

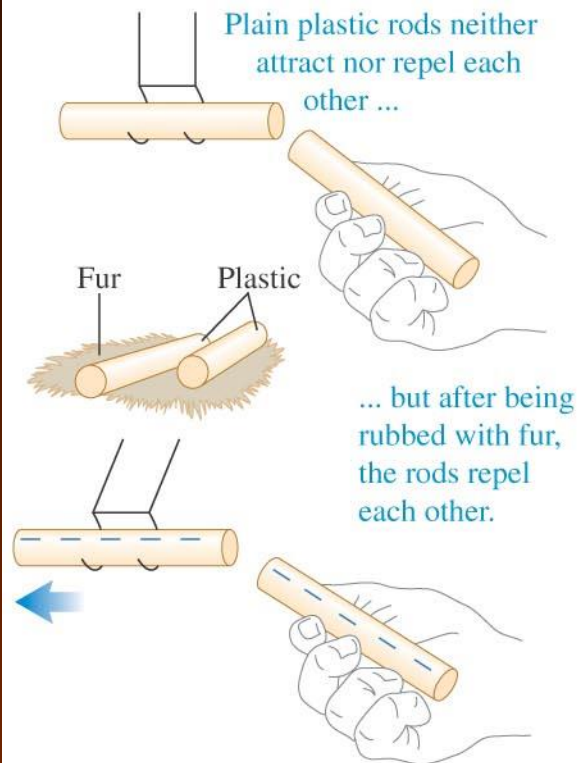


761103P Sähkö- ja
magnetismioppi
Timo Asikainen

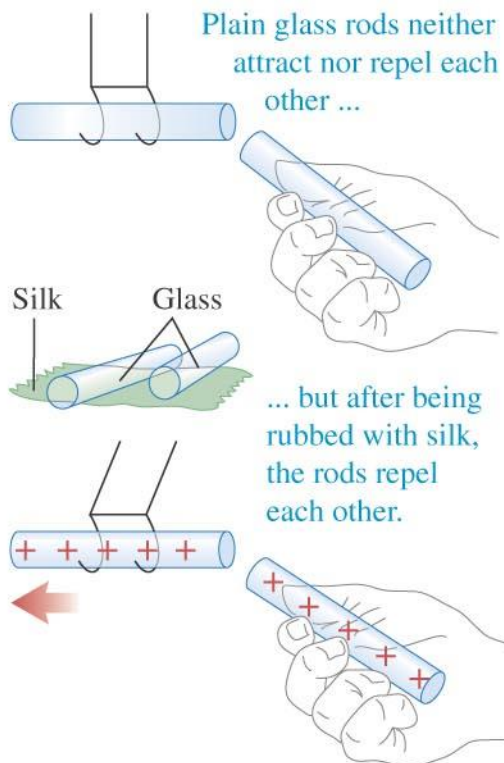
Sähkövaraus

- Sähkövaraus on kappaleen perustavanlaatuisen ominaisuus siinä missä massakin!
- Sähkövaraus aiheuttaa sähköisen vuorovaikutuksen (vrt. massa ja painovoima)

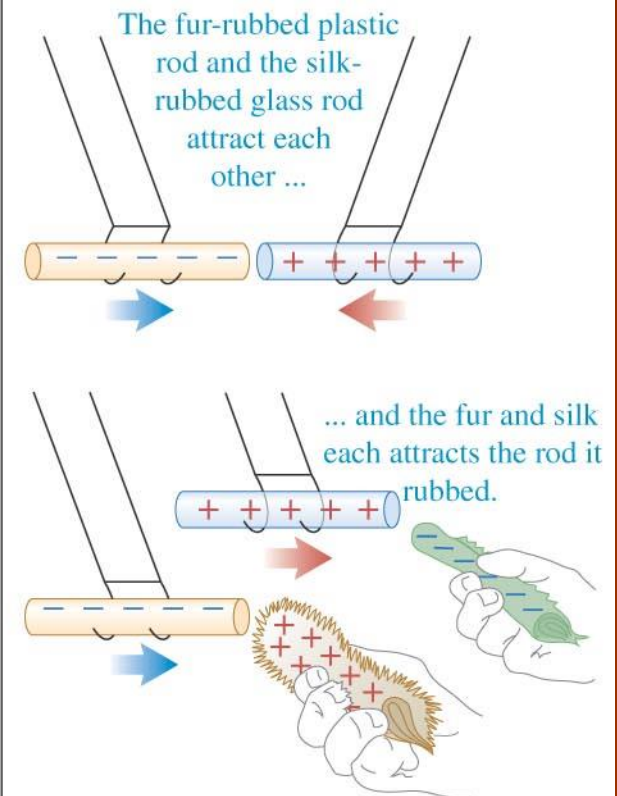
(a) Interaction between plastic rods rubbed on fur



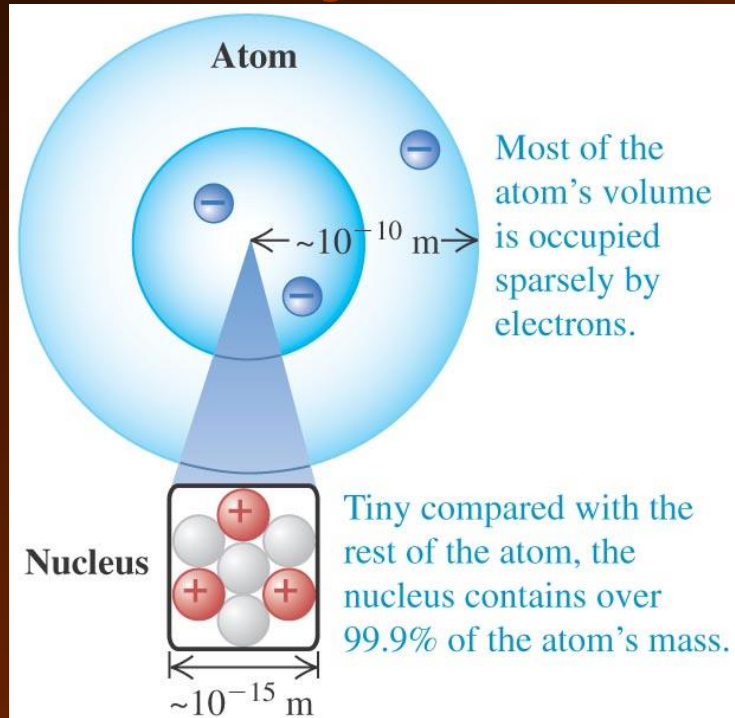
(b) Interaction between glass rods rubbed on silk





(c) Interaction between objects with opposite charges




Sähkövaraus ja aineen rakenne



 **Proton:** Positive charge
Mass = 1.673×10^{-27} kg

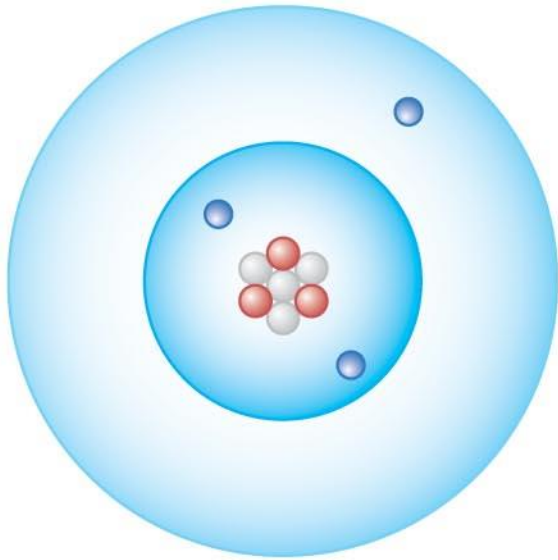
 **Neutron:** No charge
Mass = 1.675×10^{-27} kg

 **Electron:** Negative charge
Mass = 9.109×10^{-31} kg

The charges of the electron and proton are equal in magnitude.

Sähkövaraus ja aineen rakenne

● Protons (+) ● Neutrons
● Electrons (-)



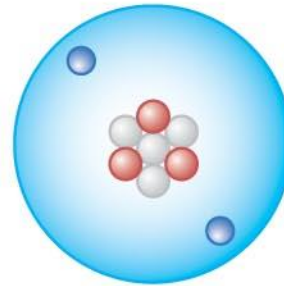
(a) Neutral lithium atom (Li):

3 protons (3+)

4 neutrons

3 electrons (3-)

Electrons equal protons:
Zero net charge



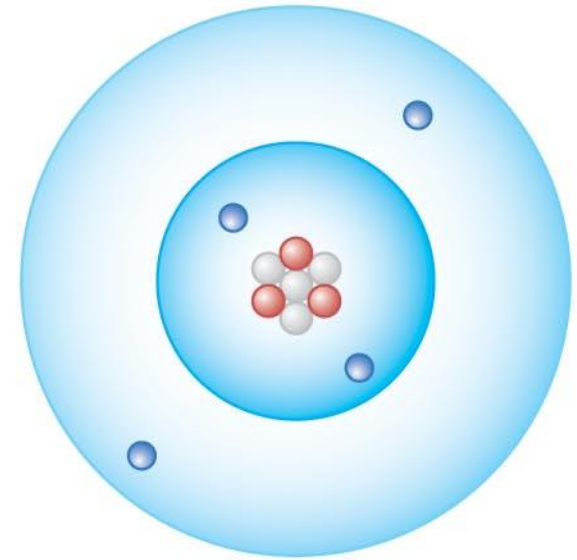
(b) Positive lithium ion (Li^+):

3 protons (3+)

4 neutrons

2 electrons (2-)

Fewer electrons than protons:
Positive net charge



(c) Negative lithium ion (Li^-):

3 protons (3+)

4 neutrons

4 electrons (4-)

More electrons than protons:
Negative net charge

Sähkövaraus ja aineen rakenne

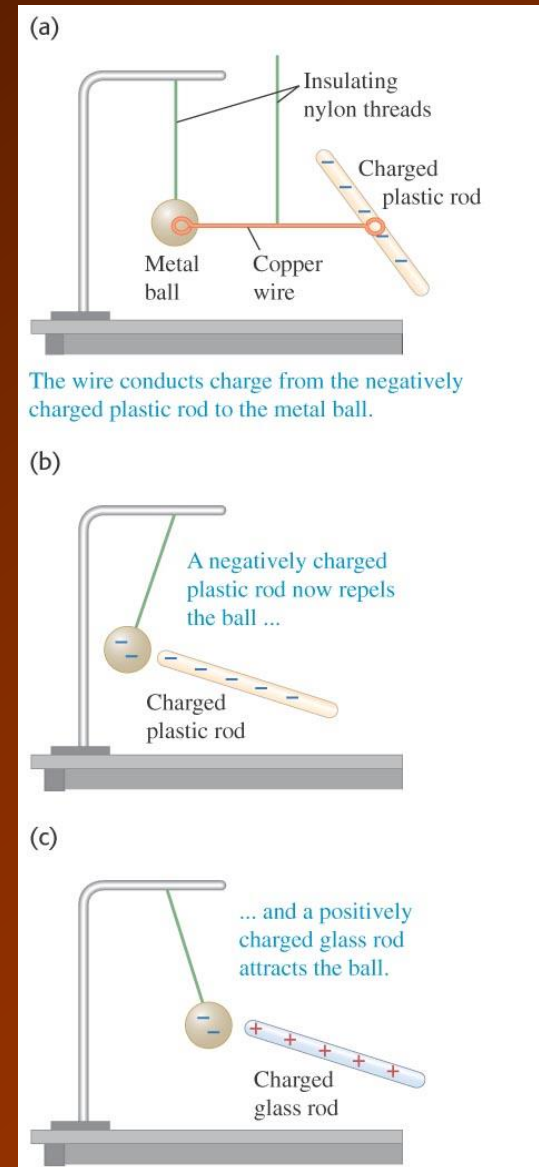
Kappaleen sähkövaraus on *kvantittunut*, ts., se on alkeisvarauksen (protonin tai elektronin varaus) moninkerta $\pm e, \pm 2e, \pm 3e, \dots$

- Kappaleen varautuminen hangattaessa **ymmärretään nyt aineen atomirakenteen avulla**
- Hangatessa elektroneja siirtyy kappaleiden välillä
- Sähkövarausta ei synny, vaan

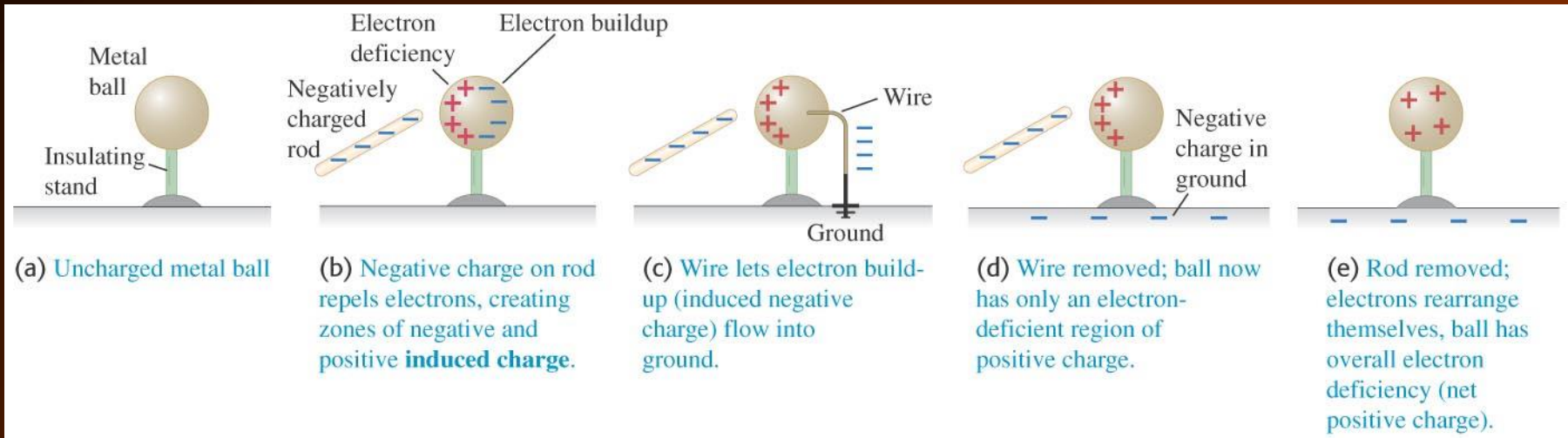
Sähkövarauksen kokonaismäärä suljetussa systeemissä pysyy vakiona!

Kappaleiden varaaminen varauksia siirtämällä

- Aineita, joissa elektronit siirtyvät vapaasti sanotaan *johteiksi*
- Aineet, joissa elektronit eivät siirry vapaasti sanotaan *eristeiksi*
- Viereinen koe osoittaa kuparilangan olevan johde
- Jos kuparilanka korvataan vaikka kuminauhalla tai muovinarulla, mitään ei tapahdu → Nämä aineet ovat eristeitä.



Kappaleiden varaaminen indusoimalla



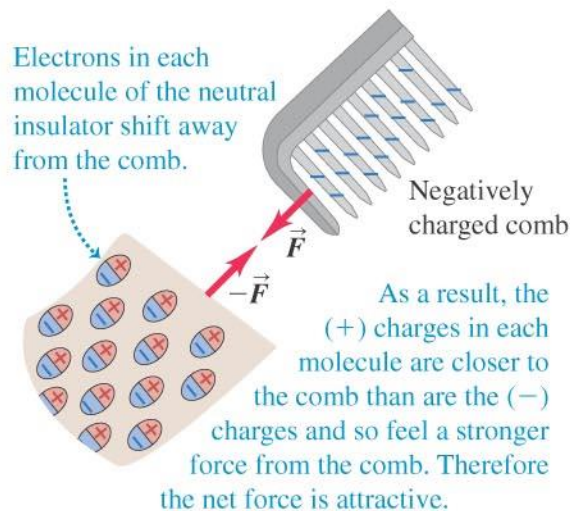
Sähköiset voimat varaamattomissa kappaleissa

- Miksi sähköisesti neutraali paperin pala tarttuu varattuun kynään?
- → Paperin molekyylit tai atomit *polarisoituvat*

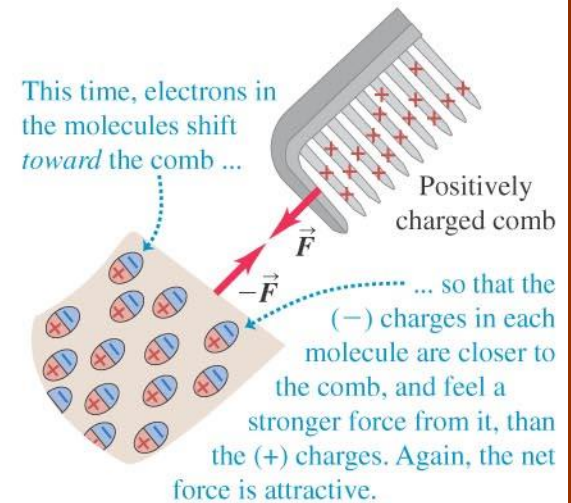
(a) A charged comb picking up uncharged pieces of plastic



(b) How a negatively charged comb attracts an insulator



(c) How a positively charged comb attracts an insulator



Coulombin laki

- Charles Augustin de Coulomb tutki v. 1784 varausten välisiä voimia torsiovaa'alla ja päätyi kaavaan, joka tunnetaan **Coulombin lakina**.
- (Myöhemmin 1798 Henry Cavendish käytti vastaavaa laitetta **gravitaation tutkimiseen**).



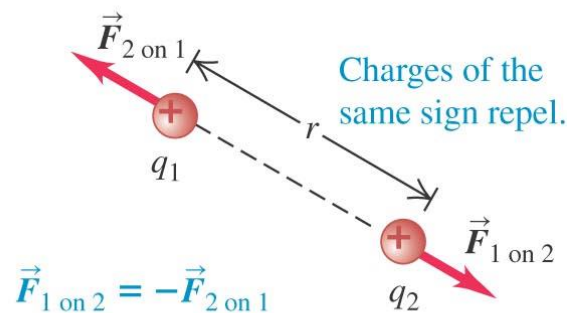
Coulombin laki

- Charles Augustin de Coulomb tutki v. 1784 varausten välisiä voimia torsiovaa'alla ja päätyi kaavaan, joka tunnetaan **Coulombin lakina**.
- (Myöhemmin 1798 Henry Cavendish käytti vastaavaa laitetta **gravitaation tutkimiseen**).

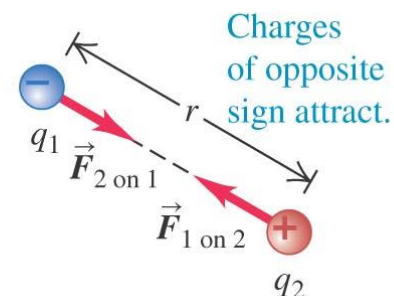


cts
rged
ball
lastic
on
ction.

(b) Interactions between point charges



$$F_{1 \text{ on } 2} = F_{2 \text{ on } 1} = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$



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

Coulombin laki

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

- Verrannollisuuskertoimen arvo riippuu yksikköjärjestelmästä!
- SI-järjestelmässä varauksen yksikkö on 1 C (coulomb)
- →

$$k = 8.987551787 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \approx 9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

- HUOM! Fysiikan kaavakokoelmassa k on Boltzmannin vakio (ei liity mitenkään Coulombin lakiin!) → Parempi muistaa, että

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad \epsilon_0 = 8.8541878 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

- ESIMERKKEJÄ

ESIMERKKEJÄ

Superpositioperiaate

- Voima on *vektorisuure* \Leftrightarrow sillä on suuruus ja suunta!
- Jos kappaleeseen vaikuttaa monta voimaa, saadaan kokonaisvoima niiden *vektorisummana*

$$\vec{F}_{kok} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

- Vektorisummaa laskettaessa jokainen komponentti lasketaan erikseen:

$$x: F_{kok,x} = F_{1,x} + F_{2,x} + F_{3,x} + \dots$$

$$y: F_{kok,y} = F_{1,y} + F_{2,y} + F_{3,y} + \dots$$

- Esimerkkejä

Sähkökenttä

- Varausten vuorovaikutusta voidaan kuvata kätevästi *sähkökentän* käsitteellä.
- Jokainen sähkövaraus luo ympärilleen sähkökentän \vec{E}

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




Diagram (a) shows two spheres, A and B. Sphere A is larger and contains several '+' signs, representing a positive charge. Sphere B is smaller and contains one '+' sign, representing a positive test charge. A red arrow labeled $-\vec{F}_0$ points from sphere A towards sphere B. Another red arrow labeled \vec{F}_0 points from sphere B towards sphere A.

(b) Remove body *B* ...
... and label its former position as *P*.




Diagram (b) shows sphere A with '+' signs. A small black dot labeled 'P' is located to the right of sphere A. A dashed blue arrow points from the text '... and label its former position as P.' to the dot 'P'.

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

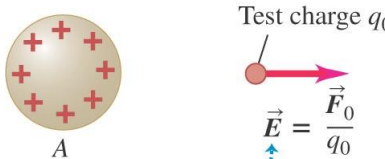


Diagram (c) shows sphere A with '+' signs. A small red sphere labeled 'Test charge q_0 ' is located to the right of sphere A. A red arrow labeled \vec{F}_0 points from the test charge towards sphere A. Below the test charge, the equation $\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$ is written. A dashed blue arrow points from the text ' \vec{E} is the force per unit charge exerted by A on a test charge at P.' to the equation.

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

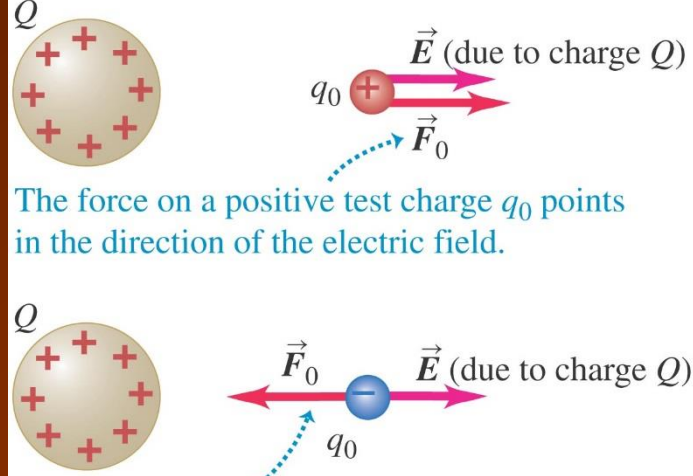


Diagram showing a positive test charge q_0 and a negative test charge q_0 near a positive charge Q . The force on a positive test charge q_0 points in the direction of the electric field. The force on a negative test charge q_0 points opposite to the electric field.

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 luo ympärilleen sähkökentän \vec{E}
- 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

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

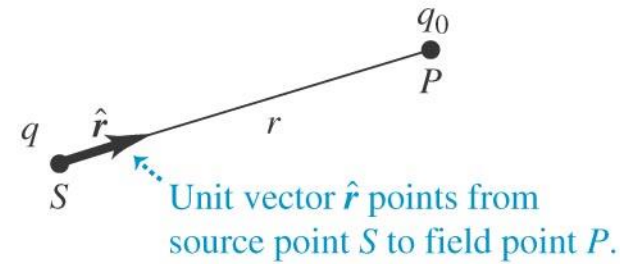
- Määritelmän mukaan varauksen q sähkökentän voimakkuus on siten

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

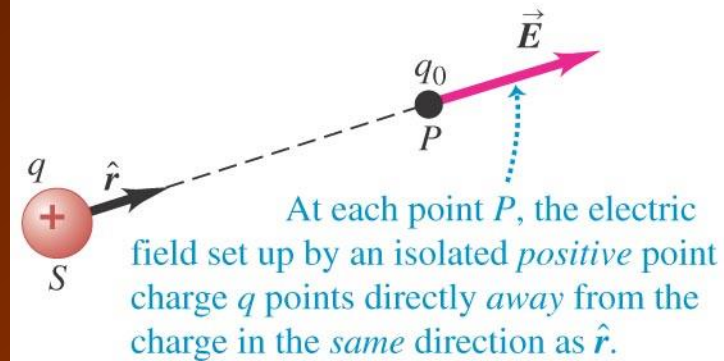
- *Vektorina* sähkökenttä on

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

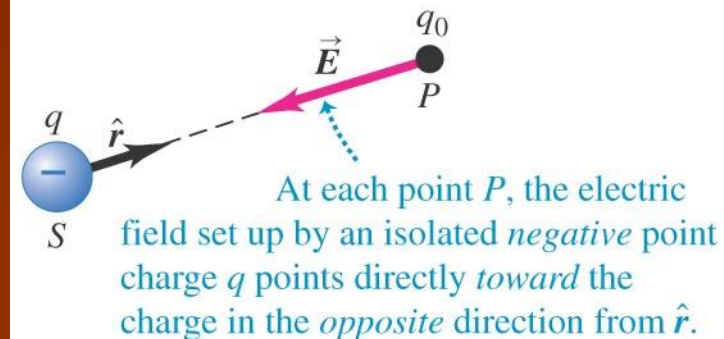
(a)



(b)



(c)

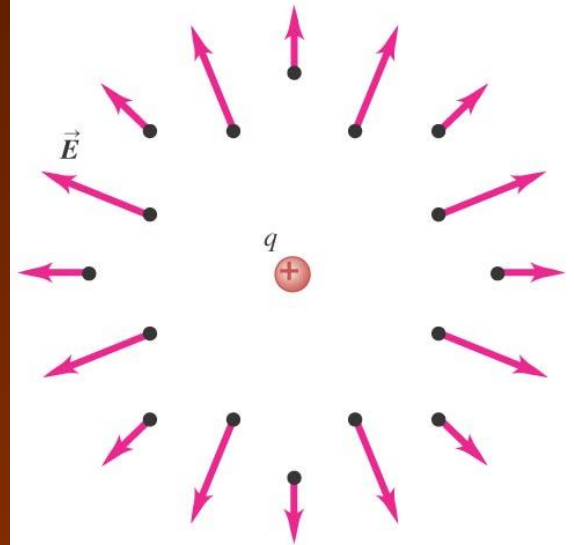


Sähkökenttä

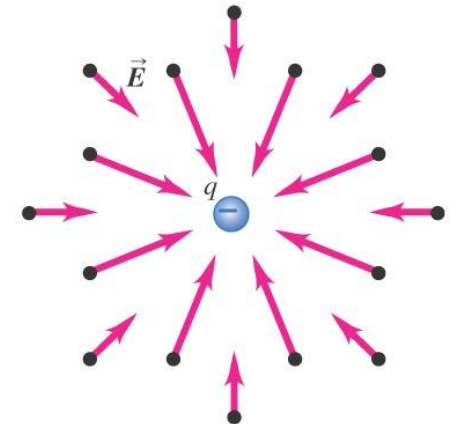
- Sähkökenttä ei ole yksittäinen vektorisuure, kuten esim. tietyssä pisteessä vaikuttava voima, vaan se on *vektorikenttä* ts. vektorifunktio, joka riippuu paikkakoordinaateista x, y, z (karteesisessa koordinaatistossa)

→
$$\vec{E} = \vec{E}(x, y, z)$$

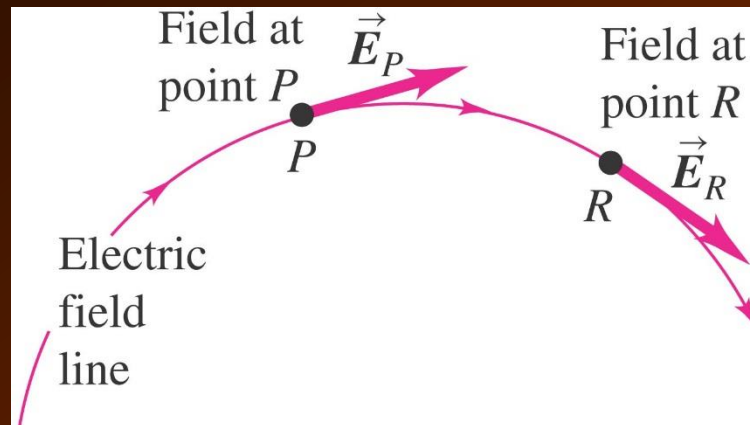
(a) The field produced by a positive point charge points *away* from the charge.



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



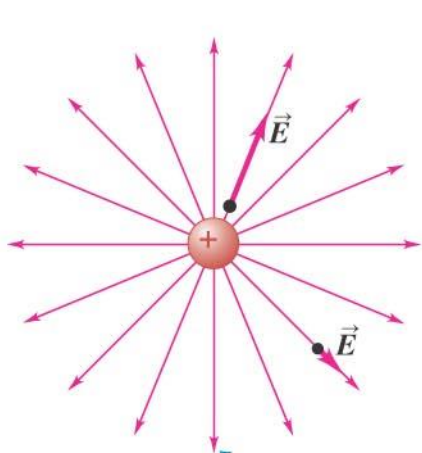
Sähkökentän kenttäviivat



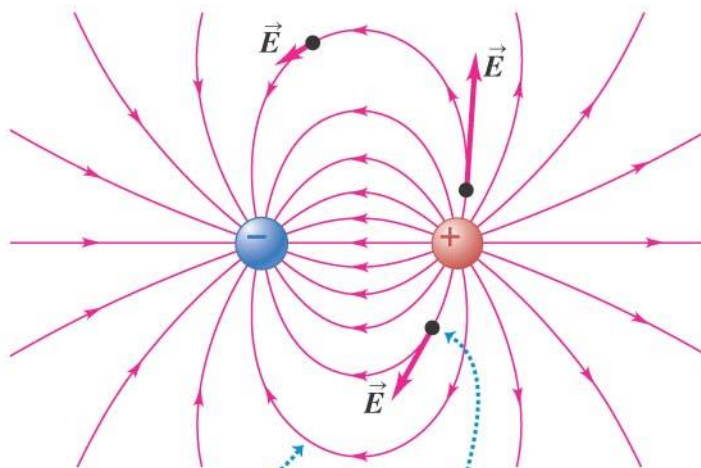
(a) A single positive charge

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

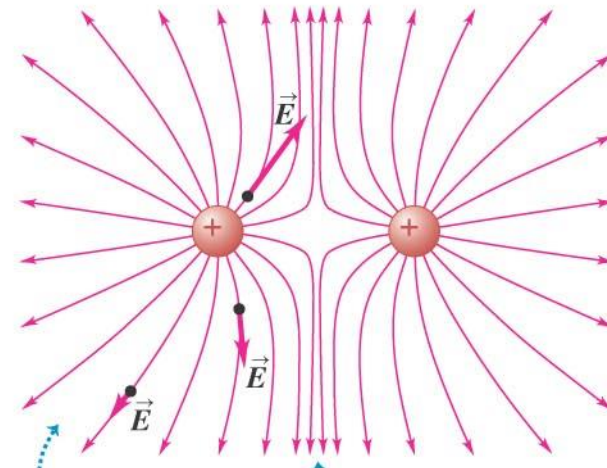
(c) Two equal positive charges



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.