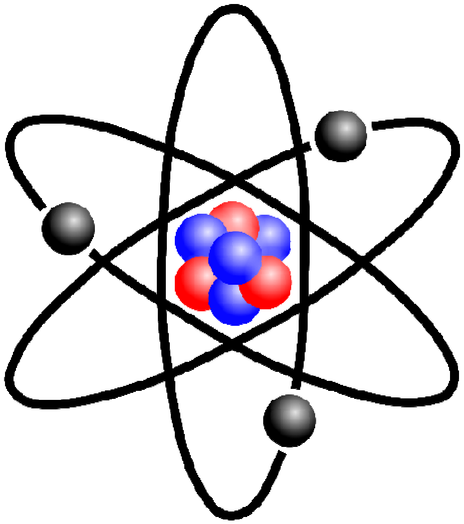
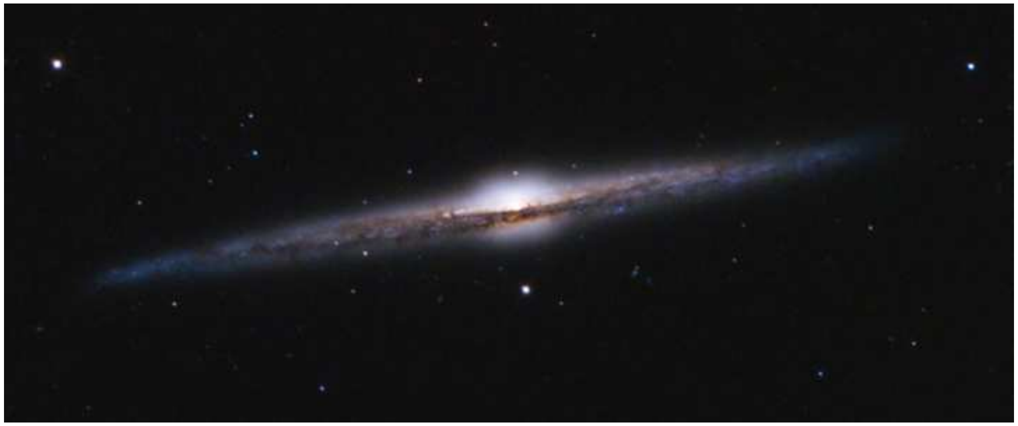
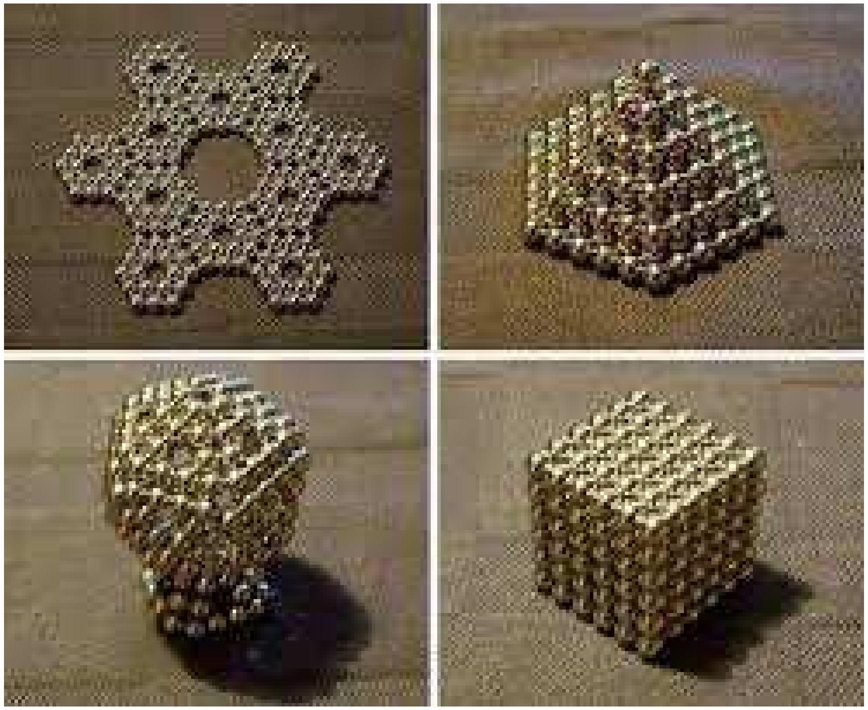




Fizika 112

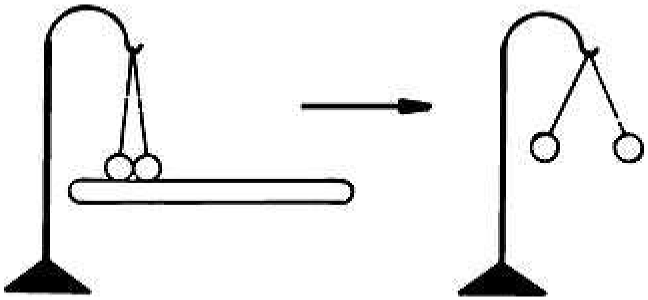
10. és 11. Előadás



Dörzselektromosság I.

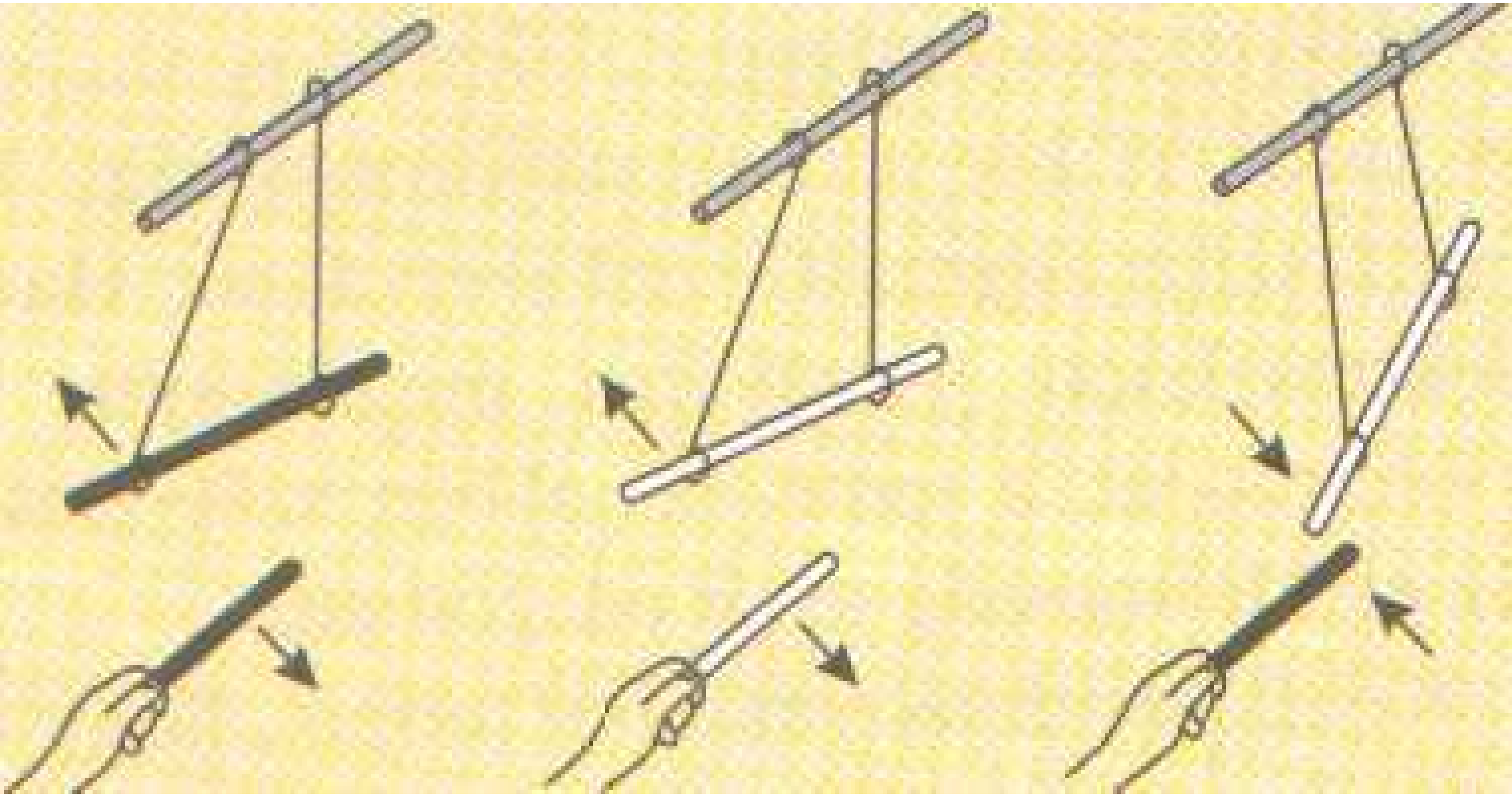
üvegrudat bőrrel dörzsölve…

Kísérlet !!!



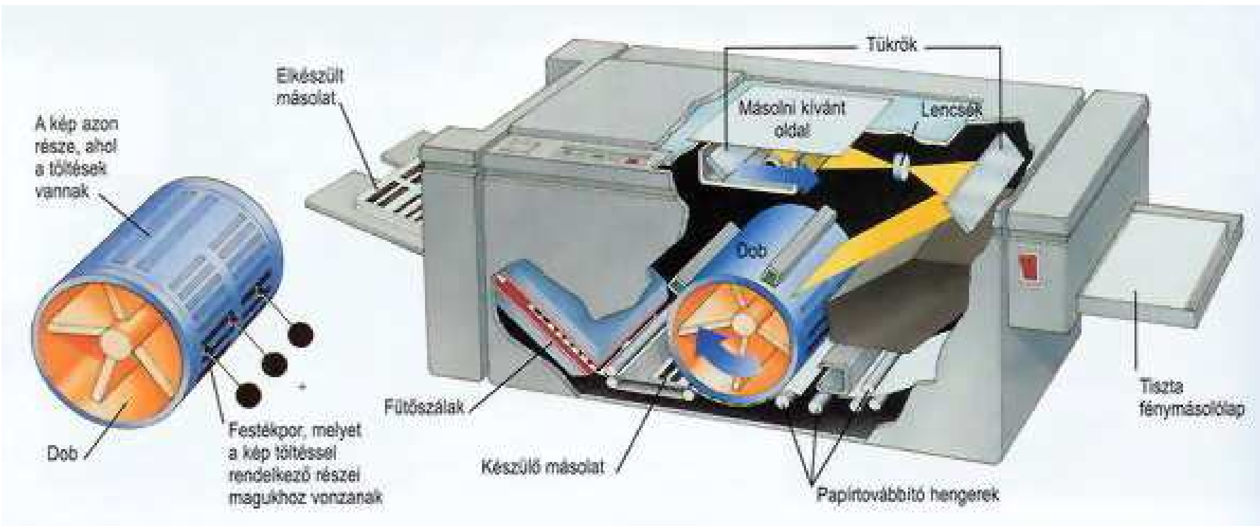
Megállapodás: az üvegrúd pozitív

Dörzselektromosság II.



A fénymásoló

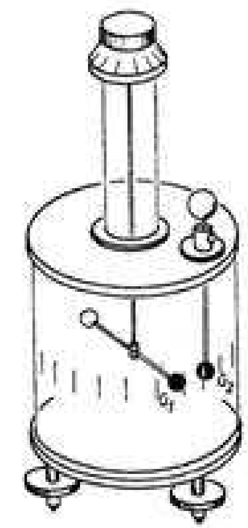
Selényi Pál: az első fénymásoló 1928-ban (eljárás képek elektromos rögzítésére). 1935-ben publikálta eredményeit.
1938-ban Chester F. Carlson Amerikában szabadalmaztatja az első félautomata Xerox gépet.



Selényi Pál
1884 - 1954

Működése: Az eredeti dokumentum képét egy elektrosztatikusan feltöltött félvezetőréteggel bevont hengerre, vagy szalagra vetítik. Ahol a réteget elegendő fény éri, elveszti a töltöttségét. A finom porként adagolt festék az elektrosztatikusan feltöltött részekhez tapad, amit, a továbbfordulás során a másolópapírra továbbít. A papírra került festékport magas hőmérsékleten „beleégetik” a papírba. (Wikipedia)

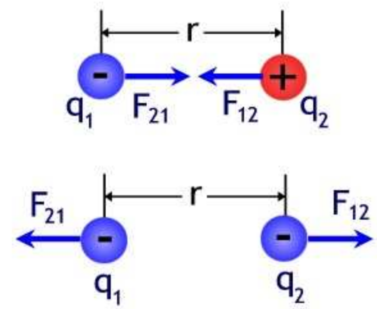
Coulomb törvény I.



Két töltött, pontszerű részecske közötti elektrosztatikus erőhatás nagysága a közöttük lévő távolság négyzetével fordítva arányos.

Az elektrosztatikus erők esetében is érvényes a kölcsönhatás törvénye (erő-ellenerő).

A töltött részecskék közötti erőhatás a két pontszerű töltés nagyságának szorzatával arányos.



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

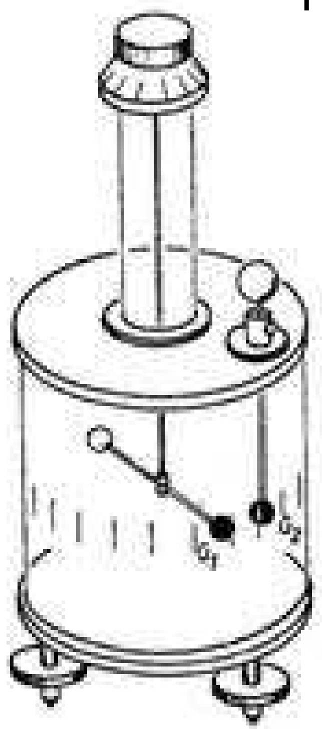
Töltés egysége: C (Coulomb)

ahol: $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}$ és ε_o a vákuum permittivitása : $\varepsilon_o = 8.85 * 10^{-12}\ C^2/Nm^2$

$$\left(k = 9 * 10^9\ \frac{Nm^2}{C^2}\right)$$

Torziós mérleg

Charles Augustin
Coulomb
1736 - 1806



Forgatónyomaték

$$M = \kappa\varphi$$

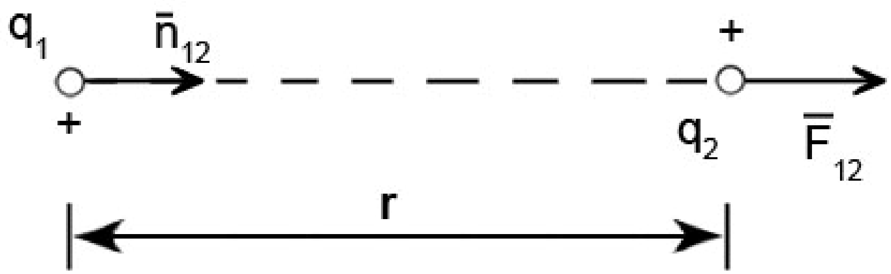
Torziós állandó

Elfordulás (csavarodás) szöge

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

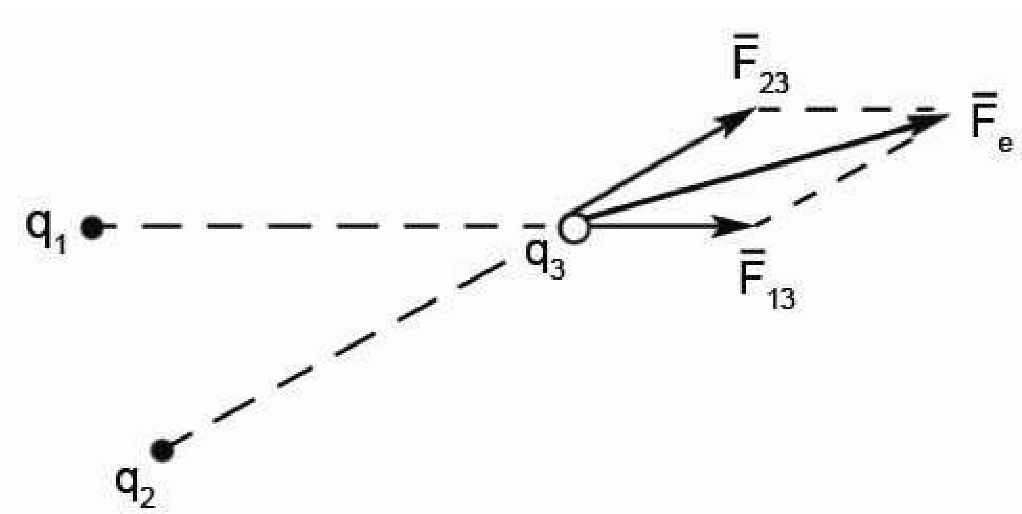
$$\boxed{F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}}$$

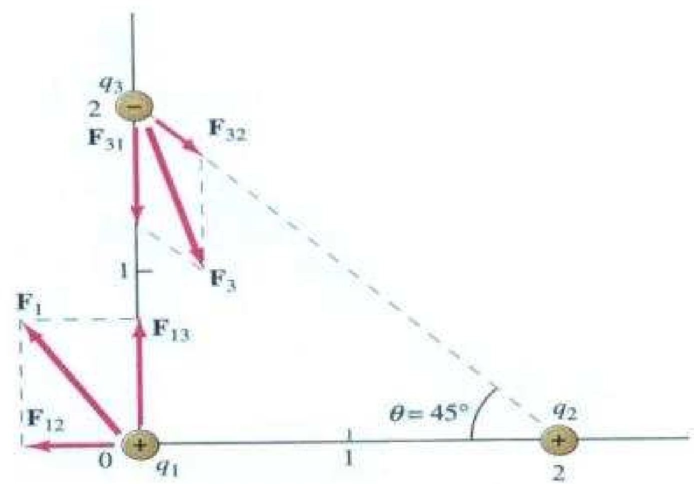
Coulomb törvény II.



$$\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{n}_{12}$$

Szuperpozíció



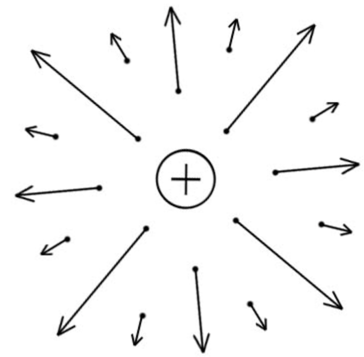


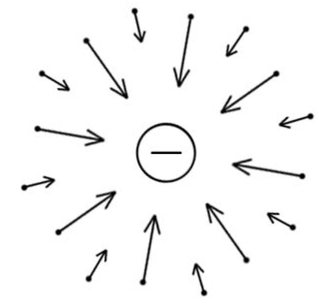
Elektromos erőtér

$$\vec{F} = k\frac{Q}{r^2}\vec{n} * q \qquad \vec{F} = \vec{E}q$$

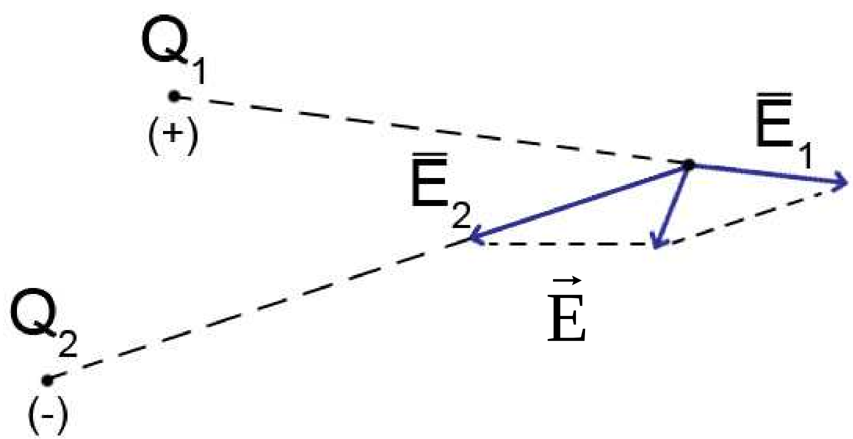
Ponttöltés elektromos erőtere:

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



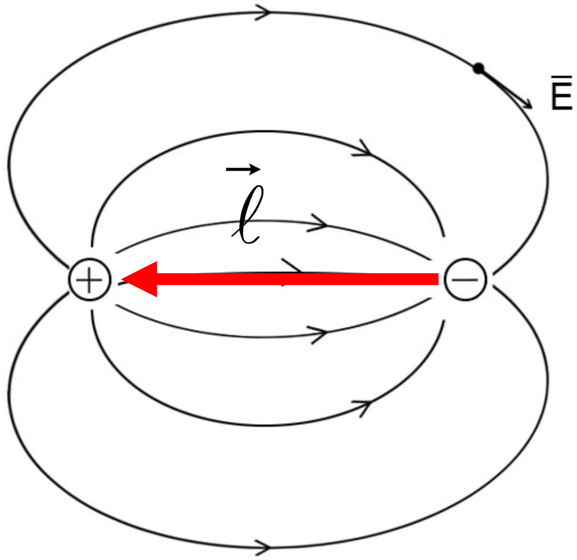


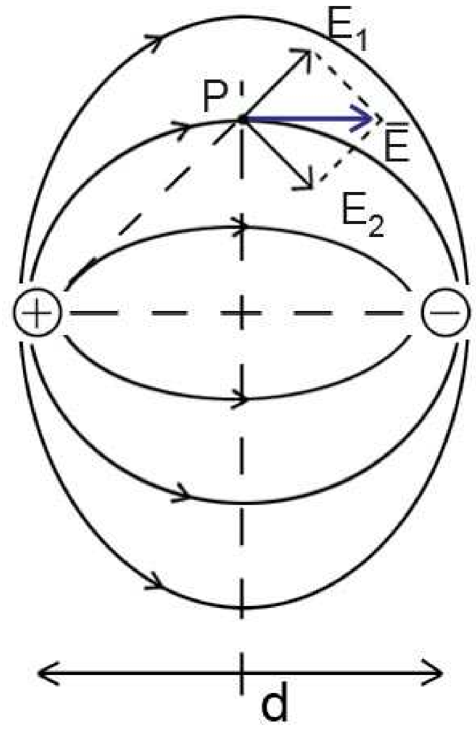
Szuperpozíció:



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

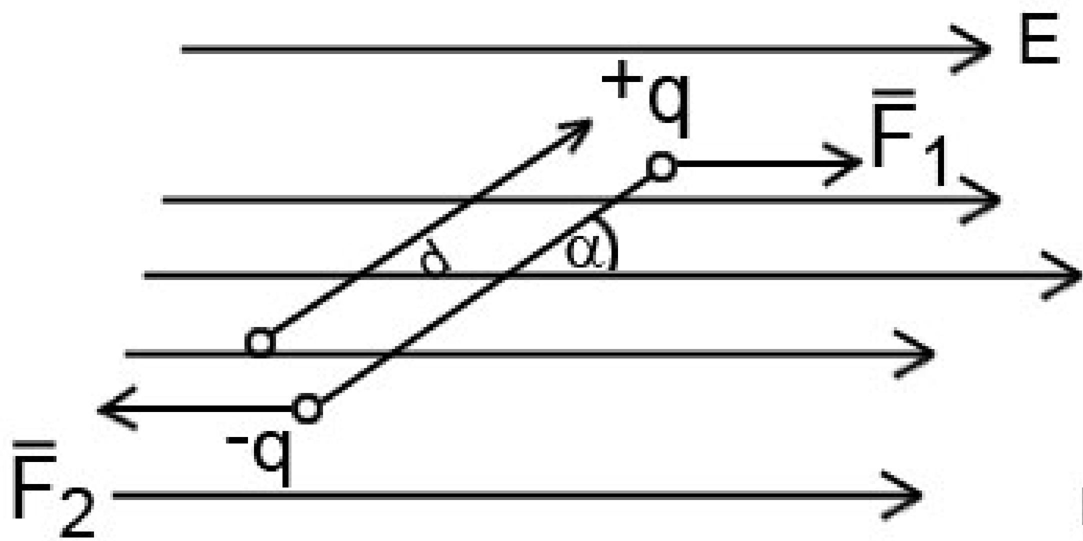
Elektromos dipól





Elektromos dipólmomentum: $\vec{p} = q\vec{\ell}$

Dipólra ható forgatónyomaték:



$$|\bar{F}_1| = |\bar{F}_2| = F = qE$$

$$M = 2 \cdot \frac{d}{2} \sin \alpha \cdot qE$$

$$M = dqE\sin\alpha = pE\sin\alpha$$

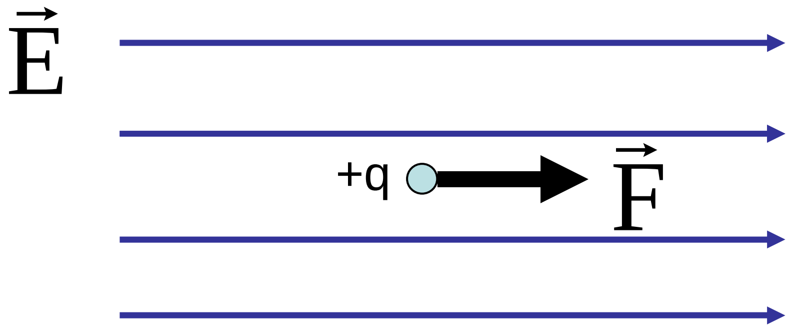
$$\downarrow$$

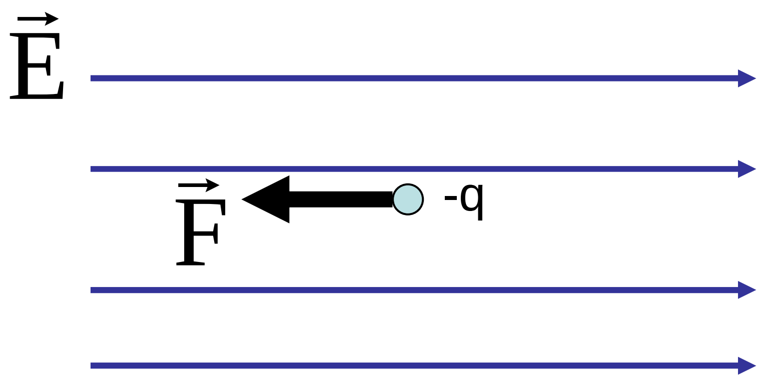
$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Töltött részecske elektromos erőtérben

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

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

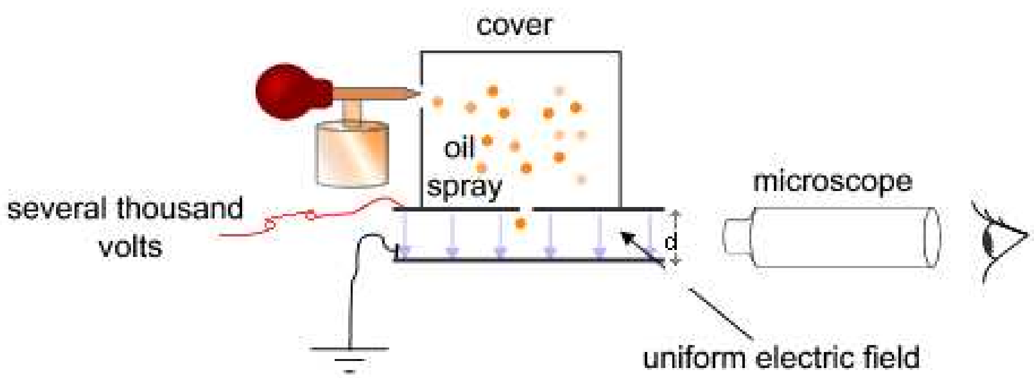




Az elektron töltése

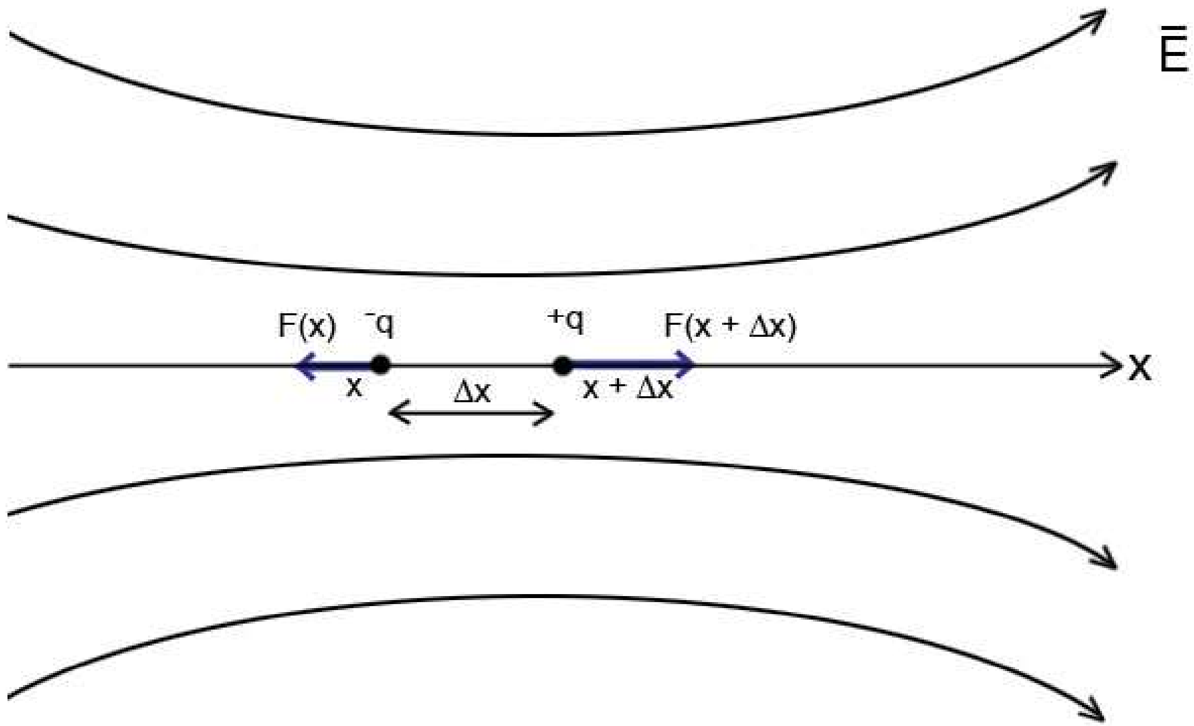
Millikan (1910)

$q_e = 1.6*10^{-19}$ C



”boltban kapható”

Elektromos dipól inhomogén erőtérben



$$F = q\left[E(x+\Delta x) - E(x)\right]$$

$$F = q\frac{dE}{dx}\Delta x = \frac{dE}{dx}p$$

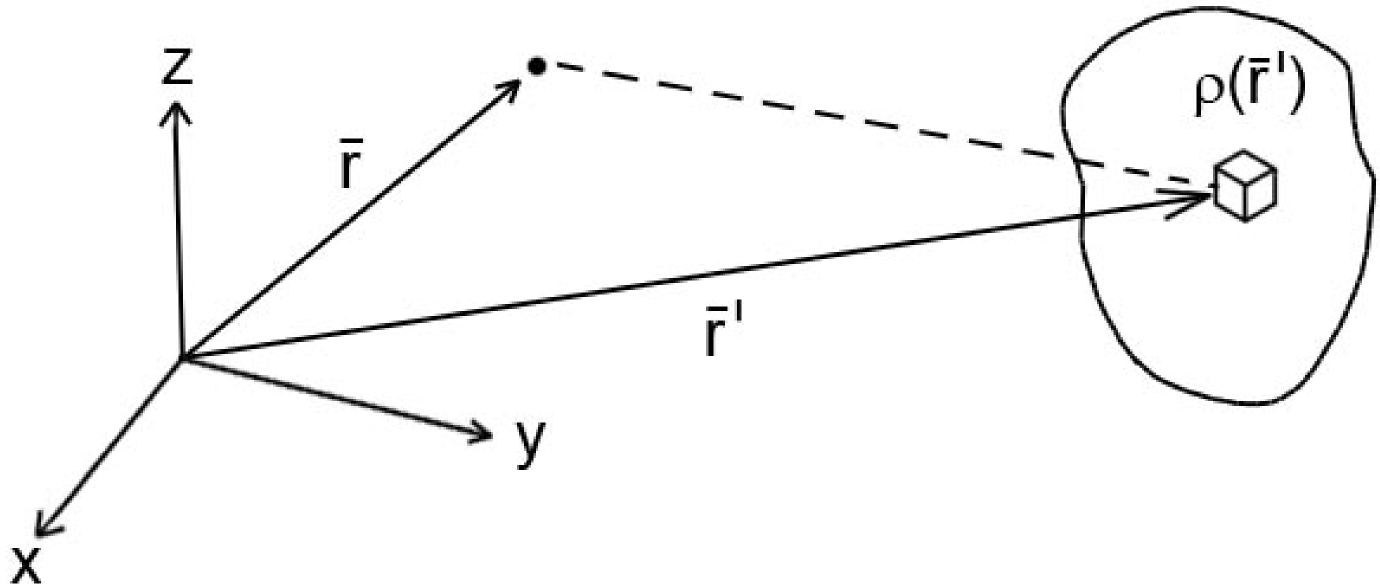
Töltéssűrűség

lineáris: $\lambda = \frac{q}{\ell} \quad \left(\text{ill. } \lambda = \lim\limits_{\Delta\ell \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta \ell} \right)$

felületi: $\sigma = \frac{q}{A} \quad \left(\text{ill. } \sigma = \lim\limits_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta A} \right)$

térfogati: $\rho = \frac{q}{V} \quad \left(\text{ill. } \rho = \lim\limits_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} \right)$

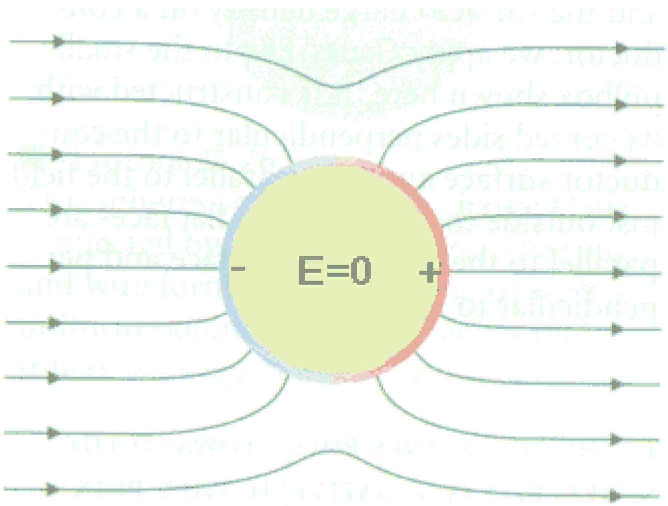
Példa

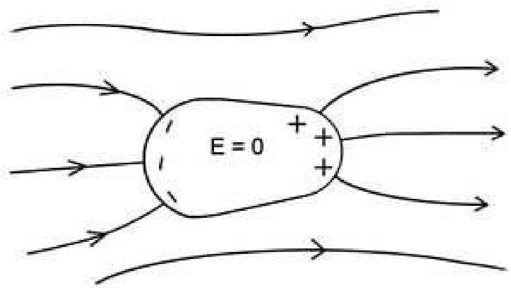


$$\vec{E}(r) = \int_V k \frac{\rho(\vec{r}')}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|^2} \vec{n} dV$$

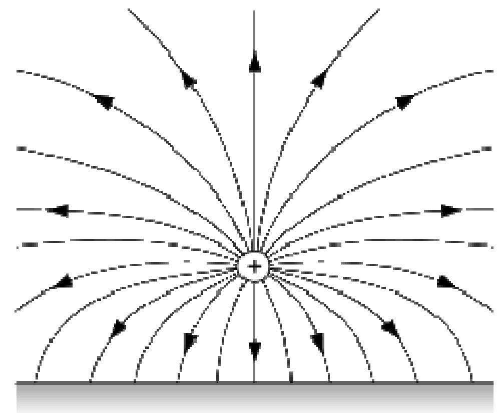
ahol: $\vec{n} = \dfrac{\vec{r} - \vec{r}'}{\left|\vec{r} - \vec{r}'\right|}$

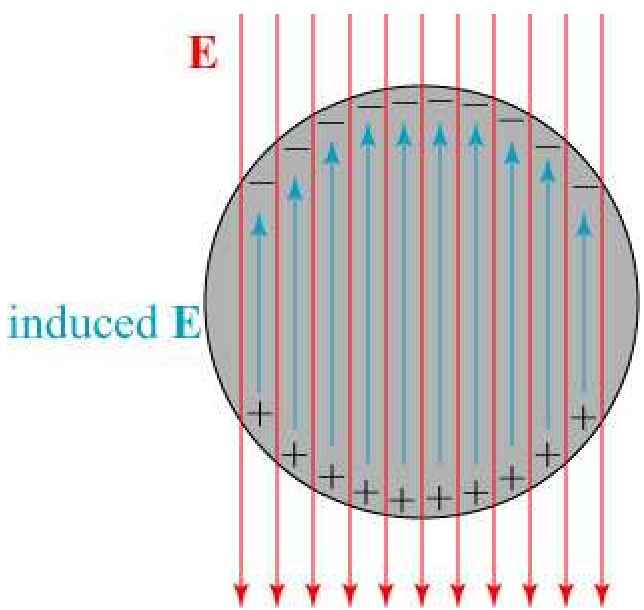
Vezető elektromos térben

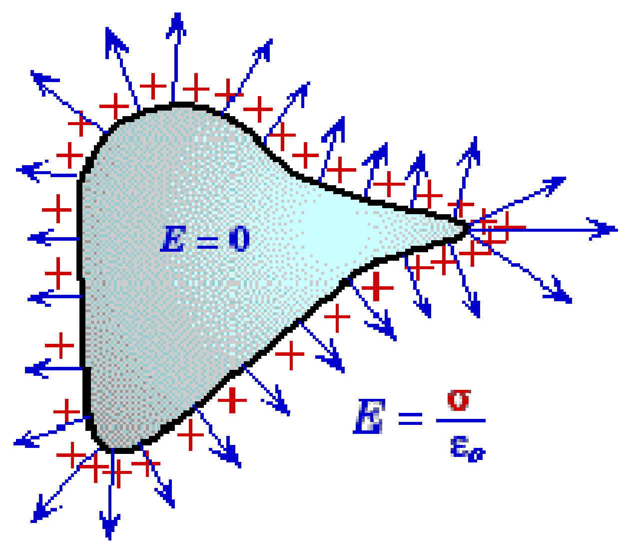




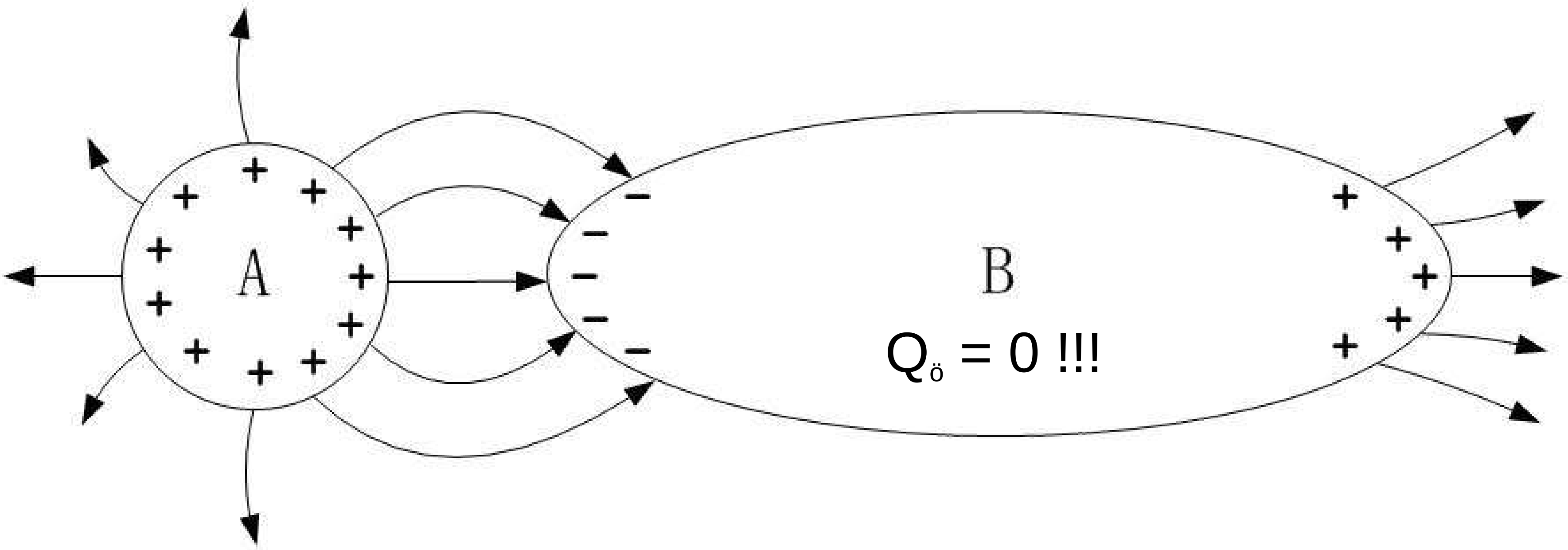
Tükörtöltés!





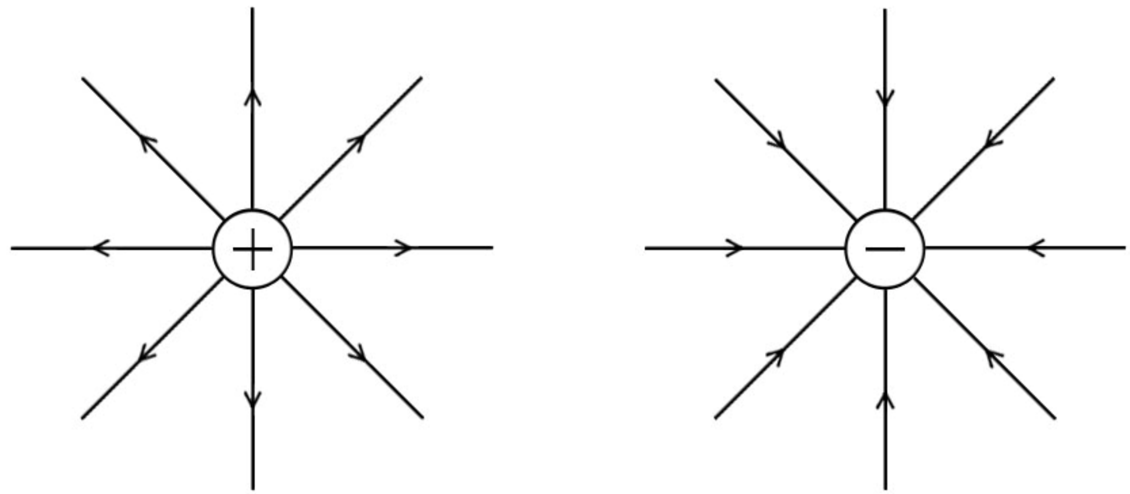


Elektromos megosztás



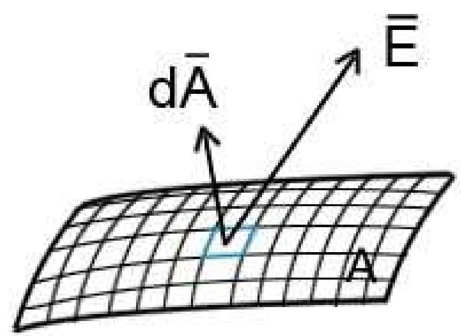
Az elektromos fluxus

Elektromos erővonalak
(erővonalak)
már használtuk



$$\Phi_E = \int_A \vec{E}(\vec{r})d\vec{A}$$

a felületen

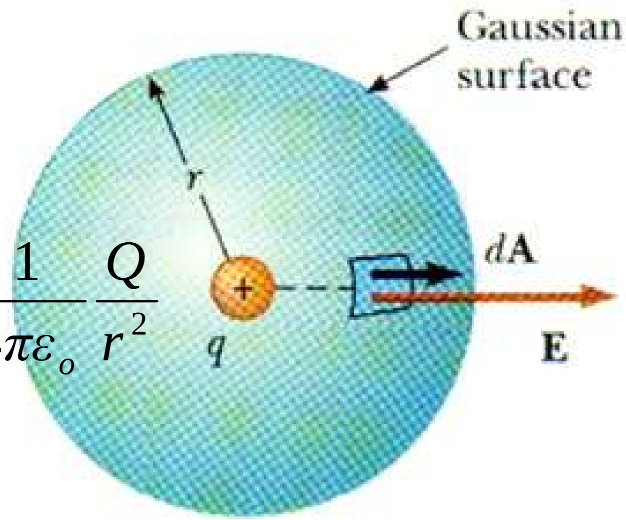


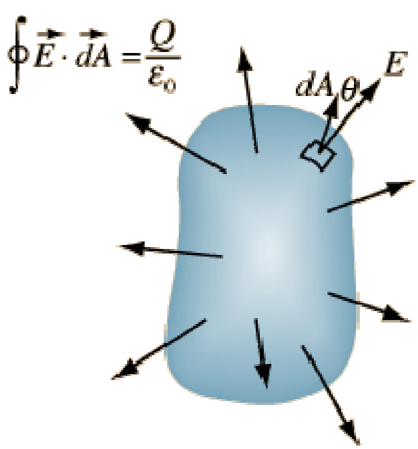
A zárt felületből kifelé mutat: $d\vec{A}$

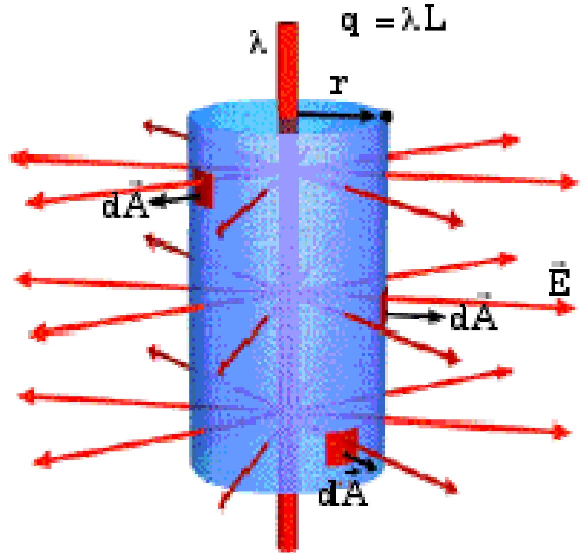
A Gauss-törvény

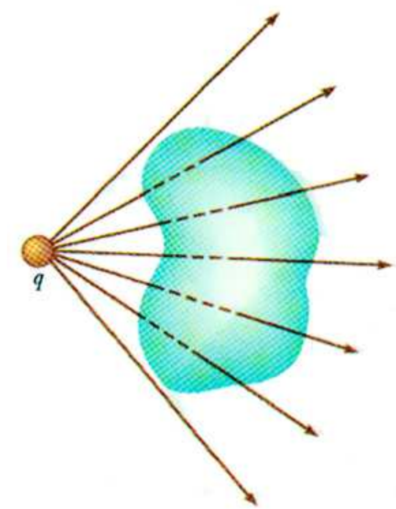
$$\oint_A \vec{E}d\vec{A} = \frac{Q_ö}{\varepsilon_o}$$

$$4\pi r^2 E = \frac{Q}{\varepsilon_o} \rightarrow E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}$$







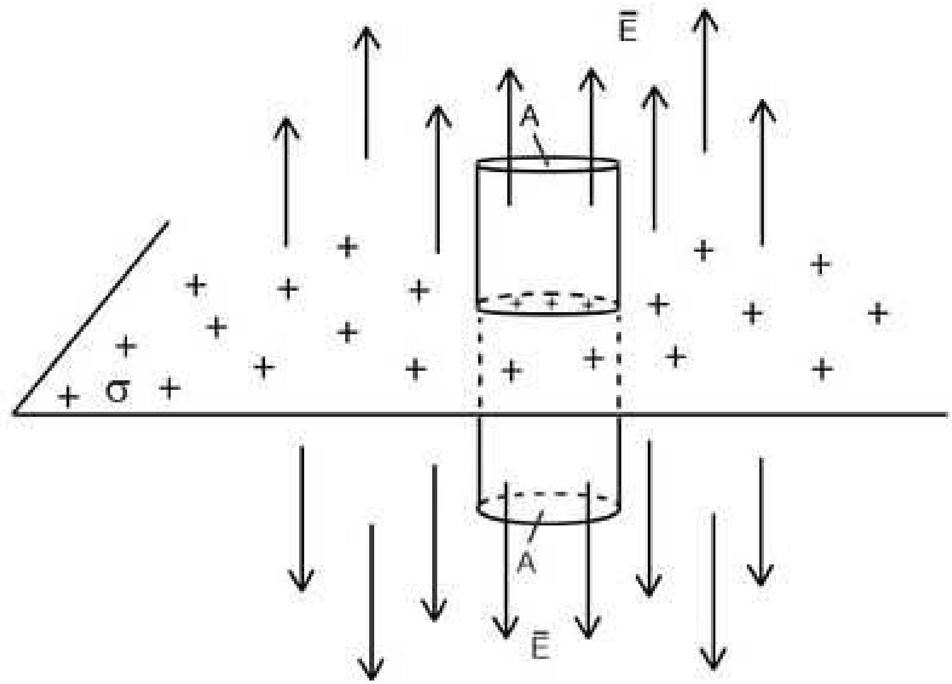


Gauss-törvény folytatás

$$\oint_A \vec{E}\, d\vec{A} = \frac{Q_ö}{\varepsilon_o}$$

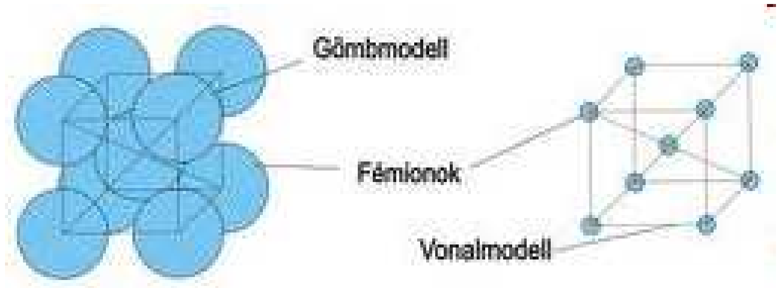
$$\int_A \vec{E}\, \mathrm{d}\vec{A} - 2EA - \frac{\sigma A}{\varepsilon_0}$$

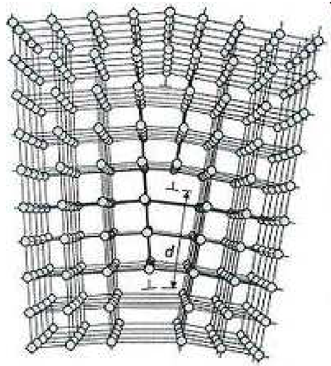
$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

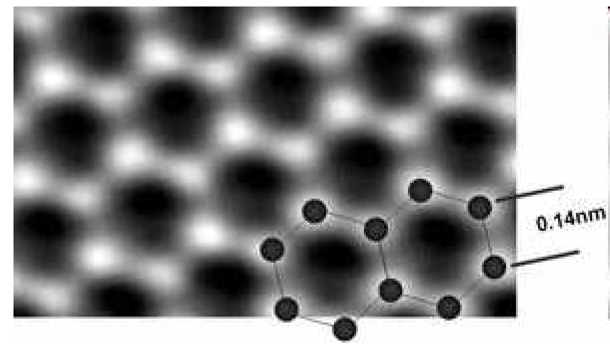


Homogén elektromos erőtér

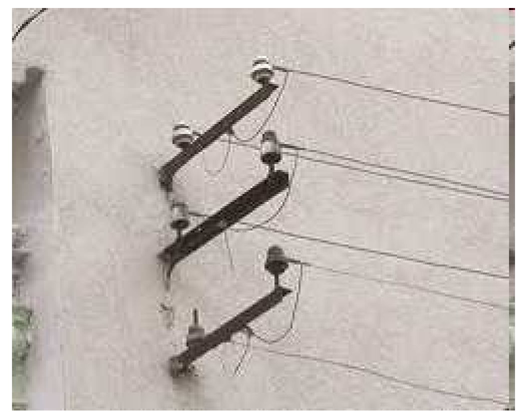
Vezetők: fémek (kristályszerkezet, csaknem szabadon mozgó elektronok)
Cu, Fe, Al, Pb, … stb.



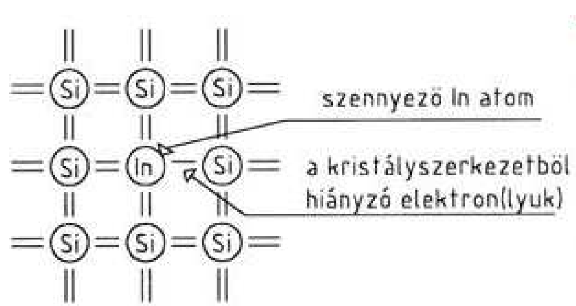




Szigetelők: műanyag, porcelán, papír(száraz), csillám, üveg, … stb.



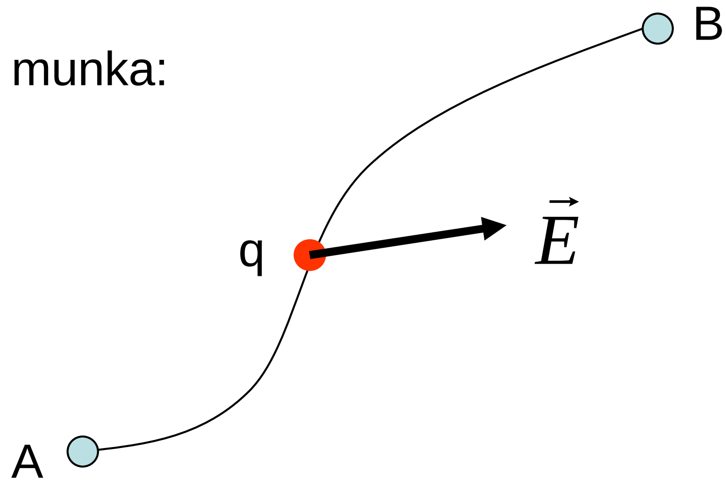
Félvezetők: Si, Ge, …



Elektromos potenciál és energia I.

Az elektromos erőtér által végzett munka:

$$W = \int_A^B \vec{F}\,\mathrm{d}\vec{s} = \int_A^B q\vec{E}\,\mathrm{d}\vec{s}$$



A töltött részecske potenciális energiájának megváltozása: $$\Delta E_p = -\int_A^B q\vec{E}\,\mathrm{d}\vec{s}$$

Def.: az elektromos potenciálkülönbség: $$\Delta U_{AB} = \frac{\Delta E_p}{q} = -\int_A^B \vec{E}\,\mathrm{d}\vec{s}$$

Elektromos potenciál és energia II.

Potenciális energiaváltozás: $\Delta E_p = q\Delta U$

Homogén térben: $\Delta U_{AB} = -\vec{E}\vec{s}$

A tér által végzett munka: $W_{tér} = -q\Delta U_{AB}$

$W_{tér} = \Delta E_k$ ill. $-q\Delta U_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$

Ponttöltés elektromos potenciálja

$$\Delta U_{AB} = -\int_A^B \vec{E}d\vec{s} = -\int_A^B k\frac{Q}{r^2}\vec{n}d\vec{s}$$

$$\Delta U_{AB} = kQ\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right)$$

Ha az A pont a ∞ – ben van ($r_A = \infty$) és $r_B = r$: $U(r) = k\frac{Q}{r}$

$$U(r = \infty) = 0$$

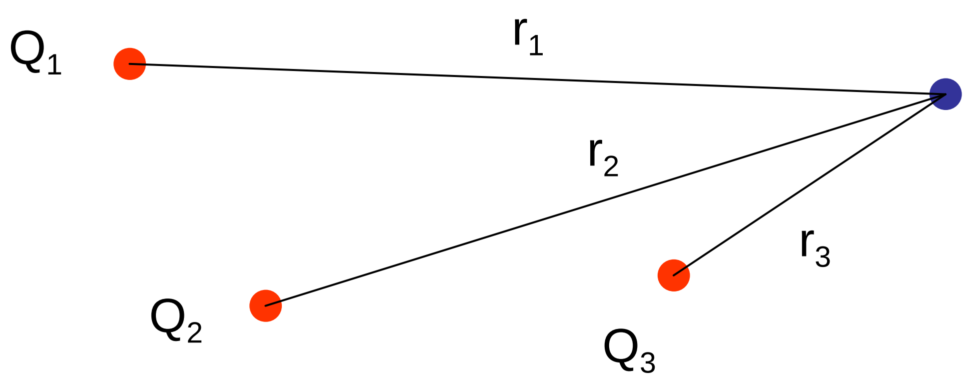
Ponttöltések terében az elektromos potenciál

Láttuk: szuperpozíció

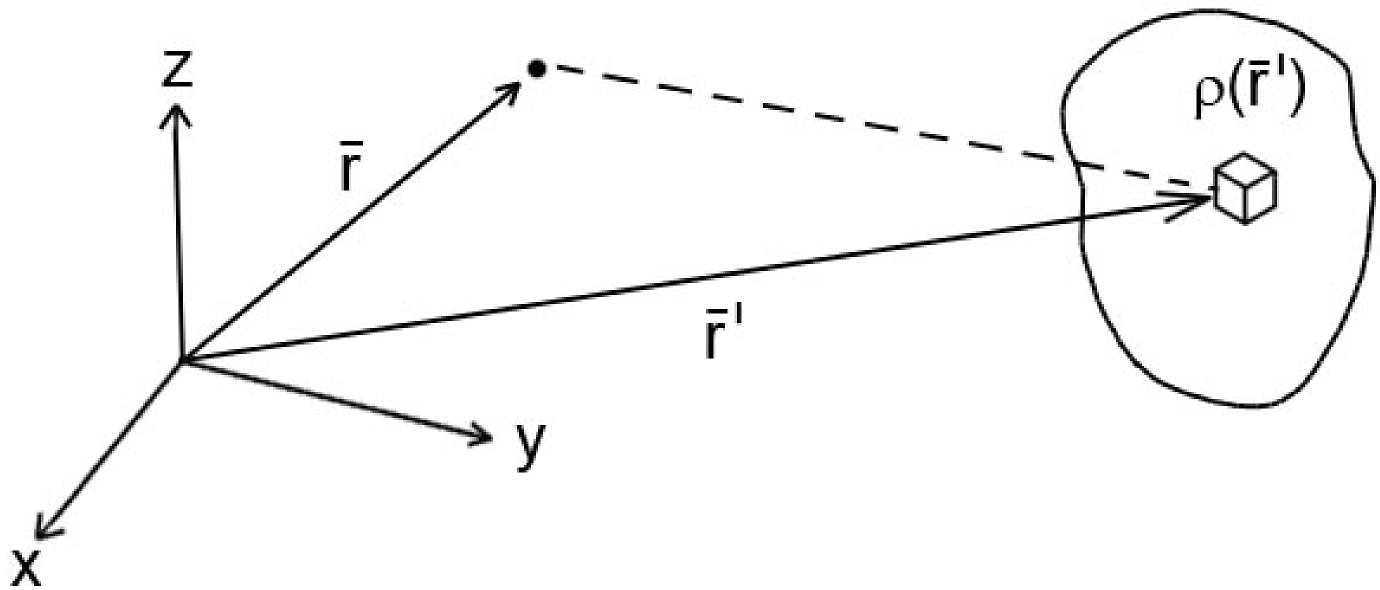
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots$$

$$\Delta U_{AB} = -\int_A^B \vec{E}\, d\vec{s} = -\int_A^B (\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots)\, \mathrm{d}\vec{s} = -\int_A^B \vec{E}_1\, \mathrm{d}\vec{s} - \int_A^B \vec{E}_2\, \mathrm{d}\vec{s} - \ldots$$

$$U(r) = \sum_i U_i = \sum_i k\frac{Q_i}{r_i}$$

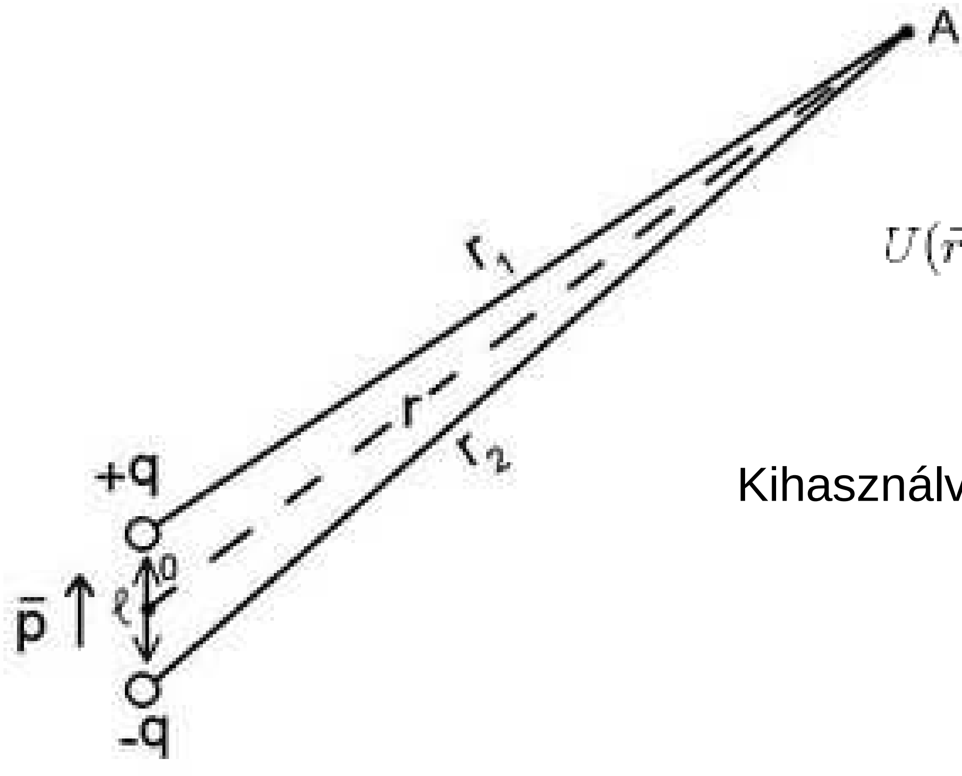


Folytonos töltéseloszlás terében az elektromos potenciál



$$U(\vec{r}) = \int\limits_{V'} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \mathrm{d}V'$$

Az elektromos dipól potenciálja



$$U(\vec{r}) = kq\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = kq\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}$$

Kihasználva, hogy: $r_2 - r_1 \approx \ell cos\theta$

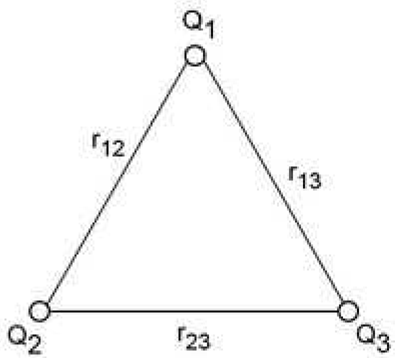
$$r_1 r_2 \approx r^2$$

$$U(\vec{r}) - k\frac{q\ell cos\theta}{r^2} - k\frac{pcos\theta}{r^2} - k\frac{\vec{p}\cdot\vec{r}}{r^3}$$

$$p = q\ell$$

Töltésrendszer elektrosztatikus energiája

$$U(r) = k\frac{Q_1}{r} \longrightarrow E_p(r) = Q_2 U(r) = k\frac{Q_1 Q_2}{r}$$



A Q_1 töltés helyén az elektromos potenciál:

$$U_{Q_1} = k\frac{Q_2}{r_{12}} + k\frac{Q_3}{r_{13}}$$

A Q_1 töltés potenciális energiája:

$$Q_1 U_{Q_1} = k\frac{Q_1 Q_2}{r_{12}} + k\frac{Q_1 Q_3}{r_{13}}$$

A töltésrendszer potenciális energiája:

$$E_p = k\frac{Q_1 Q_2}{r_{12}} + k\frac{Q_1 Q_3}{r_{13}} + k\frac{Q_2 Q_3}{r_{23}}$$

Ált.: $\boxed{E_p = \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{N} k\frac{Q_i Q_j}{r_{ij}}}$ ahol $i \neq j$ ill.: $E_p = \frac{1}{2}\int_V \rho(\vec{r})U(\vec{r})\mathrm{d}V$

Elektromos erőtér származtatása az elektromos potenciálból

$$\mathrm{d}U = -E_x \mathrm{d}x$$

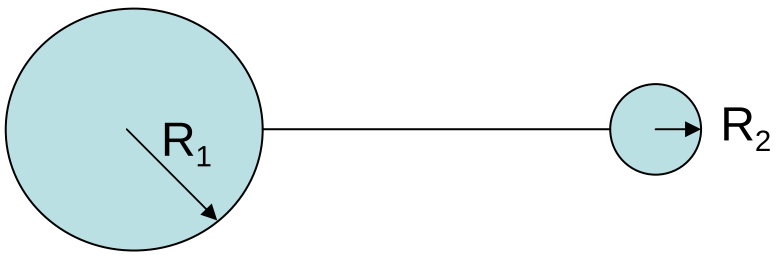
$$E_x = -\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}x}$$

$$\vec{E} = -\mathrm{grad}U(x, y, z)$$

$$\oint \vec{E}\mathrm{d}\vec{s} = 0 \quad \text{, mert} \quad \mathrm{rot}(\vec{E}) = \mathrm{rot}(\mathrm{grad}(U(\vec{r}))) = 0$$

Ekvipotenciális felületek …

A csúcshatás



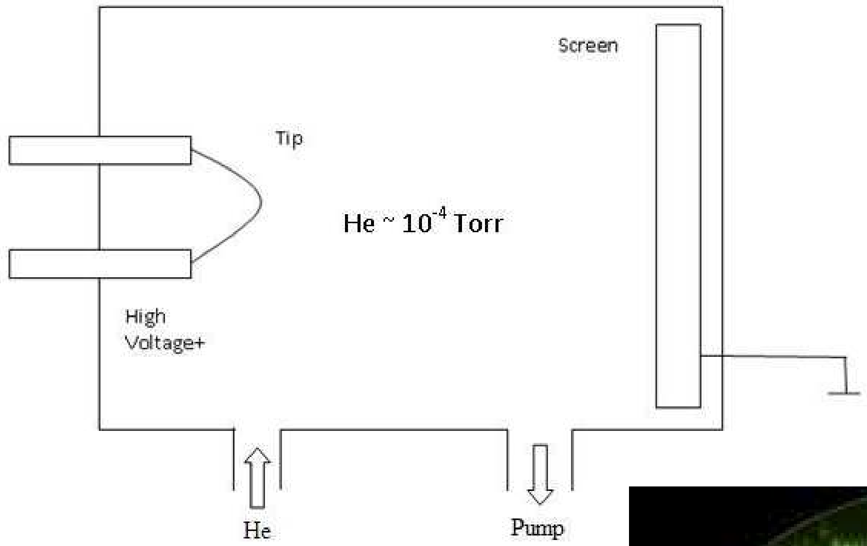
$$k\frac{Q_1}{R_1} = k\frac{Q_2}{R_2}$$

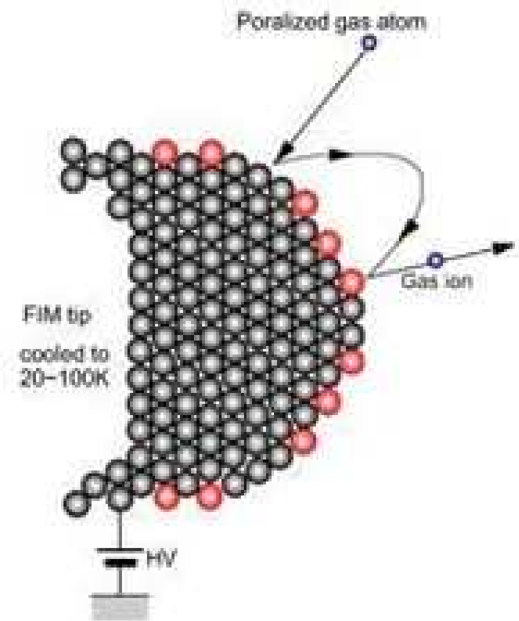
$$E_1 = \frac{Q_1}{R_1^2} \quad \text{ill.} \quad E_2 = \frac{Q_2}{R_2^2}$$

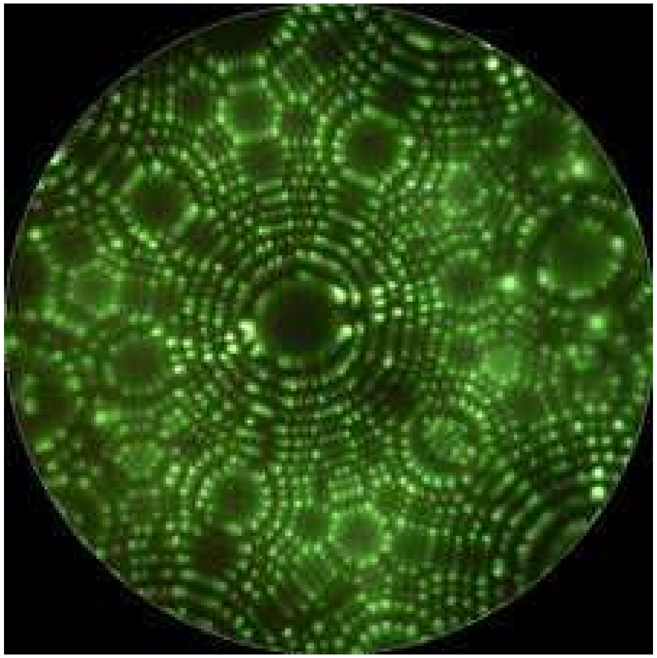
$$\boxed{\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2}{R_1}}$$

Pl.: Szent-Elmo tüze (koronakisülés)

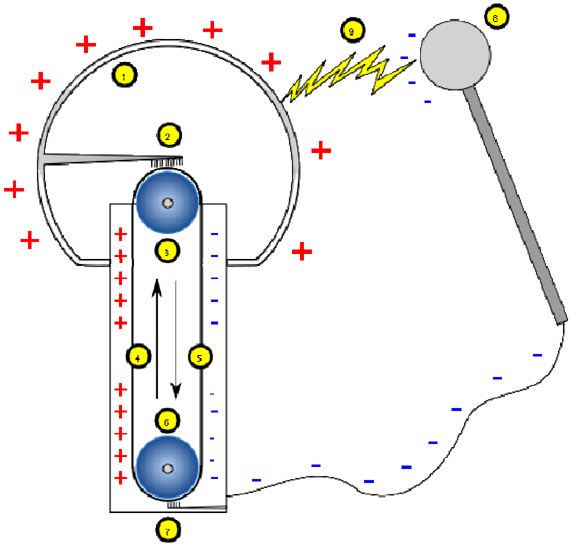
Térion mikroszkóp:





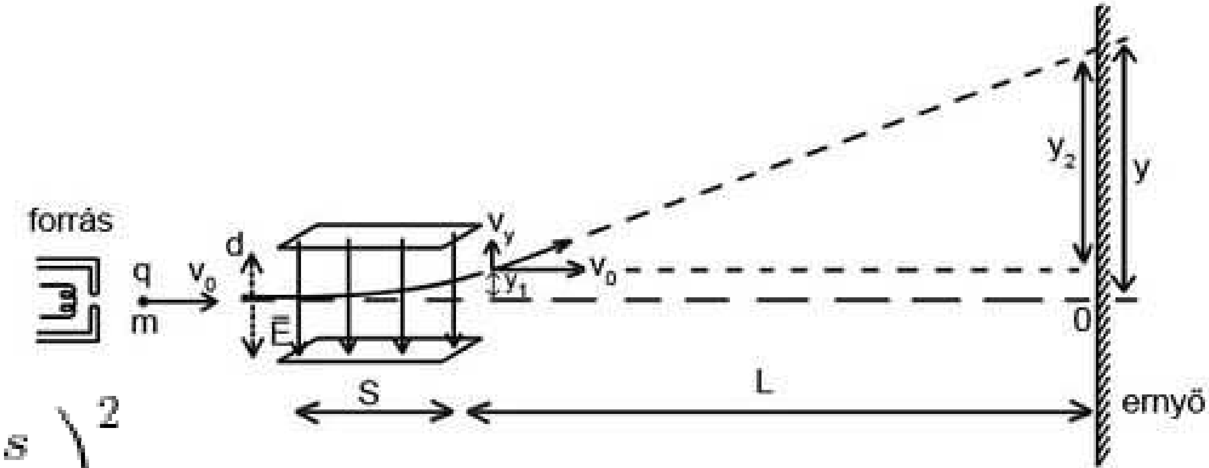


Van de Graaff generátor



A CRT monitor

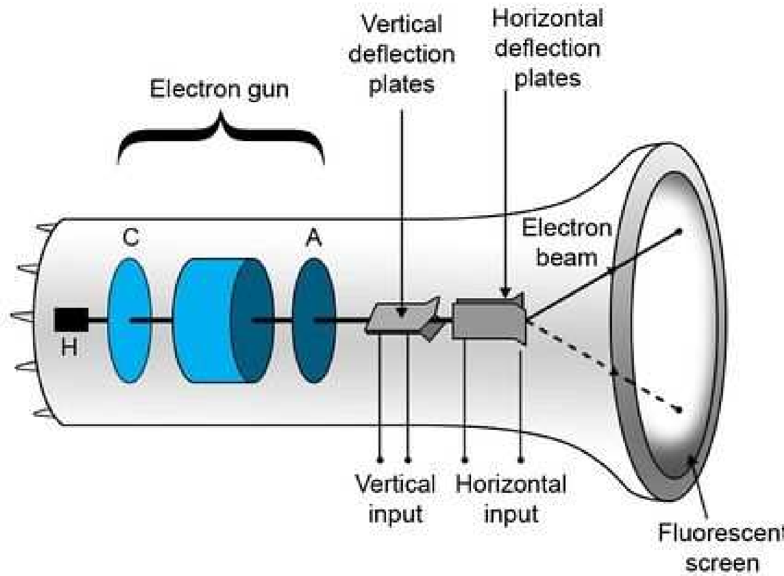
$$a_y = \frac{qE}{m} \qquad t_1 = \frac{s}{v_0}$$



$$y_1 = \frac{1}{2} a_y t_1^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left(\frac{s}{v_0} \right)^2$$

$$v_y = a_y t_1 = \frac{qE}{m} \frac{s}{v_0} \qquad t_2 = \frac{\ell}{v_0}$$

$$y_2 = v_y t_2 = \frac{qE}{m} \frac{s}{v_0} \frac{\ell}{v_0}$$



$$y = y_1 + y_2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left(\frac{s}{v_0} \right)^2 + \frac{qE}{m} \frac{s}{v_0} \frac{\ell}{v_0} = \left[\frac{qE}{m} \frac{s}{v_0^2} \left(\frac{s}{2} + \ell \right) \right] E$$

$$E = \frac{U}{d} \quad \longrightarrow \quad \boxed{y \sim U}$$