধ P, Q, R ও S দ্বারা গঠিত একটি চতুর্ভুজ ACDF-এর ন্যায় যুক্ত করে সংযোগ বিন্দু A ও D বিন্দুকে একটি ব্যাটারি বা বিদ্যুৎ উৎস B, একটি প্লাগ চাবি K ও একটি পরিবর্তনশীল রোধ X দ্বারা এবং সংযোগ বিন্দু C ও F-কে একটি গ্যালভানোমিটার G দ্বারা যুক্ত করে **হুইটস্টোন ব্রিজ** তৈরি করা হলো [চিত্র ৩.২০]।

এ অবস্থায় মূল বিদ্যুৎ প্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছার পর বিভিন্ন রোধের ভেতর দিয়ে গিয়ে D বিন্দুতে পুনরায় মিলিত হবে। গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে কি হবে না তা নির্ভর করবে C ও F বিন্দুর বিভবের উপর। যদি রোধগুলোর জন্য C ও F বিন্দুর বিভব সমান না হয় তবে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে এবং গ্যালভানোমিটার কম-বেশি বিক্ষিপ্ত হবে। এ অবস্থাকে অসম অবস্থা (Unbalanced condition) বলা হয়। কিন্তু C ও F বিন্দুদ্বয়ের বিভব সমান হলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না এবং গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপও হয় না। এ অবস্থাকে **সাম্যাবস্থা** (Balanced condition) বা **নিস্পন্দ অবস্থা** (Null condition) বলা হয়। বর্তনীর বিভিন্ন রোধের মানগুলো নিয়ন্ত্রিত করে সাম্যাবস্থা তৈরি করা হয়।



চিত্র ৩.২০

কির্শফের সূত্রের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয় এবং হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি প্রতিষ্ঠা

Determination of electric current and potential difference using Kirchhoff's laws and establishment of Wheatstone bridge principle

ধরা যাক গ্যালভানোমিটারের রোধ G এবং রোধ P, R, Q, S ও G-এর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1, i_2, i_3, i_4 ও i_g।

এখন কির্শফের প্রথম সূত্রটি C ও F বিন্দুতে প্রয়োগ করে যথাক্রমে পাওয়া যায়,

$i_1 - i_3 - i_g = 0$ অর্থাৎ $i_1 = i_3 + i_g$ ... ... (3.25)

এবং $i_2 + i_g - i_4 = 0$ অর্থাৎ $i_4 = i_2 + i_g$ ... ... (3.26)

আবার কির্শফের দ্বিতীয় সূত্রটি বন্ধ বর্তনী ACFA ও CDFC-এ প্রয়োগ করে যথাক্রমে পাওয়া যায়,

$i_1P + i_gG - i_2R = 0$ ... ... (3.27)

এবং $i_3Q - i_4S - i_gG = 0$ ... ... (3.28)

কিন্তু ব্রিজের সাম্যাবস্থায়, $i_g = 0$

কাজেই এ অবস্থায় সমীকরণ (3.25) ও (3.26) অনুসারে, $i_1 = i_3$ এবং $i_4 = i_2$

সমীকরণ (3.27) ও (3.28) অনুসারে, $i_1P = i_2R$ ... ... (3.29)

এবং $i_3Q = i_4S$ ... ... (3.30)

এখন সমীকরণ (3.29)-কে (3.30) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$\frac{i_1P}{i_3Q} = \frac{i_2R}{i_4S}$; কিন্তু $i_1 = i_3$ ও $i_4 = i_2$

$\therefore \boxed{\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}}$ ... [DAT: 21-22] ... (3.31)

সমীকরণ (3.31) অনুসারে হুইটস্টোন ব্রিজের সাম্যাবস্থায় চারটি রোধের যে কোনো তিনটি জানা থাকলে, চতুর্থ রোধটি নির্ণয় করা যাবে। একে রোধ পরিমাপের হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি বলে।

সাম্যাবস্থায়—

(i) গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব বৈষম্য শূন্য হবে অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে না। এমতাবস্থায়

$(V_A - V_D) = (P + Q)i_1 = (R + S)i_2$

(ii) একইক্রমে গ্যালভানোমিটারের উভয় প্রান্তের দুই পার্শ্বে যুক্ত রোধ দুটির অনুপাত সমান হবে।

অর্থাৎ $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

বি. দ্র. ৩·১৪ নং চিত্রে AC, CD, AF ও FD বাহুকে যথাক্রমে হুইটস্টোন ব্রিজের প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ও চতুর্থ বাহু বলে।

নিজে কর : গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হওয়ার শর্ত কী ?

গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব শূন্য হলে বিক্ষেপ শূন্য হয়।

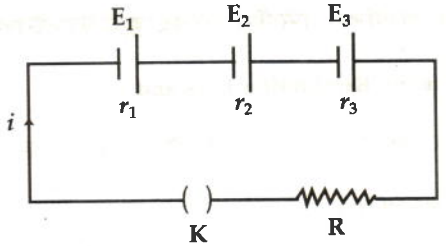
অনুসন্ধান : সাধারণত নিম্ন মানের রোধ বা উচ্চ মানের রোধ পরিমাপ করার জন্য হুইটস্টোন ব্রিজ ব্যবহার করা হয় না কেন ব্যাখ্যা কর।

কোনো নিম্ন মানের রোধকে S-এর স্থানে রাখা হলে সংযোগকারী তারগুলোর রোধ S-এর মানের কাছাকাছি হয়। ফলে S-এর সঠিক মান পাওয়া যায় না। তাই পরিমাপ্য মান ত্রুটিপূর্ণ হয়। আবার S-এর স্থলে উচ্চ মানের রোধ রাখা হলে, ওই রোধের মধ্য দিয়ে খুব বেশি মানের তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। ফলে ব্রিজের সুবেদিতা (sensitivity) কমে যায়, তাই নিস্পন্দ অবস্থা শনাক্ত করা কঠিন হয়। এ কারণে কম মানের রোধ বা উচ্চ মানের রোধ পরিমাপে হুইটস্টোন ব্রিজ ব্যবহার করা হয় না।

(ii) বিদ্যুৎ কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার

Application of Kirchhoff's laws in case of series combination of cells

বিদ্যুৎ প্রবাহ নির্ণয় : মনে করি তিনটি বিদ্যুৎ কোষ আছে। এদের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1, E_2, E_3 এবং অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 [চিত্র ৩·২১]। এদেরকে R রোধের একটি পরিবাহীর সাহায্যে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হয়েছে। মনে করি বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা $= i$.



চিত্র ৩·২১

উক্ত বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$E_1 + E_2 + E_3 = ir_1 + ir_2 + ir_3 + iR$$

বা, $$i(r_1 + r_2 + r_3 + R) = E_1 + E_2 + E_3$$

$$\therefore \quad i = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{R + r_1 + r_2 + r_3} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.32)$$

যদি n সংখ্যক কোষ অনুরূপে যুক্ত করা হয় তাহলে

$$i = \frac{E_1 + E_2 + E_3 \ldots \ldots \ldots + E_n}{R + r_1 + r_2 + r_3 \ldots \ldots \ldots + r_n}$$

প্রতিটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r হলে

$$i = \frac{nE}{R + nr} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.33)$$

(i) $R >> nr$ হলে, $I = \frac{nE}{R}$; অর্থাৎ বহিস্থ রোধ ব্যাটারির মোট অভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা অনেক বেশি হলে বহিস্থ রোধে প্রবাহমাত্রা একটি মাত্র কোষ যে প্রবাহমাত্রা সরবরাহ করে তার n গুণ হবে।

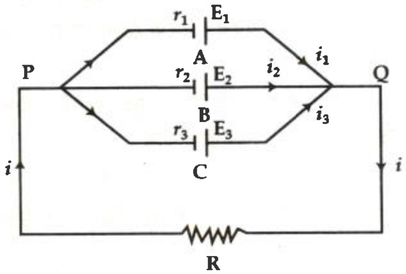
(ii) $R << nr$ হলে, $I = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$; অর্থাৎ ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা বহিস্থ রোধ অত্যন্ত ক্ষুদ্র হলে যে প্রবাহমাত্রা পাওয়া যাবে তা কার্যত একটি কোষ যে সর্বাধিক প্রবাহমাত্রা প্রদান করে তার সমান।

বিভব পার্থক্য নির্ণয় : মূল প্রবাহ i রোধক R এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবার জন্য R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য

$$V = iR = \frac{nER}{R + nr}$$

(iii) বিদ্যুৎ কোষের সমান্তরাল সমবায়ে কির্শফের সূত্রের প্রয়োগ
Application of Kirchhoff's laws in case of parallel combination of cells

মনে করি A, B এবং C তিনটি বিদ্যুৎ কোষ। এদের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1, E_2, E_3 এবং অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে r_1, r_2, r_3। এদেরকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে প্রান্তদ্বয়কে R রোধের একটি পরিবাহীর সাহায্যে সমান্তরালভাবে যুক্ত করা আছে [চিত্র ৩·২২]। E_1, E_2, E_3 কোষ হতে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1, i_2, i_3।



চিত্র ৩·২২

এখন P অথবা Q বিন্দুতে কির্শফের ১ম সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$i_1 + i_2 + i_3 = i \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.34)$$

কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে,

বর্তনী PAQRP হতে পাই, $i_1r_1 + iR = E_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.35)$

বর্তনী PBQRP হতে পাই, $i_2r_2 + iR = E_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.36)$

বর্তনী PCQRP হতে পাই, $i_3r_3 + iR = E_3 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.37)$

সমীকরণ (3.35), (3.36) ও (3.37) কে যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 দ্বারা ভাগ করে ভাগফলগুলোকে যোগ করে পাই,

$$(i_1 + i_2 + i_3) + i\left(\frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} + \frac{R}{r_3}\right) = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

বা, $$i + i\left(\frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} + \frac{R}{r_3}\right) = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

বা, $$i\left\{1 + R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)\right\} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

$$\therefore \quad i = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}}{1 + R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.38)$$

এখন R, $r_1 + r_2 + r_3$ এবং $E_1 + E_2 + E_3$ এর মান বসিয়ে i নির্ণয় করা যায়। প্রতিটি বিদ্যুৎ কোষের তড়িচ্চালক বল E ও অভ্যন্তরীণ রোধ r হলে,

$$i = \frac{\frac{nE}{r}}{1 + \frac{nR}{r}} = \left(\frac{nE}{nR + r}\right) = \frac{E}{R + r/n} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.39)$$

(i) $R >> \frac{r}{n}$ হলে, $I = \frac{E}{R}$; অর্থাৎ মোট প্রবাহমাত্রা একটি কোষ যে প্রবাহমাত্রা প্রদান করে তার সমান।

(ii) $R << \frac{r}{n}$ হলে, $I = \frac{nE}{r}$; অর্থাৎ মোট প্রবাহমাত্রা একটি কোষ যে সর্বাধিক প্রবাহমাত্রা দেয় তার n গুণ।

বিভব পার্থক্য : R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য, $V = iR = \left(\frac{nE}{nR + r}\right) \times R$

> **কাজ :** উচ্চ মানের তড়িৎ প্রবাহ পাঠাতে পারে, এমন ব্যাটারি হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনীতে ব্যবহার করা সংগত নয়— ব্যাখ্যা কর।

যদিও হুইটস্টোন ব্রিজের নিস্পন্দ বিন্দুর শর্ত, $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ ব্যাটারির তড়িচ্চালক বলের ওপর নির্ভর করে না, তথাপি উচ্চ মানের তড়িৎ উৎস ব্যবহার করা হয় না। কেননা সেক্ষেত্রে জুল ক্রিয়ার ফলে প্রতিটি বাহুর রোধ বেড়ে যেতে পারে। ফলে ফলাফলে ত্রুটি দেখা দিতে পারে। এজন্য উচ্চ মানের তড়িৎ উৎস ব্যবহার করা হয় না।

৩·১৬ বিভব বিভাজক
Potential divider

কোনো বড় মানের বিভব পার্থক্য থেকে বিভিন্ন কম মানের বিভবের প্রয়োজন হয়। দুই বা ততোধিক রোধ যুক্ত করে প্রয়োজনীয় মানের বিভব পাওয়া যায়। চিত্র ৩·২৩-এ একটি উৎসকে ৩টি ভিন্ন ভিন্ন মানের রোধ, R_1, R_2 ও R_3 শ্রেণি সমবায়ের সাহায্যে তিনভাগে ভাগ করা হয়েছে।

এখন, রোধগুলির মধ্যে প্রবাহমাত্রা,

$$i = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

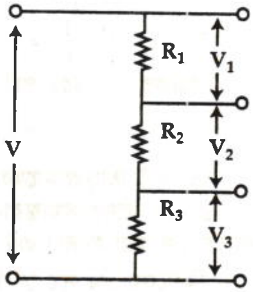
$\therefore$ R_1 এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য,

$$V_1 = IR_1 = V\frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

অনুরূপভাবে,

$$V_2 = IR_2 = V\frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

এবং $$V_3 = IR_3 = V\frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$



চিত্র ৩·২৩

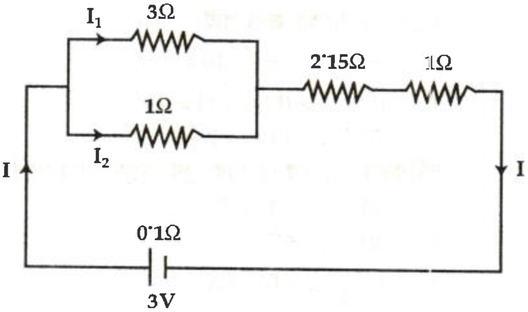
গাণিতিক উদাহরণ ৩.১০

১। 3Ω ও 1Ω রোধের সমান্তরাল সমবায়ের সাথে 2·15Ω ও 1Ω রোধের শ্রেণি সমবায় ও একটি ব্যাটারি যুক্ত করা হলো। ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ 0·1Ω ও তড়িচ্চালক বল 3V। বর্তনী অঙ্কন কর এবং রোধগুলোর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

উপরের চিত্রে বর্তনীটি আঁকা হয়েছে। সমান্তরাল সমবায়ের জন্য তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{3} + \frac{1}{1} = \frac{3+1}{3 \times 1}$$

বা, $$R_P = \frac{3 \times 1}{3 + 1} = 0{\cdot}75\Omega$$



এই তুল্য রোধ অন্য সব রোধগুলোর সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে রয়েছে। সুতরাং, বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রা হলো,

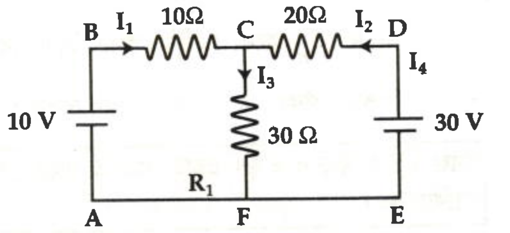
$$I = \frac{V}{R} = \frac{3}{0{\cdot}75 + 2{\cdot}15 + 1 + 0{\cdot}1} = \frac{3}{4} = 0{\cdot}75 \text{ A}$$

এই মূল প্রবাহই $2{\cdot}15\Omega$ এবং 1Ω রোধ দুটির মধ্য দিয়ে যায়। এখন সমান্তরালে যুক্ত 3Ω রোধে প্রবাহ,

$$I_1 = 1 \times \frac{1}{3+1} = 0{\cdot}75 \times \frac{1}{4} = 0{\cdot}187 \text{ A}$$

এবং 1Ω রোধে প্রবাহ, $I_2 = I - I_1 = 0{\cdot}75 - 0{\cdot}187 = 0{\cdot}563$ A

২। নিচের চিত্রটির জন্য I_1, I_2 ও I_3 নির্ণয় কর :



C বিন্দুতে কির্শফের ১ম সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_1 + I_2 = I_3$

বা, $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ ... ... (i)

AFCB লুপে কির্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$10\, I_1 + 30\, I_3 = 10$

বা, $I_1 + 3I_3 = 1$ ... ... (ii)

এবং FEDC লুপ হতে পাই,

$20\, I_2 + 30\, I_3 = 30$

বা, $2\, I_2 + 3\, I_3 = 3$ ... ... (iii)

সমীকরণ (i) থেকে (ii) বিয়োগ করে পাই,

$I_2 - 4\, I_3 = -1$; একে 2 দ্বারা গুণ করে পাই,

$2I_2 - 8I_3 = -2$ ... ... (iv)

সমীকরণ (iii) থেকে (iv) বিয়োগ করে পাই,

$11I_3 = 5$ বা, $I_3 = \frac{5}{11}$ A

সমীকরণ (ii)-এ I_3-এর মান বসিয়ে পাই,

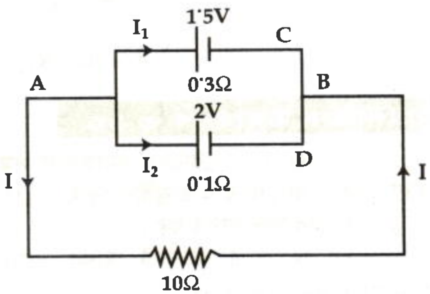
$I_1 + 3 \times \frac{5}{11} = 1$

বা, $I_1 = 1 - \frac{15}{11} = -0{\cdot}36$ A

সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$I_2 = I_3 - I_1 = \frac{5}{11} + 0{\cdot}36 = \frac{5 + 0{\cdot}36}{11} = \frac{5{\cdot}36}{11} = 0{\cdot}487 \text{ A}$$

৩। দুটি তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল যথাক্রমে 1·5 volt ও 2 volt এবং এদের আন্তঃরোধ যথাক্রমে 0·3 ohm ও 0·1 ohm। এদের সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। কোষের সমবায়কে একটি 10 ohm বহিঃরোধের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো। এই রোধটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।



কির্শফের ১ম সূত্র A বিন্দুতে প্রয়োগ করে পাই,

$I_1 + I_2 - I = 0$

বা, $I_2 = I - I_1$ ... ... (i)

ACBDA লুপের জন্য কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$-I_1 \times 0{\cdot}3 + I_2 \times 0{\cdot}1 = -1{\cdot}5 + 2$

বা, $-I_1 \times 0{\cdot}3 + (I - I_1) \times 0{\cdot}1 = 0{\cdot}5$

বা, $0{\cdot}1\, I - 0{\cdot}4\, I_1 = 0{\cdot}5$ ... ... (ii)

ADBFA লুপের জন্য পাই,

$-I_2 \times 0{\cdot}1 - I \times 10 = -2$

বা, $(I - I_1) \times 0{\cdot}1 + 10\, I = 2$

বা, $10{\cdot}1\, I - 0{\cdot}1\, I_1 = 2$ ... ... (iii)

সমীকরণ (iii)-কে 4 দ্বারা গুণ করে সমীকরণ (ii) হতে বিয়োগ করে পাই,

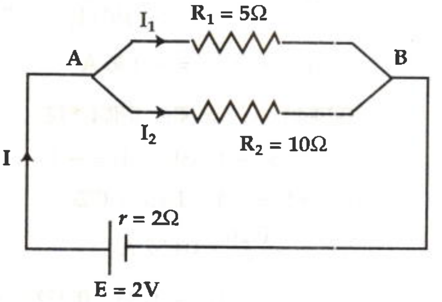
$40{\cdot}4\, I - 0{\cdot}1 I = 7{\cdot}5$

বা, $40{\cdot}3\, I = 7{\cdot}5$

বা, $I = \frac{7{\cdot}5}{40{\cdot}3} = 0{\cdot}186$A

৪। 2V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 2Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ সমান্তরাল সমবায়ে 5Ω এবং 10Ω রোধবিশিষ্ট দুটি রোধকের সাথে সংযুক্ত। কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহমাত্রা এবং প্রত্যেক রোধকের মধ্যে প্রবাহমাত্রা বের কর।

A বিন্দুতে কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাই, $I = I_1 + I_2$ ... ... (i)



EAR_1BE বন্ধ লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I \times 2 + I_1 \times 5 = 2$

বা, $2(I_1 + I_2) + 5I_1 = 2$

বা, $7I_1 + 2I_2 = 2$ ... ... (ii)

AR_1BR_2A বন্ধ লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_1 \times 5 - I_2 \times 10 = 0$

$\therefore$ $I_1 = 2I_2$ ... ... (iii)

I_1 এর মান (ii) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$7 \times 2I_2 + 2I_2 = 2$

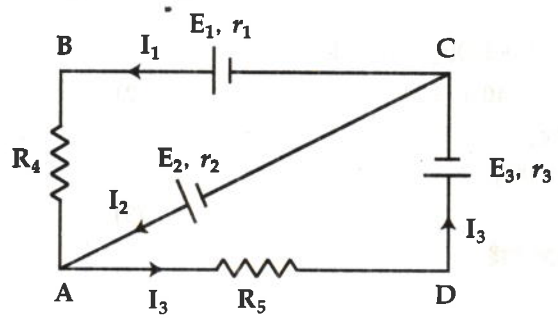
বা, $16I_2 = 2$

$\therefore$ $I_2 = \frac{1}{8} = 0.125A$ এবং $I_1 = 2I_2 = 2 \times 0.125 = 0.25A$

কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহ, $I = I_1 + I_2 = 0.375A$

$I_1 = 0.25A$, $I_2 = 0.125A$, $I = 0.375A$ (উত্তর)

৫। নিচের বর্তনীতে প্রতিটি কোষের মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা কত হবে ? চিত্রে $E_1 = 2$ V, $E_2 = 3$ V, $E_3 = 4$ V, $r_1 = 1\ \Omega$, $r_2 = 1.5\ \Omega$, $r_3 = 0.5\ \Omega$, $R_4 = 2\ \Omega$ ও $R_5 = 3\Omega$.



ACBA লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_1r_1 + I_1R_4 - I_2r_2 = E_1 - E_2$

$\therefore$ $I_1(r_1 + R_4) - I_2r_2 = E_1 - E_2$ ... ... (i)

ADCA লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_2r_2 + I_3R_5 + I_3r_3 = E_2 - E_3$

$\therefore$ $I_2r_2 + (I_1 + I_2)R_5 + (I_1 + I_2)r_3 = E_2 - E_3$ $[\because I_3 = I_1 + I_2]$

$\therefore$ $I_1(R_5 + r_3) + I_2(r_2 + R_5 + r_3) = E_2 - E_3$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i) ও (ii)-এ এই মানগুলি বসিয়ে পাই,

$I_1(1 + 2) - I_2 \times 1.5 = 2 - 3$

বা, $3I_1 - 1.5\ I_2 = -1$

বা, $1.5\ I_2 - 3I_1 = 1$ ... ... (iii)

এবং $I_1(3 + 0.5) + I_2(1.5 + 3 + 0.5) = 3 - 4$

বা, $3.5\ I_1 + 5\ I_2 = -1$ ... ... (iv)

এখানে,
$E_1 = 2$ V
$E_2 = 3$ V
$E_3 = 4$ V
$r_1 = 1\ \Omega$
$r_2 = 1.5\ \Omega$
$r_3 = 0.5\ \Omega$
$R_4 = 2\ \Omega$
$R_5 = 3\ \Omega$

সমীকরণ (iii) কে 10 দিয়ে গুণ করে এবং সমীকরণ (iv) কে 3 দ্বারা গুণ করে দুটোর গুণফল যোগ করে পাই,

$$\begin{aligned} 15\,I_2 - 30\,I_1 &= \quad 10 \\ 10.5\,I_1 - 15\,I_2 &= \ -3 \\ \hline -19.5\,I_1 &= \quad 7 \end{aligned}$$

$\therefore \quad I_1 = -\dfrac{7}{19.5} = -0.36$ A

সমীকরণ (iv)-এ মান বসিয়ে পাই,

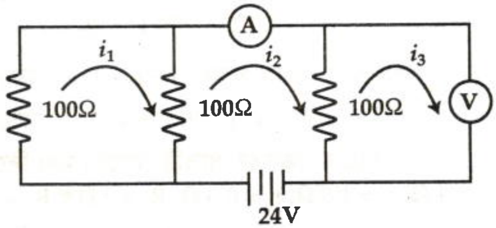
$$3.5 \times (-0.36) + 5\,I_2 = -1$$

বা, $5\,I_2 = -1 + 1.26 = 0.26$

$\therefore \quad I_2 = \dfrac{0.26}{5} = 0.052$ A

$\therefore \quad I_3 = I_1 + I_2 = -0.36 + 0.052 = -0.308$ A

৬। চিত্রে অ্যামিটার ও ভোল্টমিটারের রোধ যথাক্রমে 10Ω এবং 1000Ω। অ্যামিটার ও ভোল্টমিটারের পাঠ কত?



চিত্রে তিনটি লুপের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ, i_1, i_2 ও i_3 (ঘড়ি কাঁটার অভিমুখে)। কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র থেকে প্রথম লুপের জন্য,

$$100\,i_1 + 100(i_1 - i_2) = 0$$

বা, $2i_1 - i_2 = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$

দ্বিতীয় লুপের ক্ষেত্রে,

$$100(i_2 - i_1) + 10i_2 + 100(i_2 - i_3) = 24$$

বা, $-100i_1 + 210i_2 - 100i_3 = 24 \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

এবং তৃতীয় লুপের ক্ষেত্রে,

$$100(i_3 - i_2) + 1000i_3 = 0$$

বা, $11i_3 - i_2 = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$

সমীকরণ (1) ও (3) থেকে পাই,

$$i_2 = 2i_1 = 11i_3$$

$\therefore \quad i_1 = \dfrac{11}{2}\,i_3 = 5.5i_3$

সমীকরণ (2)-এ একই মান বসিয়ে পাই,

$$-100\,\frac{11}{2}\,i_3 + 210 \times 11i_3 - 100i_3 = 24$$

বা, $-1100i_3 + 4620i_3 - 200i_3 = 48$

বা, $3320i_3 = 48$

$\therefore \quad i_3 = \dfrac{48}{3320}$

ভোল্টমিটারের পাঠ $= \dfrac{48}{3320} \times 1000 = 14.46$V

অ্যামিটারের পাঠ $= i_2 = 11i_3 = 11 \times \dfrac{48}{3320} = 0.159$A

৩.১৭ শান্ট

Shunt

সকল তড়িৎ যন্ত্রের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের একটি উর্ধ্বসীমা থাকে। ওই উর্ধ্বসীমার চেয়ে বেশি তড়িৎ প্রবাহ যন্ত্রের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত হলে সেটি ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। ল্যাবরেটরিতে আমরা এমন কিছু বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি ব্যবহার করে থাকি যা অত্যন্ত সুবেদী (sensitive) এবং যার মধ্য দিয়ে অতিরিক্ত বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে তা সাথে সাথে

নষ্ট হয়ে যায়। এসব যন্ত্রপাতি হলো গ্যালভানোমিটার, ভোল্টমিটার ইত্যাদি। এসব যন্ত্রপাতি তড়িৎ বর্তনীতে ব্যবহৃত হয়। এসব যন্ত্রপাতি রক্ষার জন্য শান্ট ব্যবহার করা হয়। কীভাবে শান্ট ব্যবহার করতে হয় তা লক্ষ কর।

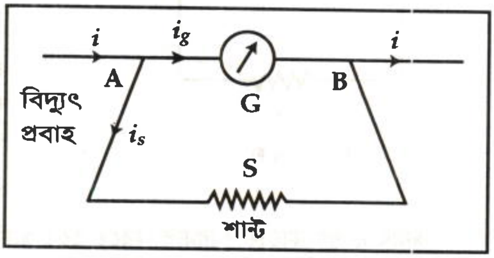
বৈদ্যুতিক বর্তনীতে গ্যালভানোমিটারের মতো সূক্ষ্ম ও সুবেদী যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। উক্ত যন্ত্র উচ্চ মানের বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত তাপে যাতে নষ্ট বা ক্ষতিগ্রস্ত না হয় তজ্জন্য যন্ত্রের সাথে সমান্তরালে একটি অল্প মানের রোধ ব্যবহার করে যন্ত্রটিকে ক্ষতির হাত হতে রক্ষা করা হয়। এই রোধকে **শান্ট** বলে।

সংজ্ঞা : **গ্যালভানোমিটার বা সূক্ষ্ম ও সুবেদী বৈদ্যুতিক যন্ত্রের মধ্য দিয়ে যাতে উচ্চমাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত না হতে পারে তার জন্য যন্ত্রের সাথে সমান্তরালে স্বল্প মানের যে রোধ যুক্ত করা হয় তাকে শান্ট বলে।** শান্টের ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখা যায় প্রবাহ পরিমাপক যন্ত্র অ্যামিটারে।

[MAT: 18-19]
[MAT: 24-25]

৩.১৭.১ গ্যালভানোমিটারে শান্টের ব্যবহার
Application of shunt in a galvanometer

মনে করি, G রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্ত A ও B-এর সাথে নিম্ন মানের একটি রোধ S সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩.২৪]। এই S-ই শান্ট। ধরি, বর্তনীর মূল বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা $= i$। এই বিদ্যুৎ প্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছে দুই ভাগে বিভক্ত হবে। মূল বিদ্যুৎ প্রবাহের সামান্য অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে। আর অধিক পরিমাণের বিদ্যুৎ প্রবাহ শান্ট-এর মধ্য দিয়ে যাবে। ফলে বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত সৃষ্ট তাপে গ্যালভানোমিটার নষ্ট হবে না। নিম্নলিখিত উপায়ে শান্টের মান নির্ণয় করা যায়।



চিত্র ৩.২৪

বিদ্যুৎ প্রবাহ দুটি B বিন্দুতে মিলিত হয়ে পুনরায় মূল বিদ্যুৎ প্রবাহ গঠন করবে। মনে করি গ্যালভানোমিটার এবং শান্ট-এর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_g এবং i_s।

এখন A এবং B বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য $(V_A - V_B)$ হলে ও'মের সূত্র হতে পাই,

$$i_g = \frac{V_A - V_B}{G} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.40)$$

এবং $$i_s = \frac{V_A - V_B}{S} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.41)$$

সমীকরণ (3.41)-কে সমীকরণ (3.40) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$$\frac{i_s}{i_g} = \frac{G}{S} \text{ বা, } i_s = i_g \times \frac{G}{S} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.42)$$

কিন্তু, $i_s + i_g = i$

এখন এই সমীকরণে i_s-এর মান বসিয়ে পাওয়া যায়, $i_g\left(\frac{G+S}{S}\right) = i$

$$\therefore \boxed{i_g = \frac{S \times i}{(G+S)}} = \text{মূল বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা} \times \frac{\text{শান্ট রোধ}}{\text{মোট রোধ}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.43)$$

বা, $i = i_g \times \left(\frac{G+S}{S}\right)$; $\boxed{\frac{G+S}{S}}$-কে **শান্টের ক্ষমতা-গুণক বা গুণন ক্ষমতা বলে।**

সংজ্ঞা : গ্যালভানোমিটারের তড়িৎ প্রবাহকে যে গুণক দ্বারা গুণ করলে মূল তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে শান্টের ক্ষমতা গুণক বা গুণন ক্ষমতা বলে।

আবার i_g-এর মান সমীকরণ (3.42)-এ বসিয়ে পাওয়া যায়, $i_s = \frac{S \times i}{(G+S)} \times \frac{G}{S}$

বা, $S = \frac{i_g \times G}{(i - i_g)}$

$$\therefore \boxed{i_s = \frac{G \times i}{(G+S)}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [3.44(a)]$$

এবং $$S = \frac{i_g \times G}{(i - i_g)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [3.44(b)]$$

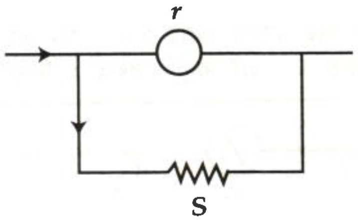
যদি গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে মূল প্রবাহের $\frac{1}{n}$ অংশ পাঠাতে হয়, তা হলে, $\frac{i_g}{i} = \frac{1}{n} = \frac{S}{G+S}$

$$\therefore \quad S = \frac{G}{(n-1)} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad [3.45(a)]$$

কাজেই n বৃদ্ধি করে : (১) গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা হ্রাস করা যায় এবং একে অতি বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত ক্ষতির হাত হতে রক্ষা করা যায়।

(২) উচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা পরিমাপে একে ব্যবহার করা যায় ।

অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি : অ্যামিটারকে একটি স্বল্প রোধের শান্ট যুক্ত অ্যাম্পিয়ারে দাগাঙ্কিত গ্যালভানোমিটার হিসেবে ধরা যেতে পারে। একটি অ্যামিটার সর্বাধিক যে পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ পরিমাপ করতে পারে তাকে তার পাল্লা বলে। একটি স্বল্প পাল্লার অ্যামটারকে সহজে বেশি পাল্লার অ্যামিটারে পরিণত করা যায়, অর্থাৎ কম কারেন্ট পরিমাপের অ্যামিটারকে বেশি কারেন্ট পরিমাপের যন্ত্রে পরিণত করা যায়। এর জন্য অ্যামিটারের সাথে সমান্তরাল সমবায়ে একটি স্বল্প মানের রোধ বা শান্ট যুক্ত করতে হয় [চিত্র ৩·২৪(ক)]।



চিত্র ৩·২৪(ক)

ধরা যাক r অভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত একটি অ্যামিটার সর্বোচ্চ i পরিমাণ কারেন্ট মাপতে পারে। এই যন্ত্রের সাহায্যে ni পরিমাণ কারেন্ট মাপার জন্য এর সাথে সমান্তরালে S রোধ লাগাতে হবে। তাহলে,

$$i = \frac{S}{r+S} \times ni$$

বা, $nS = r + S$

বা, $nS - S = r$

বা, $(n-1)\,S = r$

$$\therefore \quad \boxed{S = \frac{r}{n-1}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad [3.45(b)]$$

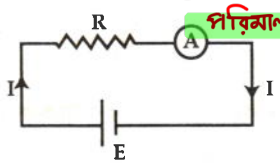
অর্থাৎ n গুণ কারেন্ট পরিমাপ করতে হলে অ্যামিটারের সাথে $\frac{r}{n-1}$ রোধ সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

অ্যামিটার ও ভোল্টমিটার

Ammeter and voltmeter গ্যালভানোমিটারের সাহায্যে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব ও পরিমাণ নির্ণয় করে

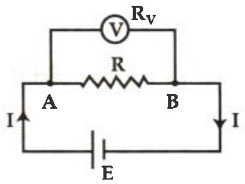
অ্যামিটার : এটি একটি যন্ত্র বা বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপ করে। অ্যামিটারকে তড়িৎ বর্তনীতে শ্রেণিতে যুক্ত করা হয় [চিত্র ৩·২৪(খ)]। অ্যামিটার রোধ থাকায় মূল তড়িৎ প্রবাহ সামান্য হ্রাস পায়। এটা পরিত্যাগ করার জন্য নিম্ন রোধের অ্যামিটার ব্যবাহর করা হয়। কম মানের তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপে মিলি-অ্যামিটার এবং মাইক্রো-অ্যামিটার ব্যবহার করা হয়।

[MAT: 13-14]



চিত্র ৩·২৪(খ)

ভোল্টমিটার : ভোল্টমিটার উচ্চ মানের রোধসম্পন্ন যন্ত্র এবং এটি তড়িৎ বর্তনীতে সমান্তরালে যুক্ত করা হয়। বর্তনীতে যেকোনো দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য পরিমাপের জন্য এটি ব্যবাহর করা হয়। R_V মানের ভোল্টমিটার বর্তনীর দুটি বিন্দুর যাদের বিভব পার্থক্য পরিমাপ করা হবে তাদের মধ্যে সমান্তরালে যুক্ত করা হয় [চিত্র ৩·২৪(গ)]।



চিত্র ৩·২৪(গ)

ভোল্টমিটার যুক্ত করার পূর্বে A ও B বিন্দুর রোধ R। ভোল্টমিটার যুক্ত করার পর রোধ হবে R এবং R_V এর সমান্তরাল সমবায়ের রোধ যা সবসময় R এর চেয়ে কম মানের হয়। সুতরাং, মূল তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায়। পক্ষান্তরে A ও B এর মধ্যে বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি পায়। অতএব, R_V-এর মান উচ্চ মানের হওয়া উচিৎ যাতে তুল্য রোধ প্রায় R এর সমান হয়। সুতরাং, উৎকৃষ্ট ভোল্টমিটারের রোধ অনেক বেশি হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১১

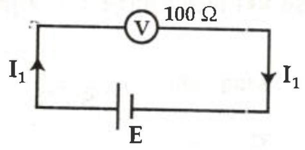
১। 50V-এর একটি ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ 4Ω। ব্যাটারির *emf* মাপার সময় ভোল্টমিটার-এ 10% ত্রুটি পাওয়া যায়। ভোল্টমিটারের রোধ কত?

প্রশ্নানুসারে, ভোল্টমিটারের রোধ = IR = 50 V এর 90% = $\frac{90}{100} \times 50 = 45V$

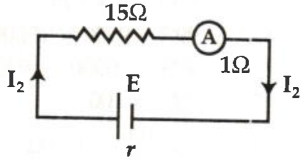
$\therefore$ হারানো ভোল্ট = $Ir = 50 - 45 = 5V$

$\therefore \quad \frac{IR}{Ir} = \frac{45}{5}$ বা, $\frac{R}{r} = 9$ বা, $R = 9 \times r = 9 \times 4 = 36\Omega$

২। একটি তড়িৎ কোষের সাথে 100Ω রোধের একটি ভোল্টমিটার যুক্ত করলে ভোল্টমিটারের পাঠ 2V। যখন কোষটি 15Ω রোধের সাথে যুক্ত করা হয়, তখন 1Ω রোধসম্পন্ন অ্যামিটার 0·1A পাঠ দেয়। কোষের *emf* নির্ণয় কর।



চিত্র i(ক)



চিত্র i(খ)

প্রথম বর্তনীর i(ক)-তে তড়িৎপ্রবাহ,

$$I_1 = \frac{\text{ভোল্টমিটারের পাঠ}}{\text{ভোল্টমিটারের রোধ}} = \frac{2}{100} = 0{\cdot}02\text{A}$$

ধরি, কোষের *emf* E এবং এর অভ্যন্তরীণ রোধ r

অতএব হারানো ভোল্টে $= I_1 r = 0{\cdot}02r$

আমরা জানি,

$$V = E - I_1 r$$

বা, $E = V + I_1 r$

$\therefore \quad E = 2 + 0{\cdot}02r \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (i)$

২য় বর্তনী i(খ)-তে তড়িৎ প্রবাহ, $I_2 = \dfrac{E}{r + 15 + 1}$

বা, $0{\cdot}1 = \dfrac{E}{r + 16}$, বা, $E = 0{\cdot}1r + 1{\cdot}6 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (ii)$

সমীকরণ (i) ও (ii) হতে পাই,

$2 + 0{\cdot}02r = 0{\cdot}1r + 1{\cdot}6$, বা, $0{\cdot}1r - 0{\cdot}02r = 2 - 1{\cdot}6$ বা, $0{\cdot}08r = 0{\cdot}4$

$\therefore \quad r = \dfrac{0{\cdot}4}{0{\cdot}08} = 5\Omega$

সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$E = 2 + 0{\cdot}02 \times 5 = 2 + 0{\cdot}1 = 2{\cdot}1\text{V}$$

নিজে কর : শান্টের রোধ শূন্য এবং অসীম হলে গ্যালভানোমিটারে প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণ কীরূপ হবে ? অথবা, শান্টের রোধ শূন্য বা অসীম না। ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০২১]

শান্টের রোধ শূন্য হলে সকল বিদ্যুৎ প্রবাহ শান্টের মধ্য দিয়ে যাবে আবার শান্টের রোধ অসীম হলে সকল বিদ্যুৎ প্রবাহ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে। অর্থাৎ শান্টের রোধ মূন্য বা অসীম কোনোটিই না। বরং শান্টের রোধ এমনভাবে নির্বাচন করা হয় যাতে গ্যালভানোমিটারে বা অ্যামিটারের তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপের ক্ষমতা কয়েকগুণ বৃদ্ধি পায়।

নিজে কর : শান্ট কী এবং কী কাজে ব্যবহৃত হয় ? অথবা, গ্যালভানোমিটারে রক্ষায় শান্টের প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা কর।

শান্ট হলো নিম্ন মানের রোধ যা গ্যালভানোমিটার বা গ্যালভানোমিটারের মতো সুবেদী যন্ত্রপাতিতে সমান্তরালে যুক্ত করা হয়। অত্যধিক বিদ্যুৎ প্রবাহের হাত থেকে রক্ষা পাওয়ার জন্য গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে শান্ট যুক্ত করা হয়। যখন বর্তনীতে বেশি বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় তখন কম রোধবিশিষ্ট শান্টের মধ্য দিয়ে বেশি বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় এবং গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কম বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। ফলে গ্যালভানোমিটার নষ্ট হয় না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : একটি অ্যামিটারের পাল্লা n গুণ বাড়ানো হলে অ্যামিটারের রোধের কী পরিবর্তন হবে ব্যাখ্যা কর।

I_G পাল্লাবিশিষ্ট G রোধের গ্যালভানোমিটারকে I পাল্লাবিশিষ্ট অ্যামিটারে রূপান্তরিত করলে G-এর সমান্তরালে যে সান্ট রোধ S যুক্ত করা হয় তার মান,

$$S = \frac{I_G}{I - I_G} \times G = \frac{1}{\frac{I}{I_G} - 1} \times G = \frac{G}{n - 1} \quad \left[\text{এখানে, } \frac{I}{I_G} = n \right]$$

এখন G এবং S সমান্তরাল সমবায়ে থাকায় তুল্য রোধ R হবে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{G} + \frac{1}{S} = \frac{1}{G} + \frac{n - 1}{G} = \frac{n}{G}$$

বা, $R = \dfrac{G}{n}$

সুতরাং অ্যামিটারের পাল্লা n গুণ হলে রোধ G-এর মান কমে $\dfrac{G}{n}$ হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১২

১। একটি গ্যালভানোমিটারের রোধ 100 ও'ম। এর সাথে কত শান্ট যুক্ত করলে মূল তড়িৎ প্রবাহমাত্রার 99% শান্টের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবে ? [রা. বো. ২০২১; Admission Test : JU 208-19; BSMRSTU 2019-20 (মান ভিন্ন); BRU 2019-20 (মান ভিন্ন); DU 2018-19 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি, $i_s = \frac{i \times G}{S+G}$

বা, $\frac{i_s}{i} = \frac{G}{S+G}$

বা, $\frac{99}{100} = \frac{100}{S+100}$

বা, $99S + 9900 = 10000$

বা, $99S = 10000 - 9900$

বা, $99S = 100$

বা, $S = \frac{100}{99} = 1{\cdot}01\Omega$

এখানে,
$G = 100\Omega$
$\frac{i_s}{i} = \frac{99}{100}$
$S = ?$

২। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটার সর্বোচ্চ 1 mA তড়িৎ নিরাপদে গ্রহণ করতে পারে। কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে এর দ্বারা 10A প্রবাহ মাপা যাবে ?
[য. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন), ২০০২; দি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন), ২০১১; ঢা. বো. ২০০৭; কু. বো. ২০০৭, ২০০৪; BRU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]

মনে করি, এজন্য প্রয়োজনীয় শান্টের মান = S

আমরা জানি, $i_g = \frac{S}{S+G} \times i$

বা, $\frac{i_g}{i} = \frac{S}{S+G} \quad \therefore \frac{1 \times 10^{-3}}{10} = \frac{S}{S+100}$

বা, $1 \times 10^{-3} = \frac{10\,S}{S+100}$

বা, $S \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3} = 10\,S$

বা, $10S - S \times 10^{-3} = 100 \times 10^{-3}$

বা, $9{\cdot}999S = 100 \times 10^{-3}$

বা, $S = \frac{100 \times 10^{-3}}{9{\cdot}999} = \frac{100 \times 10^{-3}}{9999 \times 10^{-3}} = \frac{100}{9999}$

$\therefore$ $S = 0{\cdot}01\Omega$

$\therefore$ $0{\cdot}01\Omega$ রোধের শান্টকে গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

এখানে,
$G = 100\Omega$
$i_g = 1\text{ mA} = 1 \times 10^{-3}\text{ A}$
$i = 10\text{A}$

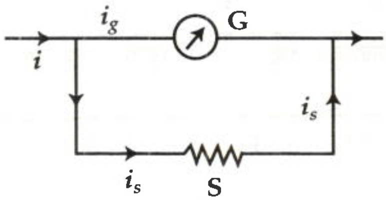
৩। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে 5Ω এর শান্ট যুক্ত করে একটি তড়িৎ বর্তনীর সাথে সংযুক্ত করা হলো। গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে 0·42A প্রবাহ পাওয়া গেল। বর্তনীর মূল প্রবাহ কত ?

আমরা জানি,

$I = \frac{G+S}{S} \times I_g$

$= \frac{100\,\Omega + 5\,\Omega}{5\,\Omega} \times 0{\cdot}42\text{ A}$

$= 8{\cdot}82\text{ A}$



এখানে,
গ্যালভানোমিটারের রোধ, $G = 100\Omega$
শান্ট, $S = 5\,\Omega$
গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ, $I_g = 0{\cdot}42\text{ A}$
মূল প্রবাহ, $I = ?$

৪। 95Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে 5Ω রোধের একটি শান্ট যুক্ত করলে মূল প্রবাহের শতকরা কত অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে ? [JU Admission Test, 2017-18 (মান ভিন্ন)]

মূল প্রবাহ I হলে আমরা জানি,

$I_g = \frac{S}{G+S} \times I = \frac{5}{95+5} \times I$

$= \frac{5}{100} \times I = 5\% \times I$

অর্থাৎ মূল প্রবাহের 5%

এখানে,
$G = 95\Omega$
$S = 5\,\Omega$
$I_g = ?$

৫। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে কত রোধের একটি শান্ট যুক্ত করলে মোট প্রবাহের 10% গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে ? [রা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); Admission Test : RU 2017-18 (মান ভিন্ন); SAU 2018-19 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$I_g = \frac{S}{G+S} \times I$$

বা, $$\frac{I_g}{I} = \frac{S}{G+S}$$

বা, $$\frac{\frac{10I}{100}}{I} = \frac{S}{G+S}$$

বা, $$\frac{10}{100} = \frac{S}{100+S}$$

বা, $$\frac{1}{10} = \frac{S}{100+S}$$

বা, $$9S = 100$$

$$\therefore S = \frac{100}{9} = 11{\cdot}11\ \Omega$$

এখানে,

$G = 100\ \Omega$

$I_g = I$ এর $10\% = \frac{10}{100}I$

$S = ?$

৬। একটি অ্যামিটার 5A বিদ্যুৎ নিরাপদে মাপতে পারে। ওই অ্যামিটার দ্বারা 7·5A বিদ্যুৎ মাপার জন্য কত রোধের শান্ট দরকার ? [RU-C Admission Test, 2021-22]

ধরা যাক, অ্যামিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$। এখন অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি $= n$ হলে আমরা পাই,

$$n = \frac{I''}{I'} = \frac{7{\cdot}5}{5} = 1{\cdot}5$$

আমরা জানি,

$$S = \frac{r}{n-1}$$

$$\therefore S = \frac{r}{1{\cdot}5-1} = \frac{r}{0{\cdot}5} = 2r$$

এখানে,

$I' = 5\ A$

$I'' = 7{\cdot}5\ A$

$S = ?$

অর্থাৎ অ্যামিটারের রোধ r-এর দ্বিগুণ রোধ শান্ট হিসেবে ব্যবহার করলে অ্যামিটারটি দ্বারা 7·5A বিদ্যুৎ মাপা যাবে।

৭। একটি 1000 Ω-এর ভোল্টমিটার 15 V পরিসরের। ভোল্টমিটারটি 250 V পর্যন্ত মাপতে কী ব্যবস্থা অবলম্বন করতে হবে? [CUET Admission Test, 2013-14]

ভোল্টমিটারের ক্ষেত্রে,

$$R = r(n-1)$$

বা, $$R = 1000 \times \left(\frac{250}{15} - 1\right) = 1000 \times \frac{235}{15} = 15666{\cdot}67\ \Omega$$

রোধ শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

এখানে,

$r = 1000\ \Omega$

$n = \frac{\text{বর্তমান ভোল্টেজ}}{\text{আদি ভোল্টেজ}}$

বর্তমান ভোল্টেজ = 250 V

আদি ভোল্টেজ = 15 V

৮। 99 Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের পাল্লা আদি পাল্লার 100 গুণ করতে হলে গালভানোমিটারের সাথে কত মানের শান্ট যুক্ত করতে হবে ? [ব. বো. ২০১২]

আমরা জানি,

$$S = \frac{r}{n-1} = \frac{99\ \Omega}{100-1} = 1\ \Omega$$

এখানে,

গ্যালভানোমিটারের পাল্লা বৃদ্ধি, $n = 100$

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 99\ \Omega$

শান্ট, $S = ?$

৯। একটি অ্যামিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ 0·4 Ω এবং এটি সর্বোচ্চ 12 A পর্যন্ত প্রবাহ পরিমাপ করতে পারে। এর সাহায্যে 60 A প্রবাহ মাপতে হলে কী ব্যবস্থা নিতে হবে ? [ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$S = \frac{r}{n-1}$$

কিন্তু $n = \frac{i'}{i} = \frac{60\ A}{12\ A} = 5$

$$\therefore\ S = \frac{0{\cdot}4\ \Omega}{5-1} = 0{\cdot}1\ \Omega$$

এখানে,

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 0{\cdot}4\ \Omega$

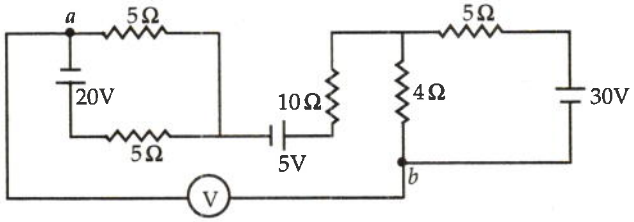
পরিমাপযোগ্য প্রবাহ, $i = 12\ A$

মাপতে হবে প্রবাহ, $i' = 60\ A$

শান্ট, $S = ?$

অর্থাৎ অ্যামিটারের সাথে সমান্তরালে 0·1 Ω রোধ লাগাতে হবে।

১০। চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে ভোল্টামিটারের পাঠ কত হবে নির্ণয় কর। ধর যে ভোল্টমিটারটি যথাযথ পোলারিটিতে সংযোগ করা হয়েছে। [BUET Admission Test, 2019-20]



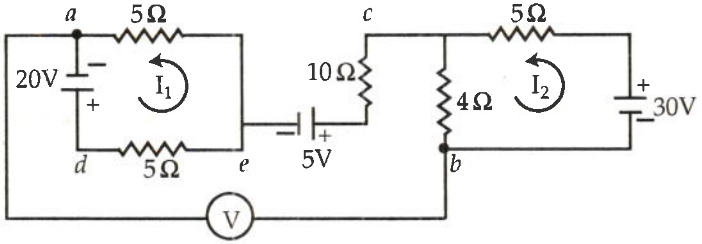
এখানে,

$$I_1 = \frac{20}{5+5}\ A = 2A,\ I_2 = \frac{30}{5+4}\ A = \frac{10}{3}\ A$$

'a' বিন্দুতে ভোল্টেজ = 0V

'd' বিন্দুতে ভোল্টেজ = 20V

'e' বিন্দুতে ভোল্টেজ = {20 — (5 × 2)} V = 10V



ec পথ দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হবে না।

$\therefore$ c বিন্দুতে ভোল্টেজ = {10 + 5}V = 15V

b বিন্দুতে ভোল্টেজ $= \left\{15 - 4\left(\frac{10}{3}\right)\right\}V = 15 - \frac{40}{3} = \frac{5}{3}\ V$

সুতারং ভোল্টমিটারের পাঠ হবে $\frac{5}{3}$ V।

১১। একটি গ্যালভানোমিটারের পাল্লা 10 mA — 500 mV। (i) 20A এবং (ii) 440V মাপতে কী ব্যবস্থা নিতে হবে ? [RUET Admission Test, 2019-20]

ধরি, গ্যালভানোমিটারের রোধ $= r$

আমরা জানি,

$$V = Ir$$

$$\therefore\ r = \frac{V}{I} = \frac{500 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 50\Omega$$

এখানে,

$I = 10\ mA = 10 \times 10^{-3}\ A$

$V = 500\ mV = 500 \times 10^{-3} V$

(i) এখন, অ্যামিটারের ক্ষেত্রে r মানের শান্ট গ্যালভানোমিটারের সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

$$\therefore \quad n = \frac{I'}{I} = \frac{20}{10 \times 10^{-3}} = 2000$$

$$\therefore \quad \text{শান্ট, } S = \frac{r}{n-1} = \frac{50}{2000-1} = \frac{50}{1999} = 0{\cdot}025\Omega$$

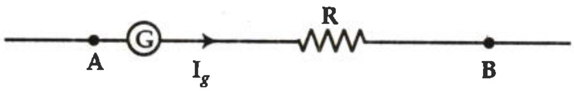
(ii) ভোল্টমিটারের পাল্লা বৃদ্ধির জন্য শ্রেণিতে উচ্চমানের রোধ যুক্ত করতে হবে।

এখানে, $n = \frac{V'}{V} = \frac{440}{500 \times 10^{-3}} = 880\Omega$

সুতরাং, প্রয়োজনীয় রোধ, $R = (n-1)\,r = (880-1) \times 50 = 43950\Omega$

১২। একটি চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের রোধ 60Ω এবং 60mA তড়িৎ প্রবাহের জন্য পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ দেখায়। একে একটি 240 ভোল্ট পরিমাপযোগ্য ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করতে গ্যালভানোমিটারের সাথে কত মানের রোধ এবং কীভাবে যুক্ত করতে হবে?

চিত্রে প্রদর্শিত একটি রোধ R গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করে এবং যন্ত্রটি A ও B বিন্দুর মধ্যে সংযোগ দিলে আমরা ভোল্টমিটার পাই।



এখানে,

গ্যালভানোমিটারের রোধ, $G = 60\Omega$

তড়িৎ প্রবাহ, $I = 60\text{ mA} = 60 \times 10^{-3}\text{ A}$

$V = V_A - V_B = 240V$

0 থেকে $V_A - V_B$ অর্থাৎ 240V বিভব পার্থক্য পরিমাপের জন্য এখানে,

$V_A - V_B = 240V$

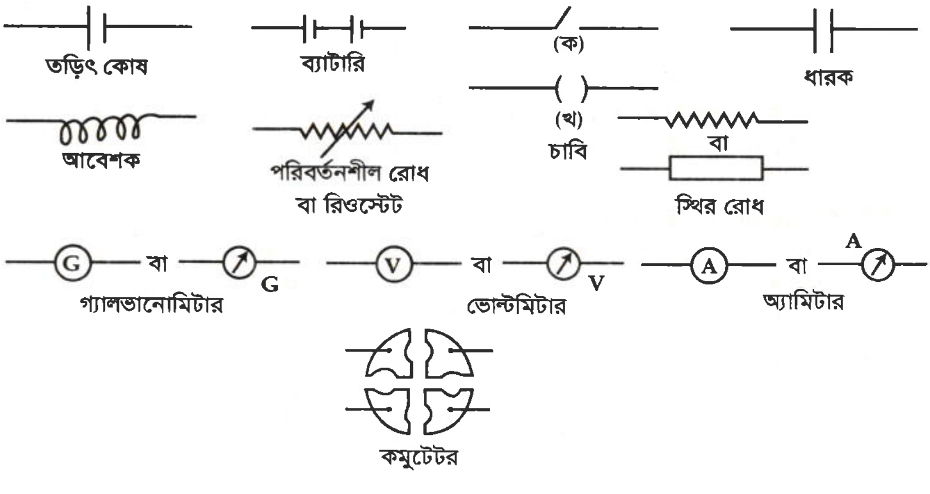
এখন, $V_A - V_B = I_G\,(G + R)$

বা, $R = \frac{V_A - V_B}{I_g} - G = \frac{240}{6 \times 10^{-3}} - 60$

$= 4000 - 60 = 3940\Omega$

৩·১৮ তড়িৎ বর্তনীতে ব্যবহৃত কয়েকটি উপাংশ ও যন্ত্রের প্রতীক চিহ্ন
Symbol of some components and instruments used in electrical circuit

তড়িৎ বর্তনীতে ব্যবহৃত কয়েকটি উপাংশ ও যন্ত্রের প্রতীক চিহ্ন নিচে দেওয়া হলো :



৩·১৯ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	পোটেনশিওমিটার
পিরিয়ড : ২	Potentiometer
	পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে দুটি কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা
	To compare the electromotive forces of two electric cells by a potentiometer

EMF

মূলতত্ত্ব (Theory) : বিযুক্ত অবস্থায় কোনো বিদ্যুৎ কোষের দুটি মেরুর বিভব পার্থক্যকে ওই বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল বলে। বিদ্যুচ্চালক বলকে E দ্বারা সূচিত করা হয়।

ধরি, দুটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1 এবং E_2। মনে করি I প্রাথমিক বর্তনীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা। E_1 এবং E_2 বিদ্যুচ্চালক বলযুক্ত বিদ্যুৎ কোষের ক্ষেত্রে পোটেনশিওমিটারটি যন্ত্রের ধন প্রান্ত হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1 ও l_2 হলে এবং পোটেনশিওমিটার যন্ত্রের তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ ρ হলে, ও'মের সূত্র হতে আমরা পাই,

$$E_1 = \text{বিভব পতন} = l_1\rho I \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.46)$$

এবং $$E_2 = \text{বিভব পতন} = l_2\rho I \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.47)$$

(3.46) নং সমীকরণকে (3.47) নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1\rho I}{l_2\rho I} \quad \text{বা,} \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.48)$$

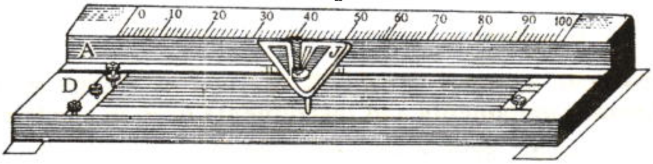
উপরোক্ত সমীকরণে l_1 এবং l_2-এর মান বসিয়ে E_1 এবং E_2-এর অনুপাত নির্ণয় করা যায়।

[MAT: 21-22, MAT: 17-18]

যন্ত্রের বর্ণনা :

বিভব পতন পদ্ধতিতে যে যন্ত্রের সাহায্যে ছোট মানের বিভব বৈষম্য ও বিদ্যুচ্চালক শক্তি সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা যায় তাকে পোটেনশিওমিটার বলে। এর সাহায্যে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা এবং রোধও নির্ণয় করা যায়।

এই যন্ত্রে একটি কাঠের পাটাতনের ওপর পরস্পর সমান্তরাল একই প্রকার ও সুষম প্রস্থচ্ছেদের 10টি ম্যাঙ্গানিন বা কন্সট্যান্টানের তার মোটা তামার পাতের মাধ্যমে পরস্পরের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩·২৫]। এখানে প্রত্যেকটি তারের দৈর্ঘ্য 1 মিটার এবং তারের **রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক** (Temperature coefficient of resistance) খুব কম। প্রথম ও শেষ তারের মুক্ত প্রান্ত কাঠের পাটাতনের ওপর অবস্থিত দুটি সংযোজক স্ক্রু A ও D-এর সাথে যুক্ত।



চিত্র ৩·২৫

পাটাতনের এক পার্শ্বে তারের সমান্তরালে একটি মিটার স্কেল S থাকে। এই স্কেলের সাহায্যে তারের এক প্রান্ত হতে এর উপরিস্থিত যেকোনো বিন্দুর দূরত্ব নির্ণয় করা যায়। পাটাতনের ওপর পিতলের তৈরি তিন পা-বিশিষ্ট একটি ত্রিকোণাকার জকি J থাকে। জকিটি প্রত্যেক তারের দৈর্ঘ্য বরাবর ডানে ও বামে চলাচল করতে পারে। জকিটির মাঝখানে একটি টেপা চাবি আছে। জকিটিকে সামনে-পিছনে সরিয়ে চাবি টিপে কোনো তারের যেকোনো বিন্দুর সাথে চাবির সংযোগ স্থাপন করা যায়।

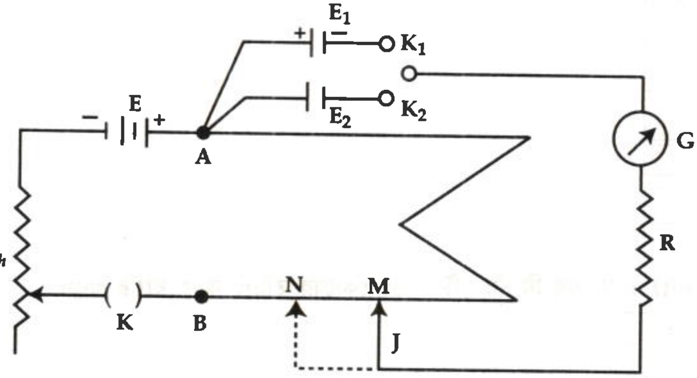
প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি (Necessary instruments)

(১) পোটেনশিওমিটার যন্ত্র, (২) দুটি পরীক্ষণীয় কোষ, (৩) একটি সঞ্চয়ী কোষ, (৪) গ্যালভানোমিটার, (৫) একটি একপথ চাবি, (৬) একটি দ্বিপথ চাবি, (৭) রোধ বাক্স, (৮) রিওস্ট্যাট বা পরিবর্তনশীল রোধ (R_h), (৯) সংযোজন তার, (১০) শিরিস কাগজ ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) :

(১) প্রথমে শিরিস কাগজ দ্বারা সংযোজক তারগুলোর প্রান্ত, পোটেনশিওমিটার, গ্যালভানোমিটার, রোধ বাক্স, রিওস্ট্যাট, চাবি ইত্যাদি সকল সংযোগ প্রান্ত ভালোভাবে ঘষে নিতে হয়। পোটেনশিওমিটারের দুই প্রান্ত A ও B-তে বিভিন্ন সংযোগ দিতে হয়।

(২) চিত্র ৩'২৬ অনুযায়ী বর্তনী সংযোগ দিতে হয়। পরীক্ষণীয় কোষ E_1 ও E_2 এর ধনাত্মক প্রান্ত এবং সঞ্চয়ী কোষ E-এর ধনাত্মক প্রান্ত পোটেনশিওমিটার A প্রান্তের সঙ্গে সংযুক্ত করতে হয়। E_1 ও E_2-এর ঋণাত্মক প্রান্ত দ্বিমুখী চাবির দুই প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করতে হয়। দ্বি-পথ চাবির সাধারণ (common) প্রান্তের সঙ্গে গ্যালভানোমিটার G, উচ্চরোধ



চিত্র ৩'২৬

বাক্স R এবং জকি J শ্রেণিতে সংযোগ দিতে হয়। সঞ্চয়ী কোষ E-এর ঋণাত্মক প্রান্ত রিওস্ট্যাট R_h ও চাবি K-এর মধ্য দিয়ে পোটেনশিওমিটারের B প্রান্তে সংযোগ দিতে হয়।

(৩) ওপরের ২নং ধারা অনুযায়ী বর্তনী সংযোগ সমাপ্ত করার পর রোধ বাক্স R হতে প্রায় 2000Ω মানের রোধ বর্তনীতে প্রয়োগ করে এবং রিওস্ট্যাট R_h-এর মান বেশি নিয়ে চাবি K বন্ধ করে জকি K-কে একবার পোটেনশিওমিটার A প্রান্তের কাছে, আবার B প্রান্তের কাছে স্পর্শ করতে হয়। দুই প্রান্তে স্পর্শের ফলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ যদি বিপরীতমুখী হয়, তবে বুঝতে হবে বর্তনীর সংযোগ সঠিক হয়েছে।

(৪) এবার পর্যায়ক্রমে চাবি K_1 ও K_2 বন্ধ করে যথাক্রমে কোষ E_1 ও E_2 গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করতে হয়। কার্যধারা (৩)-এর ন্যায় গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ উভয় দিকে হয় কিনা দেখে নিতে হয়। মনে রাখতে হবে, সঞ্চয়ী কোষের বিভব পার্থক্য পরীক্ষণীয় কোষগুলোর প্রত্যেকটির বিভব পার্থক্য অপেক্ষা বেশি মানের হতে হবে। নচেৎ গ্যালভানোমিটার উভয় দিকে বিক্ষেপ দেখাবে না।

(৫) এখন দ্বিপথ চাবি K_1 বন্ধ করে E_1 কোষটিকে গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করা হয় এবং জকিটিকে পোটেনশিওমিটার তারের বিভিন্ন বিন্দুতে স্পর্শ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ যে বিন্দুতে শূন্য দেখায় তা নির্ধারণ করতে হয়। একে নিস্পন্দ বিন্দু বলে। এবার R_h-এর রোধ সর্বনিম্ন করে চূড়ান্ত নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করতে হয়। ধরা যাক, A প্রান্ত হতে এই নিস্পন্দ বিন্দু M-এর দূরত্ব l_1 সে.মি.।

(৬) এখন দ্বিপথ চাবি K_1 খুলে দিয়ে K_2 বন্ধ করে E_2 কোষটিকে বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করা হয় এবং কার্যধারা (৫) অনুসরণ করে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করতে হয়। ধরা যাক, এই নিস্পন্দ বিন্দু N-এর দূরত্ব l_2 সে.মি.।

(৭) রোধ বাক্স হতে ভিন্ন ভিন্ন মানের রোধ নিয়ে (৫) ও (৬) কার্যধারা অনুসরণ করে কমপক্ষে তিনবার l_1 এবং l_2-এর মান নির্ণয় করা হয়। প্রতিটি পর্যবেক্ষণে E_1 এবং E_2-এর অনুপাত নির্ণয় করা হয় এবং পরিশেষে তাদের গড় মান বের করা হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and manipulation) :

দুটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির তুলনার ছক :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পরিবর্তনশীল রোধ ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর অবস্থান				$\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}$	গড় $\frac{E_1}{E_2}$
		E_1 কোষের জন্য l_1 m	গড় l_1 m	E_2 কোষের জন্য l_2 m	গড় l_2 m		
1	R_1 = ---	....	....	....	....	....	
2	R_2 = ---	....	....	....	....	....	
3	R_3 = ---	....	....	....	....	....	

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

(১) $\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{\square}{\square}$

(২) $\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{\square}{\square}$

(৩) $\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{\square}{\square}$

$\therefore$ গড়, $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\square}{\square}$

ফলাফল (Result) : অতএব নির্ণেয় দুটি তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক বলের অনুপাত,

$E_1 : E_2 = \square : \square$

সতর্কতা (Precautions) :

(১) সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করা উচিত।
(২) সংযোজন সঠিক আছে কি না দেখে নেয়া উচিত।
(৩) গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে উচ্চমানের রোধ প্রয়োগ করা উচিত।
(৪) সঞ্চয়ী কোষের বিদ্যুচ্চালক বল পরীক্ষণীয় কোষের যে কোনোটির বিদ্যুচ্চালক বল অপেক্ষা বড় নেয়া উচিত।
(৫) গ্যালভানোমিটারের সূচক সম্পূর্ণ স্থির হলে তারের দৈর্ঘ্য পরিমাপ করা উচিত।
(৬) সংযোগ বেশিক্ষণ দিয়ে রাখা উচিত নয়। তাতে রোধের মান পরিবর্তিত হয়।

কাজ : পোটেনশিওমিটার পরীক্ষায় ব্যবহৃত গ্যালভানোমিটারের সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত রোধ R প্রথমে উচ্চ মানের রেখে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করা হয় এবং তারপর $R = 0$ করে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করা হয় কেন ?

যখন গ্যালভেনোমিটারেরর সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত রোধ উচ্চ মানের হয় তখন গ্যালভানোমিটার অসংবেদী হয়। কিন্তু যখন $R= 0$ হয় তখন গ্যালভানোমিটার বর্তনীর রোধ এত কম হয় যে, সামান্য বিভব পার্থক্যের দরুন গ্যালভানো-মিটার দিয়ে অধিক মানের তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারটি যথেষ্ট সুবেদী হয় এবং পাঠে ত্রুটি নিম্নতম হয়।

হিসাব : একটি পোটেনশিওমিটার দ্বারা দুটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি পরীক্ষাকালে প্রথম ও দ্বিতীয় কোষের জন্য সাম্যবিন্দু যথাক্রমে 5m ও 4m হলো। দ্বিতীয় কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1·2V হলে প্রথম কোষের তড়িচ্চালক শক্তি কত?

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

বা, $E_1 = E_2 \times \frac{l_1}{l_2}$

$\therefore$ $E_1 = 1·2 \times \frac{5}{4} = 1·5$ V

[DAT : 17-18, MAT : 15-16]

পরীক্ষণের নাম : **পিরিয়ড : ২**	**মিটার ব্রিজ** **Metre bridge** মিটার ব্রিজের সাহায্যে কোনো তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় To determine the specific resistance (resistivity) of a wire by metre bridge

মূলতত্ত্ব (Theory) : একক দৈর্ঘ্য ও একক ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোনো পরিবাহী বিদ্যুৎ প্রবাহে যে পরিমাণ রোধ বা বাধা প্রধান করে তাকে ওই পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ বলে। একে ρ দ্বারা সূচিত করা হয়।

যদি কোনো তারের দৈর্ঘ্য L, প্রস্থচ্ছেদ A এবং মোট রোধ Q হয়, তবে তার আপেক্ষিক রোধ

$$\rho = \frac{QA}{L}$$

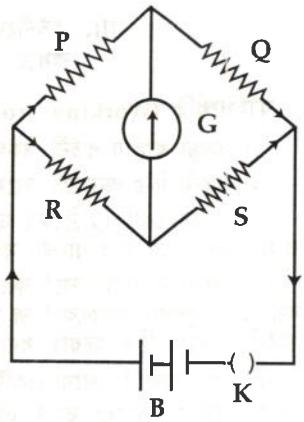
তারটি চোঙাকৃতি বা বৃত্তাকার হলে তার প্রস্থচ্ছেদ, $A = \pi r^2$

এখানে r = তারের ব্যাসার্ধ।

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক রোধ, } \rho = \frac{Q\pi r^2}{L} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.49)$$

যদি R-কে ও'ম এককে এবং L ও r-কে মিটারে প্রকাশ করা হয়, তবে ρ-এর একক হবে ও'ম-মি (Ω-m)।

সমীকরণ (3.49)-এ তারের মোট রোধ Q মিটার ব্রিজের সাহায্যে নিম্নোক্ত তত্ত্ব অনুসারে নির্ণয় করা যায়।



চিত্র ৩·২৭

মিটার ব্রিজের দুটি ফাঁকের বামটিতে জানা রোধ P এবং ডানটিতে একটি অজানা রোধ Q স্থাপন করে [চিত্র ৩·২৭] বর্তনীটি সম্পূর্ণ করার পর যদি ব্রিজের তারের বাম প্রান্ত হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব l হয় এবং যদি σ তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ হয়, তবে হুইটস্টোন ব্রিজ নীতি প্রয়োগ করে পাওয়া যায়—

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{\text{ব্রিজের তারের } l \text{ দৈর্ঘ্যের রোধ}}{\text{ব্রিজের তারের } (100 - l) \text{ দৈর্ঘ্যের রোধ}}$$

বা, $$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{l\sigma}{(100 - l)\sigma} = \frac{l}{100 - l}$$

বা, $$Q = \frac{P \times (100 - l)}{l} \text{ ও'ম} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.50)$$

আবার রোধগুলোর স্থান পরিবর্তন করে অর্থাৎ জানা রোধ P ডান ফাঁকে এবং অজানা রোধ Q বাম ফাঁকে স্থাপন করে আমরা পাই,

$$\frac{Q}{P} = \frac{l}{(100 - l)}$$

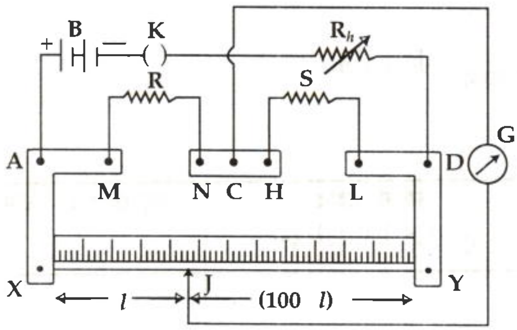
বা, $$Q = \frac{P \times l}{(100 - l)} \text{ ও'ম} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.51)$$

সমীকরণ (3.50) ও (3.51)-এর গড় মান থেকে অজানা রোধ Q বের করা যায়।

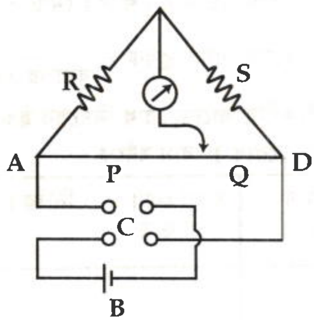
তারের ব্যাসার্ধ r, দৈর্ঘ্য L পরিমাপ করে এবং মিটার ব্রিজের সাহায্যে তারের অজানা রোধ নির্ণয় করে সমীকরণ (3.51)-এ বসিয়ে তারের আপেক্ষিক রোধ বের করা যায়।

যন্ত্রের বর্ণনা :

এই যন্ত্র একটি কাঠের লম্বা পাটাতনের ওপর তিনটি পিতল বা তামার পাত XAM, NCH ও LDY থাকে [চিত্র ৩·২৮(ক)]। এই পাতগুলোর রোধ নগণ্য এবং পাতের A, M, N, C, H, L ও D বিন্দুতে একটি করে সংযোজক স্ক্রু আছে। XAM ও LDY পাত দুটির মাঝে একটি মিটার স্কেল বসানো আছে। এই স্কেলের দৈর্ঘ্য বরাবর এক মিটার দীর্ঘ একটি সুষম প্রস্থচ্ছেদের তার টান করে X ও Y বিন্দুর সাথে আটকানো আছে। এক মিটার দীর্ঘ তার রোধক হিসেবে ব্যবহৃত হয় বলে একে **মিটার ব্রিজ** বলা হয়। চিত্র ৩·২৮(খ)–এ তুল্য মিটার ব্রিজ বর্তনী দেখানো হয়েছে। স্পষ্টতই এটি হুইটস্টোন ব্রিজ বর্তনী।



(ক)



(খ)

চিত্র ৩·২৮

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি (Necessary instru-ments) : (১) একটি মিটার ব্রিজ; (২) বিদ্যুৎ কোষ; (৩) গ্যালভানোমিটার; (৪) রোধ বাক্স; (৫) কমুটেটর বা চাবি; (৬) জকি; (৭) সংযোজনী তার; (৮) স্ক্রু-গজ; (৯) মিটার স্কেল; (১০) পরীক্ষণীয় তার ইত্যাদি।

জানার বিষয় : I. মিটার ব্রিজ তারে তিনটি তামার পাত ব্যবহার করা হয়।

II. বর্তনীতে বিদ্যুৎ পরিমাপ করতে হলে অ্যামিটারকে রোধের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করতে হয়।

III. বর্তনীতে বিভব পার্থক্য পরিমাপ করতে ভোল্টমিটারকে রোধের সাথে সমান্তরালে যুক্ত করতে হয়।

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) :

(১) খসড়া খাতায় বর্তনী অঙ্কন করা হয়।

(২) বর্তনী চিত্র অনুযায়ী সংযোজন করা হয়।

(৩) অজানা রোধ Q ব্রিজের ডান ফাঁকে এবং জানা রোধ P ব্রিজের বাম ফাঁকে সংযুক্ত করা হয়। গ্যালভানোমিটার ব্রিজের মধ্যবিন্দু এবং রোধ বাক্সের মধ্য দিয়ে জকির (J) বা টেপা চাবির সঙ্গে সংযুক্ত করা হয়।

(৪) বর্তনী সংযোগ সম্পূর্ণ করার পর ব্রিজের এক তারের এক প্রান্তে জকি স্পর্শ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। পুনরায় জকিকে ব্রিজ তারের অপর প্রান্তে স্পর্শ করে বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। এই দুই বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হলে বর্তনী সংযোগ ঠিক হয়েছে ধরা হয়।

(৫) রোধ বাক্স P থেকে একটি জানা রোধ P_1 বর্তনীতে প্রয়োগ করা হয়। জকিটিকে চেপে ধরে ধীরে ধীরে ডানে এবং বামে সরিয়ে ব্রিজের তারে এমন একটি অবস্থান নির্ণয় করা হয় যেখানে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ পরিলক্ষিত হয় না। এটিই নিষ্ক্রিয় বিন্দু (Null point)। মিটার ব্রিজ সংলগ্ন মিটার স্কেলের সাহায্যে বাম প্রান্ত হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য l_1 নির্ণয় করা হয়। এই মানগুলো সমীকরণ (3.50)-এ বসিয়ে হিসাব করে Q_1-এর মান বের করা হয়।

(৬) এবার P এবং Q-এর অবস্থান পরিবর্তন করা হয়। P_1-এর মান স্থির রেখে উপরোক্ত প্রক্রিয়া অবলম্বন করে নিষ্ক্রিয় বিন্দু নির্ণয় করা হয় এবং ওই বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য l_2 পরিমাপ করা হয়। এই মানগুলো সমীকরণ (3.51)-এ বসিয়ে হিসাব করে Q_1'-এর মান নির্ণয় করা হয়।

(৭) P ও Q এর অবস্থান পরিবর্তন করে পূর্বের অবস্থানে নেয়া হয়। P বাক্স হতে অন্য মানের একটি রোধ P_2 উঠানো হয় এবং উপরের (৫) ও (৬) নিয়ম অনুসরণ করে অজ্ঞাত Q_2 ও Q_2' বের করা হয়।

(৮) পদ্ধতি (৭) অনুসরণ করে P রোধ বাক্স থেকে P_3 রোধ উঠিয়ে পূর্বের নিয়মে Q_3 ও Q_3' রোধ বের করা হয়।

(৯) এবার Q_1, Q_1', Q_2, Q_2' এবং Q_3 ও Q_3' এর গড় নিয়ে পরীক্ষণীয় তারের অজানা রোধ Q ohm বের করা হয়।

(১০) মিটার ব্রিজ হতে পরীক্ষণীয় তারটিকে খুলে নিয়ে মিটার স্কেলের সাহায্যে এর গড় দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়।

(১১) স্ক্রু-গজের সাহায্যে পরীক্ষণীয় তারটির গড় ব্যাস, তথা ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয় এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল হিসাব করে বের করা হয়।

(১২) পরীক্ষালব্ধ প্রাপ্ত Q, L এবং r-এর মান সমীকরণ (3.49)-এ বসিয়ে তারের আপেক্ষিক রোধ হিসাব করে বের করা হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

স্ক্রু-গজের পিচ = ... মিমি (mm)

স্ক্রু-গজের বৃত্তাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা = ...

স্ক্রু-গজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক = $\dfrac{\text{পিচ}}{\text{বৃত্তাকর স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা}}$ = মিমি (mm)

পরীক্ষণীয় তারের রোধ নির্ণয়ের ছক :

(ক) রোধ P বাম ফাঁকে

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	জানা রোধ = P ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব $= l$ m	অজানা রোধ $Q = \frac{P \times (100 - l)}{l}$ ও'ম	গড় রোধ Q ও'ম
1				
2				
3				

(খ) রোধ P ডান ফাঁকে

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	জানা রোধ = P ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব $=l$ m	অজানা রোধ $Q=\frac{P\times l}{(100-l)}$ ও'ম	গড় রোধ Q ও'ম
1				
2				
3				

পরীক্ষণীয় তারের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের ছক :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেল পাঠ = M মিমি	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ = V	লঘিষ্ঠ স্থিরাঙ্ক = K মিমি	খণ্ড অংশ $F=V\times K$ মিমি	মোট পাঠ $d'=(M+F)$ মিমি	গড় পাঠ মিমি	যান্ত্রিক ত্রুটি $\pm e$ মিমি	সংশোধিত ব্যাস $d=d'\pm e$ মিমি	ব্যাসার্ধ = $r=d/2$ মিমি	ব্যাসার্ধ = r সেমি
1										
2										
3										

পরীক্ষণীয় তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়ের ছক :

তারের দৈর্ঘ্য = L সেমি	তারের মোট রোধ = Q ও'ম	তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $A=\pi r^2$ বর্গ সেমি	আপেক্ষিক রোধ $\rho=\frac{Q\pi r^2}{L}$ ও'ম-সেমি

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

$\rho = \frac{Q\pi r^2}{L}$ = ... ও'ম সেমি (ohm-cm) = ... ও'ম মি (ohm-m)

ফলাফল (Result) : ρ = ...ohm-m (ত্রুটির হার নির্ণয় করতে হবে)

সতর্কতা (Precautions) :

(১) সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করতে হবে।

(২) সংযোজনকারী তারের প্রান্তগুলো শিরিস কাগজ দ্বারা ঘষা নিতে হবে।

(৩) বিশেষ সতর্কতার সাথে নিষ্ক্রিয় বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করতে হবে।

(৪) তারের ব্যাসার্ধ সঠিকভাবে নির্ণয় করা উচিত।

(৫) ρ-এর মান সঠিকভাবে নির্ণয় করতে হবে।

(৬) অজ্ঞাত রোধের নির্ভুল মান পেতে হলে মিটার ব্রিজের প্রান্তীয় সংশোধন একান্তই প্রয়োজন। প্রান্তীয় সংশোধন কীভাবে করতে হয় তা নিম্নে বর্ণনা করা হলো।

প্রান্তীয় ত্রুটি (End error) :

মিটার ব্রিজ তারের উভয় প্রান্তে নিম্নোক্ত কারণসমূহের জন্য ক্ষুদ্র মানের রোধ সৃষ্টি হয় : (i) তারের দুই প্রান্তে থাকা ধাতব পাত দুটির স্বল্প রোধের জন্য, (ii) তারের দুই প্রান্তের সাথে পাতগুলির ঝালাই ত্রুটিপুর্ণ হলে এবং (ii) তারের X ও Y প্রান্তের সঙ্গে যথাক্রমে মিটার স্কেলের 0 ও 100 সেমি দাগ সঠিকভাবে না মেলার জন্য এই ক্ষুদ্র রোধগুলিকে **প্রান্তীয় রোধ** (end resistance) বলে এবং এর কারণে সৃষ্ট ত্রুটিকে **প্রান্তীয় ত্রুটি** (end error) বলে। প্রান্তীয় ত্রুটি দূর করার পদ্ধতিকে প্রান্তীয় সংশোধন (end correction) বলে। প্রান্তীয় রোধকে সাধারণত তারের দৈর্ঘ্য দ্বারা নিম্নে বর্ণিত উপায়ে প্রকাশ করা হয়।

ধরা যাক, X প্রান্তের প্রান্তীয় রোধ = তারের λ_1 cm দৈর্ঘ্যের রোধ এবং Y প্রান্তের প্রান্তীয় রোধ = তারের λ_2 cm দৈর্ঘ্যের রোধ।

৩.২৮(ক) চিত্রানুযায়ী নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান l_1 cm হলে সমীকরণ (3.50) থেকে লেখা যায়,

$$\frac{R}{S} = \frac{(100-l_1)\rho + \lambda_2\rho}{l_1\rho + \lambda_1\rho}$$

$$= \frac{(100-l_1)+\lambda_2}{l_1+\lambda_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3.52(a)$$

এবার, Q ও P এর স্থান অদল-বদল করার পর নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান যদি λ_2 cm হয়, তবে,

$$\frac{S}{R} = \frac{(100-l_2)+\lambda_2}{l_2+\lambda_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3.52(b)$$

প্রথমে দুটি জানা রোধ R ও S ব্যবহার করা হয় এবং সমীকরণ 3.52(a) ও 3.52(b) দুটি সমাধান করে, λ_1 ও λ_2 এর মান নির্ণয় করা হয়। তারপর এই দুটি মান ব্যবহার করে সমীকরণ 3.52(a)-এর সাহায্যে যে কোনো অজ্ঞাত রোধের মান সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : হুইটস্টোন ব্রিজে ভিন্ন রোধের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করলে নিস্পন্দ অবস্থার পরিবর্তন হয় কী ?

নিস্পন্দ অবস্থার $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ শর্তটি গ্যালভানোমিটারের রোধের ওপর নির্ভর করে না। তাই ভিন্ন রোধের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করলে নিস্পন্দ অবস্থার পরিবর্তন হয় না। তবে ব্রিজটির সুবেদিতা গ্যালভানোমিটারের রোধের ওপর নির্ভর করে।

[MAT: 15-16]

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	পোস্ট অফিস বক্স Post office box পোস্ট অফিস বক্স ব্যবহার করে অজানা রোধ নির্ণয় **To determine the unknown resistance by a post office box**

মূলতত্ত্ব : পোস্ট অফিস বক্সে রোধগুলোর মান উপযুক্তভাবে সংযোজন করে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহকে শূন্য করা যায়। B ও D বিন্দুদ্বয়ের বিভব সমান হলে অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তে কোনো বিভব পার্থক্য না থাকলে এরূপ ঘটে। এ অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের কোনো বিক্ষেপ হয় না এবং ব্রিজটি ভারসাম্য অবস্থায় থাকে। এখন হুইটস্টোন ব্রিজের ভারসাম্য নীতি অনুযায়ী,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore \quad S = R \times \frac{Q}{P}$$

P = 10 ও'ম এবং Q = 10 ও'ম হলে

$$\therefore \quad S = \frac{10 \times R}{10} = R \text{ ও'ম}$$

পুন, P = 100 ও'ম এবং Q = 10 ও'ম প্রদান করে পরীক্ষা সম্পাদন করলে দেখা যাবে

$$\frac{100}{10} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore \quad S = \frac{10\,R}{100} = \frac{1}{10}\,R \text{ ও'ম}$$

অনুরূপভাবে P = 1000 ও'ম এবং Q = 10 ও'ম ধরে পরীক্ষা সম্পাদন করলে আমরা পাই

$$\frac{1000}{10} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore \quad S = \frac{1}{100} \times R \text{ ও'ম} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.53)$$

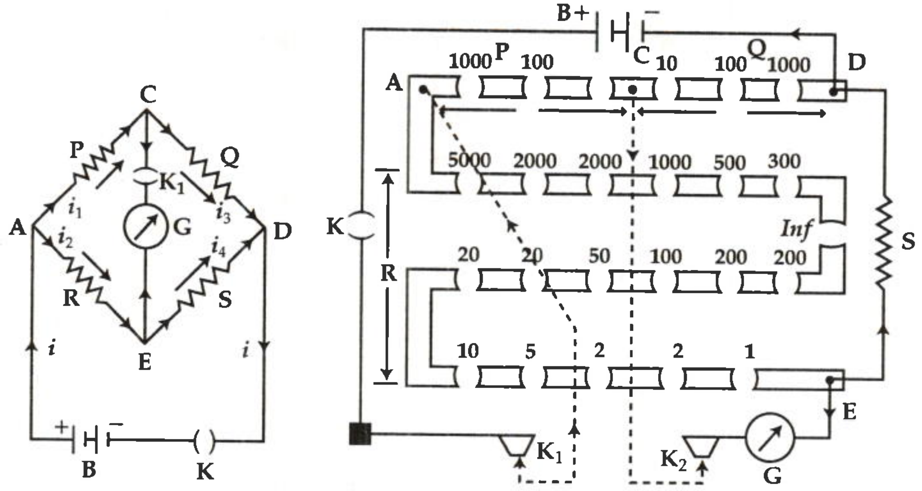
এই যন্ত্রের সাহায্যে অজ্ঞাত রোধের মান দশমিকের পরও দুই সংখ্যা পর্যন্ত সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়। এখানে R = তৃতীয় বাহুর রোধ।

যন্ত্রের বর্ণনা :

পোস্ট অফিস বক্স (সংক্ষেপে পিওবক্স) হুইটস্টোন ব্রিজেরই ঘনসংবদ্ধ রূপ। পোস্ট অফিসে টেলিগ্রাফের তার ও কেব্‌ল (cable)-এর রোধ নির্ণয়ের কাজে এই যন্ত্রটি প্রথমত ব্যবহৃত হতো বলে একে পোস্ট অফিস বক্স বলা হয়।

সাধারণত এ যন্ত্রের সাহায্যে নিম্ন ও উচ্চ উভয় মানের রোধ নির্ণয় করা যায়। ইহা কতগুলো নির্দিষ্ট মানের রোধ কুণ্ডলী দ্বারা গঠিত। কুণ্ডলীগুলো পরপর যুক্ত থেকে হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহু গঠন করে। নির্ণেয় অজ্ঞাত রোধ S হলো ব্রিজের চতুর্থ বাহু। রোধ বাক্সের ন্যায় এখানেও কুণ্ডলীগুলো একটি বাক্সের মধ্যে থাকে। বাক্সের পাটাতনের ওপর আবদ্ধ দুটি নিরেট পিতলের ব্লকের সাথে প্রতিটি কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত যুক্ত করা হয়। পিতলের ব্লকগুলো পাশাপাশি তিনটি সারিতে সাজানো থাকে। পরপর দুটি ব্লকের মধ্যে শঙ্কু আকৃতির ফাকা জায়গা থাকে। প্রতিটি ফাকা জায়গায় প্লাগ তুললে রোধ সংযুক্ত হয়।

চিত্র ৩·২৯-এ একটি পোস্ট অফিস বক্সের নক্‌শা দেখান হয়েছে। এই যন্ত্রে বিভিন্ন মানের তিন প্রস্থ প্লাগযুক্ত রোধ কুণ্ডলী AC, CD এবং AE দ্বারা একটি হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহু যথাক্রমে P, Q ও R গঠিত হয়। P এবং Q



চিত্র ৩·২৯

বাহু দুটিকে **অনুপাত বাহু** (Ratio arm) বলা হয়। এই দুটির প্রত্যেকটিতে 10, 100 এবং 1000 ও'মের তিনটি রোধ কুণ্ডলী শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত থাকে।

তৃতীয় বাহু R-এ সাধারণত 1 হতে 5000 ও'ম পর্যন্ত কতকগুলো রোধ কুণ্ডলী শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে। যে কোনো একটি কুণ্ডলীর প্লাগ তুলে নিলে ওই রোধ বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত হয়ে পড়ে। D ও E বিন্দুর মধ্যে একটি অজ্ঞাত রোধ S যুক্ত করে হুইটস্টোন ব্রিজের চতুর্থ বাহু গঠন করা হয়। একটি টেপা চাবি K_1-এর মাধ্যমে A ও D বিন্দুর মধ্যে ব্যাটারি B এবং আর একটি টেপা চাবি K_2-এর মাধ্যমে C ও E বিন্দুর মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার G জুড়ে দেয়া হয়। A ও চাবি K_1-এর নিচের অংশ এবং C ও চাবি K_2-এর নিচের অংশ অভ্যন্তরীণভাবে যুক্ত। কাজেই K_1 চাবির সাহায্যে মূল বিন্দুতে প্রবাহ এবং K_2 চাবির সাহায্যে গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালু বা বন্ধ করা যায়।

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) : (i) শিরিস কাগজ দিয়ে সংযোজনী তার এবং সংযোগস্থল ভালোভাবে ঘষে নিয়ে চিত্র ৩·২৩ অনুযায়ী সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করা হয়।

(ii) P ও Q বাহুর প্রতিটিতে 10 ohm রোধের প্লাগ উঠানো হয়। তৃতীয় বাহু R-এর রোধ শূন্য রেখে প্রথমে ব্যাটারি বর্তনীর চাবি K_1 কে চাপ দিয়ে পরে গ্যালভানোমিটার বর্তনীর চাবি K_2 চাপা হয় ও গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। এবার তৃতীয় বাহু R হতে ∞ (অসীম) চিহ্নিত প্লাগটি তুলে পুনরায় উপরোক্ত পর্যবেক্ষণ করা হয়। যদি এক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ প্রথম বিক্ষেপের বিপরীতমুখী হয়, তবে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, বর্তনী সংযোগ সঠিক আছে।

(iii) উচ্চ মান হতে শুরু করে তৃতীয় বাহুর রোধ ক্রমশ কমিয়ে প্রতি ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা হয়। কোনো ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটার নিস্পন্দ থাকলে P = Q = 10 ohm বলে অজানা রোধ S = R, তৃতীয় বাহুর সমান হবে। কিন্তু যদি বিক্ষেপ শূন্য না করা যায় তবে পাশাপাশি দুটি রোধ প্রদান করলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হবে। এক্ষেত্রে এই দুটি রোধের মধ্যেই হবে অজানা রোধ S-এর মান।

(iv) এখন P বাহুতে 10 ohm-এর পরিবর্তে 100 ohm রোধ দেওয়া হলো। দ্বিতীয় বাহুর রোধ Q-কে পূর্বের মতোই 10 ohm রাখা হয়। কাজেই $\frac{Q}{P}$ অনুপাতটি হবে $\frac{1}{10}$। ফলে প্রমিত অবস্থায় R = 10 S হবে। এবার পূর্বের ন্যায়

তৃতীয় বাহু R থেকে এমন রোধের প্লাগ তুলতে হবে যাতে গ্যালভানোমিটার-এর বিক্ষেপ শূন্য হয়। এক্ষেত্রে অজানা রোধ $S = \frac{R}{10}$।

(v) একইভাবে P বাহুতে 1000 ohm রোধের জন্য এর Q বাহুতে 10 ohm রোধের জন্য পরীক্ষণটি করা যেতে পারে।

অজানা রোধ নির্ণয়ের ছক

P বাহুতে রোধ ও'ম	Q বাহুতে রোধ ও'ম	তৃতীয় বাহুতে রোধ ও'ম	গ্যালভানোমিটার কাটার বিক্ষেপের দিক	অনুমিতি	অজানা রোধ ও'ম
10	10	অসীম	ডান	রোধ 4 এবং 5 ও'মের মধ্যে অবস্থিত	
"	"	0	বাম		
"	"	4	বাম		
"	"	5	ডান		
100	10	40	বাম	রোধ 4·4 এবং 4·5 ও'মের মধ্যে অবস্থিত	4·42
"	"	50	ডান		
"	"	44	বাম		
"	"	45	ডান		
1000	10	440	বাম	∴ রোধ $R_1 = \frac{1}{100}\left\{442 + \frac{3}{5}\right\} = 4{\cdot}423$	
"	"	450	ডান		
"	"	442	3 দাগ বাম		4·423
"	"	443	5 দাগ ডান		

সতর্কতা : (১) তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ক্রিয়া এড়াবার জন্য প্রথমে ব্যাটারি বর্তনীর চাবি ও পরে গ্যালভানোমিটারের চাবি চাপতে হয়।

(২) গ্যালভানোমিটারের সাথে সর্বদা শান্ট ব্যবহার করতে হয়।

(৩) কোষের তড়িচ্চালক বল যাতে খুব বেশি না হয় সেদিকে লক্ষ রাখা হয়।

(৪) সাধারণত এই পরীক্ষায় লেকল্যান্স কোষ ব্যবহার করাই ভালো।

(৫) গ্যালভানোমিটারের নাল বিন্দু সঠিকভাবে প্রতি ক্ষেত্রে নির্ণয় করতে হয়।

অনুসন্ধানমূলক কাজ I : পোস্ট অফিস বক্স, মিটার ব্রিজ ও পোটেনশিওমিটার পরীক্ষায় সর্বদাই গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা হয় কেন ?

II. পোটেনশিওমিটার দ্বারা পরিমাপ করার জন্য সাধারণত গ্যালভেনোমিটারের সাথে একটি উচ্চ মানের রোধ শ্রেণিতে যুক্ত থাকে। নিস্পন্দ বিন্দুর কাছাকাছি আসলে ওই রোধের মান শূন্য করা হয় কেন ?

III. মিটার ব্রিজের প্রান্তীয় রোধ বলতে কী বুঝ ? কেন এর উৎপত্তি হয় ? কীভাবে নির্ণয় করা যায় ? মিটার ব্রিজের নাম মিটার ব্রিজ হলো কীভাবে?

IV. পোস্ট অফিস বক্স দ্বারা তুমি কি একটি অজানা রোধের মান সরাসরি নির্ণয় করতে পার ? পোস্ট অফিস বক্স দ্বারা পরিমাপের সময় প্রথমে ব্যাটারি বর্তনীর চাবি টিপে পরে গ্যালভানোমিটার বর্তনীর চাবি টিপতে হয় কেন ?

হাতে কলমে করে দেখ : পোস্ট অফিস বক্সে নির্ণেয় অজ্ঞাত রোধকে দীর্ঘ সরু তার দিয়ে যুক্ত করলে রোধের সঠিক মান পাওয়া যায় না কেন ?

সংযোগী তারসহ অজ্ঞাত রোধ পোস্ট অফিস বক্সের একটি রোধ বাহু হিসেবে কাজ করে। পরীক্ষণীয় রোধ সংযোগী তারের রোধসহ অজ্ঞাত রোধের মান নির্দেশ করে। সংযোগী তার দীর্ঘ এবং সরু হলে এর রোধ উপেক্ষা করা যায় না, ফলে নির্ণীত মানকে অজ্ঞাত রোধের মান হিসেবে নিলে ভুল বেশি হয়।

অজ্ঞাত রোধের সঠিক মান পেতে হলে সংযোগী তারের রোধ নগণ্য হতে হবে এবং সেজন্য সংযোগী তারের দৈর্ঘ্য স্বল্পমানের এবং তারটি বেশ মোটা নিতে হবে।

কাজ : অ্যামিটারকে বর্তনীতে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হয় কেন ?

অ্যামিটারের সাথে স্বল্প মানের রোধ অর্থাৎ শান্ট সমান্তরালে যুক্ত থাকে। ফলে এর তুল্য রোধ খুব কম হয়। অতিরিক্ত প্রবাহ শান্টের মধ্য দিয়ে যায় ফলে যন্ত্র ঠিক থাকে। এছাড়া অ্যামিটারকে যখন শ্রেণি বর্তনীতে যুক্ত করা হয় তখন এর কার্যকরী রোধ কম হয় এবং মূল প্রবাহের কোনো পরিবর্তন হয় না। এজন্য অ্যামিটারকে শ্রেণিতে যুক্ত করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৩.১৩

১। একটি পোটেনশিওমিটার তারে বিদ্যুৎ প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করে একটি বিদ্যুৎ কোষের জন্য নিস্পন্দ বিন্দু 6 cm দূরে পাওয়া গেল। কোষটির সঙ্গে সমান্তরালে 3Ω এর একটি শান্ট যোগ করলে 4 cm দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = \left(\frac{l_1}{l_2} - 1\right) \times S$

$\therefore \quad r = \left(\frac{6}{4} - 1\right) \times 3 = \left(\frac{6-4}{4}\right) \times 3 = \frac{2}{4} \times 3 = 1\cdot5\ \Omega$

এখানে,
$l_1 = 6$ cm
$l_2 = 4$ cm
$S = 3\Omega$
$r = ?$

২। একটি মিটার ব্রিজের দুই শূন্য স্থানের একটিতে 8Ω এবং অন্যটিতে 10Ω রোধ সংযুক্ত করা হলো। ভারসাম্য বিন্দু কোথায় অবস্থিত হবে? [য. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); KUET Admission Test, 2007-08]

আমরা জানি,

$\frac{R}{S} = \frac{l}{(100-l)}$

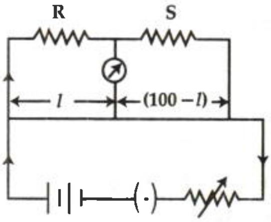
$\therefore \quad \frac{8}{10} = \frac{l}{100-l}$

বা, $800 - 8l = 10l$

বা, $10l + 8l = 800$

বা, $18l = 800$

$\therefore \quad l = \frac{800}{18} = 44\cdot44$ cm



এখানে,
$R = 8\ \Omega$
$S = 10\ \Omega$

বাম প্রান্ত হতে 44·44 cm দূরে ভারসাম্য বিন্দু পাওয়া যাবে।

৩। একটি মিটার ব্রিজের বাম ফাঁকে 8·5 Ω এবং ডান দিকে 3·5 Ω রোধ যুক্ত আছে। নিস্পন্দ বিন্দু কোথায় উৎপন্ন হবে? রোধ দুটিকে স্থান পরিবর্তন করলে নিস্পন্দ বিন্দু কোন দিকে কতটুকু সরবে? [ঢা. বো. ২০২২]

প্রথম ক্ষেত্রে :

ধরি, মিটার ব্রিজের বাম প্রান্ত থেকে l_1 দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া গেল। অতএব,

$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

$\therefore \quad \frac{8\cdot5}{3\cdot5} = \frac{l_1}{100 - l_1}$

বা, $8\cdot5\,(100 - l_1) = 3\cdot5\, l_1$

বা, $3\cdot5\, l_1 + 8\cdot5\, l_1 = 8\cdot5 \times 100$

বা, $12\, l_1 = 850$

$\therefore \quad l_1 = \frac{850}{12} = 70\cdot83$ cm

এখানে,
$P = 8\cdot5\ \Omega$
$Q = 3\cdot5\ \Omega$
$l_1 = ?$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে :

ধরা যাক, নিস্পন্দ বিন্দু l_2। অতএব,

$$\frac{3\cdot5}{8\cdot5}=\frac{l_2}{100-l_2}$$

বা, $3\cdot5\,(100-l_2)=8\cdot5\,l_2$

বা, $8\cdot5\,l_2+3\cdot5\,l_2=3\cdot5\times100$

বা, $12\,l_2=350$

$\therefore\quad l_2=\frac{350}{12}=29\cdot17\text{ cm}$

$\therefore$ নিস্পন্দ বিন্দু বাম দিকে $(70\cdot83-29\cdot17)=41\cdot66$ cm সরে আসবে।

৪। একটি মিটার ব্রিজের বাম দিকের ফাঁকে 5Ω এবং ডান দিকের ফাঁকে 8Ω ও 24Ω এর সমান্তরাল সমবায় যুক্ত করলে তারের 45·2 cm দৈর্ঘ্যে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। রোধ দুটির স্থান অদল–বদল করলে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান হয় 55·3 cm। ব্রিজটির প্রান্তীয় রোধ ত্রুটি নির্ণয় কর।

ধরা যাক, ব্রিজের বাম দিকের প্রান্তীয় ত্রুটি λ_1 cm এবং ডান দিকের ত্রুটি λ_2 cm।

ডান ফাঁকে তুল্য রোধ, $S=\frac{8\times24}{8+24}\,\Omega=6\Omega$

প্রথম ক্ষেত্রে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান, $l_1=45\cdot2$ cm, তাই

$$\frac{5\Omega}{6\Omega}=\frac{45\cdot2+\lambda_1}{(100-45\cdot2)+\lambda_2}=\frac{45\cdot2+\lambda_1}{54\cdot8+\lambda_2}$$

বা, $274+5\lambda_2=271\cdot2+6\lambda_1$

বা, $6\lambda_1-5\lambda_2=2\cdot8 \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

$$\frac{6\Omega}{5\Omega}=\frac{55\cdot3+\lambda_1}{(100-55\cdot3)+\lambda_2}=\frac{55\cdot3+\lambda_1}{44\cdot7+\lambda_2}$$

বা, $268\cdot2+6\lambda_2=276\cdot5+5\lambda_1$

বা, $6\lambda_2-5\lambda_1=8\cdot3 \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

সমীকরণ (i) ও (ii) সমাধান করে পাই,

$\lambda_1=5\cdot3$ cm এবং $\lambda_2=5\cdot8$ cm

৫। একটি কোষকে একটি পটেনশিওমিটারের সঙ্গে যুক্ত করলে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায় 66 cm দাগে। অপর একটি তড়িৎ কোষকে ওই পটেনশিওমিটারের সঙ্গে যুক্ত করলে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায় 60 cm দাগে। কোষ দুটির তড়িচ্চালক বলের পার্থক্য হলো 0·2 volt। কোষ দুটির তড়িচ্চালক বল নির্ণয় কর।

ধরা যাক, কোষ দুটির তড়িচ্চালক বল যথাক্রমে E_1 ও E_2।

প্রশ্নানুসারে,

$E_1-E_2=0\cdot2V$

$\therefore\quad E_1=E_2+0\cdot2V$

আমরা জানি,

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}=\frac{66}{60}$$

বা, $\frac{E_2+0\cdot2}{E_2}=\frac{66}{60}$

বা, $1+\frac{0\cdot2}{E_2}=1+\frac{6}{60}$

বা, $\frac{0\cdot2}{E_2}=\frac{6}{60}=\frac{1}{10}$

$\therefore\quad E_2=0\cdot2\times10=2V$

$\therefore\quad E_1=E_2+0\cdot2V=2+0\cdot2=2\cdot2V$

৬। একটি হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুর রোধ যথাক্রমে 8Ω, 12Ω, 15Ω এবং 20Ω। চতুর্থ বাহুর সাথে কত রোধ যুক্ত করলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় আসবে ? [Admission Test : RUET 2013-14 (মান ভিন্ন); KUET 2008-09 (মান ভিন্ন)]

মনে করি, চতুর্থ বাহুতে S_2 মানের রোধ যুক্ত করলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় আসবে।

আমরা জানি,

$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S} \quad বা, \frac{8}{12}=\frac{16}{S}$$

$$\therefore S = \frac{16\times 12}{8} = 24\ \Omega$$

এখানে যেহেতু $S > S_1$ কাজেই S_2 রোধকে S_1 এর সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

এখানে,
প্রথম বাহুর রোধ, $P = 8\Omega$
দ্বিতীয় বাহুর রোধ, $Q = 12\Omega$
তৃতীয় বাহুর রোধ, $R = 16\Omega$
চতুর্থ বাহুর রোধ, $S_1 = 20\Omega$

[বি.দ্র. $S < S_1$ হলে সামন্তরালের সূত্র হবে $\frac{1}{S}=\frac{1}{S_1}+\frac{1}{S_2}$]

$\therefore\ S = S_1 + S_2$

বা, $S_2 = S - S_1 = 24 - 20 = 4\ \Omega$

৭। একটি পোস্ট অফিস বক্সের ৪র্থ বাহু S-এ 1m দৈর্ঘ্য 1×10^{-6} m² প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলের একটি তার যুক্ত করা হলো। এখন Q বাহুতে 10Ω, P বাহুতে 1000Ω এবং R বাহুতে 2025Ω রোধের প্লাগ উঠালে গ্যালভানোমিটার শূন্য বিক্ষেপ দেয়। তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় কর। [RU-C Admission Test, 2021-22]

মনে করি, তারের আপেক্ষিক রোধ = P

আমরা জানি,

$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$$

বা, $S = \frac{Q}{P}\times R$

$\therefore\ S = \frac{10}{1000}\times 2025 = 20{\cdot}25\Omega$

এখানে,
$L = 1m$
$A = 1\times 10^{-6}\ m^2$
$Q = 10\Omega$
$P = 1000\Omega$
$R = 2025\Omega$
$S = ?$

এখন, $S = \rho\frac{L}{A}$

বা, $\rho = \frac{SA}{L} = \frac{20{\cdot}25\times 1\times 10^{-6}}{1} = 20{\cdot}25\times 10^{-6}$ omh-m

৮। একটি পোস্ট অফিস বক্সের চারটি বাহুর রোধ যথাক্রমে P = 10 Ω, Q = 10 Ω, R = 25 Ω এবং S = 30 Ω। S রোধের সঙ্গে কত রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে পোস্ট অফিস বক্সে সাম্যাবস্থা পাওয়া যাবে ?

ধরি S এর সঙ্গে $x\ \Omega$ রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে পোস্ট অফিস বক্সটি সাম্যাবস্থায় আসে।

এখানে,
$P = 10\ \Omega$
$Q = 10\ \Omega$
$R = 25\ \Omega$
$S = 30\ \Omega$
$x = ?$

$\therefore$ S ও x এর তুল্য রোধ

$$S' = \frac{30\times x}{30+x}$$

এখন হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি থেকে পাই,

$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S'}$$

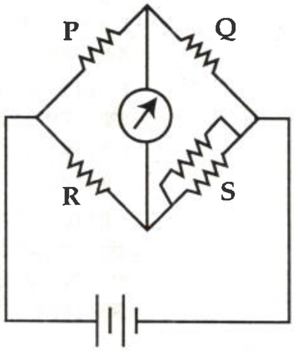
$$\therefore \frac{10}{10} = \frac{25}{\frac{30\,x}{(30+x)}}$$

বা, $1 = \frac{25\,(30+x)}{30x}$

বা, $30\,x = 25\times 30 + 25\,x$

বা, $5\,x = 750$

$\therefore\ x = \frac{750}{5} = 150\ \Omega$



সার-সংক্ষেপ

তড়িৎ প্রবাহ	:	কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ আধানের প্রবাহকে তড়িৎ প্রবাহ বলে।
মুক্ত ইলেকট্রন	:	ধাতুর পরমাণুর একেবারে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলো পরমাণুর কেন্দ্রের সাথে হাল্কাভাবে আবদ্ধ থাকে। তাই এই ইলেকট্রনগুলো পরমাণু থেকে সহজেই বিচ্ছিন্ন হয়ে মুক্ত হতে পারে। এগুলোকে মুক্ত ইলেকট্রন বলে।
তাড়ন বেগ	:	মুক্ত ইলেকট্রনসমূহ ধাতব তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় যে বেগে চলে তাকে মুক্ত ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ বলে। অথবা, বিদ্যুৎ প্রবাহের সময় যে বেগে ইলেকট্রন নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভব প্রান্তের দিকে ধাবিত হয় তাকে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ বলে।
রোধ	:	কোনো একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে পরিবাহী কর্তৃক বাধা পায়। বাধা প্রদানের এই ধর্মকে ওই পরিবাহীর রোধ বলে।
1 ও'ম	:	কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 1 ভোল্ট এবং এর ভেতর দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ওই পরিবাহীর রোধকে 1 ও'ম ($1\ \Omega$) বলে।
আপেক্ষিক রোধ বা রোধাঙ্ক	:	একক দৈর্ঘ্য এবং একক প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোনো একটি পরিবাহী তার প্রস্থচ্ছেদের অভিলম্বভাবে বিদ্যুৎ প্রবাহে যে পরিমাণ বাধা প্রদান করে তাকে আপেক্ষিক রোধ বলে।
রোধের সূত্রসমূহ	:	**দৈর্ঘ্যের সূত্র :** তাপমাত্রা ও প্রস্থচ্ছেদ এবং উপাদান স্থির থাকলে কোনো একটি পরিবাহীর রোধ R ওই পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $R \propto l$। **প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের সূত্র:** তাপমাত্রা, দৈর্ঘ্য এবং উপাদান স্থির থাকলে কোনো একটি পরিবাহীর রোধ তার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রেফলের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ $R \propto \frac{1}{A}$।
রোধের নির্ভরশীলতা	:	কোনো পরিবাহীর রোধ নির্ভর করে। (1) পরিবাহীর দৈর্ঘ্য, (2) পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল, (3) পরিবাহীর উপাদান (4) পরিবাহীর তাপমাত্রা
রোধের সমবায়	:	একাধিক রোধকে প্রধানত দুই ধরনের সমবায়ে যুক্ত করা হয়। যথা—(i) শ্রেণি সমবায় এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়।
তুল্য রোধ	:	একটি তড়িৎ বর্তনীতে সংযুক্ত কোনো রোধের সমবায়কে একটিমাত্র রোধ দ্বারা এমনভাবে প্রতিস্থাপিত করা হয়, যাতে উক্ত বর্তনীর মোট তড়িৎ প্রবাহ এবং উক্ত বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য উভয়ই অপরিবর্তিত থাকে। ওই একক রোধকে উক্ত রোধের সমবায়ের তুল্য রোধ বলে। রোধের শ্রেণি সমবায়ে তুল্য রোধ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত রোধের শ্রেণি সমবায়ের তুল্য রোধ = রোধসমূহের সমষ্টি।
রোধের সমান্তরাল সমবায়	:	সমান্তরাল সমবায়ের অন্তর্গত রোধগুলোর বিপরীত মানের সমষ্টি তুল্য রোধের বিপরীত মানের সমান।
ও'মের সূত্র	:	তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহীর মধ্য দিয়ে যে তড়িৎ প্রবাহ চলে তা পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমানুপাতিক। একে ও'মের সূত্র বলে।
সিমেন্স (S)	:	কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 1V হলে এবং তার মধ্যে দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ চললে ওই পরিবাহীর পরিবাহিতাকে 1 সিমেন্স বলে।
ক্ষমতা	:	কোনো উৎস বা যন্ত্রের কাজ করার হারকে ক্ষমতা বলে। একক সময়ের কৃত কাজ দ্বারা ক্ষমতা পরিমাপ করা হয়।
1 ওয়াট	:	1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যে কোনো একটি বৈদ্যুতিক যন্ত্র 1 অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ সরবরাহ করলে এর ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলে।
ওয়াট-ঘণ্টা	:	1 ওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন একটি যন্ত্র 1 ঘণ্টা কাজ করলে যে শক্তি ব্যয় হয় তাকে 1 ওয়াট-ঘণ্টা বলে।
কিলোওয়াট-ঘণ্টা	:	1 কিলোওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন একটি যন্ত্র 1 ঘণ্টা কাজ করলে যে শক্তি ব্যয় হয় তাকে 1 কিলোওয়াট ঘণ্টা বলে।
BOT	:	1 BOT একক = 1 kWh = 1 ইউনিট।
ফিউজ	:	তড়িৎ বর্তনীতে হঠাৎ কোনো কারণে তড়িৎ প্রবাহ বেশি হলে যন্ত্রপাতি নষ্ট হতে পারে বা অগ্নিকাণ্ড ঘটতে পারে। এই বিপদ প্রতিরোধ করার জন্য শ্রেণি সমবায়ে কম গলনাঙ্কের পরিবাহী তার যুক্ত করা হয়। একেই ফিউজ বলে।

তড়িৎ কোষ : যে যন্ত্রের সাহায্যে রাসায়নিক শক্তি বা অন্য শক্তি হতে তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখা হয় তাকে তড়িৎ কোষ বলে।

প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ : যে তড়িৎ কোষ নিজেই নিজের রাসায়নিক শক্তি হতে সরাসরি তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখে, তাকে প্রাথমিক কোষ বা মৌলিক কোষ বলে।

গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ : যে তড়িৎ কোষে বাহির হতে তড়িৎ প্রবাহিত করে তড়িৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করে রাখা হয় এবং পরে ওই রাসায়নিক শক্তিকে পুনরায় তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করা হয়, তাকে গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ বলে।

তড়িচ্চালক বল বা শক্তি : বহিঃবর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন অবস্থায় কোষের দুই প্রান্তের সর্বোচ্চ বিভব পার্থক্যকে তড়িচ্চালক বল বা শক্তি বলে। অথবা,

একক চার্জ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্পূর্ণ বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ওই বিন্দুতে নিতে যে কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে ওই কোষের তড়িচ্চালক বল বা শক্তি বলে।

রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক : প্রতি ডিগ্রি সেলিসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য একক রোধসম্পন্ন কোনো পরিবাহীর রোধের যে পরিবর্তন হয় তাকে উক্ত পরিবাহীর রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বলে।

জুলের সূত্র : তাপ উৎপাদনের ক্ষেত্রে জুলের নিম্নলিখিত **তিনটি** সূত্র আছে :

প্রথম সূত্র : পরিবাহীর রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক।

দ্বিতীয় সূত্র : বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে, পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক।

তৃতীয় সূত্র : বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহকালের সমানুপাতিক।

তাপের যান্ত্রিক সমতা বা তুল্যাঙ্ক : একক পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতা বা তুল্যাঙ্ক বলে।

তড়িচ্চালক বল : কোনো বিদ্যুৎ কোষে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তার দুই মেরুর মধ্যে যে বিভব পার্থক্য উৎপন্ন হয় তাকে তার বিদ্যুচ্চালক শক্তি বলে।

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ : একটি বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে কোষের ঋণাত্মক (Negative) প্রান্ত হতে ধনাত্মক (positive) প্রান্তে ইলেকট্রন যাওয়ার সময় যে বাধা প্রাপ্ত হয় তাকে অভ্যন্তরীণ রোধ বলে।

নষ্ট ভোল্ট : কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহ চালনা করার জন্য কিছু ভোল্ট নষ্ট হয় যা বহিঃবর্তনীতে কোনো কাজে আসে না; একে নষ্ট ভোল্ট বলে।

কোষের শ্রেণি সমবায় : যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথমটির ঋণপাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধনপাত, দ্বিতীয়টির ঋণপাতের সাথে তৃতীয়টি ধনপাত ইত্যাদি পর পর যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এ সমবায়কে শ্রেণি সমবায় বলে।

কোষের সমান্তরাল সমবায় : যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষের ধন পাতগুলো এক বিন্দুতে এবং ঋণ পাতগুলো অপর বিন্দুতে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে।

কির্শফের প্রথম সূত্র : বর্তনীর কোনো সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহজনিত মাত্রার বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়।

কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র : কোনো বন্ধ বর্তনীর অন্তর্গত মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি ওই বর্তনীর বিভিন্ন শাখাগুলোর রোধ এবং সংশ্লিষ্ট প্রবাহ মাত্রার গুণফলসমূহের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।

হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি : হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহুর মধ্যস্থ রোধ P, Q, R ও S হলে ব্রিজের সাম্যাবস্থায় এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$, একে রোধ পরিমাপের হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি বলে।

হুইটস্টোন ব্রিজ : চারটি রোধ শ্রেণিবদ্ধভাবে সজ্জিত করে একটি আবদ্ধ লুপ তৈরি করলে যে চারটি সংযোগস্থল তৈরি হয়, তার যেকোনো দুটি বিপরীত সংযোগস্থলের মাঝে একটি বিদ্যুৎ কোষ এবং অপর দুটি সংযোগস্থলের মাঝে গ্যালভানোমিটার সংযোগে যে বর্তনী তৈরি হয়, তাকে হুইটস্টোন ব্রিজ বলে।

পোটেনশিওমিটার : বিভব পতন পদ্ধতিতে যে যন্ত্রের সাহায্যে ছোট মানের বিভব বৈষম্য ও বিদ্যুচ্চালক শক্তি পরিমাপ করা যায় তাকে পোটেনশিওমিটার বলে।

মিটার ব্রিজ : যে যন্ত্রে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের রোধসম্পন্ন একটি তারকে কাজে লাগিয়ে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে মিটার ব্রিজ বলে।

পোস্ট অফিস বক্স : যে রোধ বাক্সের রোধগুলোকে হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহু হিসেবে বিবেচনা করে এর সাহায্যে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে পোস্ট অফিস বক্স বলে।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

RMDAT

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2)$$

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3)$$

$$H = 0{\cdot}24\, I^2Rt \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4)$$

$$W = VQ = Vit = i^2Rt = \frac{V^2}{R}t \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (5)$$

$$P = \frac{V^2}{R} = VI \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6)$$

$$v = \frac{I}{nAe} = \frac{j}{ne} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7)$$

$$j = \frac{I}{A} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8)$$

$$R = \rho\frac{l}{A} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9)$$

$$W = JH \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (10)$$

$$J = \frac{W}{H} = \frac{Vit}{H} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (11)$$

$$H = i^2Rt = mS\,\theta \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (12)$$

$$V = iR \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (13)$$

$$E = V + Ir \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (14)$$

$$G = \frac{1}{R} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (15)$$

$$r = \frac{E - V}{I} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (16)$$

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (17)$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (18)$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (19)$$

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (20)$$

$$I_1 = \frac{R_2 \times I}{R_1 + R_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (21)$$

$$i_s = \frac{nE}{nr + R} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (22)$$

$$i_p = \frac{nE}{nR + r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (23)$$

$$I_{max} = \frac{mnE}{2\sqrt{mnRr}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (24)$$

$$I_2 = \frac{R_1 \times I}{R_1 + R_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (25)$$

$$\Sigma i = 0 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (26)$$

$$\Sigma iR = \Sigma I \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (27)$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (28)$$

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (29)$$

$$i_g = \frac{S \times i}{G + S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (30)$$

$$i_s = \frac{i \times G}{S + G} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (31)$$

$$S = \frac{r}{n - 1} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (32)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (33)$$

$$\frac{Q}{P} = \frac{l}{(100 - l)} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (34)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। 2V তড়িচ্চালক শক্তি ও 1Ω অন্তঃরোধবিশিষ্ট 5টি তড়িৎ কোষকে শ্রেণিতে সাজিয়ে 25°C তাপমাত্রার 60Ω রোধবিশিষ্ট একটি পরিবাহী তারের সাথে যুক্ত করা হলো। পরিবাহী তারে রোধের উষ্ণতার গুণাঙ্ক $4 \cdot 2 \times 10^{-3}$/°C।

(ক) 100°C তাপমাত্রায় পরিবাহী তারটির রোধ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের সকল তড়িৎ কোষগুলিকে সমান্তরালে সাজিয়ে একইভাবে যুক্ত করলে প্রবাহের পরিবর্তন কীরূপ হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ম. বোর্ড ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

$$\therefore \quad R_{25} = R_0 (1 + 4 \cdot 2 \times 10^{-3} \times 25) \quad \cdots \quad \cdots \quad (i)$$

এবং $R_{100} = R_0 (1 + 4 \cdot 2 \times 10^{-3} \times 100) \quad \cdots \quad \cdots \quad (ii)$

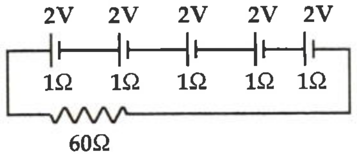
এখানে,
$R_{25} = 60\Omega$
$\alpha = 4 \cdot 2 \times 10^{-3}$/°C
$t = 100$°C
$R_{100} = ?$

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

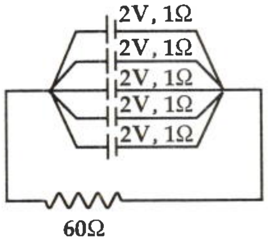
$$\frac{R_{100}}{R_{25}} = \frac{R_0 (1 + 4 \cdot 2 \times 10^{-3} \times 100)}{R_0 (1 + 4 \cdot 2 \times 10^{-3} \times 25)} = \frac{1 \cdot 420}{1 \cdot 105}$$

$$\therefore \quad R_{100} = R_{25} \times \frac{1 \cdot 420}{1 \cdot 105} = \frac{60 \times 1 \cdot 420}{1 \cdot 105} = 77\Omega$$

(খ)



চিত্র (i)



চিত্র (ii)

চিত্র (i) এর তুল্য তড়িচ্চালক বল,

$E = nE_1 = 5 \times 2 = 10V$

বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা, $i_S = \frac{nE}{nr + R} = \frac{10}{5 \times 1 + 60} = \frac{10}{65} = 0{\cdot}154A$

চিত্র (ii) এর তুল্য তড়িচ্চালক বল,

$E \;\; = E_1 = 2V$

বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা,

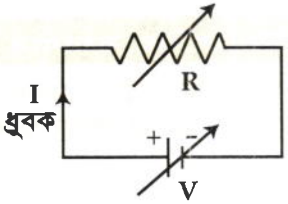
$$i_P = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{nE}{nR + r} = \frac{5 \times 2}{5 \times 60 + 1} = \frac{10}{301} = 0{\cdot}033A$$

$\therefore \;\; nR >> r$

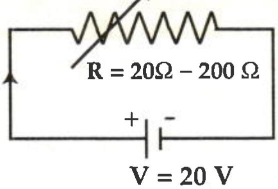
$\therefore \;\; i_P = \frac{nE}{nR} = \frac{2}{60} = 0{\cdot}033A$

সুতরাং, $i_S > i_P$।

২।



চিত্র ১



চিত্র ২

(ক) চিত্র ২-এর বর্তনীতে সর্বোচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহ কত হবে নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীদ্বয়ে রোধের সাথে উৎপন্ন তাপের লেখচিত্রের কোনো বৈসাদৃশ্য পরিলক্ষিত হবে কী? বিশ্লেষণসহ মতামত দাও। [ঢা. বো. ২০২১]

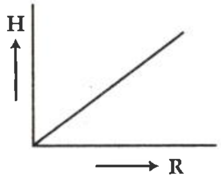
(ক) চিত্র ২-এ যেহেতু V ধ্রুবক। সুতরাং রোধ যত কম হবে বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ তত বাড়বে। বর্তনীর সর্বনিম্ন রোধ, $R = 20\Omega$।

সুতরাং, বর্তনীতে সর্বোচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহ, $I = \frac{V}{R} = \frac{20}{20} = 1A$

(খ) আমরা জানি, উৎপন্ন তাপ,

$H = I^2Rt$

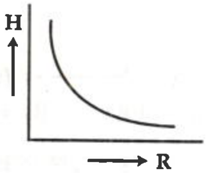
চিত্র ১-এ বিদ্যুৎ প্রবাহ I ধ্রুবক, একটি নির্দিষ্ট সময়ে বর্তনীর রোধের সাথে উৎপন্ন তাপ, $H \propto R$। সুতরাং লেখচিত্র হবে, মূল বিন্দুগামী সরলরেখা।



চিত্র ২-এ বিভব পার্থক্য V = 20V ধ্রুবক। এখানে R এর মান বৃদ্ধি পেলে বিদ্যুৎ প্রবাহ কমবে। সুতরাং, রোধে উৎপন্ন তাপ,

$$H = I^2Rt = \left(\frac{V}{R}\right)^2 Rt = \frac{V^2}{R}t$$

যেহেতু V ধ্রুবক সুতরাং উৎপন্ন তাপ, $H \propto \frac{1}{R}$ অর্থাৎ R এর মান বাড়লে উৎপন্ন তাপ কমবে। সুতরাং লেখচিত্রটি হবে নিম্নরূপ :



লেখচিত্রদ্বয় ভিন্নতর।

৩। উপমা তার বাসায় একটি বৈদ্যুতিক কেটলিতে 2 litre পানি গরম করতে দিল। 1500W-এর কেটলিটি 220V সরবরাহ লাইনের সাথে যুক্ত ছিল। সে দেখল 07 min পর পানি ফুটছে। [পানির আপেক্ষিক তাপ $s = 4200$ $Jkg^{-1}K^{-1}$]

(ক) উৎপন্ন তাপের পরিমাণ ক্যালরি এককে নির্ণয় কর।

(খ) উপরোক্ত তথ্য থেকে ওই দিনের কক্ষ তাপমাত্রা নির্ণয় করা যাবে কি না? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও। [ব. বো. ২০২১]

(ক) উৎপন্ন তাপ,

$$H = \frac{W}{J} = \frac{Pt}{J}$$

$$\therefore H = \frac{1500 \times 7 \times 60}{4.2} \text{ cal}$$

$$= 150,000 = 1.5 \times 10^5 \text{ cal}$$

এখানে,
$P = 1500$ watt
$t = 7$ min $= 7 \times 60$s
$J = 4.2$ J/cal

(খ) আবার, $ms\ (\theta_2 - \theta_1) = Pt$

এখানে, θ_1 = কেটলির পানির তাপমাত্রা = কক্ষ তাপমাত্রা

$$\therefore 2 \times 4200\ (100 - \theta_1) = 1500 \times 7 \times 60$$

$$8400 \times 100 - 8400\ \theta_1 = 1500 \times 7 \times 60$$

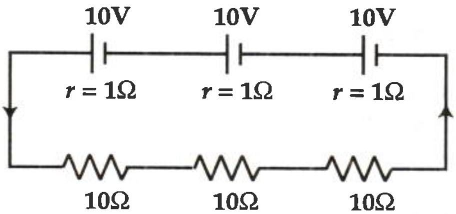
এখানে,
$\theta_2 = 100°C$
$m = 2$ litre $= 2$ kg
$s = 4200\ Jkg^{-1}K^{-1}$
θ_1 = কেটলির পানির তাপমাত্রা

বা, $8400\ \theta_1 = 8400 \times 100 - 1500 \times 7 \times 60 = 8.4 \times 10^5 - 6.3 \times 10^5$

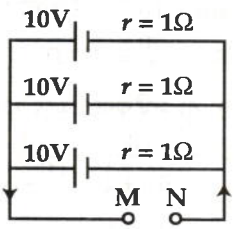
$$\theta_1 = \frac{2.1 \times 10^5}{8400} = \frac{2.1}{0.084} = 25°C$$

সুতরাং, কক্ষ তাপমাত্রা $\theta_1 = 25°C$। অতএব উদ্দীপকের তথ্য থেকে ওই দিনের তাপমাত্রা নির্ণয় করা যাবে।

৪।



চিত্র ১

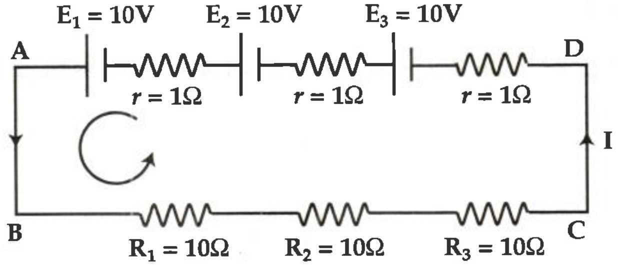


চিত্র ২

(ক) চিত্র ১ হতে কির্শফের সূত্রের সাহায্যে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) চিত্র ২-এ M ও N প্রান্তে চিত্র ১-এ ব্যবহৃত তিনটি রোধককেই কীভাবে বর্তনী সংযোগ দেওয়া হলে সর্বোচ্চ তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া সম্ভব? বর্তনী চিত্রসহ গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০০৭; ম. বো. ২০২২]

(ক) চিত্র ১-এর সমতুল চিত্র হলো,



ABCD আবদ্ধ বর্তনীতে কার্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 + Ir - E_3 + Ir - E_2 + Ir - E_1 = 0$$

বা, $I(R_1 + R_2 + R_3 + r + r + r) - E_1 - E_2 - E_3 = 0$

বা, $I(R_1 + R_2 + R_3 + 3r) = E_1 + E_2 + E_3$

$$\therefore \quad I = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3 + 3r}$$

$$= \frac{10 + 10 + 10}{10 + 10 + 10 + 3 \times 1}$$

$$= \frac{30}{30 + 3} = \frac{30}{33} = 0{\cdot}909 \text{ Amp}$$

(খ) চিত্র ২-এ তিনটি কোষ সমান্তরালে যুক্ত এবং প্রত্যেকটির মান $E = 10V$

এবং অভ্যন্তরীণ রোধ $r = 1\Omega$। এক্ষেত্রে কোষের সংখ্যা $= n = 3$

$\therefore$ তুল্য রোধ, $\frac{1}{r_P} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} = 3$

$$\therefore \quad r_P = \frac{1}{3}$$

M এবং N প্রান্তের তুল্য রোধ Req হলে, প্রবাহমাত্রা,

$$I = \frac{E}{Req + \frac{1}{3}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, Req-এর মান বেশি হলে I এর মান কমবে।

আবার বহিঃরোধ Req-এর মান সর্বনিম্ন হবে যদি চিত্র ১-এ ব্যবহৃত 10Ω রোধের তিনট রোধকে সমান্তরালে সাজানো হয়।

সেক্ষেত্রে 10Ω-এর তিনটি রোধের তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10}$$

বা, $Req = \frac{10}{3} = 3{\cdot}33\ \Omega$

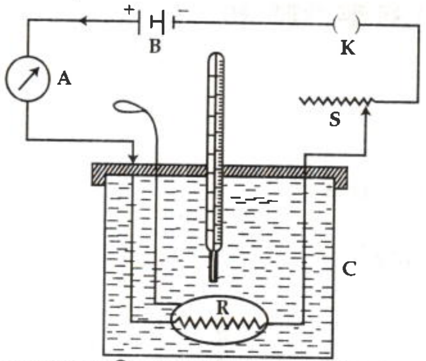
$\therefore$ (i) নং সমীকরণে মান বসিয়ে পাই,

$$I = \frac{10}{Req + \frac{1}{3}} = \frac{10}{\frac{10}{3} + \frac{1}{3}}$$

$$= \frac{10}{\frac{11}{3}} = \frac{30}{11} = 2{\cdot}727 \text{ Amp}$$

অতএব, তিনটি রোধকে সমান্তরালে যুক্ত করলে সর্বোচ্চ তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া সম্ভব।

৫। নিচের চিত্রে একটি জুলের ক্যালরিমিটার দেখানো হয়েছে। এর মধ্যে জানা আপেক্ষিক তাপের একটি তরল পদার্থ নেয়া হয়েছে যার মধ্যে R রোধের একটি কুণ্ডলী ডুবানো হয়েছে। কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে একটি ব্যাটারি, চাবি, অ্যামিটার ও পরিবর্তনশীল রোধ শ্রেণিতে সংযুক্ত করা হয়েছে।



(ক) উদ্দীপকের কুণ্ডলীর রোধ 100Ω। পানির ভর 2·50 kg এবং বিদ্যুৎ প্রবাহ 5A চালনা করলে কত সময় পর পানির তাপমাত্রা 24°C বৃদ্ধি পাবে?

(খ) উদ্দীপকের জুলের ক্যালরিমিটারের রোধের মান কীরূপ পরিবর্তন করলে অর্ধেক সময়ে পানির তাপমাত্রা 24°C বৃদ্ধি করা সম্ভব হবে ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$ms\Delta\theta = i^2Rt$$

$$2{\cdot}5 \times 4200 \times 24 = (5)^2 \times 100 \times t$$

বা, $$t = \frac{2{\cdot}5 \times 4200 \times 24}{25 \times 100}$$

$$= 100{\cdot}8 \text{ s} = 1 \text{ min } 40{\cdot}8 \text{ s}$$

এখানে,

$R = 100\Omega$

$m = 2{\cdot}5 \text{ kg}$

$i = 5\text{A}$

$s = 4200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

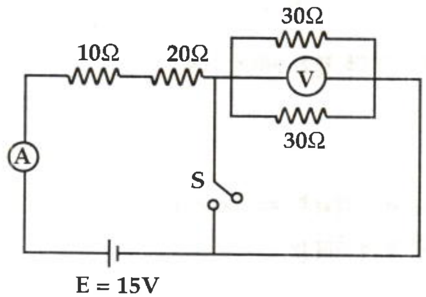
$\Delta\theta = 24°\text{C}$

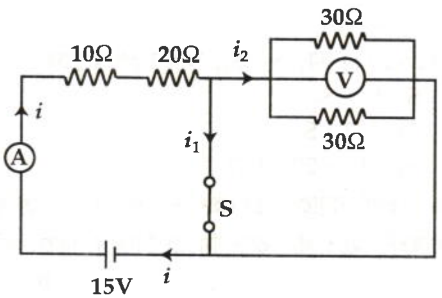
(খ) আবার, $ms\Delta\theta = i^2R \times 50{\cdot}4$; এখানে $t' = \frac{100{\cdot}8}{2} = 50{\cdot}4 \text{ s}$

বা, $$R = \frac{2{\cdot}5 \times 4200 \times 24}{25 \times 50{\cdot}4} = 200\Omega$$

∴ রোধের মান দ্বিগুণ করতে হবে।

৬।





(ক) চাবি S খোলা অবস্থায় বর্তনীর ভোল্টমিটার (V)-এর পাঠ নির্ণয় কর।

(খ) চাবি S বন্ধ করে দিলে অ্যামিটারের পাঠের কীরূপ পরিবর্তন হয়—গাণিতিক বিশ্লেষণপূর্বক মতামত দাও। [দি. বো. ২০০৭; কু. বো. ২০২১]

(ক) বর্তনীর চাবি S খোলা অবস্থায় বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ,

$$i = \frac{15}{10 + 20 + \left(\frac{30 \times 30}{60}\right)} = \frac{15}{10 + 20 + 15} = \frac{15}{45} = 0{\cdot}333\text{A}$$

$\therefore$ 30Ω এর বিপরীতে ভোল্টমিটার পাঠ,

$V = 0.333 \times \frac{900}{60} = 0.333 \times 15 = 4.995V$

(খ) চাবি বন্ধ করলে, কির্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$10i + 20i = 15$

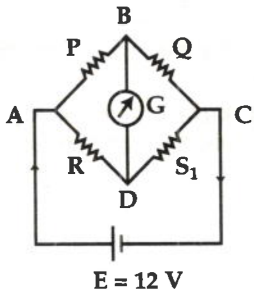
বা, $30i = 15$

$\therefore i = \frac{15}{30} = 0.5A$

$\therefore i_1 = i \times \frac{30}{45} = 0.5 \times 0.667 = 0.333A$

$i_2 = \frac{15 \times 0.5}{45} = \frac{0.5}{3} = 0.167A$

৭।



চিত্রে হুইটস্টোন ব্রিজের চার বাহুর রোধ যথাক্রমে $P = 8\Omega$, $Q = 12\ \Omega$, $R = 18\ \Omega$ এবং $S_1 = 22\ \Omega$।

(ক) চতুর্থ বাহুতে কত রোধ কীভাবে যুক্ত করলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হবে ?

(খ) বর্তনীতে গ্যালভানোমিটারটি বিচ্ছিন্ন করলে ABC পথে ও ADC পথে তড়িৎ প্রবাহ সমান হবে কি না যাচাই কর। [কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন), ২০১৭ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি,

$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

বা, $\frac{8}{12} = \frac{18}{S}$

$\therefore S = 27\ \Omega$

এখানে,
$P = 8\ \Omega$
$Q = 12\ \Omega$
$R = 18\ \Omega$
$S_1 = 22\ \Omega$
$S_2 = ?$

$27\ \Omega > 22\ \Omega$ বা, $S > S_1$; তাই চতুর্থ বাহুতে S_2 রোধকে শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

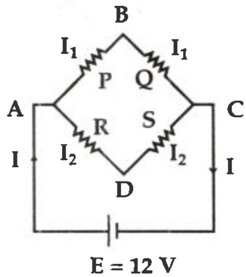
$\therefore S = S_1 + S_2$

বা, $27 = 22 + S_2$

$\therefore S_2 = 27 - 22 = 5\ \Omega$

সুতরাং চতুর্থ বাহুতে 5Ω রোধ S_1 এর সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করলে ব্রিজটি সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হবে।

(খ) বর্তনী হতে গ্যালভানোমিটার বিচ্ছিন্ন করলে নতুন বর্তনী হবে নিম্নরূপ :



এখানে,
$P = 8\ \Omega$
$Q = 12\ \Omega$
$R = 18\ \Omega$
$S = 22\ \Omega$
$r = 0$

ABCEA পথে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_1P + I_1Q + Ir = E$

বা, $8\,I_1 + 12\,I_1 + I\times 0 = 12$

বা, $20\,I_1 = 12$

$\therefore\ I_1 = \frac{12}{20} = \frac{3}{5}\,A = 0{\cdot}6\,A$

আবার ADCEA বর্তনীতে কির্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_2R + I_2S + Ir = E$

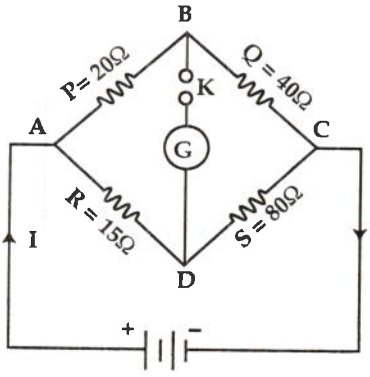
বা, $18\,I_2 + 22\,I_2 + I\times 0 = 12$

বা, $40\,I_2 = 12$

$\therefore\ I_2 = \frac{12}{40} = \frac{3}{10}\,A = 0{\cdot}3\,A$

এখানে $I_1 \neq I_2$। সুতরাং বর্তনী হতে গ্যালভানোমিটার বিচ্ছিন্ন করলে ABC পথে ও ADC পথে তড়িৎ প্রবাহ সমান হবে না।

৮।



চিত্রে একটি হুইটস্টোন ব্রিজ দেখানো হয়েছে।

(ক) গ্যালভানোমিটারের চাবি K সংযুক্ত করার পর CD অংশে কত মানের রোধ কীভাবে যুক্ত করলে গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ শূন্য হবে?

(খ) চাবি K-এর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে কিশর্কের সূত্রের সাহায্যে P ও R কোনটির মধ্য দিয়ে অধিক প্রবাহ অতিক্রম করবে তা দেখাও। [সি. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি, $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S'}$

বা, $S' = R\frac{Q}{P} = 15\times\frac{40}{20} = 30\Omega$

এখানে,

$P = 20\Omega$

$Q = 40\Omega$

$R = 15\Omega$

$S = 80\Omega$

যেহেতু S' এর মান S এর চেয়ে কম। সুতরাং প্রয়োজনীয় রোধ S'' কে S এর সাথে সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে। অর্থাৎ

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S''} = \frac{1}{S'}$$

বা, $\frac{1}{S''} = \frac{1}{30} - \frac{1}{80} = \frac{80-30}{30\times 80} = \frac{50}{30\times 80}$

বা, $S'' = \frac{30\times 80}{50} = 48\Omega$

সুতরাং, 48Ω রোধ 80Ω রোধের সাথে সমান্তরালে যুক্ত করলে গ্যালভানোমিটারের শূন্য বিক্ষেপ পাওয়া যাবে।

(খ) এখানে, P ও Q এবং R ও S শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ,

$R_1 = P + Q = 20 + 40 = 60\Omega$ এবং $R_2 = R + S = 15 + 80 = 95\Omega$

R_1 এবং R_2 সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ, $R' = \frac{40 \times 95}{40 + 95} = 28\Omega$

$\therefore$ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ $I = \frac{12}{28} = 0.43A$

A ও C এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য $= V_A - V_C$

P ও Q পথে তড়িৎ প্রবাহ i_1 এবং R ও S পথে তড়িৎ প্রবাহ i_2 হলে, কির্শফের সূত্র থেকে পাই,

$Pi_1 + Qi_1 = V_A - V_C$ এবং $Ri_2 + Si_2 = V_A - V_C$

$\therefore \quad Pi_1 + Qi_1 = Ri_2 + Si_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

কির্শফের ১ম সূত্র থেকে, $I = i_1 + i_2$ বা, $0.43 = i_1 + i_2$ বা, $i_2 = 0.43 - i_1$

সমীকরণ (i) থেকে পাই,

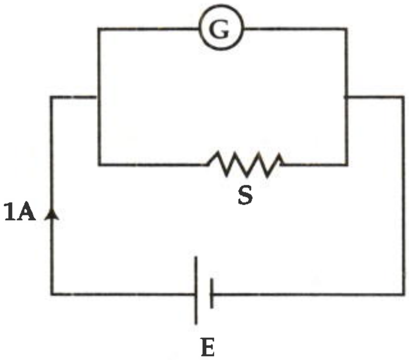
$60i_1 = 95i_2 = 95(0.43 - i_1)$

$60i_1 + 95i_1 = 95 \times 0.43$ বা, $155i_1 = 40.85$ বা, $i_1 = 0.26A$

$\therefore \quad i_2 = 0.43 - 0.26 = 0.17A$

সুতরাং P-এর মধ্য দিয়ে অধিক তড়িৎ প্রবাহিত হবে।

৯।



পরীক্ষাগারে হারুন 100 Ω রোধ এবং 10 mA পাল্লার গ্যালভানোমিটার নিয়ে কাজ করার সময় উপরে অঙ্কিত বর্তনীর ন্যায় সজ্জিত করলেন। এই সময় শিক্ষক তাকে গ্যালভানোমিটারটিকে 10A পাল্লার অ্যামিটারে রূপান্তর করতে বলায় সে গ্যালভানোমিটারের সজ্জায় কিছু পরিবর্তন আনলেন।

(ক) বর্তনীর S এর মান নির্ণয় কর।

(খ) শিক্ষকের কথায় হারুন গ্যালভানোমিটারের বর্তনী সজ্জায় যে পরিবর্তন এনেছিল তা ব্যাখ্যা কর।

[চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি, গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ,

$$i_g = \frac{S \times i}{G + S}$$

বা, $10 \times 10^{-3} = \frac{S \times 1}{G + S}$

বা, $10^{-2} \times (G + S) = S \times 1$

বা, $G + S = \frac{S \times 1}{10^{-2}}$

বা, $G + S = 100 \times S$

বা, $100 + S = 100\,S$

বা, $99\,S = 100$

$\therefore \quad S = \frac{100}{99} = 1.01\,\Omega$

(খ) হারুন গ্যালভানোমিটারের বর্তনী সজ্জার নিম্নোক্ত পরিবর্তন এনেছিল। সে শান্ট S এর পরিবর্তে S′ মানের শান্ট ব্যবহার করলে,

$$i_g = \frac{S'}{G+S'} \times i'$$

বা, $10^{-2} \times (G + S') = S' \times 10$

বা, $(G + S') = \frac{S' \times 10}{10^{-2}} = S' \times 1000$

বা, $G + S' = 1000\,S'$

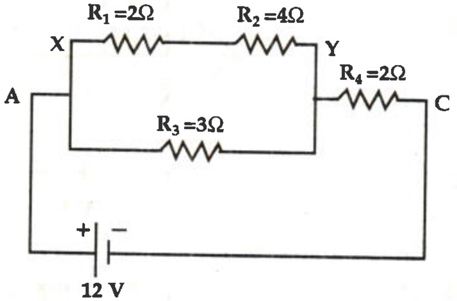
বা, $100 + S' = 1000\,S'$

বা, $999\,S' = 100$

$\therefore \quad S' = \frac{100}{999} = 0{\cdot}1\ \Omega$

অর্থাৎ হারুন শান্ট $1{\cdot}01\ \Omega$ এর পরিবর্তে $0{\cdot}1\ \Omega$ এর শান্ট ব্যবহার করেছিল।

১০।



$R_1 = R_4 = 2\ \Omega$

$R_2 = 4\ \Omega,\ R_3 = 3\ \Omega$

(ক) বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) AC অংশের ভোল্টেজ কারেন্ট লেখচিত্র এবং XY অংশের ভোল্টেজ কারেন্ট লেখচিত্র মানসহ খাতায় অঙ্কন কর।

[ঢা. বো. ২০১৭]

এখানে,

$R_1 = 2\ \Omega$

$R_2 = 4\ \Omega$

$R_3 = 3\ \Omega$

$R_4 = 2\ \Omega$

$E = 12\ V$

$I = ?$

(ক) R_1, R_2 শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত বলে এদের তুল্য রোধ,

$R_s = R_1 + R_2 = 2 + 4 = 6\ \Omega$

আবার, R_s ও R_3 সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত

$\therefore$ তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{2}$

$\therefore \quad R_p = 2\ \Omega$

আবার, R_p এবং R_4 শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত বলে বর্তনীর তুল্য রোধ,

$R = R_p + R_4 = 2 + 2 = 4\ \Omega$

$\therefore$ প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{E}{R+r} = \frac{12}{4+0} = 3\ A$

(খ) এখন AC অংশের প্রবাহমাত্রা, $I = 3\ A$ (ক থেকে)

তুল্য রোধ, $R = 4\ \Omega$

AC অংশের ভোল্টেজ $V_1 = IR = 3 \times 4 = 12\ V$

অর্থাৎ উৎসের কোনো অভ্যন্তরীণ রোধ উল্লেখ না থাকায় AC অংশের ভোল্টেজ উৎসের ভোল্টেজের সমান।

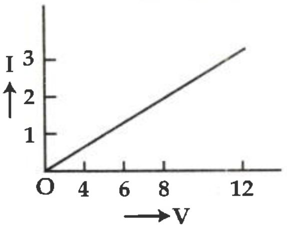
আবার, XY অংশের তুল্য রোধ, $R_s = 6\Omega$ (ক থেকে)

$\therefore$ XY অংশের প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \frac{3}{(6+3)} \times I = \frac{3}{9} \times 3 = 1\ A$

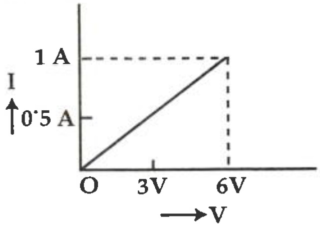
এবং XY অংশের ভোল্টেজ, $V_2 = 6 \times 1 = 6\ V$

AC ও XY অংশের প্রবাহমাত্রার অনুপাত 3 : 1। AC অংশের ভেতর দিয়ে যখন সর্বোচ্চ প্রবাহ 3 A তখন AC অংশে বিভব পতন 12 V। পক্ষান্তরে XY অংশে সর্বোচ্চ তড়িৎ প্রবাহ 1 A এবং তখন XY প্রান্তে বিভব পতন 6 V।

নিচের চিত্রে AC ও XY অংশের ভোল্টেজ কারেন্ট লেখচিত্র দেখানো হলো—



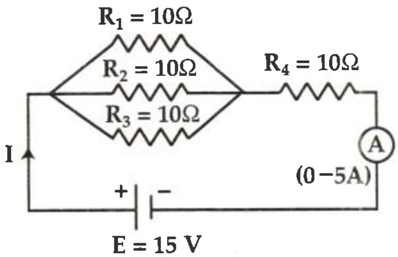
চিত্র : AC অংশের জন্য

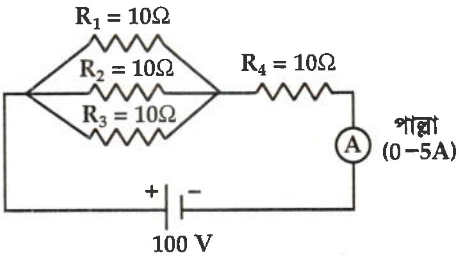


চিত্র : XY অংশের জন্য

এখানে AC অংশের ভোল্টেজ-কারেন্ট লেখচিত্রের সরলরেখা XY অংশের ভোল্টেজ-কারেন্ট লেখচিত্রের সরলরেখা অপেক্ষা অধিক খাড়া।

১১।





(ক) উদ্দীপকের বর্তনীর মোট তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) যদি E এর মান পরিবর্তিত হয়ে 100 V হয় তবে তড়িৎ প্রবাহ মাপার জন্য কী ব্যবস্থা গ্রহণ করতে হবে? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [য. বো. ২০১৭]

এখানে,

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\ \Omega$

$E = 15\ V$

(ক) R_1, R_2, R_3 সমান্তরাল সমবায়ে সংযুক্ত বলে

এদের তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

$$= \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10}$$

$$\therefore \quad R_p = \frac{10}{3}\ \Omega$$

আবার, R_p এবং R_4 শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত বলে বর্তনীর তুল্য রোধ,

$$R_s = R_p + R_4 = \frac{10}{3} + 10 = \frac{10 + 30}{3} = \frac{40}{3}\ \Omega$$

বর্তনীর মোট প্রবাহ, $I = \frac{E}{R_s + r} = \frac{15}{\frac{40}{3} + 0} = \frac{45}{40} = 1.125\ A$

(খ) পরিবর্তিত বর্তনীর তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 100\ V$

বর্তনীর তুল্য রোধ, $R_s = \frac{40}{3}\ \Omega$

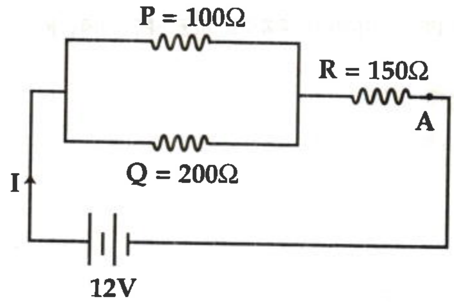
প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{E}{R_s} = \frac{100}{\frac{40}{3}} = 7.5\ A$

এখানে অ্যামিটারের পাল্লা 0 – 5 A হওয়ায় এর সাহায্যে 5 A এর বেশি তড়িৎ প্রবাহ মাপতে হলে অ্যামিটারের পাল্লা বৃদ্ধি করতে হবে। এক্ষেত্রে, 7·5 A তড়িৎ প্রবাহ মাপার জন্য পাল্লা (0 – 10 A) করতে হবে। অর্থাৎ পাল্লা দ্বিগুণ করতে হবে। অ্যামিটারের রোধ R এবং সমান্তরালে শান্ট S যুক্ত করা হলে,

$$S = \frac{R}{n - 1} = \frac{R}{2 - 1} = R$$

এক্ষেত্রে অ্যামিটারের রোধের সমান মানের রোধ শান্ট হিসেবে ব্যবহার করতে হবে।

১২।



(ক) বর্তনীর A বিন্দুতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) কোন রোধকটি অপসারণ করলে বর্তনীর মোট প্রবাহমাত্রা সর্বোচ্চ হবে—গাণিতিক বিশ্লেষণ সহকারে দেখাও। [রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন), ২০১৭; য. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২১ ও ২০১৭ (মান ভিন্ন)]

(ক) P ও Q সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। কাজেই তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{P}+\frac{1}{Q} = \frac{1}{100}+\frac{1}{200} = \frac{2+1}{200} = \frac{3}{200}$$

$$\therefore \quad R_p = \frac{200}{3}\,\Omega$$

এখানে,
$P = 100\ \Omega$
$Q = 200\ \Omega$
$R = 150\ \Omega$
তড়িচ্চালক শক্তি, $E = 12\ V$

আবার, R_p ও R শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। কাজেই তুল্য রোধ,

$$R_s = R_p + R = \frac{200}{3} + 150 = 216{\cdot}67\ \Omega$$

$\therefore$ বর্তনীর মূল প্রবাহ, $I = \frac{E}{R+r} = \frac{12}{216{\cdot}67+0} = 0{\cdot}055\ A$

এখানে A বিন্দুর প্রবাহমাত্রা বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রার সমান। অর্থাৎ $0{\cdot}055\ A$

(খ) এখন P রোধটি অপসারণ করলে বর্তনীর তুল্য রোধ হবে,

$$R_1 = Q + R = 200 + 150 = 350\ \Omega$$

এক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{12}{350} = 0{\cdot}0343\ A$

Q রোধটি অপসারণ করলে বর্তনীর তুল্য রোধ হবে,

$$R_2 = P + R = 100 + 150 = 250\ \Omega$$

এক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, $I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{12}{250} = 0{\cdot}048\ A$

আবার, R রোধটি অপসারণ করলে বর্তনীর তুল্য রোধ হবে,

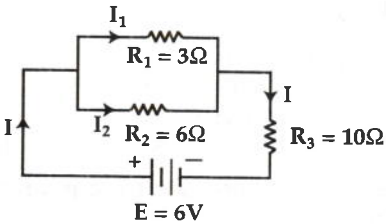
$R_p = \frac{200}{3}\,\Omega$ (ক থেকে প্রাপ্ত)

এক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা, $I_3 = \frac{E}{R_p} = \frac{12}{\frac{200}{3}} = \frac{36}{200} = 0{\cdot}18\ A$

এখানে, $I_3 > I_2 > I_1$

$\therefore$ R রোধটি অপসারণ করলে বর্তনীর প্রবাহ সর্বোচ্চ হবে।

১৩।



(ক) বর্তনীর প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) R_3-এর সাথে কত মানের রোধ কীভাবে যুক্ত করলে এর ভেতর দিয়ে R_1-এর সমান প্রবাহ পাওয়া যাবে? গাণিতিকভাবে তোমার মতামত দাও। [চ. বো. ২০২২]

(ক) চিত্র অনুযায়ী R_1 ও R_2 রোধদ্বয় সমান্তরাল সমবায় গঠন করে এবং R_1 ও R_2 এর সমবায় R_3 এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত।

$\therefore$ সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

$\therefore$ $R_P = 2\Omega$

বর্তনীর তুল্য রোধ,

$$R_S = R_P + R_3 = 2 + 10 = 12\Omega$$

$\therefore$ বর্তনীর প্রবাহ, $I = \frac{E}{R+r} = \frac{6}{12+0} = \frac{1}{2} = 0{\cdot}5 \text{ Amp}$

(খ) মনে করি, R_1-এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V_1 এবং প্রবাহমাত্রা $= I_1$

এবং R_2-এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V_2 এবং প্রবাহমাত্রা $= I_2$

R_1 এবং R_3 এর প্রবাহ সমান হলে, $I_1 = I_3$ হয়

$\therefore$ $I_1 = \frac{V_1}{R_1}$ এবং $I_3 = \frac{V_3}{R_3}$

$\therefore$ $I_1 = I_3$ কাজেই, $\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_3}{R_3}$

$$\frac{V_1}{3} = \frac{V_3}{10}$$

$$V_3 = \frac{10}{3} V_1$$

এখন বর্তনীতে $E = V_1 + V_3$

বা, $6 = V_1 + \frac{10}{3} V_1$

বা, $6 = V_1 \left(1 + \frac{10}{3}\right)$

$\therefore$ $6 = V_1 \left(\frac{13}{3}\right)$

$$V_1 = \frac{6 \times 3}{13} = \frac{18}{13} = 1{\cdot}38 \text{ V}$$

বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, I হলে $V_1 = IR_P$

বা, $\frac{18}{13} = I \times 2$

বা, $I = \frac{18}{26} = \frac{9}{13}$

$\therefore$ $I = \frac{9}{13} \text{ Amp}$

বর্তনীর তুল্য রোধ Req হলে, $I = \frac{E}{Req}$

$\therefore$ $Req = \frac{E}{I} = \frac{6}{\frac{9}{13}} = \frac{26}{3} = 8{\cdot}67\Omega$

যেহেতু $R_P = 2\Omega$; অবশিষ্ট রোধ $R'_P = Req - R_P = 8{\cdot}67 - 2 = 6{\cdot}67\Omega$

যেহেতু $R'_P < R_3$, তাই R_3-এর সাথে সমান্তরালে রোধ যুক্ত করতে হবে।

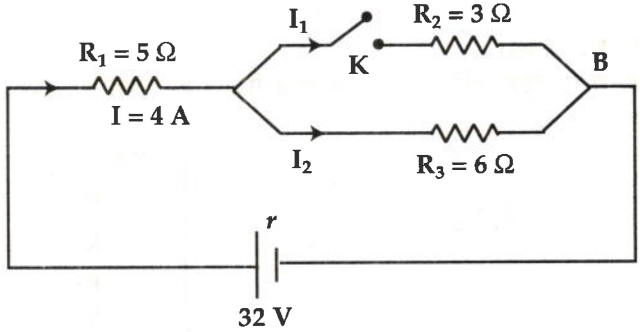
এখন $R_3 = 10\Omega$-এর সাথে R_4 রোধ সমান্তরালে যুক্ত করলে তুল্য রোধ R'_P হবে।

$$\therefore \quad \frac{1}{R'_P} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{6.67}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{R_4} = \frac{1}{6.67} - \frac{1}{10} = \frac{10 - 6.67}{6.67 \times 10} = \frac{1}{20}$$

$\therefore$ $R_4 = 20\Omega$। অর্থাৎ R_3-এর সাথে 20Ω যুক্ত করলে এই প্রবাহমাত্রা R_1-এর ভেতর প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা সমান হবে।

১৪। 32 V তড়িচ্চালক শক্তিবিশিষ্ট একটি ব্যাটারি R_1, R_2 এবং R_3 রোধের একটি সমবায়ের মধ্যে প্রবাহমাত্রা প্রবাহ প্রেরণ করে। যখন চাবি K বন্ধ থাকে তখন 5 Ω রোধের মধ্য দিয়ে 4 A প্রবাহমাত্রা প্রবাহিত হয়।



(ক) কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

(খ) K চাবি খোলা থাকলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রার কী পরিবর্তন ঘটবে গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর।

এখানে,
$R_1 = 5\,\Omega$
$R_2 = 3\,\Omega$
$R_3 = 6\,\Omega$
$I = 4\,A$

(ক) R_2 ও R_3 রোধ দুটি সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6}$$

$$\therefore \quad R_p = \frac{6}{3} = 2\,\Omega$$

R_2 ও R_3 রোধ দুটি R_1 এর সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত।

তুল্য রোধ, $R' = R_1 + R_p = 5 + 2 = 7\,\Omega$

এখন চাবি K বন্ধ থাকলে বহিস্থ বর্তনীর রোধ, $R' = 7\,\Omega$

$$\therefore \quad I = \frac{E}{R' + r}$$

$$\text{বা,} \quad 4 = \frac{32}{7 + r}$$

$$\text{বা,} \quad 28 + 4r = 32$$

$$\text{বা,} \quad 4r = 32 - 28 = 4$$

$$\therefore \quad r = \frac{4}{4} = 1\,\Omega$$

(খ) চাবি K খোলা থাকলে মোট বহিস্থ রোধ,

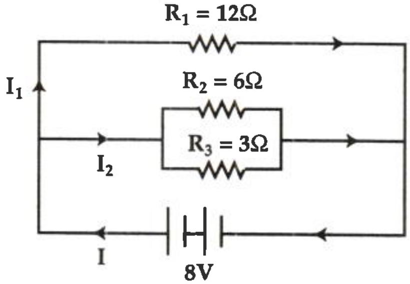
$$R = R_1 + R_3 = 5 + 6 = 11\,\Omega$$

$\therefore$ বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা,

$$I' = \frac{V}{R + r} = \frac{32}{11 + 1} = \frac{32}{12} = \frac{8}{3} = 2.67\ A$$

সুতরাং, চাবি খোলা থাকলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা ((4 — 2.67) A = 1.33 A অর্থাৎ প্রবাহমাত্রা হ্রাস পাবে।

১৫।



(ক) বর্তনীর মূল প্রবাহ বের কর।

(খ) চিত্রে উল্লিখিত রোধগুলিকে শ্রেণি সমবায়ে সাজিয়ে চিত্র অঙ্কন কর এবং মূল প্রবাহের পরিবর্তন কীরূপ হবে? [রা. বো. ২০১৬]

(ক) এখানে তিনটি রোধ R_1, R_2, R_3 সমান্তরালে যুক্ত

এখানে,
$R_1 = 12\,\Omega$
$R_2 = 6\,\Omega$
$R_3 = 3\,\Omega$
$V = 8\,V$
$I = ?$

$\therefore$ তুল্য রোধ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

বা, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3}$

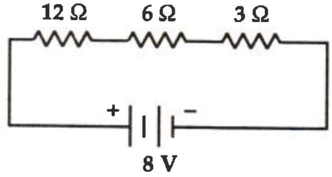
$= \frac{1+2+4}{12} = \frac{7}{12}$

বা, $R_p = \frac{12}{7}\,\Omega$

এখন, বর্তনীর মূল প্রবাহ,

$$I = \frac{V}{R_p} = \frac{8\,V}{\frac{12}{7}\,\Omega} = \frac{8 \times 7}{12} = 4{\cdot}67\,A$$

(খ) রোধগুলোকে শ্রেণিতে সংযুক্ত করলে বর্তনীর চিত্র নিম্নরূপ হবে—



তুল্য রোধ, R

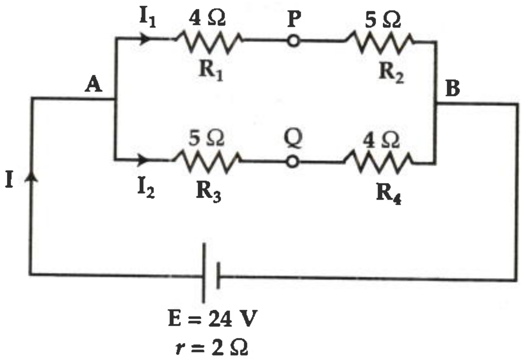
$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 12 + 6 + 3 = 21\,\Omega$$

বর্তনীর প্রবাহ,

$$I_1 = \frac{V}{R} = \frac{8\,V}{21\,\Omega} = 0{\cdot}38\,A$$

লক্ষণীয় যে পূর্বের বর্তনীর মূল প্রবাহ ছিল $4{\cdot}67\,A$ এবং পরিবর্তিত প্রবাহ $0{\cdot}38\,A$; অর্থাৎ রোধগুলি শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করায় মূল প্রবাহ হ্রাস পাবে।

১৬। উদ্দীপকের বর্তনী হতে নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) উদ্দীপকের বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহের মান বের কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীর P ও Q বিন্দুর মাঝখানে একটি গ্যালভানোমিটার নগণ্য রোধের তার দ্বারা সংযুক্ত করলে কোন দিক হতে গ্যালভানোমিটারের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত হবে ? বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০১৬]

(ক) বর্তনীর তুল্য রোধ R হলে আমরা পাই,

$$I = \frac{V}{R+r} \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এখন তুল্য রোধ R নির্ণয় করতে হবে।

রোধ R_1 ও R_2 শ্রেণিতে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$R_s' = R_1 + R_2 = 4\,\Omega + 5\,\Omega = 9\,\Omega$$

এবং R_3 ও R_4 শ্রেণিতে যুক্ত থাকায় এদের তুল্য রোধ,

$$R_s'' = R_3 + R_4 = 5\,\Omega + 4\,\Omega = 9\,\Omega$$

এখানে,
$R_1 = 4\,\Omega$
$R_2 = 5\,\Omega$
$R_3 = 5\,\Omega$
$R_4 = 4\,\Omega$
$E = 24\text{ V}$
$r = 2\,\Omega$
$I = ?$

আবার, R_s' এবং R_s'' সমান্তরালে যুক্ত থাকায় এদের তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_s'} + \frac{1}{R_s''} = \frac{1}{9} + \frac{1}{9} = \frac{1+1}{9} = \frac{2}{9}$$

$$\therefore \quad R_p = \frac{9}{2} = 4{\cdot}5\,\Omega$$

এখন সমীকরণ (i)-এ R_p এর মান বসিয়ে পাই,

$$I = \frac{V}{R_p + r} = \frac{24\text{ V}}{4{\cdot}5\,\Omega + 2\,\Omega} = \frac{24\text{ V}}{6{\cdot}5\,\Omega} = 3{\cdot}69\text{ A}$$

$\therefore$ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ $= 3{\cdot}69$ A

(খ) এখন A ও B প্রান্তের বিভব পার্থক্য V হলে আমরা পাই,

$$V = IR_p = 3{\cdot}69\text{ A} \times 4{\cdot}5\,\Omega = 16{\cdot}6\text{ V}$$

A বিন্দুতে তড়িৎ প্রবাহ I_1 ও I_2 অংশে বিভক্ত হয়ে বর্তনীতে প্রবাহিত হয়। এখন R_s' এবং R_s'' সমান মানের হওয়ায় এদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ I_1 ও I_2 সমান।

অর্থাৎ $I_1 = I_2 = \frac{I}{2} = \frac{3{\cdot}69}{2}\text{ A} = 1{\cdot}845\text{ A}$

এখন, $V_{AP} = V_1 = I_1R_1 = 1{\cdot}845\text{ A} \times 4\,\Omega = 7{\cdot}38\text{ V}$

এবং $V_{AQ} = V_2 = I_2R_3 = 1{\cdot}845\text{ A} \times 5\,\Omega = 9{\cdot}225\text{ V}$

এখন, $V_A - V_P = V_{AP} = 7{\cdot}38\text{ V} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

এবং $V_A - V_Q = V_{AQ} = 9{\cdot}225\text{ V} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (iii)$

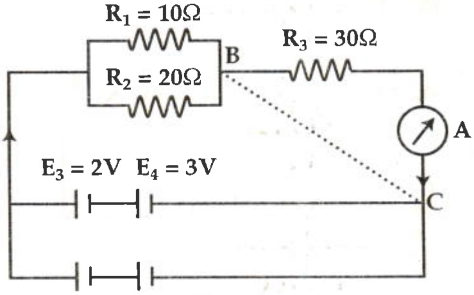
সমীকরণ (ii) থেকে সমীকরণ (iii) বিয়োগ করে পাই,

$$V_Q - V_P = -\,1{\cdot}845\text{ V}$$

বা, $V_P - V_Q = 1{\cdot}845\text{ V}$

সুতরাং $V_P > V_Q$ অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহ P বিন্দু থেকে Q বিন্দুতে প্রবাহিত হয়।

১৭। উদ্দীপকের বর্তনীটির প্রবাহমাত্রা নির্ণয়ের জন্য অ্যামিটারের পাঠ নেয়া হলো। পরবর্তীতে 5Ω রোধের একটি পরিবাহী তারকে B ও C বিন্দুতে যুক্ত করে পুনরায় অ্যামিটারের পাঠ নেওয়া হলো।



(ক) প্রথম ক্ষেত্রে বর্তনীর তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

(খ) কোন ক্ষেত্রে অ্যামিটারের পাঠ বেশি হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও। [রা. বো. ২০২১]

(ক) এখানে R_1 ও R_2 সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত, সুতরাং তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_{P_1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} = \frac{20+10}{200} = \frac{30}{200} \quad \therefore R_{P_1} = \frac{200}{30} = 6{\cdot}67\,\Omega$$

বর্তনীর তুল্য রোধ, $R = R_{P_1} + R_3 = \frac{200}{30} + 30 = 36{\cdot}67\Omega$

(খ) এখানে, E_1 ও E_2 এবং E_3 ও E_4 শ্রেণিতে যুক্ত। অর্থাৎ $E_1 + E_2 = 2 + 3 = 5V$ এবং $E_3 + E_4 = 2 + 3 = 5V$ সমান্তরালে সমবায়ে যুক্ত।

সুতরাং ১ম ক্ষেত্রে অ্যামিটারের পাঠ,

$$i_P = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R} = \frac{5}{36{\cdot}67} = 0{\cdot}136A$$

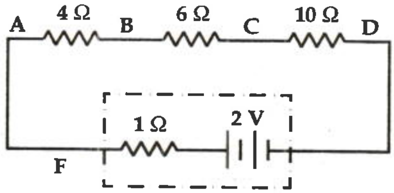
২য় ক্ষেত্রে, R_3 এবং R_B এর তুল্য রোধ, $R_{P_2} = \frac{30 \times 5}{35} = \frac{150}{35} = 4{\cdot}29\Omega$

$\therefore$ মোট রোধ, $R_1 = R_{P_1} + R_{P_2} = 6{\cdot}67 + 4{\cdot}29 = 10{\cdot}96\Omega$

$\therefore \quad i_2 = \frac{5}{10{\cdot}96} = 0{\cdot}456A$

সুতরাং, ২য় ক্ষেত্রে অ্যামিটারের পাঠ বেশি হবে।

১৮। চিত্রের বর্তনীর মোট প্রবাহ I, C ও F বিন্দুতে 6 Ω রোধ যুক্ত করলে বর্তনীর মোট প্রবাহ I_1 হয়। C ও F বিন্দুর রোধটি বিচ্ছিন্ন করে ওই রোধটিকে 10 Ω এর সমান্তরালে যুক্ত করলে বর্তনীর প্রবাহ হয় I_2।



চিত্র (i)

(ক) চিত্রের বর্তনীর 4 Ω রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত হবে ?

(খ) $I > I_1 > I_2$ হতে পারে কি–না গাণিতিক বিশ্লেষণপূর্বক তোমার মতামত দাও। [কু. বো. ২০১৭]

(ক) চিত্র (i)-এর রোধগুলি শ্রেণিতে যুক্ত। সুতরাং বর্তনীর তুল্য রোধ,

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$
$$= 4 + 6 + 10 + 1 = 21\,\Omega$$

এখন, বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{V}{R}$

$$\therefore \quad I = \frac{2\text{ V}}{21\,\Omega} = 0{\cdot}095\text{ A}$$

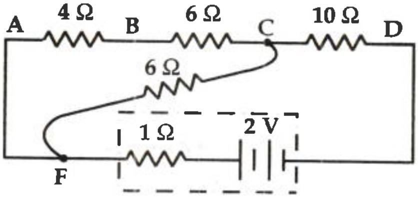
এখানে,
$R_1 = 4\,\Omega$
$R_2 = 6\,\Omega$
$R_3 = 10\,\Omega$
$R_4 = 1\,\Omega$
$V = 2\text{ V}$

4 Ω এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য,

$$V_A - V_B = I \times R_1 = 0{\cdot}095 \times 4\,\Omega = 0{\cdot}38\text{ V}$$

সুতরাং, 4 Ω এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 0·38 V

(খ)



চিত্র (ii)

উদ্দীপকের বর্ণনা অনুযায়ী চিত্রে 6 Ω রোধ C ও F বিন্দুতে যুক্ত করা হয়েছে [চিত্র (ii)]।

এখন ACFA বর্তনীর AB ও BC এর রোধ $4\ \Omega$ ও $6\ \Omega$ দুটি শ্রেণিতে যুক্ত এবং এই দুটি রোধ CF এর সঙ্গে সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং $AB + BC = 4\ \Omega + 6\ \Omega = 10\ \Omega$, CF এর $6\ \Omega$ রোধের সঙ্গে সমান্তরালে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$R' = \frac{10 \times 6}{10 + 6} = \frac{60}{16} = 3{\cdot}75\ \Omega$$

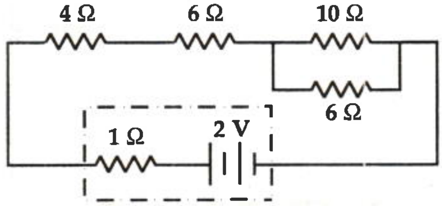
এখন বর্তনীর তুল্য রোধ,

$$R = 3{\cdot}75 + 10 + 1 = 14{\cdot}75\ \Omega$$

$\therefore$ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, $I_1 = \frac{V}{R} = \frac{2}{14{\cdot}75} = 0{\cdot}136\ A$

এখন, $6\ \Omega$ রোধ C ও F বিন্দু হতে অপসারণ করে $10\ \Omega$ এর সমান্তরালে যুক্ত করলে [চিত্র (iii)], তুল্য রোধ হবে,

$$R_1 = \frac{10 \times 6}{10 + 6} = \frac{60}{16} = 3{\cdot}75\ \Omega$$



চিত্র (iii)

অতএব, বর্তনীর মোট রোধ,

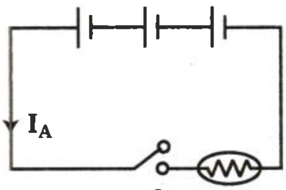
$$R'' = 4 + 6 + 3{\cdot}75 + 1 = 14{\cdot}75\ \Omega$$

$\therefore$ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, $I_2 = \frac{2\ V}{14{\cdot}75\ \Omega} = 0{\cdot}136\ A$

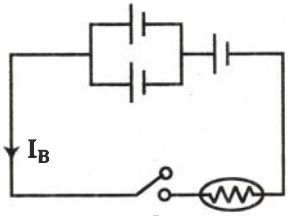
তড়িৎ প্রবাহ I, I_1 এবং I_2 তুলনা করলে দেখা যাচ্ছে যে, $I_1 = I_2$ যা I অপেক্ষা বেশি।

সুতরাং, $I > I_1 > I_2$ হতে পারে না।

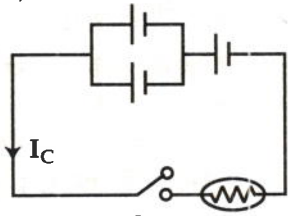
১৯। পরীক্ষাগারে ফারিয়া তিনটি একই মানের কোষ ও একটি বৈদ্যুতিক বাতি নিয়ে চিত্রানুযায়ী বিভিন্নভাবে তিনটি বর্তনী তৈরি করলো। (কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $0{\cdot}1\ \Omega$ ও বাতির রোধ নগণ্য।)



১নং চিত্র



২নং চিত্র



৩নং চিত্র

(ক) সুইচ অন করার পর ১নং চিত্রে প্রবাহমাত্রা $I_A = 10\ A$ হলে E এর মান কত হবে ?

(খ) ২নং ও ৩নং চিত্রে সুইচ অন করার পর বাতির অবস্থা কীরূপ হবে গাণিতিক যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।

[অভিন্ন প্রশ্ন (খ) সেট, ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

$$I = \frac{E}{R} = \frac{3E}{R}$$

$$E = \frac{IR}{3} = \frac{10\ A \times 0{\cdot}3\ \Omega}{3} = 1\ V$$

(খ) আমরা জানি, বর্তনীর ক্ষমতা,

$$P_1 = \frac{V^2}{R} = \frac{(3\ V)^2}{0{\cdot}3\ \Omega} = 30\ W$$

২নং ও ৩নং চিত্রে কোষ দুটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত; কাজেই বর্তনীর কোষ দুটির তুল্য তড়িচ্চালক শক্তি যে কোনো একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির সমান অর্থাৎ E। আবার অন্য একটি কোষের সাথে এই সমবায় শ্রেণিতে যুক্ত; কাজেই মোট তড়িচ্চালক শক্তি, $V = 2E = 2 \times 1V = 2V$

কোষ দুটির তুল্য রোধ, $\frac{1}{r_P} = \frac{1}{0{\cdot}1} + \frac{1}{0{\cdot}1}$ $\therefore r_P = 0{\cdot}05\ \Omega$

তৃতীয় কোষের সাথে r_P শ্রেণিতে যুক্ত; কাজেই মোট রোধ,

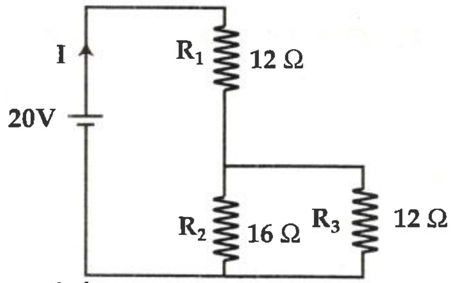
$$R = 0.1 + 0.05 = 0.15\,\Omega$$

$$P_2 = \frac{V^2}{R} = \frac{(2)^2}{0.15} = \frac{4}{0.15}$$

$$= 26.67\text{ W}$$

যেহেতু, $P_1 > P_2$, কাজেই ১নং চিত্রের বাতির চেয়ে ২নং ও ৩নং চিত্রের বাতির উজ্জ্বলতা কম হবে। ২নং ও ৩নং চিত্রের ক্ষমতা একই; তাই তাদের বাতির উজ্জ্বলতাও একই হবে।

২০।



(ক) বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ I-এর মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীর R_1 এবং R_2-এর যদি পারস্পরিক স্থান পরিবর্তন করা হয় তা হলে R_3 রোধে তাপজনিত শক্তি ক্ষয়ের হারের পরিমাণ একই থাকবে কি? গাণিতিকভাবে যাচাইপূর্বক তোমার মতামত লিখ। [দি. বো. ২০২২]

(ক) উদ্দীপক অনুসারে রোধ R_2 ও R_3 সমান্তরাল সমবায়ে এবং এর সাথে R_1 শ্রেণিতে যুক্ত।

এখানে, $\frac{1}{R_P} = \frac{1}{16} + \frac{1}{12} = \frac{3+4}{48} = \frac{7}{48}$

$\therefore\ R_P = \frac{48}{7} = 6.86\Omega$

কাজেই বর্তনীর মোট রোধ বা তুল্য রোধ,

$$R = R_P + R_1$$

$$= 6.86 + 12 = 18.86\Omega$$

$\therefore$ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{E}{R} = \frac{20}{18.86} = 1.06\text{ Amp}$

(খ) 'ক' থেকে পাই R_2 ও R_3-এর তুল্য রোধ $R_P = 6.86\Omega$

বর্তনীর তুল্য রোধ $Req = 18.86\Omega$ এবং তড়িৎ প্রবাহ, $I = 1.06$ Amp

R_2 ও R_3-এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য $V = IR_P = 1.06 \times 6.86 = 7.272$ V

$\therefore$ R_3 রোধে তাপজনিত শক্তি ক্ষয় হার P হলে,

$$P = \frac{V^2}{R_3} = \frac{(7.272)^2}{12} = 4.41\text{W}$$

উদ্দীপকের বর্তনীর R_1 ও R_2 এর পারস্পরিক স্থান পরিবর্তন করলে তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R'_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{12} + \frac{1}{12} = \frac{1}{6}$$

$\therefore\ R'_P = 6\Omega$

বর্তনীর তুল্য রোধ, $Req = R_2 + R'_P = 16 + 6 = 22\Omega$

$\therefore$ তড়িৎ প্রবাহ, $I' = \frac{E}{R'eq} = \frac{20}{22} = 0.909\text{ Amp}$

এখন R_1 ও R_3 এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য,

$$V' = I'R'_P = 0.909 \times 6 = 5.45\text{V}$$

$\therefore$ R_3 রোধে তাপজনিত শক্তি ক্ষয় হার P′ হলে,

$$P' = \frac{V'^2}{R_3} = \frac{(5.45)^2}{12} = 2.475\text{W}$$

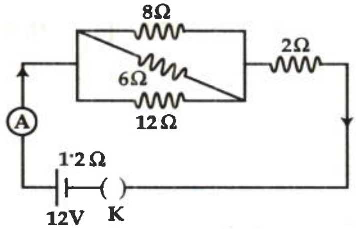
এখানে $P > P'$ এবং $\frac{P}{P'} = \frac{4.41}{2.479} = 1.77$

$\therefore \quad P = 1.77 \times P'$

$\therefore \quad P' = \frac{1}{1.77} P = 0.563 \times P$

তাই বলা যায়, বর্তনীর R_1 ও R_2-এর পারস্পরিক স্থান বিনিময় করলে R_3 রোধে তাপজনিত শক্তি ক্ষয়ের হারের পরিমাণ একই থাকবে না, বরং কমে যাবে এবং তা পূর্বের 0.563 গুণ হবে।

২১।



(ক) বর্তনীর তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনীর আউটপুটে (220V — 100W) এর একটি বাল্ব সংযোজন করা হলে বাল্বটির কোনো ক্ষতি হবে কি না যাচাই কর। [য. বো. ২০১৯]

এখানে,

$R_1 = 8\,\Omega$

$R_2 = 6\,\Omega$

$R_3 = 12\,\Omega$

$R_4 = 2\,\Omega$

$r = 1.2\,\Omega$

$E = 12\text{ V}$

(ক) এখানে, R_1, R_2 ও R_3 সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$R = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$= \frac{8 \times 6 \times 12}{8 + 6 + 12} = 22\,\Omega$$

এখন, R, R_4 এবং r শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত

অতএব, এদের তুল্য রোধ,

$$R_s = 22 + 2 + 1.2 = 25.2\,\Omega$$

(খ) বর্তনীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{E}{R_s} = \frac{12\text{ V}}{25.2\,\Omega} = 0.476\text{ A}$$

আবার, আমরা জানি,

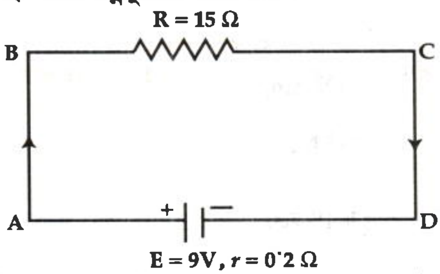
ক্ষমতা, $P = VI$

বাল্বের গায়ে লেখা, $P = 100\text{ W}$ এবং $V = 220\text{ V}$

$\therefore$ সুতরাং, বাল্বে সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা $I' = \frac{P}{V} = \frac{100}{220} = 0.454\text{ A}$

যেহেতু বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা I (0.476 A) বাল্বে সর্বোচ্চ গ্রহণযোগ্য প্রবাহমাত্রা I' (0.454 A) অপেক্ষা বেশি; অতএব, বাল্বটি ক্ষতিগ্রস্ত হবে।

২২। উদ্দীপকটি লক্ষ কর এবং নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনীতে অনুরূপ আরো একটি কোষ শ্রেণিতে যুক্ত করলে রোধ R-এ উৎপন্ন তাপ শক্তির হার কেমন হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [দি. বো. ২০১৯]

(ক) এখানে, রোধ $R' = R + r = 15 + 0{\cdot}2 = 15{\cdot}2\ \Omega$

অতএব, বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা,

$$I = \frac{E}{R'} = \frac{9\ V}{15{\cdot}2\ \Omega} = 0{\cdot}592\ A$$

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীর সাথে শ্রেণিতে একই মানের কোষ যুক্ত করলে বর্তনীর মোট ভোল্টেজ,

$E' = 9\ V + 9\ V = 18\ V$ এবং $R'' = R + r + r = 15 + 0{\cdot}2 + 0{\cdot}2 = 15{\cdot}4\ \Omega$

$\therefore$ বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা,

$$I' = \frac{E'}{R + 2r} = \frac{18\ V}{15{\cdot}4} = 1{\cdot}169\ A$$

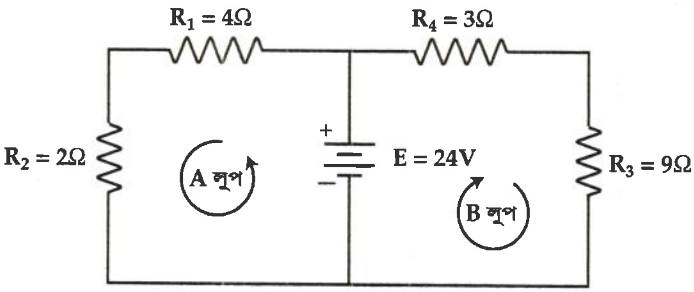
আমরা জানি, রোধ R-এ উৎপন্ন তাপ, $H = i^2Rt$

এখন তাপের হার, $\frac{H}{t} = i^2R = (1{\cdot}169)^2 \times 15$
$= 20{\cdot}5$ watt

উদ্দীপকে প্রদত্ত বর্তনীর R-এ উৎপন্ন তাপশক্তির হার $\frac{H}{t} = i^2R = (0{\cdot}592)^2 \times 15 = 5{\cdot}26$ watt

সুতরাং দ্বিতীয় কোষ যুক্ত করলে উৎপন্ন তাপশক্তির হার বেশি হবে।

২৩।



(ক) R_2 রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের 'A' লুপের R_1 রোধের সাথে শ্রেণিতে না কি সমান্তরালে কত রোধ যুক্ত করলে উভয় লুপে একই তড়িৎ প্রবাহিত হবে—গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [চ. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা কির্শফের সূত্র থেকে 'A' লুপে পাই,

$\therefore$ $I_1R_1 + I_1R_2 = E$, এখানে A লুপে প্রবাহমাত্রা I_1

বা, $I_1 (R_1 + R_2) = 24$ বা, $I_1 \times (4 + 2) = 24$

বা, $I_1 = \frac{24}{6} = 4\ A$

(খ) ধরি R_1 এর পরিবর্তে R_x রোধ যুক্ত করলে উভয় লুপে একই তড়িৎ প্রবাহিত হবে।

ধরি উভয় লুপে প্রবাহমাত্রা I।

অতএব, $I(R_x + R_2) = I(R_3 + R_4)$ বা, $R_x + R_2 = R_3 + R_4$

$\therefore$ $R_x = (R_3 + R_4) - R_2 = (9 + 3) - 2$
$= 10\ \Omega$

অতএব, R_1 এর সাথে, $R_x - R_1 = 10 - 4 = 6\ \Omega$ শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

২৪। 60 Ω রোধের দুটি রোধক শ্রেণিতে যুক্ত করে 120V তড়িৎ উৎসের সাথে যুক্ত করা হলো। পরবর্তীতে রোধক দুটি সমান্তরালে যুক্ত করে একই উৎসের সাথে যুক্ত করা হলো।

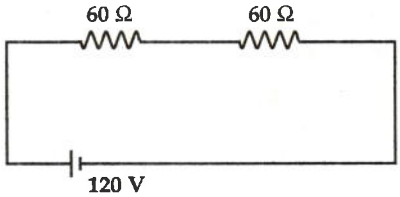
(ক) শ্রেণিযুক্ত অবস্থায় 60 Ω রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) কোন সংযোগে একটি নির্দিষ্ট সময়ে বেশি তাপ উৎপন্ন হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণ দাও।

[ব. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); কু. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$V = IR$



এখানে,

$R_1 = 60\ \Omega$

$R_2 = 60\ \Omega$

$E = 120\ V$

শ্রেণিতে যুক্ত অবস্থায় বর্তনীর রোধ,

$R_S = R_1 + R_2 = 60 + 60 = 120\ \Omega$

$\therefore$ বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা,

$i_1 = \frac{V}{R_S} = \frac{120}{120} = 1\ A$

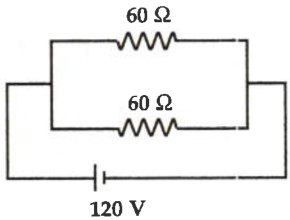
(খ) শ্রেণিতে যুক্ত বর্তনীতে উৎপন্ন তাপ,

$H_1 = i_1^2 R_S t = 1^2 \times 120 \times t = 120t$

বা, $\frac{H_1}{t} = 120$ একক

এবং সমান্তরালে যুক্ত বর্তনীতে উৎপন্ন তাপ,

$H_2 = i_2^2 R_P t$



সমান্তরালে যুক্ত বর্তনীর রোধ,

$R_P = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \times 60}{60 + 60} = \frac{3600}{120} = 30\ \Omega$

বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা,

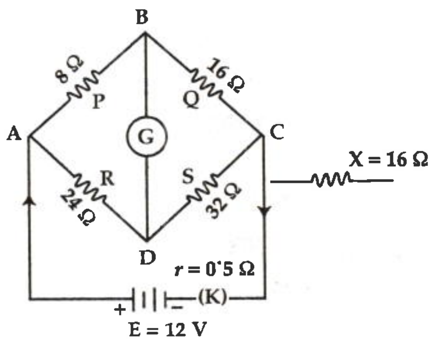
$i_2 = \frac{120}{30} = 4\ A$

$\therefore$ উৎপন্ন তাপ,

$H_2 = i_2^2 R_P t = 4^2 \times 30t = 480t$ বা, $\frac{H_2}{t} = 480$ একক

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে একই সময় তড়িৎ প্রবাহের জন্য সমান্তরালে যুক্ত বর্তনীতে উৎপন্ন তাপ বেশি হবে।

২৫। উদ্দীপকটি লক্ষ কর :



(ক) গ্যালভানোমিটার বিচ্ছিন্ন অবস্থায় তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের 'X' Ω রোধটি, ব্রিজে প্রদত্ত কোনো একটি রোধের সাথে ব্যবহার করে সাম্যাবস্থা পাওয়া সম্ভব কি না—গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [ঢা. বো. ২০২৩]

(ক) ABC বাহুর রোধ = 8 + 16 = 24 Ω এবং ADC বাহুর রোধ = 24 + 32 = 56 Ω

ABC এবং ADC বাহুর রোধ সমান্তরালে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ,

$R_P = \frac{56 \times 24}{56 + 24} = \frac{1344}{80} = 16{\cdot}8\ \Omega$

বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ $= \frac{12}{16{\cdot}8} = 0{\cdot}714A$

(খ) $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

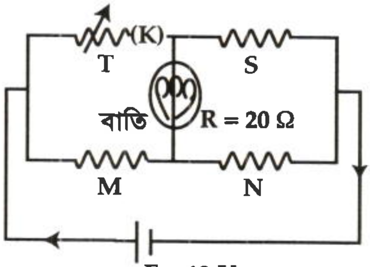
বা, $S = R \times \frac{Q}{P}$

$= 24 \times \frac{16}{8} = 48\ \Omega$

S′ বাহুতে 32 Ω রোধ যুক্ত আছে, X-এর 16 Ω রোধ S′-এর সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করলে মোট রোধ হবে 32 + 16 = 48 Ω যা বর্তনীর সাম্যাবস্থা সৃষ্টির জন্য প্রয়োজন।

সুতরাং X-এর 16 Ω চতুর্থ বাহুর রোধের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

২৬।



M, N এবং S তিনটি রোধ যাদের মান যথাক্রমে 18 Ω, 36 Ω এবং 40 Ω। T রোধটি পরিবর্তনশীল। প্রাথমিক অবস্থায় চাবি K টি খোলা রেখে বাতিটিতে 2 sec সময়ে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ নির্ণয় করা হয়।

(ক) প্রথম ক্ষেত্রে চাবি খোলা অবস্থায় উৎপন্ন তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর।

(খ) চাবিটি বন্ধ অবস্থায় পরিবর্তনশীল 'T' রোধকে কী অবস্থা অবলম্বন করলে উৎস থাকা সত্ত্বেও বাতিটি নিভে যাবে? সঠিক বর্তনী চিত্র অঙ্কনপূর্বক গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, উৎপন্ন তাপ,

$H = i^2Rt$

এখানে,

$M = 18\ \Omega$

$N = 36\ \Omega$

$S = 40\ \Omega$

$R = 20\ \Omega$

$E = 12\ V$

$t = 2\ sec$

চাবিটি খোলা অবস্থায় R ও S রোধদ্বয় শ্রেণিতে যুক্ত।

সুতরাং এদের তুল্য রোধ, $R_S = 20 + 40 = 60\ \Omega$

R_S ও N সমান্তরালে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ,

$R_P = \frac{50 \times 60}{40 + 60} = 24\ \Omega$

সুতরাং, মোট রোধ, $R = M + 24 = 18 + 24 = 42\ \Omega$

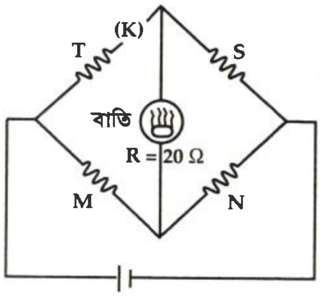
∴ বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{12}{42} = 0{\cdot}286\ A$

উৎপন্ন তাপ, $H = i^2Rt = (0{\cdot}286)^2 \times 42 \times 2 = 6{\cdot}87\ J$

(খ) বর্তনীর চিত্র অনুসারে এটি একটি হুইটস্টোন ব্রিজ।

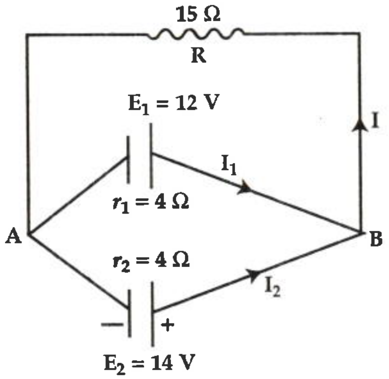
আমরা জানি, বাতির ভেতর দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ না থাকলে বাতিটি নিভে যাবে। ব্রিজটি সাম্যাবস্থায় আসবে যখন,

$\frac{M}{N} = \frac{T}{S}$ বা, $T = \frac{M}{N} S$ বা, $\frac{18}{36} \times 40 = 20\ \Omega$



সুতরাং, পরিবর্তনশীল রোধ T-এর রোধ 20 Ω হলে বাতিটি নিভে যাবে।

২৭।



(ক) উদ্দীপকে বর্তনীর I_1 নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে কোষ দুটিকে কীভাবে যুক্ত করলে বহিঃরোধে তাপ উৎপন্ন অধিক হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২৩]

(ক) কোণ দুটি সমান্তরালে যুক্ত।

$$i = \frac{\frac{E_1}{r_1}+\frac{E_2}{r_2}}{1+R\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)} = \frac{\frac{12}{4}+\frac{14}{4}}{1+15\left(\frac{1}{4}+\frac{1}{4}\right)} = \frac{\frac{12+14}{4}}{1+15\left(\frac{2}{4}\right)} = \frac{26}{4+30} = \frac{26}{34} = 0\text{·}765\text{A}$$

ABRA বর্তনী থেকে পাই,

$$i_1r_1 + iR = E_1$$

বা, $i_1r_1 = E_1 - R$

$$\therefore\ i_1 = \frac{E_1 - iR}{r_1} = \frac{12 - 0\text{·}765 \times 15}{4}$$

$$= \frac{12 - 11\text{·}5}{4} = \frac{0\text{·}5}{4} = 0\text{·}125\text{A}$$

$$i_2r_2 + IR = E_2$$

বা, $i_2 = \frac{14 - 0\text{·}765 \times 15}{4} = \frac{14 - 11\text{·}5}{4} = \frac{2\text{·}5}{4} = 0\text{·}625\text{A}$

সুতরাং, $I_1 = 0\text{·}125\text{A}$

(খ) কোষ দুটিকে শ্রেণিতে যুক্ত করলে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{nE}{R+nr} = \frac{E_1+E_2}{R+2\times 4}$$

$$= \frac{12+14}{15+8} = \frac{26}{23} = 1\text{·}13\text{A}$$

আমরা জানি, বহিঃবর্তনী রোধে তাপ উৎপন্ন বেশি হবে যদি তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ বেশি হয়। যেহেতু শ্রেণি সমবায়ে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ বেশি; সুতরাং বহিঃবর্তনী রোধে উৎপন্ন তাপ বেশি হবে।

২৮। 90 Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে 1 Ω রোধ সমান্তরালে যুক্ত আছে। বর্তনীর মূল প্রবাহ 3 A। এই গ্যালভানোমিটার দ্বারা 3 A-এর অধিক তড়িৎ প্রবাহ মাপা সম্ভব।

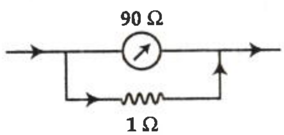
(ক) উদ্দীপকে 1 Ω রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িতের মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপক অনুসারে কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে 30 A তড়িৎ প্রবাহ মাপা সম্ভব? [য. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, শান্টের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ,

$$i_s = \frac{G \times i}{G+S}$$

$$\therefore\ i_s = \frac{90\times 3}{91} = 2\text{·}967\text{A}$$



এখানে,
$G = 90\ \Omega$
$S = 1\ \Omega$
$i = 3\text{A}$

(খ) মনে করি প্রয়োজনীয় শান্টের মান = s

আমরা জানি,

$$i_g = \frac{S}{S+G} \times i$$

বা, $\frac{i_g}{i} = \frac{S}{S+G}$

$\therefore$ $\frac{3}{30} = \frac{S}{S+90}$

বা, $\frac{1}{10} = \frac{S}{S+90}$

বা, $s + 90 = 10\,s$

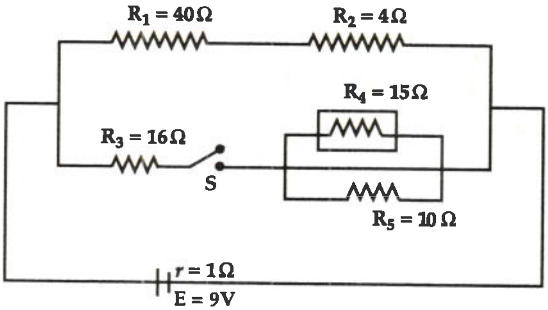
বা, $10\,S - S = 90$

বা, $9\,S = 90$

$\therefore$ $S = \frac{90}{9} = 10\,\Omega$

গ্যালভানোমিটারের সাথে $10\,\Omega$ শান্ট যুক্ত করলে 30A তড়িৎ প্রবাহ মাপা সম্ভব।

২৯।



(ক) বর্তনীর চাবি S খোলা অবস্থায় মূল প্রবাহমাত্রা কত?

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীর চাবি S বন্ধ অবস্থায় 10 min তড়িৎ প্রবাহ চালনার ফলে R_4 রোধের ফিউজটি গলে যাবে কি? তোমার উত্তর গাণিতিক বিশ্লেষণে দাও। [ফিউজটি 300 J তাপে গলে যাবে] [চ. বো. ২০২৩]

(ক) চাবি খোলা অবস্থায় বর্তনীতে R_1, R_2, r ও ব্যাটারি যুক্ত থাকে।

বর্তনীর মোট রোধ,

$$R = R_1 + R_2 + r = 40 + 4 + 1 = 45\Omega$$

$\therefore$ মূল প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{9}{45} = 0{\cdot}2A$

(খ) বর্তনীর চাবি S খোলা অবস্থায় বর্তনীর সকল রোধ বর্তনীতে যুক্ত থাকে।

R_4 ও R_5 রোধ দুটি সমান্তরালে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ, $R_P = \frac{15 \times 10}{15 + 10} = 6\Omega$

R_P এবং R_3 শ্রেণিতে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ, $R' = R_P + R_3 = 6 + 16 = 22\Omega$

আবার, R_1 ও R_2 শ্রেণিতে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ, $R'' = 40 + 4 = 44\Omega$

R' ও R'' সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ, $R = \frac{44 \times 22}{44 + 22} = 14{\cdot}67\Omega$

এখন, বর্তনীর মোট রোধ, $R_S = R + r = 14{\cdot}67 + 1 = 15{\cdot}67\Omega$

সুতরাং, বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, $i = \frac{9}{15{\cdot}67} = 0{\cdot}57A$

i এর এক অংশ R_1 ও R_2-এর ভেতর দিয়ে এবং অপর অংশ R_3, R_4 ও R_5-এর ভেতর দিয়ে প্রবাহিত হয়। R_3, R_4 ও R_5-এর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ i_2 হলে,

$$i_2 = \frac{44}{66} \times 0{\cdot}57 = 0{\cdot}38\text{ A}$$

এবং R_1 ও R_2-এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ, $i_1 = \frac{16+6}{66} \times 0{\cdot}57 = 0{\cdot}19A$

i_2-এর একাংশ R_4-এর মধ্য দিয়ে এবং অপর অংশ R_5-এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়।

R_4-এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ, $i_2' = \frac{10}{25} \times 0{\cdot}38 = 0{\cdot}152A$

অতএব, ফিউজ R_4-এর মধ্য দিয়ে $0{\cdot}152A$ তড়িৎ 10 min প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপ,

$$H = i_2'^2 R_4 t = (0{\cdot}152)^2 \times 15 \times 10 \times 60 = 208\ J$$

৩০। 12·5 রোধের একটি তারকে টেনে দ্বিগুণ করে একটি হিটারের কুণ্ডলী তৈরি করে এতে 220V সরবরাহ লাইনে যুক্ত করা হলো। কুণ্ডলীকে 30°C-এর পানিতে নিমজ্জিত করে 305 sec বিদ্যুৎ চালনা করা হলো। ধরে নিতে হবে সম্পূর্ণ তড়িৎ শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়েছে।

(ক) উদ্দীপকের তারটির দৈর্ঘ্য 12·5 cm ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 0·1 cm² হলে উপাদানের আপেক্ষিক রোধ কত?

(খ) উদ্দীপকের পানি কি ফুটবে? তোমার উত্তর গাণিতিক বিশ্লেষণে দাও। [চ. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি আপেক্ষিক রোধ,

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

$$\therefore \quad \rho = \frac{12{\cdot}5 \times 0{\cdot}1 \times 10^{-4}}{12{\cdot}5 \times 10^{-2}}$$

$$= 0{\cdot}1 \times 10^{-2} = 1 \times 10^{-3}\ \Omega\text{-m}$$

এখানে,
$R = 12{\cdot}5\ \Omega$
$A = 0{\cdot}1\ cm^2 = 0{\cdot}1 \times 10^{-4}\ m^2$
$l = 12{\cdot}5\ cm = 12{\cdot}5 \times 10^{-2}\ m$

(খ) এখানে, পানির ভর উল্লেখ নেই।

12·5 রোধের তারটি টেনে দ্বিগুণ করলে এর রোধ হবে = $12{\cdot}56 \times 2 = 25\Omega$

আবার, $i = \frac{V}{R} = \frac{220}{25} = 8{\cdot}8A$

উৎপন্ন তাপ, $H = i^2Rt$

$$\therefore \quad H = (8{\cdot}8)^2 \times 25 \times 305 = 590{\cdot}480\ J$$

এখানে,
$i = 8{\cdot}8\ A$
$R = 25\Omega$
$t = 305$ sec

পানি কর্তৃক গৃহীত তাপ, $H = mS\theta$

পানির ভর উল্লেখ নেই।

$$\therefore \quad H = m \times 4200 \times 70$$

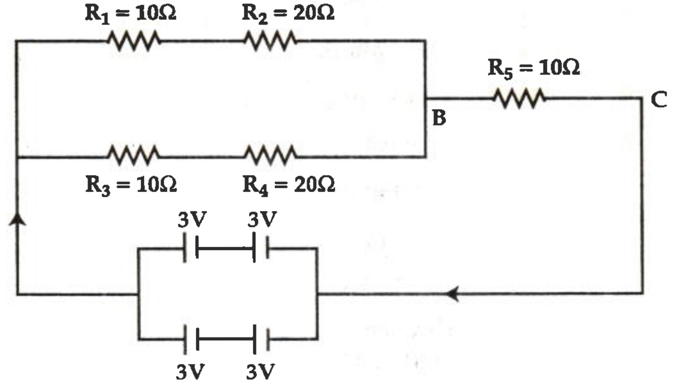
বা, $590{\cdot}480 = m \times 4200 \times 70$

$$\therefore \quad m = \frac{590{\cdot}480}{4200 \times 70} = 2\ kg$$

এখানে,
$\theta = 100 — 300 = 70°C = 70K$
$S = 4200\ Jkg^{-1}K^{-1}$

অর্থাৎ যদি পানির ভর 2 kg হয় তবে তা ফুটবে।

৩১।



(ক) বর্তনীর AB অংশের বিভব পার্থক্য কত?

(খ) R_5 রোধ অপসারণ করে বর্তনী সম্পূর্ণ করলে মূল প্রবাহের কীরূপ পরিবর্তন হবে—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। **[ব. বো. ২০২৩]**

(ক) R_1 ও R_2 এবং R_3 ও R_4 শ্রেণিতে যুক্ত।

সুতরাং $R_S' = 10 + 20 = 30\ \Omega$ এবং $R_S'' = 10 + 20 = 30\ \Omega$ এরা আবার সমান্তরালে যুক্ত সুতরাং এদের তুল্য রোধ,

$$R_P = \frac{R_S' \times R_S''}{R_S' + R_S''}$$

$$= \frac{30 \times 30}{30 + 30} = \frac{30 \times 30}{60}$$

$$= 15\ \Omega$$

বর্তনীর মোট রোধ, $R = R_P + R_S = 15 + 10 = 25\ \Omega$

এখন, বর্তনীর শ্রেণিতে যুক্ত দুটি কোষের মোট তড়িচ্চালক শক্তি $= 2 \times 3 = 6$ V। শ্রেণিতে যুক্ত অপর দুটি কোষের মোট তড়িচ্চালক শক্তি $= 2 \times 3 = 6$ V এরা সমান্তরালে যুক্ত। এদের যেহেতু অভ্যন্তরীণ রোধ 'O' সুতরাং এদের যেকোনো একটির তড়িচ্চালক শক্তি বর্তনীর তড়িচ্চালক শক্তি। অর্থাৎ E = 6 V। সুতরাং বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ,

$$E = \frac{6}{25} = 0{\cdot}24\ A$$

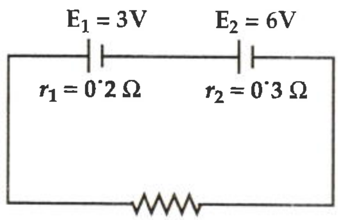
এখন, B অংশের বিভব পার্থক্য, $V_A - V_B = i \times R_P = 0{\cdot}24 \times 15 = 3{\cdot}6$ volt

(খ) R_5 অপসারণ করলে বর্তনীর তুল্য রোধ হবে $R_P = 15\ \Omega$

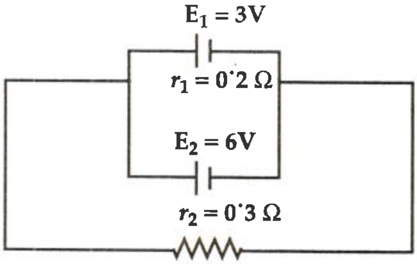
সুতরাং বর্তনীর মূল প্রবাহ, $i = \frac{6}{15} = 0{\cdot}4$ A

অর্থাৎ R_5 অপসারণ করলে বর্তনীর মূল প্রবাহ বৃদ্ধি পায়।

৩২।



বর্তনী ১



বর্তনী ২

(ক) বর্তনী ১-এর বহিঃরোধ R-এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) কোষের সমবায়ের ধরন পরিবর্তনের ফলে বহিঃরোধ R-এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের পরিবর্তন হয়—বর্তনী ১ ও বর্তনী ২-এর আলোকে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। **[সি. বো. ২০২৩]**

(ক) কোন দুটি শ্রেণিতে যুক্ত তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{nE}{R + nr}$$

$$= \frac{E_1 + E_2}{R + r_1 + r_2}$$

$$= \frac{3 + 6}{10 + 0{\cdot}2 + 0{\cdot}3} = \frac{9}{10{\cdot}5}$$

$$= 0{\cdot}857\ A$$

এখানে,

$n = 2$

(খ) বর্তনী ২-এ কোষদ্বয় সমান্তরালে যুক্ত।

$$\therefore \quad i_1 = \frac{\frac{E_1}{r_1}+\frac{E_2}{r_2}}{1+R\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)} = \frac{\frac{3}{0\cdot2}+\frac{6}{0\cdot3}}{1+10\left(\frac{1}{0\cdot2}+\frac{1}{0\cdot3}\right)}$$

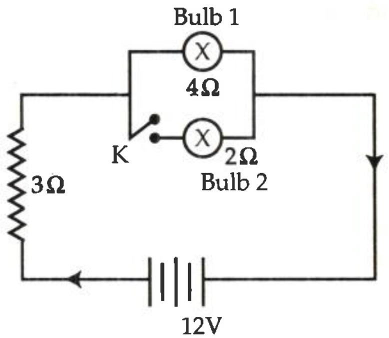
$$= \frac{\frac{3\times0\cdot3+6\times0\cdot2}{0\cdot2\times0\cdot3}}{1+10\left(\frac{0\cdot3+0\cdot2}{0\cdot2\times0\cdot3}\right)} = \frac{\frac{0\cdot9\times1\cdot2}{0\cdot2\times0\cdot3}}{\frac{0\cdot2\times0\cdot3+10\times0\cdot5}{0\cdot2\times0\cdot3}}$$

$$= \frac{1\cdot08}{0\cdot06+5} = \frac{1\cdot08}{5\cdot06} = 0\cdot213 \text{ A}$$

বর্তনী ১-এর R-এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য, $V_1 = C\times R = 0\cdot875\times10 = 875$ V এবং বর্তনী ২-এ R-এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য, $V_2 = i_1\times R = 0\cdot213\times10 = 2\cdot13$ V

বর্তনী ১-এ বিভব পার্থক্য বর্তনী ২-এর বিভব পার্থক্য অপেক্ষা বেশি।

৩৩। উদ্দীপকটি লক্ষ কর—



(ক) চাবি K খোলা অবস্থায় 3 Ω রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

(খ) চাবি K অন অবস্থায় বর্তনীর কোন বাল্বটি বেশি তাপশক্তি উৎপন্ন করবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[দি. বো. ২০২৩]

(ক) চাবি খোলা অবস্থায় বর্তনীর রোধ $= 3 + 4 = 7\,\Omega$

বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{12}{7} = 1\cdot7$A

সুতরাং 3 Ω রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য,

$V = R\times P = 3\times1\cdot7 = 5\cdot1$ V

(খ) চাবি অন অবস্থায় বর্তনীর bulb 1 ও + bulb 2 বর্তনীতে যুক্ত থাকবে bulb 1 bulb 2 সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। সুতরাং তুল্য রোধ,

$$R_P = \frac{4\times2}{4+2} = \frac{8}{6} = 1\cdot33\,\Omega$$

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ,

$$R = R_P + 3\,\Omega = 1\cdot33 + 3 = 4\cdot33\,\Omega$$

বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ, $I' = \frac{1^2}{4\cdot33} = 2\cdot77$ A

এখন, bulb 1 -এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ, $I_1 = \frac{2}{6}\times2\cdot77 = 0\cdot92$ A

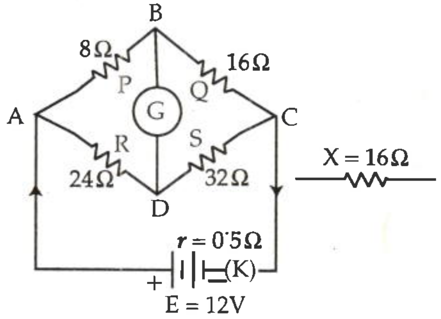
এবং bulb 2 " " " " " $I_2 = \frac{4}{6}\times2\cdot77 = 1\cdot85$ A

bulb 1-এর উৎপন্ন তাপশক্তি $= I_1{}^2R_1 = (0\cdot92)^2\times4 = 3\cdot38$ J

এবং bulb 2 " " $= I_2{}^2R^2 = (1\cdot85)^2\times2 = 6\cdot85$ J

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে, bulb 2-এ উৎপন্ন তাপশক্তি বেশি।

৩৪। নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ কর :



(ক) গ্যালভানোমিটার বিচ্ছিন্ন অবস্থায় উদ্দীপকের বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের 'X' Ω রোধটি, ব্রিজে প্রদত্ত কোনো একটি রোধের সাথে ব্যবহার করে সাম্যাবস্থা পাওয়া সম্ভব কি না—গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [ম. বো. ২০২৩]

(ক) ABC বাহুর রোধ $= 8 + 16 = 24\ \Omega$ এবং ADC বাহুর রোধ $= 24 + 32 = 56\ \Omega$

ABC এবং ADC বাহুর রোধ সমান্তরালে যুক্ত। এদের তুল্য রোধ,

$$R_P = \frac{56 \times 24}{56 + 24} = \frac{1344}{80} = 16.8\ \Omega$$

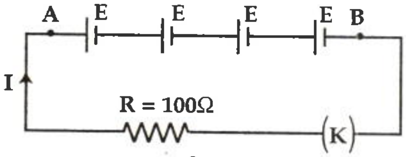
বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ $= \frac{12}{16.8} = 0.714\text{A}$

(খ) $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ বা, $S = R \times \frac{Q}{P} = 24 \times \frac{16}{8} = 48\ \Omega$

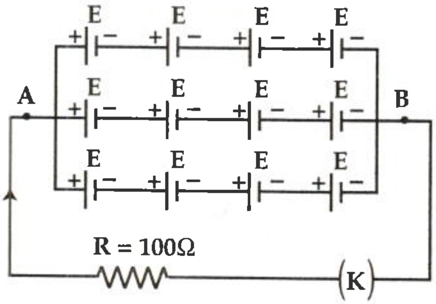
S′ বাহুতে $32\ \Omega$ রোধ যুক্ত আছে, X-এর $16\ \Omega$ রোধ S′-এর সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করলে মোট রোধ হবে $32 + 16 = 48\ \Omega$ যা বর্তনীর সাম্যাবস্থা সৃষ্টির জন্য প্রয়োজন।

সুতরাং X-এর $16\ \Omega$ চতুর্থ বাহুর রোধের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করতে হবে।

৩৫। চিত্র ১ ও চিত্র ২ এ প্রদর্শিত প্রত্যেকটি কোষের তড়িচ্চালক বল 1.5V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 1.5Ω বহিঃস্থ 100Ω রোধের সাথে যুক্ত করা আছে।



চিত্র ১



চিত্র ২

(ক) বর্তনী ২-এর প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনী ১ ও বর্তনী ২-এর মধ্যে কোনটির বহিঃরোধ বেশি উত্তপ্ত হবে? বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০২৪]

(ক) উদ্দীপক অনুযায়ী বর্তনী–২-এর বহিঃরোধ R-এর মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ,

$$I_R = \frac{nE}{nR + r} \quad \cdots \quad (1)$$

এখানে সমগ্র বর্তনীর অভ্যন্তরীণ তুল্যরোধ,

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{nr} + \frac{1}{nr} + \frac{1}{nr}$$

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}$$

$$\therefore \quad R' = \frac{6}{3} = 2\ \Omega$$

এখানে,

মোট কোষ সংখ্যা, $n = 12$, এবং প্রতিসারিতে কোষ সংখ্যা $= 4$

রোধ, $R = 100\ \Omega$

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 1.5\ \Omega$

$E = 1.5\ \text{V}$

$I_R = ?$

∴ বর্তনীর মোট তুল্যরোধ,

$R = R' +$ বর্তনীর বহিঃরোধ

$= 2 + 100 = 102\ \Omega$

∴ বর্তনীর মধ্যে দিয়ে প্রবাহ মাত্রা,

$$I_R = \frac{nE}{nR + r}$$

$$= \frac{12 \times 1.5}{12 \times 102 + 1.5}$$

$$= 0.0149\ A$$

(খ) বর্তনী–১ অনুযায়ী, যেহেতু কোষগুলো শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত কাজেই সমগ্র সমবায়টির তুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ R' হলে,

$$R' = n \times r = 4 \times 1.5 = 6\ \Omega$$

এখানে,
কোষ সংখ্যা, $n = 4$
অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 1.5\ \Omega$
$R = 100\ \Omega$

∴ বর্তনীর মোট রোধ,

$$R_1 = R' + R$$

$$R_1 = 6 + 100 = 106\ \Omega$$

∴ R-এর মধ্যে দিয়ে প্রবাহমাত্রা,

$$I_R = \frac{nE}{R_1 + \eta r} = \frac{4 \times 1.5}{106 + 6}$$

$$= \frac{6}{112} = 53.57 \times 10^{-3}\ A$$

$$= 0.0537\ A$$

আবার উদ্দীপকে বর্তনী–২ অনুযায়ী, প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $r = 1.5\ \Omega$, $E = 1.5\ V$, বহিঃরোধ $R = 100\ \Omega$ এবং কোষ সংখ্যা $n = 4$

∴ সমগ্র সমবায়টির তুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ,

$$\frac{1}{R''} = \frac{1}{nr} + \frac{1}{nr} + \frac{1}{nr}$$

$$= \frac{1}{4 \times 1.5} + \frac{1}{4 \times 1.5} + \frac{1}{4 \times 1.5}$$

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

∴ $R'' = 2\ \Omega$

অতএব বর্তনীর মোট তুল্য রোধ,

$$R_2 = R'' + R$$

$$= 2 + 100 = 102\ \Omega$$

∴ R-এর মধ্যে দিয়ে প্রবাহমাত্রা,

$$I_R' = \frac{nE}{nR_2 + r} = \frac{12 \times 1.5}{12 \times 102 + 1.5}$$

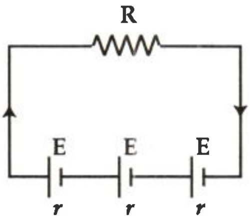
$$= \frac{18}{1204 + 1.5}$$

$$= 14.93 \times 10^{-3}\ A = 0.0149\ A$$

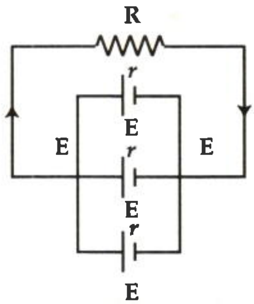
আমরা জানি, উৎপন্ন তাপ $H \propto I^2$, বর্তনীর প্রবাহমাত্রা যেখানে বেশি সেই বর্তনী বেশি গরম হবে। এক্ষেত্রে বর্তনী–১ এর প্রবাহমাত্রা বর্তনী–২ এর চেয়ে বেশি। কাজেই বর্তনী–১ বেশি গরম হবে।

অন্যভাবে : আবার $H \propto R$, যেহেতু বর্তনী–১ এর রোধ বর্তনী–২ অপেক্ষা বেশি কাজেই বর্তনী–১ বেশি উৎপন্ন হবে।

৩৬। উদ্দীপকে দুটি বর্তনী দেখানো হলো :



চিত্র ১



চিত্র ২

তড়িচ্চালক চল, $E = 3$ Volt
অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = 0.2\Omega$ এবং
বহিঃরোধ, $R = 30\Omega$

(ক) ১নং বর্তনীতে মূল প্রবাহ বের কর।

(খ) উদ্দীপকের আলোকে কোন বর্তনীতে একক সময়ে অধিক শক্তি অপচয় হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২৪]

(ক) এখানে তিনটি সিরিজে যুক্ত আছে বর্তনীর মোট তড়িৎচালক বল, $E_{net} = 3E$ এবং বর্তনীর মোট তুল্য রোধ $R_{eq} = R + 3r$

সুতরাং ১নং বর্তনীতে মোট প্রবাহ,

$$I = \frac{3E}{R + 3r} = \frac{9}{30.06}\frac{\text{volt}}{\Omega} = 0.294118 \text{ A}$$

দেওয়া আছে,

$E = 3$ volt

$\therefore E_{net} = 3E = 9$ volt

$R = 30\ \Omega$

$r = 0.2\ \Omega$

$\therefore R_{eq} = R + 3r = (30 + 0.6)\ \Omega = 30.6\ \Omega$

(খ) দ্বিতীয় বর্তনীর তিনটি কোষ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত থাকায় বর্তনীর মোট তড়িৎচালক বল $E_{net} = E$ কিন্তু বর্তনীর কোষগুলোর মোট অভ্যন্তরীণ রোধ,

$$\frac{1}{r_{eq}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{1+1+1}{r} = \frac{3}{r}$$

$$\therefore r_{eq} = \frac{r}{3} = \frac{0.2}{3} = 0.0667\ \Omega$$

সুতরাং দ্বিতীয় বর্তনীর মোট রোধ,

$$R_{eq} = nR + r_{eq} = 3 \times 30 + 0.0667\ \Omega = 90.0667\Omega$$

সুতরাং দ্বিতীয় বর্তনীতে মোট প্রবাহ,

$$I_2 = \frac{nE}{nR + r_{eq}} = \frac{3 \times 3 \text{ volt}}{90.0667\ \Omega} = 0.0998 \text{ A}$$

অতএব দ্বিতীয় বর্তনীতে ব্যয়িত শক্তির পরিমাণ,

$$P_2 = I_2^2 \times R_{eq} = (0.0998 \text{ A})^2 \times (90.0667\ \Omega) = 0.897 \text{ W}$$

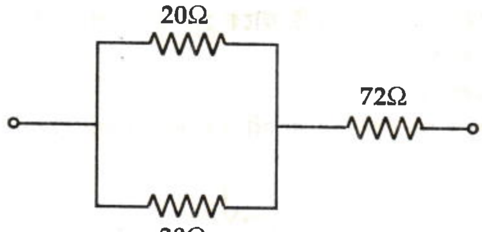
অন্যদিকে ১ম বর্তনীতে ব্যয়িত শক্তির পরিমাণ,

$$P_1 = I_1^2 \times R_{1_{eq}} = (0.29411 \text{ A})^2 \times (30.06\ \Omega) = 2.647 \text{ W}$$

দেখা যাচ্ছে $\frac{P_1}{P_2} = \frac{2.647}{0.897}$ $\therefore P_1 = 2.95 \times P_2$

অতএব আমরা বলতে পারি প্রথম বর্তনীতে দ্বিতীয় বর্তনীর 2.95 গুণ (প্রায় 3 গুণ) বেশি শক্তির অপচয় হবে।

৩৭।



চিত্র ১ : রোধের সমাবেশ

চিত্র ২ : রোধের ভিন্ন সমাবেশ

চিত্র ১–এর রোধের সমাবেশকে 12V তড়িৎ উৎসের সাথে যুক্ত করায় বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ শুরু হয়। সময়ের সাথে সাথে বর্তনীর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং প্রবাহমাত্রা কমতে থাকে। কোনো এক পর্যায়ে প্রবাহমাত্রা $\frac{1}{7}$ Amp হয়। [রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক, $\alpha = 0.05/°C$]

(ক) বর্তনীর প্রবাহমাত্রা হ্রাস পেয়ে $\frac{1}{7}$ Amp হলে বর্তনীর তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি পায়? নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনীর রোধগুলোর সমাবেশ চিত্র ২–এর মতো হলে প্রবাহমাত্রার তাৎক্ষণিক কী পরিবর্তন হবে তার গাণিতিক বিশ্লেষণ দাও।

[কু. বো. ২০২৪; য. বো. ২০২৪]

(ক) চিত্র ১ অনুসারে তাপমাত্রা বৃদ্ধি ΔT হলে,

আমরা জানি,

$$R_T = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

বা, $1 + \alpha\Delta T = \frac{R_T}{R_0}$

বা, $\Delta T = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{R_T}{R_0} - 1\right) = \frac{1}{0.05}\left(\frac{84}{R_0} - 1\right)$

$= 20\left(\frac{84}{R_0} - 1\right)$

$= 20\left(\frac{84}{14} - 1\right) = 100°C$

এখানে,

ধরি বর্তনীর তাপমাত্রা হ্রাসে রোধ R_0 এবং প্রবাহ মাত্রা $= I = 1$ Amp ধরি

$\therefore\ I' = \left(1 - \frac{1}{7}\right) = \frac{6}{7}$ Amp

$V = 12$ Volt

I′ প্রবাহের জন্য রোধ বা তাপমাত্রা হ্রাসে রোধ,

$\therefore\ R_0 = \frac{12 \times 7}{6} = 14\Omega$

$\alpha = 0.05/°C$

$R_T = \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{30}\right)^{-1} + 72$

$= 12 + 72 = 84\ \Omega$

বি.দ্র. : R_0 এর মান জানা না থাকলে ΔT নির্ণয় করা সম্ভব না।

(খ) চিত্র ২–এর তুল্য রোধ,

$R_S = (20 + 30 + 72)\ \Omega = 122\ \Omega$

এক্ষেত্রে প্রবাহ মাত্রা হবে,

$I_2 = \frac{V}{R_S} = \frac{12\ V}{122\ \Omega} = 0.0984$ A

উদ্দীপক মতে, চিত্র ১–এ তুল্য রোধ (চিত্র ২–এর মতো)

$\therefore\ R = 20 + 30 + 72 = 122\Omega$

$\therefore$ প্রবাহমাত্রা, $I_1' = \frac{V}{122} = \frac{12}{122} = 0.0984A$

চিত্র ১–এর প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \frac{V}{R} = \frac{12}{84} = \frac{1}{7} = 0.143$ A

$\therefore\ \frac{I_1}{I'_1} = \frac{0.143}{0.0984} = 1.45$

$\therefore\ I_1 = 1.45 \times I_1'$

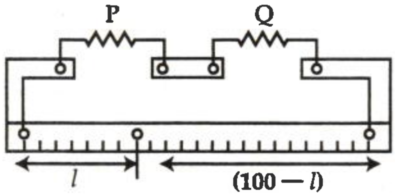
দ্বিতীয় ক্ষেত্রে রোধ বেশি হওয়ায় প্রবাহমাত্রা ১ম ক্ষেত্রের তুলনায় কম। যেহেতু চিত্র ১–এর রোধগুলোর সমবায় চিত্র ২–এর অনুরূপ করায় তুল্য রোধ বৃদ্ধি পাওয়ার ফলে তাৎক্ষণিকভাবে প্রবাহ মাত্রাও প্রায় 1.45 গুণ কমে যায়।

৩৮। ইলেকট্রিসিটি ল্যাবরেটরিতে একটি মিটার ব্রিজের একটি ফাঁকে 2Ω এবং অপর ফাঁকে 3Ω রোধ সংযুক্ত আছে। শিক্ষার্থীরা নিস্পন্দ বিন্দু ঠিক মাঝখানে পেতে চাচ্ছে।

(ক) নিস্পন্দ বিন্দু কোথায় পাওয়া যাবে? নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপক অনুযায়ী শিক্ষার্থীদের উদ্দেশ্য সফল করার জন্য কী পদক্ষেপ নেওয়া যেতে পারে? গাণিতিক বিশ্লেষণপূর্বক উত্তর দাও। [য. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, মিটার ব্রিজের ক্ষেত্রে,



$$\frac{P}{Q} = \frac{l}{100 - l}$$

বা, $P(100 - l) = Ql$

বা, $100P - Pl = Ql$

বা, $100P = (P + Q)l$

বা, $l = \frac{100\,P}{P + Q} = \frac{100 \times 2}{2 + 3} = 40\text{ cm}$

দেওয়া আছে,
$P = 2\,\Omega$
$Q = 3\,\Omega$

সুতরাং নিষ্পন্দ বিন্দু 40 cm দূরে পাওয়া যাবে।

(খ) আমরা জানি,

$$\frac{P}{Q} = \frac{l}{100 - l}$$

নিষ্পন্দন বিন্দু মাঝখানে থাকলে $l = 50$ cm

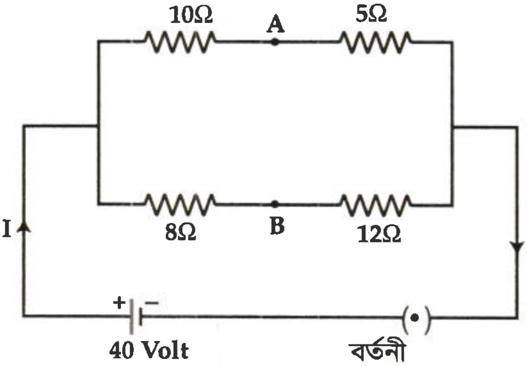
[∵ শিক্ষার্থীরা নিস্পন্দ বিন্দু ঠিক মাঝখানে পেতে চাচ্ছে তাই, $l = 50$ cm হবে]

বা, $\frac{P}{Q} = \frac{50}{100 - 50} = 1$

$\therefore\ P = Q$

সুতরাং আমরা বলতে পারি, উদ্দীপক অনুযায়ী শিক্ষার্থীদের সফল হতে হলে P ও Q মান সমান নিতে হবে।

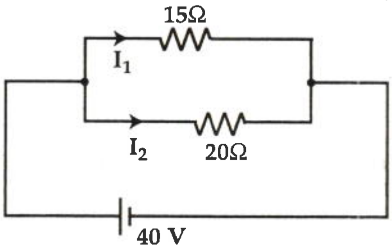
৩৯। নিচের বর্তনীটি লক্ষ কর :



(ক) বর্তনীর A বিন্দুতে বিভব নির্ণয় কর।

(খ) বর্তনীকে 20°C তাপমাত্রায় 2 kg পানিতে ডুবিয়ে 1 ঘণ্টা চালু রাখলে পানি বাষ্পীভূত হবে কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০২৪]

(ক) উদ্দীপকের বর্তনীর তুল্য বর্তনী নিম্নরূপ :



যেহেতু রোধ দুটি সমান্তরাল সমবায়ে সজ্জিত, কাজেই কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমান।

এখানে, বর্তনী অনুযায়ী

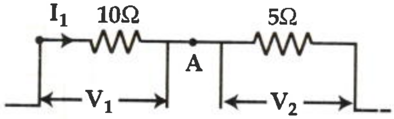
$$I_1 = \frac{40}{15} = 2{\cdot}66\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{40}{20} = 2\text{A}$$

আবার বর্তনী চিত্র অনুযায়ী, এক্ষেত্রে 10Ω রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য,

$V_1 = 2.66 \times 10 = 26.66$ V

এবং 5Ω রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য,



$V_2 = 2.66 \times 5 = 13.30$ V

∴ A বিন্দুতে বিভব,

$V_A = |V_1 - V_2|$

$= 26.66 - 13.30 = 13.36$ V

(খ) শর্তানুসারে,

$$ms\Delta\theta = I^2Rt = \frac{V^2t}{R}$$

বা, $\Delta\theta = \frac{V^2t}{msR} = \frac{(40)^2 \times 3600}{2000 \times 1 \times 8.57} = 80°C$

বাষ্পীভূতের জন্য প্রয়োজনীয় তাপমাত্রা θ_2 হলে,

$\theta_2 - 20°C = 80°C$

এখানে,

ভর, $m = 2$ kg $= 2000$ gm

$t = 1h = 3600$ s

$V = 40$ V

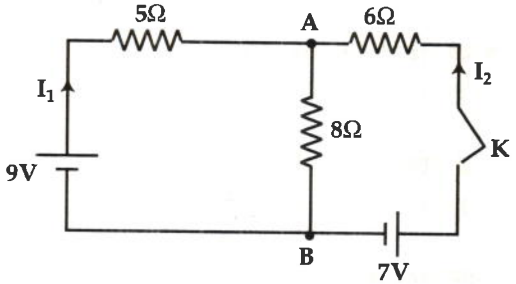
তুল্য রোধ, $\frac{1}{R} = \frac{1}{25} + \frac{1}{20}$

∴ $R = 8.57\ \Omega$

$\Delta\theta$ = বর্তনীতে উৎপন্ন তাপমাত্রা

বা, $\theta_2 = 80°C + 20°C = 100°C$; অর্থাৎ পানি বাষ্পীভূত হতে শুরু করবে।

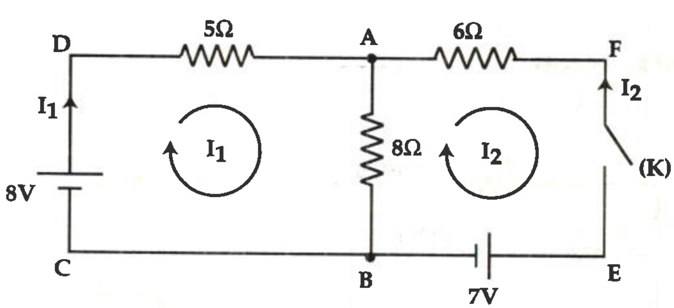
৪০। নিচের বর্তনীটি লক্ষ কর :



(ক) চাবি K খোলা (OFF) অবস্থায় AB-এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) চাবি K বন্ধ (ON) এবং খোলা (OFF) অবস্থায় AB-এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের পরিবর্তন গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০২৪]

(ক)



চাবি K খোলা থাকাবস্থায় বর্তনীটি নিম্নরূপ হবে। এখন বর্তনীর তুল্য রোধ, $R = (5 + 8) = 13\Omega$

এখানে, $E = 8V$

∴ প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{8}{13}$ A

$= 0.615$ A

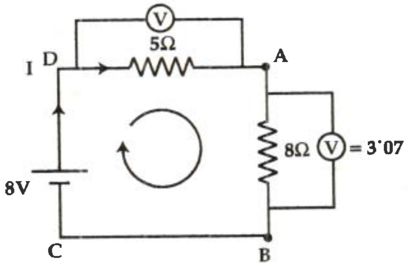
এখানে,

$E = 8V$

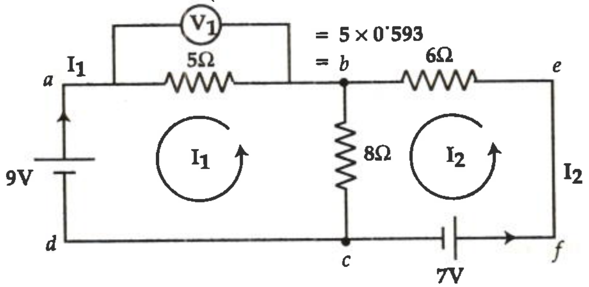
$I = ?$

(খ) চাবি খোলা অবস্থায়,

$\therefore$ AB-এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য, $V = \frac{8}{13} \times 8 = 4·92$ V



চাবি K বন্ধ থাকা অবস্থায় বর্তনীটি নিম্নরূপ হবে :



প্রথমে *badc* লুপে কির্শফের ২য় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$-8(I_1 - I_2) - 5I_1 + 9 = 0$$

বা, $-13I_1 + 8I_2 + 9 = 0$ ... ... (i)

এখন *cfeb* লুপে কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$-7 + 6I_2 + 8(I_2 - I_1) = 0$$

$-8I_1 + 14I_2 - 7 = 0$ ... ... (ii)

(i) ও (ii)নং সমীকরণ সমাধান করে পাই,

$I_1 = 1·54$ A

$I_2 = 1·38$ A

এখন AB এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য,

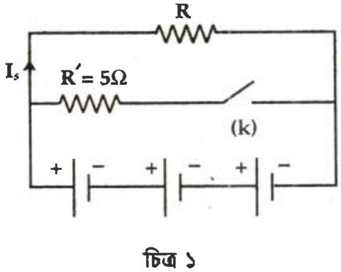
$V' = (I_1 - I_2) \times 8$

$= (1·54 - 1·38) \times 8 = 1·28$ V

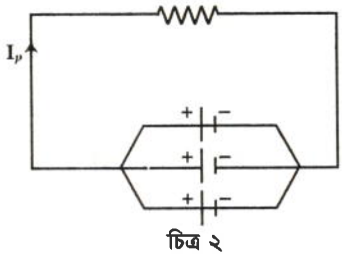
$\therefore$ বিভব পার্থক্যের পরিবর্তন,

$\Delta V = (4·92 - 1·28)^2$ V $= 3·64$ V

৪১।



চিত্র ১



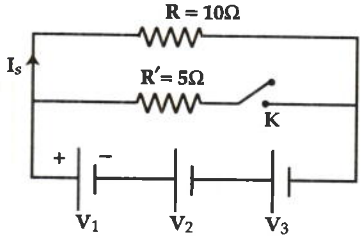
চিত্র ২

বর্তনীতে উল্লেখিত প্রতিটি তড়িৎ কোষের মান 1·5 V। তড়িৎ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ 0·2Ω এবং বহিঃস্থ রোধ R = 10Ω।

(ক) ১নং বর্তনীতে চাবি বন্ধ অবস্থায় R′ রোধের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

(খ) চাবি খোলা অবস্থায় চিত্র ১ ও চিত্র ২-এর মধ্যে কোন ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা অধিক হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণ করে মতামত দাও। [সি. বো. ২০২৪]

(ক)



চাবি বন্ধ অবস্থায় R ও R′ সমান্তরাল সমবায়ে থাকবে

$$\therefore \frac{1}{R_P} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5}$$
$$= \frac{1+2}{10} = \frac{3}{10}$$
$$R_P = \frac{10}{3} = 3.33\Omega$$

বর্তনীতে তিনটি কোষ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে তাই কোষগুলোর মোট বিভব,

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$
$$= 1.5 + 1.5 + 1.5 = 4.5\ V$$

∴ বর্তনীতে প্রবাহিত মোট বিদ্যুৎ,

$$I = \frac{V}{R_P + 3r}$$
$$= \frac{4.5}{3.33 + 3 \times 0.2}\ \text{amp}$$
$$= \frac{4.5}{3.93} = 1.15\ \text{amp}$$

এখানে,
r = প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ = 0.2Ω
$R_P = R = 3.33\Omega$

P যেহেতু R ও R′ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত তাই এদের দুই প্রান্তের বিভব কোষগুলোর প্রান্তীয় বিভব পার্থক্যের সমান।

$$V = IR = (1.15 \times 3.33)\ \text{volt}$$
$$= 3.83\ \text{volt}$$

(খ) চাবি খোলা অবস্থায় ১ম সার্কিটের মোট প্রবাহমাত্রা,

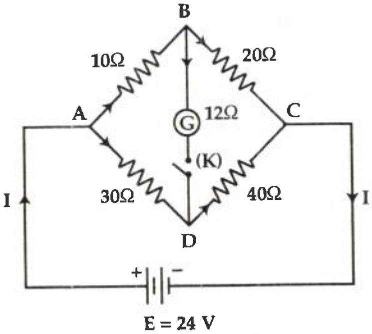
$$I_1 = \frac{nF}{R + nr}$$
$$I_1 = \frac{V}{R + 3r} = \frac{4.5}{10 + 3 \times 0.2}$$
$$= \frac{4.5}{10.6} = 0.425\ \text{amp}$$

২য় সার্কিটের মোট প্রবাহমাত্রা,

$$I_2 = \frac{mE}{mR + r} = \frac{3 \times 1.5}{3 \times 10 + 0.2}$$
$$= \frac{4.5}{30.2} = 0.149\ A$$

এখানে, $I_1 > I_2$, সুতরাং, দেখা যায় যে, চিত্র ১-এ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা অধিক হবে।

৪২। চিত্রটি লক্ষ কর :



(ক) চাবি (k) খোলা অবস্থায় ADC পথে প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

(খ) চাবি বন্ধ করলে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে গতিশীল প্রবাহ মূল প্রবাহের এক–তৃতীয়াংশ হবে কি না— গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [দি. বো. ২০২৪]

(ক) চাকি খোলা অবস্থায় বর্তনীটি নিম্নরূপ হবে :

এক্ষেত্রে 10Ω এবং 20Ω শ্রেণিতে যুক্ত

কাজেই মোট রোধ, $R_1 = 10 + 20 = 30\Omega$

আবার 30Ω ও 40Ω রোধ দুটি পুনরায় শ্রেণিতে যুক্ত

$\therefore$ মোট রোধ, $R_2 = 30 + 40 = 70\Omega$

$\therefore$ বর্তনীর তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{30} + \frac{1}{70} = \frac{70+30}{2100} = \frac{100}{2100}$$

$$\therefore \quad R_P = \frac{210}{100}\Omega = 21\Omega$$

$\therefore$ বর্তনীতে মোট প্রবাহ,

$$I = \frac{E}{R_P} = \frac{24}{21} = 1.143 \text{ A}$$

A এবং C বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য,

$$V = I \times R_P = 1.143 \times 21 = 24 \text{ V}$$

ADC পথে I_2 কারেন্ট প্রবাহিত হলে,

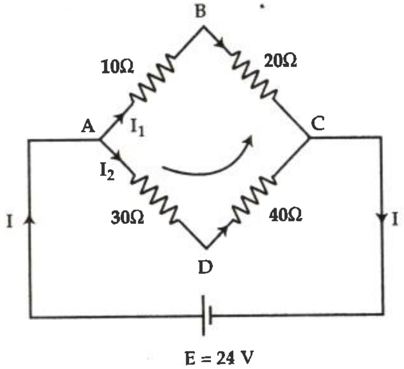
$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{24}{70} = 0.342 \text{ A}$$

(খ) আবার চাবি বন্ধ অবস্থায় B বিন্দুতে কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$-10\,I_1 - 20\,I_2 - 24 = 0 \quad \ldots \quad (i)$$

আবার D বিন্দুতে কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$30\,I_1 + 40\,I_2 - 24 = 0 \quad \ldots \quad (ii)$$



সমীকরণ (i) ও (ii) সমাধান করে পাই ক্যালকুলেটরের সাহায্যে,

$$(I_1, I_2) = (7.2, -4.8)$$

$\therefore$ মূল প্রবাহ, $I = |I_1| + |I_2| = 7.2 + 4.8 = 12 \text{ A}$

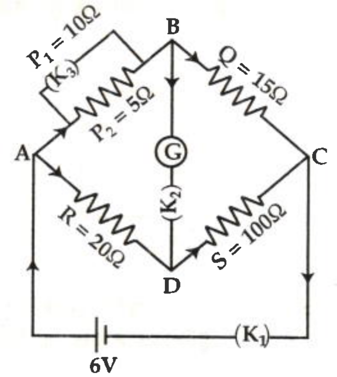
এখন গ্যালভানোমিটারের মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ,

$$I_G = |I_1| - |I_2| = 7.2 - 4.8 = 2.4 \text{ A}$$

$$\therefore \quad \frac{I_G}{I} = \frac{2.4}{12} = \frac{1}{5} \quad \therefore \ I_G = \frac{1}{5} \times I$$

এক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ মূল প্রবাহের এক-পঞ্চমাংশ। সুতরাং বলা যায় গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ গতিশীল মূল প্রবাহের এক-তৃতীয়াংশ অপেক্ষা হবে না।

৪৩।



(ক) শুধুমাত্র K_1 চাবি বন্ধ অবস্থায় উদ্দীপকের বর্তনীতে মোট প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের বর্তনীর সবগুলো চাবি বন্ধ অবস্থায় P_1 রোধের কীরূপ পরিবর্তন করলে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হবে না? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ম. বো. ২০২৪]

(ক) AB ও BC বাহুর রোধ শ্রেণি সমবায়ে সংযুক্ত এবং K_1 চাবি বন্ধ, K_2, K_3 খোলা।

$R_{ABC} = 5 + 15 = 20\Omega$

$R_{ADC} = (20 + 100) = 120\Omega$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{ABC}} + \frac{1}{R_{ADC}}$$
$$= \frac{1}{20} + \frac{1}{120}$$
$$= \frac{24+1}{120} = \frac{25}{120}$$
$$R = \frac{120}{35} = \frac{24}{5}\Omega$$

আবার,

$$V = RI$$
$$I = \frac{V}{R} = \frac{6V}{\frac{24}{5}}\Omega$$
$$= \frac{6 \times 5}{24}\text{Amp}$$
$$= \frac{5}{4}\text{Amp} = 1{\cdot}25\text{ A}$$

(খ) উক্ত বর্তনীতে গ্যালভানোমিটারের মধ্যে দিয়ে কোনো প্রবাহ চলবে না যখন $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ হয়।

P বাহুতে P_1 রোধটি 5Ω এর সাথে সমান্তরালে যুক্ত করলে মোট রোধ হয়,

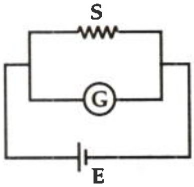
$$\frac{1}{P} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{5} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5}$$
$$= \frac{5+10}{50} = \frac{15}{50}$$
$$\therefore P = \frac{50}{15} = \frac{10}{3}\Omega$$
$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{10}{3} \times \frac{1}{15} = \frac{10}{45} = 0{\cdot}22\Omega$$

আবার, $\frac{R}{S} = \frac{20}{100} = \frac{1}{5} = 0{\cdot}20\Omega$

এক্ষেত্রে $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ হয়

কাজেই P_1 রোধটিকে 5Ω-এর সাথে সমান্তরালে যুক্ত করলে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোনো প্রবাহ চলবে না।

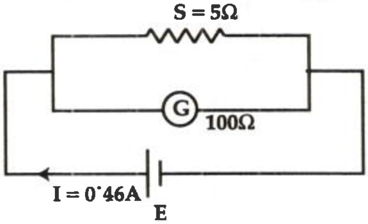
৪৪। 100Ω রোধের গ্যালভানোমিটার, 5Ω শান্ট নিয়ে একটি তড়িৎ বর্তনী তৈরি করা হলো। গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ 0·46 A।



(ক) শান্টের প্রবাহ বের কর।

(খ) "বর্তনীর শান্টের সাথে 5Ω মানের আরো একটি রোধ শ্রেণিতে যুক্ত করলে মূল প্রবাহের 20% গ্যালভানোমিটার দিয়ে প্রবাহিত হবে"—উক্তিটির সত্যতা গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ম. বো. ২০২৪]

(ক) শান্টের প্রবাহ I_s হলে,



$$Is = \frac{G \times I}{G+S} = \frac{100 \times 0{\cdot}46}{100+5} = 0{\cdot}438 \text{ A}$$

এখানে,
$G = 100\ \Omega$
$S = 5\Omega$
$I = 0{\cdot}46\text{A}$
$I_s = ?$

(খ) বর্তনীতে শান্টের সাথে 5Ω-এর আর একটি রোধ শ্রেণিতে যুক্ত করলে শান্টের রোধ হবে,

$S' = (5+5)\Omega = 10\Omega$

গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ,

$$I'_G = \frac{S' \times I}{G+S'} = \frac{10 \times 0{\cdot}46}{100+10} = 0{\cdot}0418 \text{ A}$$

∴ গ্যালভানোমিটারের মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ মূল প্রবাহের শতকরা হার,

$$= \frac{0{\cdot}018}{0{\cdot}46} \times 100\% = 9{\cdot}086\%$$

এখানে গ্যালভানোমিটারের মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ মূল প্রবাহের 9·086% যা উদ্দীপকে উল্লেখিথ 20% অপেক্ষা কম। কাজেই উক্তিটি সত্য না।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। তাপমাত্রা, উপাদান ও দৈর্ঘ্য স্থির থাকলে পরিবাহী তারের রোধ এর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক।

২। একটি তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করলে এবং প্রস্থচ্ছেদ-এর ক্ষেত্রফল অর্ধেক করলে এর রোধ চারগুণ হবে।

৩। আপেক্ষিক রোধ নির্ভর করে পরিবাহীর উপাদানের ওপর এবং তাপমাত্রার ওপর।

৪। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে পরিবাহীর পরিবাহকত্ব কমে যায়। কিন্তু অর্ধপরিবাহীর পরিবাহকত্ব বৃদ্ধি পায়।

৫। হুইটস্টোন ব্রিজ নীতির ওপর নির্ভর করে পোস্ট অফিস বক্স ও মিটার ব্রিজ তৈরি করা হয়।

৬। পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে কোষের তড়িৎচালক শক্তি ও অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করা হয়।

৭। হুইটস্টোন ব্রিজে সাম্যাবস্থা বিঘ্নিত হবার কারণ—(ক) যখন পরিবর্তিত রোধের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা হয়। (খ) যখন তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক বলের মান পরিবর্তিত হয়। (গ) যখন গ্যালভানোমিটার ও তড়িৎ কোষের অবস্থানের বিনিময় হয়।

৮। $\frac{S+G}{S}$ রাশিটি শান্টের ক্ষমতা গুণক নামে পরিচিত।

৯। একটি তারের রোধ $r\ \Omega$, তারটিকে টেনে দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হলে এর রোধ হবে $4r\ \Omega$।

১০। টিন ও সীসার মিশ্রণে ফিউজ তৈরি করা হয়।

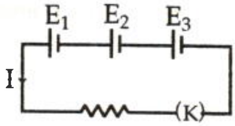
১১। ও'মের সূত্রের স্বাধীন চলক হচ্ছে বিভব পার্থক্য।

১২। ও'মের সূত্রানুসারে I—V লেখচিত্রটি মূল বিন্দুগামী সরলরেখা হবে না জার্মেনিয়ামের ক্ষেত্রে।

১৩। বিভব পার্থক্য অপরিবর্তিত রেখে রোধ দ্বিগুণ করলে তড়িৎ প্রবাহ অর্ধেক হবে।

১৪। দুটি তড়িৎবাহী সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের ক্ষেত্রে—(ক) প্রবাহ দুটি সমমুখী হলে পরিবাহী দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ করে। (খ) প্রবাহ বিপরীতমুখী হলে পরিবাহীদ্বয় পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

১৫। একটি তারকে দুই ভাগে ভাগ করা হলে—(১) উপাদান একই থাকে (২) আপেক্ষিক রোধ একই থাকে।

১৬।  এই বর্তনীর ক্ষেত্রে ব্যাটারির তুল্য তড়িচ্চালক শক্তি 3E এবং মূল তড়িৎ প্রবাহের মান $I = \frac{3E}{R+3r}$.

১৭। রোধাঙ্ক নির্ভর করে পদার্থের প্রকৃতির ওপর।

১৮। পরিবাহীর রোধ ও প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকা অবস্থায় প্রবাহমাত্রা এক তৃতীয়াংশ করলে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ হবে $\frac{1}{9}$ গুণ।

১৯। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বাড়ানো যায়—(১) তড়িৎ প্রবাহ বাড়িয়ে (২) সলিনয়েডের প্যাচ সংখ্যা বাড়িয়ে।

২০। অ্যালুমিনিয়ামের উষ্ণতা সহগ $3{\cdot}9 \times 10^{-3}\,(°C)^{-1}$।

২১। চার্জ প্রবাহের হার পরিমাপের একক অ্যাম্পিয়ার।

২২। কার্বন পদার্থের রোধের উষ্ণতা সহগের মান ঋণাত্মক।

২৩। নির্দিষ্ট সময় ধরে নির্দিষ্ট পরিবাহকে তড়িৎ প্রবাহিত করলে সৃষ্ট তাপের পরিমাণ হবে প্রবাহিত তড়িতের বর্গের সমানুপাতিক।

২৪। বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের কোনো পরিবাহীর ব্যাসার্ধ অর্ধেক করা হলে রোধ হবে চারগুণ।

২৫। কির্শফের লুপ উপপাদ্যটি হলো—শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি।

২৬। রোধ তড়িৎ প্রবাহের ওপর নির্ভর করে না।

২৭। কিলোওয়াট ঘণ্টা (KWh) শক্তির একক।

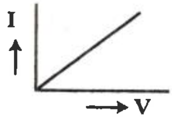
২৮। রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বা তাপমাত্রা গুণাঙ্কের একক $°C^{-1}$ বা K^{-1}।

২৯। ম্যাঙ্গানিন নামক সংকর ধাতুর রোধ উষ্ণতার পরিবর্তনে খুব সামান্য পরিবর্তিত হয়।

৩০। পরিবাহীর রোধ স্থিতিস্থাপক ধর্মের ওপরে নির্ভর করে না।

৩১। তাড়ন বেগ ও প্রবাহ ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক হলো $v = \frac{j}{ne}$।

৩২। ও'মের সূত্রের I-V লেখচিত্র।



৩৩। পরিবাহিতার একক সিমেন্স (S)। $1S = 1\,AV^{-1}$।

৩৪। $1\text{ kWh} = 3{\cdot}6 \times 10^6$ J। তড়িচ্চালক বলের একক J/coul. বা ভোল্ট।

৩৫। যখন বহিঃবর্তনীতে কোনো প্রবাহ থাকে না, তখন E = V।

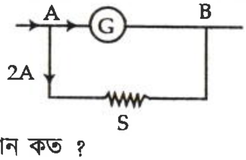
৩৬। গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য শূন্য হলে বিক্ষেপ শূন্য হয়।

৩৭। $R >> \frac{r}{n}$ হলে $I = \frac{E}{R}$; তখন প্রবাহমাত্রা একটি কোষ যে প্রবাহমাত্রা প্রদান করে তার সমান। পক্ষান্তরে $R << \frac{r}{n}$ হলে $I = \frac{nE}{r}$ অর্থাৎ মোট প্রবাহমাত্রা একটি কোষের প্রবাহমাত্রার n গুণ।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১।



I-এর মান কত ?

[রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন), ২০১৫]

ⓚ 2·2 A
ⓚ 0·2 A
ⓖ 2 A
ⓘ 1·8 A

২। তাপের যান্ত্রিক সমতার একক হলো—

[দি. বো. ২০২৩; ম. বো. ২০২২; সকল বোর্ড ২০১৮]

ⓚ ক্যালরি/গ্রাম
ⓚ জুল/ক্যালরি
ⓖ ক্যালরি/জুল
ⓘ জুল–ক্যালরি