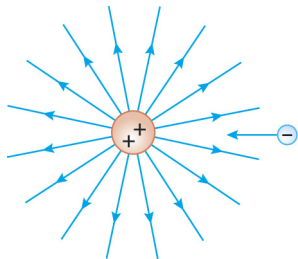


TEHTÄVIEN RATKAISUT

- 11-1.** a) Sähkökenttä aiheutuu sähkövarauksesta. Sähköisesti varatun kappaleen tai hiukkasen ympärillä on sähkökenttä.
- b) Sähkökenttä ilmenee varattuun kappaleeseen tai hiukkaseen vaikuttavana voimana.
- c) Sähkökenttä esitetään piirroksellisesti kenttäviivoilla. Kenttäviivojen suunta kussakin pisteessä kertoo sähkökentän suunnan ja kenttäviivojen tiheys kertoo sähkökentän voimakkuudesta.

11-2.



11-3. Sähkökentän voimakkuuden suuruus on

$$E = \frac{F}{q} = \frac{2,5 \text{ mN}}{1,0 \text{ nC}} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ N/C} = 2,5 \text{ MN/C}.$$

Sähkökentän voimakkuuden suunta on sama kuin voiman suunta eli positiivisen x -akselin suunta.

11-4. a) Varattuun hiukkaseen kohdistuu sähköinen voima, jonka suuruus on $F = Eq = 100 \text{ N/C} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ C} = 10^{-6} \text{ N} = 1 \mu\text{N}.$

b) Varauksen suuruus on

$$q = \frac{F}{E} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{1,8 \cdot 10^6 \text{ N/C}} \approx 6,7 \text{ nC.}$$

Koska sähkökentän voimakkuuden suunta on vastakkainen voiman suunnalle, varaus on negatiivinen eli varaus on $q \approx -6,7 \text{ nC}$.

11-5. Protonin sähkökentän voimakkuuden suuruus elektronin kohdalla on

$$E = \frac{kQ}{r^2} = \frac{ke}{r^2} = 8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{1,602\,177\,3 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{(52,9 \cdot 10^{-12})^2} \approx 515 \text{ GN/C.}$$

Kentän suunta on pois päin ytimen protonista.

11-6. Piste $x = 1,0 \text{ cm}$ on varausten puolivälissä, jossa kahden varauksen kentät ovat yhtä suuret mutta vastakkaismerkkiset ja kumoavat toisensa, joten sähkökentän voimakkuuden suuruus on siinä pisteessä $E = 0 \text{ N/C}$.

Piste $x = -1,0 \text{ cm}$ on 1 cm :n etäisyydellä toisesta varauksesta ja toisesta 3 cm :n etäisyydellä. Molempien varauksien kentät osoittavat tässä pisteessä negatiivisen x -akselin suuntaan. Sähkökentän voimakkuuden suuruudeksi saadaan

$$\begin{aligned} E &= k \frac{Q}{r_1^2} + k \frac{Q}{r_2^2} = 8,98755 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(0,010 \text{ m})^2} + 8,98755 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(0,030 \text{ m})^2} \\ &= 9,986167 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 0,10 \frac{\text{GN}}{\text{C}}. \end{aligned}$$

Varaukset ovat myös pisteestä $x = 3,0 \text{ cm}$ etäisyyksillä $1,0 \text{ cm}$ ja $3,0 \text{ cm}$, joten sähkökentän suuruus on siellä sama kuin pisteessä $x = -1,0 \text{ cm}$ eli $0,10 \text{ GN/C}$, mutta sen suunta on positiivisen x -akselin suuntaan.

11-7. Koska B:n varaus nelinkertaistuu, nelinkertaistuu myös sen sähkökentän voimakkuuden suuruus. Sen takia A:han vaikuttava sähköinen voima nelinkertaistuu eli on $4F$.

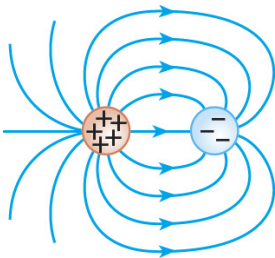
Varauksen A aiheuttama sähkökenttä on sama kuin ylemmässä tapauksessa, mutta koska B:n varaus on nelinkertaistunut, B kokee A:n kentässä nelinkertaisen voiman ylempään tapaukseen verrattuna eli voiman $4F$. Molemmissa tapauksissa siis molempiin varauksiin vaikuttaa yhtä suuret, vastakkaisuuntaiset voimat.

11-8. Sähkökenttien voimakkuudet ovat suuruudeltaan

$$E_A = k \frac{Q}{r^2}, \quad E_B = k \frac{3Q}{r^2} = 3E_A, \quad E_C = k \frac{Q}{(2r)^2} = \frac{1}{4} E_A, \quad E_D = k \frac{3Q}{(2r)^2} = \frac{3}{4} E_A.$$

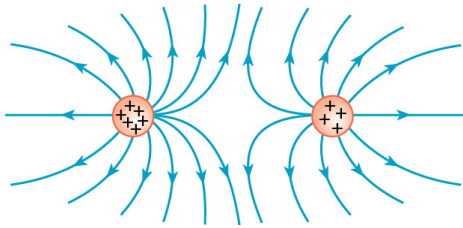
Kenttien suuruusjärjestys suurimmasta pienimpään on E_B, E_A, E_D, E_C .

11-9. a) Sähkökentän voimakkuuden suunta on positiivisesta varauksesta kohti negatiivista varausta. Positiivinen pistevaraus (10 nC) on itseisarvoltaan suurempi kuin negatiivinen pistevaraus (−6 nC), joten positiivisen varauksen lähellä sähkökentän voimakkuus on suurempi kuin negatiivisen varauksen lähellä. Tämän takia positiivisesta varauksesta lähtee enemmän sähkökenttää kuvaavia kenttäviivoja kuin negatiivisesta varauksesta.



b) Sähkökentän voimakkuuden suunta on positiivisesta pistevarauksesta pois päin. Pistevaraus (12 nC) on itseisarvoltaan suurempi kuin pistevaraus (8 nC). Tämän takia oheisessa kuvassa vasemmalla olevasta 12 nC:n varauksesta lähtee enemmän sähkökenttää kuvaavia

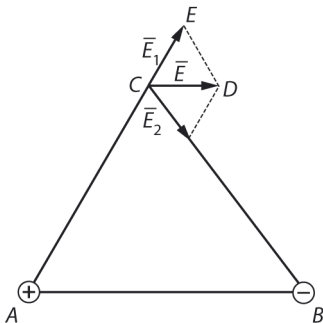
kenttäviivoja kuin oikealla olevasta 8 nC:n varauksesta.



- 11-10.** Pisteessä A olevan positiivisen varauksen kenttävoimakkuuden \vec{E}_1 suunta on varauksesta pois päin ja suuruus pisteessä C on $E_1 = k \frac{Q_A}{AC^2}$.

Pisteessä B olevan negatiivisen varauksen kenttävoimakkuuden \vec{E}_2 suunta on varausta kohti ja suuruus pisteessä C $E_2 = k \frac{Q_B}{BC^2}$. Tasasivuisen kolmion sivut AC ja BC ovat yhtä pitkät, joten kenttävoimakkuudet ovat yhtä suuret eli $E_1 = E_2$. Pisteessä C sähkökentän voimakkuus on $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

Vektoriyhtälö $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ muodostaa piirrettynä kolmion CDE, joka on yhdenmuotoinen kolmion ABC kanssa. Kenttävoimakkuuden \vec{E} suunta on $\vec{E} \uparrow \uparrow \overline{AB}$.



11-11. a) Sähkökentän voimakkuus on suuruudeltaan

$$E = k \frac{|Q|}{r^2} = \frac{8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \cdot 45 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(0,26 \text{ m})^2} = 5,98284 \text{ kN/C} \approx 6,0 \text{ kN/C}.$$

Kentän suunta on kappaleeseen päin.

b) Varattu kappale vaikuttaa hiukkaseen voimalla, jonka suuruus on

$$F = Eq = 5,98284 \cdot 10^3 \text{ N/C} \cdot 15 \cdot 10^{-12} \text{ C} \approx 90 \text{ nN}.$$

Voima on vetovoima.

11-12. Kun ilmapalloja hangataan seinää vasten, ne varautuvat. Ilmapallojen sähkökenttä saa seinässä olevat molekyylit polarisoitumaan eli molekyylien sisällä sähkövaraus jakautuu niin, että ilmapalloa lähempänä olevaan osassa on vastaakkaismerkkinen varaus kuin ilmapallossa. Silloin ilmapallon ja seinän välillä on sähköinen voima, joka pitää ilmapallon kiinnittyneenä seinään.

Kun eboniittisauvaa hangataan, se varautuu. Kun sauva viedään lähelle paperinpaloja, näissä tapahtuu polarisoituminen. Silloin eboniittisauvan ja paperinpalojen välillä on sähköinen voima, jonka vaikutuksesta paperinpalat kiinnittyvät eboniittisauvaan.