

SÄHKÖSTATIIKKA

10. Coulombin laki

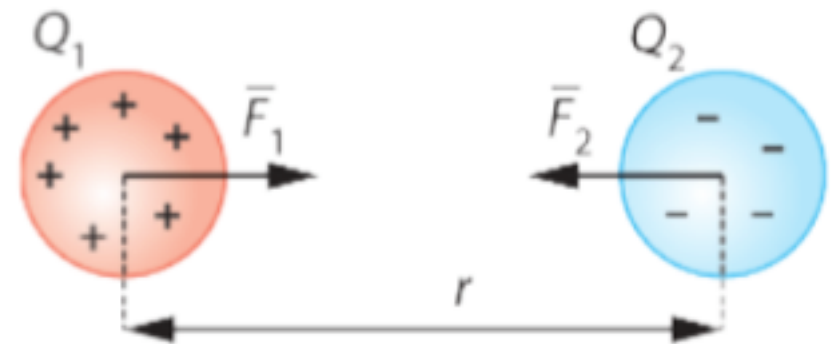
11. Sähkökenttä

12. Homogeeninen sähkökenttä

13. Varattu kappale sähkökentässä

10. COULOMBIN LAKI

- Varattujen kappaleiden välinen sähköinen voima riippuu kappaleiden välimatkasta ja sähkövarausten suuruudesta
 - Mitä suurempi välimatka, sitä pienempi sähköinen voima
 - Mitä suurempi sähkövaraus, sitä suurempi sähköinen voima
- Hiukkaset, joiden sähkövaraukset ovat Q_1 ja Q_2 , kohdistavat toisiinsa voiman, joka on suoraan verrannollinen sähkövarausten tuloon ja kääntäen verrannollinen hiukkasten välisen etäisyyden neliöön.
- Voimat ovat yhtä suuret.



COULOMBIN LAKI TYHJIÖSSÄ:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

r = hiukkasten välinen etäisyys

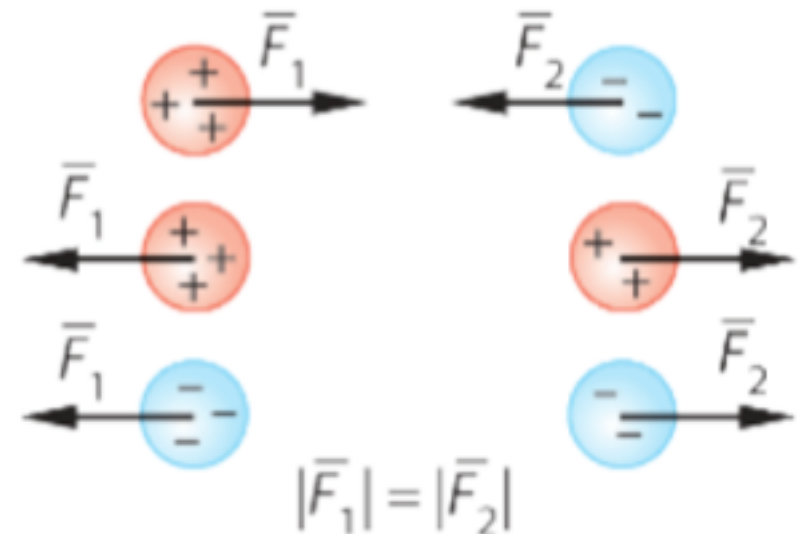
ϵ_0 = sähkövakio eli tyhjiön permittiivisyys

k = Coulombin lain vakio

- Varausten arvot sijoitetaan Coulombin lakiin ilman etumerkkejä
- Coulombin laki pätee pistemäisille hiukkasille ja kappaleille, joilla on pallosymmetrinen varausjakauma

SÄHKÖINEN VUOROVAIKUTUS JA VOIMA:

- Sähköinen vuorovaikutus on etävuorovaikutusta ja sähköinen voima on etävoima.
- Kun varaukset ovat erimerkkiset, on sähköinen voima vetovoima.
- Kun varaukset ovat samanmerkkiset, on sähköinen voima hylkimisvoima.
- Newtonin III lain mukaan voimat ovat vastakkaisuuntaiset ja yhtä suuret riippumatta hiukkasten varausten suuruudesta



ERISTEEN VAIKUTUS SÄHKÖISEEN VOIMAAN:

- Varattujen kappaleiden välissä oleva eriste heikentää kappaleiden välistä sähköistä vuorovaikutusta.
- Eristeen suhteellinen permittiivisyys ϵ_r kuvaa miten eriste vaikuttaa vuorovaikutukseen ja sähköiseen voimaan.
- Kahden eristeessä olevan varatun hiukkasen välinen sähkövoiman suuruus on

$$F = \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

(Eristeiden suhteelliset permittiivisyydet ovat maol:issa sivulla 96.)

Esim. Laske kahden pistemäisen varauksen välinen voima, kun varauksen A suuruus on +5,0 nC ja B:n -10,0 nC. Varausten välinen etäisyys on 3,0 metriä.

$$Q_1 = 5,0 \cdot 10^{-9} \text{C} \quad Q_2 = 10,0 \cdot 10^{-9} \text{C} \quad r = 3,0 \text{m}$$

$$F = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 8,98755 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{5,0 \cdot 10^{-9} \text{C} \cdot 10,0 \cdot 10^{-9} \text{C}}{(3,0 \text{m})^2} \approx 5,0 \cdot 10^{-8} \text{N}$$

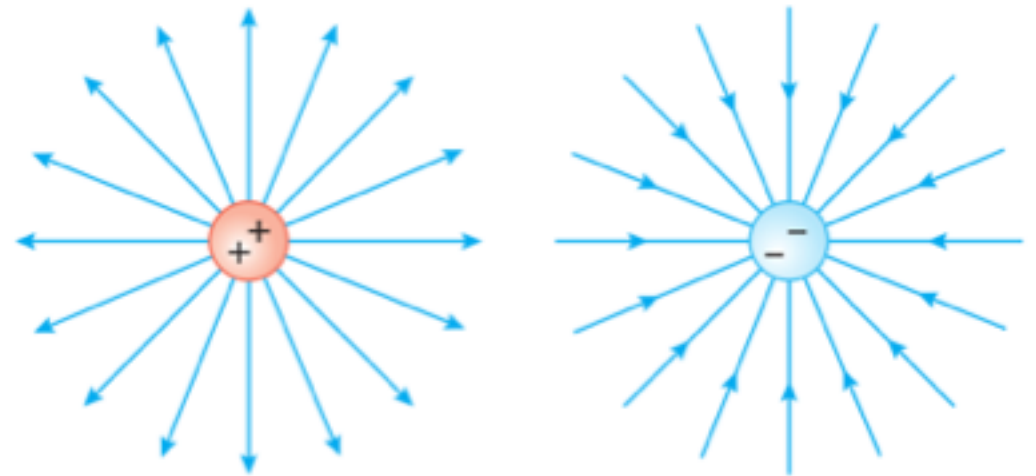
11. SÄHKÖKENTTÄ

Sähkökenttä

- on varatun kappaleen ympärillä.
- Ilmenee muihin varattuihin kappaleisiin vaikuttavana voimana
- Sen avulla selitetään varattujen kappaleiden välinen vuorovaikutus

Sähkökentän kenttäviivat

- Niiden avulla kuvataan sähkökentän suuntaa, muotoa ja voimakkuutta.
- Lähtevät positiivisesti varatusta kappaleesta ja päätyvät negatiivisesti varattuun kappaleeseen
- Sähköinen voima on kussakin pisteessä kenttäviivaa sivuavan suoran eli tangentin suuntainen
- Kenttäviivojen tiheys ilmentää kentän voimakkuutta.



SÄHKÖKENTÄN VOIMAKKUUS:

- Sähkökentän voimakkuutta voidaan tutkia viemällä sähkökenttään kappale tai hiukkanen, jolla on hyvin pieni varaus.
- Sähkökentän siihen kohdistama voima antaa sille kiihtyvyyden, joka voidaan mitata.
- Sähkökentän voimakkuus \vec{E} on sähköisen voiman \vec{F} ja varauksen suhde q

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

(Muista, että Newtonin II lain mukaan $\vec{F} = m\vec{a}$)

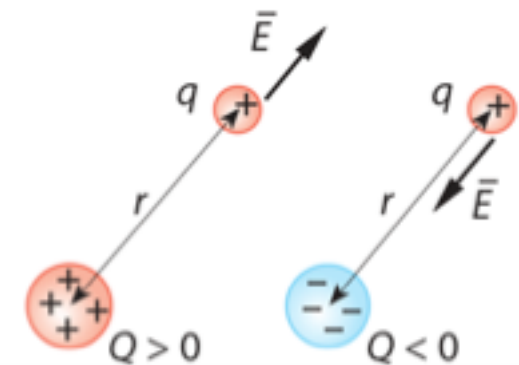
- Sähkökentän voimakkuus on vektorisuure, jonka suunta osoittaa sähkökentän suunnan
- Sähkökentän voimakkuuden yksikkö on $\frac{N}{C}$

PISTEMÄISEN VARATUN KAPPALEEN SÄHKÖKENTTÄ:

- Pistevarauksen Q sähkökentän voimakkuuden \vec{E} suuruus etäisyydellä r varauksesta on

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

k =Coulombin lain vakio



- Kentän \vec{E} suunta on varauksesta poispäin, jos Q on positiivinen ja varauksen suuntaan jos Q on negatiivinen.
- Väliaineessa sähkökentän voimakkuuden suuruus on

$$E = \frac{k}{\epsilon_r} \frac{Q}{r^2}$$



Esim. Sähkökentän voimakkuuden suuruus on $2,5 \text{ MN/C}$. Kuinka suuri voima kentässä vaikuttaa hiukkaseen, jonka varaus on $1,0 \text{ nC}$?

Esim. Laske $1,0 \text{ nC}$ varauksen aiheuttama sähkökentän voimakkuus $0,10 \text{ m}$ etäisyydellä.



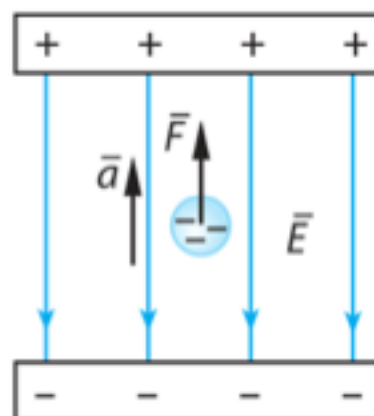
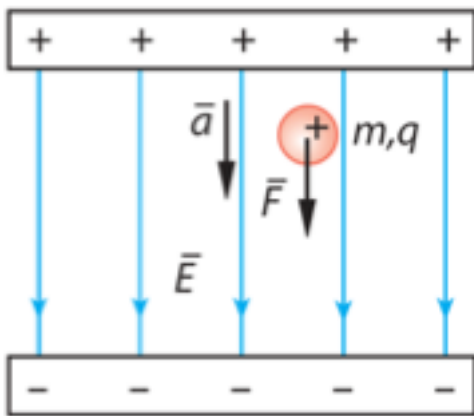
12. HOMOGEENINEN SÄHKÖKENTTÄ

13. VARATTU KAPPALE SÄHKÖKENTÄSSÄ

- Varattuun kappaleeseen vaikuttaa sähköinen voima $\vec{F} = q\vec{E}$, joten sille tulee Newtonin toisen lain $\sum F = ma$ mukaan kiihtyvyys a

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

- Koska sähkökenttä \vec{E} on vakio, on kappaleeseen vaikuttava sähköinen voima \vec{F} vakio ja silloin myös kappaleella on vakio kiihtyvyys.



- Jos hiukkanen tulee homogeeniseen sähkökenttään kenttäviivojen suuntaisesti, sen liikkeen suunta ei muutu, mutta sen vauhti joko lisääntyy tai pienenee tasaisesti

Sähköisen voiman tekemä työ W

Kun varattu kappale (varaus = q) siirtyy sähkökentässä potentiaalista toiseen (joiden välinen jännite on U), niin sähköinen voima tekee työn

$$W = qU$$

Tämä työ ilmenee kappaleen liike-energian muutoksena

$$\Delta E_k = qU$$

Elektronivoltti, eV

- Käytetään energian yksikkönä atomi-, ydin- ja hiukkasfysiikassa.
- Jos elektronia ($q = e$) kiihdytetään sähkökentässä matka, jossa jännitteen muutos on 1 V, se saa liike-energian $E_k = qU = 1 e \cdot 1 V = 1 eV$
- $1 eV = 1,602\ 176\ 565 \cdot 10^{-19} J$

Esim. Laske protonin kiihtyvyys sähkökentässä, jonka voimakkuus on 12 V/m.

$$q = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad m = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad E = 12 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$a = \frac{qE}{M} = \frac{1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 12 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} \approx 1,5 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$