UNIT – 2 Electrostatics

સ્થિર વિદ્યુત

Que. 01. વિદ્યુતભાર\વીજભાર વિષે ટૂંકનોંધ લખો.

Ans: વિદ્યુતભાર એ વિજપદાર્થોની પ્રકૃતિદત્ત લાક્ષણિકતા છે.

આપણે જાણીએ છીએ કે ઇલેક્ટ્રોન, પ્રોટોન અને ન્યૂટ્રોન દ્રવ્યના બંધારણાના મૂળભૂત કણો છે.

ઇલેક્ટ્રોન ઋણ વીજભાર અને પ્રોટોન ધન વીજભાર ધરાવે છે તથા ન્યૂટ્રોન વીજભારની દ્રષ્ટિએ તટસ્થ છે. વિશ્વમાં રહેલું સઘળું દ્રવ્ય એ ધન વીજભારો અને ઋણ વીજભારોનું મિશ્રણ છે.

ઇલેક્ટ્રોનનો વીજભાર $e^- = -1.6 \times 10^{-19}\ Coulomb$ છે.

પ્રોટોન નો વીજભાર $e^- = +1.6 \times 10^{-19}\ Coulomb$ છે.

વીજભારનો એકમ: કુંલંબ જેને C વડે દર્શાવાય છે.

ભૌતિક જગતમાં જોવા મળતા તમામ વીજભારો પૈકી ઇલેક્ટ્રોન એ સૌથી નાનો ઋણ વીજભાર છે.

બે સમાન પ્રકારના વીજભારો વચ્ચે અપાકર્ષી પ્રકારનું વીજબળ લાગે છે જ્યારે બે આસમાન પ્રકારના વીજભારો વચ્ચે આકર્ષી પ્રકારનું વીજબળ લાગે છે.

સમગ્ર બ્રહ્માંડમાં આ બંને પ્રકારના બળો વચ્ચે એક ચોક્કસ પ્રકારનું સંતુલન રહેલું છે.

Que. 02. વિદ્યુતભારીકરણ(ચાર્જીંગ) એટલે શું? પદાર્થોને વિદ્યુતભારિત કરવાની ત્રણ પ્રકીયાઓ આકૃતિ સહીત વર્ણવો.

અથવા

Que. 02. વિદ્યુતભારીકરણ(ચાર્જીંગ) એટલે શું? પદાર્થોને વિદ્યુતભારિત કરવાની ઘર્ષણ(Friction), વહન(Conduction) અને પ્રેરણ(Induction) પ્રકીયાઓ આકૃતિ સહીત વર્ણવો.

Ans.: ચાર્જિંગ (વિદ્યુતભારીકરણ): વિદ્યુતભાર એ પદાર્થનો મૂળભૂત ગુણધર્મ છે. વિદ્યુતભારને એક પદાર્થમાંથી બીજા પદાર્થમાં સ્થાનાંતરિત કરી શકાય છે. સ્થાનાંતરણની આ પ્રક્રિયા દ્વારા વિદ્યુતભાર મેળવવામાં અથવા ગુમાવવામાં આવે છે

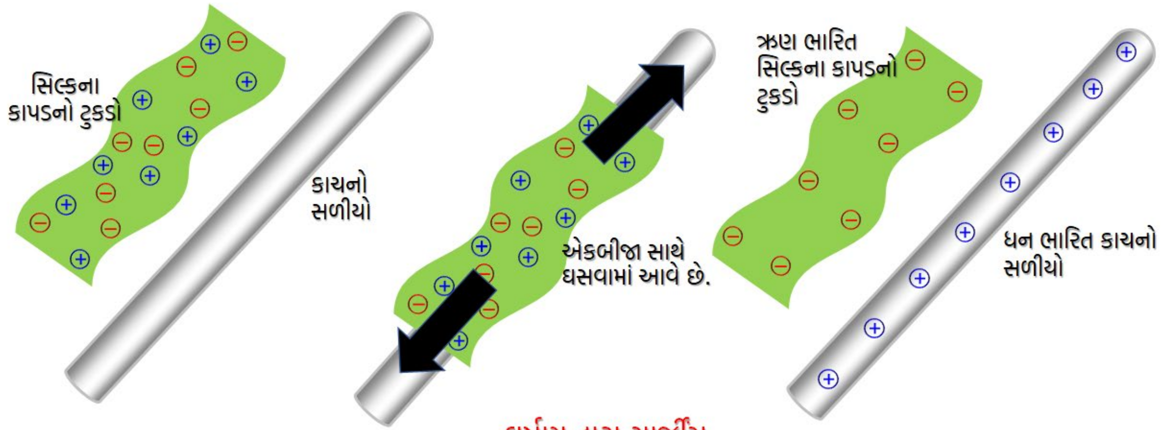
"વિદ્યુતભારને એક પદાર્થમાંથી બીજા પદાર્થમાં સ્થાનાંતરિત કરી વિદ્યુતભાર મેળવવાની કે ગુમાવવાની પ્રક્રિયાને ચાર્જિંગ (વિદ્યુતભારીકરણ) કહે છે."

ચાર્જિંગ નીચેની ત્રણ રીતે કરી શકાય છે:

- ઘર્ષણ દ્વારા
- વહન દ્વારા
- પ્રેરણ (ઇન્ડક્શન) દ્વારા

ઘર્ષણ દ્વારા:

જ્યારે બે વસ્તુઓને એકબીજા સાથે ઘસવામાં આવે છે, ત્યારે તેમની વચ્ચે ઇલેક્ટ્રોન સ્થાનાંતરિત થાય છે, અને તે ચાર્જ થાય છે. ઉપરાંત, જ્યારે રબરના ફુગ્ગાને પ્રાણીજ રૂંવાટી સાથે ઘસવામાં આવે છે, ત્યારે પ્રાણીની રૂંવાટી ઈલેક્ટ્રોન ગુમાવે છે પરિણામે તે ધન વિદ્યુતભારિત બને છે અને રબરનો ફુગ્ગો પ્રાણીજ રૂંવાટીમાંથી ઇલેક્ટ્રોનને મેળવે છે પરિણામે, રબર નો ફુગ્ગો ઋણભારિત બને છે. આવા પદાર્થોને વિદ્યુતભારિત પદાર્થો તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.



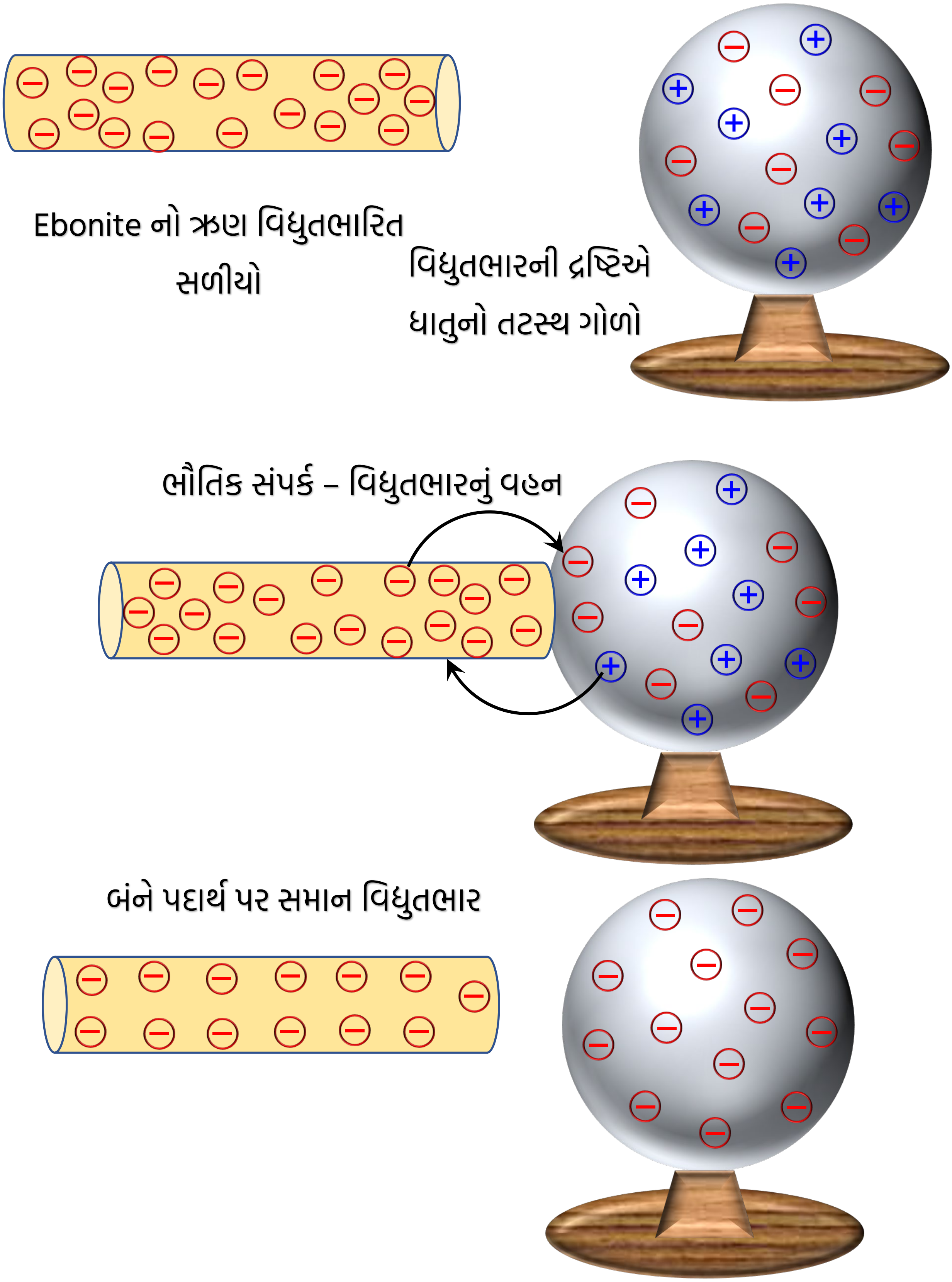
ઘર્ષણ દ્વારા ચાર્જીંગ

વહન દ્વારા:

વિદ્યુતભારિત ન હોય તેવા પદાર્થને વિદ્યુતભારિત કરેલા પદાર્થના ભૌતિક સંપર્કમાં લાવી વિદ્યુતભારિત કરવાની પદ્ધતિને વહન દ્વારા ચાર્જ કરવાની પદ્ધતિ કહે છે. આ પ્રકિયામાં બે પદાર્થોનો ભૌતિક સંપર્ક (સ્પર્શ) જરૂરી છે.

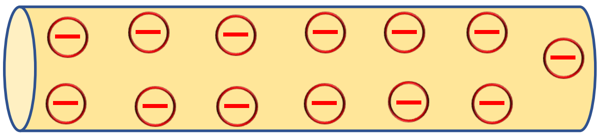
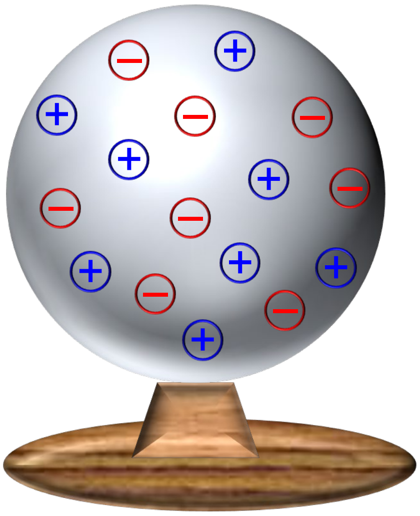
વિદ્યુતભારિત પદાર્થમાં પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અસમાન હોય છે જ્યારે વિદ્યુતભારિત ન હોય તેવા એટલે કે વિદ્યુતભારની દ્રષ્ટીએ તટસ્થ હોય એવા પદાર્થમાં પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા સમાન હોય છે. જ્યારે વિદ્યુતભારિત ન હોય તેવા પદાર્થને વિદ્યુતભારિત પદાર્થની નજીક

લાવવામાં આવે છે, ત્યારે તે પોતાના વિદ્યુતભારને સંતુલિત કરવા માટે ઇલેક્ટ્રોનને વહન દ્વારા બીજા પદાર્થને આપે છે.
નીચે આપેલી આકૃતિમાં વહન દ્વારા ચાર્જિંગ દર્શાવવામાં આવ્યું છે.

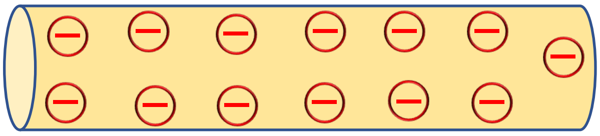
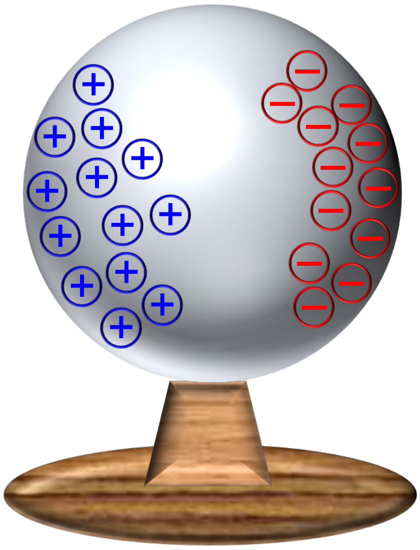


પ્રેરણ (ઇન્ડક્શન) દ્વારા: કોઈ પણ ભૌતિક સંપર્ક વિના વિદ્યુતભારિત પદાર્થની નજીક લાવીને અન્ય પદાર્થને વિદ્યુતભારિત કરવાની પ્રક્રિયાને પ્રેરણ (ઇન્ડક્શન) દ્વારા ચાર્જિંગ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

આ પ્રકિયામાં એક વિદ્યુતભારિત પદાર્થને વિદ્યુતભારની દ્રષ્ટીએ તટસ્થ હોય એવા પદાર્થ સાથે સંપર્ક ન થાય એ રીતે નજીક લાવવામાં આવે છે. વિદ્યુતભારિત પદાર્થમાં રહેલા વિદ્યુતભારને કારણે તટસ્થ પદાર્થમાં રહેલા વિદ્યુતભારો પર બળ લાગે છે. આથી આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ઋણભારિત સળીયાને એક અવાહક પદાર્થના બનેલા સ્ટેન્ડ પર રાખેલા ધાતુના ગોળાની નજીક લાવવામાં આવે ત્યારે ગોળાના ઋણ વિદ્યુતભાર પર અપાકર્ષણ બળ લાગે છે. આ ગોળાને જો અર્થિંગ સાથે જોડી દેવામાં આવે તો આ ગોળા પર રહેલો ઋણ વિદ્યુતભાર વહન પામી જાય છે.

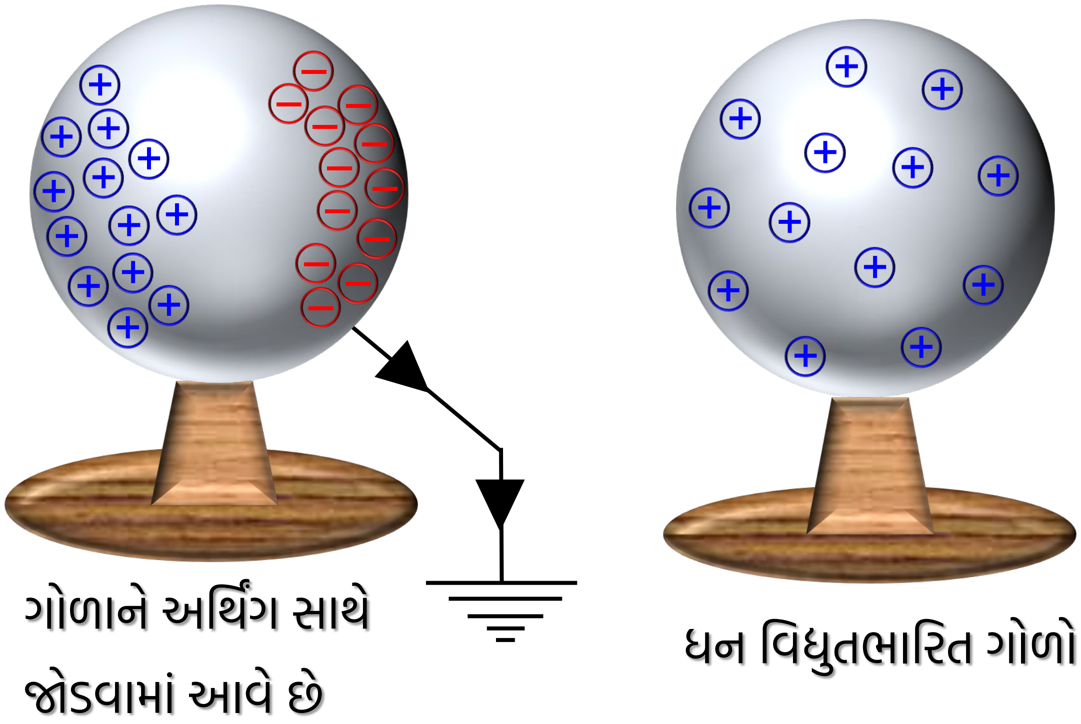



વિદ્યુતભારિત સળીયાને તટસ્થ ગોળાની નજીક (સંપર્ક ન થાય એ રીતે) લાવવામાં આવે છે.

અસામાન પ્રકારના વિદ્યુતભરો વચ્ચે આકર્ષણ થાય છે.

આમ, ગોળા પર માત્ર ધન વિદ્યુતભાર જ રહી જવા પામે છે.આમ, પ્રેરણ (ઇન્ડકશન) ની પ્રક્રિયાથી પણ પદાર્થોને વિદ્યુતભારિત કરી શકાય છે.



Que. 03. કુલંબના નિયમનું વિધાન લખો અને બે સ્થિર વિદ્યુતભારો વચ્ચે લાગતા વિદ્યુતબળનું સૂત્ર તારવો.

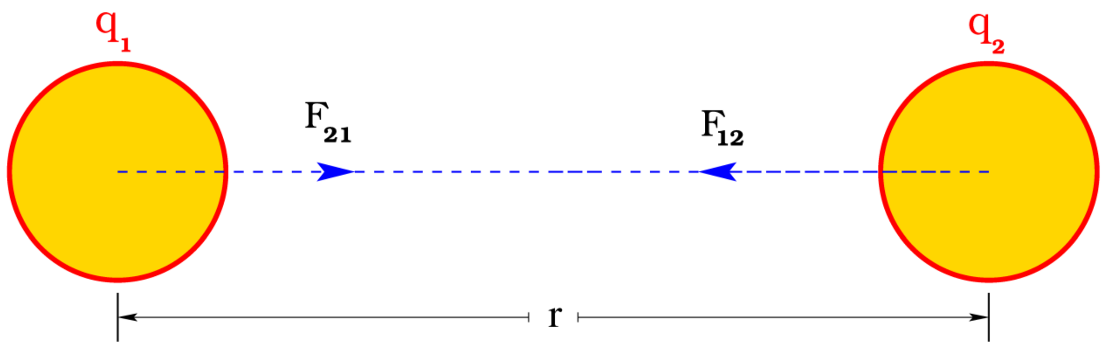
અથવા

Que. 03. બે સ્થિર વિદ્યુતભારો વચ્ચે લાગતા અંતરના વર્ગના વ્યસ્તનો નિયમ લખો અને તેનું સૂત્ર તારવો.

Ans.: વિદ્યુતભારો એકબીજા સાથે કેવી રીતે આંતરક્રિયા કરે છે તે અંગેનો નિયમ ઇ.સ. 1785 માં ચાર્લ્સ ઑગસ્ટિન ડી કુલંબ નામના વૈજ્ઞાનિકે રજૂ કર્યા હતો.

વિધાન: "બે સ્થિર બિંદુવત વિદ્યુતભારો વચ્ચે લાગતું કુલંબ બળ તે બે વિદ્યુતભારોના વીજભારના ગુણાકારના સમપ્રમાણમાં અને તેમના વચ્ચેના અંતરના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે."

એક વિદ્યુતભાર વડે બીજા વિદ્યુતભાર પર લાગતું બળ તે બે વિદ્યુતભારોને જોડતી રેખા પર લાગતું હોય છે.



Coulomb's Law

બે વિદ્યુતભારો વચ્ચે લાગતું વિદ્યુતબળ એ વિદ્યુતભારોના ગુણાકારના સમપ્રમાણમાં ચલે છે.

$$\vec{F} \propto q_1 \times q_2$$

આ ઉપરાંત વિદ્યુતબળ એ વિદ્યુતભારો વચ્ચેના અંતરના વર્ગના વ્યસ્તપ્રમાણમાં ચલે છે.

જો બે વિદ્યુતભારો અનુક્રમેq_1 અને q_2 વચ્ચેનું અંતર r હોય તો તેમની વચ્ચે લાગતું કુંલંબ બળ,

$$\vec{F} \propto \frac{1}{r^2}$$

ઉપરની બંને બાબતોને સાથે દર્શાવતાં,

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

સમપ્રમાણતાનો અચળાંક k લેતાં,

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

અહીં $k = 9 \times 10^9\ Nm^2C^{-2}$

હવે $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ લેતાં,

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

જ્યાં ϵ_0 એ શૂન્યાવકાશની પારગમ્યતા (Permittivity of free space) છે.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$$

જ્યારે બે વિદ્યુતભારો શૂન્યાવકાશને બદલે અવાહક માધ્યમમાં હોય ત્યારે તે માધ્યમની પારગમ્યતા ϵ લેવી જોઈએ.

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

જ્યારે આપેલ વિદ્યુતભારો માટે કુલંબ બળની નિશાની ઋણ મળે ત્યારે તે બળ આકર્ષી પ્રકારનું અને જ્યારે બળની નિશાની ધન મળે અપાકર્ષી પ્રકારનું હોય છે.

યાદ રાખો:

q_1	q_2		F	બળનો પ્રકાર
+	+		+	અપાકર્ષી
+	−	⇒	−	આકર્ષી
−	+		−	આકર્ષી
−	−		+	અપાકર્ષી

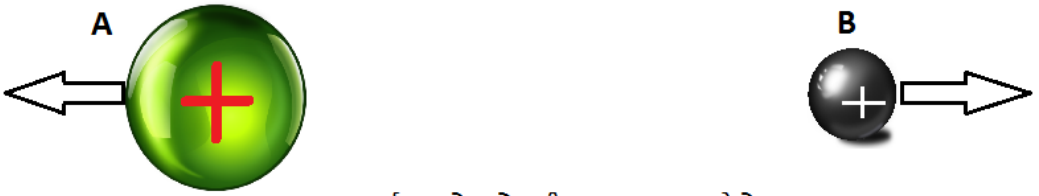
Que. 04. વિદ્યુતક્ષેત્રની પરિકલ્પના વિષે સમજાવો. તેનો SI એકમ લખો.

Ans.: જ્યારે બે વિદ્યુતભારો એકબીજા પર કુલંબ બળ લગાડે છે ત્યારે એક વિદ્યુતભાર q_1 કેવી રીતે જાણે છે કે તેનાથી r અંતરે બીજો વિદ્યુતભાર q_2 રહેલો છે?

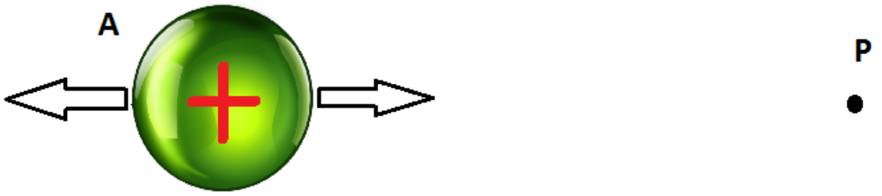
આ પ્રશ્નના જવાબ માટે આપણે કુલંબનાં નિયમને અલગ રીતે રજૂ કરવો જરૂરી બને છે. જે માટે વિદ્યુતક્ષેત્ર નામની નવી વિચારધારની જરૂર પડશે.

આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બે ધન વિદ્યુતભારિત પદાર્થો A અને B એકબીજાથી r અંતરે રાખેલા છે. ધારો કે ધન વિદ્યુતભારિત પદાર્થ A વડે B પર લાગતું વિદ્યુતબળ $\vec{F}$ છે. હવે જો પદાર્થ B ને દૂર કરી તે સ્થાનને બિંદુ P કહીએ. આકૃતિ પરથી કહી શકાય કે ધન વિદ્યુતભારિત પદાર્થ A એ બિંદુ P આગળ વિદ્યુત ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. વિદ્યુતભારિત પદાર્થ A ના લીધે જો બિંદુ P આગળ કોઈ જ વિદ્યુતભાર ના હોય તો પણ તે બિંદુએ વિદ્યુત ક્ષેત્ર ઉત્પન્ન થાય છે. હવે જો P બિંદુ આગળ કોઈ સંદર્ભ વિદ્યુતભાર q_0 મૂકવામાં આવે તો તે $\vec{F}$ જેટલું કુલંબ બળ અનુભવશે. આથી કહી શકાય કે સંદર્ભ વિદ્યુતભાર q_0 ને થતી વિદ્યુતભારિત પદાર્થ A ની ઉપસ્થિતિની અનુભૂતિ વિદ્યુતક્ષેત્ર વડે થાય છે.

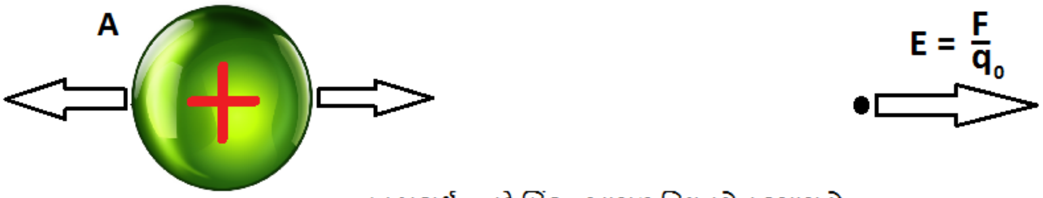
" વિદ્યુતભારીત પદાર્થ પર લાગતું વિદ્યુતબળ એ બીજા વિદ્યુતભારિત પદાર્થ વડે ઉત્પન્ન થતા વિદ્યુતક્ષેત્રની અસર હોય છે."



(a) પદાર્થ A અને B એક બીજા પર બળ લગાડે છે.



(b) Test Charge B ને દુર કરતાં



(c) પદાર્થ A વડે બિંદુ P આગળ વિદ્યુતક્ષેત્ર રચાય છે.

વ્યાખ્યા: અવકાશમાં કોઈ બિંદુએ પ્રવર્તતું વિદ્યુતક્ષેત્ર, તે બિંદુએ રાખેલા એકમ વિદ્યુતભાર પર લાગતું બળ છે.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}$$

SI પધ્ધતિમાં બળનો એકમ ન્યુટન અને વિદ્યુતભારનો એકમ કુલંબ લેતાં વિદ્યુતક્ષેત્રનો એકમ

$$\frac{Volt}{meter} = \frac{Newton}{Coulomb} \quad or \quad \frac{V}{m} = \frac{N}{C}$$

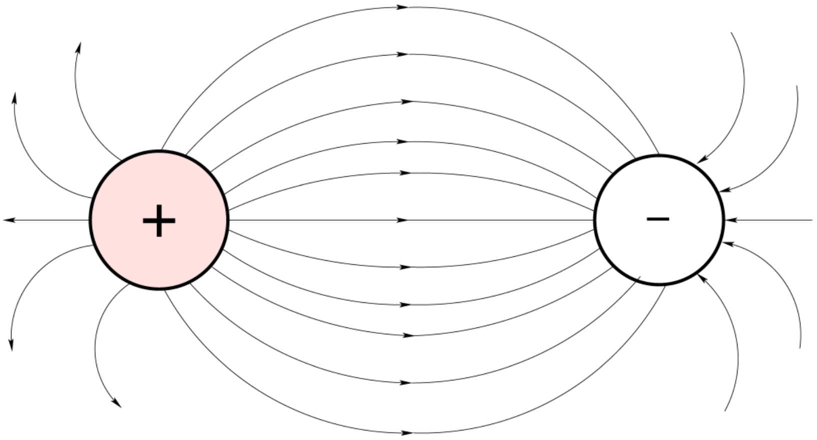
વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશા એ સંદર્ભ વિદ્યુતભાર પર આધાર રાખે છે. જેમ કે સંદર્ભ વિદ્યુતભાર ધન હોય તો બળ અને વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશા સમાન હોય છે, પરંતુ જો સંદર્ભ વિદ્યુતભાર ઋણ હોય તો બળ અને વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશા વિરુધ્ધ હોય છે.

Que. 05. વિદ્યુતક્ષેત્રની લાક્ષણિકતાઓ\ગુણધર્મોની યાદી બનાવો.

Ans: લાક્ષણિકતાઓ\ગુણધર્મો:

યાદ રાખો: (અંદર, બહાર, વચ્ચે ×, સંખ્યા, સ્પર્શક, છેદતી ×, સમાંતર, બંધ ગાળો, વિદ્યુતસ્થિતિમાન, વાહક, લંબ, પસાર, કાલ્પનિક)

1. ઋણ વિદ્યુતભારોની બળરેખાઓ હંમેશા વિદ્યુતભાર તરફ એટલે કે અંદર જતી બાજુએ હોય છે.
2. ધન વિદ્યુતભારોની બળરેખાઓ હંમેશા વિદ્યુતભારથી બહાર નીકળતી બાજુએ હોય છે.
3. આ બળરેખાઓ ક્યારેય પણ વચ્ચેથી શરૂ કે અંત પામતી નથી.
4. ધન વિદ્યુતભારમાથી નીકળતી બળ રેખાઓની સંખ્યા અથવા ઋણ વિદ્યુતભારમાં દાખલ થતી બળ રેખાઓની સંખ્યા જે તે વિદ્યુતભારના મૂલ્યના સમપ્રમાણમાં હોય છે.



5. વિદ્યુતક્ષેત્રની બળ રેખાઓને કોઇ બિંદુએ જો સ્પર્શક દોરવામાં આવે તો તે સ્પર્શક તે બિંદુએ વિદ્યુતક્ષેત્રની ની દિશા બતાવે છે. જો વિદ્યુતભારને મુક્ત છોડી દેવામાં આવે તો તે આ સ્પર્શકની દિશામાં સુરેખ માર્ગે ગતિ કરશે.
6. વિદ્યુતક્ષેત્રની બે રેખાઓ ક્યારેય એકબીજાને પરસ્પર છેદતી નથી. કારણ કે આમ થવાથી તે છેદનબિંદુએ બે સ્પર્શકો દોરી શકાય જે એક જ બિંદુએ વિદ્યુતક્ષેત્રની બે અલગ અલગ દિશાઓ બતાવશે. જે ભૌતિકશાસ્ત્રના નિયમો સાથે અસંગત છે.
7. એકરૂપ ક્ષેત્ર (Uniform Field) ની બળ રેખાઓ એકબીજાને સમાંતર અને એકબીજાથી સરખા અંતરે (Uniformly Spaced) આવેલી હોય છે.
8. વિદ્યુત ક્ષેત્રની બળરેખાઓ ક્યારેય બંધ ગાળો (Closed Loop) રચતી નથી. કારણ કે બળ રેખાઓ ક્યારેય એક જ વિદ્યુતભાર પરથી શરૂ થઇ તે જ વિદ્યુતભાર પર અંત પામતી નથી.

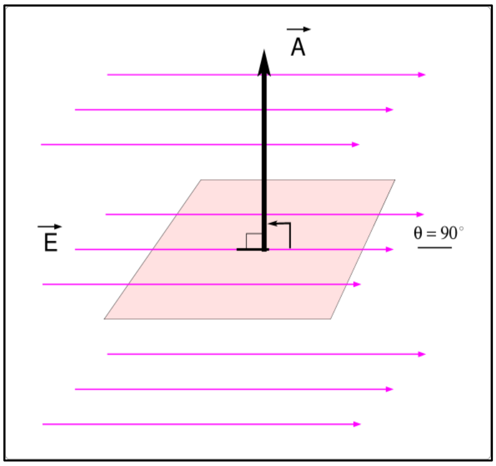
9. વિદ્યુત ક્ષેત્રની બળ રેખાઓ હંમેશા ઊંચા વિદ્યુતસ્થિતિમાનથી નીચા વિદ્યુતસ્થિતિમાન તરફ વહે છે.
10. વિદ્યુત ક્ષેત્રની બળ રેખાઓ સામાન્ય રીતે વાહક પદાર્થની સપાટી પરથી શરૂ થાય છે તેમજ અંત પણ પામે છે.

11. વિદ્યુતક્ષેત્રની બળ રેખાઓ વાહકની સપાટીને લંબરૂપે દાખલ થાય અથવા બહાર નીકળે છે.
12. વિદ્યુતક્ષેત્રની બળ રેખાઓ વિદ્યુત ભારની સપાટીને લંબરૂપ હોય છે.
13. વિદ્યુતક્ષેત્રરેખાઓ માટે વાહકમાંથી પસાર થવું શક્ય નથી કારણ કે, વાહકની અંદર, વિદ્યુતક્ષેત્ર હંમેશા શૂન્ય હોય છે.
14. વિદ્યુતક્ષેત્રની બળરેખાઓ કાલ્પનિક રેખાઓ છે, જે વિદ્યુતક્ષેત્રની દૃશ્યમાન રજૂઆત છે. સૌથી વધુ વિદ્યુતભાર ધરાવતી પદાર્થોની આસપાસ વિદ્યુતક્ષેત્રરેખાઓ સૌથી વધુ ગીચ હોય છે.

Que. 06. વિદ્યુતફ્લક્ષની વ્યાખ્યા આપી સમજાવો અને તેનો SI એકમ લખો.

Ans: ફ્લક્સ એ લેટિન ભાષાનો શબ્દ છે જેનો અર્થ થાય છે "વહેવું". આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ એકરૂપ વિદ્યુત ક્ષેત્રને લંબ A જેટલું ક્ષેત્રફળ ધરાવતું પૃષ્ઠ કલ્પો.

હવે એકમ ક્ષેત્રફળ ધરાવતા પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતી વિદ્યુતક્ષેત્રની બળ રેખાઓ પ્રવર્તતા વિદ્યુતક્ષેત્રના સમપ્રમાણમાં હોય છે.



$$\frac{N}{A} \propto E$$

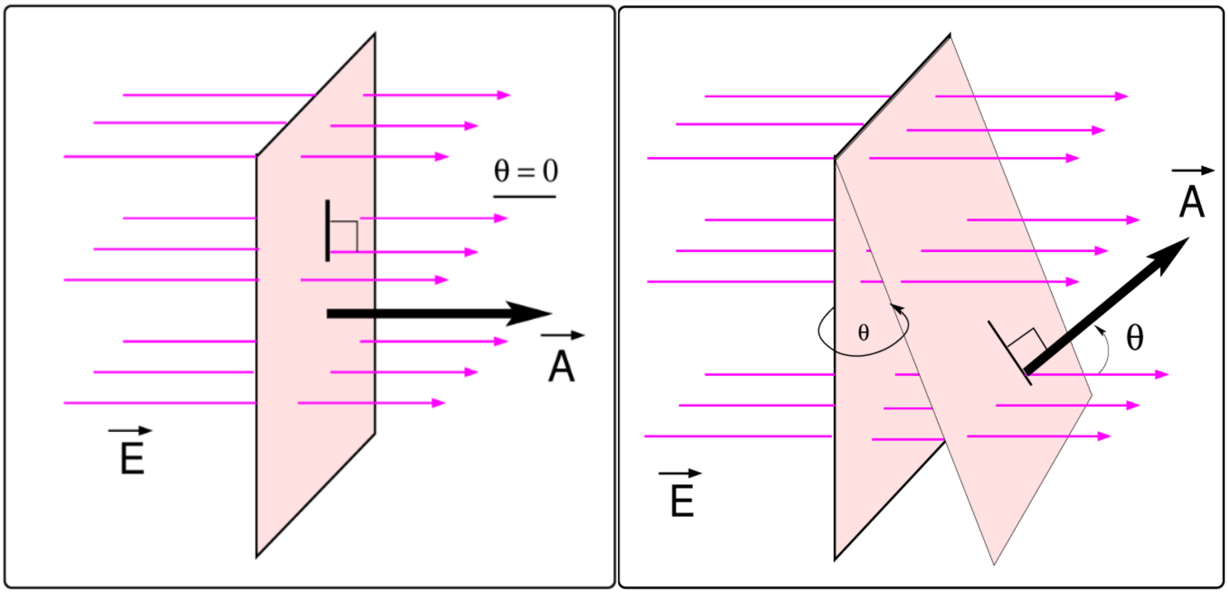
$$\therefore N \propto EA$$

અહીં રાશિ EA ને ફલક્સ કહે છે જેને ϕ વડે દર્શાવાય છે. આમ, $EA = \phi$.

વ્યાખ્યા: વિદ્યુતક્ષેત્રમાં કોઈ બિંદુએ રહેલા એકમ આડછેદ ધરાવતા પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતી બળ રેખાઓની સંખ્યાને તે બિંદુ આગળનું ફલક્સ કહે છે.

હવે જો આપેલ પૃષ્ઠ વિદ્યુતક્ષેત્રને લંબ ન હોય તો બાજુની આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ આપેલ પૃષ્ઠમાંથી પસાર થતી બળરેખાઓની સંખ્યા ઘટશે. જો આપેલ પૃષ્ઠ વિદ્યુત ક્ષેત્ર સાથે θ ખૂણો બનાવતું હોય તો પૃષ્ઠના બે ઘટકો ધ્યાનમાં લેવા પડે. જેમાંનો એક ઘટક જે વિદ્યુતક્ષેત્રને સામાંતર

છે, અને બીજો ઘટક વિદ્યુતક્ષેત્રને લંબ છે. સમક્ષિતિજ ઘટકનું ફ્લક્સમાં યોગદાન શૂન્ય છે કારણ કે પૃષ્ઠની એક કિનારીમાંથી જેટલું ફ્લક્સ દાખલ થાય છે તેટલું જ ફ્લક્સ બીજી કિનારીથી પૃષ્ઠમાંથી બહાર જાય છે. આમ માત્ર પૃષ્ઠનો લંબ દિશાનો ઘટક જ ધ્યાનમાં લેવામાં આવે છે.



$$\phi = EA\, cos\theta$$

$$\therefore \phi = (Ecos\theta)A$$

$$\therefore \phi = E_{\perp}\, A$$

અહીં $E_{\perp}$ એ વિદ્યુતક્ષેત્રનો લંબ ઘટક છે. આ સમીકરણને સદિશ સ્વરૂપે લખતાં,

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

બે સદિશ રાશીઓનો અદિશ સ્વરૂપ ગુણાકાર (Dot Product) નું મૂલ્ય આદિશ રાશિ મળે. તેનો SI એકમ $N \cdot m^2/C$ જેને Weber (વેબર) પણ કહે છે.

$$1\, Wb = 1\, N \cdot m^2/C$$

Que. 07. વિદ્યુતસ્થિતિમાન એટલે શું? તેની વ્યાખ્યા આપી વિદ્યુતસ્થિતિમાન સમજાવો અને તેનો SI એકમ લખો.

અથવા

વોલ્ટેજ \ પોટેન્શિયલ એટલે શું? તેની વ્યાખ્યા આપી પોટેન્શિયલ ડિફરન્સ સમજાવો અને તેનો SI એકમ લખો.

Ans: આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એકબીજાને સમાંતર રાખેલી બે વિજભારિત પ્લેટો E જેટલા મૂલ્યનું સમાન (Uniform) વિદ્યુતક્ષેત્ર ઉત્પન્ન કરે છે. આ બે પ્લેટ વચ્ચે જો કોઈ ધન વિજભાર q_0 રાખવામા આવે તો આ વિજભાર પર લાગતું બળ

$$F = q_0 E$$

આ બળની અસર હેઠળ આ વિજભાર ઉપરથી નીચેની તરફ ગતિ કરે છે. સરળ શબ્દોમાં રજૂ કરીએ તો આ ધન વિજભાર એ નીચેની ઋણ વિજભારિત પ્લેટ તરફ આકર્ષાય છે. આમ, આ વિજભાર બિંદુ a થી બિંદુ b સુધી ગતિ કરી d જેટલું અંતર કાપે છે. આમ, વિદ્યુત ક્ષેત્ર વડે થતું કાર્ય,

$$W_{a\to b} = Fd = q_0 Ed$$

જો પદાર્થ કણનું સ્થાનાંતર અને બળની દિશા સમાન હોય તો થયેલ કાર્યનું મૂલ્ય ધન લેવામાં આવે છે.

$$\frac{W_{a\to b}}{q_0} = Ed = V$$

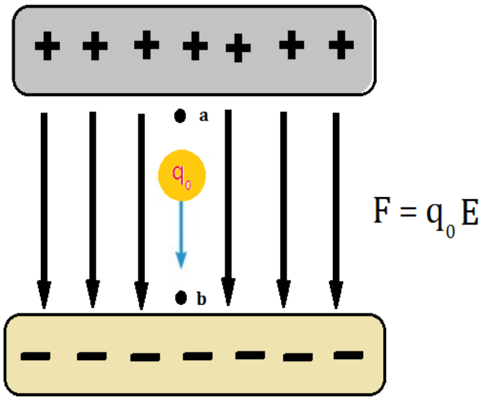
જ્યાં V ને બે બિંદુ વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત અથવા પોટેન્શિયલ (અથવા વોલ્ટેજ) કહે છે. તેનો એકમ વૉલ્ટ અથવા જૂલ/કુંલંબ છે.

$$1V = J/C$$

વિદ્યુતસ્થિતિમાન: એકમ ધન વિજભારને અનંત અંતરેથી વિદ્યુતક્ષેત્રની હાજરીમાં આપેલા બિંદુ સુધી લાવવા માટે કરવા પડતાં કાર્યને તે બિંદુ આગળનું વિદ્યુતસ્થિતિમાન કહે છે.

$$\frac{W_{\infty\to a}}{q_0} = V$$

વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત: વિદ્યુતક્ષેત્રની હાજરીમાં એકમ ધન વિજભારને કોઈ એક બિંદુથી આપેલા બિંદુ સુધી લાવવા માટે કરવા પડતાં કાર્યને તે બે બિંદુ વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત કહે છે.



આમ, વિદ્યુતક્ષેત્રમાં કોઈ બિંદુ આગળનું વિદ્યુતસ્થિતિમાન,

$$V = E * r = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{Q}{r^2} * r$$

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

Electrical circuits માં બે બિંદુ વચ્ચેના વિદ્યુતસ્થિતિમાનના તફાવતને વૉલ્ટેજ પણ કહે છે. આપણાં રોજીંદા વપરાશમાં લેવાતા પેન્સિલ સેલ, બટન સેલ 1.5 volts જેટલું વિદ્યુતસ્થિતિમાન ધરાવે છે, અર્થાત તેના ધન અને ઋણ છેડા (Terminal) વચ્ચેનો વિદ્યુત સ્થિતિમાનનો તફાવત

નોંધ: અહીં વિદ્યુતસ્થિતિમાન ને વોલ્ટેજ પણ કહે છે જે એક સાધિત ભૌતિક રાશી છે અને તેનો એકમ વૉલ્ટ છે.

વિદ્યુત સ્થિતિમાન નો ઉપયોગ જ્યારે સર્કીટમાં કરવામાં આવે છે ત્યારે તેના માટે વૉલ્ટેજ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. દાખલા ગણી વખતે આપણે તેના સૂત્રને આ મુજબ લખીશું.

$$V = E * r = E * d$$

અથવા,

$$E = \frac{V}{d}$$

અહીં r અથવા d એ ઊંચા વિદ્યુતસ્થિતિમાન અને નીચા વિદ્યુત સ્થિતિમાન વચ્ચેનું અંતર છે.

1.5 volts જેટલો હોય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો જો ઋણ છેડાનું વિદ્યુતસ્થિતીમાન શૂન્ય લઇએ તો ધન છેડામાંથી નીકળતા ઇલેક્ટ્રોન 1.5 volts જેટલું વિદ્યુતસ્થિતીમાન ધરાવે છે.

Que. 08. કેપેસીટર એટલે શું? તેનું સૂત્ર લખો અને તેનો SI એકમ લખો.

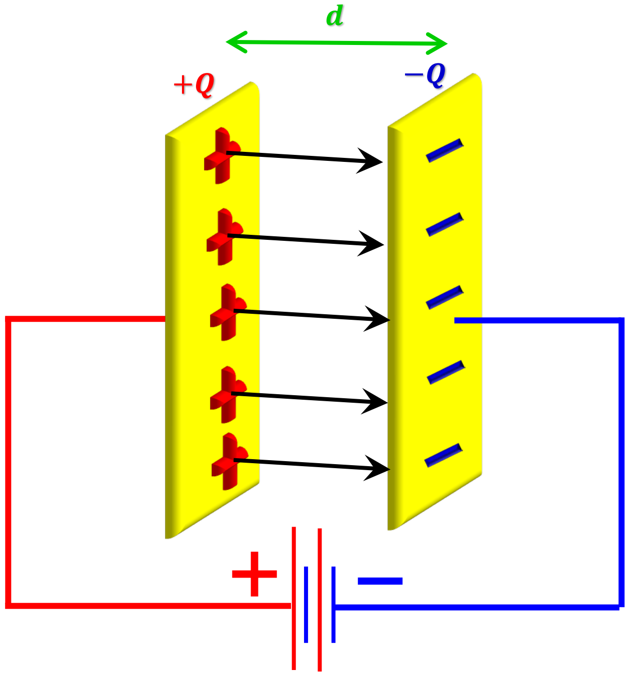
Ans: આપણે જાણીએ છીએ કે ઈલેક્ટ્રીકલ\ઇલેક્ટ્રોનીક્સ પરિપથમાં બહોળા પ્રમાણમાં વપરાતા અવરોધનું કાર્ય ઉર્જાનો વ્યય કરવાનું છે.!!

પરંતું કેપેસીટર એક એવી રચના છે જે ઉર્જાનો સંચય કરે છે અને જરૂરીયાતના સમયે આ સંગ્રહાયેલી ઉર્જાનો પરિપથમાં ઉપયોગ કરી શકાય છે.

કેપેસીટર: કેપેસીટર એ વિદ્યુતક્ષેત્રના સ્વરૂપમાં ઉર્જાનો સંગ્રહ કરતી એક રચના છે.

વ્યાખ્યા: એકબીજાથી ચોક્કસ અંતરે ધાતુની બે પ્લેટ વચ્ચે ડાઈ-ઇલેક્ટ્રિક પદાર્થ મુકીને બનાવાતી સંયુક્ત રચનાને કેપેસીટર કહે છે.

આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ જયારે કેપેસીટરને એક બેટરી સાથે જોડવામાં આવે ત્યારે બેટરીના ઋણ છેડા પરથીં ઈલેક્ટ્રોન કેપેસીટરની ઋણ પ્લેટ પર જમા થાય છે. જે સામેની ધાતુની પ્લેટમાં રહેલા ઈલેક્ટ્રોન પર અપાકર્ષી વિધુતબળ લગાડે છે આથી આ પ્લેટ પરથી ઈલેક્ટ્રોન બેટરીમાં પરત ફરે છે અને તે પ્લેટ ધન વિધુતભારિત બને છે. આમ, કેપેસીટરની બે પ્લેટ પર ધીમે ધીમે વિધુતભાર જમા થાય છે જે આખરે એક બેટરીની માફક વર્તે છે. જો આ "બેટરી" નો વોલ્ટેજ V અને પ્લેટ પર જમા વિધુતભાર Q લઈએ તો,



$$Q \propto V$$

અર્થાત જેમ જેમ બે પ્લેટ પર જમા થતા વિધુતભારનું મુલ્ય વધે છે તેમ તેમ તેના વિધુતસ્થિતિમાન એટલે કે વોલ્ટેજનું મુલ્ય વધે છે.

સમપ્રમાણતા દુર કરતાં,

$$Q = kV$$

અહીં સમપ્રમાણતાનાં અચળાંક k ને C વડે દર્શાવવામાં આવે છે, જેને કેપેસીટરનું કેપેસીટન્સ કહે છે.

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

ઉપરોક્ત સમીકરણ દર્શાવે છે કે કોઈ પણ કેપેસીટર માટે તેની પ્લેટ પર જમા વિધુતભાર અને તેની બે પ્લેટ વચ્ચે ઉદ્ભવતા વિધુતસ્થિતિમાન (વોલ્ટેજ) નો ગુણોત્તર હંમેશા અચળ રહે છે.

આમ, કેપેસીટન્સનું મુલ્ય એ તેની પ્લેટ પરના વિધુતભાર કે તેને આપવામાં આવતા વોલ્ટેજ પર આધાર રાખતું નથી.

(જેમ 1 લીટર કદ ધરાવતી પાણીની બોટલમાં જેમ જેમ પાણી ઉમેરવામાં આવે તેમ તેમાં પાણીનું લેવલ વધે છે. પરંતુ બોટલનું કદ કે જે 1 લીટર છે તે બદલાતું નથી.)

Que. 09. સમાંતર પ્લેટ કેપેસીટર સમજાવો અને તેનું સૂત્ર તારવો.

Ans: અહીં દર્શાવેલ આકૃતિ મુજબ કેપેસીટરની A જેટલું ક્ષેત્રફળ ધરાવતી બે પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર d છે. કેપેસીટરની એક પ્લેટ ધન વિદ્યુતભાર અને બીજી પ્લેટ સમાન મુલ્યનો ઋણ વિદ્યુતભાર ધરાવે છે. આપણે જાણીએ છીએ કે વિદ્યુતભારોની આસપાસ વિદ્યુતક્ષેત્ર રચાયેલું હોય છે જેને બળરેખાઓ વડે દર્શાવી શકાય છે.

ધારો કે ધન અને ઋણ પ્લેટ પર જમા વિદ્યુતભાર $+Q$ અને $-Q$ છે.

હવે A જેટલું ક્ષેત્રફળ ધરવતી ધન વિદ્યુતભારિત પ્લેટ પર વિદ્યુતભાર ઘનતા,

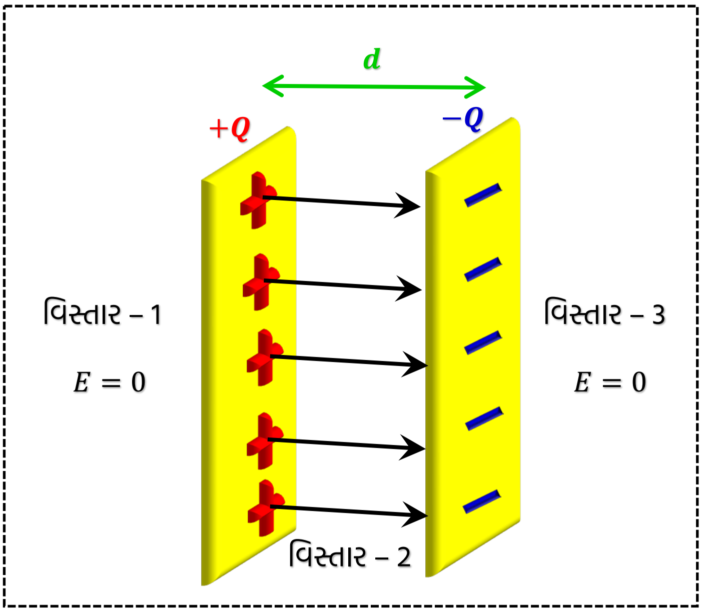
$$\sigma = \frac{Q}{A} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ઋણ વિદ્યુતભારિત પ્લેટ પર વિદ્યુતભાર ઘનતા,

$$\sigma = -\frac{Q}{A} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

જો ક્ષેત્રફળની સાપેક્ષે તેમની વચ્ચેનું અંતર ખુબ નાનું હોય તેવા કિસ્સમાં $(A \gg d)$, પ્લેટ વડે રચાતું વિદ્યુતક્ષેત્ર,

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$



હવે વિસ્તાર – 1 માં, ધન અને ઋણ પ્લેટ વડે રચાતા વિદ્યુતક્ષેત્ર પરસ્પર વિરુધ દિશાના અને સમાન મુલ્યના હોવાથી,

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \left(-\frac{\sigma}{2\epsilon_0}\right) = 0$$

આવી રીતે વિસ્તાર – 3 માં પણ,

$$E_3 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \left(-\frac{\sigma}{2\epsilon_0}\right) = 0$$

વિસ્તાર – 2 માં બંને પ્લેટ વડે રચાતા વિદ્યુતક્ષેત્રની દિશાઓ સમાન હોવાથી,

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

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

આપણે જાણીએ છીએ કે d જેટલા અંતરે રહેલી વિદ્યુતભારિત પ્લેટ વડે જો E જેટલું વિદ્યુતક્ષેત્ર રચાતું હોય તો તેમની વચ્ચે ઉદ્ભવતું વિદ્યુતસ્થિતિમાન (પોટેન્શિયલ),

$$V = E \cdot d$$

$$V = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \times d \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

હવે વિદ્યુતભાર ઘનતા $\sigma = \frac{Q}{A}$ નું મુલ્ય ઉપરોક્ત સમીકરણ (5) માં મુકતાં,

$$V = \frac{\frac{Q}{A}}{\epsilon_0} \times d$$

$$V = \frac{Qd}{\epsilon_0 A} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

અહીં કેપેસીટન્સના સમીકરણ,

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

$$\therefore C = \frac{Q}{\frac{Qd}{\epsilon_0 A}}$$

$$\therefore \boldsymbol{C = \frac{\epsilon_0 A}{d}}$$

ઉપરોક્ત સમીકરણ કેપેસીટરનું કેપેસીટન્સનું મુલ્ય રજુ કરે છે.

કેપેસીટન્સનું મુલ્ય મુખ્ય ત્રણ ઘટકો દ્વારા નક્કી થાય છે.

1. પ્લેટનું ક્ષેત્રફળ $(\boldsymbol{A})$ – જેમ ક્ષેત્રફળ વધારે તેમ કેપેસીટન્સનું મુલ્ય પણ વધારે
2. બે પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર $(\boldsymbol{d})$ – જેમ પ્લેટ અંતર નાનું તેમ કેપેસીટન્સનું મુલ્ય મોટું
3. પારગમ્યતા $(\boldsymbol{\epsilon_0})$ – જેમ પારગમ્યતાનું મુલ્ય વધારે તેમ કેપેસીટન્સનું મુલ્ય વધારે.

અહીં એ જાણવું અગત્યનું છે કે કેપેસીટન્સનું મુલ્ય પ્લેટની જાડાઈ (Thickness) પર કોઈ આધાર રાખતું નથી.

Que. 10. કેપેસીટરનું શ્રેણી જોડાણ આકૃતિ સહીત સમજાવો. તેના સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનું સૂત્ર તારવો.

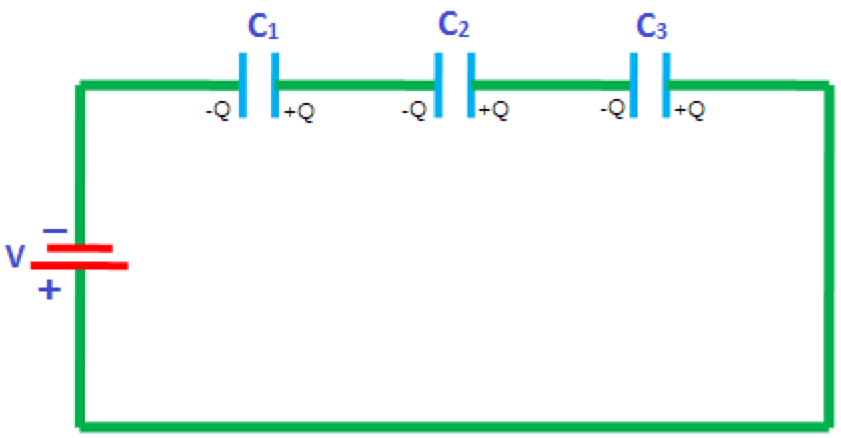
Ans: આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ત્રણ કેપેસીટર C_1, C_2 અને C_3 ને V જેટલું વિદ્યુતસ્થિતિમાન ધરાવતી બેટરી સાથે જોડેલ છે.

"આપેલા કેપેસીટરને એવી રીતે જોડવામાં આવે કે જેથી તમામ કેપેસીટરના પ્લેટ પર જમા થતો વિદ્યુતભાર સમાન હોય તો આવા પ્રાકારના જોડાણને શ્રેણી જોડાણ કહે છે."

આથી,

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે શ્રેણી જોડાણમાં તમામ કેપેસીટરની પ્લેટ પર જમા થતો વિદ્યુતભાર સમાન મૂલ્યનો રહે છે. દરેક કેપેસીટરનો કેપેસીટન્સ જુદાં જુદાં હોવાથી તેમનો વિદ્યુતસ્થિતિમાન જુદાં જુદાં હશે.



SERIES CONNECTION OF CAPACITOR

કેપેસીટન્સના સૂત્ર મુજબ,

$$V_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_3 = \frac{Q}{C_3}$$

જો બેટરી દ્વારા પ્રાપ્ત થતો વિદ્યુતસ્થિતિમાન V હોય તો

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

ઉપરના સમીકરણમાં V_1, V_2 અને V_3 ની કિંમતો મૂકતાં,

$$V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

શ્રેણી જોડાણ માટે સમતુલ્ય કેપેસીટન્સ

$$V = \frac{Q}{C_S} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

સમીકરણ **(3)** અને **(4)** સરખાવતાં,

$$\frac{Q}{C_S} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

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

ઉપરનું સમીકરણ શ્રેણીમાં જોડેલા ત્રણ કેપેસીટરનો સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય દર્શાવતું સૂત્ર છે. જો ત્રણ કરતાં વધારે ધારો કે **n** કેપેસીટર શ્રેણીમાં જોડેલા હોય તો તેમનો સમતુલ્ય કેપેસીટન્સ,

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots\dots\dots\dots + \frac{1}{C_n}$$

આમ ઉપરનું સમીકરણ દર્શાવે છે કે શ્રેણી જોડાણમાં સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય તે જોડાણમાં રહેલા સૌથી નાના મૂલ્યના કેપેસીટરના મૂલ્ય કરતાં પણ નાનું હોય છે.

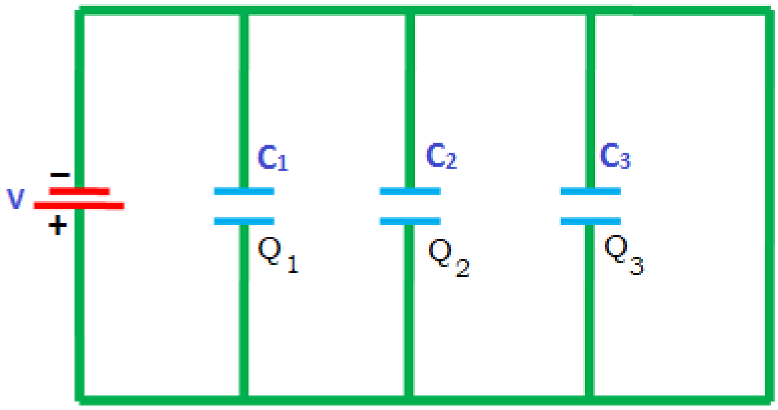
Que. 11. કેપેસીટરનું સમાંતર જોડાણ આકૃતિ સહીત સમજાવો. તેના સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનું સૂત્ર તારવો.

Ans: આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ત્રણ કેપેસીટર C_1, C_2 અને C_3 ને V જેટલું વિદ્યુતસ્થિતિમાન ધરાવતી બેટરી સાથે જોડેલ છે.

"આપેલા કેપેસીટરને એવી રીતે જોડવામાં આવે કે જેથી કેપેસીટરના જોડાણના એક છેડાથી બીજા છેડા વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત સમાન રહે તે પ્રકારના જોડાણને સમાંતર જોડાણ કહે છે."

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ત્રણ કેપેસીટર C_1, C_2 અને C_3 ની પ્લેટ પર જમા થતો વિદ્યુતભારના મૂલ્ય અનુક્રમે Q_1, Q_2 અને Q_3 રહે છે. આથી બેટરી દ્વારા પૂરો પડાતો કુલ વિદ્યુતભાર ત્રણેય કેપેસીટરની પ્લેટ પર જમા થતાં વિદ્યુતભારના સરવાળા જેટલો થાય.



PARALLEL CONNECTION OF CAPACITORS

$$Q_P = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

દરેક કેપેસીટર માટે,

$$Q_1 = C_1V$$

$$Q_2 = C_2V$$

$$Q_3 = C_3V$$

જો આ કેપેસીટર માટે સમાંતર જોડાણનો સમતુલ્ય કેપેસીટન્સ C_P હોય તો,

$$Q = C_PV \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

Q_1, Q_2 અને Q_3ના મૂલ્ય સમીકરણ (1) માં મૂકતાં,

$$C_PV = C_1V + C_2V + C_3V$$

$$C_P = C_1 + C_2 + C_3 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

ઉપરનું સમીકરણ સમાંતરમાં જોડેલા ત્રણ કેપેસીટર માટે સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય દર્શાવતું સૂત્ર છે. ધારો કે n કેપેસીટર સમાંતરમાં જોડેલા હોય તો તેમનો સમતુલ્ય કેપેસીટન્સ,

$$C_P = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots\cdots\cdots + C_n$$

આમ, સમાંતર જોડાણમાં સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય સમાંતર જોડાણમાં રહેલા તમામ કેપેસીટર પૈકી મોટામાં મોટું મૂલ્ય ધરાવતા કેપેસીટરના મૂલ્ય કરતાં પણ મોટું હોય છે.

Que. 12. કેપેસીટરના શ્રેણી જોડાણ અને સમાંતર જોડાણ વચ્ચેના તફાવતના મુદ્દાની યાદી લખો.

Ans:

	શ્રેણી જોડાણ (Series Connection)	સમાંતર જોડાણ (Parallel Connection)
1	જો આપેલા કેપેસીટરને એવી રીતે જોડવામાં આવે કે જેથી દરેક કેપેસીટરની પ્લેટ પર જમા થતો વિદ્યુતભાર સમાન મૂલ્યનો રહે તો આવા જોડાણને શ્રેણી જોડાણ કહે છે.	આપેલા કેપેસીટરને એવી રીતે જોડવામાં આવે કે જેથી કેપેસીટરના જોડાણના એક છેડાથી બીજા છેડા વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત સમતુલ્ય રહે તે પ્રકારના જોડાણને સમાંતર જોડાણ કહે છે.
2	શ્રેણી જોડાણનો સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય જોડેલા કેપેસીટર પૈકી નાનામાં નાના કેપેસીટરના મૂલ્ય કરતાં પણ નાનું હોય છે.	સમાંતર જોડાણમાં જોડેલા કેપેસીટરનો સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય જોડેલા અવરોધો પૈકી મોટામાં મોટા કેપેસીટરના મૂલ્ય કરતાં પણ મોટું હોય છે.
3	$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots\cdots\cdots\cdots + \frac{1}{C_n}$	$C_P = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots\cdots\cdots + C_n$
4	પરિપથમાં કેપેસીટરનું શ્રેણી જોડાણ કરવાથી સમગ્ર પરિપથનો કુલ કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય ઘટી જાય છે.	પરિપથમાં કેપેસીટરનું સમાંતર જોડાણ કરવાથી સમગ્ર પરિપથનો કુલ કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય વધી જાય છે.
5	Capacitive Voltage Divider, Limiting Higher Working Voltage, Replacement of Battery with Serially connected Super Capacitors.	D.C. Power supply, Capacitor Banks, Pulsed Loads, Super Capacitors

Que.13. સમાંતર પ્લેટ કેપેસીટરના કેપેસીટન્સ પર ડાઈ-ઇલેક્ટ્રિકની અસર સમજાવો.

Ans: કુલંબના નિયમ મુજબ શૂન્યાવકાશ કે હવામાં એકબીજાથી r અંતરે રહેલા બે વિદ્યુતભારો q_1 અને q_2 વચ્ચે લાગતું વિદ્યુત બળ,

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

જો આ વિદ્યુતભારો q_1 અને q_2 ને ε જેટલી પારગમ્યતા (Permittivity) ધરાવતા માધ્યમમાં રાખવામાં આવે તો તેમની વચ્ચે લાગતું વિદ્યુતબળ,

$$F_m = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

સમીકરણ (1) અને (2) નો ગુણોત્તર લેતાં,

$$\therefore \frac{F_0}{F_m} = \frac{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}}{\frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2}}$$

$$\therefore \frac{F_0}{F_m} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r = K \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

જ્યાં, ε_r ને માધ્યમની સાપેક્ષ (શૂન્યાવકાશ) પારગમ્યતા (Relative Permittivity) અથવા ડાઈ-ઇલેક્ટ્રીક અચળાંક (K) કહે છે.

K નું મૂલ્ય હંમેશા **1** કરતાં વધારે હોય છે.

જ્યારે કેપેસીટરની બે પ્લેટ વચ્ચે ડાઈ-ઇલેક્ટ્રીક માધ્યમ મુકેલ હોય ત્યારે તેનું કેપેસીટન્સ અને બે પ્લેટ વચ્ચે માત્ર શૂન્યાવકાશ/હવા હોય ત્યારે તેના કેપેસીટન્સનો ગુણોત્તર,

$$\varepsilon_r = \frac{\text{કેપેસીટરની બે પ્લેટ વચ્ચે ડાઈ} - \text{ઇલેક્ટ્રીક માધ્યમ મુકેલ હોય ત્યારે તેનું કેપેસીટન્સ}}{\text{પ્લેટ વચ્ચે માત્ર શૂન્યાવકાશ/હવા હોય ત્યારે તેના કેપેસીટન્સ}}$$

$$\therefore \varepsilon_r(\text{અથવા } K) = \frac{C_m}{C_0} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

$$\therefore C_m = K\,C_0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

આમ, કેપેસીટરની બે પ્લેટ વચ્ચે જ્યારે K જેટલો ડાઈ-ઇલેક્ટ્રીક અચળાંક પદાર્થ મૂકવામાં આવે ત્યારે તે કેપેસીટરના કેપેસીટન્સનું મૂલ્ય K ગણું વધી જાય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો આવા કેપેસીટરની વિદ્યુતભાર સંગ્રહ કરવાની ક્ષમતા K ગણી વધી જાય છે.

હવે બે પ્લેટ વચ્ચે માત્ર શૂન્યાવકાશ/હવા ધરાવતા કેપેસીટરનું કેપેસીટન્સ,

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

કેપેસીટન્સનું આ મૂલ્ય સમીકરણ (5) માં મૂકતાં,

$$\therefore C_m = K\frac{\varepsilon_0 A}{d} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

સમીકરણ (3) પરથી, $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0 = K\varepsilon_0$

$$\therefore C_m = \frac{\varepsilon A}{d} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

ઉપરોક્ત સમીકરણ (7) એ ε જેટલી સાપેક્ષ પારગમ્યતા ધરાવતા માધ્યમને કેપેસીટરની બે પ્લેટ વચ્ચે મૂકતાં મળતા કેપેસીટન્સનું સૂત્ર છે.

ઉદાહરણના દાખલાઓ

1. એક કુંલંબ વીજભાર કેટલા ઇલેક્ટ્રોન વડે રચાય છે?

Solution: ધારો કે Q જેટલો વિધુતભાર n ઇલેક્ટ્રોન્સ વડે રચાય છે.

$$\therefore Q = ne$$

અહીં વિધુતભાર $Q = 1\ C$

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

$$\therefore Q = ne$$

$$\therefore n = \frac{Q}{e} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} \frac{C}{C}$$

$$\therefore n = 6.25 \times 10^{18}\ \ e^-$$

આમ, એક કુંલંબ વીજભાર $\mathbf{6.25 \times 10^{18}}$ જેટલા ઇલેક્ટ્રોન્સ વડે રચાય છે.

2. બે વિધુતભાર $+2\mu C$ અને $+4\mu C$ ને જ્યારે 10 m દુર મુકવામાં આવે ત્યારે બંને વચ્ચે ઉદ્ભવતું બળ શોધો. આ બળ કેવા પ્રકારનું હશે.?

Solution:

$$q_1 = +2\mu C = 2 \times 10^{-6}\ C$$

$$q_2 = +4\mu C = 4 \times 10^{-6}\ C$$

$$r = 10\ m$$

$$F = ?$$

કુંલંબના નિયમ મુજબ,

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

$$\therefore F = 8.99 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}\ \times 4 \times 10^{-6}}{(10)^2}$$

$$\therefore F = 71.92 \times 10^9 \times 10^{-12} \times 10^{-2}\ N$$

$$\therefore F = 71.92 \times 10^{-5}\ \ N$$

3. બે સમાન વીજભાર ધરાવતા સિક્કા એક ટેબલ 1 m દૂર પર પડેલા છે. તો આ બંને સિક્કા પર કેટલો વિધુતભાર હોવો જોઇએ જેથી તેમની વચ્ચે લાગતું બળ આકર્ષણ 2.0 N થાય.

Solution: અહીં બંને સિક્કા પર સમાન વિજભાર હોવાથી,

$$q_1 = q_2 = q$$

$$F = 2.0\ N$$

$$r = 1\ m$$

કુંલંબના નિયમ મુજબ,

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

$$\therefore F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q \times q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{r^2}$$

$$\therefore q^2 = 4\pi\epsilon_0 r^2 \times F$$

$$\therefore q^2 = \frac{1}{8.99 \times 10^9}(1)^2 \times 2.0$$

$$\therefore q^2 = 0.2224 \times 10^{-9}$$

$$\therefore q^2 = 0.02224 \times 10^{-8}$$

$$\therefore q = \sqrt{0.02224 \times 10^{-8}}$$

$$\therefore q = \pm 0.472 \times 10^{-4}\ C$$

અહીં બે સિક્કા વચ્ચે આકર્ષણ બળ લાગતું હોવાથી એક સિક્કા પર ધન અને બીજા સિક્કા પર ઋણ વિજભાર ધરાવે છે.

4. એક કેપેસીટર બે વર્તુળાકાર પ્લેટનું બનેલું છે, જેમની ત્રિજ્યા 5 cm છે. આ પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર 1 mm છે. જો આ કેપેસીટરને 9 volt ની બેટરી સાથે જોડવામાં આવે તો આ કેપેસીટરનું કેપેસીટન્સ તથા દરેક પ્લેટ પરનો વીજભાર શોધો.

Solution:

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

$$d = 1\ mm = 1 \times 10^{-3}\ m$$

$$V = 9\ volt$$

$$Q = ?$$

$$C = ?$$

કેપેસીટરનું કેપેસીટન્સ,

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d} = \varepsilon_0 \frac{\pi r^2}{d}$$

$$\therefore C = 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{3.14 \times (5 \times 10^{-2})^2}{1 \times 10^{-3}}$$

$$\therefore C = 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{3.14 \times 25 \times 10^{-4}}{10^{-3}}$$

$$\therefore C = 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{3.14 \times 25 \times 10^{-4}}{10^{-3}}$$

$$\therefore C = 694.725 \times 10^{-12} \times 10^{-4} \times 10^{3}$$

$$\therefore C = 694.725 \times 10^{-13}\ F$$

$$\therefore C = 69.47 \times 10^{-12}\ F$$

$$\therefore C = 69.47\ \ pF$$

હવે વિદ્યુતભાર શોધવા માટે,

$$Q = C \times V$$

$$\therefore Q = 69.47 \times 10^{-12} \times 9$$

$$\therefore Q = 625.23 \times 10^{-12}\ C$$

$$\therefore Q = 625.23\ \ pC$$

5. બે કેપેસીટરના મૂલ્ય Given $C_1 = 10$ F અને $C_2 = 5$ F છે. જો આ બંને કેપેસીટરને શ્રેણી અને સમાંતરમાં જોડવામાં આવે તો મળતા સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનાં મૂલ્ય શોધો.

Solution:

$$C_1 = 10\ \text{F}$$

$$C_2 = 5\ \text{F}$$

શ્રેણી જોડાણ માટે,

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

$$\therefore \frac{1}{C_s} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5}$$

$$\therefore \frac{1}{C_s} = \frac{1+2}{10} = \frac{3}{10}$$

$$\therefore C_s = \frac{10}{3} = 3.33\ F$$

સમાંતર જોડાણ માટે,

$$C_P = C_1 + C_2$$

$$\therefore C_P = 10 + 5$$

$$\therefore C_P = 15\ F$$

6. બે કેપેસીટરના મૂલ્ય Given $C_1 = 16\,\mu F$ અને $C_2 = 8\,\mu F$ છે. જો આ બંને કેપેસીટરને શ્રેણીમાં જોડવામાં આવે તો મળતા સમતુલ્ય કેપેસીટન્સનાં મૂલ્ય શોધો. આ ઉપરાંત જો આ જોડાણમાં તેમની સાથે 12 $volt$ ની બેટરી સાથે જોડવામાં આવે તો દરેક કેપેસીટરની પ્લેટ પર જમા થતો વિદ્યુતભાર શોધો અને દરેક કેપેસીટરનો વોલ્ટેજ શોધો.

Solution:

$$C_1 = 16\,\mu F$$

$$C_2 = 8\,\mu F$$

$$V = 12\ volt$$

$$Q_1, Q_2, Q_3 = ?$$

$$V_1, V_2, V_3 = ?$$

શ્રેણી જોડાણ માટે,

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

$$\therefore \frac{1}{C_s} = \frac{1}{16} + \frac{1}{8}$$

$$\therefore \frac{1}{C_s} = \frac{1+2}{16} = \frac{3}{16}$$

$$\therefore C_s = \frac{16}{3} = 5.33\ \mu F$$

આપણે જાણીએ છીએ કે શ્રેણી જોડાણમાં દરેક કેપેસીટરની પ્લેટ પર જમા થતો વિદ્યુતભાર સમાન રહે છે.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

હવે વિદ્યુતભાર શોધવા માટે,

$$Q = C \times V$$

$$\therefore Q = 5.33 \times 12$$

$$\therefore Q = 63.96\ \mu C\ \sim 64\ \mu C$$

$$\therefore Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = 64\ \mu C$$

હવે દરેક કેપેસીટરની બ પ્લેટ વચ્ચેનો વૉલ્ટેજ શોધવા માટે,

પ્રથમ કેપેસીટર માટે,

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q}{C_1} = \frac{64}{16}$$

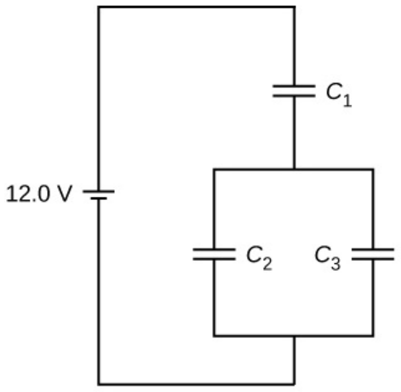
$$\therefore V_1 = 4\ volt$$

બીજા કેપેસીટર માટે,

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q}{C_2} = \frac{64}{8}$$

$$\therefore V_2 = 8\ volt$$

7. અહીં આપેલ ત્રણ કેપેસીટરને આકૃતિમાં દર્શાવ્યા મુજબ 12 volt ની બેટરી સાથે જોડેલા છે. જ્યાં $C_1 = 3\ \mu F, C_2 = 6\ \mu F\ and\ C_3 = 9\ \mu F$. તો આ જોડાણ માટેનો સમતુલ્ય કેપેસીટન્સ શોધો. તથા દરેક કેપેસીટરને મળતો વોલ્ટેજ અને દરેકને મળતો વિદ્યુતભાર શોધો. અને



Solution:

$$C_1 = 3\ \mu F$$

$$C_2 = 6\ \mu F$$

$$C_3 = 9\ \mu F$$

હવે C_2 અને C_3 શ્રેણીમાં જોડેલા હોવાથી,

$$\frac{1}{C_{23}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\therefore \frac{1}{C_{23}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{9}$$

$$\therefore \frac{1}{C_{23}} = \frac{3+2}{18} = \frac{5}{18}$$

$$\therefore C_{23} = \frac{18}{5} = 3.6\ \ F$$

C_{23} એ C_1 સાથે સમાંતર જોડાણમાં હોવાથી,

$$C_P = C_1 + C_{23}$$

$$\therefore C_P = 3 + 3.6$$

$$\therefore C_P = 6.3\ \ F$$

આપેલ પરિપથનો સમતુલ્ય કેપેસીટન્સ $C_P = 6.3\ \ F$

આપણે જાણીએ છીએ કે સમાંતર જોડાણ માટે જોડાણમાં રહેલા તમામ કેપેસીટરની બે પ્લેટ વચ્ચેનો વિધુતસ્થિતિમાન (વૉલ્ટેજ) નો તફાવતનું મૂલ્ય સમાન રહે છે અને તેનું મૂલ્ય બેટરીના વૉલ્ટેજ જેટલો જ થાય છે. અહીં C_{23} ને C_1 સાથે સમાંતરમાં જોડેલ છે. આથી,

$$V_1 = V_{23} = V = 12\ volt$$

હવે વિધુતભાર શોધવા માટે,

$$Q_1 = C_1 \times V_1$$

$$\therefore Q_1 = 3 \times 12$$

$$\therefore Q_1 = 36\ C$$

આપણે જાણીએ છીએ કે શ્રેણી જોડાણમાં દરેક કેપેસીટરની પ્લેટ પર જમા થતો વિધુતભાર સમાન રહે છે.

અહીં C_2 અને C_3 શ્રેણીમાં હોવાથી તેમની પ્લેટ પર વિદ્યુતભાર સમાન રહેશે. $(Q_2 = Q_3)$

$$Q_2 = C_{23} \times V_{23}$$

$$\therefore Q_2 = 3.6 \times 12$$

$$\therefore Q_2 = 43.2 \ C$$

$$\therefore Q_3 = 43.2 \ C$$

હવે દરેક કેપેસીટરની બ પ્લેટ વચ્ચેનો વૉલ્ટેજ શોધવા માટે,

C_2 કેપેસીટર માટે,

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{43.2}{6}$$

$$\therefore V_2 = 7.2 \ volt$$

C_3 કેપેસીટર માટે,

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{43.2}{9}$$

$$\therefore V_3 = 4.8 \ volt$$

Check point: આપણે ચેક કરીશું કે C_2 અને C_3 નો કુલ વૉલ્ટેજ એ બેટરી દ્વારા પૂરો પાડવામાં આવતા વૉલ્ટેજ જેટલો છે કે નહીં.

$$V_2 + V_3 = 7.2 + 4.8 = 12 \ volt = V$$

= બેટરી દ્વારા પૂરો પાડવામાં આવતો વૉલ્ટેજ

આમ, તમામ પરિણામ,

સમતુલ્ય કેપેસીટન્સ, $C_P = 6.3 \ F$

દરેક કેપેસીટર પરનો વિદ્યુતભાર, $Q_1 = 36 \ C$, $Q_2 = Q_3 = 43.2 \ C$

દરેક કેપેસીટર પરનો વૉલ્ટેજ, $V_1 = 12 \ volt, V_2 = 7.2 \ volt, V_3 = 4.8 \ volt$

8. બાઈક અથવા કારમાં પેટ્રોલના દહન માટે સ્પાર્ક પ્લગ વપરાય છે.જેમાં બે ઇલેક્ટ્રોડ વચ્ચે 0.6 mm જેટલું અંતર (Gap) હોય છે. સ્પાર્ક ઉત્પન્ન કરવા માટે જરૂરી વિદ્યુતક્ષેત્રનું મૂલ્ય $3 \times 10^6\ V/m$ હોય છે. તો આ સ્પાર્ક પ્લગને પૂરો પાડવામાં આવતો વોલ્ટેજ શોધો. શું આ અંતર (Gap) વધારવામાં આવે તો સ્પાર્ક માટે જરૂરી વિદ્યુતસ્થિતિમાન (વોલ્ટેજ) નું મૂલ્યમાં શું ફેરફાર થશે? જો આ અંતર (Gap) 1 mm કરવામાં આવે તો જરૂરી વોલ્ટેજ શોધો.

Solution:

$$d = 0.6\ mm = 0.6 \times 10^{-3}\ \ m$$

$$V = 3 \times 10^6\ V/m$$

$$E\ =?$$

જો બે પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર d હોય અને તેમની વચ્ચે V જેટલો વૉલ્ટેજ લગાડવામાં આવેલ હોય અને બે પ્લેટ વચ્ચે ઉદ્ભવતું વિદ્યુતક્ષેત્ર E હોય તો,

$$V = E \cdot d$$

$$\therefore V = 3 \times 10^6\ \ \frac{V}{m}\ \ \times 0.6 \times 10^{-3}\ \ m$$

$$\therefore V = 1.8 \times 10^3\ \ V$$

$$\therefore V = 1800\ \ V$$

જો વિદ્યુતક્ષેત્ર અચળ હોય તો બે પ્લેટ વચ્ચે ઉદ્ભવતો વૉલ્ટેજ બે પ્લેટ વચ્ચેના અંતરને સમપ્રમાણમાં હોય છે.

$$V \propto d$$

આથી જેમ જેમ બે પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર વધે તેમ બે પ્લેટ માટે જરૂરી વૉલ્ટેજનું મૂલ્ય પણ વધશે.

અહીં બે પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર, $d = 1\ mm = 1 \times 10^{-3}\ \ m$

$$\therefore V = E \cdot d$$

$$\therefore V = 3 \times 10^6\ \ \frac{V}{m}\ \ \times 1 \times 10^{-3}\ \ m$$

$$\therefore V = 3 \times 10^3 \ V$$

$$\therefore V = 3000 \ V$$

આથી બે પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર $1\,mm$ હોય ત્યારે જરૂરી વૉલ્ટેજનું મૂલ્ય $V = 3000\,volt.$

9. ધાતુની બે પ્લેટને 45 volt ની બેટરી સાથે જોડેલ છે. જો બેટરી વડે બે પ્લેટ વચ્ચે ઉદ્ભવતું વિદ્યુતક્ષેત્ર 1500 N/C હોય તો આ બે પ્લેટ વચ્ચેનું અંતર શોધો.

Solution:

$$V = 45 \ volt$$

$$E = 1500 \frac{N}{C}$$

$$d = ?$$

$$V = E \cdot d$$

$$\therefore d = \frac{V}{E}$$

$$\therefore d = \frac{45 \ Volt}{1500 \frac{N}{C}}$$

$$\therefore d = 0.03 \ m$$

$$\therefore d = 3 \ cm$$

વિદ્યુતક્ષેત્રનો બીજો એકમ N/C.

$$[E] = \frac{N}{C} = \frac{Volt}{m}$$

10. બિંદુ X થી બિંદુ Y સુધી 2.0 C વિદ્યુતભારને લાવવા માટે કરવું પડતું કાર્ય 10.0 J છે. તો આ બે બિંદુઓ વચ્ચેનો વિદ્યુતસ્થિતિમાનનો તફાવત શોધો.

Soltion:

$$q = 2.0 \ C$$

$$W = 10.0 \ J$$

$$V = ?$$

એક બિંદુ X થી બીજા બિંદુ Y સુધી q જેટલા વિદ્યુતભારને લાવવા માટે કરવું પડતું કાર્ય,

$$W = \frac{V_{XY}}{q}$$

$$\therefore V_{XY} = V = W \times q$$

$$\therefore V = 10.0 \times 2.0$$

$$\therefore V = 20\ volt$$

11. એકબીજાથી 0.40 cm દુર રાખેલી બે વિદ્યુતભારિત પ્લેટ પર 6400 N/C જેટલું વિદ્યુતક્ષેત્ર લગાડેલું છે તો આ પ્લેટ પરથી 0.25 μC જેટલા વિદ્યુતભારને સ્થાનાંતરિત કરવા માટે જરૂરી કાર્ય શોધો.

Solution:

$$d = 0.40\ cm = 0.40\ \times 10^{-2}\ m$$

$$E = 6400\ \frac{N}{C}$$

$$q = 0.25\ \mu C = 0.25 \times 10^{-6}\ C$$

$$W = ?$$

બે પ્લેટ વચ્ચે ઉદ્ભવતો વૉલ્ટેજ,

$$V = E \cdot d$$

$$\therefore V = 6400\ \frac{N}{C}\ \times 0.40 \times 10^{-2}\ m$$

$$\therefore V = 2560 \times 10^{-2}\ volt$$

$$\therefore V = 25.60\ volt$$

આ કિંમતનો ઉપયોગ કરીને કાર્ય શોધીશું.

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

$$\therefore W = \frac{25.60\ \ volt}{0.25 \times 10^{-6}\ C}$$

$$\therefore W = 102.4 \times 10^{6}\ J$$

$$\therefore W = 1.02 \times 10^{8}\ J$$