

Chapter 01

स्थिरवैद्युतकी (Electrostatics)

CONTENT

- विद्युत आवेश
- कूलॉम का नियम एवं इसके अनुप्रयोग
- विद्युत क्षेत्र
- विद्युत फलक्स
- गॉउस प्रमेय
- स्थिर विद्युत स्थितिज ऊर्जा
- विद्युत विभव
- विद्युत द्विध्रुव
- चालक

➤ भौतिकी की वह शाखा जिसमें स्थैतिक आवेशों के वैद्युत प्रभावों का अध्ययन किया जाता है, स्थिर वैद्युतिकी कहलाती है।

1. विद्युत आवेश (ELECTRIC CHARGE) :

- यह इलेक्ट्रॉन या प्रोटॉन जैसे कुछ प्राथमिक कण का आंतरिक गुण है।
- आवेश वह प्रकृति है जिसके कारण यह वैद्युत व चुम्बकीय प्रभाव उत्पन्न एवं अनुभव करता है।
 - S.I. पद्धति में आवेश का मात्रक कूलॉम है।
 - आवेश का C.G.S. मात्रक = स्थिर वैद्युत इकाई = स्टेट कूलॉम एवं फ्रेंकलिन
 - 1 कूलॉम = 3×10^9 स्टेट कूलॉम (स्टेट C)
 - आवेश की M.K.S. इकाई = e.m.u. = Absolute coulomb (abC)
 - 1 कूलॉम = $\frac{1}{10}$ absolute coulomb.
 - 1 वैद्युत चुम्बकीय इकाई (emu) = 1 ab कूलॉम = 10C
 - $1C = 3 \times 10^9 \text{ stat C} = \frac{1}{10} \text{ ab C}$
 - आवेश का विमिय सूत्र = $[M^0 L^0 T^1 A^1]$

आवेश दो प्रकार के होते हैं।:

(i) धनात्मक आवेश (ii) ऋणात्मक आवेश

- 1C धनात्मक आवेश $-1C$ ऋणात्मक आवेश के बराबर होता है यहाँ ऋणात्मक चिह्न दर्शाता है कि धनात्मक आवेश की प्रकृति ऋणात्मक आवेश की प्रकृति के विपरीत है।

1.1 आवेश के गुण (Properties of Charge)

- आवेश एक अदिश राशि है
- आवेश हमेशा द्रव्यमान पर आधारित होता है

कण	आपेक्षित द्रव्यमान	आपेक्षित आवेश	आवेश (C)	द्रव्यमान (kg)
इलेक्ट्रॉन	0.0005	-1	-1.6×10^{-19}	9.1×10^{-31}
प्रॉटोन	1	+1	$+1.6 \times 10^{-19}$	1.67×10^{-27}
न्यूट्रॉन	1	उदासीन	0	1.67×10^{-27}

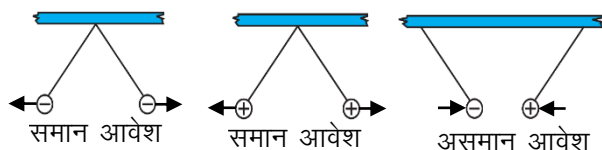
- संरक्षित आवेश (Charge is conserved): विलगित प्रणाली में जो भी परिवर्तन होता है इसमें कुल आवेश स्थिर रहता है।



SPOT LIGHT

आवेश का क्वान्टम : यह आवेश की वह न्यूनतम मात्रा है जो प्रकृति में मुक्त रूप से रह सकती है।

- आवेश का क्वांटीकरण (Quantization of charge): आवेश क्वांटीकृत होते हैं और आवेश का क्वांटम $\pm e$ होता है, किसी पिण्ड पर आवेश विद्युत आवेश की मूलभूत इकाई के गुणज के रूप में होता है इसलिए पिण्ड पर आवेश $Q = \pm ne$, जहाँ n एक पूर्णांक है और e इलेक्ट्रॉनिक आवेश है।
- समान प्रकृति के आवेश एक दूसरे को प्रतिकर्षित करते हैं जबकि विपरीत प्रकृति के आवेश एक दूसरे को आकर्षित करते हैं।



- आवेश सदैव द्रव्यमान से सम्बद्ध होता है अर्थात् द्रव्यमान के बिना आवेश का अस्तित्व नहीं होता यद्यपि आवेश के बिना द्रव्यमान का अस्तित्व सम्भव है।
- आवेश का अचल गुणधर्म (Invariant Property of charge): आवेश निर्देश तन्त्र पर निर्भर नहीं करता है अर्थात् किसी वस्तु का आवेश परिवर्तित नहीं होता है, चाहे इसकी चाल कुछ भी हो, इसके विपरीत वस्तु का द्रव्यमान इसकी चाल पर निर्भर करता है और चाल में वृद्धि के साथ बढ़ता है।

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \quad m_0 = \text{विराम द्रव्यमान}$$

- एक स्थिर आवेश इसके चारों ओर केवल विद्युत क्षेत्र उत्पन्न करता है। एक समान रूप से गति करने वाला आवेश इसके चारों ओर विद्युत क्षेत्र व चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है जबकि त्वरित गति करता हुआ एक आवेश विद्युत चुम्बकीय तरंगें उत्पन्न करता है।
- आवेश की अतिरिक्तता: चूँकि आवेश एक अदिश राशि है, इसलिए किसी प्रणाली के कुल आवेश की गणना करने के लिए प्रणाली में सभी विशिष्ट आवेश को बीजगणितीय (उचित चिह्न के साथ) जोड़ा जाता है।



DETECTIVE MIND

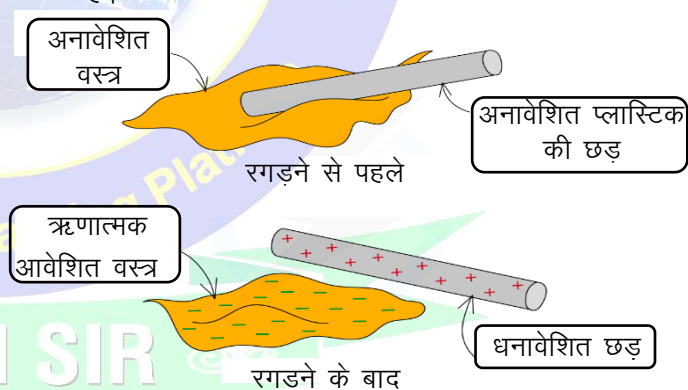
आवेश को ना तो बनाया जा सकता है ना ही नष्ट किया जा सकता है। इसे किसी किसी पिण्ड में एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित किया जा सकता है। किसी पिण्ड को आवेशित करते समय हम केवल इलेक्ट्रॉन को स्थानांतरित कर सकते हैं, प्रोटॉन को नहीं। क्योंकि प्रोटॉन नाभिक में मौजूद होते हैं, इसलिए प्रोटॉन को स्थानांतरित करने के लिए नाभिक को तोड़ना होगा और इसे तोड़ने के बाद परमाणु का अस्तित्व समाप्त हो जाएगा।

1.2 वस्तु/पिण्ड का आवेशन (Charging of a body) :

एक वस्तु को (A) घर्षण, (B) चालन तथा (C) प्रेरण द्वारा आवेशित किया जा सकता है।

(A) घर्षण के द्वारा आवेशित (Charging by Friction):

जब हम एक वस्तु को दूसरी वस्तु से रगड़ते हैं, ऊष्मा ऊर्जा एक वस्तु से ढीले जड़ित इलेक्ट्रॉन को हटाती है तथा निकलने वाले इलेक्ट्रॉन दूसरी वस्तु में प्रवेश कर सकते हैं। इस अवधारणा में, एक वस्तु इलेक्ट्रॉनों को त्याग कर धनात्मक आवेशित तथा अन्य वस्तु इलेक्ट्रॉनों को ग्रहण करके कुल ऋणात्मक आवेश प्राप्त करती है। जब एक काँच की छड़ को सिल्क के साथ रगड़ा जाता है, तो काँच धनात्मक आवेश व सिल्क ऋणात्मक आवेशित हो जाती है। वायुमण्डलीय बिजली, बादलों में आवेश संग्रहण इसके वायु के साथ घर्षण के कारण प्राप्त होता है।



DETECTIVE MIND

किसी चालक को घर्षण विद्युतीकरण के साथ आवेशित करने के लिए इसे एक कुचालक हैंडल की मदद से पकड़ना चाहिए अन्यथा चालक से आवेश दूसरे पिण्ड के माध्यम से जमीन पर जाएगा।

स्थिर विद्युत (सामान्य स्थिर आवेश)

STATIC ELECTRICITY
(OR SIMPLY STATIC CHARGE)

यह किसी पदार्थ के भीतर या सतह पर विद्युत आवेशों के असंतुलन के कारण होने वाला विद्युत निर्वहन है। चूंकि तेल या गैस जैसे अत्यधिक ज्वलनशील उत्पादों को ले जाने वाले ट्रक टैंक पर हवा के घर्षण के कारण ज्वलनशील बिंदुओं के ज्वलनशील बिंदु दिखाई देते हैं, इसलिए टैंक की सतहों पर दिखाई देने वाले अतिरिक्त आवेशों को दूर करने के लिए ट्रक टैंक के पीछे एक जंजीर लटका दी जाती है। स्थैतिक आवेशों का एक और उदाहरण हाथ मिलाना या हाथ से किसी चीज को छूना है। उंगलियों की नोक पर हवा के घर्षण चार्ज जमा हो जाते हैं और हाथ मिलाने या किसी चीज को छूने के दौरान अनावेशित आवेश (स्थिर आवेश) के कारण बिजली की चिंगारियां पैदा होती हैं।



ज्वलनशील टैंक ट्रक में लटकी जंजीर



दरवाजे को छूने पर चिंगारी



हाथ मिलाने पर चिंगारी



DETECTIVE MIND

स्थिर आवेश संचित होते हैं जहाँ सतहों की वक्रता अधिक होती है।

बिजली : यह भी विद्युत अनावेशित की घटना है। बिजली तब होती है जब बादल के तल में ऋणात्मक आवेश (इलेक्ट्रॉन) जमीन में धनात्मक आवेश (प्रोटॉन) की ओर आकर्षित होते हैं।

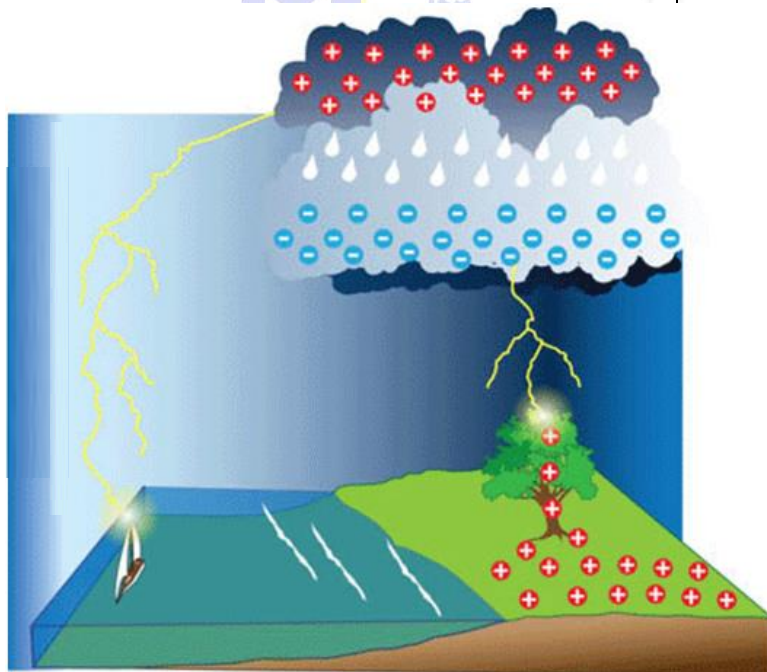
बर्फ के कणों के टकराने से विद्युत ध्रुवीकरण होता है

बादलों के तल पर ऋणात्मक आवेश (धनात्मक आवेश कि तुलना में भारी द्रव्यमान के कारण) में जमीन पर धनात्मक आवेश शामिल होते हैं।

ऋणात्मक स्टीमर बादलों कि ओर बढ़ते हैं।

धनात्मक स्टीमर पृथ्वी से उठती हैं।

वहाँ दोनों जुड़ते हैं और एक चैनल बनाते हैं जिस पर बिजली गिरती है

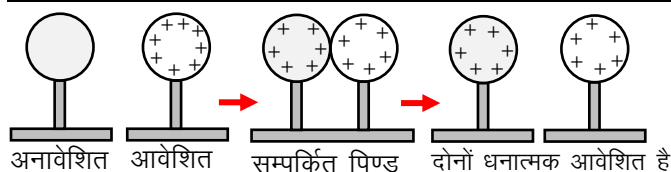


(B) चालन द्वारा चार्ज करना

जब हम किसी आवेशित पिंड (एक आवेशित चालक) को छूते हैं तो आवेश हमारे शरीर से होते हुए शरीर से पृथ्वी की ओर प्रवाहित होता है। इस प्रक्रिया को आवेश का संचालन (प्रवाह) कहा जाता है। यदि आप किसी तटस्थ धातु की गेंद को आवेशित धातु की गेंद से छूते हैं (या

जोड़ते हैं), तो तटस्थ गेंद चालन की प्रक्रिया द्वारा उनके बीच आवेशों को साझा करके चार्ज हो जाएगी।

स्थिरवैद्युतकी (ELECTROSTATIC)



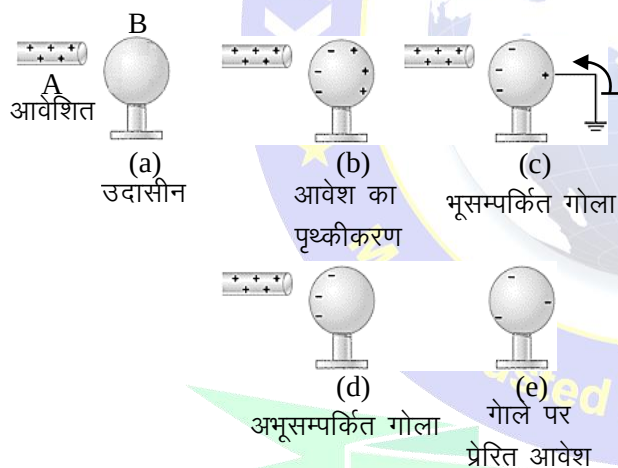
SPOT LIGHT

यदि दो चालकीय गोले आपस में सम्पर्कित हैं तो गोलों पर कुल आवेश उनकी त्रिज्या के अनुपात में बंट जाते हैं ($Q \propto R$)

(C) प्रेरण के द्वारा आवेशित (Charging by Induction)

जब एक उदासीन वस्तु B, धनात्मक रूप से आवेशित एक वस्तु A के समीप रखी जाती है, तो उदासीन वस्तु आवेशित वस्तु के निकट ऋणात्मक आवेश प्रेरित करती है तथा समान धनात्मक आवेश इसकी विपरीत सतह की ओर प्रेरित करती है। यदि वस्तु B एक चालक है तो पृथ्वी से जोड़ने पर अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन पृथ्वी से धनात्मक वस्तु की ओर प्रवाहित होकर उसे उदासीन बनाते हैं। जिससे वस्तु ऋणात्मक आवेशित हो जाती है।

एक आवेशित वस्तु से एक उदासीन वस्तु को बिना स्पर्श किए आवेशन की प्रक्रिया प्रेरण कहलाती है।



SPOT LIGHT

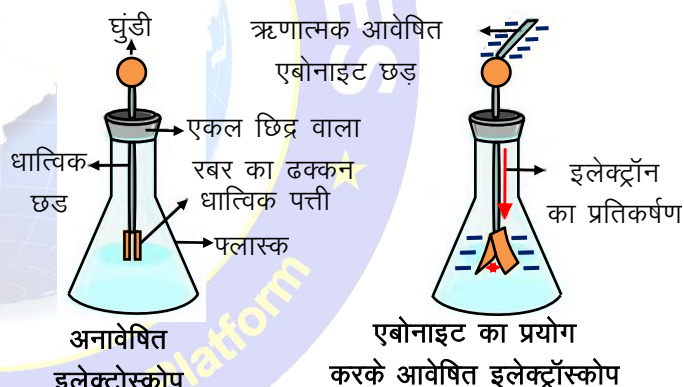
यदि दो वस्तुओं के मध्य आकर्षण है तो इनमें से एक उदासीन हो सकती है। परन्तु यदि दो बिन्दु सदृश वस्तुओं के मध्य प्रतिकर्षण होता है, तो दोनों आवेशित (समान प्रकार से आवेशित) होंगी।

अतः प्रतिकर्षण विद्युतीकरण का परीक्षण है।

आवेश का संसूचन : इलेक्ट्रोस्कोप [DETECTION OF CHARGE : ELECTROSCOPE (Gold Leaf)]

एक इलेक्ट्रोस्कोप विद्युत आवेश को निर्धारित करने के लिए उपयोग किए जाने वाले सबसे सरल उपकरणों में

से एक है। एक अनावेशित इलेक्ट्रोस्कोप केवल यह पता लगा सकता है कि कोई वस्तु विद्युत रूप से आवेशित है या नहीं। यदि इलेक्ट्रोस्कोप को पहले आवेशित की ज्ञात प्रकृति के साथ चार्ज किया गया है, तो यह वस्तु पर आवेशन की प्रकृति का भी निर्धारण कर सकता है। एक इलेक्ट्रोस्कोप में धातु की छड़ से जुड़ी पतली एल्यूमीनियम या सोने की पत्ती (पत्ती) की दो पट्टियाँ होती हैं और शीर्ष पर घुंड़ी से जुड़ी होती हैं। छड़ को सहारा दिया जाता है और लकड़ी की फिटिंग के माध्यम से फ्रेम से अलग भी किया जाता है। जब एक आवेशित पिंड इलेक्ट्रोस्कोप के शीर्ष पर घुंड़ी को छूता है, तो पत्तियाँ मुड़ जाती हैं, यह दर्शाता है कि इलेक्ट्रोस्कोप चार्ज हो गया है। अब नाँब पर एक अन्य आवेश को संपर्क में लाने पर, यदि धातु की पत्तियाँ एक दूसरे की ओर आकर्षित होती हैं। इसका अर्थ है कि दूसरे आवेश की प्रकृति (अज्ञात आवेश की प्रकृति) पहले दिए गए (ज्ञात प्रकृति) आवेश के विपरीत है।



2. कूलॉम का नियम (व्युत्क्रम का नियम) [COULOMB'S LAW (INVERSE SQUARE LAW)] :

दो बिन्दुवत आवेशों के बीच लगने वाले स्थिर वैद्युत बल का परिमाण दोनों आवेशों के गुणनफल के समानुपाती व दोनों के बीच की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

$$q_1 \xrightarrow{\quad r \quad} q_2$$

$$\text{अर्थात् } F \propto |q_1 q_2| \text{ और } F \propto \frac{1}{r^2}$$



Charles Augustin
de Coulomb
(1736–1806)

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

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

कूलॉम नियम से सम्बंधित महत्वपूर्ण बिन्दु

(Important points regarding Coulomb's law):

- यह केवल बिन्दु आवेशों पर ही लागू होता है।
- बिन्दु आवेशों के मध्य आकर्षण या प्रतिकर्षण बलों की राशि को मापा गया व व्युत्क्रम वर्ग नियम का निष्कर्ष निकाला।



SPOT LIGHT

बल मापने के लिए एक मरोड़ संतुलन एक संवेदनशील उपकरण है। यह बाद में कैवेंडिश द्वारा भी इस्तेमाल किया गया था न्यूटन के सत्यापन के लिए, दो वस्तुओं के बीच बहुत कम गुरुत्वाकर्षण बल को मापने के लिए गुरुत्वाकर्षण का नियम द्वारा सत्यापन किया गया।

- समानुपाती नियतांक K का मान निर्वात में SI पद्धति में $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ द्वारा दिया जाता है और किसी अन्य माध्यम में

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_m} \text{ द्वारा व्यक्त किया जाता है। जहाँ } [\epsilon_m = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r]$$

- यदि आवेशों को किसी माध्यम में रखा जाये तो किसी एक आवेश पर स्थिर वैद्युत बल $\frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ होगा।

ϵ_0 व ϵ_r निर्वात की विद्युतशीलता एवं आपेक्षिक विद्युतशीलता हैं। अनुपात $\epsilon_m / \epsilon_0 = \epsilon_r$ को माध्यम की आपेक्षिक विद्युतशीलता कहते हैं जो एक विमाहीन राशि है।

- आपेक्षिक विद्युतशीलता ϵ_r का मान 1 से ∞ के बीच होता है। परिभाषा से निर्वात के लिए यह 1 होता है। वायु के लिए लगभग 1 तथा गणनाओं के लिए 1 के बराबर लिया जा सकता है। धातुओं के लिए ϵ_r का मान ∞ होता है।

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

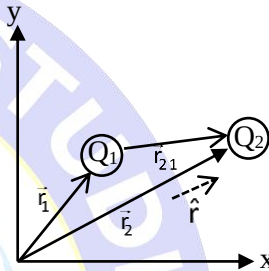
$$\Rightarrow \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

- किसी एक आवेश द्वारा दूसरे आवेश पर बल सदैव दोनों आवेशों को जोड़ने वाली रेखा के अनुदिश होता है। यह दोनों आवेशों पर समान परिमाण में किन्तु विपरीत दिशा

में लगता है। उस माध्यम से निरपेक्ष जिसमें दोनों को रखा जाता है।

- बल की प्रकृति संरक्षी है अर्थात् किसी भी आकृति के बन्द लूप के अनुदिश एक बिन्दुवत् आवेश को गति कराने में स्थिर विद्युत बल द्वारा किया गया कार्य शून्य होता है।
- सदिश रूप

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{|\vec{r}|^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{|\vec{r}|^3} \vec{r}$$



यहाँ $\vec{r}$ = स्थिति सदिश है जो स्रोत (जिसके कारण बल ज्ञात करना है) के सापेक्ष परीक्षण आवेश (जिस पर बल ज्ञात करना है) का स्थिति सदिश।

आवेश (बल की गणना के कारण) और $\vec{F}_{2on1}$ और $\vec{F}_{1on2}$ बल की क्रिया प्रतिक्रिया का युग्म है।

- एक आवेश का दूसरे आवेश पर लगाया गया बल, अन्य आवेश की स्थिति एवं माध्यम पर निर्भर नहीं करता है।

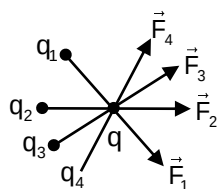


DETECTIVE MIND

कूलॉम का नियम नियमित या अनियमित निकायों के लिए भी लागू होता है यदि उनके बीच की दूरी के संबंध में उनके आयाम नगण्य हैं।

3. अध्यारोपण का सिद्धान्त (PRINCIPLE OF SUPERPOSITION):

कसी आवेशित कण पर लगने वाला बल, सभी आवेशों के कारण लगने वाले बल का सदिश योग होता है। अनेक आवेशों के कारण एक बिन्दुवत् परीक्षण आवेश पर बल $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$



4. विद्युत क्षेत्र (ELECTRIC FIELD) :

विद्युत क्षेत्र, किसी आवेशित कण के चारों ओर वह क्षेत्र है जिसमें अन्य आवेश वैद्युत बल अनुभव करते हैं। एक बिन्दुवत् आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र अनन्त तक होता है।

4.1 विद्युत क्षेत्र की तीव्रता (Electric field intensity) $\vec{E}$:

किसी बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र की तीव्रता उस बिन्दु पर रखे एक इकाई धनात्मक बिन्दु आवेश द्वारा अनुभव किये गये स्थिर वैद्युत बल के बराबर (परिमाण व दिशा दोनों में) होती है।

विद्युत क्षेत्र में किसी बिन्दु पर परिक्षण आवेश q_0 रखा है। तथा यह कुछ आवेशों (स्रोत आवेश) द्वारा बल अनुभव करता है तो उस बिन्दु पर स्रोत आवेशों के कारण विद्युत क्षेत्र की तीव्रता $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$



DETECTIVE MIND

परिक्षण आवेश को छोटा लिया जाता है ताकि परिक्षण आवेश पर बल आरोपित हो सके और बल ज्ञात करते समय इसकी स्थिति में परिवर्तन ना हो सके।

4.2 विद्युत क्षेत्र की तीव्रता के गुणधर्म (Properties of electric field intensity) $\vec{E}$:

- यह सदिश राशि है। इसकी दिशा धनात्मक आवेश द्वारा अनुभव किये गये बल की दिशा के समान होती है।
- इसका S.I. पद्धति में मात्रक न्यूटन/कूलाम $[N/C]$ है।
- किसी स्रोत आवेश द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ में किसी बिन्दु पर रखे q आवेश पर वैद्युत बल होता है। धनात्मक आवेश पर वैद्युत बल $\vec{F} = q\vec{E}$ विद्युत क्षेत्र की दिशा में होता है तथा ऋणावेश पर विपरीत दिशा में होता है।
- यह अध्यारोपण सिद्धान्त का पालन करता है। किसी बिन्दु पर किसी आवेश निकाय के कारण विद्युत क्षेत्र की तीव्रता

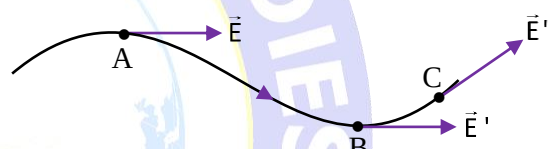
समस्त आवेशों के कारण क्षेत्र तीव्रताओं के सदिश योग के बराबर होती है।

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

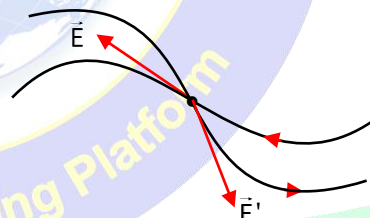
5. विद्युत बल रेखाएँ [ELECTRIC FIELDS LINES (EFL)]

विद्युत क्षेत्र रेखाएँ काल्पनिक रेखाएँ होती हैं। यह सामान्यतः एक वक्र होता है जो इस प्रकार खींचा जाता है कि प्रत्येक बिंदु पर इसकी स्पर्शरेखा उस बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दिशा में होती है।

- (i) बल की एक विद्युत रेखा (विद्युत क्षेत्र रेखा) एक काल्पनिक रेखा है जिसके किसी बिंदु पर खींची गई स्पर्श रेखा उस बिंदु पर विद्युत क्षेत्र (अर्थात कुल विद्युत क्षेत्र) की दिशा देती है।

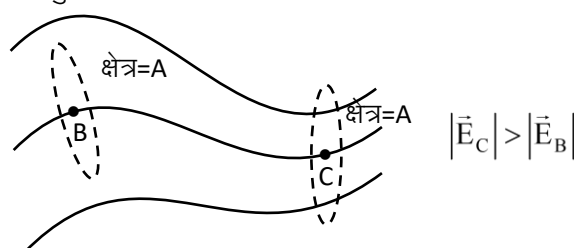


- (ii) दो EFL कभी एक दूसरे को नहीं काट सकती क्योंकि एक बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की दो दिशाएं नहीं हो सकती हैं।



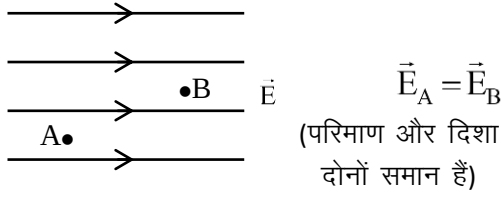
यहां एक बिंदु पर दो दिशाएं संभव होना सही नहीं
अतः यह गलत है

- (iii) एक बिंदु पर क्षेत्र के प्रति सामान्य बल की विद्युत रेखाएँ तीव्रता के परिमाण का प्रतिनिधित्व करती हैं, ज्यादा रेखाएँ प्रबल क्षेत्र का प्रतिनिधित्व करती हैं जबकि कम रेखाएँ दुर्बल क्षेत्र का प्रतिनिधित्व करती हैं।

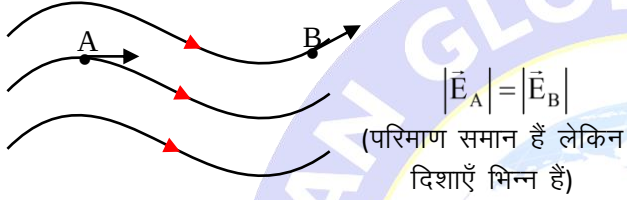


भौतिक विज्ञान

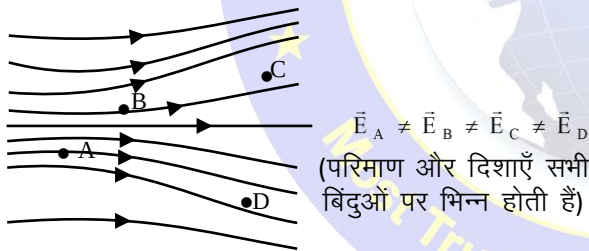
- (iv) एकसमान विद्युत क्षेत्र को बलों की समानांतर और समान दूरी वाली विद्युत रेखाओं द्वारा दर्शाया जाता है।



- (v) परिमाण के असमान विद्युत क्षेत्र (लेकिन चर दिशाओं) को बलों की समान दूरी वाली विद्युत रेखाओं द्वारा दर्शाया जाता है।

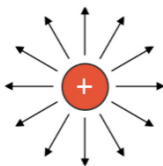


- (vi) अलग-अलग परिमाण और अलग-अलग दिशाओं के असमान विद्युत क्षेत्र को बल की विद्युत रेखाओं के अलग-अलग सापेक्ष घनत्व के साथ समान रूप से दूरी से दर्शाया जाता है।

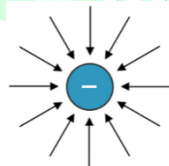


- (vii) बल रेखाएँ धनावेश से आरम्भ होती हैं और ऋणावेश पर समाप्त होती हैं।

विद्युत क्षेत्र की रेखाएँ

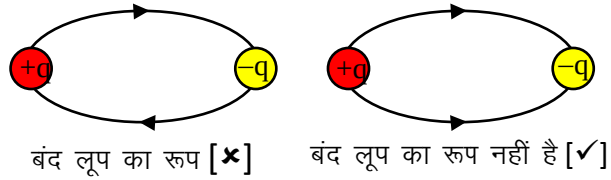


धनात्मक आवेश

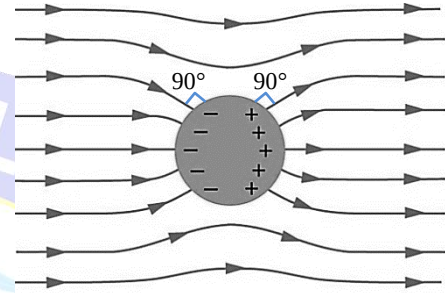


ऋणात्मक आवेश

- (viii) ये कभी भी बंद लूप में नहीं हो सकते

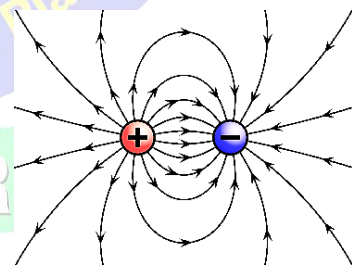


- (ix) विद्युत बल रेखाएँ हमेशा धात्विक पिण्ड के पृष्ठ के लम्बवत् होती हैं।

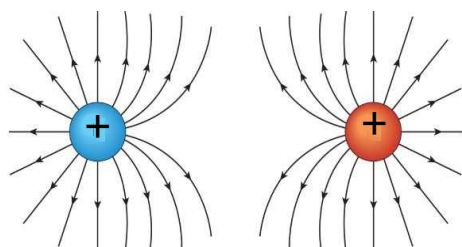


- (x) यदि कोई विद्युत क्षेत्र नहीं है तो बल की रेखाएँ नहीं होंगी।
(xi) किसी आवेश पर उत्पन्न या समाप्त होने वाली रेखाओं की संख्या आवेश के परिमाण के समानुपाती होती है। तर्कसंगत MKS प्रणाली में परिमेयकरण, $1/\epsilon_0$ विद्युतबल रेखाएँ इकाई आवेश से जुड़ी होती हैं, इसलिए यदि कोई वस्तु आवेश q को घेरता है, तो इससे जुड़ी बल की कुल रेखाएँ (फ्लक्स कहलाती हैं) q/ϵ_0 होंगी।

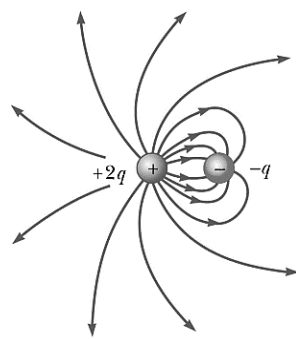
5.1 विद्युत बल रेखाओं का निरूपण (Representation of electric field lines):



दो परिमाण में समान परन्तु विपरीत प्रकृति के आवेशों का EFL



दो समान परिमाण व समान प्रकृति के आवेशों का EFL



असमान परिमाण व विपरीत प्रकृति वाले आवेशों का EFL

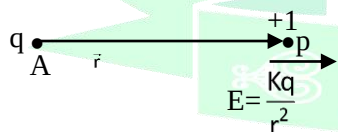


DETECTIVE MIND

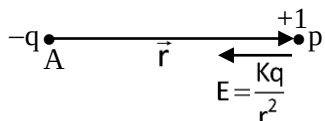
विद्युत क्षेत्र रेखाओं की कमीया है, यह विद्युत क्षेत्र का मात्रात्मक परिमाण नहीं देता है यह केवल विद्युत क्षेत्र का सापेक्ष परिमाण देता है

6. बिन्दु आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र (ELECTRIC FIELD DUE TO A POINT CHARGE):

- धनात्मक बिन्दु आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र, $E = \frac{kq}{r^2}$



- ऋणात्मक बिन्दु आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र, $E = \frac{kq}{r^2}$



- विद्युत क्षेत्र का सदिश रूप का समीकरण $\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r}$ होता है. यहां आवेश को उचित रूप से चिन्हीत किया जाता है

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r} \text{ या } \vec{E} = \frac{kq}{r^3} \vec{r} \text{ जबकि, } E = |\vec{E}| \text{ या } E = \frac{kq}{r^2}$$

- $\vec{r} = \vec{r}_p - \vec{r}_A = A$ के संबंध में P का स्थिति सदिश चिह्न के साथ आवेश का मान रखें।



DETECTIVE MIND

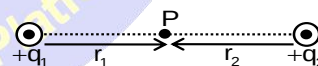
सूत्र $E = \frac{kq}{r^2}$ में आवेश q को बिना चिन्ह के लिया जाता है, जबकि सूत्र $\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r}$ में आवेश को उसके उचित चिन्ह के साथ लिया जाता है।

- 6.1 शून्य बिंदु (Null Point):** यह अंतरिक्ष में एक बिंदु है जहां सभी निकटम आवेशों के कारण कुल विद्युत क्षेत्र शून्य होता है।

- 6.2 शून्य बिंदु का निर्धारण: (Null Point Identification):**
स्थिति:1 असमान परिमाण तथा समान प्रकृति के आवेशों के लिए, अविक्षेप बिन्दु, आवेशों को जोड़ने वाली रेखा पर लघु परिमाण आवेश के निकट तथा दोनों आवेशों के मध्य होगा।

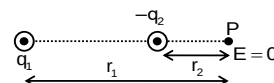
बिन्दु 'p' पर

$$\Rightarrow \frac{kq_1}{r_1^2} = \frac{kq_2}{r_2^2} \Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_2}}$$



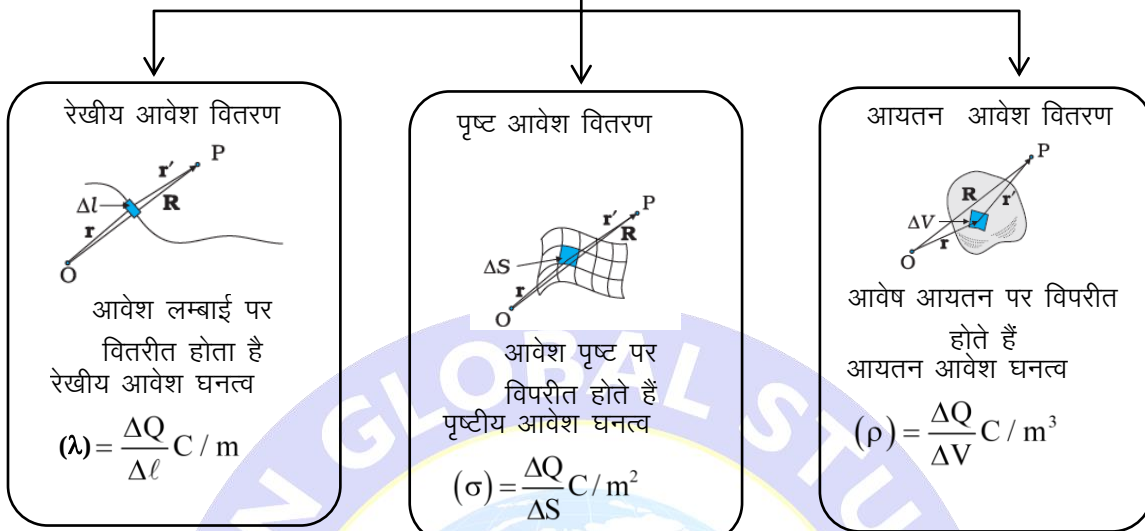
- स्थिति:2 भिन्न भिन्न परिमाण मान तथा विपरीत प्रकृति के आवेश के लिए, अविक्षेप बिन्दु आवेशों के जोड़ने वाली रेखा पर लघु परिमाण आवेश के लिए निकट व एक बाह्य बिन्दु होगा।

$$\text{यहां } \frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_2}}$$



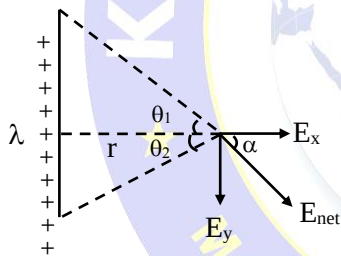
7. सतत आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र की तीव्रता (ELECTRIC FIELD INTENSITY DUE TO CONTINUOUS CHARGES)

सतत आवेश वितरण



7.1 एकसमान आवेशित तार के कारण विद्युत क्षेत्र (Electric field due to uniformly charged wire):

(A) परिमित लम्बाई के रेखीय आवेश के कारण :



$$E_x = E_{\perp} = \frac{K\lambda}{r} [\sin \theta_1 + \sin \theta_2]$$

$$E_y = E_{\parallel} = \frac{K\lambda}{r} [\cos \theta_2 - \cos \theta_1]$$

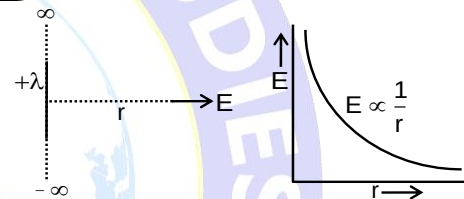
$$\text{किसी बिंदु पर कूल विद्युत क्षेत्र } E_{\text{net}} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

$$\tan \alpha = \frac{E_y}{E_x}$$

(B) अनन्त लम्बाई के रेखीय आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र

समीकरण में $\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$ रखने पर

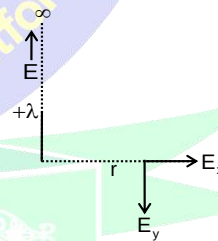
$$E_{\text{कुल}} = E_x = \frac{2K\lambda}{r}; E_y = 0$$



(C) आधे अनन्त तार के लिए

$\theta_1 = 90^\circ$ और $\theta_2 = 0^\circ$ ★

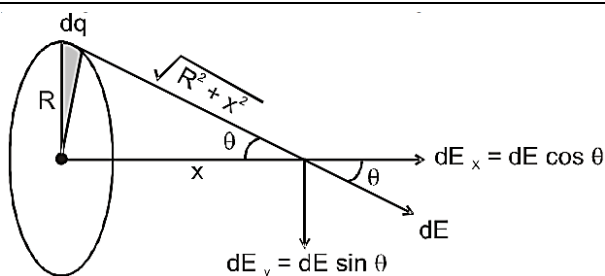
$$\text{अतः } E_x = \frac{K\lambda}{r}, E_y = \frac{K\lambda}{r} \Rightarrow E_{\text{net}} = \frac{\sqrt{2}K\lambda}{r}$$



SPOT LIGHT

यदि तार पर ऋणात्मक आवेश है तो विद्युत क्षेत्र कि दिशा विपरीत होगी।

7.2 आवेशित वृत्ताकार बलय के कारण अक्षीय बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र :



सभी तत्वों के कारण विद्युत क्षेत्र का y-घटक एक दूसरे को रद्द कर देगा। अतः बिंदु पर कुल विद्युत क्षेत्र की तीव्रता केवल प्रत्येक तत्व के x-घटक के कारण होगी।

$$E_{\text{net}} = \int dE_x = \int dE \cos \theta = \int_0^Q \frac{K(dq)}{R^2 + x^2} \times \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$

$$\text{या } E_p = \frac{kQx}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

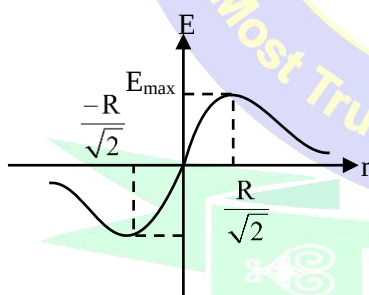
वलय के केन्द्र पर $x=0$ हो तो $E_0=0$

E अधिकतम होगा जब $\frac{dE}{dx} = 0$, इस पर है $x = \frac{R}{\sqrt{2}} \Rightarrow E_{\text{max}} =$

$$\frac{2KQ}{3\sqrt{3}R^2}$$

स्थिति (A) : यदि $x \gg R$, $E = \frac{KQ}{x^2}$, अतः वलय बिन्दु आवेश की तरह कार्य करेगा।

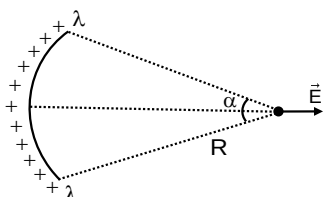
स्थिति (B) : यदि $x \ll R$, $E = \frac{KQx}{R^3}$, $E \propto x$



7.3 वलय के भाग के कारण (Segment of ring) :

(A) एक समान आवेशित वृत्त चाप (E केन्द्र पर) :

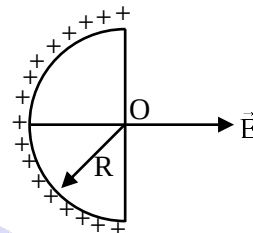
$$E_0 = \frac{2K\lambda}{R} \sin \frac{\alpha}{2}$$



(B) एकसमान आवेशित वृत्ताकार अर्द्धवलय : (केन्द्र पर E)

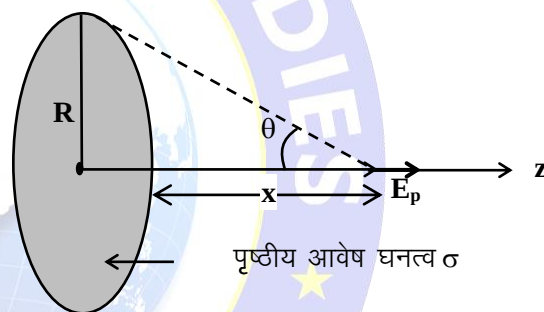
$$E_0 = \frac{2K\lambda}{R} = \frac{Q}{2\pi^2 \epsilon_0 R^2}$$

$$\therefore \lambda = \frac{Q}{\pi R}$$



एक समान आवेशित चकती के अक्षीय बिंदु पर विद्युत क्षेत्र की तीव्रता

(Electric Field Intensity Due To Uniformly Charged Disk At Axial Point)



$$E_p = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[1 - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right] = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} [1 - \cos \theta],$$

केंद्र से गुजरने वाले अक्ष के अनुदिश और चकती के तल के लम्बवत

स्थिति : (i) If $x \gg R$

$$E_p = \frac{\sigma \pi R^2}{4\pi \epsilon_0 x^2} = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 x^2}$$

यह चकती बिंदु आवेश की तरह व्यवहार करेगा

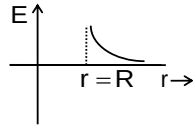
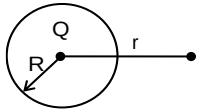
स्थिति : (ii) If $x \ll R$

$$E_p = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} [1 - 0] = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \text{ चकती अनन्त लम्बाई की पट्टिका की तरह व्यवहार करेगी}$$

7.4 एकसमान आवेशित चालक व अचालक गोलीय कोश के कारण विद्युत क्षेत्र (Electric field due to uniformly charged spherical shell (Conducting or nonconducting))

$$E = 0 \quad \text{for} \quad r < R$$

$$E = \frac{KQ}{r^2} \quad \text{for} \quad r \geq R$$

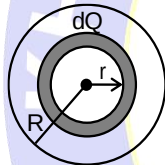


बाहर स्थित बिन्दुओं और सतह पर स्थित बिन्दु के लिये समान आवेशित गोलीय कोश को, केन्द्र पर स्थित बिन्दु आवेश के समान मान सकते हैं।

गोलीय कोश के बाहर विद्युत क्षेत्र, हमेशा त्रिज्यीय दिशा में होता है।

7.5 R त्रिज्या के एकसमान आवेशित ठोस अचालक गोले के कारण विद्युत क्षेत्र (Electric field due to uniformly charged solid non conducting sphere of radius R)

यदि कुल आवेश Q जो आयतन में समान रूप से वितरित है।



(A) बाह्य बिन्दु (Exterior Point ($r \geq R$)) :

dq आवेश का एक अल्पांश सकेन्द्रीय कोश मानते हैं। इस कोश के कारण किसी बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र ($r \geq R$) है

$$dE = \frac{Kdq}{r^2} \quad [\text{खोखले गोले के परिणाम से}]$$

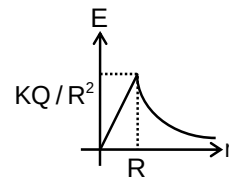
$$E_{\text{net}} = \int dE = \frac{KQ}{r^2}$$

(B) आन्तरिक बिन्दु (Interior Point)

For $r \leq R$

जब कोश की त्रिज्या, r से ज्यादा है तब कोश के कारण कोई विद्युत क्षेत्र नहीं होगा।

$$E'_{\text{कुल}} = \frac{KQ'}{r^2}$$



$$E'_{\text{कुल}} = \frac{KQ'}{r^2} \quad \text{यहाँ } Q' = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \times \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{Qr^3}{R^3}$$

$$E'_{\text{कुल}} = \frac{KQ'}{r^2} = \frac{KQr}{R^3} \quad \text{केन्द्र से दूर}$$



DETECTIVE MIND

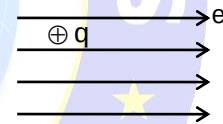
गोले के अंदर व बाहर विद्युत क्षेत्र हमेशा रेडियल दिशा में होगा।

(C) आवेश घनत्व के पदों में (In terms of charge density)

$$E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0}$$

8. एकसमान विद्युत क्षेत्र में आवेश की गति (MOTION OF CHARGE IN A UNIFORM ELECTRIC FIELD)

8.1 एक आवेश एकसमान विद्युत क्षेत्र में विराम अवस्था से मुक्त किया गया है। तब



➤ आवेश पर बल = qe

➤ आवेश का त्वरण = $\frac{qe}{m}$

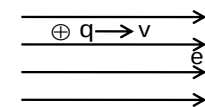
➤ 't' समय पश्चात् वेग 't' = $\frac{qe}{m}t$

➤ 't' समय पश्चात् विस्थापन = $\frac{1}{2} \frac{qe}{m} t^2$

➤ कण का पथ सरल रेखीय होगा

8.2 एक आवेश विद्युत क्षेत्र के समानांतर v वेग के साथ एक समान विद्युत क्षेत्र में प्रवेश करता है।

➤ कण का पथ सरल रेखीय होगा

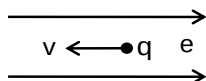


➤ कण का त्वरण = $\frac{qe}{m}$ होगा।

➤ 't' समय पश्चात् कण का वेग = $v + \frac{qe}{m}t$

स्थिरवैद्युतकी (ELECTROSTATICS)

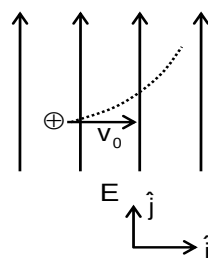
- 't' समय पश्चात् कण का विस्थापन $= vt + \frac{1}{2} \frac{qe}{m} t^2$
- यदि आवेश विद्युत क्षेत्र के अनुदिश प्रवेश करता है या आवेश विद्युत क्षेत्र के विपरित दिशा में प्रवेश करता है। तब कण की चाल पहले घटेगी फिर बढ़ेगी।



8.3 एक आवेश एकसमान विद्युत क्षेत्र में लम्बवत् प्रवेश करे तब (A charge enters in a uniform electric field perpendicularly)

- कण का पथ परवलय होगा
- कण का त्वरण $= \frac{qe}{m} \hat{j}$
- t समय पश्चात् कण का वेग

$$= v_0 \hat{i} + \frac{qe}{m} (t) \hat{j} = v_0 \hat{i} + \frac{qe}{m} t \hat{j}$$



- 't' समय पश्चात् कण का विस्थापन

$$= v_0 t \hat{i} + \frac{qe}{2m} t^2 \hat{j}$$

SOLVED EXAMPLES

Ex.1 किसी पिण्ड को $6.4C$ आवेश द्वारा विद्युतीकृत करने के लिए उसमें से कितने इलेक्ट्रॉन निकाले जाने चाहिए?

- (1) 2×10^{19} (2) 4×10^{19}
(3) 2×10^{20} (4) 6×10^{20}

Sol. $Q = ne$

$$\Rightarrow n = \frac{Q}{e} = \frac{6.4}{1.6 \times 10^{-19}} \Rightarrow n = 4 \times 10^{19}$$

Ex.2 किसी पिंड से प्रति सेकंड 10^{10} इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं, तो कितने समय के पश्चात् पिंड $-8 \mu C$ का आवेश प्राप्त कर लेगा?

- (1) 5×10^5 (2) 5×10^4
(3) 4×10^5 (4) 5×10^3

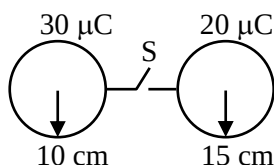
Sol. पिण्ड पर प्रति सेकंड आवेश दिखाई देता है $Q = \left(\frac{N}{t}\right)e$

$$Q = 10^{10} \times (-1.6 \times 10^{-19})$$

$$Q = -1.6 \times 10^{-9}$$

$$t = \frac{-8 \times 10^{-6}}{-1.6 \times 10^{-9}} = 5 \times 10^3 \text{ sec}$$

Ex.3 स्विच S बंद होने पर गोले के बीच स्थानांतरित आवेश का पता लगाएं।



- (1) Zero (2) $30 \mu C$
(3) $10 \mu C$ (4) $20 \mu C$

Sol. प्रणाली का कुल आवेश $Q = 30 \mu C + 20 \mu C = 50 \mu C$

तो चालन के बाद $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}$

$$Q_1 = \left(\frac{2}{2+3}\right) 50 \mu C = 20 \mu C$$

$$Q_2 = \left(\frac{3}{2+3}\right) 50 \mu C = 30 \mu C$$

$$\text{आवेश स्थानान्तरित} = 10 \mu C$$

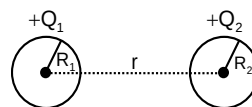
Ex.4 दो बिंदु आवेश $+q_1$ और $+q_2$ निर्वात में r मीटर की दूरी पर रखे गए हैं। q_2 के कारण q_1 पर बल F है। यदि अब एक तीसरा आवेश $+q_3$ आवेशों को जोड़ने वाली रेखा के मध्य बिंदु पर रखा जाता है, तो q_2 के कारण q_1 पर बल लगने वाला बल है—

- (1) बढ़ता है (2) घटता है
(3) यथावत रहता है (4) कह नहीं सकते

Sol. $F_{12} = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

आवेश q_1 पर आवेश q_2 के कारण लगने वाला बल आवेश q_3 की उपस्थिति से स्वतंत्र है

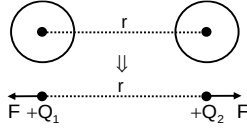
Ex.5 त्रिज्या R_1 और R_2 के दो कोशों के बीच लगने वाले बल का पता लगाएं, जिनमें क्रमशः Q_1 और Q_2 आवेश समान रूप से वितरित हैं और उनके केंद्र के बीच की दूरी r है।



भौतिक विज्ञान

Sol. गोले को केंद्र में रखे गए बिंदु आवेशों द्वारा प्रतिस्थापित किया जा सकता है ताकि उनके बीच बल लगे

$$F = \frac{KQ_1Q_2}{r^2}$$



Ex.6 दो कणों पर आवेश q_1 और q_2 है। जब वे कुछ दूरी पर रखे जाते हैं, तो उनके मध्य बल F लगता है। यदि उन कणों के मध्य दूरी आधी कर दी जाये एवं प्रत्येक कण पर आवेश दुगुना कर दिया जाये तो कणों के मध्य बल कितना होगा?

- (1) F (2) $4F$ (3) $8F$ (4) $16F$

Sol. $\therefore F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$ यदि $q'_1 = 2q_1$, $q'_2 = 2q_2$, $r' = \frac{r}{2}$

$$\text{तो } F' = \frac{kq'_1q'_2}{r'^2} = \frac{k(2q_1)(2q_2)}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}$$

$$F' = \frac{16kq_1q_2}{r^2} \Rightarrow F' = 16F$$

Ex.7 m द्रव्यमान एवं q_1 आवेश का एक कण, एक दृढ़ आवेश $-q_2$ के चारों ओर r त्रिज्या के वृत्तीय पथ में चक्कर लगा रहा है। इसकी चाल ज्ञात करो -

- (1) $\sqrt{\frac{q_1q_2}{2\pi\epsilon_0mr}}$ (2) $\sqrt{\frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0mr}}$
(3) $\sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0mr}{q_1q_2}}$ (4) $\sqrt{\frac{2\pi\epsilon_0mr}{q_1q_2}}$

Sol. $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} = m\omega^2 r = \frac{4\pi^2mr}{T^2}$

$$T^2 = \frac{(4\pi\epsilon_0)r^2(4\pi^2mr)}{q_1q_2} \text{ या } T = 4\pi r \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0mr}{q_1q_2}}$$

$$\text{और हम यह भी कह सकते हैं } \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0mr}}$$

Ex.8 $\frac{2}{3} \mu\text{C}$ व $\frac{10}{3} \text{mC}$ आवेशों के दो आवेशित लोलक साम्यावस्था में है, जब वे 1m दूरी पर है। यदि लोलक

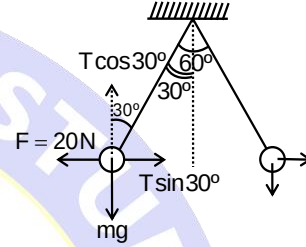
समरूप है तो प्रत्येक लोलक का द्रव्यमान क्या होगा यदि साम्यावस्था में डोरीयों के मध्य कोण 60° है।

- (1) $2\sqrt{3} \text{kg}$ (2) $4\sqrt{3} \text{kg}$
(3) $\frac{2}{\sqrt{3}} \text{kg}$ (4) $\frac{4}{\sqrt{3}} \text{kg}$

Sol. आवेशों के मध्य बल

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

$$F = 20 \text{ N}$$



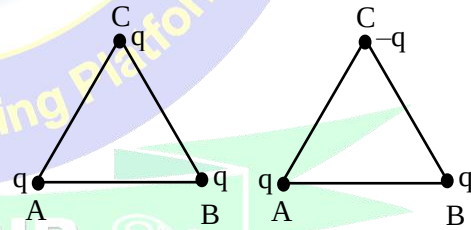
संतुलन के लिए

$$T \sin 30^\circ = 20 \quad T \cos 30^\circ = mg$$

$$\Rightarrow \frac{T \sin 30^\circ}{T \cos 30^\circ} = \frac{20}{mg}$$

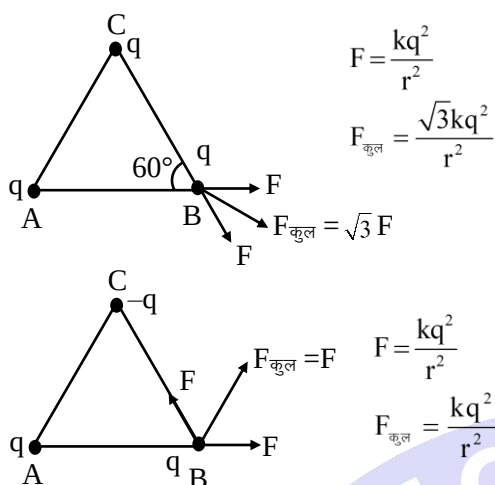
$$\tan 30^\circ = \frac{20}{mg} \Rightarrow m = 2\sqrt{3} \text{ Kg}$$

Ex.9 दी गई व्यवस्था में B पर रखे गए आवेश पर कुल बल ज्ञात कीजिए

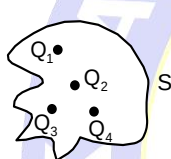


Sol.

स्थिरवैद्युतकी (ELECTROSTATIC)



Ex.10 दृढ़ बिन्दु आवेशों के एक निकाय S के कारण एक बिन्दु P पर स्थित $-3\mu\text{C}$ आवेश द्वारा अनुभव किया गया स्थिर वैद्युत बल $\vec{F} = (21\hat{i} + 9\hat{j}) \mu\text{N}$ है।

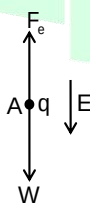


- (i) S के कारण बिन्दु P पर विद्युत क्षेत्र तीव्रता ज्ञात कीजिए।
 (ii) यदि बिन्दु P से $-3\mu\text{C}$ के आवेश को हटाकर $2\mu\text{C}$ का आवेश रखा जाए तो $2\mu\text{C}$ द्वारा अनुभव किया गया बल होगा।

Sol. (i) $\vec{F} = q\vec{E} \Rightarrow (21\hat{i} + 9\hat{j})\mu\text{N} = -3\mu\text{C}(\vec{E})$
 $\Rightarrow \vec{E} = -7\hat{i} - 3\hat{j}$

(ii) $\vec{F}_{2\mu\text{C}} = +2(\vec{E}) = 2(-7\hat{i} - 3\hat{j}) = (-14\hat{i} - 6\hat{j})\mu\text{N}$

Ex.11 विद्युत क्षेत्र तीव्रता की गणना कीजिए जो $-10\mu\text{C}$ आवेश व 10 mg द्रव्यमान वाले एक कण के भार को संतुलित करने के लिए ठीक पर्याप्त है। ($g = 10\text{ ms}^{-2}$)



- (1) 5 N/C
 (2) 10 N/C
 (3) 15 N/C
 (4) 20 N/C

Sol. $|\vec{F}_q| = |\vec{W}|$ अर्थात्, $|q|E = mg$

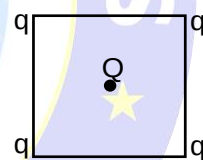
अर्थात्, $E = \frac{mg}{|q|} = 10\text{ N/C}$ नीचे की दिशा में

Ex.12 B ($\sqrt{2}\text{ m}, 0, 1\text{ m}$) बिन्दु पर स्थित $-20\mu\text{C}$ बिन्दु आवेश के कारण बिन्दु A ($0, 1\text{ m}, 2\text{ m}$) पर विद्युत क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात कीजिए।

- (1) $-22.5 \times 10^3 (-\sqrt{2}\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})\text{ N/C}$
 (2) $-45 \times 10^3 (-\sqrt{2}\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})\text{ N/C}$
 (3) $-22.5 \times 10^3 (\sqrt{2}\hat{i} - \hat{j} - \hat{k})\text{ N/C}$
 (4) $-45 \times 10^3 (\sqrt{2}\hat{i} - \hat{j} - \hat{k})\text{ N/C}$

Sol. $\vec{E} = \frac{KQ}{|\vec{r}|^3} \vec{r}$
 $\Rightarrow \vec{r} = \vec{r}_A - \vec{r}_B = (-\sqrt{2}\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})$
 $|\vec{r}| = \sqrt{(\sqrt{2})^2 + (1)^2 + (1)^2} = 2$
 $\vec{E} = \frac{9 \times 10^9 \times (-20 \times 10^{-6})}{8} (-\sqrt{2}\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})$
 $= -22.5 \times 10^3 (-\sqrt{2}\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})\text{ N/C}$

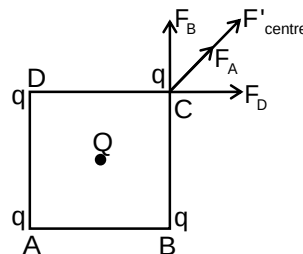
Ex.13 निकाय के साम्यावस्था में होने के लिए Q का मान क्या होगा ?



- (1) $-\left[\frac{q}{4} + \frac{q}{\sqrt{2}}\right]$ (2) $-\left[\frac{q}{2\sqrt{2}} + \frac{q}{\sqrt{2}}\right]$
 (3) $-\left[q + \frac{q}{\sqrt{2}}\right]$ (4) $-\left[\frac{q}{4} + \frac{q}{2\sqrt{2}}\right]$

Sol. जब आवेश Q केन्द्र पर है, $E = 0$

अतः किसी आवेश q को साम्यावस्था में होने के लिए Q साम्यावस्था में है।



$$F_D = F_B = \frac{Kq^2}{a^2}; F_A = \frac{Kq^2}{2a^2}, F_{\text{केन्द्र}} = \frac{2KQq}{a^2}$$

$$\text{साम्यावस्था के लिए, } = \frac{2KQq}{a^2}$$

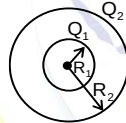
$$= -\left(\frac{Kq^2}{2a^2} + \sqrt{2}\frac{Kq^2}{a^2}\right)$$

$$\Rightarrow 2Q = -\left(\frac{q}{2} + \sqrt{2}q\right);$$

$$Q = -\left[\frac{q}{4} + \frac{q}{\sqrt{2}}\right]$$

Ex.14 त्रिज्या R_1 और R_2 ($R_2 > R_1$) के दो संकेन्द्रित समान रूप से आवेशित गोलाकार कोशों पर क्रमशः कुल आवेश Q_1 और Q_2 हैं। निम्नलिखित स्थितियों के लिए r के फलन के रूप में विद्युत क्षेत्र की अभिव्यक्ति प्राप्त करें।

- (i) $r < R_1$
- (ii) $R_1 \leq r < R_2$
- (iii) $r \geq R_2$



Sol. (i) $r < R_1$ के लिए, इसलिए बिंदु दोनों गोलों के अंदर स्थित है

$$E_{\text{कुल}} = E_{\text{आन्तरिक}} + E_{\text{बाह्य}} = 0 + 0$$

(ii) $R_1 \leq r < R_2$, के लिए, इसलिए बिंदु आन्तरिक गोले के बाहर लेकिन बाहरी गोले के अंदर स्थित है:

$$E_{\text{net}} = E_{\text{inner}} + E_{\text{outer}} = \frac{KQ_1}{r^2} \hat{r} + 0 = \frac{KQ_1}{r^2} \hat{r}$$

(iii) $r \geq R_2$ के लिए बिंदु आन्तरिक और बाहरी गोले के बाहर स्थित है।

$$E_{\text{Net}} = E_{\text{outer}} + E_{\text{outer}} = \frac{KQ_1}{r^2} \hat{r} + \frac{KQ_2}{r^2} \hat{r}$$

$$= \frac{K(Q_1 + Q_2)}{r^2} \hat{r}$$

Ex.15 $x = 2\sqrt{2}R$ दूरी पर एकसमान आवेशित वलय (Q , R) के अक्ष पर विद्युत क्षेत्र ज्ञात कीजिए

$$(1) \frac{2\sqrt{2}kQ}{R^2}$$

$$(2) \frac{2\sqrt{2}kQ}{9R^2}$$

$$(3) \frac{3\sqrt{3}kQ}{8R^2}$$

$$(4) \frac{2\sqrt{2}kQ}{27R^2}$$

Sol.

$$\therefore E = \frac{kQx}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$x = 2\sqrt{2}R$$

$$E = \frac{kQ2\sqrt{2}R}{(R^2 + (2\sqrt{2}R)^2)^{3/2}} = \frac{kQ2\sqrt{2}R}{(9R^2)^{3/2}}$$

$$E = \frac{kQ2\sqrt{2}R}{27R^3} = \frac{2\sqrt{2}kQ}{27R^2}$$

Ex.16

एक इलेक्ट्रॉन को समय t_1 में एकसमान विद्युत क्षेत्र में कुछ दूरी तक गिरने दिया जाता है। अब विद्युत क्षेत्र की दिशा उलट दी जाती है और प्रोटॉन को समय t_2 में समान दूरी तक गिरने दिया जाता है। तो t_1 और t_2 के बीच संबंध

- (1) $t_1 = t_2$
- (2) $t_1 > t_2$
- (3) $t_1 < t_2$
- (4) कह नहीं सकते

Sol.

$$\therefore s = \frac{1}{2}at^2$$

$$t \propto \frac{1}{\sqrt{a}}$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \sqrt{\frac{a_p}{a_e}} = \sqrt{\frac{m_e}{m_p}} = \frac{1}{\sqrt{1837}} \Rightarrow t_1 < t_2$$

Ex.17

1g द्रव्यमान और $3\mu\text{C}$ आवेश का एक कण 1000 V/m के एकसमान विद्युत क्षेत्र के लंबवत दिशा में 5 m/s वेग से प्रक्षेपित किया जाता है। ज्ञात कीजिए

- (a) 4 सेकंड के बाद इसकी चाल
- (b) 4 सेकंड के बाद विचलन।

Sol.

$$(a) v_x = u = 5 \text{ m/s}; v_y = \left(\frac{qE}{m}\right)t$$

$$v_y = \left(\frac{3 \times 10^{-6} \times 10^3}{10^{-3}}\right) \times 4 \Rightarrow v_y = 12 \text{ m/s}$$

4 सेकंड के बाद चाल

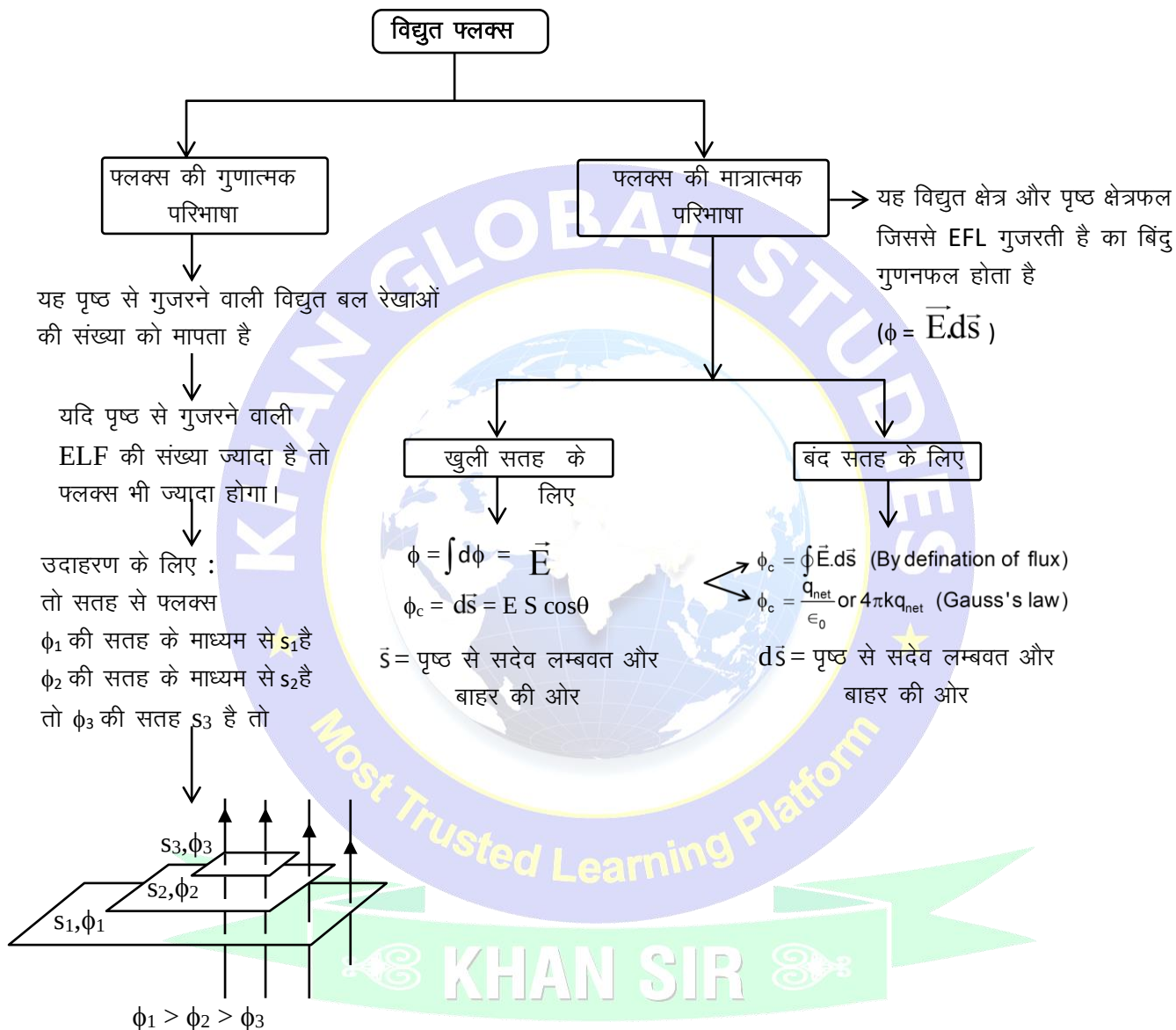
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{5^2 + 12^2} = 13 \text{ m/s}$$

(b) विचलन $\rightarrow y$

$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{qE}{m}\right)t^2 = \frac{1}{2} \times 3 \times 4^2 \Rightarrow y = 24 \text{ m}$$

9. विद्युत फ्लक्स (ELECTRIC FLUX (ϕ)) :

यह कुछ सतहों से गुजरने वाली विद्युत बल रेखा की संख्या का माप है



फ्लक्स के बारे में महत्वपूर्ण बिंदु (IMPORTANT FACTS ABOUT FLUX)

- यह एक अदिश राशि होती है
- मात्रक (V-m) and $N \cdot m^2/C$, विमा : $[ML^3T^{-3}A^{-1}]$
- बंद सतह में ϕ का मान आवेशों के वितरण व उनके मध्य दूरी पर निर्भर नहीं करता है।
- ϕ का मान निम्न परिस्थितियों में शून्य होता है :
 - यदि बंद सतह पृष्ठ में एक द्विध्रुव या बहुत सारे द्विध्रुव परिबद्ध हो।

- यदि बंद सतह पृष्ठ में धनावेश व ऋणावेश का परिमाण बराबर हो।
- यदि बंद पृष्ठ में कोई आवेश परिबद्ध न हो।
- निवेशी फ्लक्स (-ve) = निर्गत फ्लक्स (+ve)



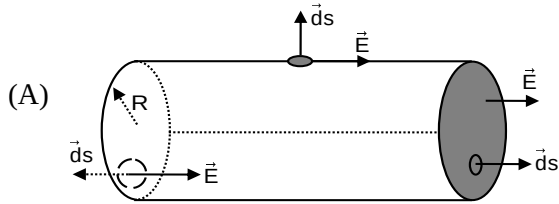
SPOT LIGHT

क्षेत्रफल सदिश : यह एक सदिश है जिसका परिमाण सतह के क्षेत्रफल के बराबर है और दिशा सतह के लम्बवत् है।

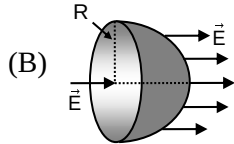
भौतिक विज्ञान

9.1 पृष्ठ से सम्बद्ध फ्लक्स के कुछ महत्वपूर्ण अनुप्रयोग जब विद्युत क्षेत्र एकसमान हो-

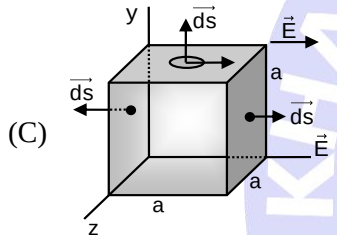
(Some Important application of flux linked with surface when electric field is uniform)



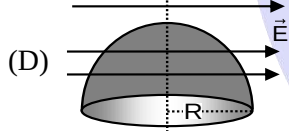
$$\phi_{in} = -\pi R^2 E \text{ तथा } \phi_{out} = \pi R^2 E \text{ अतः, } \phi_{total} = 0$$



$$\phi_{in} = \phi_{circular} = -\pi R^2 E \text{ तथा } \phi_{out} = \phi_{curved} = \pi R^2 E \text{ अतः, } \phi_{total} = 0$$



$$\phi_{in} = -a^2 E \text{ तथा } \phi_{out} = a^2 E \text{ अतः, } \phi_{total} = 0$$



$$\phi_{in} = -\frac{1}{2} \pi R^2 E \text{ तथा } \phi_{out} = \frac{1}{2} \pi R^2 E \text{ अतः, } \phi_{total} = 0$$



DETECTIVE MIND

एक समान विद्युत क्षेत्र में किसी भी बंद सतह से सम्बद्ध विद्युत फ्लक्स हमेशा शून्य होता है।

10. गॉउस प्रमेय (GAUSS THEOREM)

किसी बंद सतह से जुड़ा कुल फ्लक्स, बंद सतह से घिरे

आवेश का $\frac{1}{\epsilon_0}$ गुना होता है

(गॉसियन सतह) i.e. $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$, $\phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$

q = कुल आवेश संलग्न, ϵ_0 = विद्युत स्थिरांक

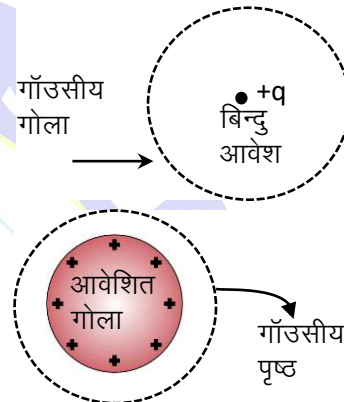


DETECTIVE MIND

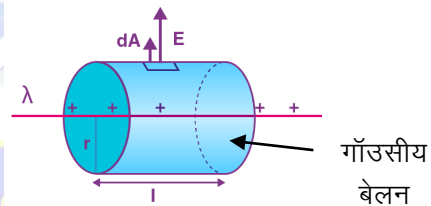
गॉउस का नियम सममित आवेश वितरण कि गणना करने के लिए उपयुक्त है और व्युत्क्रम वर्ग नियम का पालन करने वाले सभी सदिश क्षेत्रों के लिए लागू होता है। जबकि यह सभी प्रकार के सममित या असममित आवेशों के लिए भी लागू होता है।

10.1 गॉउसीयन पृष्ठ (Gaussian surface)

- काल्पनिक पृष्ठ है।
- बिन्दु आवेश, चालक और अचालक गोले के लिए गोलीय पृष्ठ होता है।



- आवेशित अनंत पट्टिका, आवेशित चालक पृष्ठ, अनन्त रेखीय आवेश, बेलनाकार आवेशित चालक इत्यादि के लिए बेलनाकार पृष्ठ होता है।



DETECTIVE MIND

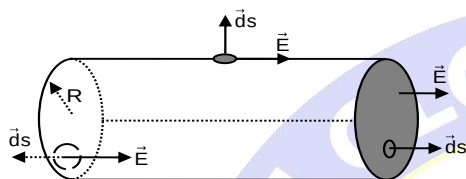
गॉसियन सतहों को इस तरह से चुना जाता है कि या तो सतह के सभी बिंदुओं पर विद्युत क्षेत्र का परिमाण समान हो या उस सतह से जुड़ा फ्लक्स शून्य हो।

हम एक गॉसियन सतह का चयन करते हैं ताकि $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ का निर्धारण सरलतम तरीके से किया जा सके (समरूपता द्वारा)

Note: (i) गॉउसीय पृष्ठ से गुजरने वाला फ्लक्स इसकी आकृति पर निर्भर नहीं करता है।

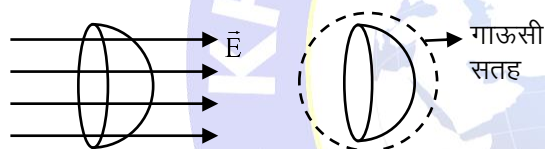
(ii) गॉउसीय पृष्ठ से गुजरने वाला फ्लक्स केवल पृष्ठ के अन्दर कुल आवेश पर निर्भर करता है।

- (iii) गॉउसीय पृष्ठ से गुजरने वाला फ्लक्स गॉउसीय पृष्ठ के अंदर आवेश की स्थिति पर निर्भर नहीं करता है।
- (iv) गॉउसीय पृष्ठ पर विद्युत क्षेत्र की तीव्रता गॉउसीय पृष्ठ के अंदर तथा बाहर उपस्थित सभी आवेशों के कारण होती है।
- (v) किसी बन्द पृष्ठ में आने वाले (निवेशी) फ्लक्स को ऋणात्मक और बाहर जाने वाले (निर्गत) फ्लक्स को धनात्मक माना जाता है। क्योंकि बाहर की दिशा धनात्मक लिया जाता है।



$$\phi_{\text{incoming}} = -\pi R^2 E \text{ और } \phi_{\text{outgoing}} = \pi R^2 E$$

- (vi) किसी गॉउसीय पृष्ठ में $\phi = 0$ का अर्थ यह नहीं है कि प्रत्येक बिन्दु पर $E = 0$ है लेकिन प्रत्येक बिन्दु पर $E = 0$ का अर्थ $\phi = 0$ होता है।



$$\phi_{\text{hemisphere}} = 0 \text{ But } \vec{E} \neq 0 \text{ विद्युत क्षेत्र के बिना}$$

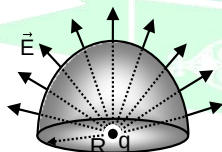
$E = 0$ उसका प्रतिनिधित्व करता है

ϕ गाऊसी सतह के प्रत्येक बिंदु के माध्यम से $= 0$

10.2 सममिता के उपयोग से गणना (Calculation of flux using symmetry)

- (1) गोले के केन्द्र पर स्थित आवेश (Charge placed at centre of sphere)

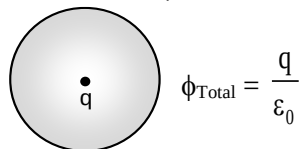
- (a) अर्द्धगोले से सम्बद्ध फ्लक्स



$$E = \frac{kq}{R^2}, \phi = 2\pi R^2 \times \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{q}{2\epsilon_0}$$

नोट : यहां विद्युत क्षेत्र त्रिज्यीय है

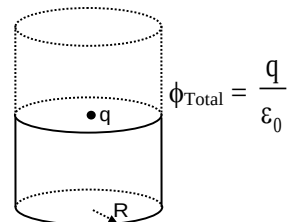
- (b) सम्पूर्ण गोले से सम्बद्ध फ्लक्स



$$\phi_{\text{Total}} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

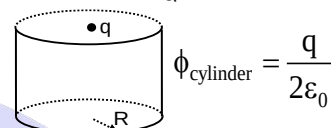
- (2) बेलन के केन्द्र पर स्थित आवेश

- (a) सम्पूर्ण बेलन सम्बद्ध फ्लक्स



$$\phi_{\text{Total}} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

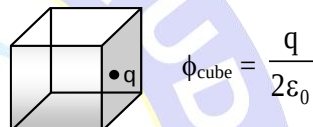
- (b) आधे बेलन से सम्बद्ध फ्लक्स



$$\phi_{\text{cylinder}} = \frac{q}{2\epsilon_0}$$

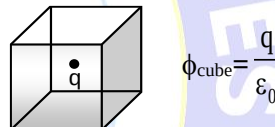
- (3) एक घन में स्थित आवेश द्वारा (Charge placed in a cube)

- (i) एक घन के किसी एक फलक पर उपस्थित आवेश द्वारा



$$\phi_{\text{cube}} = \frac{q}{2\epsilon_0}$$

- (ii) केन्द्र पर स्थित आवेश द्वारा



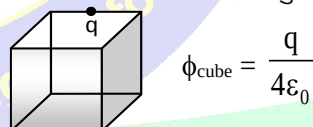
$$\phi_{\text{cube}} = \frac{q}{6\epsilon_0}$$

- (iii) किसी एक कोने पर स्थित आवेश द्वारा



$$\phi_{\text{cube}} = \frac{q}{8\epsilon_0}$$

- (iv) आवेश घन की किसी एक भुजा पर स्थित हो



$$\phi_{\text{cube}} = \frac{q}{4\epsilon_0}$$

11. विद्युत क्षेत्र की गणना (गॉउस के नियम के अनुप्रयोग)

(CALCULATION OF ELECTRIC FIELD (APPLICATION OF GAUSS LAW)):

गॉउस प्रमेय से हम कह सकते हैं कि

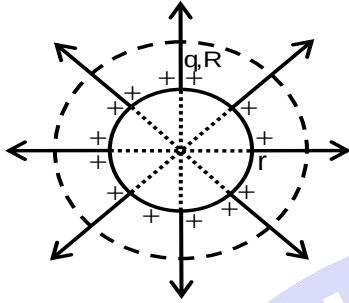
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \phi_{\text{net}} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0}$$

11.1 Electric field due to a uniformly charged spherical shell:

- (A) एकसमान रूप से आवेशित गोलीय कोश के कारण विद्युत क्षेत्र E :

- (A) गोले के बाहर विद्युत क्षेत्र

हम जानते हैं कि कोश के कारण विद्युत क्षेत्र, बाहर की ओर त्रिज्यीय होगा। इसलिये हम एक गोलीय गॉउसीयन सतह का चयन करते हैं। गॉउस प्रमेय का इस गॉउसीयन सतह के लिये उपयोग करने पर



$$\Rightarrow \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \phi_{\text{net}} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow \int E ds \cos 0^\circ = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E (4\pi r^2) = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E_{\text{out}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{kq}{r^2} \Rightarrow E_{\text{out}} \propto \frac{1}{r^2}$$

(B) गोलीय कोश के अन्दर विद्युत क्षेत्र (At Interior Point):

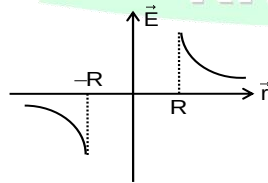
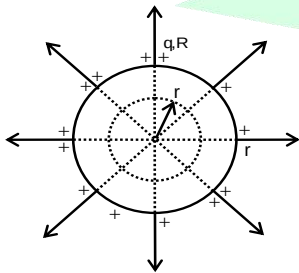
कोश के अन्दर गोलीय गॉउसीयन सतह का चयन करते हैं और इस सतह के लिये प्रमेय का उपयोग करने पर

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \phi_{\text{net}} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = 0$$

अतः $\vec{E}$ और $d\vec{s}$ के बीच कोण 0° होगा

$$\vec{E} \cdot d\vec{s} = E(4\pi r^2) = 0$$

$$E_{\text{in}} = 0$$

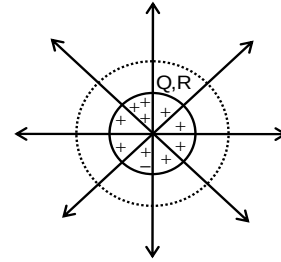


11.2 ठोस गोले के कारण विद्युत क्षेत्र (जो समरूप वितरित आवेश Q व त्रिज्या R रखता है):

(A) At Exterior Point

(A) गोले के बाहर विद्युत क्षेत्र (At Exterior Point)

विद्युत क्षेत्र की दिशा त्रिज्यीय बाहर की ओर होती है। अतः हम एक गोलीय गॉउसीयन सतह का चयन करते हैं, और गॉउस प्रमेय का उपयोग करने पर



$$\int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \phi_{\text{net}} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

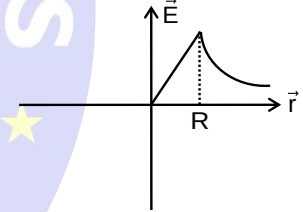
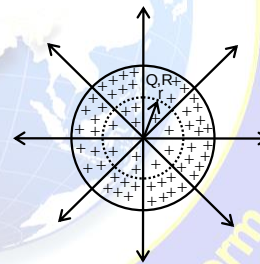
अतः इसके बीच का कोण 0° होगा

$$\vec{E} \cdot d\vec{s} = E(4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E_{\text{out}} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{kQ}{r^2} \Rightarrow E_{\text{out}} \propto \frac{1}{r^2}$$

(B) ठोस गोले के अन्दर विद्युत क्षेत्र (At interior point):

ठोस गोले के अन्दर गॉउसीयन सतह का चयन करते हैं। और इस सतह के लिये गॉउस प्रमेय का उपयोग करने पर



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \phi_{\text{net}} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = \frac{\frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \times \frac{4}{3}\pi r^3}{\epsilon_0} = \frac{Qr^3}{\epsilon_0 R^3}$$

$$E = \frac{Qr}{4\pi\epsilon_0 R^3} \Rightarrow E_{\text{in}} = \frac{kQ}{R^3} r \Rightarrow E \propto r$$

11.3 अनन्त लम्बे आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र (रेखीय आवेश घनत्व λ से समरूप वितरित आवेश):

अनन्त तार के द्वारा विद्युत क्षेत्र त्रिज्यीय है अतः चित्रानुसार हम एक बेलनाकार गॉउसीयन पृष्ठ का चयन करते हैं।

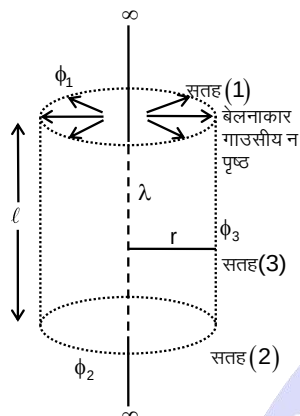
$$\phi_{\text{net}} = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3$$

$$\therefore \phi_1 = \phi_2 = 0 (\theta = 90^\circ) = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = \frac{\lambda \ell}{\epsilon_0}$$

$$\phi_3 = \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int E ds \cos \theta = E \int ds = E(2\pi r \ell)$$

$$\Rightarrow E(2\pi r\ell) = \frac{\lambda\ell}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} = \frac{2k\lambda}{r} \propto \frac{1}{r} \Rightarrow E \propto \frac{1}{r}$$

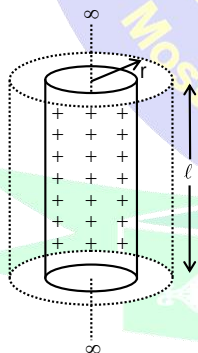


11.4 अनन्त लम्बी आवेशित नलिका के कारण विद्युत क्षेत्र (R त्रिज्या तथा समरूप पृष्ठीय आवेश घनत्व σ वाली) :

(A) नलिका के बाहर E : एक बेलनाकार गॉउसीयन पृष्ठ का चयन करते हैं तथा गॉउस प्रमेय का उपयोग करने पर

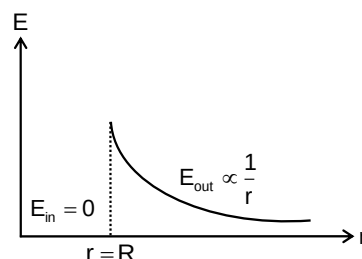
$$\phi_{\text{net}} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma 2\pi R \ell}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E_{\text{out}} \times 2\pi r \ell = \frac{\sigma 2\pi R \ell}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sigma R}{r \epsilon_0} \Rightarrow E \propto \frac{1}{r}$$



(B) नलिका के अन्दर E : नलिका के अन्दर बेलनाकार गॉउसीयन पृष्ठ का चयन करते हैं तथा गॉउस प्रमेय का उपयोग करने पर

$$\phi_{\text{net}} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = 0 \text{ So } E_{\text{in}} = 0$$

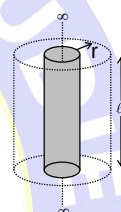


11.5 R त्रिज्या के अनन्त लम्बाई के ठोस बेलन के कारण विद्युत क्षेत्र (आयतन में आवेश समरूप वितरित हैं (ρ आवेश घनत्व)):

(A) बाहर स्थित बिन्दु के लिये E (at outside point):-

एक बेलनाकार गॉउसीयन सतह का चयन करते हैं गॉउस प्रमेय का उपयोग करने पर

$$E \times 2\pi r \ell = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = \frac{\rho \times \pi R^2 \ell}{\epsilon_0} \Rightarrow E_{\text{out}} = \frac{\rho R^2}{2r \epsilon_0}$$

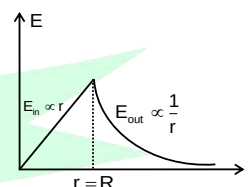
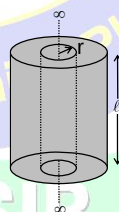


(B) अन्दर स्थित बिन्दु पर E (E at inside point) :

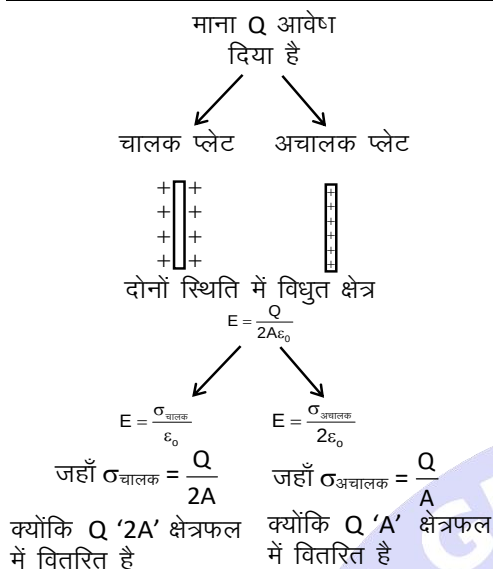
ठोस बेलन के अन्दर बेलनाकार गॉउसीयन पृष्ठ का चयन करते हैं और

गॉउस प्रमेय का उपयोग करने पर

$$E \times 2\pi r \ell = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = \frac{\rho \times \pi r^2 \ell}{\epsilon_0} \Rightarrow E_{\text{in}} = \frac{\rho r}{2\epsilon_0}$$



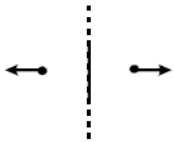
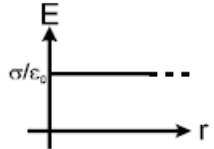
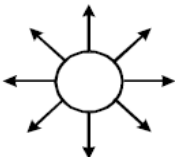
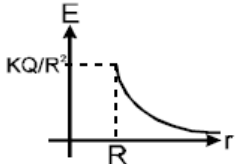
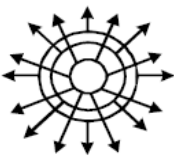
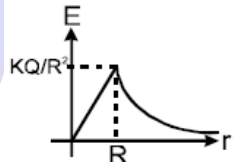
11.6 समरूप आवेशित अनन्त आकार की चालक एवं अचालक पट्टिका के कारण विद्युत क्षेत्र (Electric field due to conducting and non conducting uniformly charge infinite sheets) :



आवेश वितरण के कारण विद्युत क्षेत्र की तीव्रता की सूची सूत्र

Name/Type(नाम / प्रकार)	Formula (सूत्र)	Note	Graph (ग्राफ)
बिन्दु आवेश (Point charge) 	$\vec{E} = \frac{kQ}{ \vec{r} ^2} \cdot \hat{r}$	- q एक स्रोत आवेश है। $\vec{r}$ = स्रोत आवेश से परिक्षण की ओर स्थिति सदिश +q आवेश → बाहर की ओर -q आवेश → अन्दर की ओर	
अनन्त लम्बाई का रेखीय आवेश 	$\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \hat{r} = \frac{2K\lambda \hat{r}}{r}$	- q एक रेखीय आवेश घनत्व - r रेखीय आवेश से लम्बवत् दूरी है - परिक्षण आवेश से त्रिज्यीय इकाई सदिश दर्शाया गया है।	
अनन्त लम्बाई की कुचालक पतली शीट (पट्टिका) 	$\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{n}$	σ पृष्ठीय आवेश घनत्व $\hat{n}$ = इकाई लम्बवत् सदिश है। - विद्युत क्षेत्र अक्ष के अनुदिश है।	
एक समान आवेशित वलय 	$E = \frac{KQx}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$ $E_{\text{centre}} = 0$	- Q वलय का कुल आवेश है। - x = वलय के केन्द्र से अक्ष पर बिन्दु की दूरी - विद्युत क्षेत्र अक्ष के अनुदिश है।	

स्थिरवैद्युतकी (ELECTROSTATICS)

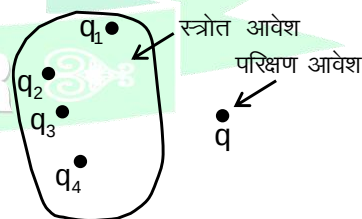
अनन्त लम्बाई की आवेशित चालक पट्टिका		$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{n}$	σ पृष्ठीय आवेश घनत्व $\hat{n}$ इकाई सदिश है जो सतह के लम्बवत् है।	
एकसमान आवेशित खोखली चालक/कुचालक/ठोस चालक गोला		(i) $r \geq R$ के लिए $\vec{E} = \frac{kQ}{ \vec{r} ^2} \hat{r}$ (ii) $r < R$ के लिए $E = 0$	R गोले की त्रिज्या है। $\vec{r}$ गोले के केन्द्र से स्थिति सदिश है। - गोला बिन्दु आवेश की तरह व्यवहार करेगा। जब बिन्दु गोले के बाहर हो। $\vec{E}$ सदैव त्रिज्जीय दिशा में है। Q कुल आवेश ($= \sigma 4\pi R^2$). (σ = पृष्ठीय आवेश घनत्व)	
एकसमान आवेशित ठोस कुचालक गोला		(i) $r \geq R$ के लिए $\vec{E} = \frac{kQ}{ \vec{r} ^2} \hat{r}$ (ii) $r \leq R$ के लिए $\vec{E} = \frac{kQ}{R^3} \vec{r}$	$\vec{r}$ गोले के केन्द्र से स्थिति सदिश है। - गोला बिन्दु आवेश की तरह व्यवहार करेगा। जब बिन्दु गोले के बाहर हो। $\vec{E}$ सदैव त्रिज्जीय दिशा में है। Q कुल आवेश ($\rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$). ($\rho$ = आयतन आवेश घनत्व) - गोले के अन्दर $E \propto r$. - गोले के बाहर $E \propto 1/r^2$.	

12. स्थिरवैद्युतिकी स्थितिज ऊर्जा (ELECTROSTATIC POTENTIAL ENERGY) :

12.1 अनेक आवेशों के कारण किसी बिन्दु आवेश की विद्युत स्थितिज ऊर्जा :

विद्युत क्षेत्र में किसी बिन्दु पर एक बिन्दु आवेश की स्थितिज ऊर्जा, आवेश को त्वरित किये बिना (KE को नियत रखते हुए या $K_i = K_f$) निर्देश बिन्दु (अनन्त पर) से उस बिन्दु तक ले जाने में किये गये कार्य के बराबर होता है। इसका गणितीय सूत्र है।

$$U = W_{\text{ext.}(\infty \rightarrow P)} = -W_{\text{elec.}(\infty \rightarrow P)}$$



यहां q वह आवेश है जिसकी वैद्युत स्थितिज ऊर्जा ज्ञात करनी है तथा V आवेश q की स्थिति पर स्रोत आवेशों के कारण विद्युत विभव है।

Note : q व V को चिन्ह सहित लिखें।

(Properties : (गुणधर्म) :

- (i) वैद्युत स्थितिज ऊर्जा एक अदिश राशि है। किन्तु यह धनात्मक, ऋणात्मक या शून्य हो सकती है।
- (ii) इसका मात्रक कार्य या ऊर्जा के मात्रक के समान होता है अर्थात् जूल (S.I. पद्धति) होता है। कई बार ऊर्जा इलेक्ट्रॉन-वोल्ट में दी जाती है।
 $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
- (iii) वैद्युत स्थितिज ऊर्जा निर्देश बिन्दु पर निर्भर करती है। (सामान्यतः $r = \infty$ पर स्थितिज ऊर्जा शून्य मानी जाती है।)

13. आवेशों के निकाय की स्थिर वैद्युत स्थितिज ऊर्जा (ELECTROSTATIC POTENTIAL ENERGY OF A SYSTEM OF CHARGES)

(इसका उपयोग तब किया जायेगा जब एक से अधिक आवेश गति करते हैं)

यह आवेशों के एक निकाय को अनन्त पृथक्करण से किसी एक विशेष विन्यास में लाने के लिए आन्तरिक विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध बाह्य कारक के द्वारा किये गये कार्य के बराबर होता है।

13.1 आवेशों के निकाय के प्रकार (Types of system of charge)

- (i) बिन्दु आवेश निकाय
 (ii) सतत् आवेशित निकाय

13.2 बिंदु आवेशों की प्रणाली के लिए व्युत्पत्ति:

- (a) सभी आवेशों को अनन्त पर रखें। अब आवेशों को एक-एक करके उनकी संगत स्थिति में लाएँ और आवश्यक कार्य ज्ञात करें। प्रणाली की PE सभी कार्यों का बीजगणितीय योग है।
 माना W_1 = प्रथम आवेश लाने में किया गया कार्य
 W_2 = पहले आवेश के कारण दूसरे आवेश को बल के विरुद्ध लाने में किया गया कार्य।
 W_3 = पहले और दूसरे आवेश के कारण लगे बल के विरुद्ध तीसरा आवेश लाने में किया गया कार्य।
 $PE = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$
 (इसमें $\frac{n(n-1)}{2} = {}^nC_2$ पद होंगे)
- (b) गणना की विधि (समस्याओं में प्रयुक्त होने के लिए)
 U = आवेशों की परस्पर क्रिया ऊर्जाओं का योग।
 $= (U_{12} + U_{13} + \dots + U_{1n}) + (U_{23} + U_{24} + \dots + U_{2n}) + (U_{34} + U_{35} + \dots + U_{3n}) \dots$
- (c) सममित बिंदु आवेश प्रणालियों के लिए उपयोगी गणना की विधि। शेष शूलकों के कारण प्रत्येक शूलक का PE ज्ञात कीजिए।
 यदि U_1 = अन्य सभी आवेशों के कारण प्रथम आवेश का PE = $(U_{12} + U_{13} + \dots + U_{1n})$

U_2 = अन्य सभी आवेशों के कारण दूसरे आवेश का
 $PE = (U_{21} + U_{23} + \dots + U_{2n})$

$$\text{तब } U = \text{प्रणाली का PE} = \frac{U_1 + U_2 + U_n}{2}$$

13.3 सतत् आवेशित निकाय के लिये विद्युत स्थितिज ऊर्जा की व्युत्पत्ति :

इस ऊर्जा को स्वयं की ऊर्जा (self energy) भी कहते हैं।

- (i) समान आवेशित गोलीय कोश के लिए स्व ऊर्जा :

$$U_{\text{self}} = \frac{KQ^2}{2R}$$

- (ii) समरूप आवेशित ठोस गोले के कारण स्व ऊर्जा :

$$\text{ठोस गोले के लिए } U_{\text{self}} = \frac{3}{5} \frac{KQ^2}{R}$$

ऊर्जा घनत्व :

परिभाषा : किसी विद्युत क्षेत्र में एकांक आयतन में निहित ऊर्जा को ऊर्जा घनत्व कहते हैं। इसका गणितीय सूत्र निम्न है।

$$\text{ऊर्जा घनत्व} = \frac{1}{2} \epsilon_m E^2$$

जहाँ E = उस बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र की तीव्रता

$\epsilon_m = \epsilon_0 \epsilon_r$ माध्यम की विद्युतशीलता

14. विद्युत विभव (ELECTRIC POTENTIAL) :

स्थिर विद्युत क्षेत्र में किसी बिन्दु पर विद्युत विभव (आवेश स्रोतों के कारण), एकांक धन आवेश को निर्देश बिन्दु (साधारणतया अनन्त पर माना जाता है) से उस बिन्दु तक, बिना त्वरित किए लाने में बाह्य बलों द्वारा किया गया कार्य, उस बिन्दु का विद्युत विभव कहलाता है।

या

किसी बिन्दु पर विद्युत विभव निर्देश बिन्दु (अनन्त) से उस बिन्दु तक इकाई धनावेश को ले जाने में विद्युत क्षेत्र द्वारा किये गये कार्य के ऋणात्मक के बराबर भी होता है।

गणितीय निरूपण (Mathematical representation) :

यदि किसी बिन्दु आवेश q को अनन्त से P बिन्दु तक ले जाने में आवश्यक कार्य $W_{\text{ext}(\infty \rightarrow P)}$ हो तो बिन्दु P पर विद्युत विभव है।

$$V_P = \frac{W_{\text{ext}(\infty \rightarrow P)}}{q} \Big|_{\Delta K=0} = \frac{-W_{\text{elec}(\infty \rightarrow P)}}{q}$$

$$= \frac{\Delta U}{q} = \frac{U_P - U_\infty}{q} = \frac{U_P}{q}$$

$W_{\text{ext}(\infty \rightarrow P)}$ को स्रोत आवेशों द्वारा उत्पन्न विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध बाह्य कारक द्वारा किया गया कार्य भी कहा जा सकता है।

14.1 गुणधर्म : (Properties) :

- विभव एक अदिश राशि है, इसका मान धनात्मक, ऋणात्मक या शून्य हो सकता है।
- विभव का S.I. मात्रक वोल्ट $= \frac{\text{जूल}}{\text{कूलॉम}}$ है तथा इसका विमीय सूत्र $[M^1 L^2 T^{-3} A^{-1}]$ है।
- एक धनावेश के कारण विभव सदैव धनात्मक तथा ऋणावेश के कारण सदैव ऋणात्मक (अनन्त पर छोड़कर) होता है। ($v_\infty = 0$ लेते हुये)।
- विद्युत क्षेत्र की दिशा में विभव घटता है।
- $V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$
- निर्देश बिन्दु पर विभव शून्य हो भी सकता है और नहीं भी हो सकता।

14.2 विभव के उपयोग :

यदि किसी बिन्दु पर हमें विभव ज्ञात हो (अधिक मान या सूत्र के रूप में) तो हम निम्न सूत्र द्वारा q आवेश को 'P' बिन्दु से अनन्त तक ले जाने में विद्युत बल द्वारा किया गया कार्य ज्ञात कर सकते हैं। $(W_{\text{ele}})_{P \rightarrow \infty} = qV_P$

14.3 बिन्दु आवेश के कारण विभव (Potential due to a point charge) :



$$V = \frac{W_{\text{ext}(\infty \rightarrow P)}}{q_0} = \frac{-\int_{\infty}^r (q_0 \vec{E}) \cdot d\vec{r}}{q_0} = -\int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$\Rightarrow V = -\int_{\infty}^r \frac{KQ}{r^2} (-dr) \cos 180^\circ = \frac{KQ}{r}$$

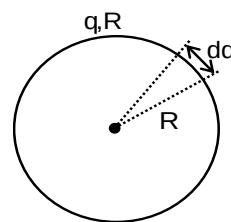
14.4 वलय के कारण विभव (Potential due to a ring) :

(A) समान और असमान आवेशित वलय के केन्द्र पर विभव :

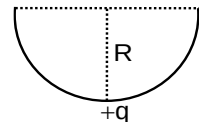
छोटे अवयव dq के कारण विभव

$$dV = \frac{Kdq}{R} \Rightarrow \text{कुल विभव } V = \int \frac{Kdq}{R}$$

$$V = \frac{K}{R} \int dq = \frac{Kq}{R}$$



(B) आधी वलय के केन्द्र पर विभव



$$V = \frac{Kq}{R}$$

(C) वलय के अक्ष पर विभव:

$$V = \frac{Kq}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$

14.5 समरूप आवेशित गोलीय कोश के कारण विभव :

जैसा कि हम जानते हैं $V = - \int_{r \rightarrow \infty}^{r=r} \vec{E} \cdot d\vec{r}$

(A) बाहर स्थित बिन्दु के लिये ($r \geq R$) (At outside point ($r \geq R$)) :

$$V_{\text{out}} = - \int_{r \rightarrow \infty}^{r=r} \left(\frac{KQ}{r^2} \right) dr \Rightarrow V_{\text{out}} = \frac{KQ}{r}$$

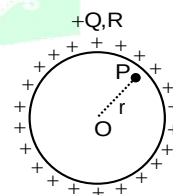
बाहर स्थित बिन्दु के लिये खोखला गोला, एक बिन्दु आवेश की तरह कार्य करता है।

(B) गोले के अन्दर स्थित बिन्दु पर विभव ($r < R$) (Potential at inside point ($r < R$)) :

माना हमें गोले के अन्दर स्थित बिन्दु P पर विभव ज्ञात करना है।

P और O के मध्य विभवान्तर :

$$V_P - V_O = - \int_O^P \vec{E}_{\text{in}} \cdot d\vec{r} \quad \text{जहाँ } E_{\text{in}} = 0$$



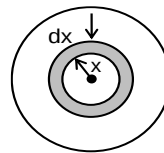
$$\text{So, } V_P - V_O = 0 \Rightarrow V_P = V_O = \frac{KQ}{R}$$

$$\Rightarrow V_{\text{IN}} = \frac{KQ}{R} = \frac{KQ}{R} \quad (\text{गोले की त्रिज्या})$$

14.6 Potential Due To Uniformly Charged Solid Non Conducting Sphere :

भौतिक विज्ञान

- $r \geq R$ (बाह्य) के लिए $V = \frac{KQ}{r}$
 - $r \leq R$ (आन्तरिक) के लिए $V = \frac{KQ}{2R^3} (3R^2 - r^2)$
- $\Rightarrow$ यहाँ, $\rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$



विभिन्न आवेश वितरण के कारण विद्युत विभव का सूची सूत्र

नाम/प्रकार Name/Type	(सूत्र) Formula	Note	(ग्राफ) Graph
बिन्दु आवेश (Point charge)	$\frac{Kq}{r}$	q = स्रोत आवेश r = बिन्दु आवेश से बिन्दु की दूरी	
वलय (एकसमान/असमान आवेश वितरण)	केन्द्र पर $\frac{KQ}{R}$ अक्ष पर $\frac{KQ}{\sqrt{R^2 + x^2}}$	Q = स्रोत आवेश x = अक्ष पर बिन्दु की दूरी	
एकसमान आवेशित खोखला चालक/कुचालक/ठोस गोला	$r \geq R$ के लिए $V = \frac{kQ}{r}$ $r \leq R$ के लिए $V = \frac{kQ}{R}$	R गोले की त्रिज्या है। r गोले के केन्द्र व बिन्दु की दूरी Q कुल आवेश = $\sigma 4\pi R^2$.	
एकसमान आवेशित ठोस कुचालक गोला	$r \geq R$ के लिए $V = \frac{kQ}{r}$ $r \leq R$ के लिए $V = \frac{KQ(3R^2 - r^2)}{2R^3}$ $= \frac{\rho}{6\epsilon_0} (3R^2 - r^2)$	R गोले की त्रिज्या है। r बिन्दु के केन्द्र से दूरी $V_{\text{केन्द्र}} = \frac{3}{2} V_{\text{सतह}}$ Q कुल आवेश = $\rho \frac{4}{3}\pi R^3$ - गोले के अन्दर विभव परवलयकार रूप से बदलता है। - गोले के बाहर विभव अतिपरवलयकार रूप से बदलता है।	

15. विभवान्तर (POTENTIAL DIFFERENCE) :

दो बिन्दुओं A व B के बीच विभवान्तर, एक इकाई धनावेश को A से B तक बिना त्वरण के (या KE नियत रखते हुए या $K_i = K_f$) विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध बाह्य कारक द्वारा ले जाने में किए गए कार्य के बराबर होता है।

गणितीय निरूपण (Mathematical representation) :

यदि $(W_{A \rightarrow B})_{\text{बाह्य}} =$ एक इकाई धनावेश q को A से B तक विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध ले जाने में बाह्य कारक द्वारा किया गया कार्य हो तो

$$V_B - V_A = \frac{W_{\text{ext}(A \rightarrow B)}}{q} \Bigg|_{\Delta K=0} = \frac{-W_{\text{elec}(A \rightarrow B)}}{q} =$$

$$\frac{U_B - U_A}{q} = \frac{-\int_A^B \vec{F}_e \cdot d\vec{r}}{q} = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

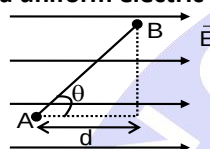
नोट : W व q दोनों को चिन्ह सहित लिखें।

15.1 गुणधर्म (Properties) :

- (i) दो बिन्दुओं के बीच विभव का अन्तर विभवान्तर कहलाता है। इसे वोल्टता भी कहते हैं।

- (ii) विभवान्तर एक अदिश राशि है। इसका मात्रक वोल्ट है।
- (iii) यदि V_A व V_B दो बिन्दुओं A व B के विभव है तो आवेश q को बाह्य कारक द्वारा A से B तक ले जाने में किया गया कार्य है। $W_{\text{ext}(A \rightarrow B)} = q(V_B - V_A)$
or $W_{\text{elec}(A \rightarrow B)} = q(V_A - V_B)$.
- (iv) दो बिन्दुओं के बीच विभवान्तर निर्देश बिन्दु पर निर्भर नहीं करता है।

15.2 एक समान विद्युत क्षेत्र में विभवान्तर (Potential difference in a uniform electric field) :



$$V_B - V_A = -\vec{E} \cdot \vec{AB}$$

$$\Rightarrow V_B - V_A = -|E| |AB| \cos \theta$$

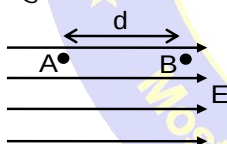
$$= -|E| d = -Ed$$

d = विद्युत क्षेत्र के अनुदिश A व B के बीच प्रभावी दूरी।

हम यह भी कह सकते हैं $E = \frac{\Delta V}{\Delta d}$

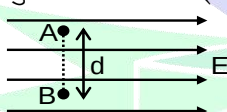
Special Cases :

स्थिति 1. रेखा AB विद्युत क्षेत्र के समान्तर है।



$$\therefore V_A - V_B = Ed$$

स्थिति 2. रेखा AB विद्युत क्षेत्र के लम्बवत् है।



$$\therefore V_A - V_B = 0$$

$$\Rightarrow V_A = V_B$$



DETECTIVE MIND

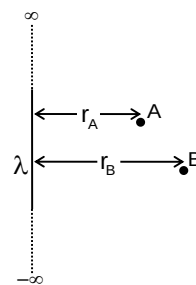
यदि कोई आवेश किसी दिशा में बढ़ रहा है तो उस दिशा में वह सामान्य रूप से चलता है तो विद्युत क्षेत्र की दिशा में विभव सदैव कम होता है।

15.3 अनन्त लम्बाई के तार के कारण विभवान्तर:

$$\theta = \vec{E} \cdot d\vec{r} \text{ के मध्य कोण } = 0$$

$$V_{AB} = V_B - V_A = -\int_{r_A}^{r_B} \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\int_{r_A}^{r_B} \frac{2K\lambda}{r} \hat{r} \cdot d\vec{r}$$

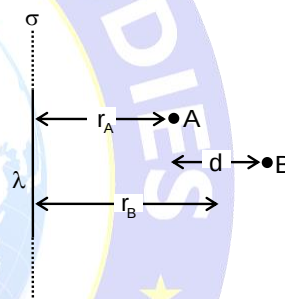
$$\Rightarrow V_{AB} = -2K\lambda \ln \left(\frac{r_B}{r_A} \right)$$



15.4 अनन्त लम्बी पतली परत के कारण विभवान्तर :

$$V_{BA} = V_B - V_A = -\int_{r_A}^{r_B} \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\int_{r_A}^{r_B} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{r} \cdot d\vec{r}$$

$$\Rightarrow V_{BA} = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} (r_B - r_A) = -\frac{\sigma d}{2\epsilon_0}$$



16. समविभव पृष्ठ (EQUIPOTENTIAL SURFACE) :

यदि सम्पूर्ण पृष्ठ (काल्पनिक या वास्तविक) पर विभव एक समान है तो ऐसे पृष्ठ को समविभव पृष्ठ कहते हैं।

16.1 समविभव पृष्ठ के गुणधर्म :

- (i) जब समविभव पृष्ठ पर किसी आवेश को एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक विस्थापित किया जाता है तो स्थिर वैद्युत बल के विरुद्ध किया गया कार्य शून्य होता है।
- (ii) विद्युत क्षेत्र समविभव पृष्ठ के सदैव लम्बवत् होता है।
- (iii) दो समविभव पृष्ठ कभी-भी एक-दूसरे को प्रतिच्छेदित नहीं करते हैं।

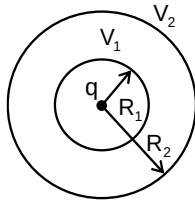
16.2 समविभव पृष्ठ के उदाहरण :

(A) बिन्दु आवेश (Point charge) :

चित्रानुसार गोलीय तथा संकेन्द्रीय समविभव पृष्ठ प्रदर्शित है। चित्र में हम देख सकते हैं कि R_1 त्रिज्या के गोले के

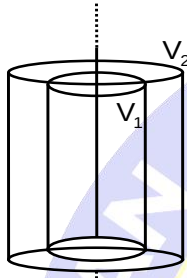
भौतिक विज्ञान

पूरे पृष्ठ पर विभव V_1 है तथा इसी प्रकार अन्य संकेन्द्रीय गोलों के लिए भी विभव समान है।

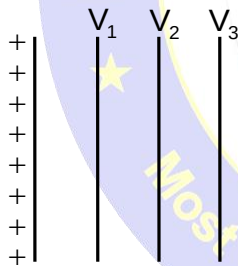


(B) रैखीय आवेश (Line charge) :

रैखीय आवेश के लिए समविभव पृष्ठ अलग-अलग त्रिज्याओं के समाक्षीय बेलन होते हैं।



(C) एक समान रूप से आवेशित बड़ी चालक/कुचालक पट्टिका : इसके लिए समविभव पृष्ठ समानान्तर तल होते हैं।



DETECTIVE MIND

एकसमान विद्युत क्षेत्र में समाविभव पृष्ठ सदैव समांतर तल होते हैं।

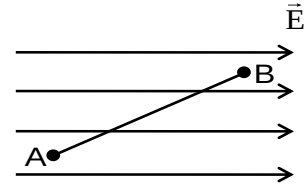
17. विद्युत क्षेत्र की तीव्रता तथा विद्युत विभव के बीच में सम्बन्ध

(Relation Between Electric Field Intensity And Electric Potential) :

(A) समरूप विद्युत क्षेत्र के लिए :

(i) दो बिन्दुओं A तथा B के बीच विभवान्तर

$$V_B - V_A = - \vec{E} \cdot \vec{AB}$$



(B) असमरूप विद्युत क्षेत्र :

$$(i) E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

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

$$= - \left[\hat{i} \frac{\partial V}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial V}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial V}{\partial z} \right]$$

जहाँ $\frac{\partial V}{\partial x} = V$ का x के सापेक्ष अवकलन (y और z को नियत रखते हुए)

$\frac{\partial V}{\partial y} = V$ का y के सापेक्ष अवकलन (z और x को नियत रखते हुए)

$\frac{\partial V}{\partial z} = V$ का z के सापेक्ष अवकलन (x और y को नियत रखते हुए)

(C) यदि विद्युत विभव और विद्युत क्षेत्र केवल एक निर्देशांक r पर निर्भर करे तो :

$$(i) \vec{E} = -\frac{\partial V}{\partial r} \hat{r}$$

$$(ii) \int dV = - \int \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$\Rightarrow V_B - V_A = - \int_{r_A}^{r_B} \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

(iii) किसी बिन्दु पर विभव

$$\Rightarrow V = - \int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

SOLVED EXAMPLES

Ex.18 यदि $\vec{E} = (2\hat{i} + 3\hat{j} + \hat{k}) \text{ N/C}$ और $\vec{A} = (2\hat{i} - \hat{j} + \hat{k}) \text{ m}^2$ फिर विद्युत फ्लक्स ज्ञात करें.

(1) $2 \text{ Nm}^2/\text{C}$

(2) $4 \text{ Nm}^2/\text{C}$

(3) $5 \text{ Nm}^2/\text{C}$

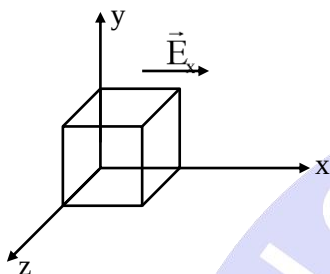
(4) $8 \text{ Nm}^2/\text{C}$

Sol. $\phi = \vec{E} \cdot \vec{A}$

$$\phi = (2\hat{i} + 3\hat{j} + \hat{k}) \cdot (2\hat{i} - \hat{j} + \hat{k})$$

$$\phi = 4 - 3 + 1 = 2 \text{ Nm}^2/\text{C}$$

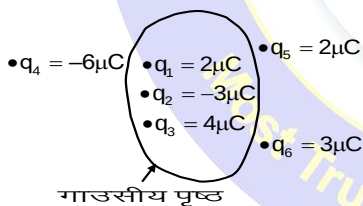
Ex.19 यदि $\vec{E}_x = x^2\hat{i}$ और E_y & E_z शून्य हैं, 1 मी किनारे वाले घन से गुजरने वाला कुल फ्लक्स ज्ञात कीजिए।



- (1) 1 unit
(2) 2 unit
(3) 4 unit
(4) 0

Sol. $\phi_{in} = -E_{x1} (a)^2 = -(0)^2 (1)^2 = 0$
 $\phi_{out} = E_{x2} (a)^2 = (1)^2 (1)^2 = 1$
 $\phi_{net} = 1$

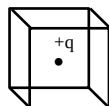
Ex.20 दी गई गॉउसीय पृष्ठ से गुजरने वाले फ्लक्स की गणना कीजिए।



- (1) $\frac{5 \times 10^{-6}}{\epsilon_0} \text{ Nm}^2/\text{C}$ (2) $\frac{2 \times 10^{-6}}{\epsilon_0} \text{ Nm}^2/\text{C}$
 (3) $\frac{3 \times 10^{-6}}{\epsilon_0} \text{ Nm}^2/\text{C}$ (4) $\frac{4 \times 10^{-6}}{\epsilon_0} \text{ Nm}^2/\text{C}$

Sol. $\phi = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0} = \frac{2\mu\text{C} - 3\mu\text{C} + 4\mu\text{C}}{\epsilon_0} = \frac{3 \times 10^{-6}}{\epsilon_0} \text{ Nm}^2/\text{C}$

Ex.21 घन के प्रत्येक फलक से फ्लक्स ज्ञात कीजिए तथा प्रत्येक कोने से भी फ्लक्स ज्ञात कीजिए।



(1) $\frac{q}{\epsilon_0}$ (2) $\frac{q}{16\epsilon_0}$

(3) $\frac{q}{4\epsilon_0}$ (4) $\frac{q}{8\epsilon_0}$

Sol. $\phi_{cube} = \frac{q}{\epsilon_0}$

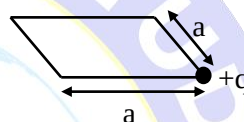
समरूपता के कारण, प्रत्येक फलक से गुजरने वाला

फ्लक्स समान होगा $\Rightarrow \phi_{face} = \frac{q}{6\epsilon_0}$

पुनः समरूपता के कारण, प्रत्येक कोने से फ्लक्स,

$$\Rightarrow \phi_{corner} = \frac{q}{8\epsilon_0}$$

Ex.22 शीट से गुजरने वाले फ्लक्स को ज्ञात कीजिए।

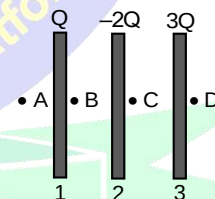


(1) $\frac{q}{\epsilon_0}$ (2) $\frac{q}{16\epsilon_0}$

(3) $\frac{q}{4\epsilon_0}$ (4) 0

Sol. शीट का विद्युत क्षेत्र और क्षेत्रफल सदिश लंबवत होगा इसलिए इसके माध्यम से फ्लक्स शून्य होगा।

Ex.23 तीन दीर्घ चालक पट्टिकाएँ जिन पर आवेश क्रमशः Q, -2Q व 3Q है, परिमित दूरी पर एक दूसरे के समान्तर स्थित हैं। बिन्दुओं A, B, C व D पर विद्युत क्षेत्र ज्ञात कीजिए।



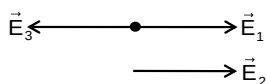
Sol. (i) A पर विद्युत क्षेत्र

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

$$\therefore \vec{E}_1 = \frac{Q}{2\epsilon_0 A}(-\hat{i}), \vec{E}_2 = \frac{2Q}{2\epsilon_0 A}(\hat{i}),$$

$$\text{and } \vec{E}_3 = \frac{3Q}{2\epsilon_0 A}(-\hat{i})$$

$$\therefore \vec{E}_A = \frac{Q}{2\epsilon_0 A}(-\hat{i} + 2\hat{i} - 3\hat{i}) \Rightarrow \vec{E}_A = \frac{Q}{\epsilon_0 A}(-\hat{i})$$



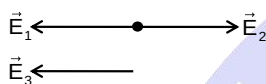
(ii) B पर विद्युत क्षेत्र

$$\vec{E}_B = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

$$\therefore \vec{E}_1 = \frac{Q}{2\epsilon_0 A}(\hat{i}), \vec{E}_2 = \frac{2Q}{2\epsilon_0 A}(\hat{i})$$

$$\text{and } \vec{E}_3 = \frac{3Q}{2\epsilon_0 A}(-\hat{i})$$

$$\therefore \vec{E}_B = \frac{Q+2Q-3Q}{2\epsilon_0 A}(\hat{i}) = 0$$



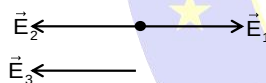
(iii) C पर विद्युत क्षेत्र

$$\vec{E}_C = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

$$\therefore \vec{E}_1 = \frac{Q}{2\epsilon_0 A}(\hat{i}), \vec{E}_2 = \frac{2Q}{2\epsilon_0 A}(-\hat{i})$$

$$\text{and } \vec{E}_3 = \frac{3Q}{2\epsilon_0 A}(-\hat{i})$$

$$\therefore \vec{E}_C = \frac{Q-2Q-3Q}{2\epsilon_0 A}(\hat{i}) = \frac{2Q}{\epsilon_0 A}(-\hat{i})$$



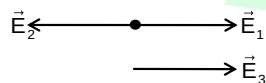
(iv) D पर विद्युत क्षेत्र

$$\vec{E}_D = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

$$\therefore \vec{E}_1 = \frac{Q}{2\epsilon_0 A}(\hat{i}), \vec{E}_2 = \frac{2Q}{2\epsilon_0 A}(-\hat{i})$$

$$\text{and } \vec{E}_3 = \frac{3Q}{2\epsilon_0 A}(\hat{i})$$

$$\therefore \vec{E}_D = \frac{(Q-2Q+3Q)}{2\epsilon_0 A}(\hat{i}) = \frac{Q}{\epsilon_0 A}(\hat{i})$$



Ex.24 10 सेमी त्रिज्या वाले एक धातु के गोले पर $10\mu\text{C}$ का आवेश दिया जाता है। निम्न दूरी पर E खोजें।

(1) $r = 5\text{cm}$

(2) $r = 10\text{cm}$

(3) $r = 30\text{cm}$, केन्द्र से.

Sol. (1) 5cm ($r < R$), so $E = 0$ (चालक के लिए $E = 0$ अंदर के बिंदु पर)

$$(2) 10\text{cm} (r = R), E_s = \frac{kQ}{R^2}$$

$$E = \frac{9 \times 10^9 \times 10 \times 10^{-6}}{(0.1)^2} = 9 \times 10^6 \text{ N/C}$$

(3) 30cm ($r = 3R$),

$$E'' = \frac{kQ}{9R^2} \quad \text{so } E'' = \frac{9 \times 10^6}{9} = 10^6 \text{ N/C}$$

Ex.25 15 सेमी त्रिज्या वाले एक समान आवेशित अचालक गोले से 30 सेमी की दूरी पर विद्युत क्षेत्र E है। निम्न दूरी पर E ज्ञात करें:

(1) $r = 5\text{cm}$

(2) $r = 15\text{cm}$

(3) $r = 20\text{cm}$, केन्द्र से

Sol. (1) 5cm ($r < R$), $E_{\text{out}} = \frac{kQ}{r^2}$

$$E_{\text{out}} = \frac{kQ}{r^2} = E \text{ (दिया गया है) or } kQ = (30)^2 E$$

$$E_{\text{in}} = \frac{kQ}{R^3}(r) = \frac{(30)^2 E}{(15)^3}(5) = \frac{4}{3} E$$

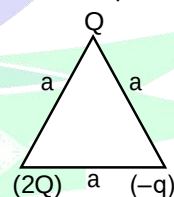
$$(2) 15\text{cm} (r = R), E_s = \frac{kQ}{R^2}$$

$$E_s = \frac{(30)^2 E}{(15)^2} = 4E$$

(3) 20cm ($r > R$),

$$E_{\text{out}} = \frac{kQ}{r^2} = \frac{(30)^2 E}{(20)^2} = \frac{9E}{4}$$

Ex.26 यदि दिये गये निकाय के लिए वैद्युतस्थितिज ऊर्जा धनात्मक हो तब $2Q > 3q$ सिद्ध किजिए।



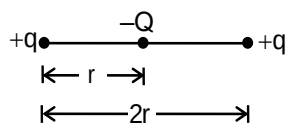
Sol. $U(\text{निकाय}) = \text{सभी युग्मों की स्थितिज ऊर्जा का योग}$

$$= \frac{k(Q)(2Q)}{a} - \frac{k(2Q)q}{a} - \frac{k(Q)q}{a} = \frac{kQ}{a} (2Q - 3q)$$

दिया गया U धनात्मक है $U > 0$

$$\Rightarrow \frac{kQ}{a} (2Q - 3q) > 0 \Rightarrow 2Q > 3q$$

Ex.27 तीन बिन्दुवत आवेशों की स्थिति चित्र में प्रदर्शित है। इस व्यवस्था की कुल स्थितिज ऊर्जा शून्य है। $\frac{q}{Q}$ का अनुपात ज्ञात करो।



(1) $\frac{1}{2\sqrt{2}}$ (2) $\frac{3}{2}$ (3) $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (4) $\frac{4}{1}$

Sol. $U_{\text{sys}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{-qQ}{r} + \frac{(+q)(+q)}{2r} + \frac{(-Q)q}{r} \right]$
 $= 0 - Q + \frac{q}{2} - Q = 0 \Rightarrow 2Q = \frac{q}{2} \Rightarrow \frac{q}{Q} = \frac{4}{1}$

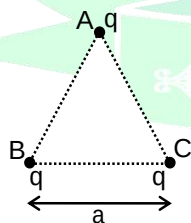
Ex.28 m द्रव्यमान तथा q आवेश के दो बिन्दु आवेशों के मध्य की दूरी r है, इन्हें इस स्थिति से मुक्त किया जाता है। जब दोनों बिन्दु आवेशों के मध्य दूरी $2r$ हो तो प्रत्येक आवेश का वेग क्या होगा?

(1) $\sqrt{\frac{Kq^2}{rm}}$ (2) $\sqrt{\frac{Kq^2}{2rm}}$
 (3) $\sqrt{\frac{2rm}{Kq^2}}$ (4) $\sqrt{\frac{rm}{Kq^2}}$

Sol. संवेग संरक्षण के नियमानुसार दोनों आवेश समान चाल से गति करेंगे। ऊर्जा संरक्षण के नियम से-

$k_1 + k_2 + u_i = u_f + k_f$
 $0 + 0 + \frac{Kq^2}{r} = 2 \left[\frac{1}{2}mv^2 \right] + \frac{Kq^2}{2r}$
 $\Rightarrow v = \sqrt{\frac{Kq^2}{2rm}}$

Ex.29 a भुजा वाले समबाहु त्रिभुज के कोनों पर समान आवेश q स्थित है।



- आवेश निकाय की स्थितिज ऊर्जा ज्ञात करो।
- त्रिभुज की भुजा को $a/2$ करने के लिए आवश्यक कार्य ज्ञात करो।
- यदि आवेशों को प्रदर्शित स्थिति से छोड़ा जायें (प्रत्येक का द्रव्यमान m हो) तो $2a$ भुजा का त्रिभुज बनने पर इनकी चाल ज्ञात करो।

Sol. (i) $U = U_{12} + U_{13} + U_{23} = \frac{Kq^2}{a} + \frac{Kq^2}{a} + \frac{Kq^2}{a} = \frac{3Kq^2}{a}$

(ii) भुजाओं को $a/2$ तक कम करने में आवश्यक कार्य

$W = U_f - U_i = \frac{3Kq^2}{a/2} - \frac{3Kq^2}{a} = \frac{3Kq^2}{a}$

(iii) विद्युत बल द्वारा किया गया कार्य = कणों की गतिज ऊर्जा में परिवर्तन

$U_i - U_f = K_f - K_i \Rightarrow \frac{3Kq^2}{a} - \frac{3Kq^2}{2a}$
 $= 3 \left(\frac{1}{2}mv^2 \right) - 0 = \frac{3}{2} \frac{Kq^2}{a} = \frac{3}{2}mv^2$

$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{Kq^2}{am}}$

Ex.30 अनन्त अचालक σ समरूप आवेश घनत्व की पट्टिकाओं के सामने रखें a भुजा वाले काल्पनिक घन के आयतन में संचित ऊर्जा ज्ञात करो ?

(1) $\frac{\sigma^3 a^2}{4\epsilon_0}$ (2) $\frac{\sigma^3 a^2}{8\epsilon_0}$
 (3) $\frac{\sigma^2 a^3}{4\epsilon_0}$ (4) $\frac{\sigma^2 a^3}{8\epsilon_0}$

Sol. संचित ऊर्जा

$U = \int \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 dV$ जहाँ dV छोटा आयतन है
 $= \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \int dV$

$\therefore E$ स्थिरांक U है $= \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2} a^3 = \frac{\sigma^2 a^3}{8\epsilon_0}$

Ex.31 एक $10 \mu C$ आवेश को विद्युत क्षेत्र में अनन्त से किसी बिन्दु तक लाने में किया गया कार्य $10 \mu J$ है। यदि इससे दुगुने आवेश को अनन्त से उसी बिन्दु तक बिना त्वरण के लाया जाता है तो विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध विद्युत क्षेत्र द्वारा किया गया कार्य ज्ञात करो।

(1) $-20 \mu J$ (2) $-80 \mu J$
 (3) $-120 \mu J$ (4) $-160 \mu J$

Sol. $(W_{\text{ext}})_{\infty \rightarrow p} = (-W_{\text{ele}})_{\infty \rightarrow p} = (W_{\text{ele}})_{p \rightarrow \infty} = 10 \mu J$

क्योंकि $\Delta KE = 0$

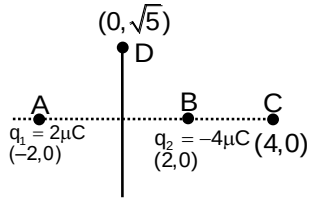
$V_p = 1V$

इसलिये यदि अब दुगुने आवेश को अनन्त से लाया जाता है

$1 = \frac{(W_{\text{ext}})_{\infty \rightarrow p}}{20 \mu C} \Rightarrow (W_{\text{ext}})_{\infty \rightarrow p} = 20 \mu J$

$$\Rightarrow (W_{ele})_{\infty \rightarrow P} = -20 \mu J$$

Ex.32 दो बिन्दु आवेश $2\mu C$ और $-4\mu C$ क्रमशः $(-2m, 0m)$ तथा $(2m, 0m)$ पर स्थित हैं। बिन्दु C $(4m, 0m)$ तथा D $(0, \sqrt{5}m)$ पर विभव ज्ञात करो।



Sol. C बिन्दु पर विभव

$$V_C = V_{q_1} + V_{q_2} = \frac{K(2\mu C)}{6} + \frac{K(-4\mu C)}{2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6}}{6} - \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6}}{2}$$

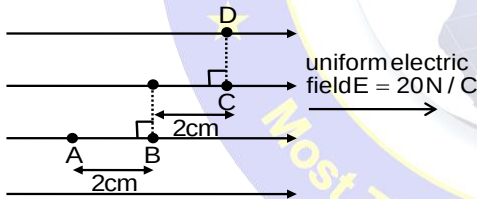
$$= -15000V$$

$$\text{इसी प्रकार, } V_D = V_{q_1} + V_{q_2}$$

$$= \frac{K(2\mu C)}{\sqrt{(\sqrt{5})^2 + 2^2}} + \frac{K(-4\mu C)}{\sqrt{(\sqrt{5})^2 + 2^2}}$$

$$= \frac{K(2\mu C)}{3} + \frac{K(-4\mu C)}{3} = -6000V$$

Ex.33 निम्न ज्ञात करो।



(i) $V_A - V_B$

(ii) $V_B - V_C$

(iii) $V_C - V_A$

(iv) $V_D - V_C$

(v) $V_A - V_D$

(vi) A, B, C और D के विभव को क्रम में व्यवस्थित करें।

Sol. (i) $|\Delta V_{AB}| = 20 \times 2 \times 10^{-2} = 0.4$ so, $V_A - V_B = 0.4$ V

(ii) $|\Delta V_{BC}| = 20 \times 2 \times 10^{-2} = 0.4$ so, $V_B - V_C = 0.4$ V

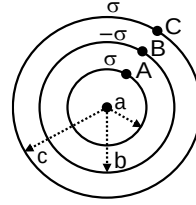
(iii) $|\Delta V_{CA}| = 20 \times 4 \times 10^{-2} = 0.8$ so, $V_C - V_A = -0.8$ V

(iv) $|\Delta V_{DC}| = 20 \times 0 = 0$ so, $V_D - V_C = 0$

(v) $|\Delta V_{AD}| = 20 \times 4 \times 10^{-2} = 0.8$ so, $V_A - V_D = 0.8$ V

(vi) क्षमता का क्रम $V_A > V_B > V_C = V_D$

Ex.34 V_A, V_B, V_C ज्ञात कीजिए तथा यदि $V_A = V_C$ है तो आवश्यक शर्त क्या होगी।



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

$$V_B = \frac{\sigma a^2}{\epsilon_0 b} - \frac{\sigma b}{\epsilon_0} + \frac{\sigma c}{\epsilon_0}$$

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

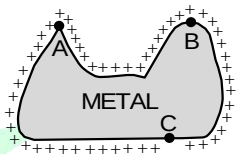
$$\Rightarrow \text{अब अगर } V_A = V_C \Rightarrow (a - b + c) = \frac{a^2 - b^2 + c^2}{c}$$

$$\Rightarrow c(a - b) = a^2 - b^2 \Rightarrow c(a - b) = (a + b)(a - b)$$

$$\Rightarrow c = a + b$$

Ex.35 A, B तथा C पर क्षेत्र, विभव व पृष्ठ आवेश घनत्व की तुलना कीजिए।

Sol : एक धातु की सतह समविभव पृष्ठ (EPS) होती है। अतः अनियमित आकृति वाले धातु पर आवेश, पृष्ठ पर समान विभव उत्पन्न करने के लिए वितरित किए जाते हैं।



$\Rightarrow V_A = V_B = V_C$ अब सीधी रेखा के लिए वक्रता त्रिज्या $(R) = \infty$

$$R_C > R_B > R_A \text{ अब } \frac{Q_A}{R_A} = \frac{Q_B}{R_B} = \frac{Q_C}{R_C} \text{ or } (Q \propto R)$$

$$E = \frac{KQ}{R^2} \Rightarrow E = \frac{V}{R} \Rightarrow E \propto \frac{1}{R}$$

$$\text{विद्युत क्षेत्र } E \propto \frac{Q}{R^2} \text{ or } E \propto \frac{1}{R} \Rightarrow E_A > E_B > E_C$$

$$\text{पृष्ठ आवेश घनत्व } \sigma \propto \frac{Q}{R^2}$$

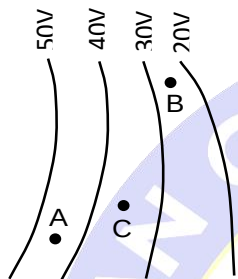
स्थिरवैद्युतकी (ELECTROSTATICS)

$$\Rightarrow \sigma \propto \frac{V}{R} \propto \frac{1}{R} \quad \Rightarrow \sigma_A > \sigma_B > \sigma_C$$

अतः यदि आवेश रिसाव की कोई सम्भावना है, यह बिन्दु A से प्रारम्भ होता है। (कोरोना निरावेशन)

याद रखिए नुकीले बिन्दुओं पर E व σ अधिक है जबकी विभव समान है।

Ex.36 निम्न चित्र कुछ आवेशों द्वारा उत्पन्न कुछ समविभव पृष्ठ को दर्शाता है। किस बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र का मान अधिकतम है?



Sol. जहाँ समविभव पृष्ठ निकट है, वहाँ E का परिमाण अधिक है। ELOF समविभव पृष्ठों के लम्बवत् है। निम्न चित्र में, हम बिन्दु B के लिए देख सकते हैं कि EPS निकट है अतः बिन्दु B पर E अधिकतम है।

Ex.37 दिए गए $\vec{E} = 2x\hat{i} + 3y\hat{j}$ के लिए, (x, y) पर विभव ज्ञात कीजिए यदि मूल बिन्दु पर विभव 5 वोल्ट है।

$$(1) -x^2 - \frac{3y^2}{2} + 5 \quad (2) x^2 + \frac{3y^2}{2} + 5$$

$$(3) x^2 - \frac{3y^2}{2} + 5 \quad (4) x^2 - \frac{3y^2}{2} - 5$$

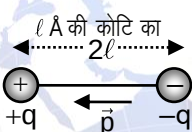
$$\text{Sol. } \int_V dV = - \int_0^x \vec{E} \cdot d\vec{r} = - \int_0^x E_x dx - \int_0^y E_y dy$$

$$\Rightarrow V - 5 = - \frac{2x^2}{2} - \frac{3y^2}{2}$$

$$\Rightarrow V = -x^2 - \frac{3y^2}{2} + 5$$

18. ELECTRIC DIPOLE :

एक विद्युत द्विध्रुव समान और विपरीत बिंदु आवेशों +q और -q का युग्म है जो 2ℓ की दूरी से अलग होते हैं।

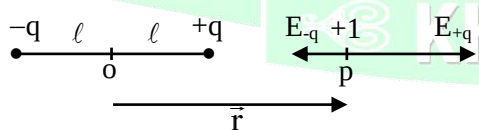


18.1 द्विध्रुव आघूर्ण ($\vec{p}$):

द्विध्रुव आघूर्ण = q × 2ℓ

- सदिश राशि की दिशा ऋणात्मक से धनात्मक की ओर होती है।
- विमा: [LTA] तथा मात्रक: कूलाम × मीटर (या C-m)
- प्रायोगिक मात्रक = Debye 1 Debye = $3.3 \times 10^{-30} \text{ C} \times \text{m}$

18.2 द्विध्रुव के केन्द्र से दूरी r (बिन्दु पर) पर अक्षीय बिन्दु (स्थिति पर अन्त) के कारण विद्युत क्षेत्र



$$E_p = (E_{+q} - E_{-q})$$

$$= \frac{kq}{(r-\ell)^2} - \frac{kq}{(r+\ell)^2} = kq \left[\frac{1}{(r-\ell)^2} - \frac{1}{(r+\ell)^2} \right]$$

$$= kq \left[\frac{1}{r^2 \left(1 - \frac{\ell}{r}\right)^2} - \frac{1}{r^2 \left(1 + \frac{\ell}{r}\right)^2} \right]$$

$$= \frac{kq}{r^2} \left[\left(1 - \frac{\ell}{r}\right)^{-2} - \left(1 + \frac{\ell}{r}\right)^{-2} \right]$$

चूँकि $\ell \ll r$ द्विध्रुव में हैं, इसलिए द्विपद सन्निकटन लागू करने पर

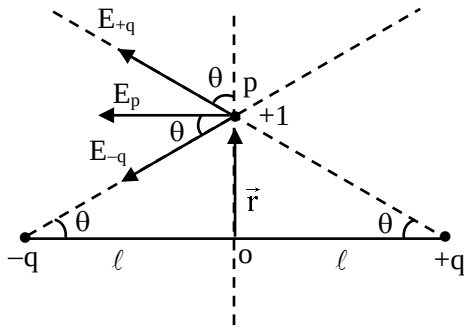
$$= \frac{kq}{r^2} \left[1 + \frac{2\ell}{r} - 1 + \frac{2\ell}{r} \right] E_p = \frac{kq}{r^2} \left[\frac{4\ell}{r} \right] = \frac{2kq(2\ell)}{r^3}$$

$$\therefore E_p = \frac{2kp}{r^3}$$

विद्युत क्षेत्र कि दिशा विद्युत द्विध्रुव आघूर्ण $\vec{p}$ के साथ होती है।

$$\text{सदिश रूप में } \vec{E}_p = \frac{2k\vec{p}}{r^3}$$

18.3 द्विध्रुव के केन्द्र से दूरी r (बिन्दु p पर) बिन्दु (व्यापक स्थिति/द्विभाजक के लम्बवत्) पर द्विध्रुव के कारण विद्युत क्षेत्र



$$E_p = E_{+q} + E_{-q}$$

$$= E_{+q} \cos \theta + E_{-q} \cos \theta$$

$$= (E_{+q} + E_{-q}) \cos \theta$$

$$= \left[\frac{kq}{(\sqrt{r^2 + \ell^2})^2} + \frac{kq}{(\sqrt{r^2 + \ell^2})^2} \right] \frac{\ell}{\sqrt{r^2 + \ell^2}}$$

$$E_p = \frac{kq(2\ell)}{(r^2 + \ell^2)^{3/2}}$$

यदि $\ell \ll r$ तो द्विपद सन्निकरण लागू करने पर

$$E_p = \frac{kp}{r^3} \text{ और विपरीत दिशा में द्विध्रुव आघूर्ण } (\vec{p}).$$

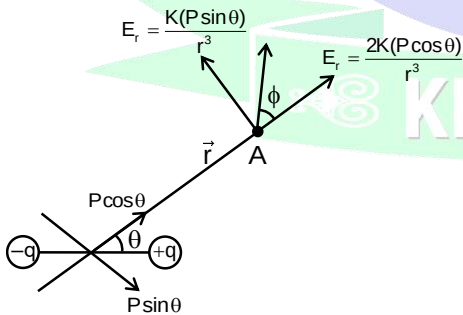
सदिश रूप में $\vec{E}_p = \frac{-k\vec{p}}{r^3}$



DETECTIVE MIND

स्थिरवैद्युत स्थितियों में चालक के अंदर कुल विद्युत क्षेत्र शून्य होता है.

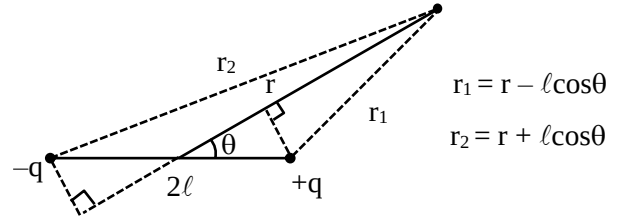
18.4 किसी बिन्दु (r, θ) पर विद्युत क्षेत्र : ध्रुवीय निर्देशांक :



$$E_{\text{net}} = \frac{KP}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \theta}; \tan \phi = \frac{\tan \theta}{2};$$

यहाँ θ वामावर्त दिशा में स्थिति वेक्टर $(\vec{r})$ और द्विध्रुव आघूर्ण $(\vec{p})$ सदिश के मध्य का कोण है

18.5 एक सामान्य बिंदु पर विद्युत विभव (Electric potential at a general point)



$$r_1 = r - \ell \cos \theta$$

$$r_2 = r + \ell \cos \theta$$

$$V_{\text{net}} = V_{+q} + V_{-q} = kq \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$V_{\text{net}} = kq \left(\frac{1}{r - \ell \cos \theta} - \frac{1}{r + \ell \cos \theta} \right)$$

$$V_{\text{net}} = \frac{kq2\ell \cos \theta}{r^2 - \ell^2 \cos^2 \theta} = \frac{kp \cos \theta}{r^2 - \ell^2 \cos^2 \theta}$$

For $r \gg \ell$

$$V_{\text{net}} = \frac{kp \cos \theta}{r^2}$$

$$V_{\text{net}} = \frac{k\vec{p} \cdot \vec{r}}{r^3}$$

Endon
Axial position
 $\theta = 0^\circ$

$$V_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^2}$$

$$\vec{E}_p = \left[\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right] \left[\frac{2\vec{p}}{r^3} \right]$$

Broadon
Equatorial
position $\theta = 90^\circ$

$$V_p = 0$$

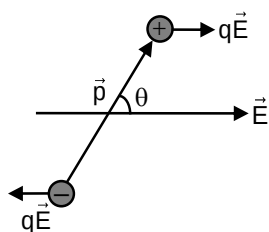
$$\vec{E}_p = - \left[\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right] \left[\frac{\vec{p}}{r^3} \right] \hat{r}$$

18.6 द्विध्रुव को एक समान विद्युत क्षेत्र में रखा गया: $\vec{p} = 2q\vec{\ell}$

(A) कुल बल: $\vec{F}_{\text{net}} = [q\vec{E} + (-q)\vec{E}] = 0$

(B) Torque:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = 2\ell \times q\vec{E} = 2q\vec{\ell} \times \vec{E} = \vec{p} \times \vec{E} = pE \sin \theta$$



(C) कार्य: विद्युत द्विध्रुव को θ_1 से θ_2 तक [एकसमान क्षेत्र में] घुमाने में किया गया कार्य

$$dW = \tau \cdot d\theta \Rightarrow W = \int dW = \int \tau d\theta$$

$$W_{\theta_1 \rightarrow \theta_2} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} pE \sin\theta d\theta = pE (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

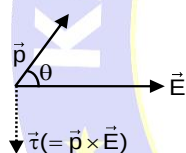
$$W_{0 \rightarrow 180^\circ} = pE [1 - (-1)] = 2pE$$

$$W_{0 \rightarrow 90^\circ} = pE (1 - 0) = pE$$

यदि एक द्विध्रुव को क्षेत्र दिशा से घुमाया जाता है

($\theta = 0^\circ$) to θ तब,

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



$\theta = 0$ $\tau = 0(\text{min})$ $W = 0(\text{min})$	$\theta = 90^\circ$ $\tau = pE(\text{max})$ $W = pE$	$\theta = 180^\circ$ $\tau = 0(\text{min})$ $W = 2pE(\text{max})$
---	--	---

एक समान क्षेत्र में रखे गए द्विध्रुव की स्थिरवैद्युत स्थितिज ऊर्जा को क्षेत्र के लंबवत दिशा से दी गई दिशा में द्विध्रुव को घुमाने में किए गए कार्य के रूप में परिभाषित किया जाता है।

$$U = W_\theta - W_{90^\circ} = pE (1 - \cos\theta) - pE = -pE \cos\theta = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

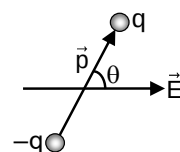
$\vec{E}$ एक संरक्षी क्षेत्र है इसलिए एक द्विध्रुव को

$$\vec{E}p = \left[\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right] \left[\frac{2\vec{p}}{r^3} \right] \hat{r} \theta_1 \text{ से } \theta_2 \text{ तक घुमाने में जो भी}$$

कार्य किया जाता है वह स्थिरवैद्युत स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन के बराबर होता है।

$$W_{\theta_1 \rightarrow \theta_2} = U_{\theta_2} - U_{\theta_1} = pE (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

कोणीय SHM: जब एक द्विध्रुव एक समान क्षेत्र में निलंबित हो जाता है तो यह स्वयं को क्षेत्र के समानांतर संरेखित कर देगा। अब यदि इसे इसकी संतुलन स्थिति के बारे में एक छोटा कोणीय विस्थापन दिया जाता है तो पुनर्संस्थापना बल आघूर्ण होगा।



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

यदि θ छोटा है तो $\tau = -pE\theta$

$$\tau \propto (-\theta) \text{ (कोणीय S.H.M.)}$$

लेकिन $\tau = I\alpha$ so $I\alpha = -pE\theta$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{pE}{I} (-\theta) = -\omega^2\theta$$

(जहां α - कोणीय त्वरण और I - जड़त्व आघूर्ण)

$$\omega = \sqrt{\frac{pE}{I}}; \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{pE}}$$

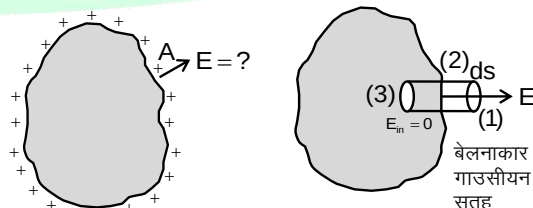
19. चालक (CONDUCTOR):-

चालक वह पदार्थ हैं जिनके माध्यम से विद्युत आवेश आसानी से प्रवाहित हो सकता है। विद्युत आवेश के अधिकांश चालक।

19.1 किसी चालक द्वारा विद्युत क्षेत्र ज्ञात करना:

माना किसी चालक की सतह 'A' पर क्षेत्रफल आवेश घनत्व σ है। हमें चालक की सतह के बाहर विद्युत क्षेत्र ज्ञात करना है।

इसके लिए चित्रानुसार माना एक छोटा बेलनाकार गॉउसीयन सतह जिसका आंशिक भाग सतह के अन्दर और कुछ भाग सतह के बाहर स्थित है। माना इसका अल्प काट क्षेत्रफल ds है और इसकी ऊँचाई नगण्य है।



इस सतह के लिये गॉउस प्रमेय लगाने पर

$$\phi_{\text{net}} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma ds}{\epsilon_0}$$

सतह (1) का फलक्स सतह (2) का फलक्स सतह (3) का फलक्स

$\phi_1 = E ds$ $\phi_2 = 0$ $\phi_3 = 0$

(क्योंकि $\vec{E}$ चालक सतह के लम्बवत्) ($\vec{E}$ गाउसीयन सतह के लम्बवत्) (E चालक के अन्दर)

इसलिए, $E ds = \frac{\sigma ds}{\epsilon_0}$

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



DETECTIVE MIND

चालक की सतह के ठीक बाहर विद्युत क्षेत्र $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

दिशा सतह के लम्बवत् होगी। सदिश रूप में $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{n}$

(यहाँ $\hat{n}$ इकाई सदिश चालक सतह के लिए लम्बवत् हैं।)

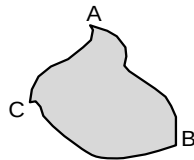
19.2 चालक और उसके गुणधर्म [स्थिर विद्युत स्थिति के लिये]

- चालक वे पदार्थ होते हैं जिनके अन्दर मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या बहुत अधिक होती है, जो चालक के अन्दर मुक्त रूप से गति कर सकते हैं।
- स्थिर विद्युतिकी में चालक हमेशा समविभव पृष्ठ होते हैं।
- आवेश हमेशा चालक के बाहरी पृष्ठ पर रहता है।
- यदि चालक के अन्दर कोई गुहा है तथा इसमें कोई आवेश नहीं है तो आवेश हमेशा चालक की बाहरी सतह पर रहेगा।
- विद्युत क्षेत्र हमेशा चालक पृष्ठ के लम्बवत् होता है।
- विद्युत बल रेखाएँ चालक के अन्दर कभी प्रवेश नहीं करती हैं।
- चालक पृष्ठ के पास विद्युत क्षेत्र की तीव्रता का सूत्र.

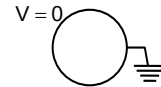
$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{n}$$

$$\vec{E}_A = \frac{\sigma_A}{\epsilon_0} \hat{n}$$

$$\vec{E}_B = \frac{\sigma_B}{\epsilon_0} \hat{n} \text{ and } \vec{E}_C = \frac{\sigma_C}{\epsilon_0} \hat{n}$$



(viii) जब किसी चालक को भूसम्पर्कित किया जाता है तो इसका विभव शून्य हो जाता है।



(ix) जब एक विलगित चालक को भूसम्पर्कित किया जाता है तो इस पर आवेश शून्य हो जाता है।

(x) जब दो चालकों को जोड़ा जाता है तो उनमें आवेश का प्रवाह तब तक होता है जब तक उनका विभव एकसमान न हो जाये।

(xi) **वैद्युत दाब** : किसी चालक के पृष्ठ पर वैद्युत दाब का

सूत्र $P = \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0}$ जहाँ σ पृष्ठीय आवेश घनत्व है।

चालक के अंदर गुहा: चालक के अंदर गुहा चालक से घिरा हुआ स्थान है जैसे कि कोई भी चालक को छुए बिना उस स्थान तक नहीं पहुँच सकता है।



DETECTIVE MIND

यदि गुहा के अंदर कोई कुल आवेश नहीं है तो चालक (धातु) पर कोई भी अतिरिक्त आवेश चालक की बाहरी सतह पर रहता है.

सत्यापन:

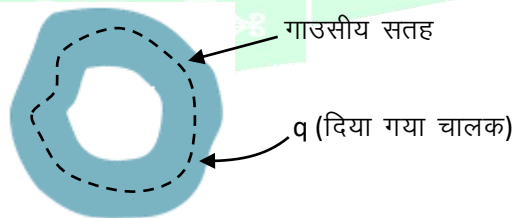
$$\vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_{\text{enclose}}}{\epsilon_0}$$

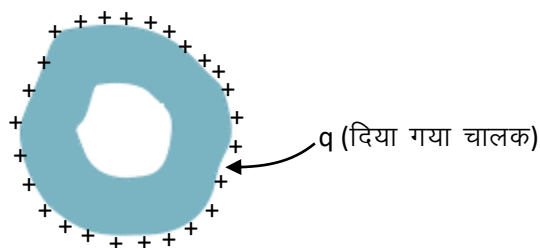
अतः विद्युत क्षेत्र ($\vec{E}$) आंतरिक चालक = 0

$$\therefore \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$$

$$\therefore \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0 \text{ [अतः गाउसीय सतह का फलक्स } (\phi) = 0]$$

$$\Rightarrow 0 = \frac{q_{\text{enclose}}}{\epsilon_0} \quad q_{\text{enclose}} = 0$$





यहाँ q शून्य है, इसका अर्थ है कि चालक को दिया गया कुल आवेश बाहरी सतह पर चला गया है।



SPOT LIGHT

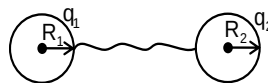
चालक की बाहरी सतह पर आवेश (चाहे वह अतिरिक्त आवेश या प्रेरित आवेश या दोनों हो) चालक की बाहरी सतह के अंदर किसी भी बिंदु पर चालक के आसपास (आसपास) में किसी भी आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र को रद्द कर देता है। यदि आस-पास के आवेश को बदल दिया जाता है तो चालक अपने आवेश को इस तरह से पुनर्वितरित करता है कि यह आसपास के आवेश के कारण विद्युत क्षेत्र के प्रभाव को रद्द कर सकता है, जिसे परिरक्षण प्रभाव कहा जाता है।

परिरक्षण स्थिर वैद्युती: यदि गुहा के अंदर कोई आवेश नहीं है तो धातु पर अतिरिक्त चार्ज इसकी बाहरी सतह पर दिखाई देता है। बाहरी सतह पर भी आवेश धातु के बाहर आवेश के विद्युत क्षेत्र को बाहरी सतह के किसी भी बिंदु पर रद्द कर देता है, इस प्रकार, इस मामले में गुहा के अंदर विद्युत क्षेत्र शून्य होता है। इसलिए यदि विद्युतीय रूप से संवेदनशील यंत्र को गुहा में रखा जाए तो यह लंबे समय तक सुरक्षित रहेगा।

20. आवेशों का साझा (Sharing Of Charges) :

R_1 व R_2 त्रिज्या के दो चालकीय खोखले गोलीय कोशों पर क्रमशः Q_1 व Q_2 आवेश है तथा अधिक दूरी पर स्थित है, इन्हें एक चालक तार से जोड़ा गया है।

माना गोलों पर अंतिम आवेश q_1 व q_2 है।



दोनों गोलीय कोश का विभव जोड़ने के पश्चात् बराबर है। इसलिए

$$\frac{Kq_1}{R_1} = \frac{Kq_2}{R_2} \Rightarrow \frac{q_1}{R_1} = \frac{q_2}{R_2} \quad \dots(i)$$

$$\text{तथा } q_1 + q_2 = Q_1 + Q_2 \quad \dots(ii)$$

(i) व (ii) से

$$q_1 = \frac{(Q_1 + Q_2)R_1}{R_1 + R_2}; \quad q_2 = \frac{(Q_1 + Q_2)R_2}{R_1 + R_2};$$

$$\text{आवेशों को अनुपात } \frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow \frac{\sigma_1 4\pi R_1^2}{\sigma_2 4\pi R_2^2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\text{पृष्ठ आवेश घनत्वों का अनुपात } \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{अंतिम आवेशों का अनुपात } \frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

21. एकसमान आवेशित छोटी बूंदों को मिलाना (Mixing Of Identical Charged Tiny Drops) :

माना कि, छोटी बूंदों की संख्या = N

[प्रत्येक छोटी बूंद के लिए] [बड़ी बूंद के लिए]

(r, q, σ, E, V) $(R, Q, \sigma_B, E_B, V_B)$



(i) आवेश संरक्षण $Q = Nq$

$$(ii) \text{ द्रव्यमान (आयतन) संरक्षण } N \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$\text{यहाँ } R = N^{1/3} r, \quad Q = Nq$$

$$\therefore \sigma_B = N^{1/3} \sigma, \quad E_B = N^{1/3} E, \quad V_B = N^{2/3} V$$

SOLVED EXAMPLES

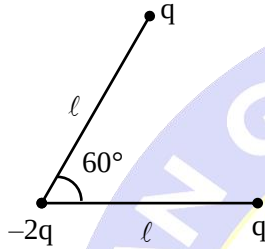
भौतिक विज्ञान

Ex.38 2 मिमी दूरी पर $+5\mu\text{C}$ और $-5\mu\text{C}$ आवेशों द्वारा निर्मित एक विद्युत द्विध्रुव के निकाय का द्विध्रुव आघूर्ण है—

- (1) $2 \times 10^{-8} \text{ Cm}$ (2) $5 \times 10^{-6} \text{ Cm}$
(3) $4 \times 10^{-5} \text{ Cm}$ (4) 10^{-8} Cm

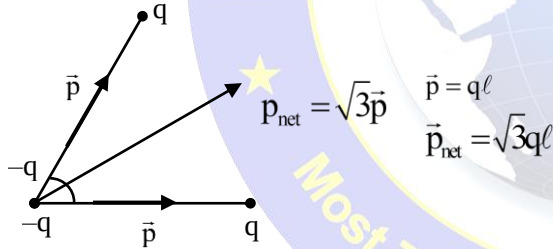
Sol. $\vec{p} = q(2a)$
 $= 5 \times 10^{-6} \times (2 \times 10^{-3}) = 10^{-8} \text{ Cm}$

Ex.39 दी गई व्यवस्था का विद्युत द्विध्रुव आघूर्ण ज्ञात कीजिए।

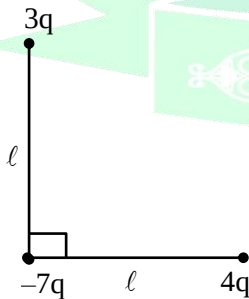


- (1) $\sqrt{3}q\ell$ (2) $\sqrt{5}q\ell$
(3) $2q\ell$ (4) $2\sqrt{3}q\ell$

Sol.

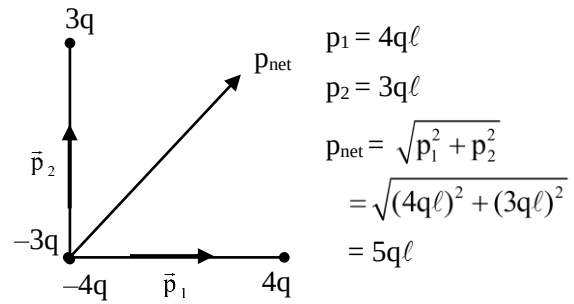


Ex.40 दी गई व्यवस्था का विद्युत द्विध्रुव आघूर्ण ज्ञात कीजिए।



- (1) $\sqrt{3}q\ell$ (2) $\sqrt{5}q\ell$
(3) $5q\ell$ (4) $2\sqrt{3}q\ell$

Sol.



Ex.41 एक छोटे द्विध्रुव की अक्षीय रेखा पर द्विध्रुव के मध्य बिन्दु से r दूरी पर विद्युत क्षेत्र वही है जो इसकी निरक्षीय स्थिति पर द्विध्रुव के मध्य बिन्दु से r' दूरी पर है तो $\frac{r}{r'}$ का अनुपात ज्ञात करो?

- (1) $2^{2/3}$ (2) $2^{4/3}$
(3) $2^{3/4}$ (4) $2^{1/3}$

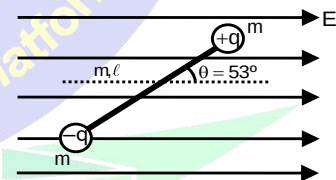
Sol.

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r'^3}$$

or $\frac{2}{r^3} = \frac{1}{r'^3}$ or $\frac{r^3}{r'^3} = 2$

or $\frac{r}{r'} = 2^{1/3}$

Ex.42 दो बिन्दु द्रव्यमान m व समान परिमाण q के विपरीत आवेश, m द्रव्यमान की एक अचालक समरूप छड़ के कोनों पर रखे हैं एवं निकाय को समरूप विद्युत क्षेत्र E में $\theta = 53^\circ$ के कोण से चित्रानुसार छोड़ा जाता है तो —



- (i) छोड़ने के तुरन्त बाद कोणीय त्वरण ज्ञात करो ?
(ii) जब यह स्थायी साम्यावस्था को पार करता है, तब इसका कोणीय वेग क्या होगा?
(iii) इसे 180° से घूर्णन करने के लिये आवश्यक कार्य की गणना करो ?

Sol.

(i) $\tau_{\text{net}} = PE \sin 53^\circ = I \alpha$

$$\alpha = \frac{(q\ell)E \left(\frac{4}{5}\right)}{\frac{m\ell^2}{12} + m\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 + m\left(\frac{\ell}{2}\right)^2} = \frac{48qE}{35m\ell}$$

(ii) ऊर्जा संरक्षण से $K_i + U_i = K_f + U_f$

स्थिरवैद्युतकी (ELECTROSTATICS)

$$0 + (-PE \cos 53^\circ) = \frac{1}{2} I\omega^2 + (-PE \cos 0^\circ) \quad \text{जहाँ}$$

$$I = \frac{m\ell^2}{12} + m\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 + m\left(\frac{\ell}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{48qE}{35m\ell}}$$

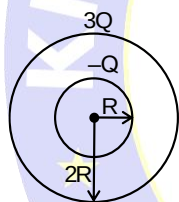
$$(iii) W_{\text{ext}} = U_f - U_i$$

$$W_{\text{ext}} = (-PE \cos(180^\circ + 53^\circ)) - (-PE \cos 53^\circ)$$

$$W_{\text{ext}} = (q\ell)E\left(\frac{3}{5}\right) + (q\ell)E\left(\frac{3}{5}\right) \Rightarrow W_{\text{ext}} =$$

$$\left(\frac{6}{5}\right)q\ell E$$

Ex.43 R तथा 2R त्रिज्याओं के दो चालक खोखले गोलीय कोशों पर आवेश क्रमशः $-Q$ व $3Q$ है। यदि आन्तरिक कोश को भू-सम्पर्कित कर दिया जाये तो पृथ्वी में कितना आवेश प्रवाहित होगा?



$$(1) \frac{Q}{2}$$

$$(3) \frac{Q}{4}$$

$$(2) \frac{3Q}{2}$$

$$(4) \frac{3Q}{4}$$

Sol.

जब आन्तरिक कोश को भू-सम्पर्कित किया जाता है तो आन्तरिक कोश का विभव शून्य हो जाता है क्योंकि पृथ्वी का विभव शून्य माना जाता है।

$$\frac{Kx}{R} + \frac{K3Q}{2R} = 0, x = \frac{-3Q}{2}$$

$$\text{जो चार्ज बढ़ गया है} = \frac{-3Q}{2} - (-Q)$$

$$= \frac{-Q}{2}$$

$$\text{अतः पृथ्वी में प्रवाहित आवेश} = \frac{Q}{2}$$

Ex.44

10^{-9}C का आवेश 2 cm त्रिज्या की प्रत्येक 27 समरूप बूंदों पर स्थित है। उन्हें संयुक्त करके एक बड़ी बूंद बनायी जाती है। इसका विभव ज्ञात कीजिए।

$$(1) 81 \times 10^2 \text{ V} \quad (2) 40.5 \times 10^2 \text{ V} \\ (3) 81 \times 10^3 \text{ V} \quad (4) 20.25 \times 10^2 \text{ V}$$

Sol.

$$V_B = n^{2/3} \times V$$

$$V_B = (27)^{2/3} \times 9 \times 10^9 \times \frac{10^{-9}}{2 \times 10^{-2}}$$

$$V_B = 9 \times 9 \times 10^9 \times \frac{10^{-9}}{2 \times 10^{-2}}$$

$$V_B = \frac{81}{2} \times 10^2 \Rightarrow V_B = 40.5 \times 10^2 \text{ V}$$

विद्युत फ्लक्स (ϕ)

यह सतह से गुजरने वाली विद्युत बल रेखाओं की संख्या को मापता है।

गाउस का नियम;

$$(\phi) = \frac{q_{\text{सतह से घिरा हुआ}}}{\epsilon_0}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{\text{सतह से घिरा हुआ}}}{\epsilon_0}$$

कूलॉम का नियम

दो आवेशित कणों के मध्य बल

$$F = \frac{Kq_1q_2}{r^2} \quad (\text{परिमाण})$$

$$\vec{F} = \frac{Kq_1q_2\vec{r}}{r^3} = \frac{Kq_1q_2\hat{r}}{r^2} \quad (\text{सदिश रूप})$$

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

$$\epsilon_0 = \text{वायु या निर्वात की विद्युतशीलता} = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

विद्युत द्विघुव

विद्युत द्विघुव आघूर्ण $p = q(2\ell)$

यह सदिश राशि है

सामान्य बिंदु पर विद्युत क्षेत्र (r, θ)

ध्रुवीय निर्देशांक

$$E_{\text{कुल}} = \frac{Kp}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2\theta}; \tan\phi = \frac{\tan\theta}{2}$$

$$E_{\text{अक्षीय बिंदु}} = \frac{2Kp}{r^3}$$

$$E_{\text{निखलीय बिंदु}} = \frac{Kp}{r^3}$$

$$V_{\text{सामान्य बिंदु}} = \frac{Kp \cos\theta}{r^2}$$

$$V_{\text{अक्षीय बिंदु}} = \frac{Kp}{r^2}$$

$$V_{\text{निखलीय बिंदु}} = 0$$

$$U_{\text{विद्युत द्विघुव}} = -\vec{p} \cdot \vec{E}; \quad \vec{\tau}_{\text{द्विघुव}} = \vec{p} \times \vec{E}$$

चालक

ऐसा पदार्थ जिसके संयोजी कोश में मुक्त इलेक्ट्रॉन होते हैं चालक कहा जाता है।

- चालक के अंदर, कुल स्थिर वैद्युत क्षेत्र शून्य होता है
- आवेशित चालक की सतह पर, स्थिर वैद्युत क्षेत्र प्रत्येक बिंदु की सतह पर सामान्य होना चाहिए
- स्थिर स्थिति में चालक के अंदर कोई अतिरिक्त आवेश नहीं हो सकता है अर्थात् अतिरिक्त आवेश चालक की बाहरी सतह पर रहते हैं
- आवेशित चालक की सतह पर विद्युत क्षेत्र

$$E = \sigma \epsilon_0 \quad \left(\sigma \propto \frac{1}{\text{वक्र की त्रिज्या}} \right)$$

आवेश के गुणधर्म

आवेश पदार्थ का एक आंतरिक गुण है।

- यह द्रव्यमान पर रहता है।
- आवेश परिमाणित है और आवेश की मात्रा $\pm e$ है
- यह निर्देश तंत्र किसी पर निर्भर नहीं होता है
- आवेश संरक्षित होता है

विद्युत स्थितिज ऊर्जा

स्थानांतरित करने के लिए बाहरी आवेश द्वारा किया गया कार्य स्थितिज विद्युत क्षेत्र में 1 से 2 तक होता है

$$W_{\text{बाह्य}} = \int \vec{F} \cdot d\vec{r} = -q \int \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$U_{\text{बिंदु आवेश के कारण}} = \frac{Kq_1q_2}{r}$$

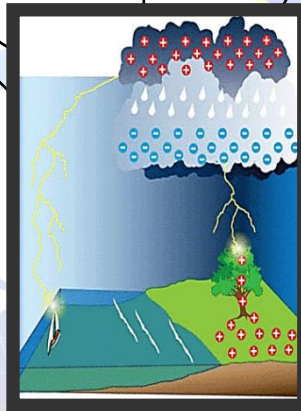
एक की विद्युत स्थितिज ऊर्जा की प्रणाली के आवेश

$$U_{\text{कुल}} = \frac{Kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{Kq_2q_3}{r_{23}} + \frac{Kq_3q_4}{r_{34}} + \dots$$

$$U_{\text{स्क}} (\text{एक समान आवेशित कोश}) = \frac{KQ^2}{2R}$$

$$U_{\text{स्क}} (\text{एक समान आवेशित ठोस गोला}) = \frac{3KQ^2}{5R}$$

विद्युत आवेश



$$E_{\text{बिंदु आवेश के कारण}} = \frac{Kq}{r^2} \quad (\text{परिमाण})$$

$$= \frac{Kq}{r^3} \vec{r} = \frac{Kq}{r^2} \hat{r} \quad (\text{सदिश रूप})$$

$$\vec{E}_{\text{बिंदु आवेश के कारण}} = \frac{Kq}{r} [\cos\theta_1 - \cos\theta_2]$$

$$E_{\perp} \text{ रेखीय आवेश के कारण} = \frac{K\lambda}{r} [\sin\theta_1 + \sin\theta_2]$$

$$= \frac{KQX}{(R^2 + X^2)^{3/2}}$$

$$E_{\perp} \text{ समतल अनंत शीट के कारण} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_{\perp} \text{ आवेशित चालक प्लेट या चालक के कारण विद्युत क्षेत्र} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

आवेशित गोलाकार कोश या चालक के कारण विद्युत क्षेत्र

$$\text{गोला } E(r < R) = 0; E(r > R) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}; E(r = R) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$$

ठोस अचालक गोले के कारण विद्युत क्षेत्र

$$E(r < R) = \frac{KQr}{3\epsilon_0}; E(r > R) = \frac{KQ}{r^2}; E(r = R) = \frac{KQ}{R^2}$$

विद्युत क्षेत्र व विद्युत विभव के मध्य संबंध

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$\text{If } \vec{E} = \text{नियतांक}$$

$$\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{r}$$

विद्युत विभव

विद्युत विभवग 6710

$$V_p = \frac{W_{\text{ext}}(\infty \rightarrow P)}{q} = - \int_{\infty}^P \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$V_{\text{बिंदु आवेश के कारण}} = \frac{Kq}{r}$$

$$V_{\text{बल के केंद्र के कारण}} = \frac{Kq}{r} \quad (\text{समान या असमान})$$

	खोखला चालक	ठोसीय अचालक
(i) अंदर ($r < R$)	$V_p = \frac{Kq}{R}$	$V_p = \frac{Kq}{2R^3} [3R^2 - r^2]$
(ii) बाहर ($r > R$)	$V_p = \frac{Kq}{r}$	$V_p = \frac{Kq}{r}$
(iii) सतह पर ($r = R$)	$V_p = \frac{Kq}{R}$	$V_p = \frac{Kq}{R}$

विद्युत बल रेखाएँ

- यह काल्पनिक बल रेखाएँ होती हैं
- EFL पर स्पर्शरेखा विद्युत क्षेत्र की दिशा बताती है
- यह कभी भी एक-दूसरे को नहीं काटती
- यह चालकीय सतह पर हमेशा सामान्य होती है
- +ve आवेश से उत्पन्न होती है
- -ve आवेश पर समाप्त हो जाती है
- यह कभी भी बंद लूप में नहीं होती