

761103P Sähkö- ja magnetismioppi

Sähkökenttä ja sähköinen dipoli

ESIMERKKEJÄ

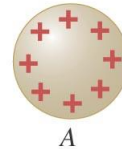
Sähkökenttä

- Varausten vuorovaikutusta voidaan kuvata kätevästi *sähkökentän* käsitteellä.
- Jokainen sähkövaraus muuttaa ympäröivää avaruutta luomalla ympärilleen sähkökentän \vec{E} . Sähköinen vuorovaikutus välittyy sähkökentän kautta.

(a) A and B exert electric forces on each other.

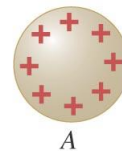


(b) Remove body B ...



... and label its former position as P.

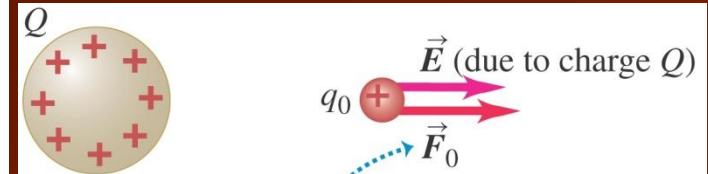
(c) Body A sets up an electric field \vec{E} at point P.



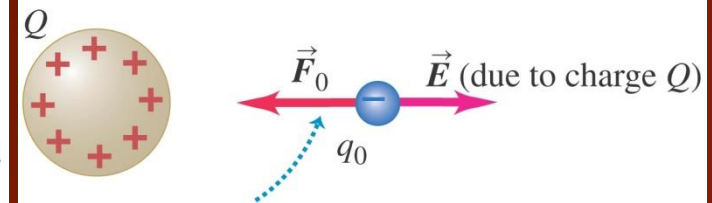
Test charge q_0

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

\vec{E} is the force per unit charge exerted by A on a test charge at P.



The force on a positive test charge q_0 points in the direction of the electric field.



The force on a negative test charge q_0 points opposite to the electric field.

Sähkökenttä

- Varausten vuorovaikutusta voidaan kuvata kätevästi *sähkökentän* käsitteellä.
- Jokainen sähkövaraus muuttaa ympäröivää avaruutta luomalla ympärilleen sähkökentän \vec{E} . Sähköinen vuorovaikutus välittyy sähkökentän kautta.
- Kun tähän kenttään laitetaan pistevaraus q siihen kohdistuu voima

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

- → Sähkökenttä voidaan siis määritellä **voimaksi** varausyksikköä kohden

$$\vec{E} = \vec{F}/q$$

- Sähkökentän yksikkö on tällöin N/C (newton/coulomb)

Sähkökenttä

- Varaus q aiheuttaa varaukseen q_0 voiman, jonka suuruus on

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2}$$

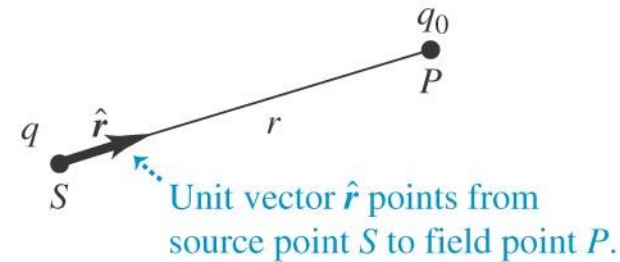
- Määritelmän mukaan varauksen q sähkökentän voimakkuus on siten

$$E = \frac{F_0}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

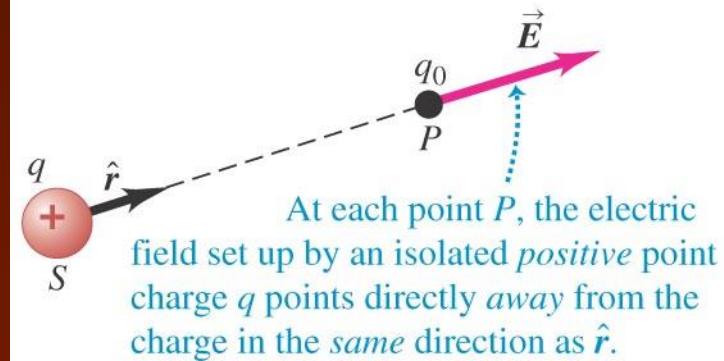
- *Vektorina* sähkökenttä on

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

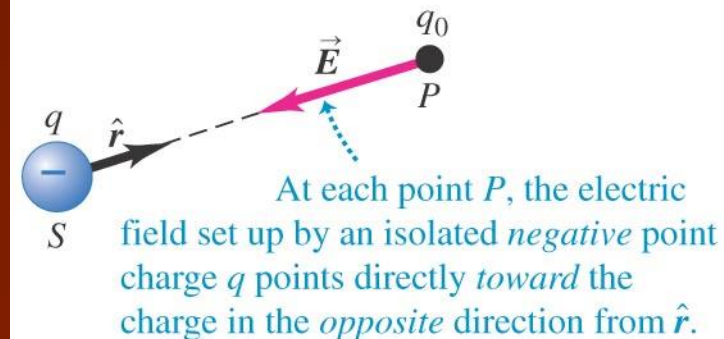
(a)



(b)



(c)

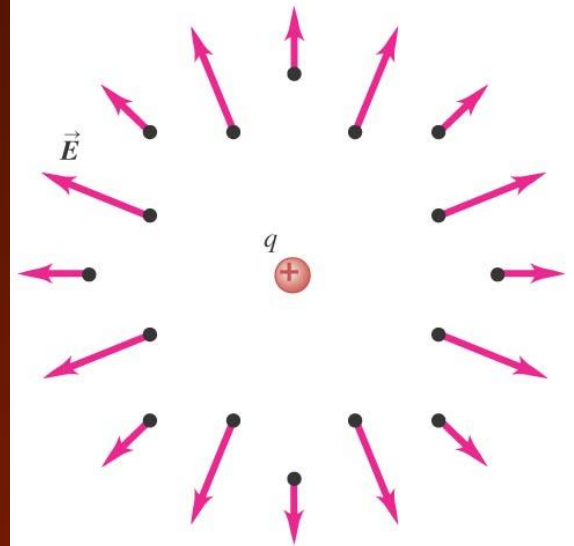


Sähkökenttä

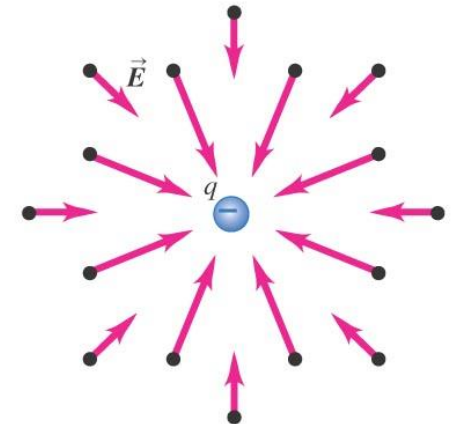
- Sähkökenttä ei ole yksittäinen vektorisuure, kuten esim. tietyssä pisteessä vaikuttava voima, vaan se on *vektorikenttä* ts. vektorifunktio, joka riippuu paikkakoordinaateista x, y, z (karteesisessa koordinaatistossa)

→
$$\vec{E} = \vec{E}(x, y, z)$$

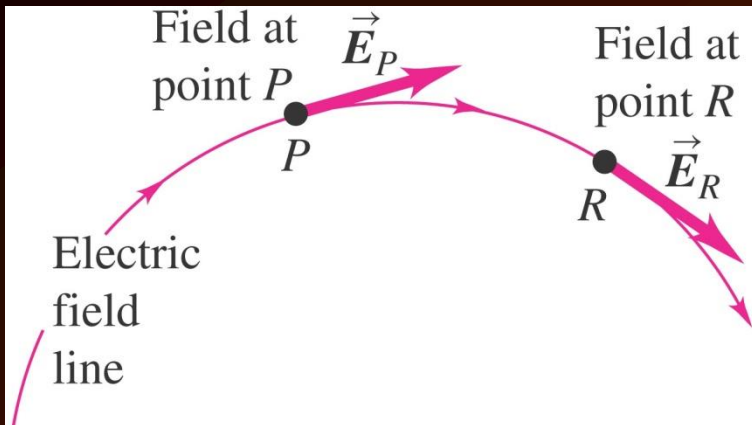
(a) The field produced by a positive point charge points *away* from the charge.



(b) The field produced by a negative point charge points *toward* the charge.



Sähkökentän kenttäviivat

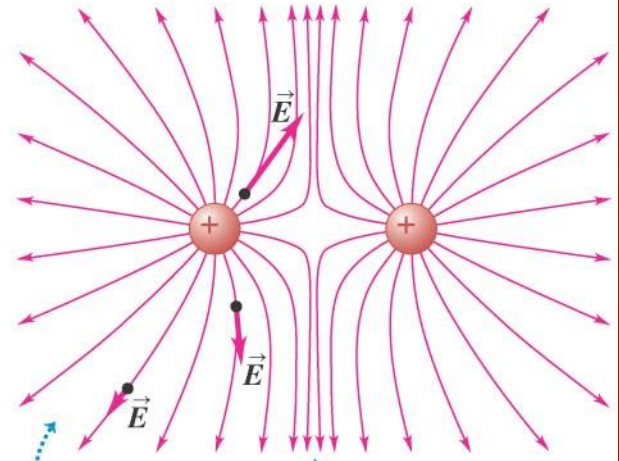
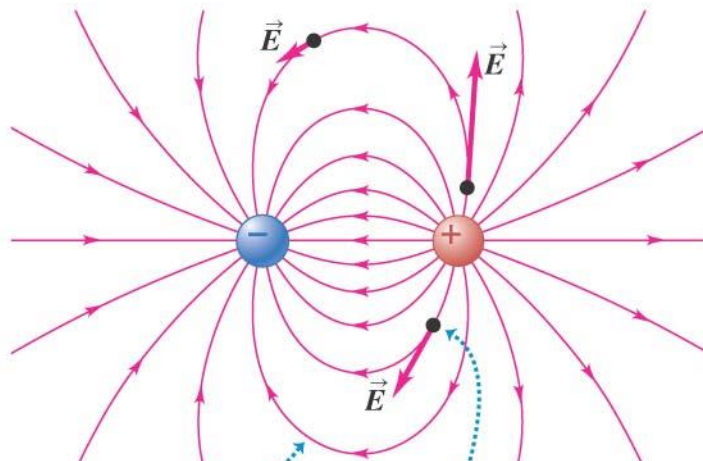
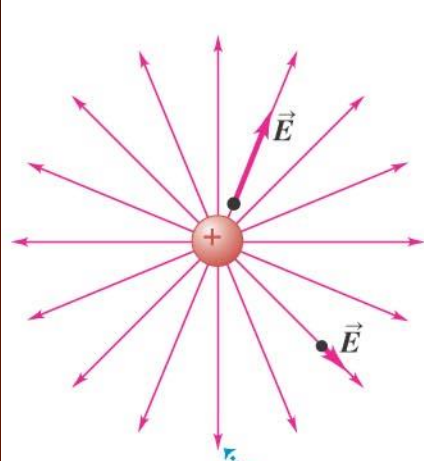


1. Kenttäviivojen suunta näyttää sähkökentän suunnan
2. Viivojen tiheys 3-ulotteisessa avaruudessa on suoraan verrannollinen sähkökentän voimakkuuteen (vektorin pituuteen)
3. Varauksesta lähtevien viivojen lukumäärä on suoraan verrannollinen sähkövaraukseen!

(a) A single positive charge

(b) Two equal and opposite charges (a dipole)

(c) Two equal positive charges

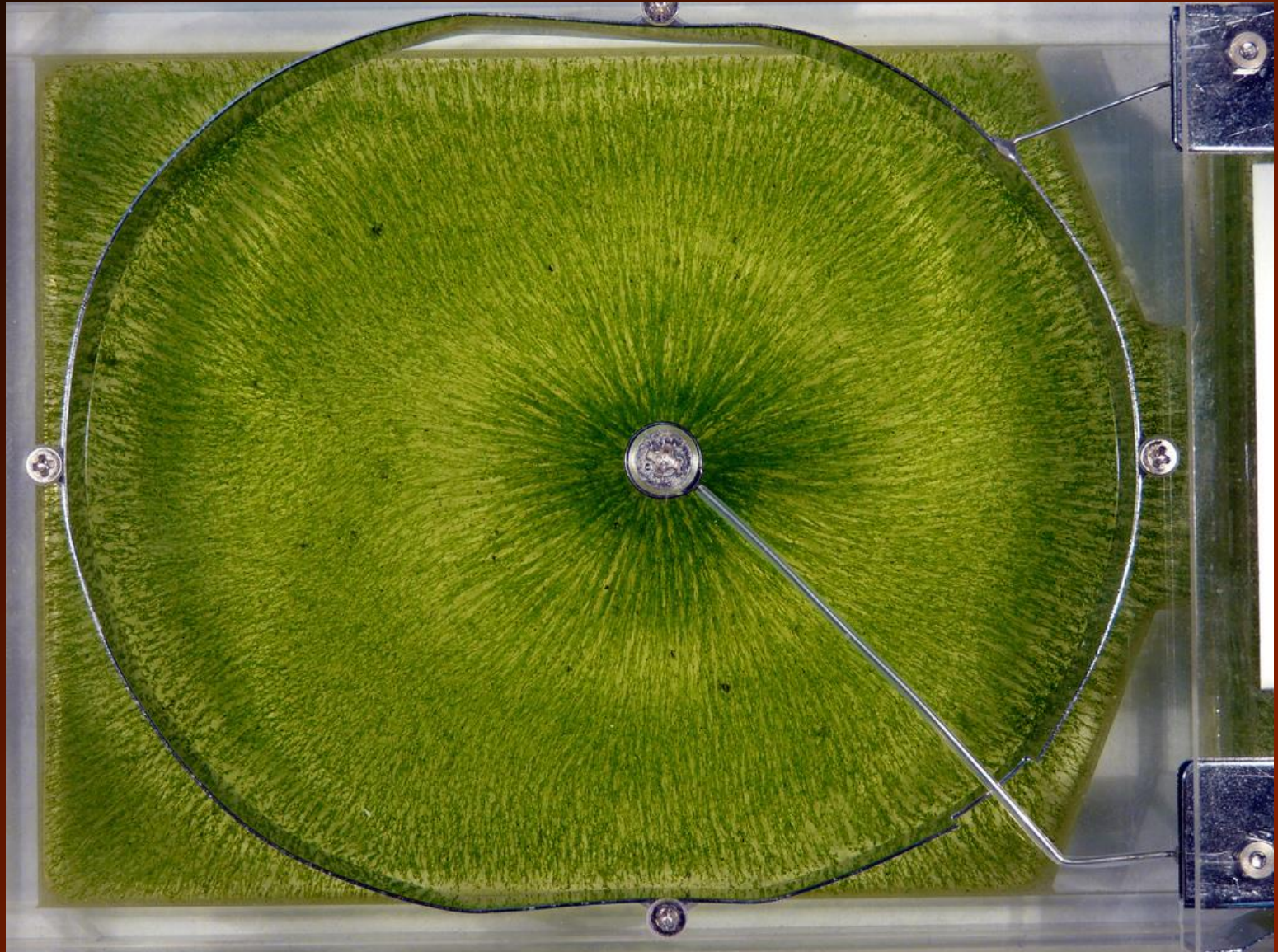


Field lines always point away from (+) charges and toward (-) charges.

At each point in space, the electric field vector is *tangent* to the field line passing through that point.

Field lines are close together where the field is strong, farther apart where it is weaker.

Sähkökentän kenttäviivat: esim.



Sähkökentän kenttäviivat: esim.



Sähkökentän kenttäviivat: esim.



Sähkökentän laskeminen

- Yksittäisille varauksille lasketaan kenttien vektorisumma (vrt. sähköinen voima)

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

- Makroskooppisille kappaleille joudutaan integroimaan. Kappale jaetaan pieniin osiin, joiden varaus on dq . Yhden osan sähkökenttä on

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

→ Kokonaiskenttä on

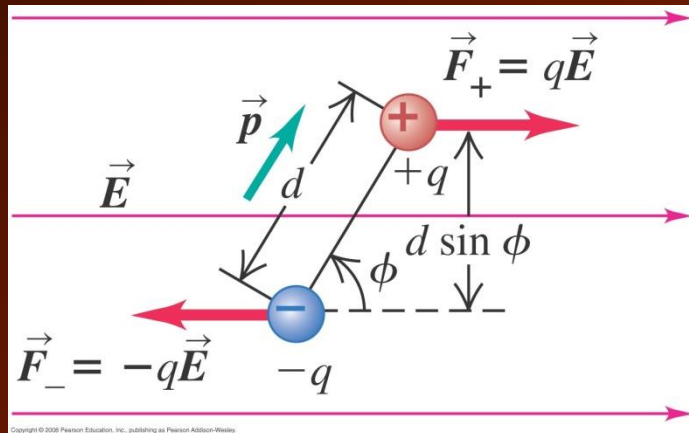
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

→ ESIMERKKEJÄ!

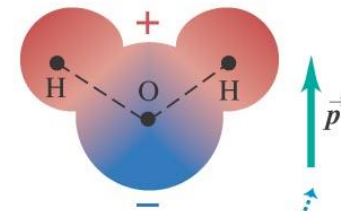
ESIMERKKEJÄ

Sähköinen dipoli

- Dipoli on erittäin tärkeä rakenne fysiikassa ja kemiassa yms.
- Esim. veden liuot ominaisuus johtuu siitä, H₂O-molekyylit ovat dipoleja
- Kun dipoli on sähkökentässä siihen liittyy
 1. Väjäntömomentti (→ se pyörii)
 2. Potentiaalienergia (liittyy sen asentoon)
 3. Kokonaisvoima (→ se siirtyy, mikäli varauksiin vaikuttaa erisuuret voimat)



(a) A water molecule, showing positive charge as red and negative charge as blue



The electric dipole moment \vec{p} is directed from the negative end to the positive end of the molecule.

Sähköinen dipoli: vääntömomentti

- Vääntömomentti:

$$\tau = (qE)(d \sin \phi) = (qd)E \sin \phi$$

- Kun määritellään *dipolimomenttivektori*

$$\vec{p} = q\vec{d}$$

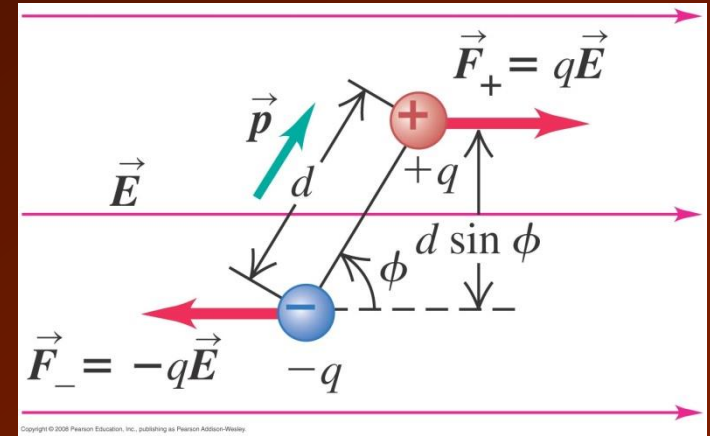
voidaan vääntömomentin suuruus kirjoittaa muodossa

$$\tau = pE \sin \phi$$

tai vektorikaavana

(antaa myös momentin suunnan!)

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$



Sähköinen dipoli: potentiaalienergia

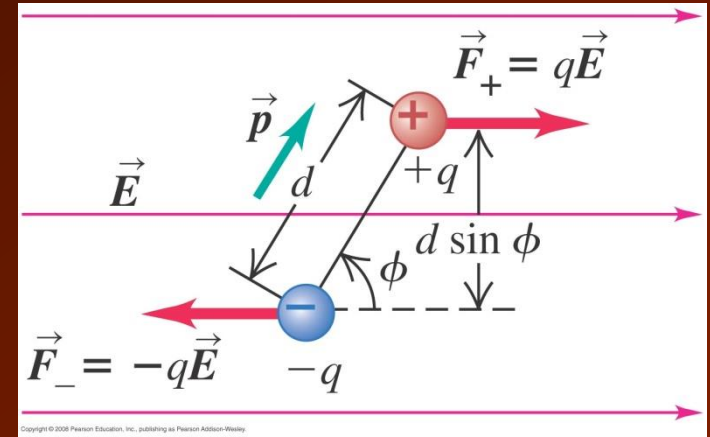
- Kun dipolin suuntakulma muuttuu määrällä $d\phi$ tekee sähkökenttä työn:

$$dW = \tau d\phi = pE \sin\phi d\phi$$

- Dipolin pyöriessä kulmasta $\phi_1 \rightarrow \phi_2$
Tehty työ on

$$W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} pE \sin\phi d\phi$$

$$W = -pE(\cos\phi_2 - \cos\phi_1)$$



- Pot. energian muutos = sähkökentän tekemä työ
- Valitsemalla potentiaalienergian nollassoksi kulma $\phi_1 = \frac{\pi}{2}$

$$U = -pE \cos\phi = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

ESIMERKKEJÄ