Chapter-2 (Phy-2nd)

# স্থির তড়িৎ (Static electricity)



## Topic: 01: Basic Introduction:

* তড়িৎ (Electricity)
↓
চার্জ বা আধান

**তড়িৎ:** আধান বা চার্জের প্রকৃতি বা ক্রিয়াকে তড়িৎ বলে।

তড়িৎ (Electricity)
- → স্থির তড়িৎ (Static electricity)
- → চল তড়িৎ (Current electricity)

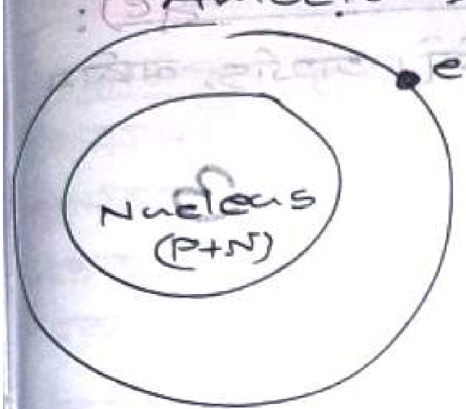
স্থির ← চার্জ → গতিশীল

**স্থির তড়িৎ:** স্থির আধানের প্রকৃতি বা ক্রিয়াকে স্থির তড়িৎ বলে।

**আধান:**
- → ধনাত্মক আধান (Positive charge) (+ve)
- → ঋণাত্মক আধান (Negative charge) (-ve)

* সমধর্মী আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।
* বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

:(১) Amber → গ্রীক word → electron → electricity




$m_p \approx m_n \approx 1.7\times10^{-27}$ kg

Neutron → আধান নিরপেক্ষ

Proton → Positively charged

$q_p = +1.6\times10^{-19}$ C

2

$m_e = 9.11\times10^{-31}$ kg

$q_e = -1.6\times10^{-19}$ C

$$\frac{m_p}{m_e} = \frac{1.7\times10^{-27}}{9.11\times10^{-31}} = 1866$$

$$\boxed{\therefore m_p = 1866\, m_e}$$

তড়িৎ আহিতকরণ (electrocution):- যেই প্রক্রিয়ায় মাধ্যমে কোনো বস্তুকে তড়িৎ আহিত করার প্রক্রিয়াকে তড়িৎ আহিতকরণ।

আধান বা চার্জের কোয়ান্টাইজেশন (Quantization of charge): আধান বা চার্জের সংখ্যা কখনো ভগ্নাংশ হতে পারে না। সর্বদা পূর্ণসংখ্যা।

$Q = nq \qquad n \in \mathbb{Z}$

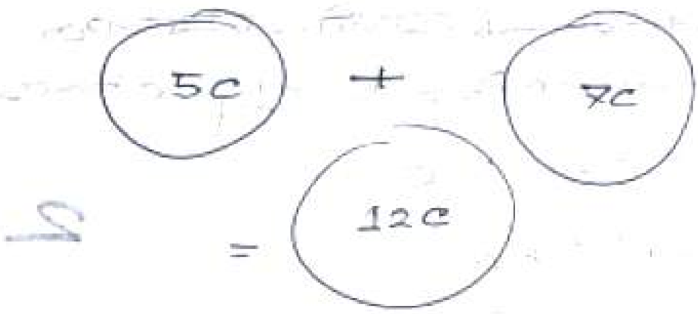
$n = \{0, \pm1, \pm2, \dots\}$

$\boxed{57}$ ✓ $\boxed{\cancel{3.27}}$

## আধান বা চার্জের নিত্যতা (Conservation of charge):

এ মহাবিশ্বে মোট আধানের পরিমাণ নির্দিষ্ট। অর্থাৎ, আধান সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না।

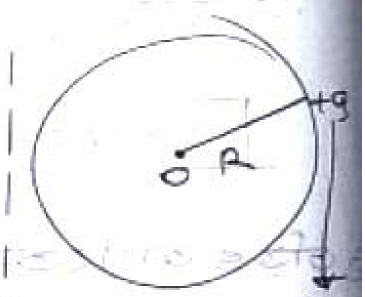
3




***

## আধান বা চার্জের স্বীকার্য (Postulates of charge):-

আধান বা চার্জ কোনো পরিবাহীর পৃষ্ঠে সুষমভাবে অবস্থান করে।




Surface এ সমভাবে বণ্টিত হবে

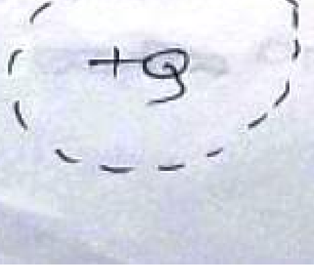
$1C = ?e$

## বিন্দু আধান (Point charge):

যদি কোনো ক্ষুদ্র বস্তুকণা চার্জিত অবস্থায় থাকে তবে ঐ ক্ষুদ্র বস্তুকণাকে বিন্দু আধান বলে।

★ তড়িৎ সংক্রান্ত পরীক্ষা নিরীক্ষার জন্য বিন্দু আধানকে প্রমাণ চার্জ হিসেবে ধরে নেওয়া হয়।

★ অধিকাংশ ক্ষেত্রে বিন্দু আধানকে ধনাত্মক আধান হিসেবে বিবেচনা করা হয়।



## Topic 02: কুলম্বের সূত্র (Colombs law):

**Statement:** নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুইটি আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান, আধানদ্বয়ের গুণফলের সমানুপাতিক এবং মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। এই বল আধানদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।

আধান → বিন্দু আধান তাছাড়া Accurate হয় না
কারণ বড় হলে আধানগুলো ছড়িয়ে যায় এবং
center of mass এর কারণে।

4

$F \propto q_1 q_2$ ——— (i)

$F \propto \frac{1}{r^2}$ ——— (ii)

from (i) ও (ii),

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

$\Rightarrow F = C \frac{q_1 q_2}{r^2}$

$C$ → মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

শূন্য মাধ্যমে,

$C = 9 \times 10^9 \ Nm^2C^{-2}$

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

$\epsilon_0$ → (Epsilon-Nod) শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা বা প্রবেশ্যতা

(Permittivity of zero medium)

→ Resistive Property; যা তড়িৎবলকে বাধাপ্রদান করে।

5

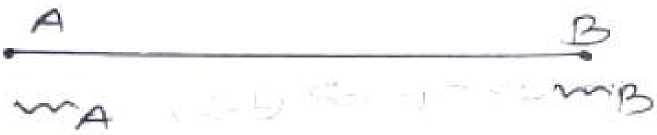
$$c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$
↓
zero medium

$$\boxed{F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q_1 q_2}{r^2}} \rightarrow \text{For zero medium}$$

★

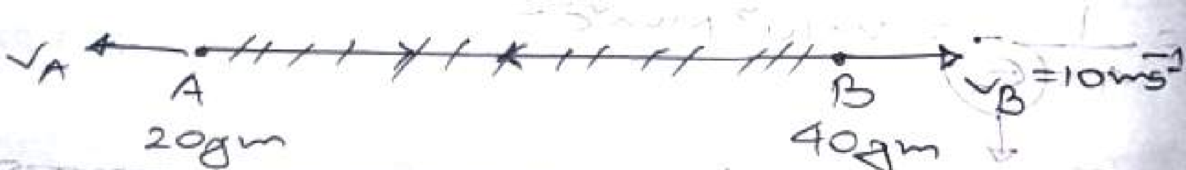

$$\boxed{\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} \quad |\vec{F}_{21}| = |\vec{F}_{12}|} \Rightarrow \text{Action} = -\text{Reaction}$$

*




চিত্রে, A ও B বিন্দুতে যথাক্রমে 20gm ও 40gm ভরের দুইটি সমধর্মী আধানগ্রাহী হলে। 40gm ভরের আধানটি তড়িৎ বলের জন্য $10\,ms^{-1}$ বেগে গতিশীল, ছোট ভরের আধানটি কোনদিকে কত বেগে গতিশীল হবে?

উ:




$$0 = m_A v_A + m_B v_B$$

$$\Rightarrow v_A = -\frac{m_B v_B}{m_A} = -\frac{40gm \times 10}{20gm} = -20ms^{-1}$$

## কুলম্বের সূত্রের ভেক্টর রূপ:

$q_1$ ———— $r$ ———— $q_2$

6

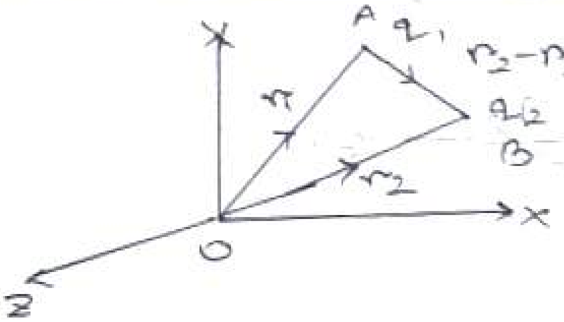
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

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

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

$$\Rightarrow \boxed{\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\,\frac{q_1 q_2}{r^3}\,\vec{r}}$$

## ত্রিমাত্রিক স্থানাঙ্ক ব্যবস্থায় কুলম্বের সূত্র:-




$$\boxed{F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_2-\vec{r}_1|^2}}$$

$$\therefore \boxed{\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_2-\vec{r}_1|^3}(\vec{r}_2-\vec{r}_1)}$$

* ত্রিমাত্রিক স্থানাঙ্ক ব্যবস্থায় 4C ও 5C মানের দুইটি আধানের অবস্থান যথাক্রমে (8,7,6) ও (4,3,2) আধানদ্বয়ের মধ্যে তড়িৎবল নির্ণয় কর।

উ: $|r_2 - r_1| = \sqrt{4^2+4^2+4^2} = \sqrt{48}$

$\therefore$ তড়িৎবল, $F = \dfrac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\dfrac{4\times5}{(\sqrt{48})^2}$

$= 9\times10^9\times\dfrac{20}{48}$ N

* যে কোন মাধ্যমে কুলম্বের সূত্র:
(Coulomb's law at any medium):

7

পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (Di-electric constant) (K) K-kappa

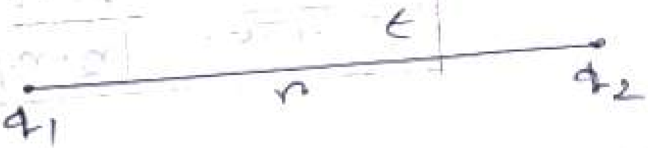
শূন্য মাধ্যমে দুইটি আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল ও ঐ একই আধান দ্বয়ের জন্য অন্য আরেকটি মাধ্যমে ক্রিয়াশীল তড়িৎ বলদ্বয় এর অনুপাতকে মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলা হয়।

* ইহা একটি মাত্রাবিহীন এবং এককবিহীন রাশি কারণ এটা একটি অনুপাত।

* তড়িৎ বল শূন্য মাধ্যমে সবচেয়ে বেশি কাজ করে।


শূন্য মাধ্যমে,
বল $F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ——(i)

আবার অন্য মাধ্যমে,




$\therefore F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ——(ii)

$$\boxed{K = \frac{F_0}{F}}$$

$$\left[\begin{array}{l} F_0 > F \\ \frac{F_0}{F} > 1 \\ K > 1 \end{array}\right]$$

$$\Rightarrow K = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q_1q_2}{r^2}}{\frac{1}{4\pi\epsilon}\cdot\frac{q_1q_2}{r^2}}$$

8

$$\frac{a}{b} > 1$$

$$\Rightarrow a > b$$

$$\Rightarrow K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times 4\pi\epsilon$$

$$\Rightarrow \boxed{K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}} \quad \therefore \boxed{\epsilon = \epsilon_0 K}$$

এখানে, (K > 1)

$$\therefore \boxed{\epsilon > \epsilon_0} \; **$$

from (i)

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

$$\therefore \boxed{F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{q_1q_2}{r^2}}$$

শূন্যস্থান মাধ্যমে K=1

বায়ু মাধ্যমে, K = 1.0005 ≈ 1

$$\boxed{F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q_1q_2}{r^2}} \; ***$$

$$\star \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{q_1q_2}{r^2}$$

∴ শূন্যস্থান মাধ্যমে K=1

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{q_1q_2}{|\vec{r}|^3}\cdot\vec{r}$$

$$\therefore F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{q_1q_2}{|r_2-r_1|^2} \quad \star$$

## মহাকর্ষীয় ও তড়িৎ বলের আপেক্ষিক তুলনা:

8 9

$m_p = 1.7\times10^{-27}\,kg$ —— $r$ —— $m_p = 1.7\times10^{-27}\,kg$

$q_p = +1.6\times10^{-19}\,C$ $\qquad\qquad$ $q_p = +1.6\times10^{-19}\,C$

দুটি প্রোটনের মধ্যে ক্রিয়াশীল মহাকর্ষীয় বল,
(আকর্ষণধর্মী)

$$F_G = (6.673\times10^{-11})\,\frac{(1.7\times10^{-27})^2}{r^2} \quad \text{—— (i)}$$

ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল (বিকর্ষণধর্মী)

$$F_e = 9\times10^{9}\times\frac{(1.6\times10^{-19})^2}{r^2} \quad \text{—— (ii)}$$

(ii) ÷ (i), $\cancel{6.673\times10^{-11}\times 1.7\times10^{-27}}$

$$\frac{F_e}{F_G} = 1.2\times10^{36}$$

$$\Rightarrow \frac{F_e}{F_G} \simeq 10^{36}$$

$$\Rightarrow \boxed{F_e \simeq 10^{36}\times F_G}$$

∴ তড়িৎ বল মহাকর্ষীয় বলের তুলনায় $10^{36}$ গুণ।

★

$+q_1$ —— $r$ —— $+q_2$

$F_G$

$$\therefore F = F_e - F_G$$

$$F = F_e - \frac{F_e}{10^{36}}$$

$\Rightarrow \cancel{F = F_e}\ F_e$

$$\Rightarrow F = F_e\left(1 - \cancel{\frac{1}{10^{36}}}^{\,0}\right)$$

$$\therefore \boxed{F = F_e}$$

এই কারণে বিন্দু আধান নিয়ে কাজ করা হয় যাতে মহাকর্ষ বল অনেক কম হয়।

$+q_1$ ———— $-q_2$

$F = F_e + F_g$

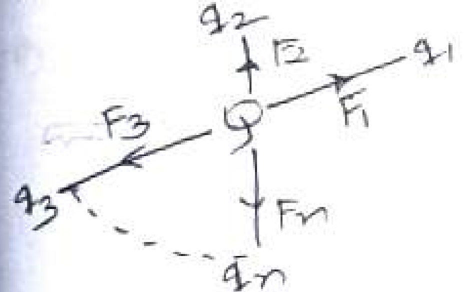
$\Rightarrow F = F_e + \frac{F_e}{10^{36}}$

$\Rightarrow F = F_e\left(1 + \cancel{\frac{1}{10^{36}}}\right)$

$\boxed{F = F_e}$

আবার, $F = F_e - F_g$
$= 10^{36} F_g - F_g$
$F \approx 10^{36} F_g$
অর্থাৎ, কোনো Math এ দেওয়া আছে কিন্তু আধান এর পরিমাণ দেওয়া নাই কিন্তু তড়িৎবল নির্ণয় করতে বলছে, তখন মহাকর্ষ বল নির্ণয় করে $10^{36}$ দিয়ে গুণ করে দিব।

**কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা:-**
(Limitation of coulomb's law):-
কুলম্বের সূত্র ব্যবহার করে একইসময়ে সর্বোচ্চ ২টি আধানের মধ্যে ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল নির্ণয় করা যায়।




**superposition of force:**

$$\vec{F_R} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \dots + \vec{F_n}$$

$$\Rightarrow \vec{F_R} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F_i}$$

$\sum_{i=1}^{5} a = 1+2+3+4+5$

$\sum_{i=1}^{5} a_i = a_1 + a_2 + \dots + a_5$

$\boxed{n=2}$ $\vec{F_R} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$

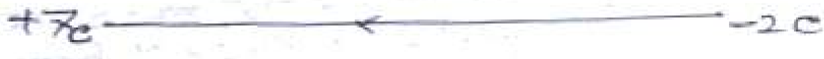
$$\therefore |\vec{F_R}| = F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \quad \left[\vec{F_1} \wedge \vec{F_2} = \alpha\right]$$

*


→ পরিবর্তিতভাবে বিকর্ষণ করবে তবে 10 এর জোর বেশি তাই এ কে আরো দূরে পাঠিয়ে দিবে। ।।

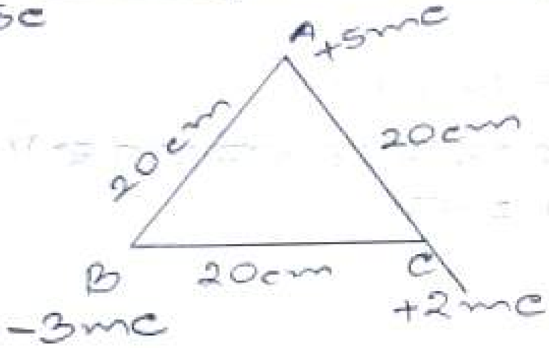
01

অনুরূপভাবে,

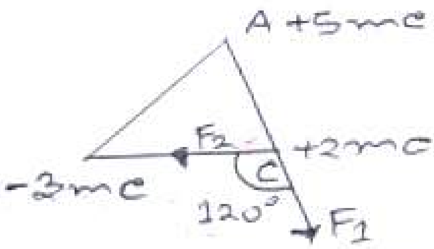


*




চিত্রে, C বিন্দুতে রাখা আধানের উপর ক্রিয়াশীল লব্ধি তড়িৎবল নির্ণয় কর।

উ:



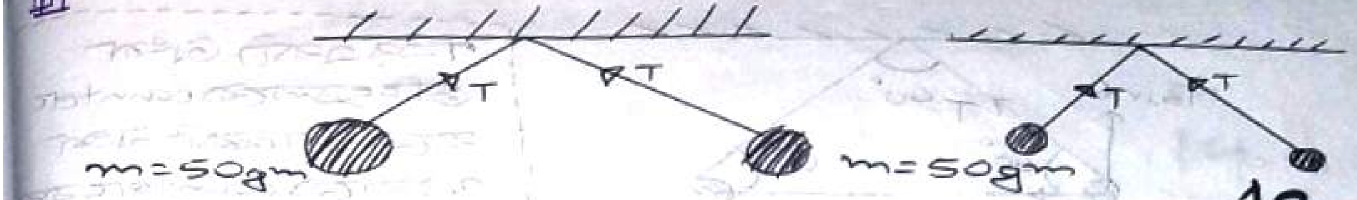

এখানে,

$$F_1 = 9\times10^9\times\frac{5\times2\times10^{-3}\times10^{-3}}{(20\times10^{-2})^2}\ N$$

$$F_2 = 9\times10^9\times\frac{2\times3\times10^{-3}\times10^{-3}}{(20\times10^{-2})^2}\ N$$

∴ C বিন্দুতে ক্রিয়াশীল লব্ধি তড়িৎ বল,

$$F_R = \sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos120^\circ}\ N$$




12

চিত্রে, অপ্রসারণশীল সুতা দ্বারা 50gm ভরের দুটি ধাতব গোলককে ঝুলিয়ে দেওয়া হলো, ধাতব গোলকদুইটিকে সমপরিমাণ ধনাত্মক আধানে আহিত করা হলে, পরস্পর হতে 40cm দূরে সরে গিয়ে সাম্যাবস্থা লাভ করে। অপ্রসারণশীল সুতার দৈর্ঘ্য 40cm।

(i) চিত্রে, তড়িৎবল ক্রিয়ারত অবস্থায়, সুতায় ক্রিয়ারত টানবল নির্ণয় কর।

(ii) প্রতিটি গোলকে আধানের পরিমাণ নির্ণয় কর।

(iii)

(i)

$\sin\theta = \frac{20}{40}$

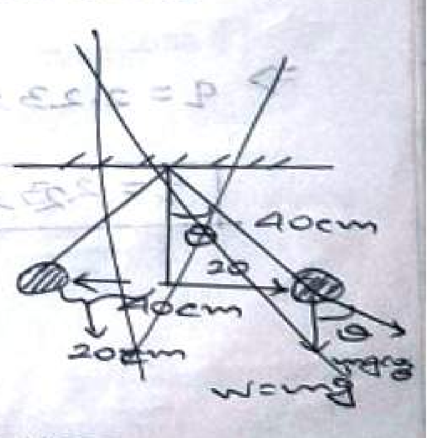
$\Rightarrow \theta = 30^\circ$

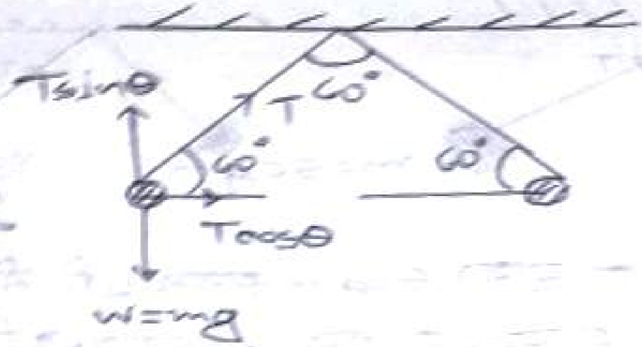
$\therefore T = mg\cos\theta$

$\Rightarrow T = 50\times10^{-3}\times\cos 30^\circ$

$= \frac{\sqrt{3}}{40}$ N।

* এই Method ভুল






T এর একটি অংশ ওজনকে counter করে, আরেকটি অংশ ওজনকে counter করে

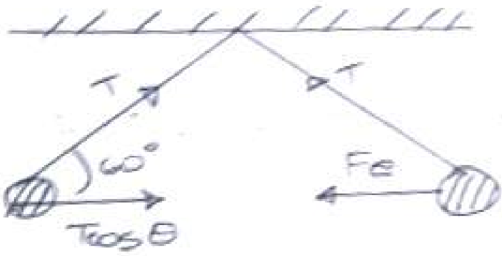
13

$\therefore T\sin\theta = mg$

$\Rightarrow T\frac{\sqrt{3}}{2} = 0.05\times 9.8$

$\Rightarrow T = 0.56N$

(ii)



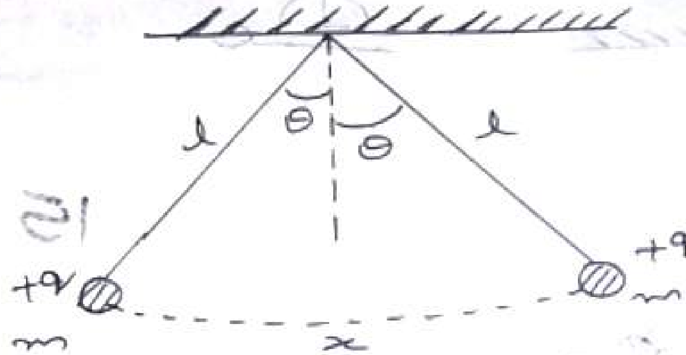

$T\cos\theta = F_e$

$\Rightarrow 0.56\cos 60° = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{(0.4)^2}$

$\Rightarrow q = 2.23\times 10^{-6}C$

$\boxed{q = 2.23\mu C}$

প্র



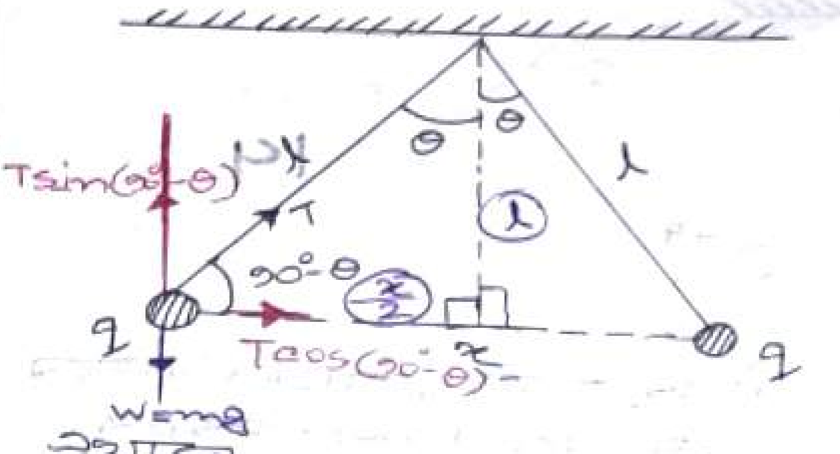

চিত্রে, l দৈর্ঘ্যের অপ্রসারণশীল সুতা দ্বারা, ধনাত্মক আধানে আহিত m ভরের দুটি ধাতব গোলককে ঝুলিয়ে দিলে পরস্পর হতে x দূরত্বে সাম্যাবস্থা লাভ করে।

(i) θ ক্ষুদ্র বিবেচনা করে দেখাও যে গোলকদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব $x = \left(\frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg}\right)^{\frac{1}{3}}$

(ii) যদি প্রতিটি গোলক 4 nc/s হারে আধান হারাতে থাকে তবে গোলক দুইটি পরস্পরের এর দিকে কত বেগে অগ্রসর হবে? [যেখানে $m = 50 gm$
$l = 40 cm$
$q = 6 \mu c$]

(i) ও

15




এখানে,

$$T\sin(90^\circ-\theta)=mg$$

$$\Rightarrow \boxed{T\cos\theta = mg} \text{ ---- (i)}$$

$$\sin\theta = \frac{x/2}{l} \Rightarrow \boxed{\sin\theta = \frac{x}{2l}}$$

আবার,

$$T\cos(90^\circ-\theta) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{q^2}{x^2}$$

$$\Rightarrow T\sin\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{q^2}{x^2}$$

$$\Rightarrow T\frac{x}{2l} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{q^2}{x^2} \quad [\text{i হতে}]$$

$$\Rightarrow T\cos\theta\,\frac{x}{2l} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{q^2}{x^2}\cos\theta$$

[উভয়পক্ষকে $\cos\theta$ দ্বারা গুণ করে]

$$\Rightarrow mg\frac{x}{2l} = \frac{q^2}{x^2}\times\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\cos\theta \quad [\text{i হতে}]$$

$$\Rightarrow mg\frac{x}{2l} = \frac{q^2}{x^2}\times\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \left[\cos\theta = \frac{l}{l} = 1\right]$$

$$\Rightarrow x^3 = \frac{q^2\,2l}{4\pi\epsilon_0 mg}$$

$$\Rightarrow x^3 = \frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg} \Rightarrow x = \left(\frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ (Ans)}$$

16

~~real process~~ :-

$\theta \rightarrow$ শূন্য হলে

~~কৌণিক~~

$$T\sin(90^\circ-\theta)=mg$$

$$\Rightarrow T\cos\theta=mg$$

$$\Rightarrow \boxed{T=mg} \quad \left[\begin{array}{l}\theta=0^\circ \text{ হলে} \\ \cos 0^\circ=1\end{array}\right]$$

(ii) $$\frac{dx}{dt}=\cancel{\frac{1}{3}\times\left(\frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg}\right)^{\frac{1}{3}-1}} \qquad \cancel{\frac{d}{dt}\left(\frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg}\right)}$$

$$=\cancel{\frac{1}{3}\times\left(\frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg}\right)^{-\frac{2}{3}}}$$

$$=\cancel{\left(\frac{l}{2\pi\epsilon_0 mg}\right)^{-\frac{2}{3}}}\cdot\cancel{\frac{1}{3}\left(q^2\right)^{\frac{1}{3}-1}}$$

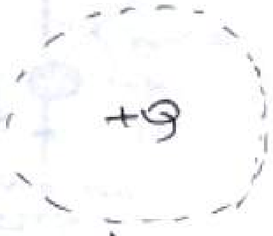
$$=\frac{1}{3}\left(\frac{q^2 l}{2\pi\epsilon_0 mg}\right)^{-\frac{2}{3}}\frac{l}{2\pi\epsilon_0 mg}\cdot 2q\cdot\frac{dq}{dt}$$

$$=$$

→ বেগকে সুতার দৈর্ঘ্য দিয়ে ভাগ করলে কৌণিক বেগ নির্ণয় করব।

Topic:03:

**তড়িৎক্ষেত্র (Electric field):** কোনো একটি আধানের চারপাশের যতটুকু জায়গা জুড়ে এর প্রভাব বজায় থাকে তাকে ঐ আধানের তড়িৎক্ষেত্র বলে। **17**



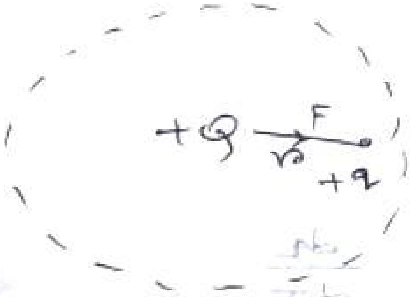

↓

আসলে একটা গোলক।

★ কোনো একটি আধানের জন্য প্রাপ্ত তড়িৎক্ষেত্র একটি গোলকীয় ব্যবস্থা। (Spherical system/condition)

**তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য (electric field intensity): (E)**

তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান স্থাপন করলে সেটি যে পরিমাণ বল অনুভব করে তাকে ঐ বিন্দুতে ঐ তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা হয়।




q আধান কর্তৃক অনুভূত বল F

∴ 1 " " " $\frac{F}{q}$

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

Unit: $\frac{1N}{1C} = 1NC^{-1}$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{q}\vec{F}$$

* তড়িৎ প্রাবল্য একটি ভেক্টর রাশি।

$\boxed{F = qE}$

একক আধানের উপর প্রযুক্ত বল

এখানে,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q}{r^2}}$$

$Q$ → যে আধানের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র পাওয়া যায়।

$r$ → যে আধানের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র পাওয়া যায় সে আধান থেকে বিন্দুর দূরত্ব।

$\Rightarrow$ শূন্যস্থান বা বায়ু মাধ্যমে, $K=1$

$$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}}$$

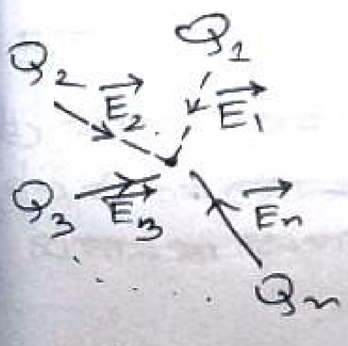
vector form: $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q}{r^3} \vec{r}$

ত্রিমাত্রিক স্থানাঙ্ক ব্যবস্থায়:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q}{|\vec{r_2} - \vec{r_1}|^2}$$

vector form: $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q}{|r_2 - r_1|^3} (\vec{r_2} - \vec{r_1})$

* তড়িৎ প্রাবল্যের উপরিপাতন নীতি (Superposition of electric field intensity):




$$\vec{E_R} = \vec{E_1} + \vec{E_2} + \cdots + \vec{E_n}$$

$$\Rightarrow \vec{E_R} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E_i}$$

$n=2$ $\quad \vec{E_R} = \vec{E_1} + \vec{E_2}$

$$\vec{E_R} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha} \quad [\vec{E_1} \wedge \vec{E_2} = \alpha]$$

*

+5C ⟶ (+1) [মনে মনে] 13

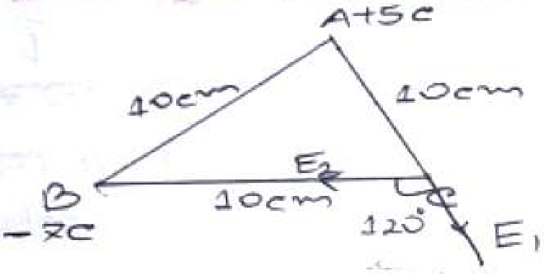
8।

−7C ⟵ (+1) [" "]

(*) ধনাত্মক আধানের জন্য প্রাবল্যের দিক বহির্মুখী।

(*) ঋণাত্মক " " " অন্তর্মুখী।

* চিত্রে, C বিন্দুতে লব্ধি তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর




উঃ

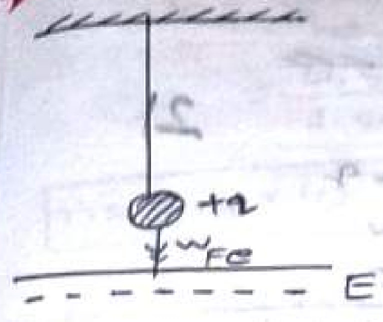
$$E_1 = 9\times10^9 \times \frac{5}{(10\times10^{-2})^2}$$

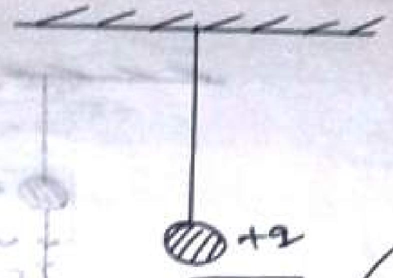
$$E_2 = 9\times10^9 \times \frac{7}{(10\times10^{-2})^2}$$

$$\therefore E_R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos120^\circ}$$

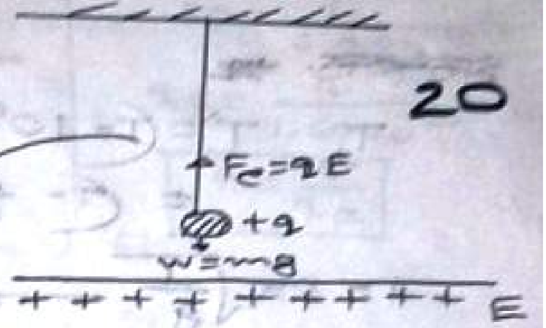
$$=$$

20




$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$




$w' = w + F_e$

$\Rightarrow mg' = mg + qE$

$\Rightarrow g' = g + \frac{qE}{m}$

$g'\uparrow$ $\boxed{T\downarrow}$

$w' = w - F_e$

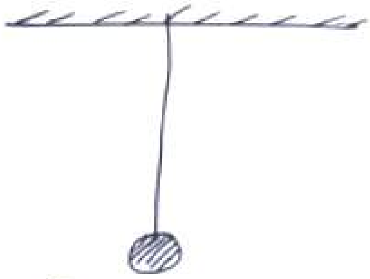
$\Rightarrow mg' = mg - qE$

$\Rightarrow g' = g - \frac{qE}{m}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$

$\boxed{T\uparrow}$ $g\downarrow$

★



চিত্র-(ক)


চিত্র:(খ)

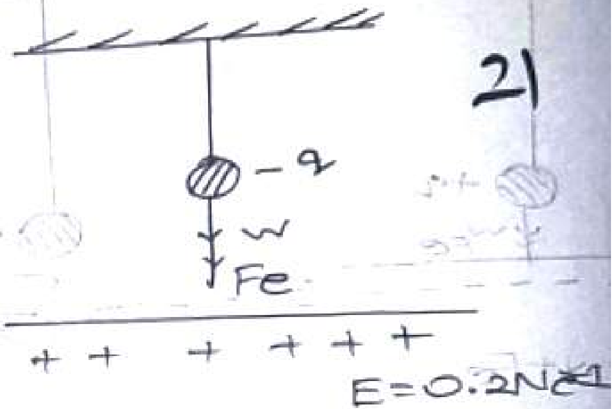
চিত্র:-ক তে একটি অপ্রসারণশীল সুতার মাধ্যমে একটি ধাতব গোলককে চার্জিত করে ঝুলিয়ে, সরল দোলক তৈরী করা হলো এবং উক্ত সরল দোলককে চিত্র খ তে চার্জিত plate এর উপরে স্থাপন করলে সরল দোলকটির পর্যায়কাল 10% হ্রাস পায়। [ধাতব গোলকের ভর = 50g]

(i) ধাতব গোলকে আধানের প্রকৃতি ও পরিমাণ নির্ণয় কর।

(ii) ধাতব গোলকটিকে চার্জিত করার জন্য কতগুলি $e^-$ প্রদান বা অপসারণ করা হয়েছিল।

(i)






$T,\quad T' = (T - 10\% T)$

$= \left(T - \frac{1}{10} T\right)$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ —— (i)

$T' = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$ —— (ii)

$\Rightarrow \frac{T}{T'} = \frac{\sqrt{\frac{l}{g}}}{\sqrt{\frac{l}{g'}}}$

$\Rightarrow \frac{1}{0.9} = \sqrt{\frac{g'}{g}}$

$\Rightarrow g' = \left(\frac{1}{0.9}\right)^2 \times g = \left(\frac{1}{0.9}\right)^2 \times 9.8 = 12.1\ ms^{-1}$

$\therefore g' = g + \frac{qE}{m}$

$\Rightarrow 12.1 = 9.8 + \frac{q \times 0.2}{0.05}$

$\Rightarrow \frac{q \times 0.2}{0.05} = 2.3$

* আধান ঋণাত্মক।

$\Rightarrow q = \frac{2.3 \times 0.05}{0.2}$

$\Rightarrow q = 0.576C$

(ii)

যেহেতু, ধাতব গোলকটি ঋণাত্মক আধানে আহিত।
∴ ধাতব গোলকটিকে $e^-$ প্রদান করা হয়েছিল।

$$n = \frac{q}{q_e}$$

$$= \frac{0.575}{1.6\times10^{-19}}$$

$$\boxed{n = 3.6\times10^{18} \text{ টি}}$$

22

$1.6\times10^{-19}\,C = 1$ টি $e^-$

$\therefore 1C = \frac{1}{1.6\times10^{-19}}$ টি $e^-$

$qC = \frac{q}{1.6\times10^{-19}}$ " "

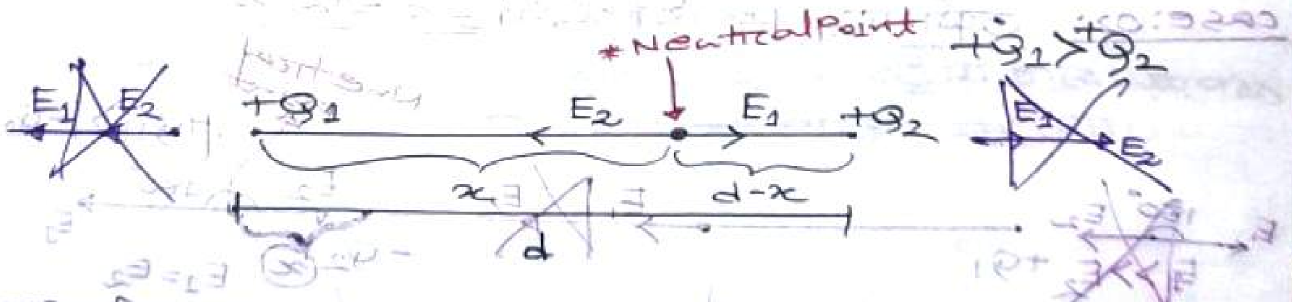
$$\boxed{n = \frac{q}{q_e}}$$

## নিরপেক্ষ বিন্দু (Neutral Point):

দুইটি আধানের সংযোজক সরলরেখার উপরস্থ যে বিন্দুতে আধানদ্বয়ের জন্য লব্ধি তড়িৎ প্রাবল্য 0 হয় সেই বিন্দুকে নিরপেক্ষ বিন্দু বলে।

★ নিরপেক্ষ বিন্দুতে কোনো আধান স্থাপন করলে সেটি কোনো বল অনুভব করে না।

case: 01: আধানদ্বয় সমধর্মী ও অসমান




নিরপেক্ষ বিন্দুতে,

$$E_1 = E_2$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{Q_1}{x^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{Q_2}{(d-x)^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{Q_1}{x^2} = \frac{Q_2}{(d-x)^2}}$$

* দুইটি সমধর্মী ও অসমান আধানের জন্য, নিরপেক্ষ বিন্দু আধানদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখার অন্তঃস্থ কোনো বিন্দুতে পাওয়া যায়, যেখানে নিরপেক্ষ বিন্দুটি ছোট মানের আধানের সন্নিকটে।

## special observation:

if, $Q_1 = Q_2$

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{x^2} = \frac{Q_1}{(d-x)^2}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{d-x}{x}\right)^2 = 1$$

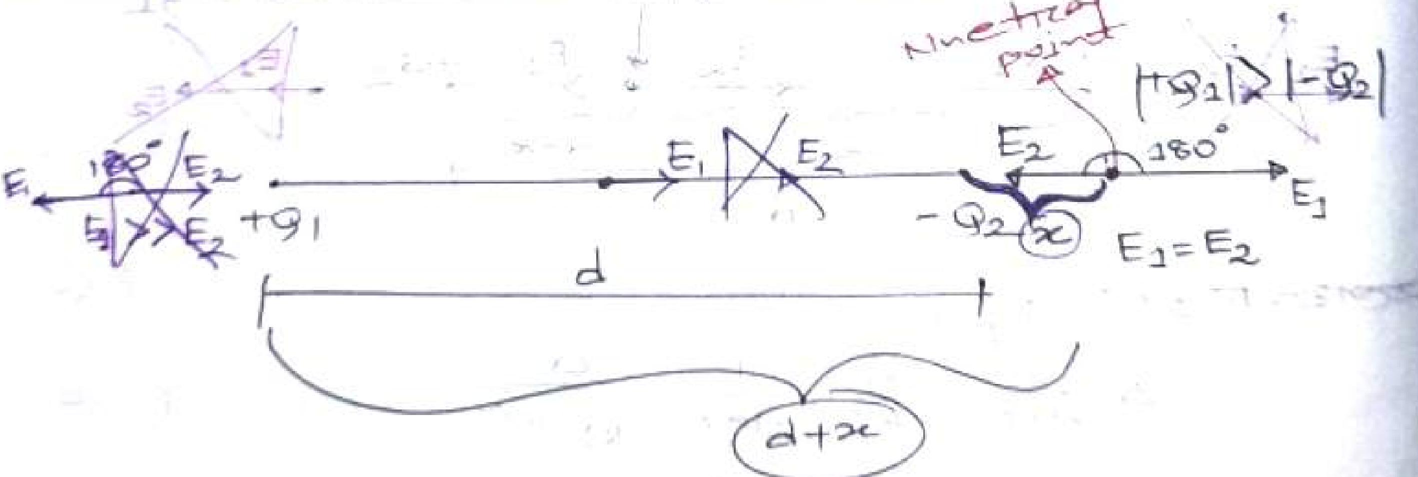
$$\Rightarrow \frac{d}{x} - 1 = 1$$

$$\Rightarrow \frac{d}{x} = 2$$

$$\Rightarrow \boxed{x = \frac{d}{2}}$$

★ দুইটি সমধর্মী সমান আধানের জন্য, নিরপেক্ষ বিন্দু আধানদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখার ~~উপর~~ মধ্যবিন্দুতে অবস্থিত। ★

**case:02:** আধানদ্বয় বিপরীতধর্মী ও অসমান:-




নিরপেক্ষ বিন্দুতে, $E_1 = E_2$

$$\Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1}{(d+x)^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{Q_2}{x^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{Q_1}{(d+x)^2} = \frac{Q_2}{x^2}}$$

দুইটি বিপরীতধর্মী ও অসমান আধানের জন্য নিরপেক্ষ বিন্দু আধানদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখার উপরস্থ বহিঃস্থ কোনো বিন্দুতে পাওয়া যায়, যেখানে নিরপেক্ষ বিন্দুটি ছোট মানের আধানের নিকটে।



special observation:

$$|+Q_1| = |-Q_2|$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$\frac{Q_1}{(d+x)^2} = \frac{Q_2}{x^2}$$

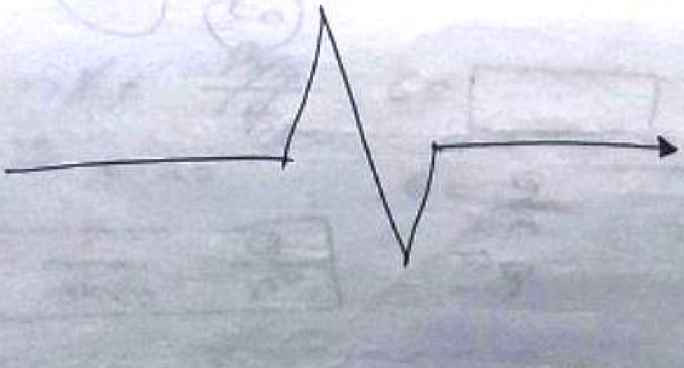
$$\Rightarrow \left(\frac{d+x}{x}\right)^2 = 1$$

$$\Rightarrow \frac{d}{x} + 1 = 1$$

$$\Rightarrow \frac{d}{x} = 0$$

$$\Rightarrow x = \frac{d}{0} = \infty$$

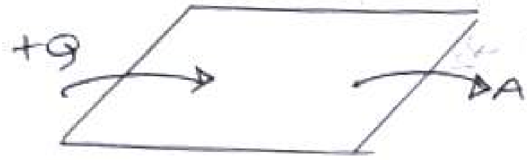
* দুইটি বিপরীতধর্মী সমান আধানের জন্য তত্ত্বীয় ভাবে নিরপেক্ষ বিন্দু অসীমে অবস্থিত। কিন্তু বাস্তবে পাওয়া যায় না।



## Topic 4: চার্জের তলমাত্রিক ঘনত্ব (Charge density of surface): ($\sigma$)



** কোনো পরিবাহীর পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফলের, যে পরিমাণ আধান অবস্থান করে, তাকে আধানের চার্জের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলে।




পৃষ্ঠের A ক্ষেত্রফলে অবস্থিত আধান $Q$

" 1 " " " $\frac{Q}{A}$

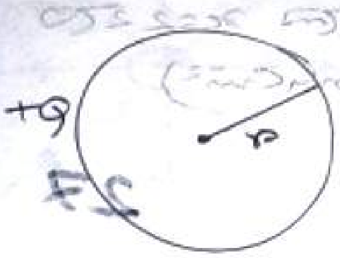
$$\therefore \sigma = \frac{Q}{A}$$

Unit: $\frac{1C}{1m^2} = 1\ Cm^{-2}$

* কোনো পৃষ্ঠের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $5\ \mu Cm^{-2}$ বলতে বোঝায় কী?

উ:

★ **গোলকীয় পরিবাহীর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব:**




26

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

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

$A = 4\pi r^2$ $\qquad \Rightarrow E = \frac{Q}{A\epsilon_0 K}$ $\quad [A = 4\pi r^2]$

$\Rightarrow \boxed{E = \frac{Q/A}{\epsilon_0 K}}$ $\quad [\sigma = \frac{Q}{A}]$

$\Rightarrow \boxed{E = \frac{\sigma}{\epsilon}}$ $\quad [\epsilon_0 K = \epsilon]$

শূন্যস্থান বা বায়ু মাধ্যমে $K = 1$

$\boxed{E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}}$

* 10 cm ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট কোনো গোলাকার পরিবাহীর পৃষ্ঠ হতে কতগুলো $e^-$ অপসারণ করলে গোলকের পৃষ্ঠে তড়িৎপ্রাবল্য হবে $+0.2 NC^{-1}$। [$\epsilon_0 = 8.65 \times 10^{-12} C^2$

উ: $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

$\Rightarrow \cancel{E} \neq \frac{Q/A}{\cancel{\epsilon}}$ $\qquad \sigma = \boxed{\phantom{xx}}$

$\Rightarrow 0.2 =$ $\qquad \sigma = \frac{Q}{A}$

$\Rightarrow Q$

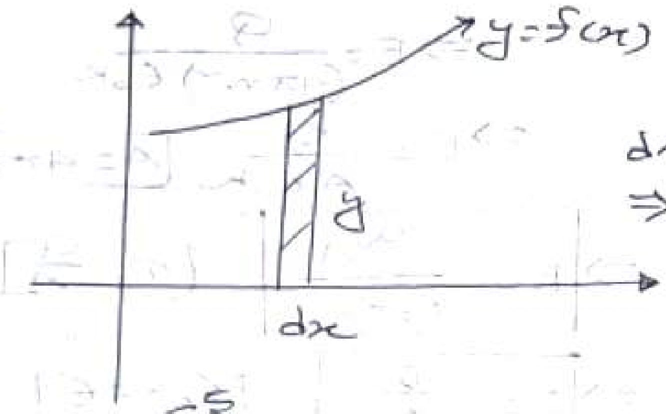
$A = 4\pi r^2$
$= 4 \times 3.1416 \times (\frac{10}{100})^2$
$= 0.126$

$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}}$

* কোনো কার্তেসীয় তলে $y=x^2$ বক্ররেখা দ্বারা আবদ্ধ কোনো তলে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $0.5\, mC/m^2$ হলে $x=2$ হতে $x=5$ পর্যন্ত আধানের পরিমাণ নির্ণয় কর।
(মিলি) $(0.5\, mCm^{-2})$

27

উঃ ১




$dA = y\,dx$

$\Rightarrow A = \int y\,dx$

উঃ Area, $A = \int_2^5 y\,dx$

$= \int_2^5 x^2\,dx$

$= \left[\frac{x^3}{3}\right]_2^5$

$= \frac{1}{3}\left[5^3 - 2^3\right]$

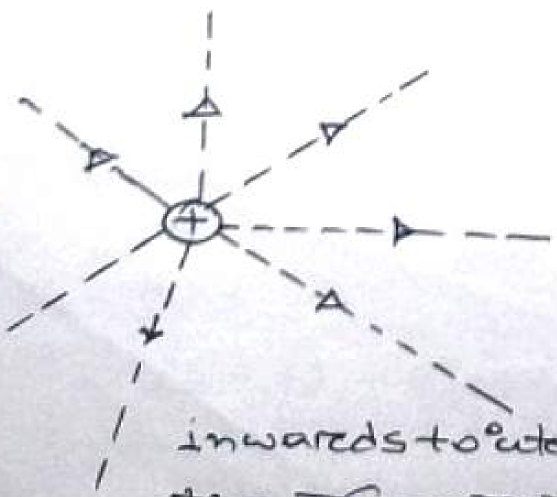
$= 39\,m^2$

$Q = 6A$

$= 0.5\, mC/m^2 \times 39\,m^2$

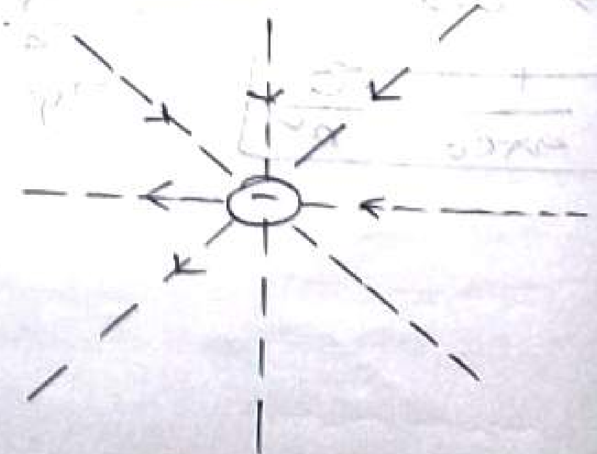
$= 19.5\,mC$

তড়িৎ বলরেখা: (Electric field line):

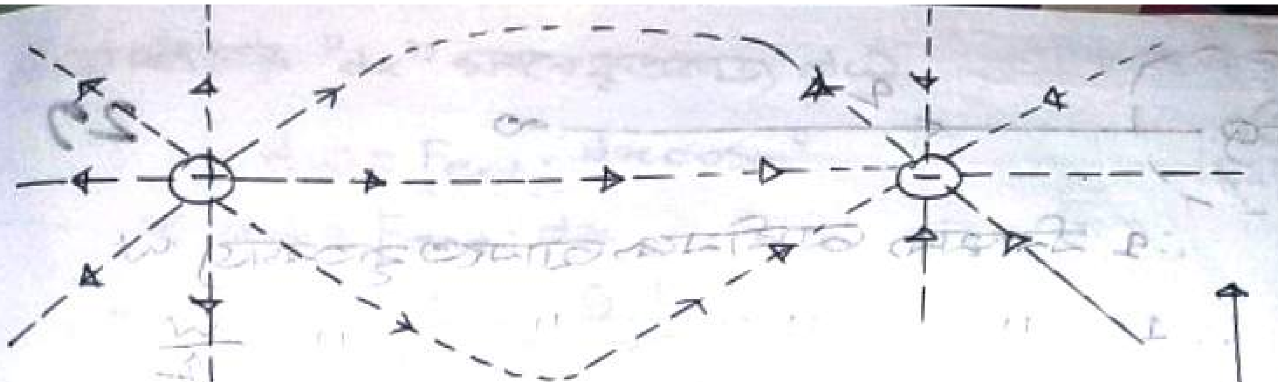


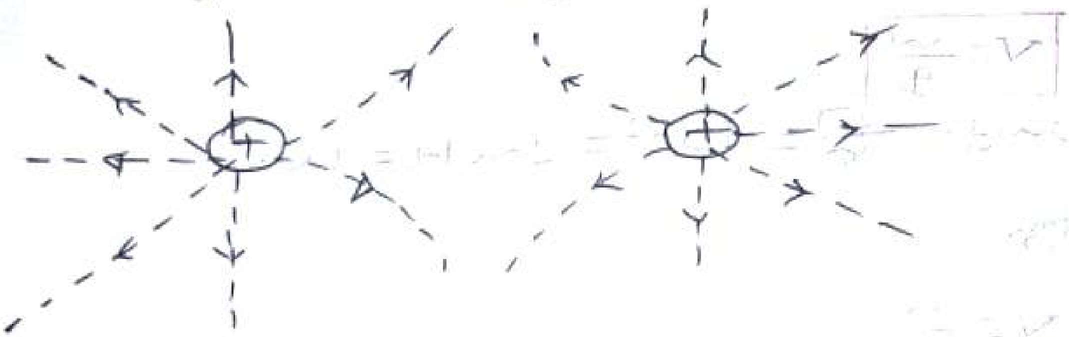
inwards to outerward

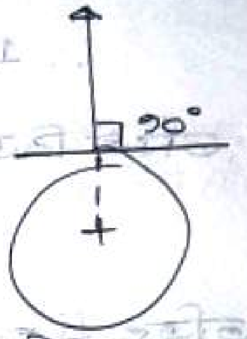
+1 C চার্জ নেওয়া হয় যাতে calculation সহজ হয়



outerwards to innerward





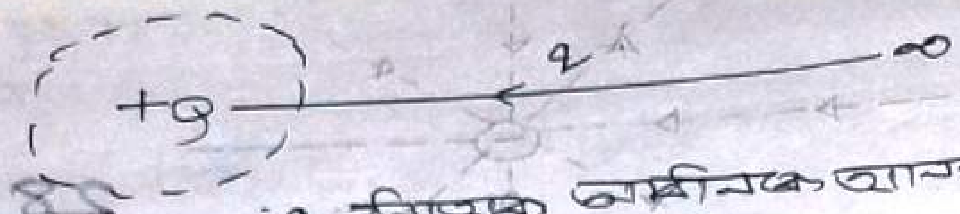



তড়িৎ ক্ষেত্রের উপর লম্ব হলো তড়িৎ প্রাবল্য

Topic: 05: তড়িৎ বিভবশক্তি (U) ও তড়িৎ বিভব (V)
(Potential energy due to electricity & Potential due to electricity)

☐ তড়িৎ বিভবশক্তি: কোনো একক ধনাত্মক আধানকে অসীম হতে অসীম হতে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় তাকে ঐ বিন্দুর জড় বস্তুদের তড়িৎ বিভব শক্তি বলে। (U)

☐ তড়িৎ বিভব: কোনো একক ধনাত্মক আধানকে অসীম হতে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় তাকে ঐ বিন্দুর ঐ আধানের তড়িৎ বিভব বলে।




∴ q কুলম্ব আধানকে আনতে কৃতকাজ W

∴ 1 " " " " $\frac{W}{q}$

∴ তড়িৎ বিভব: $\boxed{V=\frac{W}{q}}$

Unit: $\frac{1J}{1C} = 1JC^{-1} = 1\,volt = 1V$

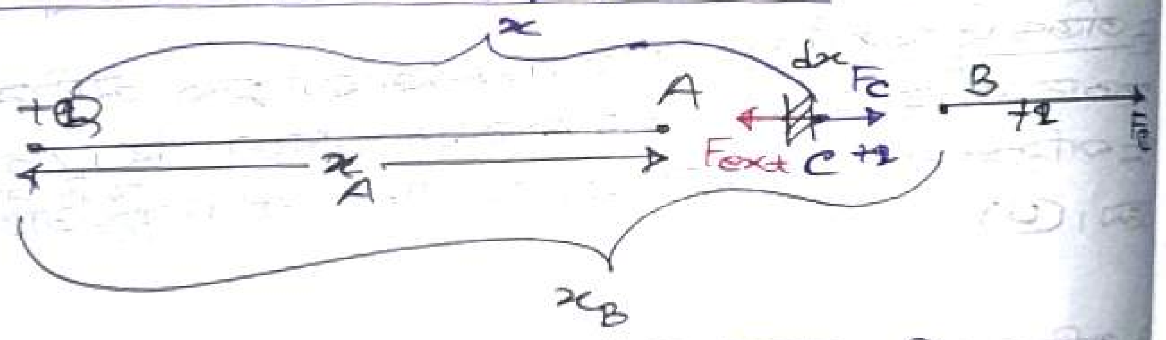
তড়িৎ বিভব শক্তি

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

$$\Rightarrow \boxed{W = Vq}$$

$$\Rightarrow \boxed{U = Vq}$$

তড়িৎ বিভব শক্তি ও তড়িৎ বিভবের রাশিমালা:




C বিন্দুতে:

$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{Qq}{x^2}$$ → এর জন্য তড়িৎ বল পাওয়া যায়।

এখানে,
$F_{ext} = F_C$
$\Sigma F = 0$
(আধান সাম্যাবস্থায় থাকে)

minimum condition

∴ আধানের "$dx$" সরণে কৃতকাজ $dW$



$$\therefore dW = F_{ext} \cdot dx \cos 0^\circ$$

$$\Rightarrow dW = F_{ext} \cdot dx$$

$$\Rightarrow dW = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Qq}{x^2} \cdot dx$$

$$\Rightarrow \int_0^W dW = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K} \int_{x_B}^{x_A} \frac{1}{x^2} dx$$

$$\Rightarrow W = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K} \left[ -\frac{1}{x} \right]_{x_B}^{x_A}$$

$$\Rightarrow W = -\frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K} \left[ \frac{1}{x_B} - \frac{1}{x_A} \right]$$

$$\therefore W_{B \rightarrow A} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K} \left( \frac{1}{x_B} - \frac{1}{x_A} \right)$$

initial final

$$\boxed{W_{initial \rightarrow final} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K} \left[ \frac{1}{x_i} - \frac{1}{x_f} \right]}$$

∴ তড়িৎক্ষেত্রের এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে কোনো আধানকে নিতে কৃতকাজ :-

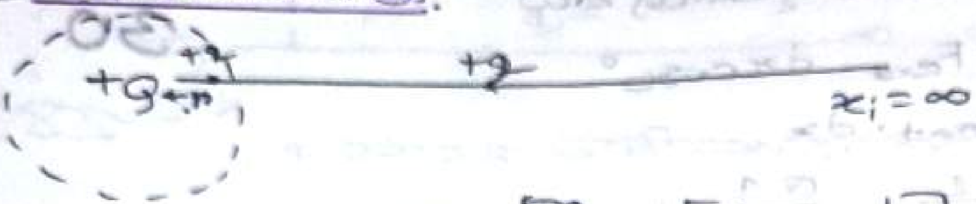
$$W = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K} \left[ \frac{1}{x_i} - \frac{1}{x_f} \right]$$

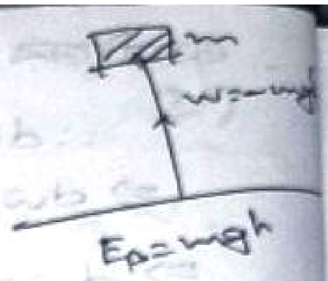
$Q$ = যে আধানের জন্য তড়িৎক্ষেত্র পাওয়া যায়।

$q$ = যে আধানকে স্থানান্তরিত করা হয়।

সেই আধানের জন্য তড়িৎক্ষেত্র পাওয়া যায় সেই আধান থেকে দূরত্ব।

## তড়িৎ বিভব শক্তি:




$$W = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K}\left[\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r}\right]$$

বলের বিরুদ্ধে কাজ করছি

$$\Rightarrow W = - \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K r}$$

$$\boxed{W \propto -\frac{1}{r}}$$

আকর্ষণমূলক হলেও বিভবশক্তি (+ve)

★ আকর্ষণের কাজ একটি সমানুপাতিক। অসীমে অবস্থানে কাজ পাওয়া যায় না 0।

$$\therefore \text{তড়িৎ বিভবশক্তি, } U = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K r}$$

$$\boxed{U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K r} \cdot \frac{Q \cdot q}{r}}$$

## তড়িৎ বিভব:

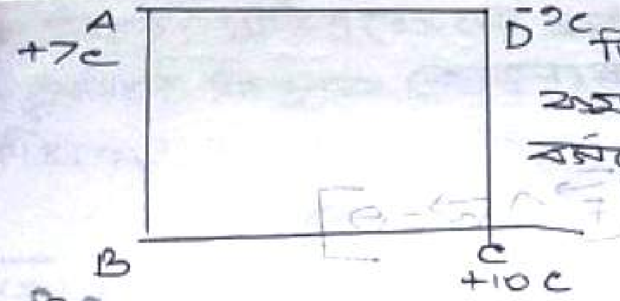
$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q \cdot q}{r}$$

$q = 1C \qquad U \rightarrow V$

$$\therefore \text{তড়িৎ বিভব} \quad \boxed{V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q}{r}} \; ***$$

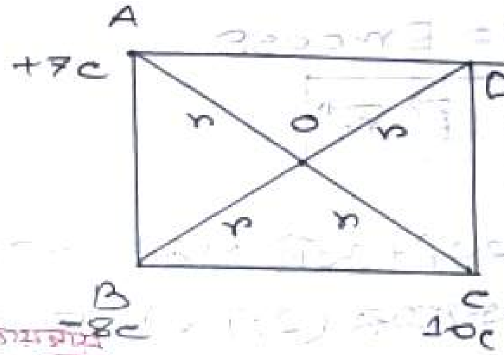
∴ তড়িৎ বিভব স্কেলার রাশি,

$$\boxed{V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n}$$



চিত্রে, ABCD বর্গক্ষেত্রের D বিন্দুতে কত মানের আধান স্থাপন করলে বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভব শূন্য হবে?

32



$\Rightarrow V_A + V_B + V_C + V_D = 0$

$\Rightarrow 7 + 10 - 8 + V_D = 0$

$\Rightarrow V_D = -9$

অথবা,

– থাকলে Q এর minus কার্যকর হবে

$$V_0 = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\cdot\frac{7}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\cdot\frac{-8}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\cdot\frac{10}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\cdot\frac{Q}{r} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\left[7 - 8 + 10 + Q\right] = 0$$

$$\Rightarrow 9 + Q = 0$$

$$\Rightarrow Q = -9C$$

---

## Special observation:

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

$$\Rightarrow V = \frac{Fr}{q}$$

$$\Rightarrow \boxed{V = Er}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\cdot\frac{Q}{r^2}$$

$$\Rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\cdot\frac{Q}{r}\cdot\frac{1}{r}$$

$$\Rightarrow E = V\cdot\frac{1}{r}$$

$$\Rightarrow \boxed{V = Er}$$

আবার,

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

$$\Rightarrow V = \frac{Fr\cos\theta}{q}$$

$$\left[\vec{F} \wedge \vec{r} = \theta\right]$$

$$\Rightarrow V = Er\cos\theta$$

$$\Rightarrow \boxed{V = \vec{E}\cdot\vec{r}}$$

* $10\hat{i}+20\hat{j}+30\hat{k}$ $NC^{-1}$ তড়িৎ প্রাবল্যে বিভব শূন্য হলে তড়িৎ ক্ষেত্রের (2,4,6) বিন্দুতে বিভব নির্ণয় কর।

উঃ $\vec{r} = 2\hat{i}+4\hat{j}+6\hat{k}$

$\vec{E} = 10\hat{i}+20\hat{j}+30\hat{k}$

$\therefore \boxed{V = 380}$

★ এখানে,

$$W = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K}\left[\frac{1}{x_i} - \frac{1}{x_f}\right]$$

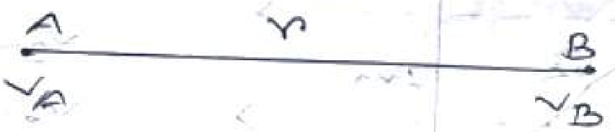
$$x_i = \infty, \quad x_f = r$$

$$W = -\frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K r}$$

$r = \infty$ $\quad W = 0 \quad | \quad V = 0 \quad | \quad U = 0$

★★ তড়িৎ বিভবশক্তি ও তড়িৎ বিভবের সর্বোচ্চ মান অসীমে এবং এ মান হচ্ছে 0।

** কোনো তড়িৎক্ষেত্রে সর্বদা উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভব এর কোনো বিন্দুতে কোনো বস্তুকে আধানকে স্থানান্তরিত করা যায়।




34

$\boxed{W = qV}$

$\boxed{W = q\Delta V}$

case:01: $V_B > V_A$; $B \rightarrow A$

$$\boxed{W = q(V_A - V_B)}$$

case:02: $V_A > V_B$; $A \rightarrow B$

$$\boxed{W = q(V_B - V_A)}$$

$V_B > V_A$

$(V_A - V_B) \rightarrow (-ve)$

$W = -q(V_A - V_B)$

$A \rightarrow x_A$

$B \rightarrow x_B$

$$W = -q\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\frac{Q}{x_A} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\frac{Q}{x_B}\right)$$

$$W = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 K}\left(\frac{1}{x_B} - \frac{1}{x_A}\right)$$

আবার, $V_B > V_A$, $B \rightarrow A$

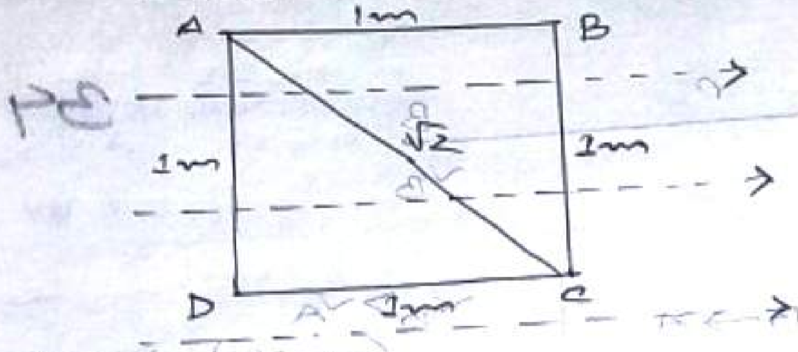
$W = q(V_A - V_B)$

$$\Rightarrow \boxed{V_A - V_B = \frac{W}{q} = Er}$$

$$\boxed{V_A - V_B = Er\cos\theta}$$

$$\boxed{V_A - V_B = \vec{E}\cdot\vec{r}}$$

* ---------→ $E = 10NC^{-1}$




$V_B - V_A = ?$

$V_C - V_A = ?$

$V_D - V_A = ?$

উ: $V_B - V_A = E \times r \times \cos 0^\circ$

$= 10 \times 1 \times 1 = 10V$

$V_C - V_A = E \times r \times \cos 45^\circ$

$= 10 \times \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$

$= 10V$

$V_D - V_A = E \times r \times \cancel{\cos 90^\circ} = 0$

---

সমবিভব তল: (Equipotential surface): ***

যে কাল্পনিক তলের প্রতিটি বিন্দুতে বিভব সমান হয় তাকে সমবিভব তল বলে।

→ $\boxed{\text{গোলকীয় তল}}$

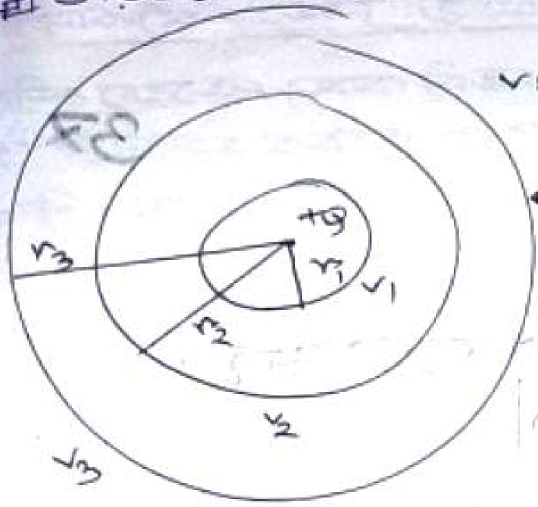
* সমবিভব তলে এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে কোনো চার্জকে স্থানান্তর করা যায় না।

## তড়িৎ প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভবের গোলকীয় স্বীকার্য :- (spherical condition)

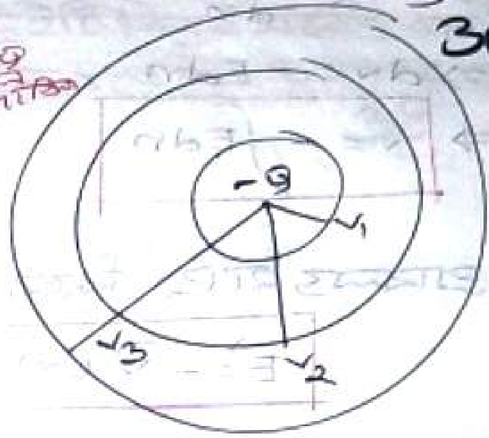


$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{q}{r}$$

-q হলে সমানুপাতিক

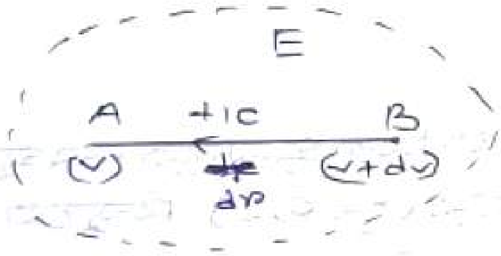



$\boxed{V_1 > V_2 > V_3}$




$\boxed{V_3 > V_2 > V_1}$

## বিভব ও তড়িৎ প্রাবল্যের অন্তরকলনীয় সম্পর্ক (Differential Relⁿ betⁿ V & E):




$AB \to 0$
$dr \to 0$
$dV \to 0$

এখানে, $V_A - V_B = E \cdot dr$

$\Rightarrow V - (V + dV) = E \cdot dr$

$\Rightarrow V - V - dV = E \cdot dr$

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

তড়িৎ বিভব কোন দূরত্বের সাপেক্ষে একবার differentiate করলে প্রাবল্য পাওয়া যায়।

$\left(\because E = -\frac{dv}{dr}\right)$

বা $\Rightarrow dv = -E\,dr$

$$\Rightarrow \boxed{v = -\int E\,dr}$$

★ প্রাবল্য হচ্ছে বিভব এর ঋণাত্মক গ্রেডিয়েন্ট।

$$\boxed{\vec{E} = -\vec{\nabla}(v) = -\mathrm{grad}(v)}$$

$$\vec{E} = E_x\hat{i} + E_y\hat{j} + E_k\hat{k}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = -\frac{\partial v}{\partial x}\hat{i} - \frac{\partial v}{\partial y}\hat{j} - \frac{\partial v}{\partial z}\hat{k}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = -\left(\frac{\partial}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k}\right)v$$

$v(x,y,z)$

$E_x = -\frac{\partial v}{\partial x}$

$E_y = -\frac{\partial v}{\partial y}$

$E_z = -\frac{\partial v}{\partial z}$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{E} = -\vec{\nabla}(v)}$$

* কোনো তড়িৎক্ষেত্রের বিভব ত্রিমাত্রিক স্থানাঙ্ক ব্যবস্থায় $v(x,y,z) = 3x^2y^2z^2$। তড়িৎক্ষেত্রটির $(-1,0,2)$ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর? মানও নির্ণয় কর।

উঃ

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}(v)$$

$$= -\left(\frac{\partial}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k}\right)\cdot 3x^2y^2z^2$$

$$= -\left(\frac{\partial}{\partial x}3x^2y^2z^2 + \frac{\partial}{\partial y}3x^2y^2z^2 + \frac{\partial}{\partial z}3x^2y^2z^2\right)$$

## ইলেকট্রন - ভোল্ট : (electron-volt energy): (1ev)

তড়িৎ ক্ষেত্রে একক বিভব পার্থক্যের দুইটি বিন্দুর মধ্যে একটি $e^-$ স্থানান্তর করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় তাকে 1 ev শক্তি বলে। 38

$$W = q\Delta V$$
$$\Rightarrow W = q_e \times 1V$$
$$= 1.6\times10^{-19} C\times 1V$$
$$= 1.6\times10^{-19} eV$$

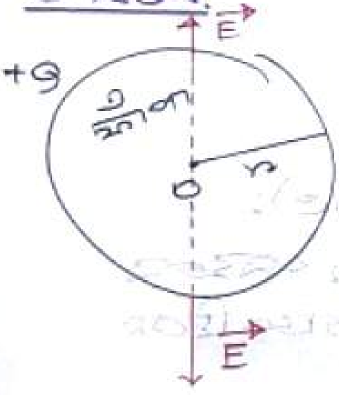
$q_e = -1.6\times10^{-19} C$

$|q_e| = 1.6\times10^{-19} V$

$$\boxed{1eV = 1.6\times10^{-19} J}$$

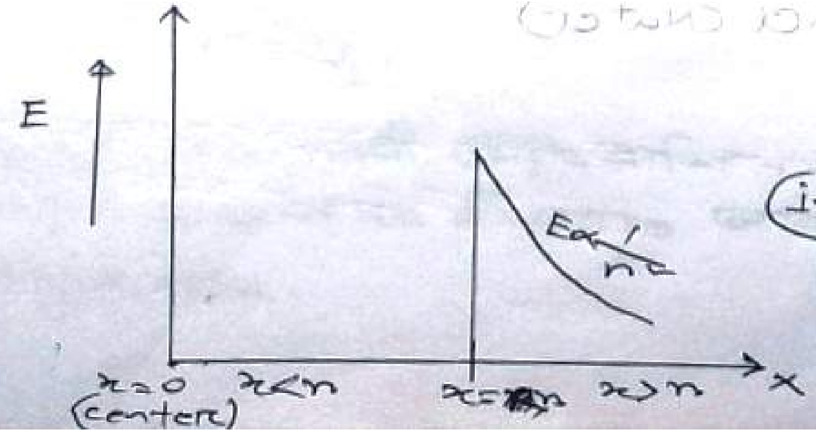
নিউক্লিয়ার Physics এ ev টি অধিক ব্যবহার করা হয়।

## কোনো ফাপা গোলকের পৃষ্ঠে ও অভ্যন্তরে ~~মহাকর্ষীয়~~ তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভব:



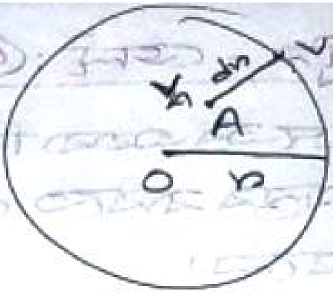

পৃষ্ঠে প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{q}{r^2}$

★ ফাপা গোলকের অভ্যন্তরের কোন বিন্দুতে প্রাবল্য 0 হবে।




(inverse square law)

∴ পৃষ্ঠে বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{Q}{r}$



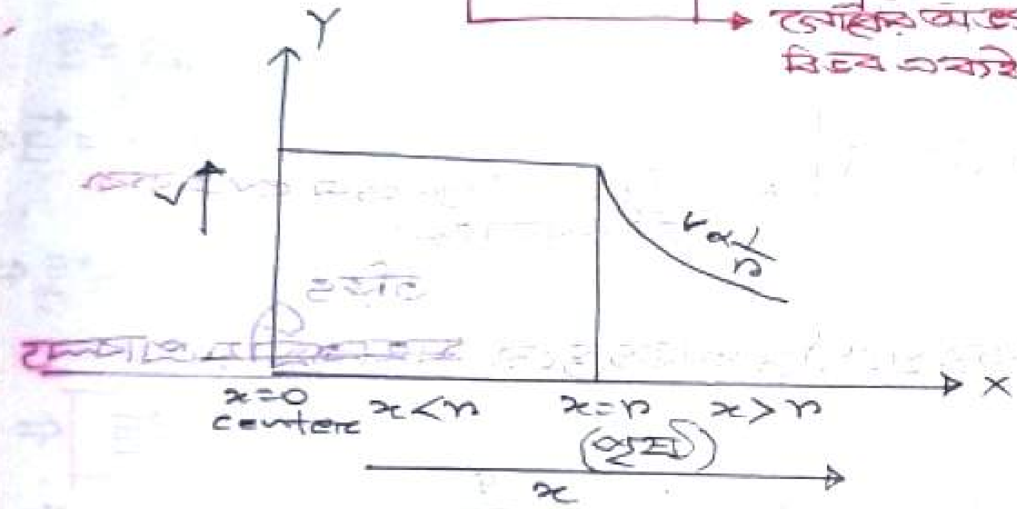



অভ্যন্তরের কোনো বিন্দুতে বিভব। পৃষ্ঠ থেকে A বিন্দুতে,

$V_A - V = \cancel{E}\cdot dr$ [অভ্যন্তরে প্রাবল্য শূন্য হয়]

$\Rightarrow V_A - V = 0$

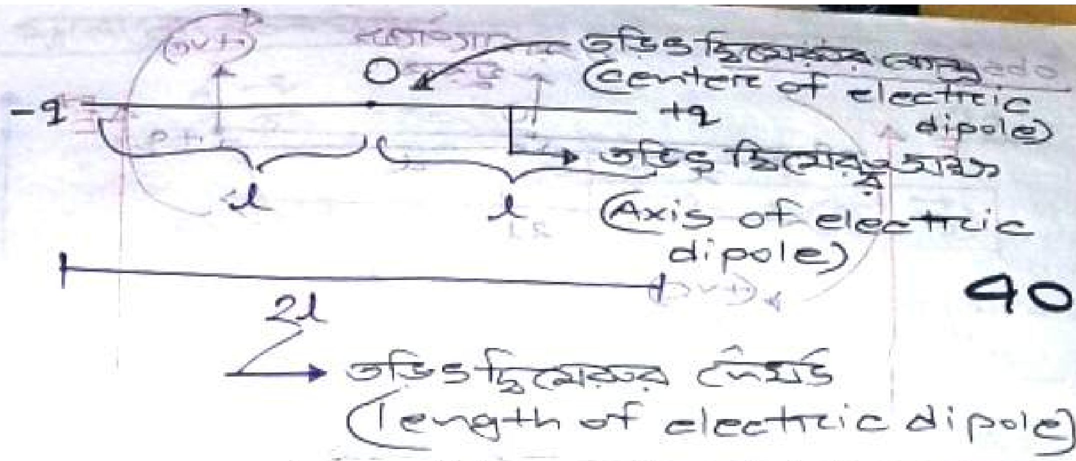
$\Rightarrow \boxed{V_A = V}$ → গোলকের অভ্যন্তরে যেকোনো বিন্দুর বিভব একই।




Topic: 06: তড়িৎ দ্বিমেরু (electric-dipole):

সমান মানের ও বিপরীতধর্মী দুইটি বিন্দু আধান পরস্পর হতে ক্ষুদ্র দূরত্বে অবস্থান করলে তাকেই তড়িৎ দ্বিমেরু বলে।

$HCl(H^+Cl^-)$, $NaCl\ (Na^+Cl^-)$




40

তড়িৎ দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্য = 10cm

$$\boxed{2l = 10cm}$$

তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক (Moment of electric dipole) (p): তড়িৎ দ্বিমেরুর যেকোনো একটি আধানের মান দ্বারা তড়িৎ দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্যকে গুণ করলে যা পাওয়া যায় তাই হচ্ছে তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক।

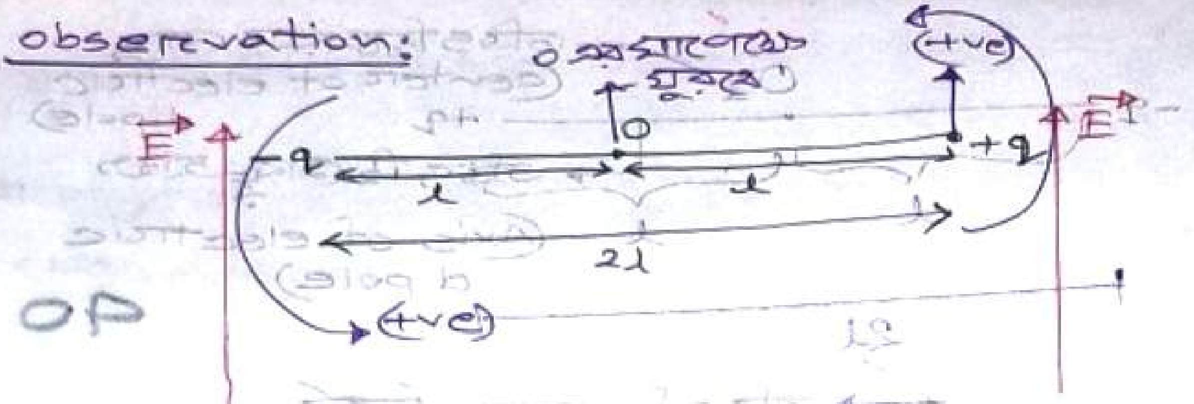

∴ তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক $\boxed{p = q(2l)}$

Unit: Cm (SI)

$$\boxed{\vec{p} = q(2\vec{l})}$$

∴ তড়িৎ দ্বিমেরু একটি ভেক্টর রাশি, এর দিক হচ্ছে তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর ঋণাত্মক আধান থেকে ধনাত্মক আধানের দিকে।

observation:




41

OP

* প্রথমত + চার্জ থেকে আরম্ভ করি।

★ কোনো দ্বিমেরুর ভ্রামক বলতে ঐ দ্বিমেরুর এবং সমদূরত্বের গুণফলকে বোঝায়।

$+q$ এর জন্য ভ্রামক $= ql$ +ve

$-q$ " " " $= ql$ +ve

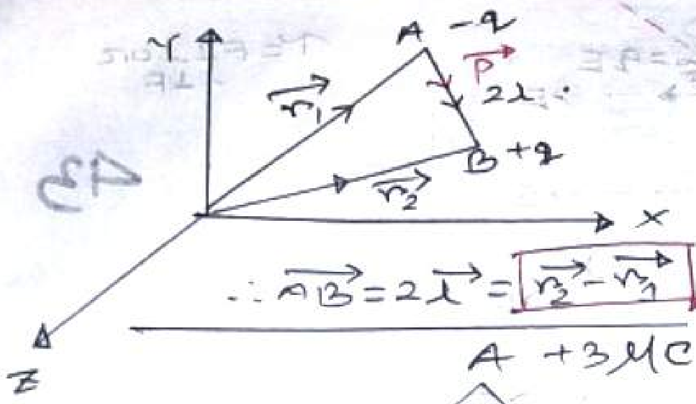
$\therefore$ মোট ভ্রামক $= ql + ql = 2ql = q(2l)$

$\therefore$ তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক $p = q(2l)$

$$\boxed{\therefore \vec{p} = q(2\vec{l})}$$

ত্রিমাত্রিক স্থানাঙ্কে ব্যবহার:

42

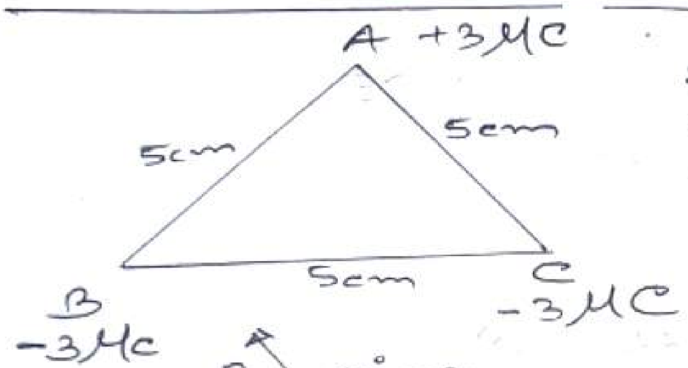



$$\therefore \vec{p} = q(2\vec{l})$$

$$\therefore \boxed{\vec{p} = q(\vec{r_2} - \vec{r_1})}$$

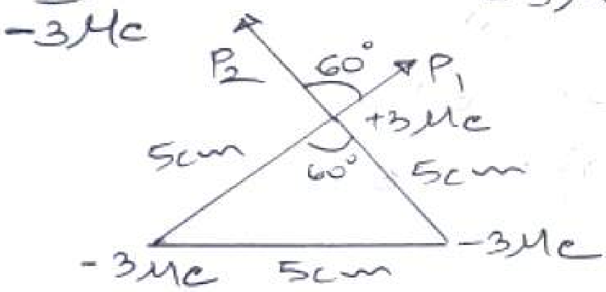
$$\therefore \vec{AB} = 2\vec{l} = \boxed{\vec{r_2} - \vec{r_1}}$$ → 2 দিয়ে ভুলেও গুণ করা যাবে না।

---

* 


চিত্রে, A বিন্দুতে লব্ধি তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক নির্ণয় কর।

উ:




$$P_1 = (2l) \cdot q$$
$$= 5\times10^{-2} \times 3\times10^{-6}$$
$$= 15\times10^{-8}$$

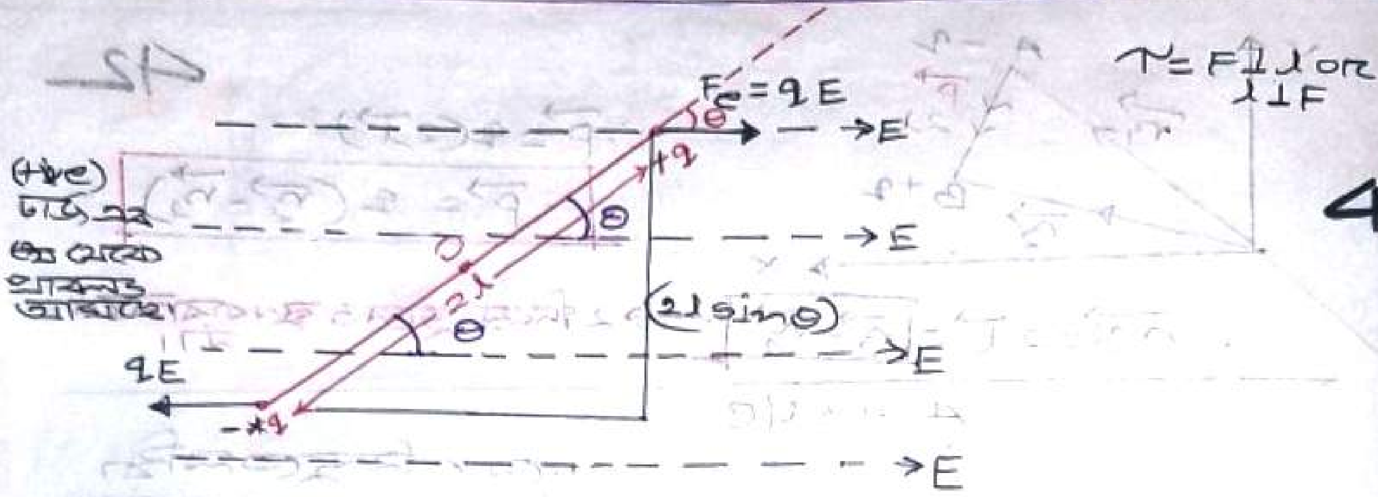
$$P_2 = 5\times10^{-2} \times 3\times10^{-6}$$
$$= 15\times10^{-8}$$

A বিন্দুতে লব্ধি,

$$\therefore P_R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos 60^\circ}$$

*** বহিঃস্থ তড়িৎক্ষেত্রে তড়িৎ দ্বিমেরুর উপর প্রযুক্ত টর্ক:**

43




$\tau$ $F \perp l$ or $l \perp F$

$\therefore$ Applied Torque,

$$\tau = F_e (2l\sin\theta)$$
$$= qE(2l\sin\theta)$$
$$= \{q(2l)\} E\sin\theta$$

$$\boxed{\tau = PE\sin\theta}$$

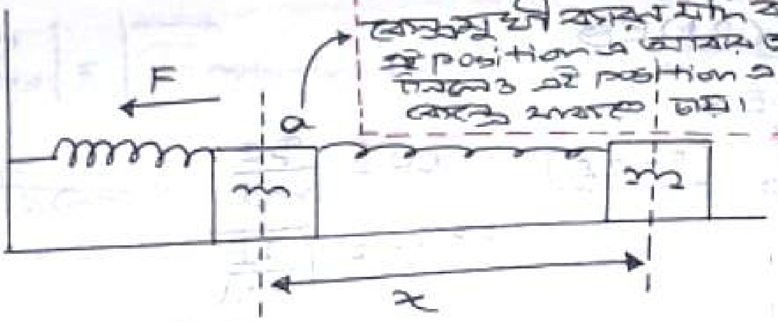
$$\Rightarrow |\vec{\tau}| = |\vec{P} \times \vec{E}|$$

$$\therefore \boxed{\vec{\tau} = \vec{P} \times \vec{E}}$$

এখানে, টর্ক এর দিক হচ্ছে P ও E এর তলে অবস্থিত যে তলের লম্ব বরাবর নিচের দিকে বা উপরের দিকে।

★ observation:

৭৭




কেন্দ্রমুখী কারণ যদি বামে টান দিই তাই আবার ঐ position এ আবার আসার try করে, যেমন টানলেও ঐ position এ চলে আসতে চায়। অর্থাৎ কেন্দ্রে আসতে চায়।

কারণ যেখানেই যায় কেন্দ্রের দিকে টান থাকে কেন্দ্রের দিকে যাবে।

কেন্দ্রমুখী ত্বরণ

$\therefore F \propto -x$

$\Rightarrow F = -kx$

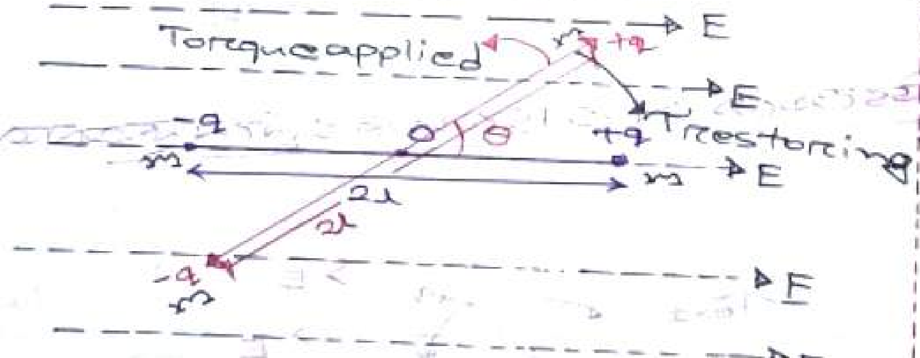
$\Rightarrow ma = -kx$

$\Rightarrow a = -\frac{k}{m}x$

$\Rightarrow a = -\omega^2 x \quad \left[\frac{k}{m} = \omega^2\right]$

$\Rightarrow \boxed{\alpha = -\omega^2 \theta}$

$$\frac{k}{m} = \frac{F/x}{m} = \frac{\frac{ma}{x}}{m} = \frac{a}{x} = \frac{\frac{v^2}{x}}{x} = \frac{v^2}{x^2} = \left(\frac{v}{x}\right)^2 = \omega^2 \ [v = x\omega]$$




স্থায়ী অবস্থা হলো সাম্যাবস্থা। একটু ঘুরিয়ে দিলে আবার আগের জায়গায় ফিরে যায় কিন্তু একটু বেশি বেগ দিলে সাম্যাবস্থা অতিক্রম করে যায় আবার সাম্যাবস্থায় অবস্থানে back করে।

★ [illegible] $ml^2 + ml^2 = I$

$\therefore \tau_{restoring} = -PE\sin\theta \quad$ [(-ve) টর্ক কাজ করছে বিপরীত দিকে]

$\Rightarrow I\alpha = -PE\sin\theta$

$\Rightarrow (ml^2 + ml^2)\alpha = -PE\sin\theta \quad \left[\begin{matrix}\theta \to 0 \\ \sin\theta = \theta\end{matrix}\right] \quad \left[\begin{matrix}F = ma \\ \Rightarrow \tau = I\alpha\end{matrix}\right]$

$\Rightarrow 2ml^2\alpha = -PE\theta$

$$\Rightarrow 2ml^2\alpha = -pE\theta$$

$$\Rightarrow 2ml^2\alpha = -q(2l)E\theta$$

$$\Rightarrow ml^2\alpha = -qE\theta$$

$$\Rightarrow \alpha = -\underbrace{\frac{qE}{ml}}_{\omega^2}\cdot\theta \quad [F = qE]$$

$$\therefore \boxed{\alpha = -\omega^2\theta}$$

$$\omega^2 = \frac{qE}{ml}$$

$$\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{qE}{ml}}$$

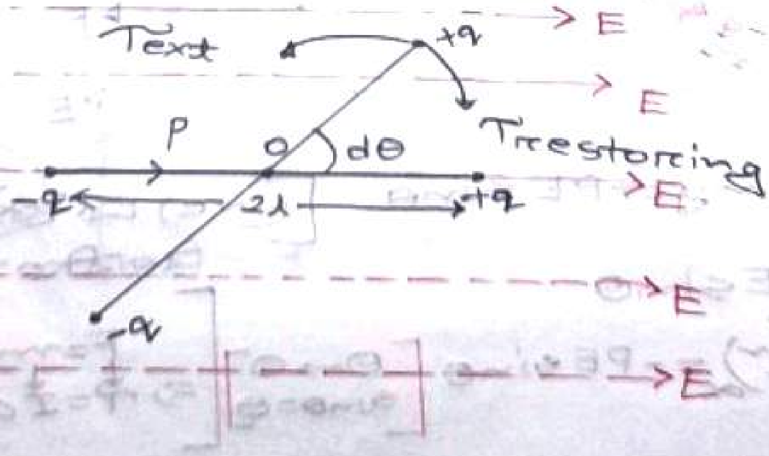
$$\Rightarrow \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{qE}{ml}}$$

$$\Rightarrow \frac{T}{2\pi} = \sqrt{\frac{ml}{qE}}$$

$$\therefore \boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{qE}}}$$

∴ কোনো বহিঃস্থ তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎদ্বিমেরুকে সাম্যাবস্থা থেকে θ কৌণিক সরণে ঘুরিয়ে ছেড়ে দিলে এটি সরলছন্দিত স্পন্দন গতি লাভ করে।
উক্ত স্পন্দন গতির পর্যায়কাল, $T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{qE}}$.

* বহিঃস্থ তড়িৎ ক্ষেত্রে তড়িৎ দ্বিমেরুর ঘূর্ণনে কৃতকাজ:



$$\vec{\tau}_{ext} = -\vec{\tau}_{restoring}$$

$$\Rightarrow |\vec{\tau}_{ext}| = |\vec{\tau}_{restoring}| = \tau$$

**observation:**

$W = FS$

circular:

$\boxed{W = \tau\theta}$

46

∴ তড়িৎ দ্বিমেরুকে $d\theta$ ঘুরালে ক্ষুদ্র কৃতকাজ,

$$dW = \tau d\theta \quad [\tau = PE\sin\theta]$$

$$\Rightarrow dW = PE\sin\theta d\theta$$

$$\Rightarrow \int_0^W dW = PE\int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta$$

[ $\theta_1$ = initial angular position
$\theta_2$ = final " " ]

$$\Rightarrow [W]_0^W = PE[-\cos\theta]_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$\Rightarrow [W-0] = -PE[\cos\theta_2 - \cos\theta_1]$$

$$\Rightarrow \boxed{W = PE[\cos\theta_1 - \cos\theta_2]} \ *$$

আগে থেকেই ঘুরানো থাকতে পারে।

সাম্যাবস্থা থেকে ঘোরানো হলে,

$$\theta_1 = 0° \longrightarrow \theta_2 = \theta$$

$\boxed{W = PE(1-\cos\theta)}$ → সাম্যাবস্থা হতে উৎপন্ন কোণ।

**observation:**

(i) $0° \longrightarrow 0°$ $\boxed{W = 0}$

(ii) $\begin{pmatrix} 0° \longrightarrow 90° \\ 0 \longrightarrow \frac{\pi}{2} \end{pmatrix}$ $\boxed{W = PE}$

(iii) $\begin{pmatrix} 0° \longrightarrow 180° \\ 0 \longrightarrow \pi \end{pmatrix}$ $W = PE(1-\cos\pi)$
$= PE(1+1)$

$\boxed{W = 2PE}$

* কোনো বহিঃস্থ তড়িৎক্ষেত্রের তড়িৎ প্রাবল্য $5 NC^{-1}$, উক্ত তড়িৎ ক্ষেত্রের সাথে $30^\circ$ কোণে স্থাপিত কোনো তড়িৎ দ্বিমেরুর আধানদ্বয় $-3mC$ ও $3mC$ এবং তড়িৎ দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্য 3mm। 47

(i) উদ্দীপকে তড়িৎ দ্বিমেরু-টির জন্য তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক নির্ণয় কর।

(ii) প্রদত্ত উদ্দীপক অনুযায়ী তড়িৎ দ্বিমেরুর উপর প্রযুক্ত টর্ক নির্ণয় কর।

(iii) উদ্দীপকের প্রদত্ত তড়িৎ দ্বিমেরু-টিকে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে $90^\circ$ কোণে ঘোরালে কৃতকাজ-এর পরিমাণ নির্ণয় কর।

উ: (i) ∴ তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$$p = q(2l)$$
$$= 3\times10^{-3} \times 3\times10^{-3}$$
$$= 9\times10^{-6}\ Cm$$

$q = 3mC$
$= 3\times10^{-3} C$
$(2l) = 3mm$
$= 3\times10^{-3} m$

(ii) $\tau = pE\sin\theta$

$$= 9\times10^{-6} \times 5\times\sin30^\circ$$
$$= 45\times10^{-6}\times\frac{1}{2}$$
$$= 22.5\times10^{-6}$$

$\tau = 2.25\times10^{-5}\ Nm$

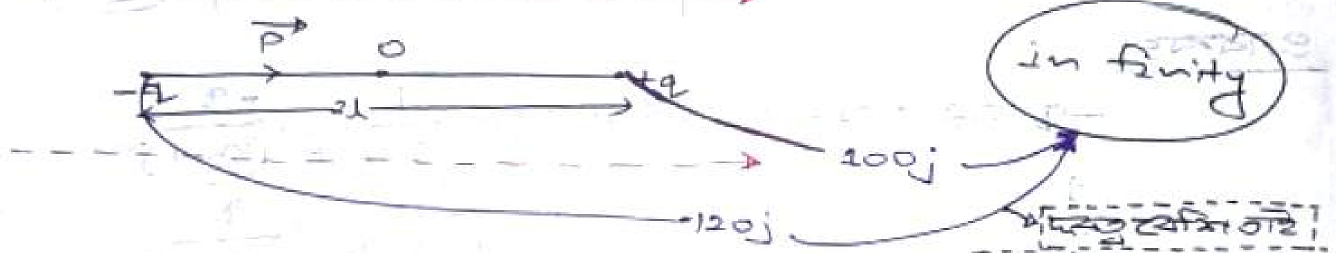
(iii) $W = PE(\cos 30^\circ - \cos 120^\circ)$ $\theta_1 = 30^\circ$
$\theta_2 = 30^\circ + 90^\circ$
$= 120^\circ$

$= 9\times10^{-6}\times 5\{\cos 30^\circ - \cos 120^\circ\}\,J$

$= \cancel{1.95\times10^{-5}}\; 6.15\times10^{-5}\,J$

48

☐ তড়িৎদ্বিমেরুর বিভবশক্তি (Potential energy of electric dipole):




যেহেতু বেশি তাই

ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে নিয়ে যাওয়া হচ্ছে

$\therefore$ মোট বিভবশক্তি, ~~U = +100j ... 100j~~

$U = -120j + 100j$

$= -20j \rightarrow$ $-q$ কে $+q$ পর্যন্ত আনতে $-20j$ শক্তি লাগছে

$= -(20j)$

$= -(F.2l) \rightarrow$ কৃতকাজ হলো যান্ত্রিক শক্তি

$= -(qE.2l)$

$= -\{q.(2l)\}.E$

$\boxed{U = -PE}$

$\therefore \boxed{\text{বিভবশক্তি} = -PE = U}$

* $U = -PE.1$ $\therefore \vec{P} \wedge \vec{E} = \theta$

$\Rightarrow U = -PE.\cos 0^\circ$ $[\vec{P}\wedge\vec{E} = 0^\circ]$ $U = -PE\cos\theta$

$\Rightarrow \boxed{U = -\vec{P}.\vec{E}}$

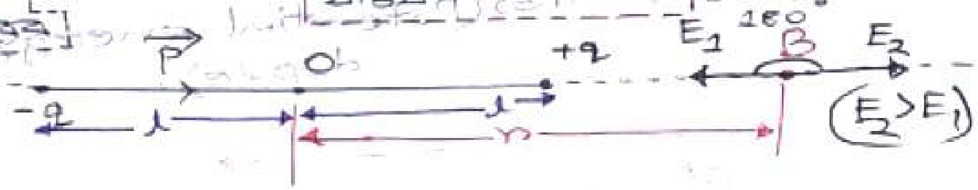
* তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভব:

Case:01: তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভব।

দূরত্ব নেওয়ার সময় সবসময় দ্বিমেরুর কেন্দ্র হতে হিসাব করব

আমাদের হিসাবে infinite এ চলে যাওয়া

কারণ দ্বিমেরুর ভ্রামক P এর দিক ই দিবে।




প্রাবল্য:

$-q$ এর জন্য প্রাবল্য $E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{+q}{(r+l)^2}$

$+q$ " " " $E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{q}{(r-l)^2}$

এখানে, $E_2 > E_1$

$\therefore$ B বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য $E = E_2 - E_1$

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

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

$$\therefore E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{4rl}{(r^2-l^2)^2}$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{2 \cdot q(2l)\, r}{(r^2-l^2)^2}$$

$$\therefore \boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{2Pr}{(r^2-l^2)^2}}$$

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

এখানে, $l << r$

$(r >> l)$

$$\therefore r^2 - l^2 \approx r^2$$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{2pr}{r^4}$$

$$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{2p}{r^3}}$$

বিভব: B বিন্দুতে,

"$-q$" এর জন্য বিভব $V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{-q}{(r+l)}$

"$+q$" " " " $V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(r-l)}$

$\therefore$ মোট বিভব, $V = V_1 + V_2$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{(-q)}{(r+l)} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{r-l}$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K}\left[-\frac{1}{(r+l)} + \frac{1}{(r-l)}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{2l}{(r^2-l^2)}$$

$$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{q(2l)}{(r^2-l^2)}$$

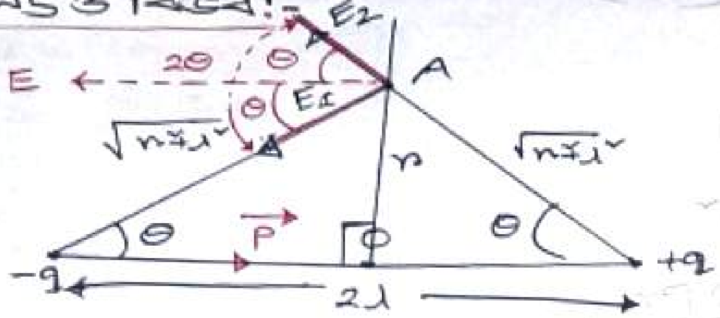
$$\therefore \boxed{V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{p}{r^2-l^2}}$$

এখানে, $r >> l \quad \therefore r^2 - l^2 \approx r^2$

$$\boxed{V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{p}{r^2}}$$

case:02: তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব সমদ্বিখণ্ডকে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভব:-






$OA = r$

★ তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব সমদ্বিখণ্ডক এর উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য, তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামকের সমান্তরাল ও বিপরীত দিকে।

প্রাবল্য: $|\vec{E_1}| = |\vec{E_2}|$

$$\vec{E_1} \wedge \vec{E_2} = 2\theta$$

$$\therefore E = 2E_1 \cos\frac{2\theta}{2}$$

$$\Rightarrow E = 2E_1 \cos\theta$$

$$\Rightarrow E = 2 \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{(\sqrt{r^2+l^2})^2} \cdot \frac{l}{\sqrt{r^2+l^2}} \qquad \left[ \cos\theta = \frac{l}{\sqrt{r^2+l^2}} \right.$$

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

এখানে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{p}{(r^2+l^2)^{3/2}}$

$$r \gg l$$

$$r^2 + l^2 \approx r^2$$

$$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{p}{r^3}}$$

বিভব: A বিন্দুতে,

"−q" এর জন্য বিভব $v_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{(-q)}{\sqrt{r^2+l^2}}$

52

"+q" এর জন্য বিভব $v_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{q}{\sqrt{r^2+l^2}}$

$\therefore$ মোট বিভব $= v_1 + v_2$

$$= \left(-\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{q}{\sqrt{r^2+l^2}}\right) + \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{q}{\sqrt{r^2+l^2}}\right)$$

$$\boxed{v = 0}$$

$\therefore$ তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্বসমদ্বিখন্ডকের উপর কোনো বিন্দুতে মোট বিভব 0।

case:03

* −5mC ও 5mC আধানদ্বয় দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎ দ্বিমেরুর কেন্দ্র থেকে 5cm দূরে তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভব নির্ণয় কর যেখানে:-

(i) বিন্দুটি তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের উপর অবস্থিত।

(ii) বিন্দুটি " " লম্বসমদ্বিখন্ডকের উপর অবস্থিত।

[ভ্রামক, $p = 6\times10^{-4}$ Cm]

(i) ও

$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{2pr}{(r^2-l^2)^2}$ ; $v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{p}{(r^2-l^2)}$

$r >> l$,

$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{2p}{r^3}$ ; $v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{p}{r^2}$

$= 9\times10^9 \times \frac{2\times6\times10^{-6}}{(5\times10^{-2})^3}$ $NC^{-1}$ ; $v = 9\times10^9 \times \frac{6\times10^{-6}}{(5\times10^{-2})^2}$

$E = 8.64\times10^8$ $NC^{-1}$ ; $v = 2.16\times10^7$ $JC^{-1}$

$q_1 = -5mC$
$q_2 = 5mC$
$\therefore |q| = 5mC$
$= 5\times10^{-3}C$.
$p = 6\times10^{-4}$ cm
$= 6\times10^{-6}$ m
$r = 5cm = 5\times10^{-2}$ m

(ii)

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

$$= 9\times10^9\times\frac{P}{r^3}\quad [\text{যখন } r>>l]$$

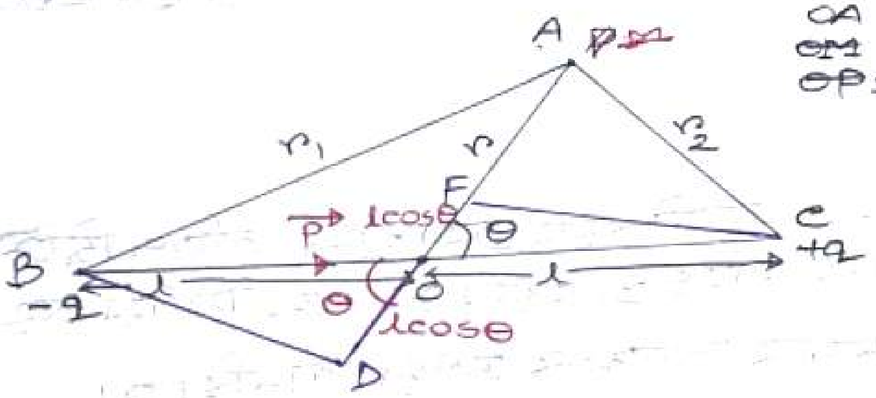
$$= 9\times10^9\times\frac{6\times10^{-6}}{(5\times10^{-2})^3}\ NC^{-1}$$

$$= 4.32\times10^8\ NC^{-1}$$

---

**case: 03:** তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য যেকোনো বিন্দুতে বিভব ও প্রাবল্য:-

OA
OM
$OP = r$



$\cos\theta = \frac{OF}{l}$
$\therefore OF = l\cos\theta$

$$AB = AD = r_1;\quad AC = AF = r_2$$

$$r_1 = AD = AO + OD = r + l\cos\theta$$

$$r_2 = AF = AO - OF = r - l\cos\theta$$

"-q" এর জন্য A বিন্দুতে বিভব $V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{-q}{r_1}$

"+q" " " A " " $V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{q}{r_2}$

$\therefore$ মোট বিভব, $V = V_1 + V_2$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K}\left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right]$$

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K}\left[\frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 K}\left[\frac{r + l\cos\theta - r + l\cos\theta}{(r + l\cos\theta)(r - l\cos\theta)}\right]$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\,\frac{\{q \cdot (2l)\}\cos\theta}{r^2 - l^2\cos^2\theta}$$

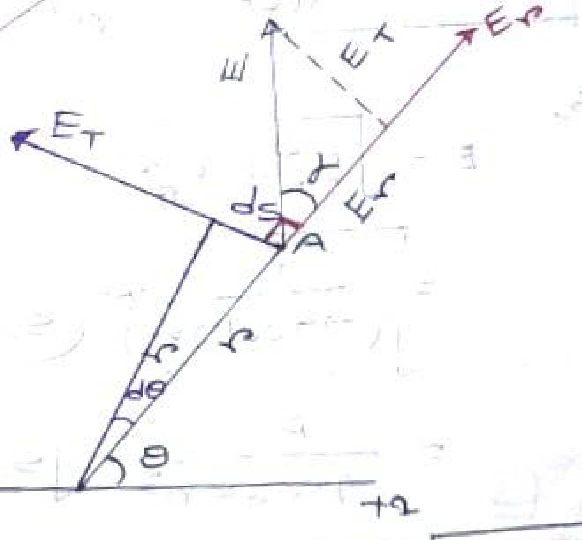
$$\therefore \boxed{V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\,\frac{p\cos\theta}{r^2 - l^2\cos^2\theta}}$$

আসন্ন মান

if, $r^2 >> l^2\cos^2\theta$

$$r^2 - l^2\cos^2\theta \approx r^2$$

$$\therefore \boxed{V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{p\cos\theta}{r^2}}$$



প্রাবল্য:

এখানে, θ এবং r দুটিই change হবে/হতে পারে। অর্থাৎ, প্রাবল্য এখানে দূরত্ব ও θ এর change হলে পরিবর্তিত হবে

A বিন্দুতে বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{p\cos\theta}{r^2}$

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

ভেরিয়েবল দুটো তাই দুইবার differenciate করা লাগবে।

$E_{Transversal}$: $E_T = -\frac{dV}{ds}$

$$= -\frac{d}{r\,d\theta}\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= \frac{-p}{4\pi\epsilon_0 K r^3}\,\frac{d}{d\theta}(\cos\theta)$$

$$= -\frac{p}{4\pi\epsilon_0 K r^3}\cdot(-\sin\theta)$$

$$\boxed{E_T = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{p\sin\theta}{r^3}} \longrightarrow (i)$$

**Eradial:**

$$E_r = -\frac{dv}{dr}$$

$$= -\frac{d}{dr}\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\,\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= -\frac{p\cos\theta}{4\pi\epsilon_0 K}\,\frac{d}{dr}\left(\frac{1}{r^2}\right)$$

$$= -\frac{p\cos\theta}{4\pi\epsilon_0 K}\left(-\frac{2}{r^3}\right)$$

$$\boxed{E_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{2p\cos\theta}{r^3}} \longleftarrow (ii)$$

এখানে,

$$E = \sqrt{E_T^2 + E_r^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{p}{4\pi\epsilon_0 K r^3}\right)^2 (\sin^2\theta + 4\cos^2\theta)}$$

$$= \frac{p}{4\pi\epsilon_0 K r^3}\sqrt{\sin^2\theta + \cos^2\theta + 3\cos^2\theta}$$

$$\therefore \boxed{E = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 K r^3}\sqrt{3\cos^2\theta + 1}} \quad **$$

দ্বন্দ্ব দ্বিমেরুর ভ্রামকের মাধ্যমে কোণ উৎপন্ন করে।

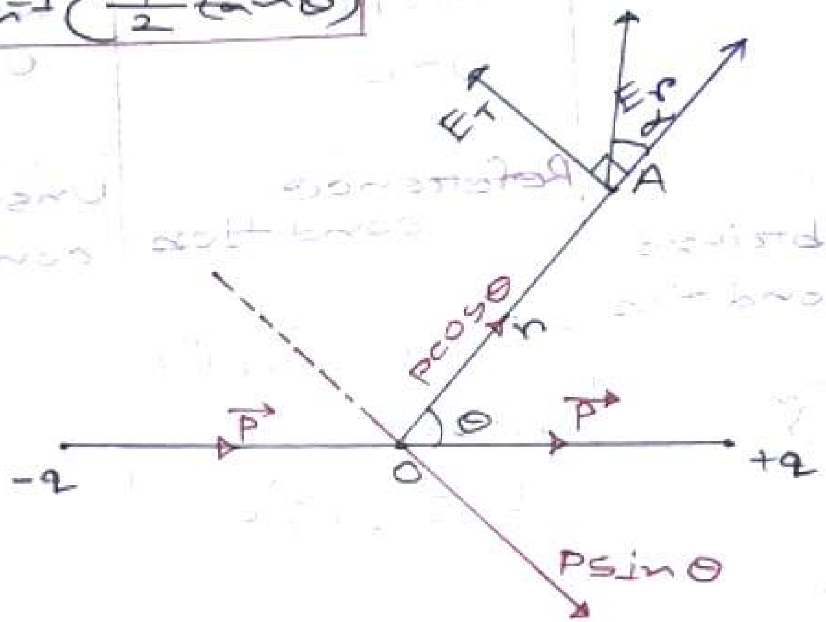
$$\therefore \tan\alpha = \frac{E_T}{E_r} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{p\sin\theta}{r^3}}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{2p\cos\theta}{r^3}}$$



$$\Rightarrow \tan\alpha = \frac{1}{2}\tan\theta$$

$$\boxed{\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\tan\theta\right)} ***$$

Method:2:




"pcosθ" এর জন্য A বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{2p\cos\theta}{r^3}$$ [case: 01]

"psinθ" জন্য A বিন্দুতে প্রাবল্য, [case-02]

$$E_T = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{p\sin\theta}{r^3}$$

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

$$E = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 K r^3}\sqrt{3\cos^2\theta + 1}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\tan\theta\right)$$

## special observation:

$\vec{p}\wedge\vec{E}=0^\circ$

$\tau=0$

$W=0$

$U=-PE$

Static equillibrium or stable condition

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

$r^2>>l^2$

$E=\frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\cdot\frac{2P}{r^3}$

$\vec{p}\wedge\vec{E}=90^\circ$

$\tau=PE$

$W=PE$

$U=0$

Reference condition

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

$r^2>>l^2$

$E=\frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\cdot\frac{P}{r^3}$

$\vec{p}\wedge\vec{E}=180^\circ$

$\tau=0$

$W=2PE$

$U=PE$

Unstable condition

57

## Topic: 07: ধারকত্ব (capacitance):

ক) পরিবাহীর ধারকত্ব (capacitance of conductor): কোনো পরিবাহীর বিভব 1 একক বৃদ্ধি করতে ঐ পরিবাহীর যে পরিমাণ আধানের প্রয়োজন হয়, তাকে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব বলে।

কোনো পরিবাহীর বিভব ১ বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় আধান
" " " 1 " " " " $\frac{Q}{V}$

ধারকত্ব, $\boxed{C = \frac{Q}{V}}$

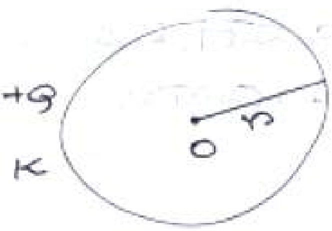
Unit: $\frac{1C}{1V} = 1CV^{-1} = 1F$

58

$1\mu F = 10^{-6} F$

---

গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব: (Capacitance of spherical conductor):




∴ পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভব,

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

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

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

$$\therefore \boxed{C = 4\pi\epsilon_0 K r}$$

শূন্যস্থান বা বায়ু মাধ্যমে, $K=1$

$$\therefore \boxed{C = 4\pi\epsilon_0 r}$$

$$C = \underbrace{4\pi\epsilon_0}_{const} r$$

$$\therefore \boxed{C \propto r}$$

নির্দিষ্ট মাধ্যমে কোনো ~~নির্দিষ্ট~~ ~~আধানে~~ গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক।

$$\therefore C_1 r_1 = C_2 r_2 = \dots\dots C_n r_n$$

$$\frac{C_1}{r_1} = \frac{C_2}{r_2}$$

* পৃথিবীকে একটি সুষম গোলক বিবেচনা করে এর ধারকত্ব নির্ণয় কর।

উঃ $C = 4\pi\epsilon_0 R$ $\quad R = 6.4\times10^6 m$

$= 4\pi\times 8.854\times10^{-12}\times 6.4\times10^6$

$= 7.12\times10^{-4} F$

$= 712 \mu F$

* ২৫ চার্জে চার্জিত ও 0.2 mm ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট অনুরূপ ২৭টি পানির ফোঁটাকে একত্রিত করে একটি বড় পানির ফোঁটায় পরিণত করা হলো, বড় পানির ফোঁটার বিভব ও ধারকত্ব নির্ণয় কর।

উঃ ধরি, ছোট পানির ফোঁটার ব্যাসার্ধ $r$

বড় " " " $R$

$\frac{4}{3}\pi R^3 = 27\times\frac{4}{3}\pi r^3$

$\Rightarrow R = 3r$

$\Rightarrow R = 0.6 mm$

$\Rightarrow R = 6\times10^{-4} m$

∴ বড় পানির ফোঁটার ধারকত্ব,

$C = 4\pi\epsilon_0 R$

$= (4\pi\times 8.854\times10^{-12}\times 6\times10^{-4}) F$

$C = 6.7\times10^{-14} F$

বড় পানির ফোঁটার আধান,

$$Q = (27\times 2C) = 54C$$ → আধানের নিত্যতা অনুসারে।

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

$$\Rightarrow V = \frac{Q}{C} = \frac{54}{6.7\times10^{-19}} = 8.05\times10^{19}V$$

60

* 220V এ চার্জিত অনুরূপ 8টি পানির ফোঁটাকে একত্রিত করে একটি বড় পানির ফোঁটায় পরিণত করা হলো, বড় পানির ফোঁটার বিভব কত?

ধরি: ছোট পানির ফোঁটার ব্যাসার্ধ $= r$

বড় " " " $= R$

শর্তমতে,

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

$$\Rightarrow R = 2r$$

ছোট পানির ফোঁটার বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{q}{r}$

বড় " " " , $V' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{Q}{R}$ $\left[\begin{array}{l} Q = 8q \\ R = 2r \end{array}\right]$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{8q}{2r}$$

$$\Rightarrow 4\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0 K}\cdot\frac{q}{r}\right)$$

$$V' = 4V = 4\times220V$$

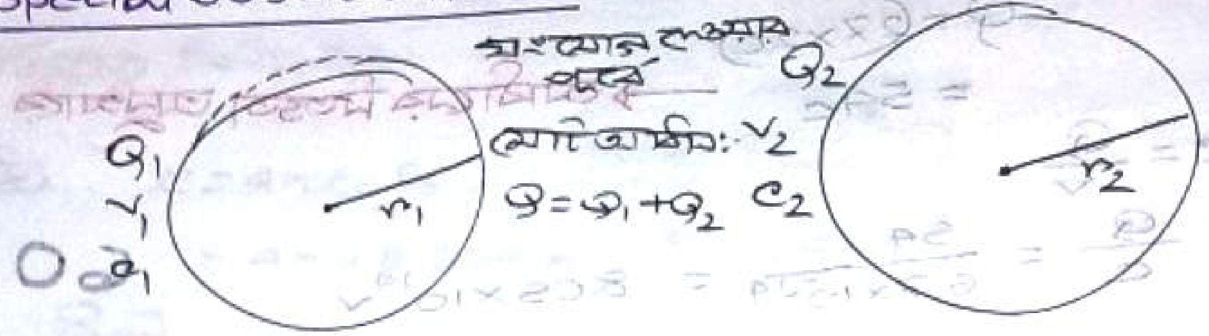
$$V' = 880V$$

Method: $\frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{2}$

$$\Rightarrow \frac{\frac{q}{V}}{\frac{8q}{V'}} = \frac{1}{2}$$

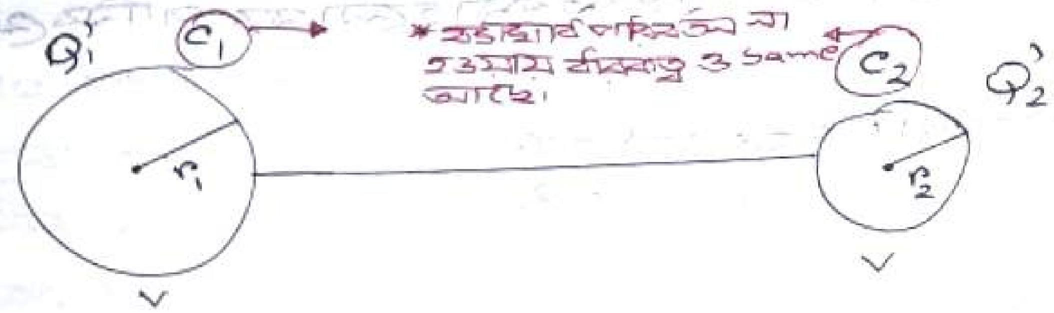
$$\Rightarrow \boxed{\frac{V'}{8V} = \frac{1}{2}} \Rightarrow \boxed{V' = 4V = 4\times220V = 880V}$$

## special observation:




61

### পরিবাহী তার দ্বারা সংযোগ দেওয়ার পর:




∴ সংযোগ দেওয়ার পর মোট আধান, $Q = Q_1' + Q_2'$

∴ শর্তানুযায়ী, $Q_1 + Q_2 = Q_1' + Q_2'$ ——(i)

এখানে,

সংযোগ দেওয়ার পূর্বে,

$$C_1 = \frac{Q_1}{V_1} \; ; \; C_2 = \frac{Q_2}{V_2}$$

সংযোগ দেওয়ার পর,

$$C_1 = \frac{Q_1'}{V} \; ; \; C_2 = \frac{Q_2'}{V}$$

$$\therefore V = \frac{Q_1'}{C_1} \; ; \; V = \frac{Q_2'}{C_2}$$

$$\therefore \frac{Q_1'}{C_1} = \frac{Q_2'}{C_2}$$

$$\Rightarrow \frac{C_1}{C_2} = \frac{Q_1'}{Q_2'}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{Q_1'}{Q_2'} = \frac{C_1}{C_2}}$$

আবার,

$$\frac{Q_1'}{Q_2'} = \frac{4\pi\epsilon_0 K r_1}{4\pi\epsilon_0 K r_2}$$

$$\therefore \boxed{\frac{Q_1'}{Q_2'} = \frac{r_1}{r_2}}$$

∴ সংযোগ দেওয়ার পর মোট আধান গোলকদ্বয়ের ধারকত্বের অনুপাতে অর্থাৎ $c_1 : c_2$ অনুপাতে বিভক্ত হয়।

∴ " " " " " " ব্যাসার্ধের অনুপাতে অর্থাৎ $r_1 : r_2$ অনুপাতে বিভক্ত হয়।

62

আবার,

$$\frac{Q_1'}{Q_2'} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1'+Q_2'}{Q_2'} = \frac{c_1+c_2}{c_2}$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{Q_2'} = \frac{c_1+c_2}{c_2}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_2' = \frac{c_2}{c_1+c_2} \cdot Q}$$

Similarly,

$$\boxed{Q_1' = \frac{c_1}{c_1+c_2} \cdot Q}$$

আবার,

$$Q_1' = \frac{c_1}{c_1+c_2} \cdot Q$$

$$\Rightarrow Q_1' = \frac{4\pi\epsilon_0 k r_1}{4\pi\epsilon_0 k r_1 + 4\pi\epsilon_0 k r_2} \cdot Q$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_1' = \frac{r_1}{r_1+r_2} Q}$$

Similarly,

$$\boxed{Q_2' = \frac{r_2}{r_1+r_2} \cdot Q}$$

এখানে,

$$Q_1 + Q_2 = Q_1' + Q_2'$$

$$\Rightarrow C_1V_1 + C_2V_2 = C_1V + C_2V$$

$$\Rightarrow V(C_1 + C_2) = C_1V_1 + C_2V_2$$

$$\Rightarrow V = \frac{C_1V_1 + C_2V_2}{C_1 + C_2}$$

63

∴ সম্মিলিত বিভব, $\boxed{V = \frac{C_1V_1 + C_2V_2}{C_1 + C_2}}$

$$= \frac{4\pi\epsilon_0 k r_1 V_1 + 4\pi\epsilon_0 r_2 V_2}{4\pi\epsilon_0 k r_1 + 4\pi\epsilon_0 k r_2}$$

$$\boxed{V = \frac{r_1V_1 + r_2V_2}{r_1 + r_2}}$$

* 10μF ধারকত্ব ও 20V বিভবের একটি গোলকাকার পরিবাহির সাথে 20μF ধারকত্ব বিশিষ্ট ও −5V বিভবের একটি গোলকাকার পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত করা হলে, গোলকদ্বয়ের সম্মিলিত বিভব নির্ণয় কর।

উ: $V = \frac{10 \times 20 + 20 \times -5}{10 + 20} V$

$= 3.33V$

* 20V বিভবে আহিত ও 10cm ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট কোনো গোলাকার পরিবাহীর সাথে, পরিবাহী তার দ্বারা অপর আরেকটি অনাহিত নিরপেক্ষ গোলাকার পরিবাহী যুক্ত করলে সম্মিলিত বিভব 8V পাওয়া যায়, এক্ষেত্রে অনাহিত নিরপেক্ষ পরিবাহীর ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

21 69

উঃ $V = \frac{r_1 V_1 + r_2 V_2}{r_1 + r_2}$ $[V_2 = 0$

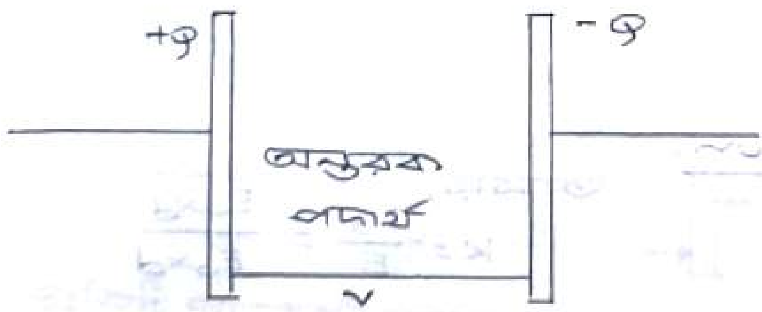
$\Rightarrow 8V = \frac{10 \times 20}{10 + r_2}$

$\Rightarrow 80 + 8r_2 = 200$

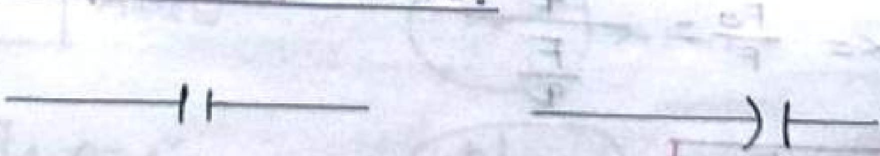
$\Rightarrow r_2 = 15$ cm (Ans.)

---

ধারক (capacitore): দুটি সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে অন্তরক পদার্থ রেখে তড়িৎশক্তি আহিতকরণে সঞ্চয় করার প্রক্রিয়াকে বা কৌশলকে ধারক বলে।



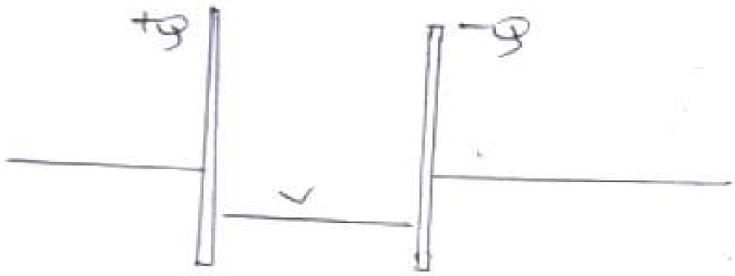

Symbol of capacitore:



## ধারকের ধারকত্ব: (Capacitance of capacitor):-

কোনো ধারকের সমান্তরাল পাতদ্বয়ের প্রত্যেকটিতে যে পরিমাণ আধান জমা হলে পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী বিভব পার্থক্য 1V হয়, তাকে তাকে ঐ ধারকের ধারকত্ব বলে।

65




V বিভবপার্থক্য এর জন্য প্রতিটি পাতে প্রয়োজনীয় আধান Q

1 " " " " " " " " $\frac{Q}{V}$

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

Unit: $1CV^{-1} = 1F$

## special observation:

$$k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow \boxed{k = \frac{F_0}{F}}$$

আবার, $k = \frac{E_0}{E} = \frac{E_0 \times d}{E \times d}$

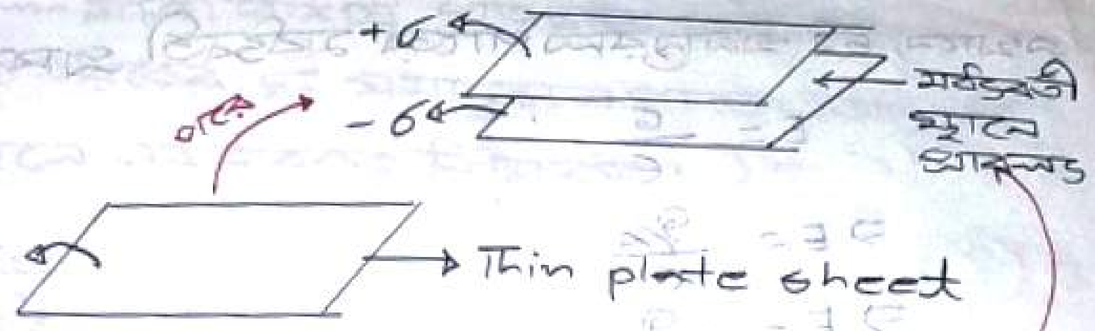
$$\boxed{k = \frac{V_0}{V}}$$

আবার, $k = \frac{F_0}{F} = \frac{\frac{F_0}{q}}{\frac{F}{q}}$

||

$$\boxed{k = \frac{E_0}{E}}$$

চার্জ ঘনত্ব = σ



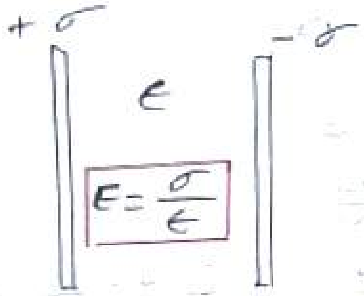

প্রাবল্য $E = \frac{\sigma}{2\epsilon} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 K}$

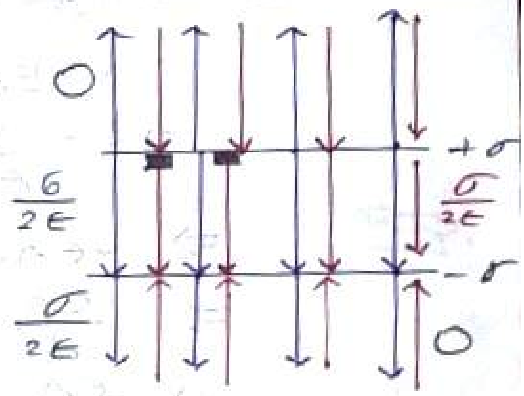
∴ পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে প্রাবল্য

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon} + \frac{\sigma}{2\epsilon}$$

∴ $\boxed{E = \frac{\sigma}{\epsilon}}$

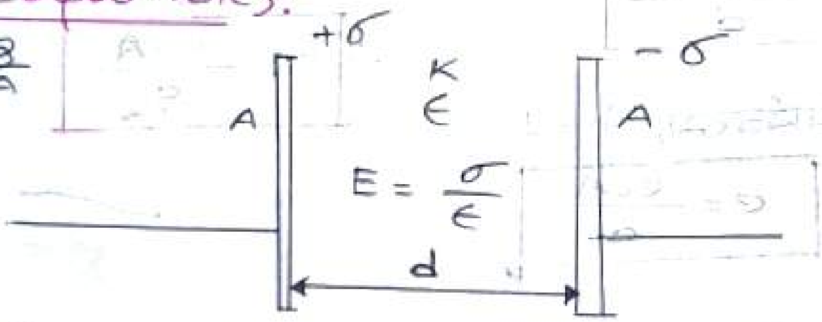
$\boxed{E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 K}}$



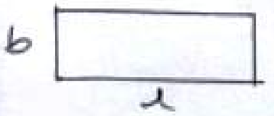




## সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব (Capacitance of Parallel plate capacitor):

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

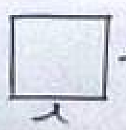



প্রতিটি পাতের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = A




$A = lb$


$A = \pi r^2$




$A = l^2$


$A = \pi ab$

67

এখানে, দুই সমান্তরাল পাতের মধ্যবর্তী প্রাবল্য,

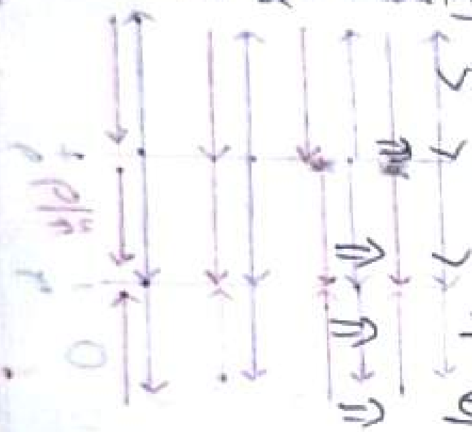
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$\Rightarrow E = \frac{Q/A}{\epsilon}$$

$$\Rightarrow E = \frac{Q}{A\epsilon}$$

১১

আবার, দুই সমান্তরাল পাতের মধ্যবর্তী বিভব,



$$V = Ed$$

$$\Rightarrow V = \frac{Q}{A\epsilon} \cdot d$$

$$\Rightarrow V\epsilon A = Qd$$

$$\Rightarrow \frac{\epsilon A}{d} = \frac{Q}{V}$$

$$\Rightarrow \frac{\epsilon A}{d} = C \quad \left[C = \frac{Q}{V}\right]$$

$$\boxed{C = \frac{\epsilon A}{d}} \ *$$

$$\boxed{C = \frac{\epsilon_0 K A}{d}} \ *$$

$$C = \frac{\epsilon_0 K A}{d}$$

$$\therefore \boxed{C = \frac{\epsilon_0 A}{d/K}}$$

বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে, $K = 1$

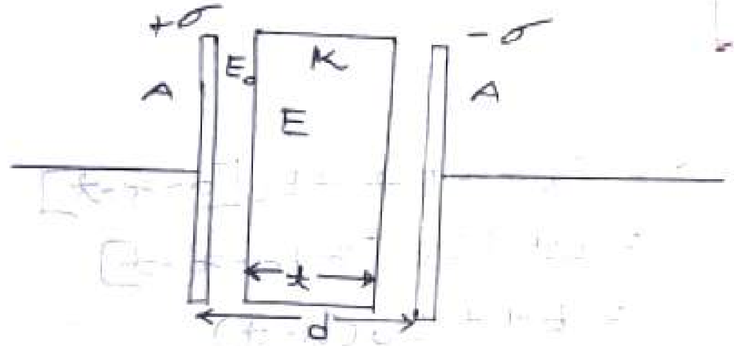
$$\boxed{C = \frac{\epsilon_0 A}{d}}$$

* 10 mm × 7mm মাত্রা বিশিষ্ট পাত দ্বারা তৈরী কোনো সমান্তরাল পাত ধারকের, দুই সমান্তরাল পাতের মধ্যবর্তী দূরত্ব 4cm হলে এর ধারকত্ব নির্ণয় কর।

68

উ:
$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$
$$= \frac{8.854\times10^{-12} \times \frac{10}{10^3} \times \frac{7}{10^3}}{\frac{4}{100}} F$$
$$= 0.0155F \text{ (Ans)}$$

* Di electric ফলকযুক্ত সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব:




প্রতিটি পাতের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = A
দুই সমান্তরাল পাতের মধ্যবর্তী দূরত্ব = d
ডাই-ইলেকট্রিক ফলকের প্রশস্থতা = t

$$\sigma = \frac{Q}{A} \; ; \quad E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A\epsilon_0}$$

আবার, দুই সমান্তরাল পাতের মধ্যবর্তী বিভব

$$V = Et + E_0(d-t)$$
$$= \frac{E_0}{K}t + E_0(d-t)$$
$$= E_0\left[d - t + \frac{t}{K}\right]$$

$$\left[\frac{E_0}{E} = K \quad \frac{E_0}{K} = E\right]$$

67

$$\Rightarrow V = \frac{Q}{A\epsilon_0}\left[d - t + \frac{t}{K}\right]$$

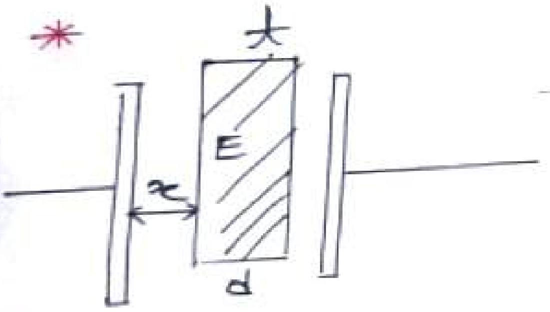
$$\Rightarrow VA\epsilon_0 = Q\left[d - t + \frac{t}{K}\right]$$

$$\Rightarrow \underbrace{\left(\frac{Q}{V}\right)}_{C} = \frac{\epsilon_0 A}{\left(d - t + \frac{t}{K}\right)}$$

$$\therefore \boxed{C = \frac{\epsilon_0 A}{d - t + \frac{t}{K}}}$$

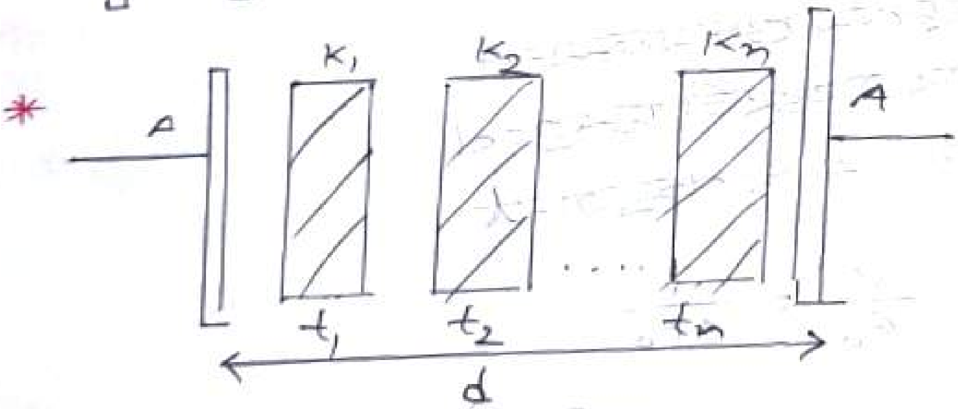
$$\Rightarrow \boxed{C = \frac{\epsilon_0 A}{d - t\left(1 - \frac{1}{K}\right)}}$$

*




$$V = E_0 x + E t + E_0\left[d - x - t\right]$$
$$= E t + E_0\left[x + d - x - t\right]$$
$$= E t + E_0(d - t)$$

*




$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d - t + \frac{t}{K}}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d - (t_1 + t_2 + \dots + t_n) + \left(\frac{t_1}{K_1} + \frac{t_2}{K_2} + \dots + \frac{t_n}{K_n}\right)}$$

$$\therefore \boxed{C = \frac{\epsilon_0 A}{d - \sum_{i=1}^{n} t_i + \sum_{i=1}^{n} \frac{t_i}{K_i}}}$$

$$c=\frac{\epsilon_0 A}{d-t+t/k}$$

No di-electric slab $\boxed{k=1}$

$$c=\frac{\epsilon_0 A}{d-t+t}$$

$$\boxed{c=\frac{\epsilon_0 A}{d}}$$

Di-electric slab: thickness = distance bet$^n$ two parallel plates

$$\boxed{t=d}$$

$$c=\frac{\epsilon_0 A}{d-d+\frac{d}{k}}$$

$$\therefore \boxed{c=\frac{\epsilon_0 k A}{d}}$$

ধারকের সঞ্চিত শক্তি/বিভবশক্তি/বিদ্যুৎশক্তি (Stored energy of capacitor) (U):

$$v=\frac{w}{q}$$

ধারকের জন্য, $dq$ পরিমাণ আধান আনতে কৃতকাজ $dw$

$$\therefore v\,dq=dw$$

$$\Rightarrow dw=\frac{q}{c}dq \qquad \left| \begin{array}{l} c=\frac{q}{v} \\ \therefore v=\frac{q}{c} \end{array} \right|$$

$$\Rightarrow dw=\frac{1}{c}\cdot q\,dq$$

$$\Rightarrow \int_0^w dw=\frac{1}{c}\int_0^q q\,dq$$

$$\Rightarrow [w-0]=\frac{1}{c}\left[\frac{q^2}{2}\right]_0^q$$

$$\Rightarrow [W - 0] = \frac{1}{C}\left[\frac{Q^2}{2} - 0\right]$$

$$\Rightarrow \boxed{W = \frac{Q^2}{2C}}$$

সঞ্চিত শক্তি, $U = W$

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

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

$$\left[\begin{array}{l} C = \frac{Q}{V} \\ Q = CV \end{array}\right]$$

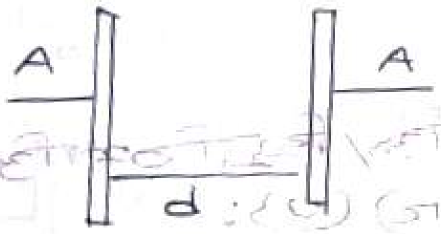
x1

$$\boxed{U = \frac{1}{2} CV^2} \; *$$

$$\Rightarrow U = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{V} \times V^2$$

$$\therefore \boxed{U = \frac{1}{2} QV}$$

ধারকের একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি: $U_v$




আয়তন, $V = Ad$

ধারকত্ব $C = \frac{\epsilon A}{d}$

সঞ্চিত শক্তি $U = \frac{1}{2} CV^2$

$$\therefore U_v = \frac{U}{V} = \frac{\frac{1}{2} CV^2}{Ad}$$

$$= \frac{\frac{1}{2} \times \frac{\epsilon A}{d} E^2 d^2}{Ad}$$

কিন্তু, $V = Ed$

$$\boxed{U_v = \frac{1}{2}\epsilon E^2}$$

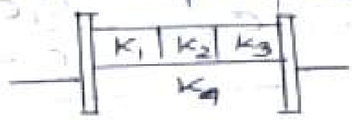
$$\boxed{U_v = \frac{1}{2}\epsilon_0 K E^2}$$

বায়ু বা শূন্যমাধ্যমে, $K=1$

$$\therefore U_v = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$$

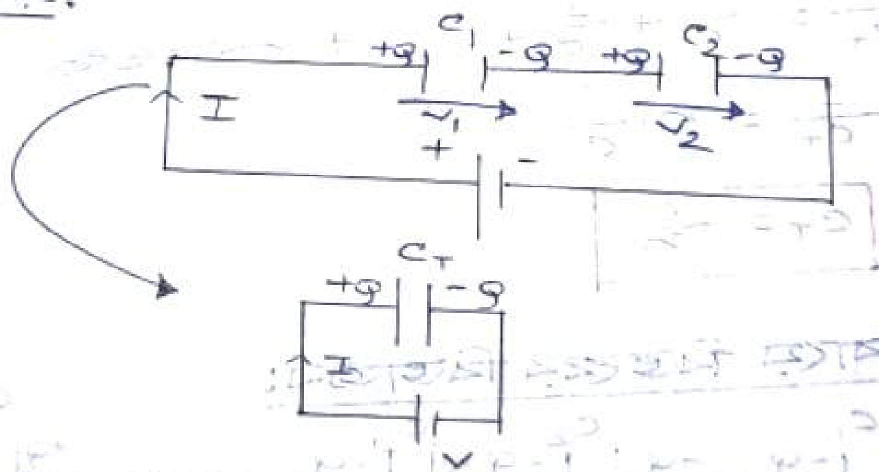
72

## ধারকের সমবায় (combination of capacitors): capacitance




তিন
- শ্রেণী সমবায়
- সমান্তরাল সমবায় → Aim → তুল্য ধারকত্ব নির্ণয়
- মিশ্র সমবায়

**শ্রেণী সমবায়:**




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

$$\Rightarrow V = \frac{Q}{C_T}$$

$$\therefore V_T = V_1 + V_2$$

$$\left[\begin{array}{l} C_1 = \frac{Q}{V_1} \\ C_2 = \frac{Q}{V_2} \end{array}\right]$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\therefore \boxed{\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

∴ $C_1, C_2 \ldots C_n$ ধারকত্ব বিশিষ্ট n সংখ্যক ধারককে শ্রেণিতে যুক্ত করলে,

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

$$\therefore \frac{1}{C_T} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

n=2 হলে,

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

$$\therefore \boxed{C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}$$

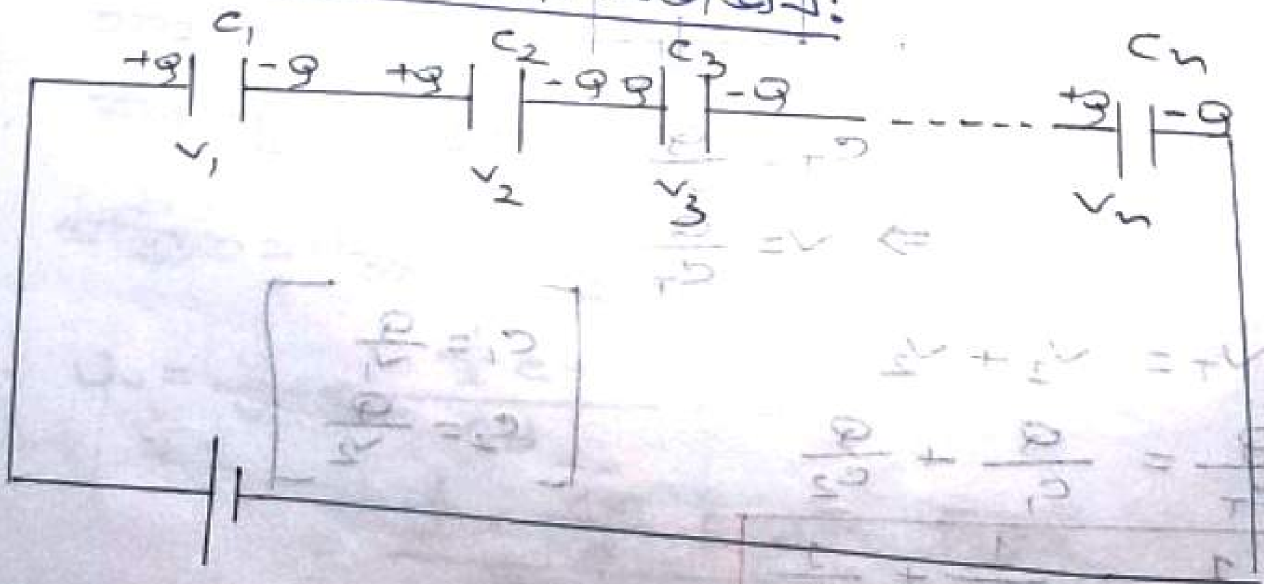
* একই ধারকত্ব বিশিষ্ট n সংখ্যক ধারককে শ্রেণীতে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব,

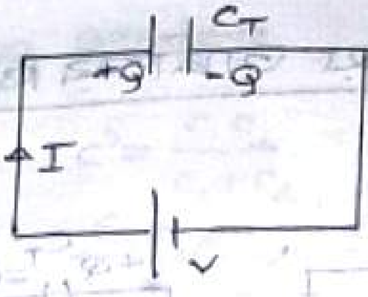
$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \cdots + \text{n সংখ্যক}$$

$$\therefore \frac{1}{C_T} = n \cdot \frac{1}{C}$$

$$\therefore \boxed{C_T = \frac{C}{n}}$$

## শ্রেণীসমবায়ে বিভবের বিভাজন:






৮৭

$$C_T = \frac{Q}{V}$$
$$\Rightarrow Q = C_T V$$

For $C_1$:

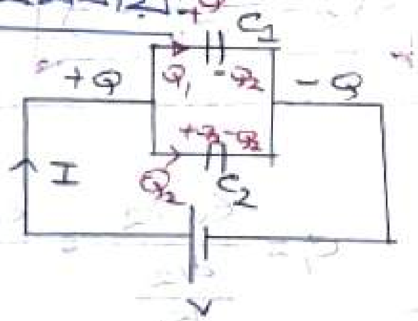
$$C_1 = \frac{Q}{V_1}$$
$$\Rightarrow C_1 V_1 = Q$$
$$\Rightarrow C_1 V_1 = C_T V$$
$$\Rightarrow \boxed{V_1 = \frac{C_T}{C_1} \cdot V}$$

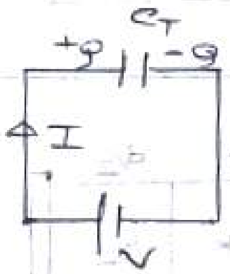
For $C_2$:

$$C_2 = \frac{Q}{V_2}$$
$$\Rightarrow C_2 V_2 = Q$$
$$\Rightarrow C_2 V_2 = C_T V$$
$$\Rightarrow \boxed{V_2 = \frac{C_T}{C_2} \cdot V}$$

From analogy, $\boxed{V_n = \frac{C_T}{C_n} \cdot V}$

সমান্তরাল সমবায়:



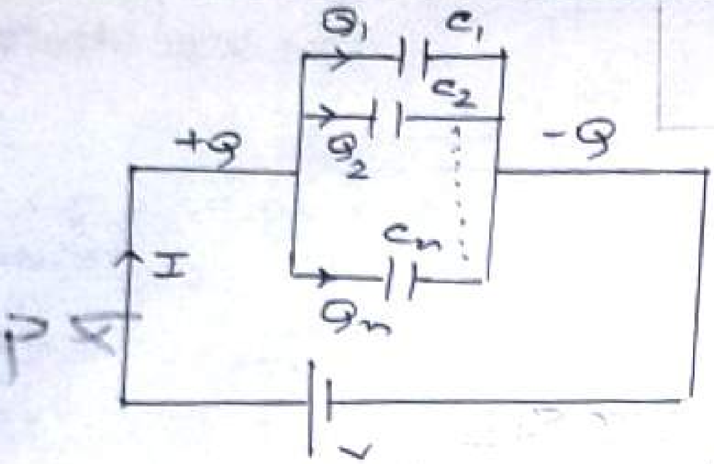



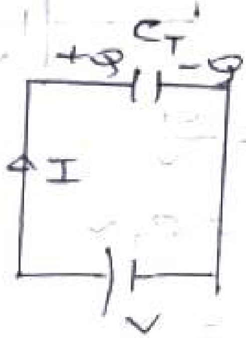

$$C_T = \frac{Q}{V}$$
$$\Rightarrow Q = C_T V$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$
$$\Rightarrow C_T V = C_1 V + C_2 V \quad [Q = CV]$$
$$\Rightarrow \boxed{C_T = C_1 + C_2}$$

$$\therefore C_T = C_1 + C_2 + \dots\dots + C_n$$
$$\therefore \boxed{C_T = \sum_{i=1}^{n} C_i}$$

## ধারকের সমান্তরাল সমবায়ে আধানের বিভাজন:-




75

$$\Rightarrow C_T = \frac{Q}{V}$$

$$\Rightarrow V = \frac{Q}{C_T}$$

**for $C_1$:**

$$C_1 = \frac{Q_1}{V}$$

$$\Rightarrow \boxed{V = \frac{Q_1}{C_1}}$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1}$$

$$\therefore \boxed{Q_1 = \frac{C_1}{C_T} \cdot Q}$$

Similarly,

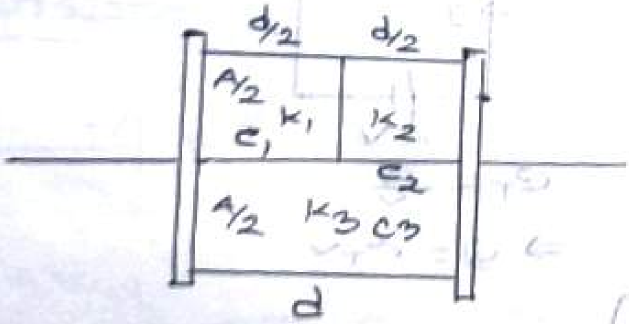
$$\boxed{Q_2 = \frac{C_2}{C_T} \cdot Q}$$

From analogy,

$$\boxed{Q_n = \frac{C_n}{C_T} \cdot Q}$$

---

*




$$C_1 = \frac{\epsilon_0 A/2}{\frac{d/2}{K_1}} = \frac{\epsilon_0 K_1 A}{d}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 A/2}{\frac{d/2}{K_2}} = \frac{\epsilon_0 K_2 A}{d}$$

$c_1$ & $c_2$ are in series,

$$c' = \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$$

$$\Rightarrow c' = \frac{\frac{\epsilon_0 K_1 A}{d} \times \frac{\epsilon_0 K_2 A}{d}}{\frac{\epsilon_0 A}{d}(K_1 + K_2)}$$

$$\Rightarrow c' = \frac{\left(\frac{\epsilon_0 A}{d}\right)^2 K_1 K_2}{\left(\frac{\epsilon_0 A}{d}\right)(K_1 + K_2)}$$

$$\therefore \boxed{c' = \frac{\epsilon_0 A K_1 K_2}{d(K_1 + K_2)}}$$

আবার, $c_3 = \frac{\epsilon_0 A/2}{d/K_3} = \frac{\epsilon_0 K_3 A}{2d}$

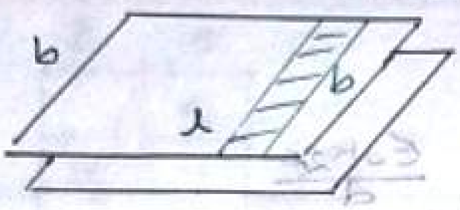
$c'$ & $c_3$ are in parallel,

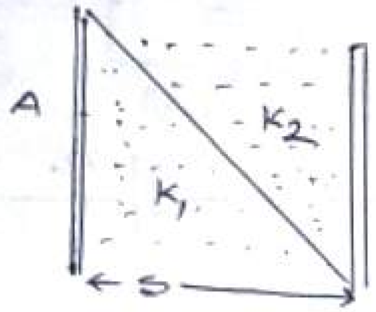
$$\boxed{C_T = c' + c_3}$$

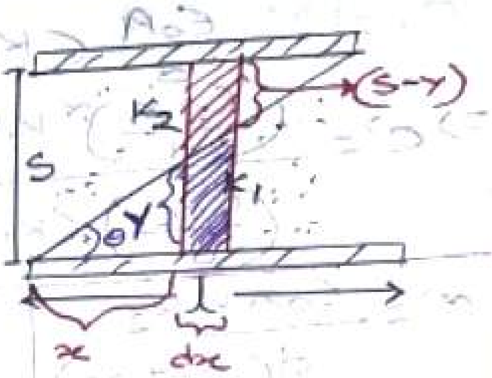
*

*

$A = lb$




∴ ক্ষুদ্র অংশের ক্ষেত্রফল $dA = bdx$

∴ ক্ষুদ্র অংশের ধারকত্ব, $dc = \dfrac{\epsilon_0 dA}{\frac{Y}{K_1} + \frac{(S-Y)}{K_2}}$ —(i)

আবার, $\tan\theta = \dfrac{Y}{x}$

$\Rightarrow Y = x\tan\theta$ —(ii)

Using (ii) in (i),

$$dc = \frac{\epsilon_0 dA}{\frac{x\tan\theta}{k_1} + \frac{s - x\tan\theta}{k_2}}$$

$$\Rightarrow dc = \frac{\epsilon_0 dA}{\frac{x\tan\theta\, k_2 + (s - x\tan\theta)k_1}{k_1 k_2}}$$

$$\Rightarrow dc = \frac{\epsilon_0 dA\; k_1 k_2}{x k_2 \tan\theta + (s - x\tan\theta)k_1}$$

$$\Rightarrow dc = \frac{\epsilon_0 k_1 k_2\, dA}{x k_2 \, s/l + k_1(s - x\cdot s/l)}$$

$$\Rightarrow dc = \frac{\epsilon_0 k_1 k_2\, l\, dA}{x k_2 s + k_1(ls - xs)}$$

$$\Rightarrow dc = \frac{\epsilon_0 k_1 k_2\, l\, dA}{x k_2 s + k_1 s(l - x)}$$

$$\Rightarrow dc = \frac{\epsilon_0 K_1 K_2 l\, dA}{K_1 S l + S(K_2 - K_1)x}$$

$$\Rightarrow dc = \frac{\epsilon_0 K_1 K_2 (l b) dx}{K_1 S l + S(K_2 - K_1)x}$$

$$\Rightarrow dc = \frac{\epsilon_0 A\, K_1 K_2\, dx}{K_1 S l + S(K_2 - K_1)x}$$

$$\int \frac{dx}{5+3x}$$

$$5+3x = z$$

$$\Rightarrow dx = \frac{dz}{3}$$

78

$$\Rightarrow \int_0^c dc = \epsilon_0 A K_1 K_2 \int_0^l \frac{dx}{K_1 S l + S(K_2 - K_1)x}$$

$$\Rightarrow [c]_0^c = \epsilon_0 A K_1 K_2 \frac{1}{S(K_2 - K_1)} \int_0^l \frac{S(K_2 - K_1)dx}{K_1 S l + S(K_2 - K_1)x}$$

$$\Rightarrow c = \epsilon_0 A K_1 K_2 \times \frac{1}{S(K_2 - K_1)} \left[ \ln \left| K_1 S l + S(K_2 - K_1)x \right| \right]_0^l$$

$$\Rightarrow c = \frac{\epsilon_0 A K_1 K_2}{S(K_2 - K_1)} \left\{ \ln(K_1 S l + S K_2 l - K_1 S l) - \ln K_1 S l \right]$$

$$\Rightarrow c = \frac{\epsilon_0 A K_1 K_2}{S(K_2 - K_1)} \ln\left(\frac{S K_2 l}{K_1 S l}\right)$$

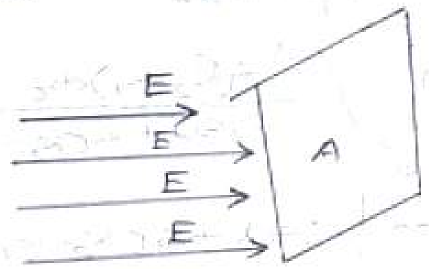
$$\boxed{\therefore c = \frac{\epsilon_0 A K_1 K_2}{S(K_2 - K_1)} \ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right)}$$

## Topic: 08: তড়িৎ ফ্লাক্স ও গাউসের সূত্র (Electric flux & Gauss law):

ফ্লাস্ক (Flask)
ফ্লাক্স (Flux)
↳ Related with transmission of energy/flow

### ☞ তড়িৎ ফ্লাক্স (Electric flux): ($\phi$):

কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের সাথে সংশ্লিষ্ট কোনো ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত মোট তড়িৎ বলরেখার পরিমাণকে তড়িৎ ফ্লাক্স বলে।




$1\,m^2$ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বলরেখার পরিমাণ $E$

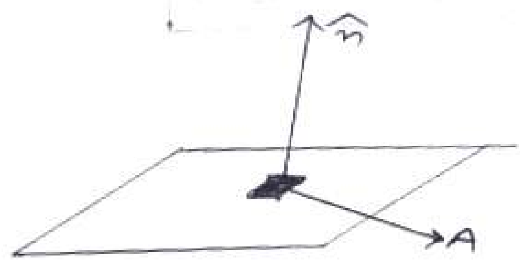
$\therefore A$ " " " " $EA$

$$\boxed{\phi = EA}$$

Unit: $1NC^{-1} \times 1m^2 = 1Nm^2C^{-1}$

* Area

* Area vector:



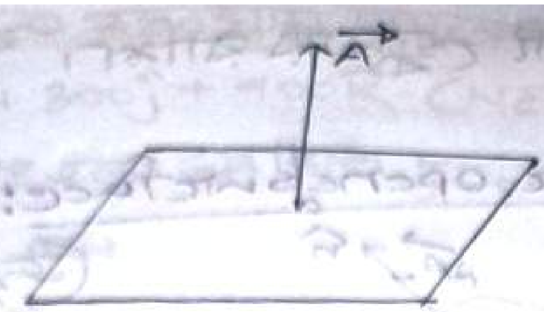

$\vec{A} = \hat{n}A$

↳ একক ভেক্টর তলের লম্ব দিকে একটি একক (ভেক্টর)

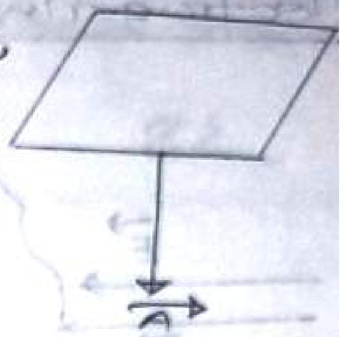
* Area vector সর্বদা তলের সাথে লম্ব এবং এর দিক তলের ভিতর থেকে বাইরের দিকে।

18

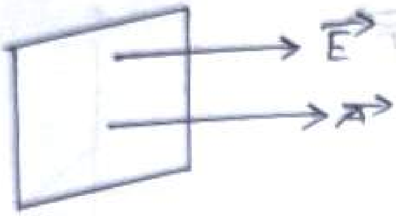





or,




*



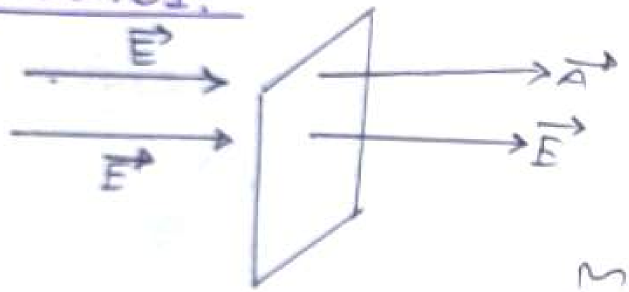

$\vec{E} \wedge \vec{A} = 0°$

$\phi = EA = EA \cdot 1$

$= EA \cdot \cos 0°$

$\boxed{\phi = \vec{E} \cdot \vec{A}}$

case:01:



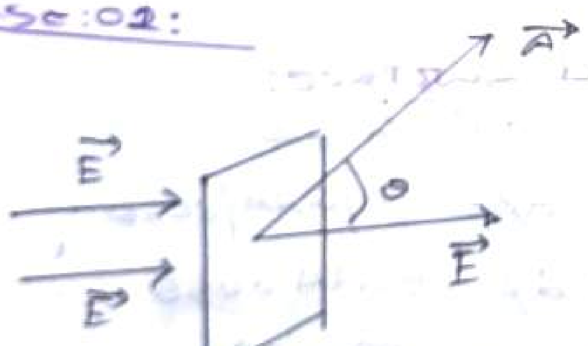

$\vec{E} \wedge \vec{A} = 0°$

$\Rightarrow \phi = EA$

$\Rightarrow \boxed{\phi_{max} = EA}$

Maximum flow of electric field line through Area

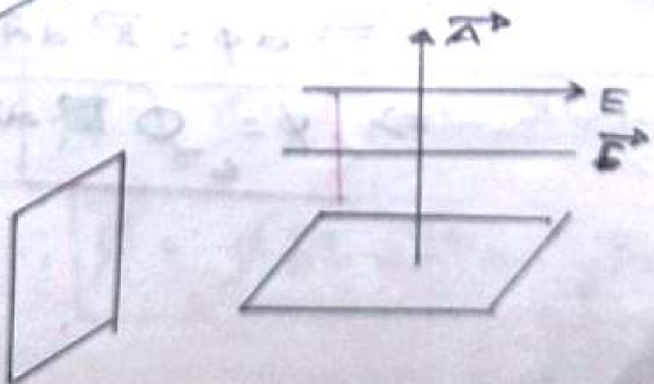
case:02:




$\vec{E} \wedge \vec{A} = \theta$

$\Rightarrow \boxed{\phi = EA\cos\theta}$

case:03:




$\vec{E} \wedge \vec{A} = 90°$

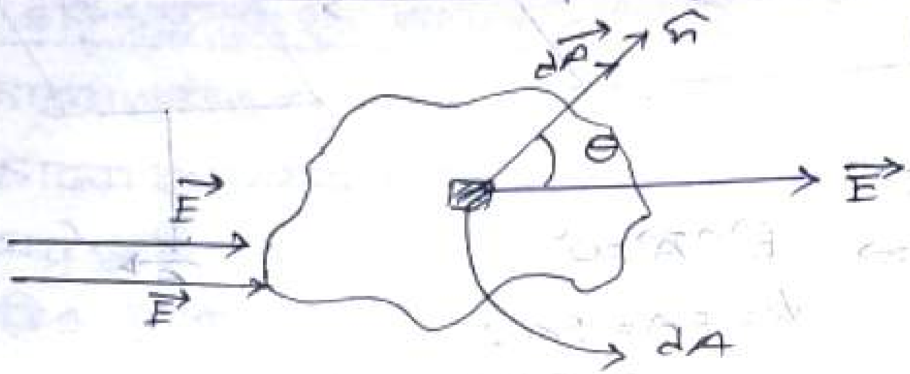
$\phi = 0$

$\boxed{\phi_{min} = 0}$

★ তড়িৎফ্লাক্স একটি স্কেলার রাশি।

## electric flux for open surface:

(উন্মুক্ত তল)




∴ ফ্লাক্স প্রবাহ,

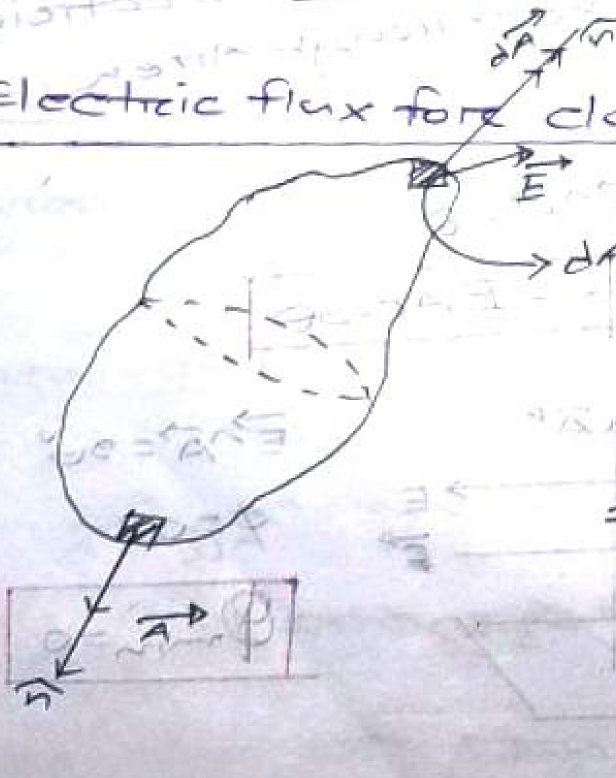
$$d\phi = E\,|\hat{n}\,dA|\cos\theta$$

$$\Rightarrow d\phi = E \cdot dA\cos\theta$$

$$\Rightarrow d\phi = \vec{E}\cdot\vec{dA}$$

$$\Rightarrow \boxed{\phi = \int_S \vec{E}\cdot\vec{dA}}$$

## Electric flux for closed surface:




$$\vec{dA} = \hat{n}\cdot dA$$

$$d\phi = E\,|\hat{n}\,dA|\cos\theta$$

$$\Rightarrow d\phi = E \cdot dA\cos\theta$$

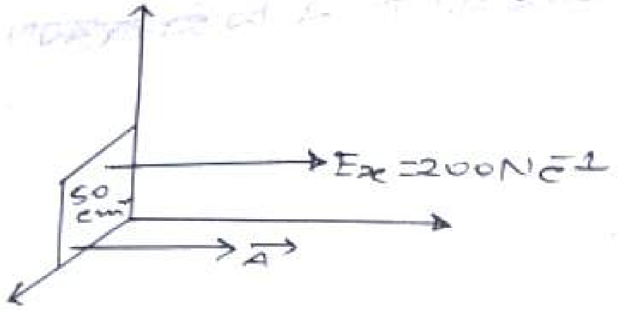
$$\Rightarrow d\phi = \vec{E}\cdot\vec{dA}$$

$$\Rightarrow \boxed{\phi = \oint_S \vec{E}\cdot\vec{dA}}$$

* ত্রিমাত্রিক স্থানাঙ্ক ব্যবস্থায় কোনো তড়িৎক্ষেত্রের তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E} = 200\hat{i} + 300\hat{j} + 400\hat{k}$ $(NC^{-1})$ উক্ত তড়িৎ ক্ষেত্রের সাথে সংশ্লিষ্ট yz তলে অবস্থিত $50\,cm^2$ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে তড়িৎ ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

82

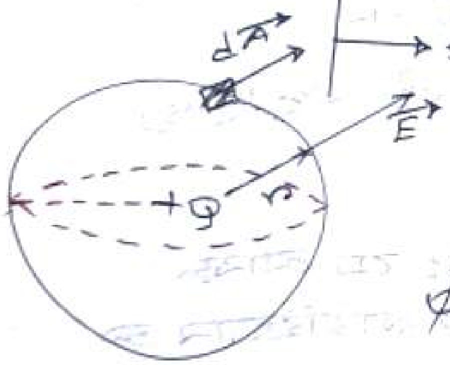
উঃ $\vec{E} = 200\hat{i} + 300\hat{j} + 400\hat{k}$




$\phi = E_x \cdot A$
$= 200 \times 50 \times 10^{-4}$
$= 10^{4} \times 10^{-4}\ Nm^2C^{-1}$
$= 1\ Nm^2C^{-1}$

$E_x = 200NC^{-1}$
$A = 50cm^2$
$= 50 \times 10^{-4} m^2$

## গাউসের সূত্র: (Gauss law):




surface must be closed

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

$$\phi = \oint_s \vec{E} \cdot d\vec{A} = E \times 4\pi r^2$$

$$\Rightarrow \phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q}{r^2} \times 4\pi r^2$$

$$\therefore \phi = \oint_s \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0 K} = \frac{q}{\epsilon} = \frac{\Sigma q_{in}}{\epsilon}$$

$$\boxed{\phi = \oint_s \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma q_{in}}{\epsilon_0 K}}$$

$$\therefore \boxed{\phi = \oint_s \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma q_{in}}{\epsilon}} \quad \epsilon = \epsilon_0 K$$

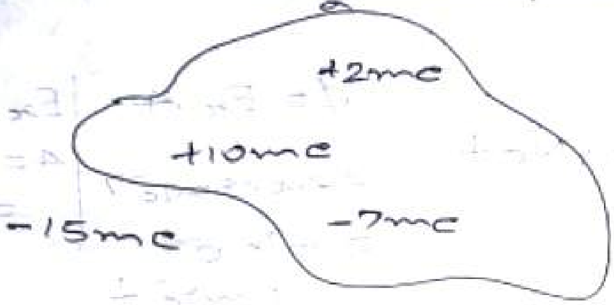
$$\therefore \epsilon \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \Sigma q_{in}$$

*

$$\boxed{\phi = \oint_S \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma Q_{in}}{\epsilon}}$$

★ গাউসের সূত্র অথবা বস্তুর আকার এর উপর নির্ভর করেনা।

*




চিত্রে, আবদ্ধ তলে তড়িৎ ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

উঃ $$\phi = \frac{\overbrace{\Sigma Q_{in}}^{\text{ভিতরের আধান}}}{\epsilon_0} = \frac{5mc}{\epsilon_0} = \frac{5\times10^{-3}}{8.854\times10^{-12}}$$

$$= 5.64\times10^{8}\, Nm^2C^{-1}\ \text{(Ans)}$$

গাউসিয়ান তল (Gaussian surface): যে আবদ্ধ তলে গাউসের সূত্র প্রয়োগ করা হয় তাকে গাউসিয়ান তল বলে।

Symmetry (প্রতিসমতা) 3 types:

(i) Sperical symmetry

(ii) Cylindrical symmetry.

(iii) Flat plat symmetry.

Spherical symmetry: সুষমভাবে আহিত (চার্জিত) কোনো ফাঁপা গোলকের পৃষ্ঠে, অভ্যন্তরে ও বাইরের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য :- ৪৭

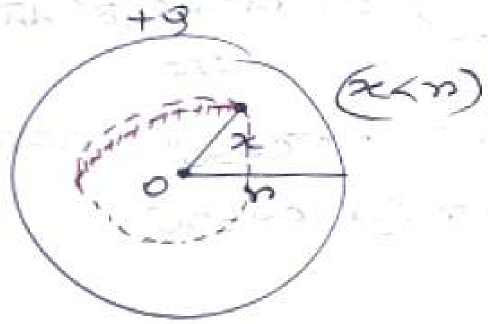
পৃষ্ঠে:


$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma Q_{in}}{\epsilon_0 K}$$

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

$$\Rightarrow \boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q}{r^2}}$$

অভ্যন্তরে:



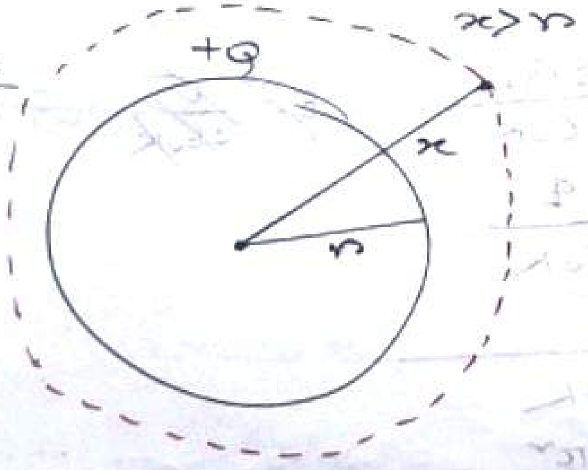

$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\cancel{\Sigma Q_{in}} \to 0}{\epsilon_0 K}$$

$$\Rightarrow E \cdot 4\pi x^2 = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{E = 0}$$

ঐ surface এ আবদ্ধ আধানের পরিমাণ 0

বাইরে:




$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\Sigma Q_{in}}{\epsilon_0 K}$$

$$\Rightarrow E \cdot 4\pi x^2 = \frac{Q}{\epsilon_0 K}$$

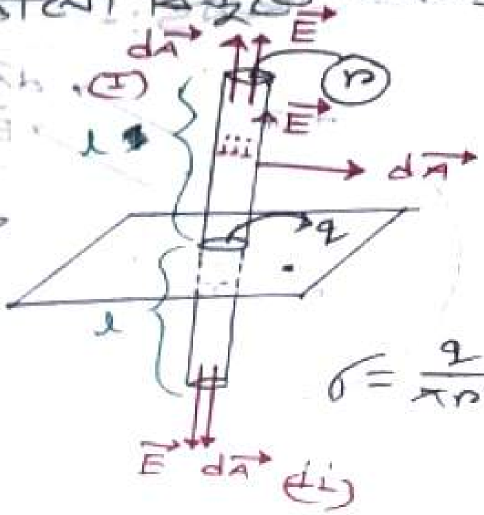
$$\Rightarrow \boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \cdot \frac{Q}{x^2}}$$

## Cylindrical & flat plate symmetry:

*অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত এবং সুষমভাবে আহিত কোনো একটি পাতলা পাতের চারপাশে যেকোনো বিন্দুতে তড়িৎপ্রাবল্য

85

চার্জ ঘনত্ব = $\sigma$




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

$\therefore$ তড়িৎ ফ্লাক্স, $\phi = \oint_{I} \vec{E}\cdot\vec{dA} + \oint_{II} \vec{E}\cdot\vec{dA} + \oint_{III} \vec{E}\cdot\vec{dA}$

$$= E\cdot\pi r^2\cos 0^\circ + E\cdot\pi r^2 \cos 0^\circ + E\cdot 2\pi r\cdot(2l)\cos 90^\circ$$

$$\Rightarrow \phi = 2E\pi r^2$$

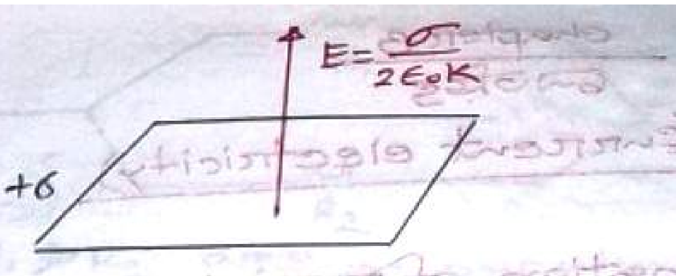
আবার, $\phi = 2E\pi r^2 = \frac{\Sigma Q_{in}}{\epsilon_0 K}$ $\quad \cancel{E \propto \frac{\sigma}{2\epsilon_0 K}}$

$$\Rightarrow \phi = 2E\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0 K}$$

$$\therefore E = \frac{q}{2\pi r^2 \epsilon_0 K}$$

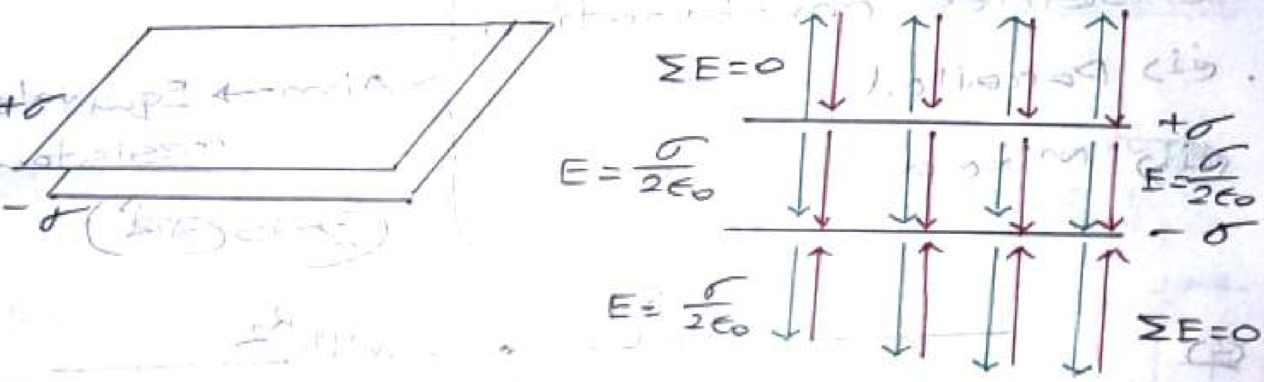
$$\therefore E = \frac{q/\pi r^2}{2\epsilon_0 K}$$

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 K}} \quad \boxed{E = \frac{\sigma}{2\epsilon}}$$




86

* দুইটি সমান্তরাল পাতলা পাতের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য যেখানে পাতদুইটি বিপরীত আধানে আহিত:-




∴ প্রাবল্য, $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

$$\Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right)$$

$$\Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $K$ হলে,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 K} \quad \text{or,} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$