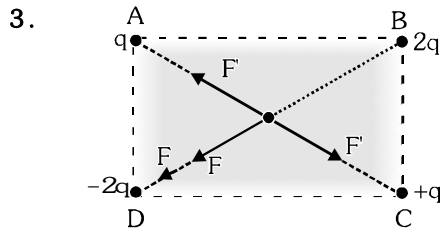


**UNIT # 07 (PART - I)**  
**ELECTROSTATICS**

**EXERCISE -I**

1.  $[\epsilon_0] = \frac{[Q^2]}{[F][4\pi][\sigma^2]} = \frac{A^2 T^2}{MLT^{-2} \times L^2} = M^{-1} L^{-3} T^4 A^2$

2.  $\frac{K(9e)q}{r^2} = \frac{Keq}{(16-r)^2} \Rightarrow \frac{3}{r} = \frac{1}{16-r} \Rightarrow r = 12 \text{ cm}$



Hence net force is along BD  
(अतः नेट बल BD के अनुदिश होगा।)

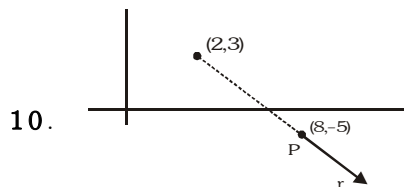
4. Same charges repels each other.  
(समान आवेश एक दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं।)

5.   
 $F = QE = \frac{QKQx}{(R+x^2)^{3/2}}$   
 $F \propto (-x)$   
(required equation for SHM)

7. Force between two line charges On a unit length  
(इकाई लम्बाई पर दो रेखिक आवेशों के मध्य बल)  
 $= \frac{2K\lambda}{r} \times \lambda = \frac{2 \times 9 \times 10^9 \times (5 \times 10^{-6})^2}{0.1} = 4.5 \text{ N/m}$

8.  $t = \sqrt{\frac{2x}{a}} = \sqrt{\frac{2x \times m}{qE}} \therefore t \propto \sqrt{\frac{m}{q}}$   
[when x, q & E are same]  $\therefore \frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{m_p}{m_e}}$

9. If particle will loose KE (in that direction) against work done by electric field  $\frac{K}{2} = qEd \Rightarrow E = \frac{K}{2qd}$   
(यदि कण विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध किये गये कार्य में गतिज ऊर्जा (उस दिशा में) खो देता है तो  $\frac{K}{2} = qEd \Rightarrow E = \frac{K}{2qd}$ )



$E = \frac{KQ}{r^2} \vec{r} = \frac{9 \times 10^9 \times 50 \times 10^{-6}}{100} \times \left( \frac{6\vec{i} - 8\vec{j}}{10} \right)$   
 $= 4500 \text{ V/m.}$

11. Work done by external force =  $\Delta U$   
[It is state function]  
(बाह्य बल द्वारा किया गया कार्य =  $\Delta U$   
[यह अवस्था फलन है])

12. Charge moves  $\perp$  to the field lines. So the work done will be zero.  
(आवेश, क्षेत्र रेखाओं के लम्बवत गति करता है। इसलिये किया गया कार्य शून्य होगा।)

13.   
 $U_i = \frac{KQ_1q}{R} + \frac{KQ_2q}{\sqrt{R^2 + R^2}}$   
 $U_f = \frac{KQ_1q}{\sqrt{R^2 + R^2}} + \frac{KQ_2q}{R}$

Work done by external force :  $\Delta U = U_f - U_i$   
(बाह्य बल द्वारा किया गया कार्य :  $\Delta U = U_f - U_i$ )

14. By mechanical energy conservation  
(यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण द्वारा)  
 $(PE + KE)_i = (PE + KE)_f$

$0 + \frac{1}{2}mv^2 + 0 = \frac{KQ^2}{d} + \frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2 \times 2$

( $\therefore$  from momentum conservation at closet approach, both particle will move with a common speed  $v/2$ ) ( $\therefore$  संवेग संरक्षण से समीप उपगमन पर दोनों कण उभयनिष्ठ चाल  $v/2$  से गति करेंगे।)

$\therefore d = \frac{4KQ^2}{mv^2}$

15.  $V = (n-1)\frac{KQ}{r}, E = \frac{KQ}{r^2} \Rightarrow \frac{V}{E} = (n-1)r$

16. Let distance of closest approach be 'd' then  
(माना निकटतम आने की दूरी d है तो)

$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{K(2e)(9)(2e)}{d^2} \Rightarrow d = 10^{-12} \text{ cm}$

17.  $F = QE \Rightarrow 300 = 3 E \Rightarrow E = 100 \text{ N/C}$

$E = \frac{dV}{dx} \Rightarrow \Delta V = 100 \times \frac{1}{10} = 10 \text{ V}$

18. Slope from x axis (x-अक्ष से ढाल)

$$y = 3 + x; \tan\theta = 1 \Rightarrow \theta = 45$$

$$\therefore \text{Electric field in vector form } \vec{E} = 100 \left( \frac{\hat{i} + \hat{j}}{\sqrt{2}} \right)$$

(सदिश रूप में विद्युत क्षेत्र)

$$\therefore V = - \int_{(3,1)}^{(1,3)} \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$V = - \frac{100}{\sqrt{2}} \left[ \int_3^1 dx + \int_1^3 dy \right] = 50 \sqrt{2} [-2 + 2] = 0$$

**Alternate solution :** The direction of electric field and the slope of line A (3,1) & (1,3) is  $\perp$  to each others so the dot product  $\vec{E} \cdot d\vec{r}$  becomes zero.

(वैकल्पिक हल : विद्युत क्षेत्र की दिशा तथा बिन्दु A (3,1) व (1,3) की रेखा का ढाल एक दूसरे के लम्बवत है। इसलिये  $\vec{E} \cdot d\vec{r}$  का अदिश गुणनफल शून्य होगा)

19. Equipotential lines are always
- $\perp$
- to the electric field strength lines.

$$\therefore \text{slope of equipotential lines} = 2$$

$$\therefore \text{Slope of electric field must be} = -1/2$$

$$\Rightarrow \text{Electric field strength vector} = -8\hat{i} + 4\hat{j}$$

(समविभव रेखाये हमेशा विद्युत क्षेत्र सामर्थ्य के लम्ब होती है।)

$$\therefore \text{समविभव रेखा का ढाल} = 2$$

$$\therefore \text{विद्युत क्षेत्र का ढाल} = -1/2$$

$$\Rightarrow \text{विद्युत क्षेत्र सामर्थ्य सदिश} = -8\hat{i} + 4\hat{j}$$

$$20. \vec{E} = - \left( \frac{\partial V}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \hat{k} \right) = -k [4x\hat{i} - 2y\hat{j} + 2z\hat{k}]$$

$$= -k [\sqrt{16+4+4}] = 2k\sqrt{6}$$

21. Slope of equipotential lines will be
- $= 1/2$

$$\therefore \text{Slope of electric lines must be} = -2$$

(समविभव रेखा का ढाल  $= 1/2$ )

$$\therefore \text{विद्युत क्षेत्र रेखा का ढाल} = -2$$

OR

$$E_x = - \left( \frac{\Delta V}{\Delta x} \right)_{y=\text{constant}} = - \frac{(4-2)V}{(4-2)\text{cm}} = -100 \text{ V/m}$$

$$E_y = - \left( \frac{\Delta V}{\Delta y} \right)_{x=\text{constant}} = - \frac{(2-4)V}{(1-0)\text{cm}} = 200 \text{ V/m}$$

$$22. - \int_{\infty}^{\ell=0} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \text{ is the potential at the centre of the ring}$$

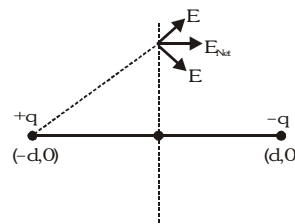
which is (वलय का केन्द्र पर विभव है जो कि निम्न है)

$$V = \int dV = \int \frac{Kdq}{0.5} = \frac{Kq}{0.5}$$

$$V = \frac{9 \times 10^9 \times 1.11 \times 10^{-10} \times 2}{1} = 2 \text{ volt}$$

23. In figure
- $(-d,0)$
- to
- $(d,0)$
- on x-axis the direction of
- $\vec{E}$
- in +ve x-axis and left side of
- $(-d,0)$
- the direction in -ve x-axis, but on y-axis, at any point the net electric field along the x-axis.

(चित्र में x-अक्ष पर  $(-d,0)$  से  $(d,0)$  तक  $\vec{E}$  की दिशा धनात्मक x-अक्ष में होगी तथा  $(-d,0)$  की बायीं भुजा ऋणात्मक अक्ष में होगी लेकिन y-अक्ष पर किसी भी बिन्दु पर नेट वैद्युत क्षेत्र x-अक्ष के अनुदिश होगा)



$$24. W = (-pE \cos\theta) - (-pE) = pE(1 - \cos\theta)$$

25. Electric field lines can't be closed (विद्युत क्षेत्र रेखाये समीप नहीं हो सकती हैं।)

$$26. \text{From flux} = \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Eq_{\text{enclosed}}}{\epsilon_0} \therefore \text{flux} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

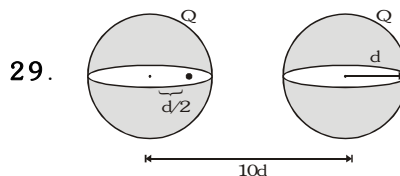
$$27. q = \epsilon_0 \int \vec{E}_x \cdot d\vec{x} = \epsilon_0 \times 600 \int_{0.1}^{0.2} \frac{dx}{\sqrt{x}} = 7 \times 10^{-12} \text{ C}$$

28. Area
- $(100 \text{ m}^2)$
- in xy plane so area vector in
- $\hat{k}$
- (xy तल में
- $100 \text{ m}^2$
- क्षेत्रफल है अतः क्षेत्रफल
- $\hat{k}$
- सदिश में होगा)

so flux (इसलिये फ्लक्स)

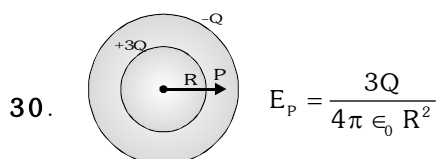
$$= \int \vec{E}_z \cdot d\vec{S} = \sqrt{3}\hat{k} \cdot 100\hat{k} = 173.2$$

$$= \int \vec{E}_z \cdot d\vec{S} = \sqrt{3}\hat{k} \cdot 100\hat{k} = 173.2$$



29.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Qq}{\left(\frac{19}{2}d\right)^2} + 0 = \frac{qQ}{361\pi\epsilon_0 d^2}$$



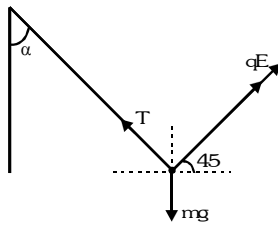
30.

$$E_P = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

31. In hollow sphere potential remains constant inside the shell.  
(खोखले गोले में विभव कोश के अन्दर नियत रहता है)
32. The potential difference (work done against field) between the shell & sphere is due to the field present inside that region which is only due to the sphere.  
(कोश तथा गोले के मध्य विभवान्तर (विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध किया गया कार्य) इस क्षेत्र के अन्दर उपस्थित वैद्युत क्षेत्र के कारण होगा जो केवल गोले के कारण है)
33. For any metallic surface, electric field lines are  $\perp$  to the surface. (किसी धात्विक पृष्ठ के लिये विद्युत क्षेत्र रेखाएँ पृष्ठ के लम्बवत होती हैं)
34. 1, 2, & 3 are wrong because in metallic solid sphere, there is no field inside the sphere. Option (4) is correct from given reason and also it has field lines perpendicular to the surface (as required in metallic surface)  
(1, 2, व 3 असत्य है क्योंकि धातु के ठोस गोले में गोले के अन्दर कोई क्षेत्र नहीं है। दिये गये कारण से विकल्प (4) सत्य है। ये विद्युत क्षेत्र रेखाएँ पृष्ठ के लम्बवत होती हैं (जो धात्विक पृष्ठ में आवश्यक है)

### EXERCISE -II

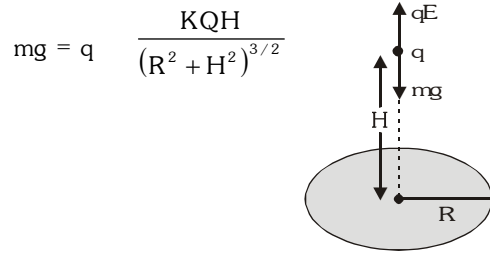
1.  $T \sin \alpha = qE \cos 45^\circ$  and  $T \cos \alpha + qE \sin 45^\circ = mg$



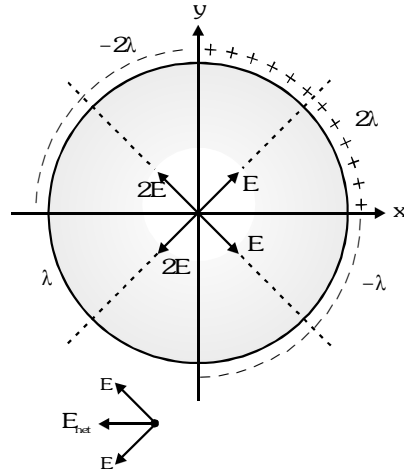
2.  $mg = q \frac{KQH}{(R^2 + H^2)^{3/2}}$

The field due to ring on its axis will be maximum at  $H = \pm \frac{R}{\sqrt{2}}$  i.e. above that point  $qE$  force will decrease and resultant force becomes in downward direction (equilibrium position) and also in same way for below point.

(इसके अक्ष पर वलय के कारण वैद्युत क्षेत्र  $H = \pm \frac{R}{\sqrt{2}}$  पर अधिकतम होगा अर्थात् ऊपर बिन्दु पर बल  $qE$  घटेगा तथा परिणामी बल नीचे की दिशा में होगा (साम्यावस्था स्थिति) तथा नीचे के बिन्दु के लिये समान होगा)



3.  $E_{\text{net}} = \sqrt{2}E = \sqrt{2} \left[ \frac{\lambda \sqrt{2}}{4\pi \epsilon_0 R} \right] \Rightarrow \vec{E} = \frac{\lambda(-\hat{i})}{2\pi \epsilon_0 R}$

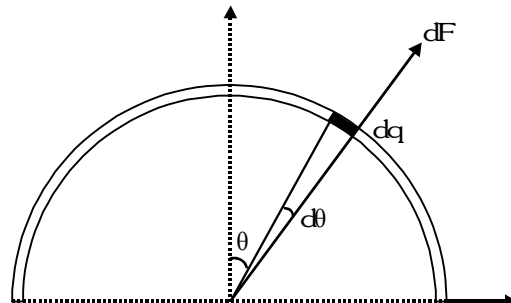


4. Potential at any point is a scalar quantity.  
(किसी बिन्दु पर विभव एक अदिश राशि है)  
 $\therefore$  Positive charge = negative charge i.e. the net charge is equal to zero. Hence potential is zero. Electric field is a vector quantity so it depends not only distance but also the way of distribution of charge.  
(धनात्मक आवेश = ऋणात्मक आवेश अर्थात् नेट आवेश शून्य के बराबर होगा। अतः विभव शून्य होगा। वैद्युत क्षेत्र एक सदिश राशि है अतः केवल दूरी पर ही निर्भर नहीं करता है बल्कि आवेश वितरण पर भी निर्भर करता है)

5.  $E = \frac{KQr}{(R^2 + r^2)^{3/2}}$

It is maximum at  $r = \pm \frac{R}{\sqrt{2}}$  and also  $E$  is not a linear function of  $r$ . (यह  $r = \pm \frac{R}{\sqrt{2}}$  पर अधिकतम है तथा  $E$  फलन  $r$  में एक रेखीय फलन नहीं है)

- 6.



$$dF = (dq) \left( \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 R} \right) = \left( \frac{q d\theta}{\pi} \right) \left( \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 R} \right)$$

$$F_{\text{net}} = \int_0^{\pi/2} 2dF \cos \theta = \frac{q\lambda}{\pi^2 \epsilon_0 R}$$

$$\Rightarrow \int_0^{\pi/2} \cos \theta d\theta = \frac{q\lambda}{\pi^2 \epsilon_0 R}$$

7. At point A the field lines are much closer than B hence  $E_A > E_B$ .  
 Work done by external force in direction of field lines is negative, hence  $V_B > V_A$ .  
 बिन्दु A पर विद्युत क्षेत्र रेखाये बिन्दु B की तुलना में बहुत निकट होगी।

$$\text{अतः } E_A > E_B$$

वैद्युत क्षेत्र रेखाओं की दिशा में बाह्य बल द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक होता है। अतः  $V_B > V_A$

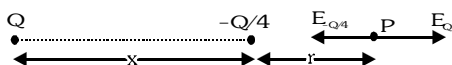
$$8. V = \frac{KQ}{r} = \frac{9 \times 10^9 \times 10^{-8}}{\sqrt{(1-4)^2 + (3-7)^2 + (2-2)^2}} = 18V$$

and electric field lines will be in all three direction.

$$V = \frac{KQ}{r} = \frac{9 \times 10^9 \times 10^{-8}}{\sqrt{(1-4)^2 + (3-7)^2 + (2-2)^2}} = 18V$$

तथा वैद्युत क्षेत्र रेखाये सभी तीनों दिशाओं में होगी।

9. No point exist in between the charges where field is zero.  
 आवेशों के मध्य ऐसा कोई बिन्दु विद्यमान नहीं है जहाँ विद्युत क्षेत्र शून्य हो



बिन्दु P पर वैद्युत क्षेत्र :

$$E = \frac{KQ}{(r+x)^2} - \frac{K \frac{Q}{4}}{r^2} = 0 \Rightarrow r = x$$

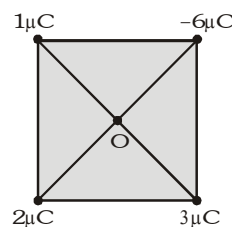
10. If Y is fixed i.e. another force is exist on Y additional to the mutual interaction between X & Y. So the net force on system (X & Y) is not zero so p is changed but total energy always remain conserved.  
 यदि Y स्थिर है। अर्थात् X व Y के मध्य परस्पर अन्योन्य क्रिया के फलस्वरूप Y पर अतिरिक्त बल विद्यमान होता है। इसलिये निकाय (X व Y) पर नेट बल शून्य नहीं होगा। अतः P परिवर्तित होता है लेकिन कुल ऊर्जा हमेशा संरक्षित रहती है।

11. Equal electrostatic force (mutual interaction) acts on X and Y but in opposite direction which accelerate Y but retards X. After long time the velocity of X becomes zero while Y becomes u.

समान स्थिर वैद्युत बल (परस्पर अन्योन्य क्रिया) X व Y पर आरोपित है लेकिन इसके विपरीत दिशा में Y त्वरित किन्तु X अवमन्दित होता है। लम्बे समय के बाद X का वेग शून्य होगा जबकि Y का वेग u होगा।

12. Here potential decreases 2V as we moves unit distance. Hence for point (1, 1, 1) from (0, 0, 0). The total potential decrease is 2 + 2 + 2 = 6V. Hence the potential at point will (10-6) = 4V.

13. Here total charge is zero.  
 यहाँ कुल आवेश शून्य है।



Any point on z-axis, having the same distance from the each vertex of a square. So the potential due to all is zero at that point.

z-अक्ष पर कोई बिन्दु जो वर्ग के प्रत्येक शीर्ष से समान दूरी पर है। सभी के कारण इस बिन्दु पर विभव शून्य होता है।

14.  $V_A = 3$  volt,  $V_B = 7$  volt  
 From energy conservation (Energy)<sub>A</sub> = (Energy)<sub>B</sub>  
 ऊर्जा संरक्षण से (ऊर्जा)<sub>A</sub> = (ऊर्जा)<sub>B</sub>  
 $\Rightarrow \frac{1}{2} mv^2 - e \cdot 7V = -e \cdot 3V + 0$   
 $\Rightarrow \frac{1}{2} mv^2 = 4eV$

15. Velocity due to acceleration (त्वरण के कारण वेग)

$$= \frac{10^{-6} \times 300}{10^{-3}} \quad 10 = 3 \text{ m/s}$$

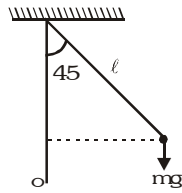
Then the resultant velocity may be between 1 m/s and 7 m/s

(अतः परिणामी वेग 1 m/s व 7 m/s के मध्य होगा।)

16. If electric field and gravitational field will be in same line then the path may be straight line otherwise parabola.

यदि विद्युत क्षेत्र व गुरुत्वीय क्षेत्र समान रेखा में हो तो पथ सरल रेखीय होगा अन्यथा परवलयीय होगा।

17. By work energy theorem  $W_g + W_{elec} = \Delta KE$   
कार्य-ऊर्जा प्रमेय से  $W_g + W_{elec} = \Delta KE$



$$mg\ell\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) + qE \times \frac{\ell}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

$$\left(\because E = \frac{mg}{q}\right) u = \sqrt{2g\ell} ; W = \frac{u}{\ell} = \sqrt{\frac{2g}{\ell}}$$

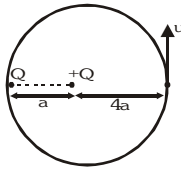
18. Given  $V_A$  due to  $+Q$  is  $V$ , so  $V_B = 4V$   
 $+Q$  के कारण बिन्दु A पर विभव  $V$  है अतः  $V_B = 4V$

By energy conservation

(ऊर्जा संरक्षण द्वारा)

$$\frac{1}{2}mu^2 + qV = 4qV$$

$$\Rightarrow u = \sqrt{\frac{6qV}{m}}$$



19. As  $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$

$$\text{so } V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ell_n r \Rightarrow W = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ell_n \left| \frac{r_2}{r_1} \right|$$

$$W = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ell_n \left( \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1}} \right) + \frac{2\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ell_n \left( \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \right) + \frac{3\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ell_n \left( \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1}} \right)$$

$$= \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ell_n 2$$

20.  $E = - \left( \frac{\partial V}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \hat{k} \right)$

$$\text{Here } \frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{V}{x_0} \therefore E_{min} = \frac{V}{x_0} \hat{i}$$

21. The mass of deuteron is twice, so momentum is different.

ड्यूट्रॉन का द्रव्यमान दुगना होगा। अतः संवेग अलग-अलग होगा।

22. Potential at centroid of  $\Delta$  ( $\Delta$  के केन्द्रक का विभव)

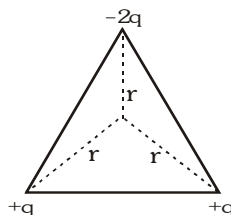
$$= \frac{Kq}{r} + \frac{Kq}{r} - \frac{K2q}{r} = 0$$

Dipole moment of system

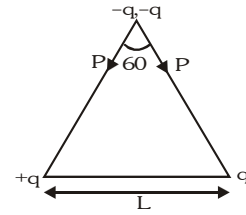
(निकाय का द्विध्रुव आघूर्ण)

$$= 2p \cos 30 = \sqrt{3}p$$

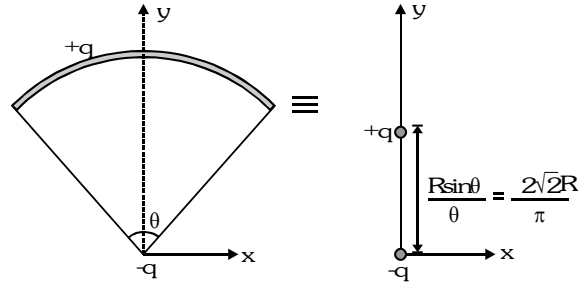
$$= \sqrt{3} \times q \times L$$



$$(\because p = q \times L)$$



- 23.



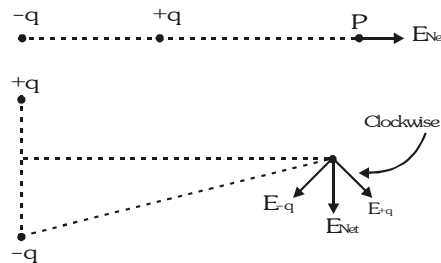
Dipole moment (द्विध्रुव आघूर्ण)

$$= (q) \left( \frac{2\sqrt{2}R}{\pi} \right) = \frac{2\sqrt{2}qR}{\pi}$$

24. Force on a dipole (द्विध्रुव पर बल)  $F = p \frac{\partial E}{\partial x}$

$$\text{At } x = \frac{R}{\sqrt{2}} \text{ (पर)}, \frac{\partial E}{\partial x} = 0, \text{ so (इसलिये) } F = 0$$

- 25.



26. Interaction energy (अन्योन्य ऊर्जा)  $U = -\vec{p}_1 \cdot \vec{E}$

$$\text{where (जहाँ) } \vec{E} = \frac{2Kp_2 \cos \theta}{r^3} \hat{r} + \frac{Kp_2 \sin \theta}{r^3} \hat{\theta}$$

$$\text{and } \vec{p}_1 = p_1 \hat{r}$$

$$\text{Therefore } U = -\frac{2Kp_1 p_2 \cos \theta}{r^3}$$

27. Electric flux depends on the total charge enclosed by the closed surface S. Hence flux is related with charge  $Q_1$ . Electric field at a point is the vector sum of the all electric field intensities due to all charges.

विद्युत फ्लक्स बंद सतह S द्वारा परिबद्ध कुल आवेश पर निर्भर करता है अतः फ्लक्स का सम्बन्ध आवेश  $Q_1$  से है एक बिन्दु पर वैद्युत क्षेत्र सभी आवेशों के कारण सभी विद्युत क्षेत्र सभी आवेशों के कारण सभी विद्युत क्षेत्र की तीव्रताओं का सदिश योग होता है।

28.  $\therefore$  Electric flux depends only on the total charge enclosed by the Gaussian surface. Hence [A].  
 $\therefore$  विद्युत फ्लक्स केवल गाऊसीय पृष्ठ द्वारा परिवद्ध कुल आवेश पर निर्भर करता है।

Potential at a distance  $r$  ( $r$  दूरी पर विभव) =  $\frac{Kq}{r}$   
 Total charge of dipole (द्विध्रुव का कुल आवेश) = 0

29.  $\therefore$  Electric field (वैद्युत फ्लक्स)

$$= \frac{\sigma}{\epsilon_0} \text{ due to infinitely uniform charged.}$$

Electric flux (वैद्युत फ्लक्स)

$$= \frac{\Sigma q_{\text{enclosed}}}{\epsilon_0} = \int \frac{\sigma}{\epsilon_0} \times [\pi R^2 - \pi x^2]$$

30. Potential at 5 cm from surface =  $\frac{KQ}{R+5} = 100$

(सतह से 5 सेमी दूरी तक विभव)

Potential at 10 cm from surface

(सतह से 10 सेमी दूरी तक विभव)

$$= \frac{KQ}{R+10} = 75 \Rightarrow R = 10 \text{ cm}$$

$$\therefore \text{Potential at surface} = \frac{KQ}{R} = \frac{100 \times 15}{10} = 150V$$

(सतह पर विभव)

$$\text{Electric field on surface} = \frac{KQ}{R^2} = \frac{100 \times 15V \times \text{cm}}{100\text{cm}^2}$$

$$(\text{सतह पर वैद्युत क्षेत्र}) = 1500 \text{ V/m}$$

31. As the electric field converges at the origin so total charge contained in any spherical volume, irrespective of the location, is negative.  
 (क्योंकि मूल बिंदु पर अभिसारित होता है। अतः किसी गोलीय आयतन की स्थिति के अनपेक्षित कुल आवेश ऋणात्मक है।)

$$\text{By Gauss theorem (गाऊस प्रमेय द्वारा)} \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\text{We have } -E(4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow q = -3 \times 10^{-13} \text{ C}$$

32. Energy at surface = Energy at centre  
 सतह पर ऊर्जा = केन्द्र पर ऊर्जा

$$\frac{1}{2} \mu u^2 + \frac{Kq \times q}{R} = \frac{3}{2} \frac{Kq}{R} \times q + 0$$

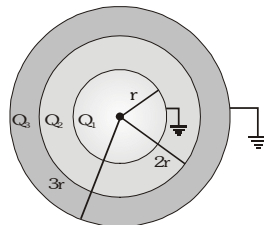
$$\therefore U = \frac{q}{\sqrt{4\pi \epsilon_0 m R}}$$

$$33. \frac{KQ}{R} + \frac{1}{2} \mu u^2 = \frac{KQ}{2R^3} \left( 3R^2 - \frac{R^2}{4} \right) + 0$$

$$\frac{1}{4\pi \epsilon_0 R} \times \rho \times \frac{4}{3} \pi R^3 + \frac{1}{2} \mu u^2 = \frac{11 \times \rho \times \frac{4}{3} \pi R^3}{8 \times 2R^2}$$

$$\therefore u = \left[ \frac{\rho R^2}{4m \epsilon_0} \right]^{1/2}$$

- 34.



Potential at outermost shell (बाह्य कोश पर विभव)

$$= \frac{KQ_1}{3r} + \frac{KQ_2}{3r} + \frac{KQ_3}{3r} = 0$$

$$\Rightarrow Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \dots (i)$$

and potential at innermost surface

(तथा आन्तरिक कोश पर विभव)

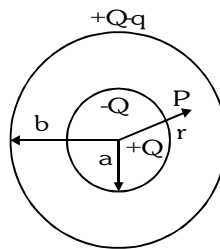
$$\frac{KQ_1}{r} + \frac{KQ_2}{2r} + \frac{KQ_3}{3r} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{K[6Q_1 + 3Q_2 + 2Q_3]}{6r} = 0 \dots (ii)$$

$$\text{From eq. (i) \& (ii) } Q_1 = -\frac{Q_2}{4} \text{ and also } \frac{Q_3}{Q_1} = 3.$$

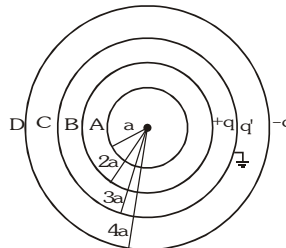
35. Due to the induction, the opposite nature of charge is induced at near by surface.

(प्रेरण के कारण निकटवर्ती सतह पर विपरीत प्रकृति के आवेश प्रेरित होते हैं।)



- 36.

$$\text{from figure } V_P = \frac{K(Q-q)}{b}$$



- 37.

$$\text{Potential at C} = \frac{Kq}{3a} - \frac{Kq}{4a} + \frac{Kq'}{3a} = 0 \Rightarrow q' = -\frac{q}{4}$$

$$\text{Potential at A} = \frac{Kq}{2a} - \frac{Kq}{4a} - \frac{K \frac{q}{4}}{3a} = \frac{Kq}{6a}$$

$$\text{Hence } V_A - V_C = \frac{Kq}{6a}$$

39. Surface charge density at inner surface of X is

$$(\text{X की आन्तरिक सतह पर पृष्ठ आवेश घनत्व}) \quad \sigma = \frac{Q}{2A}$$

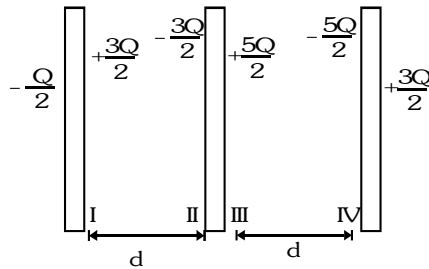
$$\therefore \text{Electric field at B due to this is } \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\therefore \text{इसके कारण B पर विद्युत क्षेत्र } \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0}$$

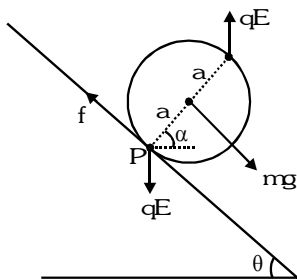
Towards right and in same direction of same value due to induced charged present inside surface of plate Y.

(प्लेट Y की आन्तरिक सतह पर उपस्थित प्रेरित आवेश के कारण इसका मान समान तथा समान दिशा में दांयी ओर होगा)

40. Final charge distribution on plate  
(प्लेट पर अन्तिम आवेश वितरण)



41.



For rotational equilibrium,  $\sum \tau_p = 0$

(घूर्णित साम्यावस्था के लिये)

$$\Rightarrow mg \cos \alpha - qE (2a \cos \alpha) = 0 \Rightarrow E = \frac{mg}{2q}$$

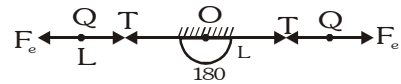
## EXERCISE -III

### FILL IN THE BLANKS

2. Magnitude of electric field is greatest at a point where electric lines of force are most close to each other.

एक बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण अधिकतम होगा। जहाँ बल की विद्युत रेखाएँ एक-दूसरे के बहुत निकट होती हैं।

3. Due to electrostatic repulsion the charges will move as farthest as possible and the angle between the two strings will be 180° as shown in figure. Tension in each string will be equal to the electrostatic repulsion between the two charges. Thus, स्थिर वैद्युत प्रतिकर्षण के कारण आवेश सम्भवतः दूर गति करेगा तथा दो रस्सीयों के मध्य कोण 180° चित्रानुसार है। प्रत्येक रस्सी में तनाव बल दो आवेशों के मध्य स्थिर वैद्युत प्रतिकर्षण के बराबर होता है।



$$T = F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q \times Q}{(2L)^2} = \frac{Q^2}{16\pi\epsilon_0 L^2}$$

$$4. W_{Fe} = \vec{F} \cdot d = (qE\vec{i}) \cdot [\vec{r}_s - \vec{r}_p] \\ = qE\vec{i} \cdot (-a\vec{i} - b\vec{j}) = -qEa$$

$$5. \vec{E} = \left[ \frac{\partial V}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \vec{k} \right]; \text{ where } V = 4x^2.$$

$$\text{Therefore } \frac{\partial V}{\partial x} = 8x \text{ and } \frac{\partial V}{\partial y} = 0 = \frac{\partial V}{\partial z}$$

$$\text{Therefore } \vec{E} = -8x\vec{i}$$

$$\text{At } (1\text{m}, 0, 2\text{m}) \vec{E} \text{ is } -8\vec{i} \text{ V/m}$$

6. Force on  $-q$  due to charges at 1 & 4 are equal and opposite. Similarly, forces on  $-q$  due to charges at 2 and 5 are also equal and opposite. Therefore, net force on  $-q$  due to charge at 1, 2, 4 and 5 is zero. Only unbalanced force is between  $-q$  and  $+q$  at 3 which is

$$\text{equal to } \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{L^2} = 9.0 \times 10^9 \frac{q^2}{L^2} \text{ (attraction).}$$

1 व 4 पर आवेशों के कारण  $-q$  पर बल समान तथा विपरीत होंगे। इसी प्रकार 2 व 5 पर आवेशों के कारण  $-q$  पर बल भी समान व विपरीत होंगे। इसलिये 1, 2, 4 व 5 पर आवेशों के कारण  $-q$  पर बल शून्य होगा। केवल असन्तुलित बल 3 पर

$$-q \text{ व } +q \text{ के मध्य होगा जो } \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{L^2} = 9.0 \times 10^9 \frac{q^2}{L^2}$$

के बराबर होगा।

## MATCH THE COLUMN

1. Electric field due to metallic plates remains same and constant at near by points.

धात्विक प्लेटों के कारण विद्युत क्षेत्र समान तथा निकटवर्ती बिन्दुओं पर नियत होगा।

- [A] For  $\sigma_1 + \sigma_2 = 0 \Rightarrow \sigma_1 = -\sigma_2$   
 $\therefore$  Electric field at a point is equal & opposite in direction.

$\sigma_1 + \sigma_2 = 0 \Rightarrow \sigma_1 = -\sigma_2$  के लिये  
 $\therefore$  एक बिन्दु पर वैद्युत क्षेत्र समान तथा विपरीत दिशा में होगा।

- [B]  $\sigma_1 + \sigma_2 > 0 \Rightarrow \sigma_1$  &  $\sigma_2$  [densities]  
 either both positive or opposite but positive has a greater magnitude. So the net electric field will be away from the plates in region I & III.

$\sigma_1 + \sigma_2 > 0 \Rightarrow \sigma_1$  व  $\sigma_2$  [घनत्व]  
 दोनो या तो धनात्मक या विपरीत प्रकृति के होंगे परन्तु धनात्मक आवेश का परिमाण अधिक हो तो क्षेत्र I व III में विद्युत क्षेत्र की दिशा प्लेट से दूरी की ओर होगी

- [C] Same explanation according to [B]

2. Electric field  $\vec{E} = -\frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} - \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j}$

For (A) :  $\vec{E} = -\vec{i} + \frac{1}{\sqrt{3}}\vec{j}$

For (B) :  $\vec{E} = +\vec{i}$

For (C) :  $\vec{E} = -\vec{i} + \sqrt{3}\vec{j}$

For (D) :  $\vec{E} = +\frac{1}{\sqrt{3}}\vec{i} + \sqrt{3}\vec{j}$

3.  $\therefore$  Electric field due to an electric dipole at a point on equatorial line of dipole makes either 0 or 180 with the dipole moment of another dipole.

$\therefore$  Torque on dipole  $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$  becomes zero

( $\therefore \theta = 0$  or  $\theta = 180$ ) Hence in column II, [P] option is suit for every queries for column I.

Electrostatic potential energy (U) = - PE cos $\theta$

$\theta$  = Angle between moment & electric field.

[A] Here  $\theta = 180 \therefore U = -PE \cos 180 = PE$  (+ve)

[B] Here  $\theta = 0 \therefore U = -PE \cos \theta = -PE$  (-ve)

[C] & [D] :  $\theta < 90 \therefore U = -ve$

$\therefore$  द्विध्रुव की निरक्षीय रेखा पर स्थित किसी बिन्दु पर विद्युत द्विध्रुव के कारण विद्युत क्षेत्र दूसरे द्विध्रुव के द्विध्रुव आघूर्ण के साथ 0 या 180 का कोण बनाता है।

$\therefore$  द्विध्रुव पर बलाघूर्ण  $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$  शून्य हो जाता है।

( $\therefore \theta = 0$  or  $\theta = 180$ ) अतः स्तम्भ II में स्तम्भ I के प्रत्येक प्रश्न के लिये विकल्प [P] सही है।

स्थिर वैद्युत स्थितिज ऊर्जा (U) = - PE cos $\theta$

$\theta$  = आघूर्ण तथा वैद्युत क्षेत्र के मध्य कोण

[A] Here  $\theta = 180 \therefore U = -PE \cos 180 = PE$  (+ve)

[B] Here  $\theta = 0 \therefore U = -PE \cos \theta = -PE$  (-ve)

[C] & [D] :  $\theta < 90 \therefore U = -ve$

4. (A) Electric field at a point is the vector sum of all individual fields at that point

किसी बिन्दु पर वैद्युत क्षेत्र, उस बिन्दु पर प्रत्येक वैद्युत क्षेत्र का सदिश योग होता है।

(B) Electric flux (विद्युत फ्लक्स)  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$

(C) Electric flux  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{enclosed}}{\epsilon_0}$

5. (A) Initially, the potential difference exist between both shells, so positive charge is flow from high to low potential.

Every system wants to acquire minimum potential energy if possible for stability. So charge flow to achieve it.

प्रारम्भ में दोनो कोशों के मध्य विभवान्तर उपस्थित होता है अतः धनावेश उच्च विभव से निम्न विभव की ओर प्रवाहित होता है। प्रत्येक निकाय न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा प्राप्त करना चाहता है यदि स्थायित्व के लिए सम्भव है अतः इसे प्राप्त करने के लिए आवेश प्रवाहित होता है।

(B) As explained in [A], charge flow does not depend on the size of sphere.

जैसा कि [A] में स्पष्ट किया गया है आवेश का प्रवाह गोले के आकार पर निर्भर नहीं करता है।

(C) Charge flow through wire until the potential becomes same for both shells.

आवेश तार से तब तक प्रवाहित होगा जब तक कि दोनों कोशों पर विभव समान नहीं हो जाता है।

(D) Potential is same everywhere inside a conducting shell. So no charge is flow through connecting wire, so no heat is produced.

चालक कोश के अन्दर प्रत्येक स्थान पर विभव समान रहता है। अतः तार में से कोई आवेश प्रवाहित नहीं होता है। अतः कोई ऊष्मा उत्पन्न नहीं होती है।

7. Electrostatic potential energy = self energy + interaction energy

स्थिर वैद्युत स्थितिज ऊर्जा = स्व ऊर्जा + अन्योन्य ऊर्जा

(A) Self energy of uniformly charged thin shell समरूप आवेशित पतले कोश की स्व ऊर्जा

$$= \frac{KQ^2}{2a} \text{ (radius (त्रिज्या) } a)$$

(B) Self energy (स्व ऊर्जा) =  $\frac{KQ^2}{2 \times \frac{5a}{2}}$  & तथा



$$\text{Interaction energy (अन्योन्य ऊर्जा)} = \frac{KQ^2}{\frac{5a}{2}}$$

$$(C) \text{ Self energy of solid sphere of radius 'a'} = \frac{3KQ^2}{5a}$$

$$'a' \text{ त्रिज्या के ठोस गोले की स्वरुर्जा} = \frac{3KQ^2}{5a}$$

## COMPREHENSION BASED QUESTIONS

### Comprehension# 1

1. Velocity of B, when it strikes 'A' is  
B का वेग जब यह A से टकराता है

$$v_B = \sqrt{2 \times \frac{1 \times 10}{1} \times 1.8} = 6 \text{ m/s}$$

From COLM between 'A' & 'B' is  
A व B के मध्य रेखीय संवेग संरक्षण से  
 $0 + 1 \cdot 6 = (1+1) \cdot v = 3\text{m/s [left]}$

2. Equilibrium position  $\Rightarrow \Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = 0$

साम्य स्थिति  $1 \cdot 10 \leftarrow \boxed{AB} \rightarrow Kx$

$$Kx = 10 \Rightarrow x = \frac{10}{18} = \frac{5}{9} \text{ (Left from } x = 0)$$

3. At equilibrium position the spring is compressed by  $x = 5/9$ . Let the amplitude of oscillation be 'A'  
साम्य स्थिति पर स्प्रिंग  $x = 5/9$  द्वारा सम्पीड़ित है। माना दोलन का आयाम 'A' है

$$\therefore \frac{1}{2}KA^2 = \frac{1}{2}Kx^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$A = \sqrt{x^2 + \frac{m}{K}v^2} = \sqrt{\frac{25}{81} + \frac{2}{18} \times 9} = \frac{\sqrt{106}}{9}$$

### Comprehension# 2

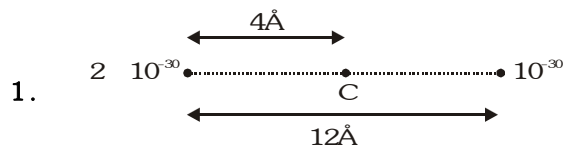
1.  $\therefore$  Gravity is absent and path of the particle is parabola i.e. a downward ( $qE$ ) force is necessary.  
 $\therefore$  गुरुत्व अनुपस्थित है तथा कण का पथ परवलयाकार है अर्थात् नीचे की ओर बल ( $qE$ ) आवश्यक है।
2. Acceleration of the particle is given by  
कण का त्वरण

$$a = \frac{qE}{m} \Rightarrow a \propto \frac{q}{m}$$

3.  $h = \frac{u^2 \sin^2 \theta}{2a} = \frac{100 \times 100 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2}{2 \times \frac{1 \times 10}{1}} = 125 \text{ m}$

$$4. \quad a = \frac{qE}{m} \Rightarrow m \uparrow \Rightarrow a \downarrow \Rightarrow h = \frac{u^2 \sin^2 \theta}{2 \times \frac{qE}{m}} \\ \Rightarrow h \propto \frac{m}{q} [\tan u, \theta \text{ \& } E \text{ is constant}]$$

### Comprehension# 3



For first particle

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(10^3)^2}{4 \times 10^{-10}} = 2.5 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$$

2. Acceleration of second particle  
दूसरे कण का त्वरण

$$= \frac{v^2}{r} = \frac{(2 \times 10^3)^2}{8 \times 10^{-10}} = \frac{4}{8} \times 10^{16} = 5 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$$

3. Velocity of centre of mass  
द्रव्यमान केन्द्र का वेग

$$= \frac{10^{-30} \times 2 \times 10^3}{2 \times 10^{-30} + 10^{-30}} = \frac{2}{3} \times 10^3 \text{ m/s}$$

4. Both particles move in a circular orbit about their centre of mass.  
दोनों कण इसके द्रव्यमान केन्द्र के सापेक्ष वृत्तीय कक्षा में गति करता है।

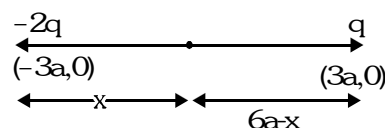
5. Angular velocity (कोणीय वेग)

$$\omega = \frac{v}{r} \quad \text{Diagram: Two particles separated by } 4 \text{ Å, with center of mass } C \text{ at } 12 \text{ Å from the } 2 \times 10^{-30} \text{ kg particle.}$$

$$\omega = \frac{10^3}{4 \times 10^{-10}} = 2.5 \cdot 10^{12} \text{ rad/s}$$

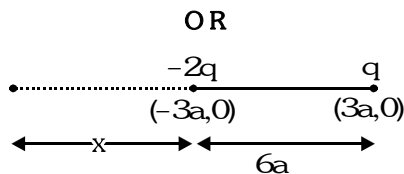
### Comprehension# 4

1. Let the potential will be zero at  $x$  distance from  $-2q$ .  
माना  $-2q$  से  $x$  दूरी पर विभव शून्य है।



$$\therefore \frac{Kx - 2q}{x} + \frac{Kq}{(6a - x)} = 0 \quad \therefore x = 4a$$

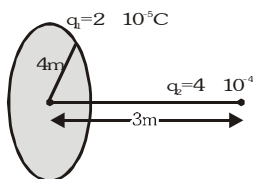
$$\frac{Kx - 2q}{x} + \frac{Kq}{6a + x} = 0 \Rightarrow x = -12a$$



2. At  $x = -3a$  &  $x = 3a$ , the potential becomes  $-\infty$  &  $+\infty$  respectively and from the above question potential becomes zero at  $(a, 0)$  and  $(9a, 0)$   
 $x = -3a$  व  $x = 3a$  पर विभव क्रमशः  $-\infty$  व  $+\infty$  होगा तथा उपरोक्त प्रश्न से  $(a, 0)$  व  $(9a, 0)$  पर विभव शून्य होगा।

**Comprehension# 5**

1.



From energy conservation (ऊर्जा संरक्षण से)

$$\frac{Kq_1q_2}{\sqrt{4^2 + 3^2}} + 0 + 0 = 2 \times \frac{1}{2}mv^2 + 0$$

$$v = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-5} \times 4 \times 10^{-4}}{5}} = \frac{3 \times 2\sqrt{2}}{\sqrt{5}} = 3.1 \text{ m/s}$$

2.  $\frac{Kq_1q_2}{5} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \frac{2}{\sqrt{5}}$

**Comprehension# 6**

1.  $Q_1 = \sigma \cdot 4\pi R^2$

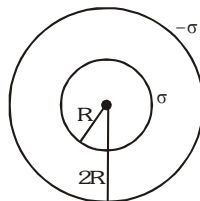
$Q_2 = -\sigma \cdot 4\pi (2R)^2 = -4Q_1$

Potential at outer shell

(बाहरी कोश पर विभव)

$$= \frac{K[Q_1 - Q_2]}{2R} = \frac{K[Q_1 - 4Q_1]}{2R}$$

$$= \frac{-1 \times 3 \times \sigma \times 4\pi R}{4\pi \epsilon_0 \times 2R} = -\frac{3}{2} \frac{\sigma}{\epsilon_0} \times R$$



2. Electric field ( $r > 2R$ ) before connecting the shells दोनों कोशों को जोड़ने से पूर्व ( $r > 2R$ ) विद्युत क्षेत्र

$$E_1 = \frac{1 \times \sigma \times 4\pi R^2}{4\pi \epsilon_0 \times r^2} + \frac{1(-\sigma) \times 4\pi R^2 \times 4}{4\pi \epsilon_0 \times r^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left[ \frac{R^2}{r^2} - \frac{4R^2}{r^2} \right]$$

After connecting (जोड़ने के बाद) :

$$E_2 = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{[Q_1 - Q_2]}{r^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left[ \frac{R^2}{r^2} - \frac{4R^2}{r^2} \right]$$

$\therefore E_1 / E_2 = 1$

3. Electric field at  $r = \frac{3R}{2}$  [Before connecting]

$r = \frac{3R}{2}$  पर विद्युत क्षेत्र [जोड़ने से पूर्व]

$$E_1 = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{\sigma 4\pi R^2}{\left(\frac{3R}{2}\right)^2} + 0$$

After connecting (जोड़ने के बाद)  $E_2 = 0$ .

Hence (अब)  $\left| \frac{E_2}{E_1} \right| = 0$

**Comprehension# 7**

1.  $E = \frac{KQ}{r^2} \Rightarrow Q = \frac{Er^2}{K} = 13\mu\text{C}$

**Comprehension# 8**

1. P.E. =  $\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{Q_e}{r}$  and KE =  $\frac{1}{2}mv^2$

Hence total energy is greater than  $\frac{eQ}{4\pi \epsilon_0 r}$

अतः कुल ऊर्जा  $\frac{eQ}{4\pi \epsilon_0 r}$  से अधिक होगी।

2. After long time sphere gets positive charge so the trajectory of the proton is (4) due to repulsion. लम्बे समय पश्चात गोला धनात्मक आवेश प्राप्त करता है अतः प्रोटॉन का पथ प्रतिकर्षण के कारण 4 होगा।

3. From the angular momentum conservation कोणीय संवेग संरक्षण से

$$mv_0 \cdot \frac{R}{2} = mv \times R \Rightarrow v = \frac{v_0}{2}$$

4. Limiting electric potential = change in  $\Delta KE$  सीमान्त विद्युत विभव =  $\Delta KE$  में परिवर्तन

$$(KE)_i = \frac{1}{2}mv_0^2; (KE)_f = \frac{1}{2}m\left(\frac{v_0}{2}\right)^2$$

$\therefore$  Electric potential (विद्युत विभव) =  $\frac{3mv_0^2}{8e}$

5. From previous questions we can see that the final potential energy of the sphere is equal to the 3/4 of initial kinetic energy

उपरोक्त प्रश्न से हम कह सकते हैं कि गोले की अन्तिम स्थितिज ऊर्जा, प्रारम्भिक गतिज ऊर्जा 3/4 के बराबर होगी।

$$\Rightarrow \frac{3}{4} \times 2.56 = 1.92 \text{ kV}$$

**Comprehension# 9**

$$1. \quad E = \frac{-dV}{dr}; \quad \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{-30}{0.3}$$

$$\sigma = 8.85 \times 10^{-12} \times 10^2 = 8.85 \times 10^{-10} \text{ C/m}^2$$

2. Positive charge has a tendency to move from higher potential to lower potential hence it will move from B (-20V) to A (-30V).

धनात्मक आवेश की प्रवृत्ति उच्च विभव से निम्न विभव की ओर गति करने की होती है। अतः यह B (-20V) से A (-30V) की ओर गति करेगा।

3. Here (यहाँ)  $V_{DE} = V_D - V_E = 20 - (-20) = 40V$

$$\begin{aligned} \text{Work done (किया गया कार्य)} &= qV_{DE} \\ &= -1 \times 10^{-6} \times 40 \\ &= -4 \times 10^{-5} \text{ J} \end{aligned}$$

**Comprehension# 10**

1. As given in paragraph, it is treated as +q and -q point charge at a distance 2a  
क्यों दिये गये गद्यांश में यह 2a दूरी पर +q व -q बिन्दु आवेश की भांति व्यवहार करता है।

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(-q)(q)}{(2d)^2}$$

2. Potential energy (स्थितिज ऊर्जा) =  $-\int \vec{F} \cdot d\vec{r}$

$$= + \int_{\infty}^d \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (2r)^2} dr = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{4d}$$

$$\text{Note : Here potential energy} \neq - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{2d}$$

because it is not an electrostatic field.

$$\text{यहाँ स्थितिज ऊर्जा} \neq - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{2d} \text{ क्योंकि यहां कोई वैद्युत}$$

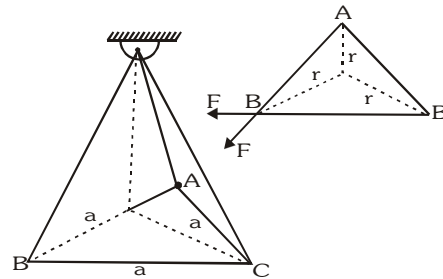
क्षेत्र नहीं है।

3. Work done by external force is change in potential energy .

बाह्य बल द्वारा किया गया कार्य स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तित होता है।

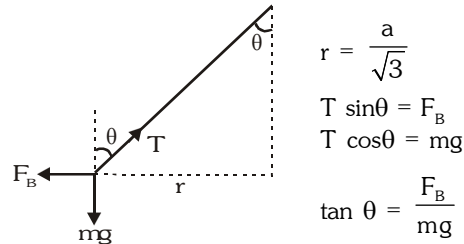
**EXERCISE -IV(A)**

1.



$$F_B = 2F \cos 30 = \frac{2Kq^2}{a^2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}Kq^2}{a^2}$$

$$\text{For Charge at B : } 2r \cos 30 = a$$



$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{\sin \theta}{\cos \theta} &= \frac{99 \times 10^{-2}}{\sqrt{3} \times 10^{-2}} = \frac{\sqrt{3} \times 9 \times 10^9 \times q^2}{(3 \times 10^{-2})^2} \times \frac{1}{10^{-3} \times 10} \\ \Rightarrow q &= 3.17 \times 10^{-9} \text{ C} \end{aligned}$$

2.

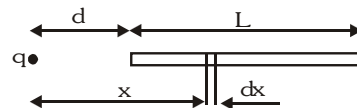
$$\begin{aligned} (F_Q)_{\text{total}} &= |\vec{F}_{Qq} + \vec{F}_{Qq} + \vec{F}_{qQ}| \\ 0 &= 2F_q \cos 45 + F_q \\ 0 &= 2 \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{KQq}{a^2} + \frac{KQ^2}{2a^2} \end{aligned}$$

$$q = \frac{-Q}{2\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{2}} = - \frac{1}{2} \mu\text{C}$$

3.

We consider an element of thickness dx at a distance x from q

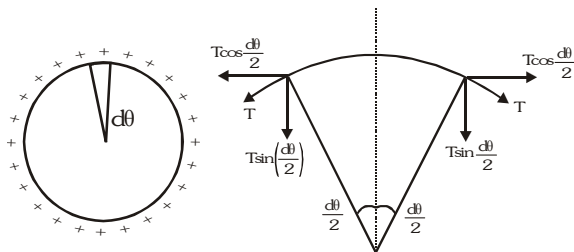
हम q से x दूरी पर dx मोटाई के एक अल्पांश पर विचार करते हैं।



$$\text{Force on q (q पर बल)} = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{dQ \cdot q}{x^2}$$

$$\text{Where } dQ = \frac{Q}{L} dx \text{ then } F = \frac{KQq}{L} \int_d^{d+L} \frac{dx}{x^2} = \frac{KQq}{d(d+L)}$$

4. We consider an element subtending angle  $d\theta$  at the centre  
हम केन्द्र पर  $d\theta$  कोण बनाने वाले अल्पांश पर विचार करते हैं।



$F$  = electrostatic force on element  
(अल्पांश पर स्थिर वैद्युत बल)

$$= \frac{KdQ \cdot q}{R^2} = \frac{\left(\frac{KQ}{2\pi R} \times Rd\theta\right)}{R^2} q = \frac{KQq}{2\pi R^2} d\theta$$

$$2T \sin \frac{d\theta}{2} \approx 2T \times \frac{\theta}{2} = \frac{KQq d\theta}{2\pi R^2} \therefore T = \frac{Qq}{8\pi^2 \epsilon_0 r^2}$$

5.  $0 \quad +q_1 \quad -q_2 \quad +q_3$

$$q_1 = +10 \mu C = q_3 = q_5$$

$$q_2 = q_4 = q_6 = -10 \mu C$$

$$r_1 = 1m$$

$$r_2 = 3m$$

$$r_3 = 9m = 3^2m$$

$$E_{at 0} = \frac{Kq_1}{r_1^2} - \frac{Kq_2}{r_2^2} + \frac{Kq_3}{r_3^2} - \frac{Kq_4}{r_4^2} + \dots$$

$$= Kq \left[ \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} + \frac{1}{3^4} - \frac{1}{3^6} + \dots \right]$$

$$= \frac{Kq}{1 - \frac{1}{3^2}} = \frac{9}{8} Kq = \frac{9}{8} \times 10^9 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$= \frac{8.1}{8} \times 10^4 N/C$$

6. Charge on outer plates =  $\frac{\sigma A + 2\sigma A - \sigma A}{2} = \sigma A$

बाहरी प्लेटों पर आवेश

Charge distribution (आवेश वितरण)

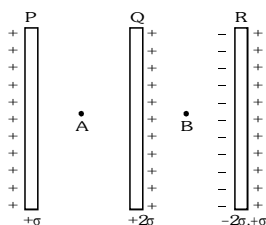
Field at A :  $E_A = 0$

(A पर विद्युत क्षेत्र :  $E_A = 0$ )

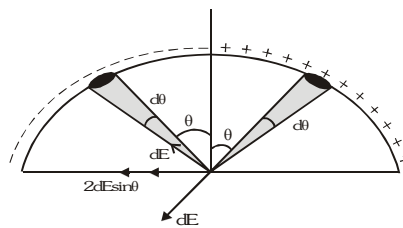
Field at B :

B पर विद्युत क्षेत्र :

$$E_B = \frac{2\sigma}{\epsilon_0} \therefore \frac{E_A}{E_B} = 0$$



- 7.



$$E_{net} = 2 \int_0^{\pi/2} dE \sin \theta$$

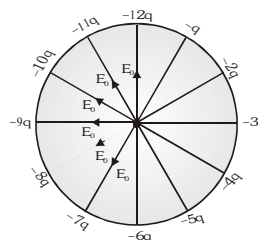
$$\Rightarrow 2 \int_0^{\pi/2} \frac{Kq}{R^2} \times Rd\theta \times \sin \theta = \frac{4Kq}{\pi R^2}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = \left(\frac{4Kq}{\pi R^2}\right)(-\hat{i}) N/C$$

8.  $E_x = E_0 + 2E_0 \cos 30^\circ + 2E_0 \cos 60^\circ = (2 + \sqrt{3})E_0$

$$E_y = E_0; \tan \theta = \frac{E_y}{E_x} = \frac{1}{2 + \sqrt{3}} \Rightarrow \theta = 15^\circ$$

The hour hand will point towards 9 : 30

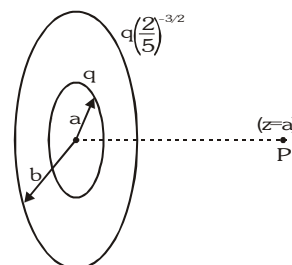


9. The charge at 'P' is in equilibrium.

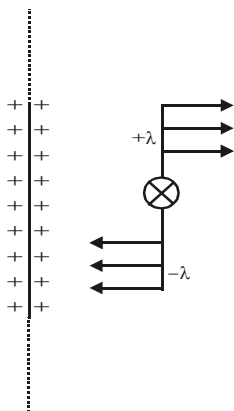
P पर आवेश साम्यावस्था में है।

$$\text{Hence (अतः)} E_P = 0; \vec{E}_P = \vec{E}_{Pa} + \vec{E}_{Pb} = \vec{0}$$

$$\frac{Kqa}{(a^2 + a^2)^{3/2}} - \frac{Kq\left(\frac{2}{5}\right)a}{(a^2 + b^2)^{3/2}} = 0 \Rightarrow \frac{b}{a} = 2$$



10.



$$\text{Net force on upper half} = \left(\frac{\lambda \ell}{2}\right) \left(\frac{\sigma}{2 \epsilon_0}\right)$$

(ऊपरी अर्द्धभाग पर नेट बल)

$$\text{Torque on upper half} = \left(\frac{\lambda \ell}{2}\right) \times \frac{\sigma}{2 \epsilon_0} \times \frac{\ell}{4}$$

(ऊपरी अर्द्धभाग पर बलाघूर्ण)

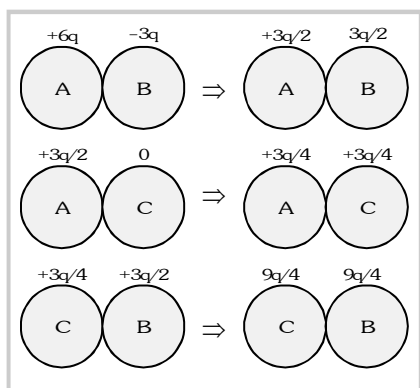
$$\left[\frac{\ell}{4} = \text{distance from hinge point for centre of mass}\right]$$

$$\left[\frac{\ell}{4} = \text{द्रव्यमान केन्द्र के लिये लटकाये गये बिन्दु से दूरी}\right]$$

Total torque on rod (छड़ पर कुल बलाघूर्ण)

$$= \frac{\lambda \ell}{2} \times \frac{\sigma}{2 \epsilon_0} \times \frac{\ell}{4} \times 2 = I \alpha = \frac{m \ell^2}{12} \propto \therefore \alpha = \frac{3 \lambda \sigma}{2 m \epsilon_0}$$

11.



12.

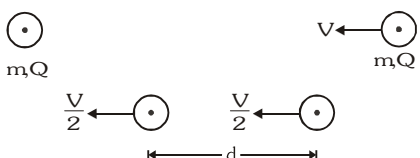
$$U_{\text{total}} = U_{12} + U_{13} + U_{14} + U_{23} + U_{24} + U_{34}$$

$$U_{\text{initial}} = \frac{Kq^2}{a} + \frac{Kq^2}{a} + \frac{Kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{Kq^2}{a} + \frac{Kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{Kq^2}{a}$$

$$U_{\text{final}} = \frac{Kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{Kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{Kq^2}{2a} + \frac{Kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{Kq^2}{2a} + \frac{Kq^2}{\sqrt{2}a}$$

$$\Delta U = U_f - U_i = - (3 - \sqrt{2}) \frac{Kq^2}{a}$$

13.



Conservation of momentum (COM)

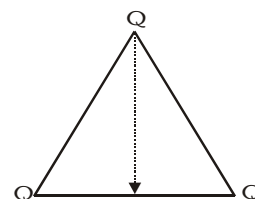
$$(\text{संवेग संरक्षण से}) \quad 0 + mV = (m+m) V_f \quad V_f = \frac{V}{2}$$

$$\text{COME : } \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{V}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} m \left(\frac{V}{2}\right)^2 + \frac{KQ^2}{d}$$

$$d = \frac{Q^2}{\pi m \epsilon_0 V^2}$$

$$14. \quad U_{\text{initial}} = \frac{KQ^2}{a} \times 2 = \frac{2KQ^2}{a}$$

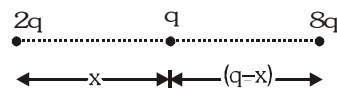
$$U_{\text{final}} = \left(\frac{a}{2}\right) \times 2 = \frac{4KQ^2}{a}$$



$$\Delta U = \frac{2KQ^2}{a} = 1.8 \times 10^8 \text{ J} = P \propto t$$

$$t = \frac{1.8 \times 10^8}{10^3} \text{ sec} = 1.8 \times 10^5 \text{ sec}$$

15. For minimum potential energy of the system, q should be placed in the middle (निकाय की न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा के लिये q को मध्य में रखना होगा)



$$U_{\text{system}} = \frac{K2q \times q}{x} \times 100 + \frac{Kq8q}{(9-x)} \times 100$$

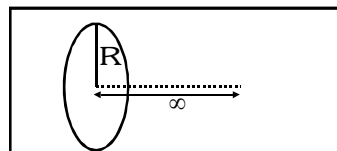
$$+ \left( \frac{K \times 2q \times 8q}{9} \right) \times 100$$

$$\frac{dU}{dx} = Kq^2 \times 100 \left[ \frac{-2}{x^2} + \frac{8}{(9-x)^2} + 0 \right] \Rightarrow x = 3 \text{ cm}$$

Electric field at the position of

$$(\text{स्थिति } q \text{ पर वैद्युत क्षेत्र}) \quad q = \frac{K \times 2q}{(0.03)^2} - \frac{K \times 8q}{(0.06)^2} = 0$$

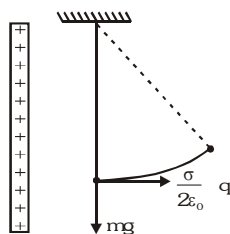
16. COME :  $K_i + U_i = K_f + U_f$



$$0 + 0 = \frac{1}{2} mV^2 - \frac{KQ^2}{R}$$

$$V = \sqrt{\frac{2KQ^2}{mR}}$$

17. From work energy theorem (WET)



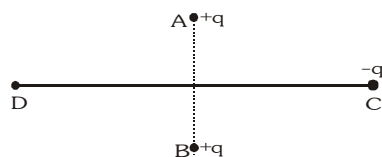
$$W_{EF} + W_{mg} = \Delta KE$$

$$q_0 \times \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \times L \sin \theta - mgL (1 - \cos \theta) = 0$$

$$= q_0 \times \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \times L \times 2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$= mgL \quad 2 \sin^2 \frac{2\theta}{2}; \quad \tan \frac{\theta}{2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \times \frac{q_0}{mg}$$

18.



$$\text{COME : } K_C + U_C = K_D + U_D$$

$$4 + 2 \left[ \frac{Kq \times (-q)}{5} \right] = 0 + \left( \frac{Kq \times -2}{r} \right)$$

$$4 - \frac{2 \times 9 \times 10^9 \times 25 \times 10^{-10}}{5} = \frac{-2 \times 9 \times 10^9 \times 25 \times 10^{-10}}{r}; \quad r = 9 \text{ m}$$

$$OD = \sqrt{AD^2 - OA^2} = \sqrt{9^2 - 3^2} = 8.48 \text{ m}$$

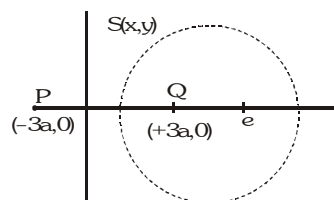
19.

$$V_A = \frac{KQ}{2} - \frac{KQ}{3} \quad V_A - V_B = 2 \left( \frac{KQ}{2} - \frac{KQ}{3} \right)$$

$$V_B = \frac{KQ}{3} - \frac{KQ}{2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times 10^{-6} \left( 1 - \frac{2}{3} \right) = 3000 \text{ volt}$$

20.



$$[A] V_s = 0 = \frac{KQ}{\sqrt{(x-3a)^2 + y^2}} - \frac{2KQ}{\sqrt{(x+3a)^2 + y^2}}$$

$$\Rightarrow (x-5a)^2 + y^2 = (4a)^2 \therefore C = (5a, 0) \text{ and radius} = 4a$$

$$[B] V_{(x)} = \frac{KQ}{x-3a} - \frac{2KQ}{x+3a} \text{ for } x > 3a$$

$$= \frac{KQ}{(3a-x)} - \frac{2KQ}{3a+x} \text{ for } x < 3a$$

[C] A positive charge when released will move from high potential to low potential

[C] एक धनात्मक आवेश जब छोड़ा जाता है तो यह उच्च विभव से निम्न विभव की ओर गति करता है।

$$\text{COME : } K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

$$0 + q \left[ \frac{KQ}{2a} - \frac{2KQ}{8a} \right] = \frac{1}{2} mv^2 + 0 \Rightarrow V = \sqrt{\frac{Qq}{8\pi\epsilon_0 ma}}$$

21. Force at A  $\frac{\lambda q}{2\pi\epsilon_0 r} = 100$

$$\frac{\lambda q}{2\pi\epsilon_0 \times 0.2} = 100 \quad \int_A^B dv = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$V_B - V_A = \frac{-\lambda}{2\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{-\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$V_A - V_B = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln 2$$

$$\text{COME : } K_A + U_A = K_B + U_B$$

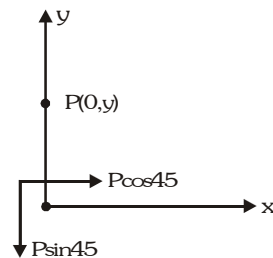
$$0 + \frac{\lambda Q}{2\pi\epsilon_0} \ln 2 = \frac{1}{2} mv^2; \quad 20 \ln 2 = \frac{1}{2} \quad 0.1 \quad V^2$$

$$V = 20 \sqrt{\ln 2}$$

22.  $\vec{E}_x = \frac{-K(P \cos 45^\circ)}{y^3} \hat{i}$

$$\vec{E}_y = \frac{-2x(P \sin 45^\circ)}{y^3} \hat{j}$$

$$\vec{E}_P = \frac{KP}{\sqrt{2}y^3} [-\hat{i} - 2\hat{j}]$$



23. Electric field due to dipole  $\vec{P} = -\frac{KP}{1^3} \times \hat{k}$

(द्विध्रुव  $\vec{P}$  के कारण विद्युत क्षेत्र)

$$\text{Electric field due to dipole } \frac{\vec{P}}{2} = + \frac{2K \times \frac{P}{2}}{2^3} \hat{k}$$

(द्विध्रुव  $\frac{\vec{P}}{2}$  के कारण विद्युत क्षेत्र)

$$\text{Resultant electric field} = -\frac{7}{8} KPk$$

(परिणामी विद्युत क्षेत्र)

24.  $|V_p| = |E_p|$

$$\frac{KP \cos \theta}{r^2} = \frac{KP}{r^3} \sqrt{1+3 \cos^2 \theta}; \quad \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{r^2-3}}$$

$$r^2 - 3 \geq 1; r \geq 2$$

$$\text{Now } \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{r^2 - 3}} (r = \sqrt{5}) = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{then } \theta = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$$

25. Eight cubes enclose a charge. For a cube, the three surfaces meeting the charge contribute to zero flux. Hence the rest three surfaces including the shaded surface have equal flux passing through

$$\text{them and are equal to } \frac{q}{24 \epsilon_0}.$$

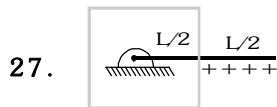
एक आवेश 8 घनो द्वारा परिवद्ध है एक आवेश के लिये किसी घन से सम्बन्धित तीन सतहों से निर्गत फ्लक्स शून्य होता है छायांकित सतह के अन्तर्गत शेष बची तीन सतहों से निर्गत कुल

$$\text{फ्लक्स } \frac{q}{24 \epsilon_0} \text{ होता है।}$$

26. Flux (फ्लक्स) =  $\frac{q}{4 \epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0} \frac{(1 - \cos \theta)}{2}$

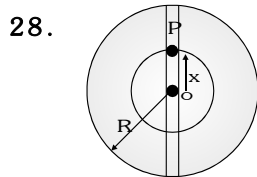
where  $\theta$  is the semi-vertex angle  
जहाँ  $\theta$  अर्द्धशीर्ष कोण है।

$$\Rightarrow \cos \theta = \frac{1}{2} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + R^2}}; a = \frac{R}{\sqrt{3}}$$



$$\text{Minimum flux through cube} = \frac{Q}{2 \epsilon_0}$$

(घन से गुजरने वाला न्यूनतम फ्लक्स)



Force on charge at position P  
(स्थिति P से आवेश पर बल)

$$= - \left( \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \times \frac{Q}{R^3} x \right) q = - m \omega^2 x$$

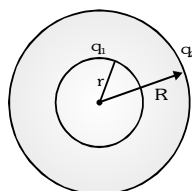
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{qQ}{4\pi \epsilon_0 \times mR^3}}$$

29.  $q_1 + q_2 = Q$

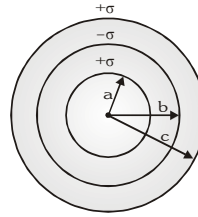
$$\sigma 4\pi r^2 + \sigma 4\pi R^2 = Q$$

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi (r^2 + R^2)}$$

$$V_{\text{centre}} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left[ \frac{\sigma 4\pi r^2}{r} + \frac{\sigma 4\pi R^2}{R} \right] = \frac{Q(r + R)}{4\pi \epsilon_0 (r^2 + R^2)}$$



30.



$$(i) V_A = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left[ \frac{4\pi a^2 \sigma}{a} - \frac{4\pi b^2 \sigma}{b} + \frac{4\pi c^2 \sigma}{c} \right]$$

$$= \frac{\sigma}{\epsilon_0} (a - b + c)$$

$$V_B = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left[ \frac{4\pi a^2 \sigma}{b} - \frac{4\pi b^2 \sigma}{b} + \frac{4\pi c^2 \sigma}{c} \right]$$

$$V_C = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left[ \frac{\sigma 4\pi a^2}{c} - \frac{\sigma 4\pi b^2}{c} + \frac{\sigma 4\pi c^2}{c} \right]$$

$$= \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left( \frac{a^2}{c} - \frac{b^2}{c} + c \right)$$

$$(ii) V_A = V_C; \frac{\sigma}{\epsilon_0} (a - b + c) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left[ \frac{a^2}{c} - \frac{b^2}{c} + c \right]; c = (a + b)$$

31. From mass conservation

$$27 \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \right) = \frac{4}{3} \pi R^3; R = 3r$$

$$\text{Given that } V_0 = \frac{Kq}{r} \text{ then } V_{\text{big drop}}$$

$$= \frac{K \times (27q)}{R} = \frac{K(27q)}{3r} = \frac{9Kq}{r} = 9V_0$$

32. After earthing  $V_{\text{inner shell}} = 0; \frac{Kq}{R} + \frac{KQ}{3R} = 0$

$$q = \frac{-Q}{3} \text{ (charge on inner shell)}$$

33.  $(U_{\text{self}})_{\text{initial}} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left( \frac{Q^2}{2R} \right)$

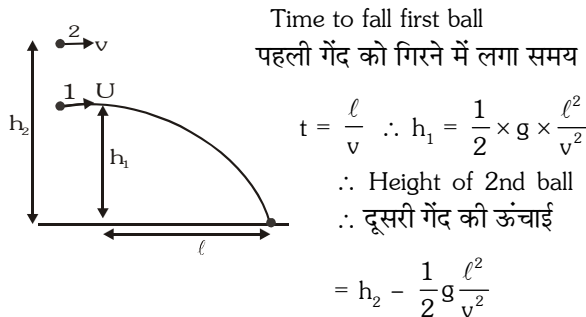
$$(U_{\text{self}})_{\text{final}} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left( \frac{Q^2}{4R} \right)$$

Workdone against electric forces =  $\Delta U$

$$= - \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{Q^2}{4R} = - \frac{\pi \sigma^2 R^3}{\epsilon_0}$$

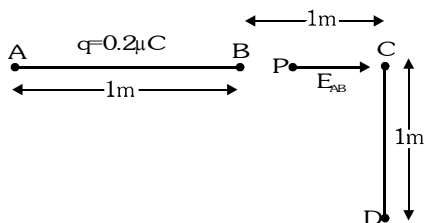
EXERCISE -IV(B)

1.

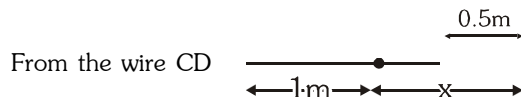


$$pr = h_2 + \frac{1}{2} g \frac{\ell^2}{v^2} - g \frac{\ell^2}{v^2}; h_2 + h_1 - g \left( \frac{\ell^2}{v^2} \right)$$

2.



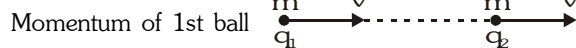
$$\vec{E}_{AB} = \int_{0.5}^{1.5} \frac{K\lambda dx}{x^2} = -K\lambda \left[ \frac{2}{3} - 2 \right] = \frac{\lambda}{3\pi\epsilon_0}$$



$$E_{\parallel} = \frac{K\lambda}{r} (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \text{ and}$$

$$\{\theta_2 = 0, \theta_1 = \tan^{-1}2 \text{ \& } E_{\perp} = \frac{K\lambda}{r} [\sin\theta_2 + \sin\theta_1]$$

3.



(पहली गेंद का संवेग)

$$P_i = mvi; P_f = m \frac{v}{2} (\cos 60^\circ \hat{i} + \sin 60^\circ \hat{j})$$

change in momentum (संवेग में परिवर्तन)

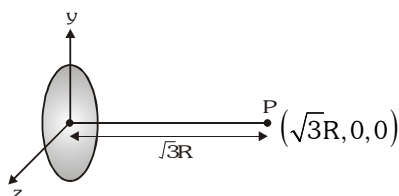
$$\Delta P = P_f - P_i = -\frac{3v}{4} \hat{i} + \frac{\sqrt{3}v}{4} \hat{j}$$

Momentum of 2nd ball : (दूसरी गेंद का संवेग)

$$P_i = mv\hat{i} \quad P_f = mv\hat{j}$$

Change in momentum (संवेग में परिवर्तन) =  $mv [\hat{j} - \hat{i}]$

4.



K.E. at 'P' must be sufficient to reach the charge particle at the centre of the ring.

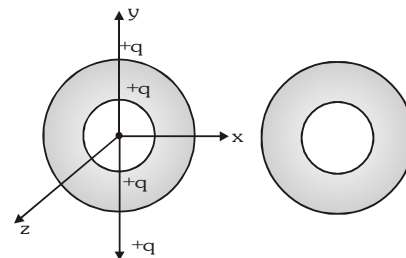
बिन्दु P पर गतिज ऊर्जा आवेशित कण को वलय के केन्द्र पर पहुँचाने के लिये पर्याप्त है।

$$(ME)_P = (ME)_{\text{centre of ring}}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{K\pi\lambda \times 2\pi Rq}{\sqrt{(R^2 + \sqrt{3}R)^2}} = 0 + \frac{K \times \lambda 2\pi Rq}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{\lambda q}{2\epsilon_0 m}} \left( \because K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)$$

5.



P.E. of outer ring charges does not change

(बाह्य वलय पर स्थित आवेशों की स्थितिज ऊर्जा परिवर्तित नहीं होती है)

$$= \frac{Kq^2}{R} \times 2 + \frac{Kq^2}{3R} \times 2 = \frac{8Kq^2}{3R}; U_f = \frac{Kq^2}{\sqrt{5}R} \times 4$$

Hence (अतः)  $W_{\text{electron}} = -\Delta U$

$$W_{\text{electron}} = -(V_f - V_i) = -\frac{Kq^2}{R} \left[ \frac{4}{\sqrt{5}} - \frac{8}{3} \right] = \frac{Kq^2}{R} \left[ \frac{8}{3} - \frac{4}{\sqrt{5}} \right]$$

6.

From the energy conservation

$$\left[ \frac{\sigma R}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \times 2R \right] e = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{\sigma Re}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma Re}{\epsilon_0} = \frac{1}{2}mv^2 \sqrt{\frac{\sigma e R}{m \epsilon_0}}$$

8.

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} 2(\lambda R d\theta) \times E_0 R \cos\theta = F \times R$$

$$2\lambda R^2 E_0 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos\theta d\theta = 2\lambda R^2 E_0 = FR$$

$$\Rightarrow F = 2\lambda R E_0$$

9.

$$q = \epsilon_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 \int \frac{E_0 x}{\ell} \hat{i}$$

$$(dx\hat{i} + dy\hat{j} + dz\hat{k}) = \epsilon_0 \times \left[ \frac{E_0 x^2}{2\ell} \right]_0^a$$

$$\text{Put given values} \Rightarrow 2.2 \times 10^{-12} \text{ C}$$



10. [i]  $r < a \Rightarrow$  Point inside  $\Rightarrow E=0$   
 [ii]  $a < r < b \Rightarrow$  Point outside the inner and inside the outer so field due to only inner cylinder  
 $a < r < b \Rightarrow$  बिन्दु आन्तरिक बेलन के बाहर तथा बाहरी बेलन के अन्दर है अतः विद्युत क्षेत्र केवल आन्तरिक बेलन के कारण होगा।

hence (अतः)  $E = \frac{2 \times \lambda}{r}$

[iii]  $r > b \Rightarrow$  point outside from both cylinders so the charge per unit length ( $\lambda$ ) is zero for point ( $r > b$ )  $\therefore E=0$   
 $r > b \Rightarrow$  बिन्दु दोनों बेलनों से बाहर होगा, इसलिये प्रति इकाई लम्बाई ( $\lambda$ ) आवेश बिन्दु ( $r > b$ ) के लिये शून्य होगा।  $\therefore E=0$

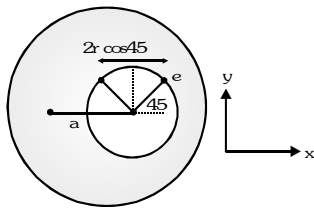
11. (i)  $q = \int dq = \int_0^R \rho_0 \frac{r}{R} \times 4\pi r^2 dr = \frac{\rho_0 \times 4\pi R^4}{R} = \pi \rho_0 R^3$

(ii)  $E = \frac{KQ'}{r^2} = \frac{K}{r^2} \times \frac{\rho_0 \pi r^4}{R} = \frac{KQr^2}{R^4}$  where

$Q' = \int_0^r \rho_0 \frac{x}{R} \times 4\pi x^2 dx = \frac{\rho_0}{4R} \times 4\pi \times r^4 = \frac{\rho_0 \pi r^4}{R}$

12. The direction of electric field inside the cavity in  $-ve$   $x$  direction and of constant magnitude  $\frac{\rho a}{3 \epsilon_0}$ .

विद्युत क्षेत्र की दिशा ऋणात्मक  $x$  दिशा में गुहिका के अन्दर होगी तथा नियत परिमाण  $\frac{\rho a}{3 \epsilon_0}$  होगा।



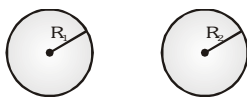
For touch the sphere again, electron must move  $2r \cos 45$  (as shown) distance

गोले को पुनः स्पर्श करने के लिये, इलेक्ट्रॉन  $2r \cos 45$  दूरी (चित्रानुसार) चलता है

$\therefore \frac{1}{2} \left[ \frac{\rho a}{3 \epsilon_0} \times \frac{e}{m} \right] \times t^2 = \sqrt{2} r$

$\therefore t = \sqrt{\frac{6\sqrt{2}mr \epsilon_0}{e\rho a}}$

13.



Electrostatic energy = Interaction Energy + Self Energy of system

निकाय की स्थिर = अन्योन्य + स्वतः ऊर्जा

वैद्युत ऊर्जा ऊर्जा

(Let the total charge of balls be  $Q$ )

(माना गेंद का कुल आवेश  $Q$  है)

$U = 0 + \frac{KQ_1^2}{2R_1} + \frac{K(Q-Q_1)^2}{2R_2}$

Here for it's minimum value  $\frac{dU}{dQ_1} = 0$

(यहाँ इसके न्यूनतम मान के लिये)

$= K \left[ \frac{2Q_1}{2R_1} + \frac{2(Q-Q_1)(0-1)}{2R_2} \right] = 0$

$\Rightarrow \frac{Q_1}{R_1} - \frac{Q_2}{R_2} = 0 \quad [\because Q - Q_1 = Q_2] \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$

14. From the energy conservation (ऊर्जा संरक्षण से)

$\frac{KQq}{r} + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{11}{8} \frac{KQq}{R} + 0$

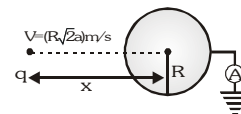
$v = \sqrt{\frac{2KQq}{mR} \left[ \frac{11}{8} - \frac{R}{r} \right]}$

15. Let  $n^{\text{th}}$  number last drop that can entre (माना अन्तिम बूंद की संख्या  $n$  है जो अन्दर भी प्रवेश कर सकती है)

$\frac{KQ^2}{R} \times n = mg(h-R) \quad \therefore n = \frac{4\pi \epsilon_0 mg(h-R)R}{Q^2}$

16.  $\frac{Kq}{x} + \frac{KQ}{R} = 0 \quad -\frac{Kq}{x^2} \frac{dx}{dt} + \frac{K}{R} \frac{dQ}{dt} = 0$

$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{qv}{x^2} \times R = \frac{q}{(\sqrt{2aR})^2} \times R\sqrt{2a} \times R = \frac{q}{2a}$



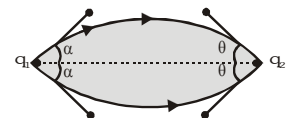
17. Solid angle  $= 2\pi (1 - \cos \alpha)$

$\frac{q_1}{2 \epsilon_0} (1 - \cos \alpha) = \frac{q_2}{2 \epsilon_0} (1 - \cos \theta)$

$q_1 \frac{\sin^2 \alpha}{2} = q_2 \frac{\sin^2 \theta}{2}$

$\sin \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{q_1}{q_2}} \sin \frac{\alpha}{2}$

$\theta = 2\sin^{-1} \left[ \sqrt{\frac{q_1}{q_2}} \sin \frac{\alpha}{2} \right]$

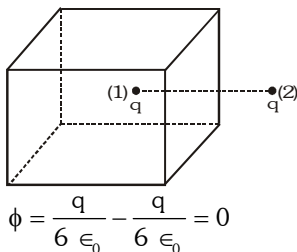


## EXERCISE-V-A

1. Work done = (charge) (P.D.)

$$\text{P.D.} = \frac{\text{Work done}}{\text{Charge}} = \frac{2J}{20C} = 0.1V$$

- 2.



$$\phi = \frac{q}{6\epsilon_0} - \frac{q}{6\epsilon_0} = 0$$

- 3.

$$V_p = \frac{Kq}{R} + \frac{KQ}{R/2} = \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 R} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$$

- 4.

Let charges on B & C be Q then final charges on B

and C will be  $\frac{Q}{2}$  and  $\frac{3Q}{4}$  respectively.

माना B व C पर आवेश Q है तो B व C पर अन्तिम आवेश

क्रमशः  $\frac{Q}{2}$  व  $\frac{3Q}{4}$  होगा।

$$\text{Therefore } F_{BC} = \frac{K(Q/2)(3Q/4)}{r^2} = \frac{3}{8}F$$

- 5.

At the distance of closest approach

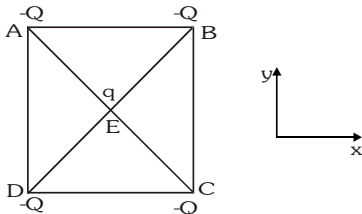
निकट उपगमन की दूरी पर

$$K_{\text{initial}} = PE_{\text{final}}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{Kq_1q_2}{r_0} \Rightarrow r_0 \propto \frac{1}{v^2}$$

$$\text{Hence, } \frac{r_{20}}{r_{10}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = \left(\frac{v}{2v}\right)^2 = \frac{1}{4} \Rightarrow r_{20} = \frac{r_{10}}{4}$$

- 6.



On establishing equilibrium on charge at A  
A से आवेश पर साम्यावस्था स्थापित करने पर

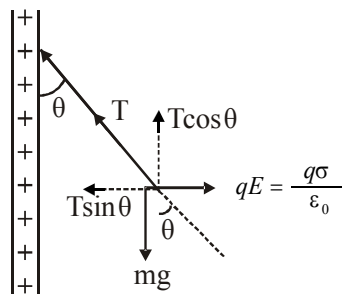
$$\vec{F}_{AC} = \frac{kQ^2}{(\sqrt{2}r)^2} [\cos 45^\circ(-\hat{i}) + \sin 45^\circ\hat{j}]$$

$$\vec{F}_{AB} = \frac{kQ^2}{r^2}(-\hat{i}); \vec{F}_{AD} = \frac{kQ^2}{r^2}\hat{j}$$

$$\vec{F}_{AE} = \frac{kQq}{(r/\sqrt{2})^2} [\cos 45^\circ\hat{i} + \sin 45^\circ(-\hat{j})]$$

$$\text{On solving we get } q = +\frac{Q}{4}[1+2\sqrt{2}]$$

- 7.



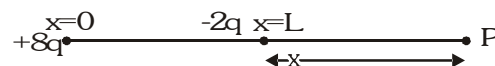
$$T \sin \theta = \frac{q\sigma}{\epsilon_0} \text{ and } T \cos \theta = mg$$

$$\text{At equilibrium } \tan \theta = \frac{F_E}{mg} = \frac{q\sigma}{mg\epsilon_0} \Rightarrow \sigma \propto \tan \theta$$

- 8.

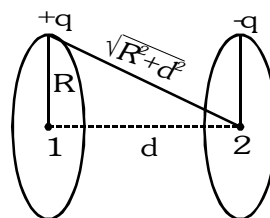
Due to two charges of opposite nature, E will be zero on the line joining the two charges and nearer to the charge of smaller magnitude.

विपरीत प्रकृति के दो आवेशों के कारण दो आवेशों को जोड़ने वाली रेखा पर E का मान शून्य होगा तथा कम परिमाण के आवेश के निकट होगा।



$$\frac{K8Q}{x^2} = \frac{K2Q}{(x-L)^2} \Rightarrow x = 2L$$

- 9.

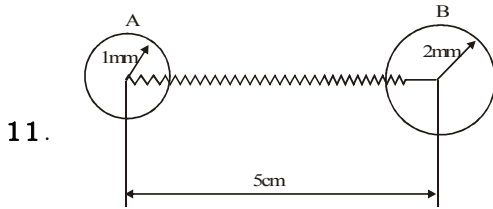


$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \left\{ \frac{q}{R} + \frac{(-q)}{\sqrt{R^2 + d^2}} \right\} - \left\{ \frac{(-q)}{R} + \frac{q}{\sqrt{R^2 + d^2}} \right\} \right] \\ &= \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{R} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + d^2}} \right] \end{aligned}$$

- 10.

An electric dipole when made to interact with a non-uniform electric field in a direction other than the direction of the electric field, experiences force as well as torque.

एक विद्युत द्विध्रुव को विद्युत क्षेत्र की दिशा से अलग दिशा में असमान विद्युत क्षेत्र से क्रिया करायी जाती है तो वह बल के साथ बलाघूर्ण भी अनुभव करता है।



At equilibrium, the potential on the surface of both spheres will be same. Also, for equal potential साम्यावस्था पर दोनों गोलों के पृष्ठ पर विभव समान होगा। समान विभव के लिये

$$E \propto \frac{1}{\text{radius}} \Rightarrow \frac{E_A}{E_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{2}{1}$$

12. Distance of point A from origin  
मूल बिन्दु से बिन्दु A की दूरी

$$= \sqrt{2^2 + 0^2} = 2 \text{ units}$$

Distance of point B from origin  
मूल बिन्दु से बिन्दु B की दूरी

$$= \sqrt{2^2 + 0^2} = 2 \text{ units}$$

As point A & B are situated at equal distance,  
so  $V_A = V_B$

क्योंकि A व B की दूरी समान है। अतः  $V_A = V_B$

13. Potential remains same as it depends on algebraic sum of charges but electric field  $\vec{E}$  changes.  
विभव समान होगा क्योंकि यह आवेशों के बीजगणितीय योग पर निर्भर करता है। लेकिन विद्युत क्षेत्र  $E$  परिवर्तित होता है।

14.  $V(x) = \frac{20}{x^2 - 4}$

The electric field  $\vec{E}$  along all such lines where potential is a function of position

विद्युत क्षेत्र  $\vec{E}$  उन सभी रेखाओं के अनुदिश होगा जहाँ विभव स्थिति का फलन हो अतः

$$\text{So } \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{(x^2 - 4)(0) - 20(2x)}{(x^2 - 4)^2} = \frac{-40x}{(x^2 - 4)^2}$$

$$\vec{E} = \frac{40x}{(x^2 - 4)^2} (\hat{i}) \text{ At } x = 4 \mu\text{m}$$

$$\vec{E} = \frac{40(4)}{(4^2 - 4)^2} = \frac{160}{144} = \left(\frac{10}{9}\right) \hat{i} \text{ V/m}$$

15.  $E(r) = 0$  for  $0 \leq r < R = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$  for  $r > R$

16. Here  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0$  ..... (i)

$$|\vec{F}_1 + \vec{F}_2| = \frac{\sqrt{2}KQ^2}{a^2}$$

$$|\vec{F}_3| = \frac{KQ^2}{(\sqrt{2}a)^2}$$

from (i)

$$\frac{\sqrt{2}KQq}{a^2} + \frac{KQ^2}{(\sqrt{2}a)^2} = 0$$

$$\frac{\sqrt{2}KQq}{a^2} = -\frac{KQ^2}{2a^2} \Rightarrow Q = -2\sqrt{2}q$$

18.  $q = -100 \quad 1.6 \quad 10^{-19} \text{ C}$

$$\Delta V = -14 \text{ volt}$$

$$W = q\Delta V = 2.24 \quad 10^{-16} \text{ J}$$

19.  $Q' = \int \rho dV = \int_0^{r_1} \frac{Q}{\pi R^4} r \cdot (4\pi r^2) dr = \frac{4Q}{R^4} \left[ \frac{r_1^4}{4} \right]$

$$E = \frac{KQ'}{r_1^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} \left[ \frac{4Qr_1^4}{R^4} \right] = \frac{Qr_1^2}{4\pi\epsilon_0 R^4}$$

20.  $\vec{E} = \frac{2k\lambda}{r} (-\hat{j}) = \frac{2}{(4\pi\epsilon_0 r)} \frac{q}{(\pi r)} (-\hat{j})$

21. Total charge

$$Q = \int_0^r \rho dV = \int_0^r \rho_0 \left( \frac{5}{4} - \frac{r}{R} \right) 4\pi r^2 dr$$

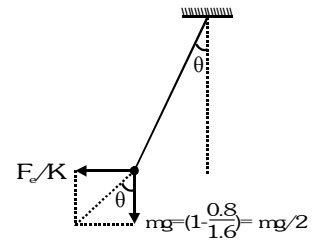
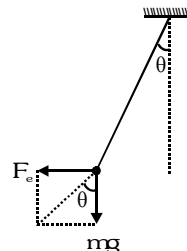
$$= 4\pi\rho_0 \int_0^r \left( \frac{5r^2}{4} - \frac{r^3}{R} \right) dr$$

$$= 4\pi\rho_0 \left[ \frac{5r^3}{12} - \frac{r^4}{4R} \right]$$

$$E = \frac{KQ}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} 4\pi\rho_0 \left[ \frac{5}{12} r^3 - \frac{r^4}{4R} \right]$$

$$= \frac{\rho_0 r}{4\epsilon_0} \left[ \frac{5}{3} - \frac{r}{R} \right]$$

- 22.



Therefore  $K = 2$

23.  $\tan \theta = \frac{F}{Mg}$  (since  $\theta$  small)

$$\theta = \frac{F}{Mg} \Rightarrow F = Mg\theta$$

$$\frac{KQ^2}{x^2} = Mg \frac{x}{\ell}$$

$$Q^2 = \frac{Mg}{K\ell} x^3 \Rightarrow Q = \sqrt{\frac{Mg}{K\ell}} x^{3/2}$$

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right) = \sqrt{\frac{Mg}{K\ell}} \left(\frac{3}{2} x^{1/2}\right) \left(\frac{dx}{dt}\right) = \text{constant}$$

$$\text{so } \frac{dx}{dt} \propto x^{-1/2} \quad \text{Or } V \propto x^{-1/2} \Rightarrow v \propto x^{-1/2}$$

24.  $E_r = -\frac{\partial \phi}{\partial r} = -2ar$

By gauss theorem  $4\pi r^2 E_r = \frac{q}{\epsilon_0}$

By differentiation  $4\pi d(r^2 E_r) = \frac{dq}{\epsilon_0} = \frac{(4\pi r^2 dr)\rho}{\epsilon_0}$

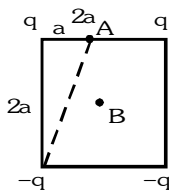
$$\Rightarrow r^2 dE_r + 2rE_r dr = \frac{1}{\epsilon_0} \rho r^2 dr$$

$$\Rightarrow \frac{\partial E_r}{\partial r} + \frac{2}{r} E_r = \frac{\rho}{\epsilon_0} \Rightarrow \rho = -6\epsilon_0 a$$

25.  $\Delta K = W = Q(V_A - V_B)$

$$= Q \left[ \left( \frac{2kq}{a} - \frac{2kq}{a\sqrt{5}} \right) - 0 \right]$$

$$= \frac{2KqQ}{a} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{5}} \right)$$

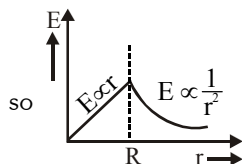


27. For uniformly charged sphere  
समरूप आवेशित गोले के लिये

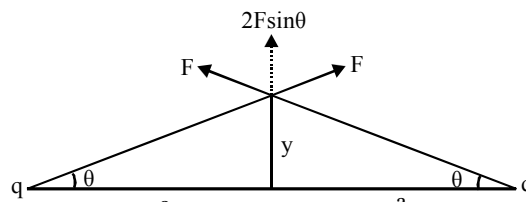
$$E = \frac{Kqr}{R^3} \quad (r < R)$$

$$E = \frac{Kq}{R^2} \quad (r = R)$$

$$E = \frac{Kq}{r^2} \quad (r > R)$$



28. Net force  $= 2F \sin \theta = 2 \left[ \frac{kq_0}{(a^2 + y^2)} \right] \cdot \frac{y}{(a^2 + y^2)^{1/2}}$



$$= \frac{2kq_0}{(a^2 + y^2)^{3/2}} \approx \frac{2kq_0 y}{a^3} \propto y$$

29. Potential at O  $= \int_L^{2L} \frac{K \left( \frac{Q}{L} dx \right)}{x} = \frac{\theta}{4\pi \epsilon_0 L} \ln(2)$



### EXERCISE -V(B)

1. Potential at origin will be given by

मूल बिन्दु पर विभव

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{x_0} - \frac{1}{2x_0} + \frac{1}{3x_0} - \frac{1}{4x_0} + \dots \right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{x_0} \right) \left[ 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots \right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 x_0} \ln(2)$$

2. Net electrostatic energy of the configuration will be  
विन्यास की नेट स्थिर वैद्युत ऊर्जा

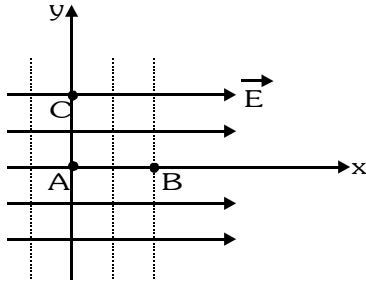
$$U = K \left[ \frac{q \cdot q}{a} + \frac{Q \cdot q}{\sqrt{2}a} + \frac{Q \cdot q}{a} \right] = 0 \Rightarrow Q = \frac{-2q}{2 + \sqrt{2}}$$

3. Electric lines of force never form a closed loop. Therefore, options (B) and (D) are wrong. Electric lines of force emanate from positive charge and terminate on negative charge, therefore, option(A) is also wrong.

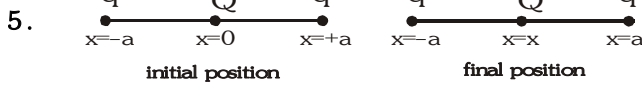
वैद्युत बल रेखाएँ कभी भी एक बन्द पाश नहीं बनाती हैं। अतः विकल्प (B) व (D) गलत हैं। वैद्युत बल रेखाएँ धनात्मक आवेश से निकलती हैं तथा ऋणात्मक आवेश पर समाप्त होती हैं। अतः (A) गलत है।

4. Potential decreases in the direction of electric field. Dotted lines are equipotential lines.

विभव वैद्युत क्षेत्र की दिशा में घटता जाता है। बिन्दुवत रेखाएँ समविभव रेखाएँ हैं।



$$\therefore V_A = V_C \text{ and } V_A > V_B$$



$$U_i = \frac{2KQq}{a} \text{ and } U_f = KQq \left[ \frac{1}{a+x} + \frac{1}{a-x} \right]$$

$$\Rightarrow |\Delta U| = \frac{2KQqx^2}{a^3} \text{ for } x \ll a \therefore \Delta U \propto x^2$$

6. Electric field is zero everywhere inside a metal (conductor) i.e., field lines do not enter a metal. Simultaneously these are perpendicular to a metal surface (equipotential surface).

किसी भी धात्विक चालक के भीतर कहीं भी वैद्युत क्षेत्र शून्य होता है। अर्थात् बल रेखाएँ धातु के भीतर प्रवेश नहीं कर पाती। साथ ही साथ ये धातु पृष्ठ (समविभव पृष्ठ) के लम्बवत् भी होती है।

7. According to option (d) the electric field due to P and S and due to Q and T add to zero. While due to U and R will be added up. Hence, the correct option is (D).

विकल्प (D) के अनुसार P व S के कारण वैद्युत क्षेत्र ओर Q व T के कारण वैद्युत क्षेत्र का योग शून्य है। जबकि U व R के कारण उत्पन्न क्षेत्रों का योग ही वांछित योग है। अतः विकल्प (D) सही है।

8. At any point over the spherical Gaussian surface, net electric field is the vector sum of electric fields due to  $+q_1$ ,  $-q_1$  and  $q_2$ .

Don't confuse with the electric flux which is zero (net) passing over the Gaussian surface as the net charge enclosing the surface is zero.

गौसियन पृष्ठ के किसी भी बिन्दु पर कुल वैद्युत क्षेत्र  $+q_1$ ,  $-q_1$  व  $q_2$  के वैद्युत क्षेत्रों का सदिश योग होगा। यह वैद्युत फ्लक्स नहीं है जिसका मान शून्य है क्योंकि नेट आवेश जो कि पृष्ठ द्वारा घेरा गया है वह शून्य है।

9. All the three plates will produce electric field at P along negative z-axis. Hence, तीनों प्लेट P पर ऋणात्मक z-अक्ष के अनुदिश वैद्युत क्षेत्र उत्पन्न करेगी।

$$\vec{E}_p = \left[ \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{2\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \right] (-\hat{k}) = -\frac{2\sigma}{\epsilon_0} \hat{k}$$

10. There will be an electric field between two cylinders (using Gauss theorem). This electric field will produce a potential difference.

यहाँ दोनों बेलनों के मध्य वैद्युत क्षेत्र होगा (गौसियन प्रमेय से) यह वैद्युत क्षेत्र विभवान्तर उत्पन्न करेगा।

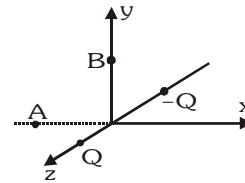
11. Charge will be induced in the conducting sphere, but net charge on it will be zero.

आवेश चालक गोले में प्रेरित होगा। लेकिन इस पर नेट आवेश शून्य ही रहेगा।

12. Inside the cavity, field at any point is uniform and non-zero.

गुहिका के भीतर किसी भी बिन्दु पर क्षेत्र असमान है तथा अशून्य है।

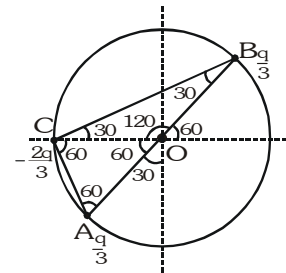
13.  $A \equiv (-a, 0, 0)$ ,  $B \equiv (0, a, 0)$



Point charge is moved from A to B बिन्दु आवेश A से B तक गति करता है।

$$V_A = V_B = 0 \therefore W = 0$$

14.  $BC = 2R \sin\left(\frac{120}{2}\right) = \sqrt{3} R$



- Electric field at O (O पर वैद्युत क्षेत्र)

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{2q/3}{R^2} \right) = \frac{q}{6\pi\epsilon_0 R^2}$$

along negative X-axis.

(ऋणात्मक x अक्ष के अनुदिश)

- The potential energy of the system is non zero निकाय की स्थितिज ऊर्जा अशून्य होगी।

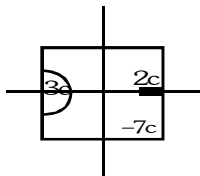
- Force between B & C (B व C के मध्य बल)

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q/3)(-2q/3)}{(\sqrt{3}R)^2} = -\frac{q^2}{54\pi\epsilon_0 R^2}$$

- Potential at O (O वर विभव)

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q}{3} + \frac{q}{3} - \frac{2q}{3} \right) = 0$$

15.



$$\phi = \frac{q_{\text{enclosed}}}{\epsilon_0}$$

$$\phi = \frac{-2C}{\epsilon_0}$$

16.  $Q_1 = \sigma 4\pi R^2 = k$  (say)

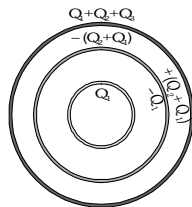
$$Q_1 + Q_2 = \sigma 4\pi (4R^2) = 4k$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = \sigma (4\pi) (9R^2) = 9k$$

On solving,  $Q_1 : Q_2 : Q_3 :: 1 : 3 : 5$

17. Since torque about central charge is zero angular momentum is conserved.

चूँकि केन्द्रीय आवेश के सापेक्ष बलाघूर्ण शून्य। कोणीय संवेग संरक्षित रहता है।



### MCQ's

1. Let Q be the charge on the ring, the negative charge -q is released from point P (0,0,  $z_0$ ). The electric field at P due to the charged ring will be along positive z-axis and its magnitude will be माना वलय पर आवेश Q है तथा बिन्दु P (0,0,  $z_0$ ) से आवेश -q छोड़ा जाता है, आवेशित वलय के कारण P पर वैद्युत क्षेत्र धनात्मक z-अक्ष के अनुदिश होगा तथा उसका परिमाण निम्न होगा

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qz_0}{(R^2 + z_0^2)^{3/2}}$$

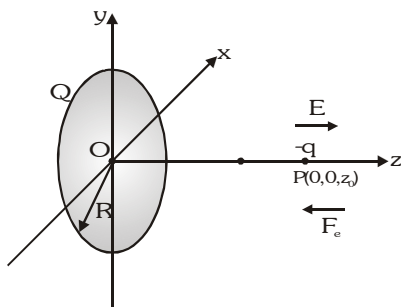
$E = 0$  at centre of the ring because  $z_0 = 0$

Therefore, force on charge P will be towards centre as shown, and its magnitude is

चूँकि  $z_0 = 0$  इसलिये वलय के केन्द्र पर  $E = 0$

अतः आवेश P पर बल चित्रानुसार केन्द्र की ओर होगा जिसका परिमाण

$$F_e = qE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qq}{(R^2 + z_0^2)^{3/2}} \cdot z_0 \dots (i)$$



Similarly, when it crosses the origin, the force is again towards centre O.

Thus, the motion of the particle is periodic for all values of  $z_0$  lying between 0 and  $\infty$ .

Secondly, if  $z_0 \ll R$ ,  $(R^2 + z_0^2)^{3/2} \approx R^3$

इसी प्रकार जब यह मूल बिन्दु को पार करता है तब बल की दिशा केन्द्र O की ओर होती है।

अतः कण की गति  $z_0$  के (0 से  $\infty$  तक)

सभी मानों के लिये आवर्ती होगी यदि

$$z_0 \ll R, (R^2 + z_0^2)^{3/2} \approx R^3$$

$$F_e \approx -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qq}{R^3} \cdot z_0 \quad (\text{From Eq. 1})$$

i.e., the restoring force  $F_e \propto -z_0$ . Hence, the motion of the particle will be simple harmonic. (Here negative sign implies that the force is towards its mean position).

अर्थात् प्रत्यानयन बल  $F_e \propto -z_0$ । अतः कण की गति सरल आवर्त गति होगी। ऋणात्मक चिह्न बल की दिशा सदैव केन्द्र की ओर बताता है।

2. Inside the sphere  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R^3} r \Rightarrow E \propto r$  for  $r \leq R$

$$\text{गोले के भीतर } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R^3} r \Rightarrow E \propto r \quad (r \leq R \text{ के लिये})$$

i.e.,  $E$  at centre = 0 ( $r=0$ )

अर्थात् केन्द्र पर  $E = 0$  चूँकि ( $r=0$ )

$$\text{and } E \text{ at surface} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (r = R)$$

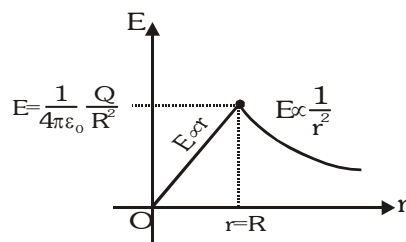
$$\text{तथा पृष्ठ पर } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (r = R)$$

$$\text{Outside the sphere } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (r \geq R) \text{ or } E \propto \frac{1}{r^2}$$

$$\text{गोले के बाहर } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (r \geq R) \text{ या } E \propto \frac{1}{r^2}$$

Thus, variation of electric field ( $E$ ) with distance ( $r$ ) from the centre will be as follows :

वैद्युत क्षेत्र ( $E$ ) का दूरी ( $r$ ) के साथ परिवर्तन चित्रानुसार होगा :



3. Under electrostatic condition, all points lying on the conductor are in same potential. Therefore, potential at A=potential at B. Hence, option (C) is correct. From Gauss theorem, total flux through

the surface of the cavity will be  $\frac{q}{\epsilon_0}$ .

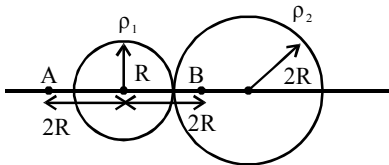
स्थिर वैद्युत शर्त के अन्तर्गत चालक पर स्थित सभी बिन्दुओं पर विभव समान होगा। अतः A पर विभव = B पर विभव, अतः विकल्प (C) सही है। गाऊसीय प्रमेय से गुहिका की सतह से

होकर प्रवाहित कुल फ्लक्स  $\frac{q}{\epsilon_0}$  होता है।

4. The given graph is of charged conducting sphere of radius  $R_0$ . The whole charge  $q$  distributes on the surface of the sphere.

दिया गया ग्राफ त्रिज्या  $R_0$  के आवेशित गोलीय चालक के लिये है। सम्पूर्ण आवेश गोले के पृष्ठ पर वितरित होता है।

5.  $q_1 = \rho_1 \frac{4}{3} \pi R^3$ ;  $q_2 = \rho_2 \frac{4}{3} \pi (2R)^3$



if  $E_{\text{net}} = 0$  at point A then

यदि बिन्दु A पर  $E_{\text{net}} = 0$  तो

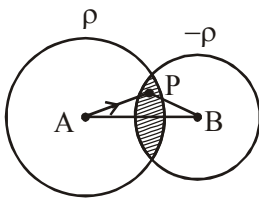
$$\frac{kq_1}{(2R)^2} + \frac{kq_2}{(5R)^2} = 0 \Rightarrow \frac{q_1}{q_2} = -\frac{4}{25} \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = -\frac{32}{25}$$

if  $E_{\text{नेट}} = 0$  at point B then

यदि बिन्दु B पर  $E_{\text{नेट}} = 0$  तो

$$\frac{kq_1}{(2R)^2} = \frac{kq_2 R}{(2R)^3} \Rightarrow \frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = 4$$

6.



Electric field at point P (बिन्दु P पर विद्युत क्षेत्र)

$$= \frac{\rho(\overrightarrow{AP})}{3 \epsilon_0} + \frac{-\rho(\overrightarrow{BP})}{3 \epsilon_0} = \frac{\rho(\overrightarrow{AP} - \overrightarrow{BP})}{3 \epsilon_0} = \frac{\rho(\overrightarrow{AB})}{3 \epsilon_0}$$

= constant in both magnitude and direction at every point of overlap region.

Also  $E$  is non zero so potential is not same at all points.

अतिव्यापित क्षेत्र के प्रत्येक बिन्दु पर परिमाण  $v$  दिशा दोनों में नियत होता है क्योंकि  $E$  अशून्य है इसलिये विभव सभी बिन्दुओं पर असमान होगा।

### Comprehension Based Question

$$1. \quad E(4\pi R^2) = \frac{(Ze)}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{Ze}{4\pi \epsilon_0 R^2}$$

$\Rightarrow$  Independent of  $a$

2.  $\therefore \frac{\rho}{d} + \frac{r}{R} = 1$

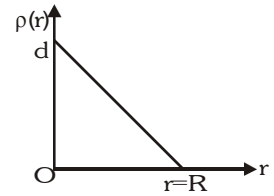
$$\therefore \rho = \left(1 - \frac{r}{R}\right) d$$

Charge contained

$$= Ze = \int_0^R (4\pi r^2 dr) \left(1 - \frac{r}{R}\right) d$$

$$= 4\pi d \int_0^R \left( r^2 - \frac{r^3}{R} \right) dr = 4\pi d \left( \frac{R^3}{3} - \frac{R^4}{4R} \right)$$

$$= 4\pi d \left( \frac{R^2}{12} \right) = \frac{\pi d R^3}{3} \Rightarrow d = \frac{3Ze}{\pi R^3}$$



3. For  $E \propto r$ , charge density should be constant so  $a = R$

## Subjective

1. Capacities of conducting spheres are in the ratio of their radii. Let  $C_1$  and  $C_2$  be the capacities of  $S_1$

and  $S_2$ , then  $\frac{C_2}{C_1} = \frac{R}{r}$

गोलीय चालको की धारिताये उनकी त्रिज्या के अनुपात में होती

है। माना  $S_1$  व  $S_2$  की धारिताये  $C_1$  व  $C_2$  है तब  $\frac{C_2}{C_1} = \frac{R}{r}$

(i) Charges are distributed in the ratio of their capacities. Let in the first contact, charge acquired by  $S_2$ , is  $q_1$ . Therefore, charge on  $S_1$  will be  $Q - q_1$ . आवेशों का वितरण इनकी धारिताओं के अनुपात में होगा।

माना पहले सम्पर्क में  $S_2$  द्वारा प्राप्त आवेश  $q_1$ , अतः  $S_1$  पर आवेश  $Q - q_1$  ( $-q_1'$ ) होगा।

Say it is  $q'_1$ .  $\therefore \frac{q_1}{q'_1} = \frac{q_1}{Q - q_1} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{R}{r}$

It implies that Q charge is to be distributed in  $S_2$  and  $S_1$  in the ratio of  $R/r$ . (यह प्रदर्शित करता है कि  $S_2$  व  $S_1$  में आवेशों Q का वितरण  $R/r$  के अनुपात में होगा)

$$\therefore q_1 = Q \left( \frac{R}{R+r} \right) \dots (i)$$

In the second contact,  $S_1$  again acquires the same charge  $Q$ . Therefore, total charge in  $S_1$  and  $S_2$  will be (दूसरे सम्पर्क में  $S_1$  पुनः समान आवेश  $Q$  में वितरित होगा। अतः  $S_1$  व  $S_2$  पर कुल आवेश)

$$Q + q_1 = Q \left( 1 + \frac{R}{R + r} \right)$$

This charge is again distributed in the same ratio.



Therefore, charge on  $S_2$  in second contact, यह आवेश पुनः उसी अनुपात में वितरित होगा। अतः दूसरे सम्पर्क में  $S_2$  पर आवेश

$$q_1 = Q \left( 1 + \frac{R}{R+r} \right) \left( \frac{R}{R+r} \right) = Q \left[ \frac{R}{R+r} + \left( \frac{R}{R+r} \right)^2 \right]$$

Similarly (इसी प्रकार),

$$q_3 = Q \left[ \frac{R}{R+r} + \left( \frac{R}{R+r} \right)^2 + \left( \frac{R}{R+r} \right)^3 \right]$$

$$\text{and (तथा)} q_n = Q \left[ \frac{R}{R+r} + \left( \frac{R}{R+r} \right)^2 + \dots + \left( \frac{R}{R+r} \right)^n \right]$$

$$\Rightarrow q_n = Q \frac{R}{r} \left[ 1 - \left( \frac{R}{R+r} \right)^n \right] \dots (i) \left[ S_n = \frac{a(1-r^n)}{(1-r)} \right]$$

Therefore, electrostatic energy of  $S_2$  after  $n$  such contacts

अतः  $n$  सम्पर्कों के बाद  $S_2$  की स्थिर वैद्युत ऊर्जा

$$U_n = \frac{q_n^2}{2C} = \frac{q_n^2}{2(4\pi\epsilon_0 R)} \Rightarrow U_n = \frac{q_n^2}{8\pi\epsilon_0 R}$$

where  $q_n$  can be written from Eq. (2)

समी. (2) से  $q_n$  का मान लिखा जा सकता है

$$(ii) q_n = \frac{QR}{R+r} \left[ 1 + \frac{R}{R+r} + \dots + \left( \frac{R}{R+r} \right)^{n-1} \right]$$

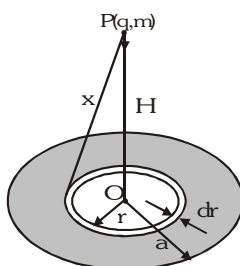
as (चूँकि)  $n \rightarrow \infty$

$$q_\infty = \frac{QR}{R+r} \left( \frac{1}{1 - \frac{R}{R+r}} \right) = \frac{QR}{R+r} \left( \frac{R+r}{r} \right) = Q \frac{R}{r}$$

$$\left[ S_\infty = \frac{a}{1-r} \right]$$

$$\therefore U_\infty = \frac{q_\infty^2}{2C} = \frac{Q^2 R^2 / r^2}{8\pi\epsilon_0 R} \Rightarrow U_\infty = \frac{Q^2 R}{8\pi\epsilon_0 r^2}$$

2. Potential at a height  $H$  on the axis of the disc  $V(P)$ :  
 The charge  $dq$  contained in the ring shown in figure  
 Potential of  $p$  due to this ring  
 डिस्क के अक्ष पर ऊँचाई  $H$  पर विभव  $V(P)$  है। आवेश  $dq$  वलय में चित्रानुसार है। इस वलय के कारण  $P$  पर विभव



$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{x} \text{ where } x = \sqrt{H^2 + r^2}$$

$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{(2\pi r dr) \sigma}{\sqrt{H^2 + r^2}} = \left( \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \right) \times \left( \frac{r dr}{\sqrt{H^2 + r^2}} \right)$$

$\therefore$  Potential due to the complete disc

$\therefore$  सम्पूर्ण डिस्क के कारण विभव

$$V_p = \int_{r=0}^{r=a} dV = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \int_{r=0}^{r=a} \frac{r dr}{\sqrt{H^2 + r^2}}$$

$$V_p = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} [\sqrt{a^2 + H^2} - H]$$

Potential at centre, (O) will be  $V_o = \frac{\sigma a}{2\epsilon_0} \therefore H=0$

केन्द्र (O) पर विभव  $V_o = \frac{\sigma a}{2\epsilon_0} \therefore H=0$

- (i) Particle is released from P and it just reaches point O. Therefore, from conservation of mechanical energy.

Decrease in gravitational potential energy = Increase in electrostatic potential energy

( $\Delta KE=0$  because  $K_i=K_f=0$ )

कण P से छोड़ा गया है तथा यह बिन्दु O पर पहुँचता है। यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण से गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा में कमी = स्थिर वैद्युत ऊर्जा में वृद्धि

( $\Delta KE=0$  because  $K_i=K_f=0$ )

$$\therefore mgh = q [V_o - V_p] \Rightarrow gH = \left( \frac{q}{m} \right) \left( \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \right)$$

$$[a - \sqrt{a^2 + H^2} + H] \dots (i)$$

$$\frac{q}{m} = \frac{4\epsilon_0 g}{\sigma} \therefore \frac{q\sigma}{2\epsilon_0 m} = 2g$$

Substituting in Eq. (i), we get

$$gH = 2g [a + H - \sqrt{a^2 + H^2}]$$

$$\Rightarrow \frac{H}{2} = (a + H) - \sqrt{a^2 + H^2}$$

$$\Rightarrow \sqrt{a^2 + H^2} = a + \frac{H}{2}$$

$$\Rightarrow a^2 + H^2 = a^2 + \frac{H^2}{4} + aH \Rightarrow \frac{3}{4}H^2 = aH$$

$$\Rightarrow H = \frac{4}{3}a \text{ and } H=0 \therefore H = \left( \frac{4}{3} \right) a$$

- (ii) Potential energy of the particle at height  $H$  = Electrostatic potential energy + gravitational potential energy  
 ऊँचाई  $H$  पर कण की स्थितिज ऊर्जा = स्थिर वैद्युत



ऊर्जा + गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा

$$\therefore U = qV + mgH$$

Here  $V$  = Potential at height  $H$

यहाँ  $V = H$  ऊँचाई पर विभव

$$U = \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} \left[ \sqrt{a^2 + H^2} - H \right] + mgH \dots (ii)$$

At equilibrium position  $F = \frac{-dU}{dH} = 0$

(साम्यावस्था पर)

Differentiating Eq. (ii) w.r.t.  $H$

समी. (ii) का  $H$  के सापेक्ष अवकलन करने पर

$$\Rightarrow mg + \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} \left[ \left( \frac{1}{2} \right) (2H) \frac{1}{\sqrt{a^2 + H^2}} - 1 \right] = 0$$

$$\left( \because \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} = 2mg \right)$$

$$\therefore mg + 2mg \left[ \frac{H}{\sqrt{a^2 + H^2}} - 1 \right] = 0$$

$$\Rightarrow 1 + \frac{2H}{\sqrt{a^2 + H^2}} - 2 = 0 \Rightarrow \frac{2H}{\sqrt{a^2 + H^2}} = 1$$

$$\Rightarrow \frac{H^2}{a^2 + H^2} = \frac{1}{4} \Rightarrow 3H^2 = a^2 \Rightarrow H = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

From Eq. (ii), we can write  $U$ - $H$  equation as  
समी. (ii) से  $U$ - $H$  समीकरण को हम लिख सकते हैं

$$U = mg (2\sqrt{a^2 + H^2} - H)$$

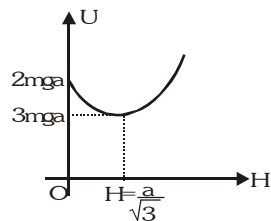
(Parabolic variation) (परवलयकार परिवर्तन)

$U = 2mga$  at  $H = 0$  ( $H = 0$  पर)

and (तथा)  $U = U_{\min} = \sqrt{3}mga$  at  $H = \frac{a}{\sqrt{3}}$

therefore,  $U$ - $H$  graph will be as shown.

अतः  $U$ - $H$  ग्राफ चित्रानुसार होगा



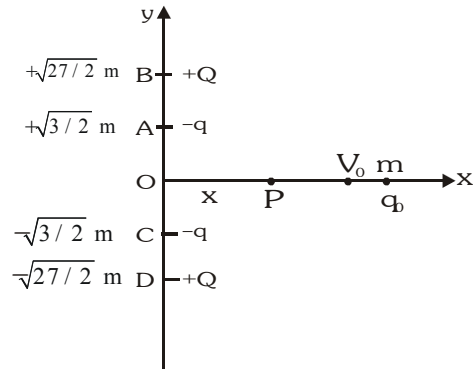
Note that at  $H = \frac{a}{\sqrt{3}}$ ,  $U$  is minimum.

अतः  $H = \frac{a}{\sqrt{3}}$  पर  $U$  न्यूनतम है।

Therefore,  $H = \frac{a}{\sqrt{3}}$  is stable equilibrium position.

अतः  $H = \frac{a}{\sqrt{3}}$  स्थायी साम्यावस्था है।

3. In the figure (चित्र में)



$$q = 1\mu C = 10^{-6}C, q_0 = +0.1\mu C = 10^{-7}C$$

and

$$m = 6 \times 10^{-4}kg \text{ and } Q = 8\mu C = 8 \times 10^{-6}C$$

Let  $P$  be any point at a distance  $x$  from origin  $O$ .

Then

माना मूल बिन्दु से  $x$  दूरी पर कोई बिन्दु  $P$  है तब

$$AP = CP = \sqrt{\frac{3}{2} + x^2}$$

$$BP = DP = \sqrt{\frac{27}{2} + x^2}$$

Electric potential at point  $P$  will be

बिन्दु  $P$  पर वैद्युत विभव

$$V = \frac{2KQ}{BP} - \frac{2Kq}{AP}$$

where (जहाँ)  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 N/m^2/C^2$

$$\therefore V = 2 \times 9 \times 10^9 \left[ \frac{8 \times 10^{-6}}{\sqrt{\frac{27}{2} + x^2}} - \frac{10^{-6}}{\sqrt{\frac{3}{2} + x^2}} \right]$$

$$V = 1.8 \times 10^4 \left[ \frac{8}{\sqrt{\frac{27}{2} + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{\frac{3}{2} + x^2}} \right] \dots (i)$$

$\therefore$  Electric field at  $P$  is ( $P$  पर वैद्युत क्षेत्र)

$$E = -\frac{dV}{dx} = 1.8 \times 10^4$$

$$\left[ (8) \left( \frac{-1}{2} \right) \left( \frac{27}{2} + x^2 \right)^{-\frac{3}{2}} - \left( -\frac{1}{2} \right) \left( \frac{3}{2} + x^2 \right)^{-\frac{3}{2}} \right] (2x)$$

$E = 0$  on  $x$ -axis where  $-x = 0$  or

$x$ -अक्ष पर  $E = 0$  जहाँ  $-x = 0$  या

$$\frac{8}{\left( \frac{27}{2} + x^2 \right)^{3/2}} = \frac{1}{\left( \frac{3}{2} + x^2 \right)^{3/2}}$$

$$\Rightarrow \frac{(4)^{3/2}}{\left(\frac{27}{2} + x^2\right)^{3/2}} = \frac{1}{\left(\frac{3}{2} + x^2\right)^{3/2}}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{27}{2} + x^2\right) = 4\left(\frac{3}{2} + x^2\right)$$

$$\text{This equation gives } x = \pm \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m}$$

The least value of kinetic energy of the particle at infinity should be enough to take the particle upto

$$x = +\sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m because at } x = +\sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m, } E = 0$$

अनन्त पर कण की गतिज ऊर्जा का निम्नतम मान कण को

$$x = +\sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m पर ले जाने के लिये पर्याप्त होना चाहिये क्योंकि}$$

$$x = +\sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m पर } E = 0$$

$\Rightarrow$  Electrostatic force on charge  $q$  is zero or  $F_e = 0$ .

For at  $x > \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m}$ ,  $E$  is repulsive (towards  $x$ -axis)

and for  $x < \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m}$ ,  $E$  is attractive (towards negative  $x$ -axis).

$\Rightarrow$  आवेश  $q$  पर स्थिर वैद्युत बल शून्य है या  $F_e = 0$ .

$x > \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m}$  के लिये  $E$  प्रतिकर्षण की ऊर्जा है (धन  $x$ -अक्ष की

दिशा में) तथा  $x < \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m}$  के लिये  $E$  (ऋण  $x$ -अक्ष की दिशा में)

Now, from Eq. (i), potential at  $x = \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m}$

पुनः समीकरण (i) से  $x = \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m}$  पर विभव

$$V = 1.8 \times 10^4 \left[ \frac{8}{\sqrt{\frac{27}{2} + \frac{5}{2}}} - \frac{1}{\sqrt{\frac{3}{2} + \frac{5}{2}}} \right]$$

$$\Rightarrow V = 2.7 \times 10^4 \text{ volt}$$

Applying energy conservation at  $x = \infty$  and

$$x = \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m; } \frac{1}{2}mv_0^2 = q_0V \dots (ii)$$

$x = \infty$  तथा  $x = \sqrt{\frac{5}{2}} \text{ m}$ ; पर ऊर्जा संरक्षण के सिद्धान्त से

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = q_0V \dots (ii)$$

$$\therefore v_0 = \sqrt{\frac{2q_0V}{m}}$$

Substituting the values (मान रखने पर)

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-7} \times 2.7 \times 10^4}{6 \times 10^{-4}}} \Rightarrow v_0 = 3 \text{ m/s}$$

$\therefore$  Minimum value of  $v_0$  is 3m/s

$\therefore v_0$  का न्यूनतम मान 3m/s है।

From eq. (i), potential at origin ( $x=0$ ) is

समीकरण (i), से मूल बिन्दु ( $x = 0$ ) पर विभव

$$V_0 = 1.8 \times 10^4 \left[ \frac{8}{\sqrt{\frac{27}{2}}} - \frac{1}{\sqrt{\frac{3}{2}}} \right] \approx 2.4 \times 10^4 \text{ V}$$

Let  $K$  be the kinetic energy of the particle at origin. Applying energy conservation at  $x=0$  and  $x=\infty$

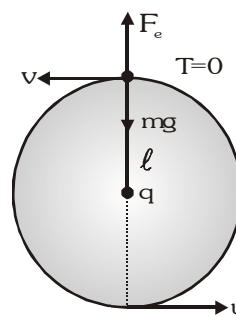
माना मूल बिन्दु पर कण की गतिज ऊर्जा  $K$  है।  $x=0$  तथा  $x=\infty$  पर ऊर्जा संरक्षण के नियम से

$$K + q_0V_0 = \frac{1}{2}mv_0^2 \text{ But } \frac{1}{2}mv_0^2 = q_0V \text{ [from Eq. (ii)]}$$

$$K = q_0(V - V_0) = (10^{-7})(2.7 \times 10^4 - 2.4 \times 10^4)$$

$$\Rightarrow K = 3 \times 10^{-4} \text{ J}$$

4. Given (दिया है):  $q = 1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$



$m = 2 \times 10^{-3} \text{ kg}$  and  $l = 0.8 \text{ m}$

Let  $u$  be the speed of the particle at its lowest point and  $v$  its speed at high point. At highest point three forces are acting on the particle.

माना कण की उच्चतम बिन्दु पर चाल  $v$  तथा निम्नतम बिन्दु पर चाल  $u$  है। उच्चतम बिन्दु पर कण पर तीन बल कार्यरत है।

(i) Electrostatic repulsion (वैद्युत स्थैतिक प्रतिकर्षण)

$$F_e - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{\ell^2} \text{ (outwards) (बाहर की ओर)}$$

(ii) Weight (भार)  $W = mg$  (inwards) (भीतर की ओर)

(iii) Tension (तनाव)  $T$  (inwards) (भीतर की ओर)

$T=0$ , if the particle has just to complete the circle and the necessary centripetal force provided by

$T=0$ , यदि कण ठीक एक पूर्ण वृत्त बनाता है तथा आवश्यक अभिकेन्द्रीय बल दिया जाता है।

$$W - F_e \text{ i.e. (अर्थात), } \frac{mv^2}{\ell} = W - F_e$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{\ell}{m} \left( mg - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q^2}{\ell^2} \right)$$

$$v^2 = \frac{0.8}{2 \times 10^3} \left( 2 \times 10^3 \times 10 - \frac{9.0 \times 10^9 \times (10^{-6})^2}{(0.8)^2} \right)$$

$$\Rightarrow v^2 = 2.4 \text{ m}^2/\text{s}^2 \quad \dots(i)$$

Now, the electrostatic potential energy at the lowest and highest points are equal. Hence, from conservation of mechanical energy.

अब वैद्युत स्थितिज ऊर्जा का मान उच्चतम तथा निम्नतम बिन्दुओं पर बराबर है। अतः यांत्रिक ऊर्जा संरक्षण से

Increase in gravitational potential energy  
= Decrease in kinetic energy.

गुरुत्वीय स्थितिज ऊर्जा में वृद्धि = गतिज ऊर्जा में कमी

$$\Rightarrow mg(2\ell) = \frac{1}{2}m(u^2 - v^2) \Rightarrow u^2 - v^2 = 4g\ell$$

Substituting the values of  $v^2$  from Eq. (i), we get

समी. (i) से  $v^2$  का मान रखने पर

$$u^2 = 2.4 + 4(10)(0.8) = 34.4 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\therefore u = 5.86 \text{ m/s}$$

Therefore, minimum horizontal velocity imparted to the lower ball, so that it can make complete revolution, is 5.86 m/s.

5. For potential energy of the system of charges, total number of charge pairs will be  ${}^8C_2$  or 28 of these 28 pairs 12 unlike charges are at a separation  $a$ , 12 like charges are at separation  $\sqrt{2} a$  and 4 unlike charges are at separation  $\sqrt{3} a$ . Therefore, the potential energy of the system

आवेश के निकाय की स्थितिज ऊर्जा के लिये, कुल आवेश युग्म  ${}^8C_2$  या 28 होंगे। इन 28 युग्मों में से 12 भिन्न आवेशों वाले हैं जिनके बीच की दूरी  $a$  है, 12 समान आवेशों वाले हैं। जिनके बीच की दूरी  $\sqrt{2} a$  तथा 4 भिन्न आवेशों वाले हैं जिनके बीच की दूरी  $\sqrt{3} a$  है। इस प्रकार निकाय की स्थितिज ऊर्जा

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{(12)(q)(-q)}{a} + \frac{(12)(q)(q)}{\sqrt{2}a} + \frac{(4)(q)(-q)}{\sqrt{3}a} \right]$$

$$= -5.824 \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a} \right)$$

The binding energy of this system is therefore,

$$\text{इस निकाय की बंधन ऊर्जा } |U| = 5.824 \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a} \right)$$

So, work done by external forces in disassembling, this system of charges is (अतः बाह्य बलों द्वारा इस निकाय को अलग करने के लिये कुल कार्य)

$$W = 5.824 \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a} \right)$$

6. (i) Applying energy conservation principle, increase in kinetic energy of the dipole = decrease in electrostatic potential energy of the dipole.

ऊर्जा संरक्षण के नियम से, द्विध्रुव की गतिज ऊर्जा में वृद्धि = द्विध्रुव की स्थिर वैद्युत ऊर्जा में कमी

$$\therefore \text{KE of dipole at distance } d \text{ from origin} = U_i - U_f$$

$$\therefore \text{मूल बिन्दु से } d \text{ दूरी पर द्विध्रुव की गतिज ऊर्जा} = U_i - U_f$$

$$\Rightarrow \text{KE} = 0 - (-\vec{p} \cdot \vec{E}) = \vec{p} \cdot \vec{E} = (p\hat{i}) \cdot \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{d^2} \hat{i} \right) = \frac{qp}{4\pi\epsilon_0 d^2}$$

(ii) Electric field at origin due to the dipole,

द्विध्रुव के कारण मूल बिन्दु पर वैद्युत क्षेत्र

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{d^3} \hat{i} (\vec{E}_{\text{axis}} \uparrow \uparrow \vec{p})$$

$\therefore$  Force on charge  $q$  at distance  $d$

$\therefore d$  दूरी पर आवेश  $q$  पर बल

$$\Rightarrow \vec{F} = q\vec{E} = \frac{pq}{2\pi\epsilon_0 d^3} \hat{i}$$

7. Electric field near a large metallic plate is given by  $E = \sigma/\epsilon_0$ . In between the plates the two fields will be in opposite direction. Hence,

एक बड़ी धातु की प्लेट के समीप वैद्युत क्षेत्र  $E = \sigma/\epsilon_0$ . प्लेटों के बीच दो क्षेत्र एक-दूसरे की विपरीत दिशाओं में होंगे, अतः

$$E_{\text{net}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_0} = E_0 \text{ (say) (माना)}$$

Now,  $W = (q) \text{ (potential difference)} = q(E_0 \cos 45^\circ)$

अब,  $W = (q) \text{ (विभवान्तर)} = q(E_0 \cos 45^\circ)$

$$= (q) \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_0} \right) \left( \frac{a}{\sqrt{2}} \right) = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)qa}{\sqrt{2}\epsilon_0}$$

8. Let  $q$  be the charge on the bubble, then

माना बुलबुले पर आवेश  $q$  है तो

$$V = \frac{Kq}{a} \left( \text{Here } K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right) \therefore q = \frac{Va}{K}$$

Let after collapsing the radius of droplet becomes  $R$ , then equating the volume, we have

माना बूंद की त्रिज्या  $R$  है, तब आयतनो की समानता करने पर

$$(4\pi a^2)t = \frac{4}{3}\pi R^3 \therefore R = (3a^2t)^{1/3}$$

Now, potential of droplet will be  $V' = \frac{Kq}{R}$

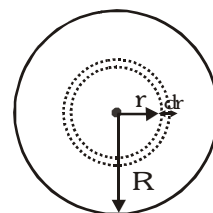
(अब बूंद पर विभव)

Substituting the values, we have (मान रखने पर)

$$V' = \frac{(K)\left(\frac{Va}{K}\right)}{(3a^2t)^{1/3}} \Rightarrow V' = V \left(\frac{a}{3t}\right)^{1/3}$$

$$9. \quad E(4\pi r^2) = \int \frac{(kr^a)4\pi r^2 dr}{\epsilon_0}$$

$$E(r^2) = \frac{\int r^{a+2} dr}{\epsilon_0}$$



$$\Rightarrow E(r^2) = \frac{r^{a+3}}{(a+3)\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{r^{a+1}}{(a+3)\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E(R/2) = E \frac{1}{8} \Rightarrow \left(\frac{R}{2}\right)^{a+1} = \frac{1}{8} (R)$$

$$\Rightarrow 2^{a+1} = 2^3 \Rightarrow a=2$$