ELTE, I.Fizikus, 2004/2005 II.félév

KISÉRLETI FIZIKA

Elektrodinamika

1. (II. 15-18)

Mechanika:
Newton törvények

1.) Tehetetlenség — 1 test

2.) $\underline{\mathbf{F}}_i = m\,\underline{\mathbf{a}}_i$

3.) $\underline{\mathbf{F}}_{1,2} = -\underline{\mathbf{F}}_{2,1}$

$\left.\right\}$ 2 test

4.) Erők függetlenségének elve:

$\underline{\mathbf{F}}_i = \Sigma\,\underline{\mathbf{F}}_{i,j}$ (Csak párkökcsöhatás van. Nincs háromtest vagy négytest kölcsönhatás!)

Honnan lehet tudni az $\underline{\mathbf{F}}_{i,j}$ -t **?**

$\left.\right\}$ **több test**

Kölcsönhatások:

1.) Gravitáció: $\underline{\mathbf{F}}_{1,2} = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}\frac{\underline{R}}{R}$, *ahol* $\underline{\mathbf{R}} = \underline{\mathbf{r}}_2 - \underline{\mathbf{r}}_1$.

2.) Elektromágnesség: $\underline{\mathbf{F}}_{1,2} = -k\frac{Q_1 Q_2}{R^2}\frac{\underline{R}}{R}$ **E félév témája !**

3.) Erős kölcsönhatás
Részecskefizikai hatás (kvark).

4.) Gyenge kölcsönhatás:
Magfizikai reakcióknál, bomlásoknál látjuk a hatást:

$$n \rightarrow p^{+} + e^{-} + \overline{\nu}$$

Elektromágneses kölcsönhatás

Mindenütt találkozunk vele (áram, 220V,…stb)

Speciális esetek: **Elektrosztatika**
Magnetosztatika
Stacionárius áram
Hullámok

Elektrosztatika

Elektrosztatika fő mennyisége: ***töltés (q, Q)***
Két test elektromosan kölcsönhat, ha mindkettő rendelkezik töltéssel.

Kvalitatív összefüggések:

- *az **azonos** töltések **taszítják**, a **különbözőek vonzzák** egymást,*
- *a hatás a távolsággal **csökken.***

Kvantitatív összefüggések, (az erő):

- *a két testet összekötő **vonalban** van,*
- *a töltésekkel **egyenesen arányos,***
- *a távolság négyzetével **fordítottan arányos** ($\sim 1/r^2$).*

Coulomb törvény:

$$\underline{F}_{1,2} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{R^2}\frac{\underline{R}}{R}, \qquad \text{ahol} \quad \underline{R} = \underline{r}_2 - \underline{r}_1$$

$$\left|\underline{F}_{1,2}\right| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{R^2} \; .$$

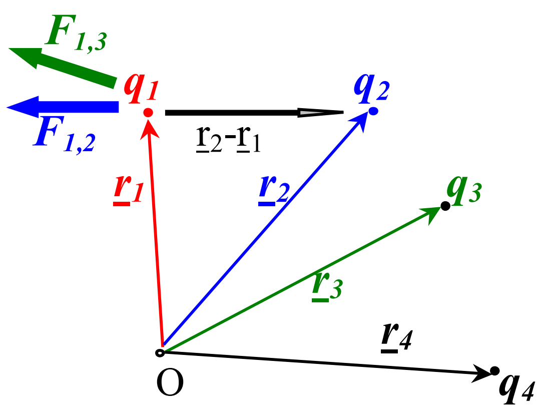
Egységek (SI): *a távolság* $[m]$

a töltés $[Cb] = [As] = [\frac{Nm}{V}]$ $\quad (VA = W = [\frac{J}{s}] = [\frac{Nm}{s}])$

az erő $[N] = \frac{kg\,m}{s^2}$

$\varepsilon_o = 8.854\;10^{-12}\;\frac{Cb^2}{m^2 N} = \frac{1}{4\pi\cdot 9\cdot 10^9}\frac{As}{Vm}$

n db töltés esetén:



$$\underline{F}_i = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n}\frac{q_i q_j}{\left|r_i - r_j\right|^3}(\underline{r}_j - \underline{r}_i) = -\,q_i\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n}\frac{q_j}{\left|r_i - r_j\right|^3}(\underline{r}_j - \underline{r}_i)$$

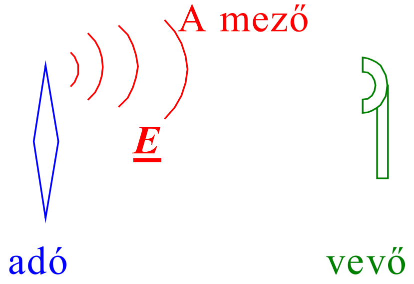
A **<u>térerősség vektor</u>** ***E(r)*** (vektor - vektor függvény):

$$\underline{E}_i = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\sum_{j=1}^{n}\frac{q_j}{\left|r_i - r_j\right|^3}(\underline{r}_j - \underline{r}_i)$$

j = i probléma ($\frac{0}{0}$) ! Definició szerint kizárva! ($\frac{0}{0} = 0$)

$$\underline{F}_i = q_i\ \underline{E}(\underline{r}_i)$$

Az erőleírás elektro**sztatiká**ban jó, de nem fejleszthető tovább!



*A tér (mező) „leválik” a **töltés**ről, önállóvá lesz.**(dinamika)***

*Nem kell **távolhatás**, csak **lokális** kölcsönhatás van terjedési sebességgel (**c** fénysebesség). Relativitás elmélet*

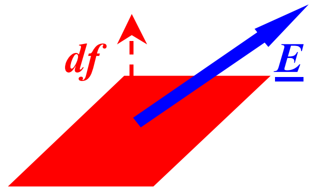
Térelméleti leírás

<u>Gauss törvény</u>

$E \sim 1/r^2$ $\qquad$ ***E * felület = áll.***

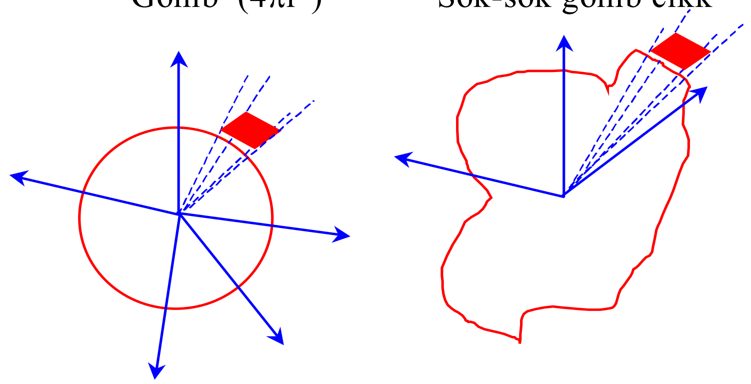
Felületi integrál

$$\iint \underline{E}\, d\,\underline{f} = \iint \left|\underline{E}\right| \left|d\,\underline{f}\right| \cos\alpha$$



$$\textit{Fluxus} = \Phi = \iint \underline{E}\, d\,\underline{f}$$

Gömb ($4\pi r^2$) $\qquad$ Sok-sok gömb cikk



$$\oint\!\!\oint \underline{E}\, d\,\underline{f} = \frac{1}{\varepsilon_o} q\left[f\right]$$

Mindkét oldal a felület függvénye (funkcionálja)!
Bármilyen töltéselrendezésre igaz.

Térerő $\Rightarrow$ *töltéselrendeződés*
Töltéselrendeződés $\not\Rightarrow$ ***térerő****.*

Vonal integrál törvénye

$$\oint \underline{E}\, d\underline{s} = 0$$ *(bármely zárt görbére)*

Ez egy ponttöltés által végzett munka:

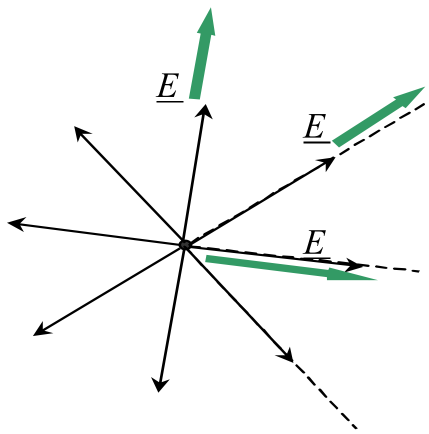
$$\int \underline{F}\, d\underline{s} = q \int \underline{E}\, d\underline{s}$$

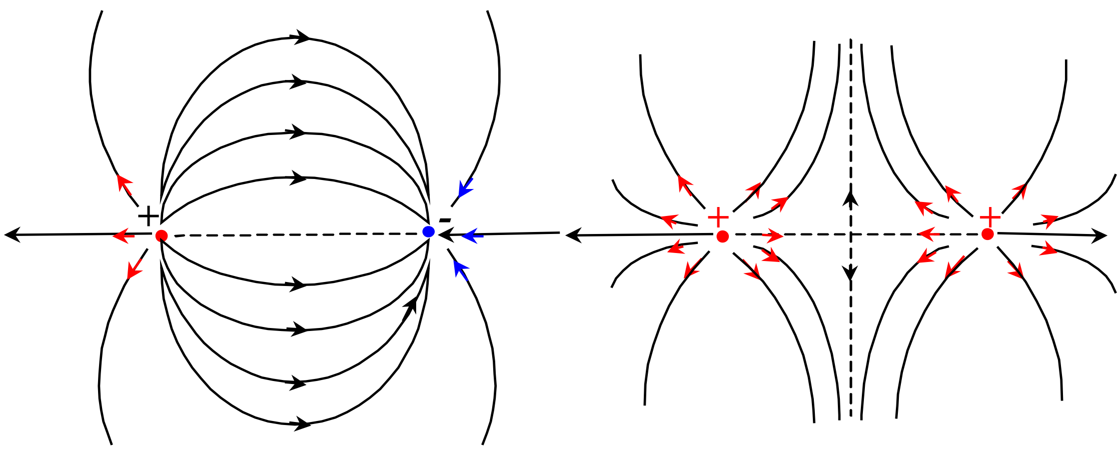
$$\oint \underline{F}\, d\underline{s} = 0$$

Az elektrosztatikus tér konzervatív!

Reprezantáció erővonalakkal:

1. Minden töltésből a töltéssel arányos erővonal lép ki (1/Cb ; 4π/Cb).
2. Az erővonal folytonos (töltésen ered, töltésen végződik */Gauss törvény/)*.
3. Az erővonalak nem képeznek hurkot (*/Vonalintegrál törvény/)*.
4. A térerősség iránya az erővonal iránya.
5. A térerősség nagysága ~ az erővonal sűrűséggel.



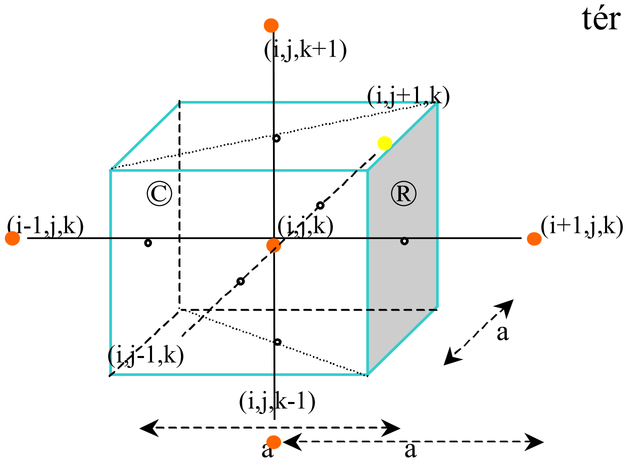


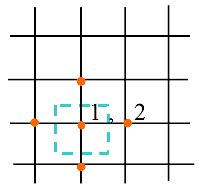
$$\oint\!\!\oint \underline{E}\, d\,\underline{f} = \frac{1}{\varepsilon_o} q$$

Az egyenletek egyszerű, dinamikus megoldása:

Adott: ρ(i,j,k); $\underline{E}$(i,j,k) $\underline{r}$ (x,y,z)↔ (i,j,k)

tér ↔ rács





$$\int_{©} \underline{E}\, d\, \underline{f} = -\frac{E_x(i-1,j,k)+E_x(i,j,k)}{2} a^2$$

$$\int_{®} \underline{E}\, d\, \underline{f} = \frac{E_x(i+1,j,k)+E_x(i,j,k)}{2} a^2$$

$$\oint\!\!\oint \underline{E}\, d\,\underline{f} = \frac{E_x(i+1,j,k)-E_x(i-1,j,k) + E_y(i,j+1,k)-E_y(i,j-1,k) + E_z(i,j,k+1)-E_z(i,j,k-1)}{2a} a^3$$

$$\oint\!\!\oint \underline{E}\, d\,\underline{f} = \frac{q(i,j,k)}{\varepsilon_o} = \frac{\rho(i,j,k)\, a^3}{\varepsilon_o}$$

Lineáris egyenlet N pont, 3N db ismeretlen.
Határesetben (a→0, /és 2a = Δx, mert x = x_o $\underline{+}$ a ! /)

$$\frac{E_x(i+1,j,k)-E_x(i-1,j,k)}{2a} = \frac{\partial E_x}{\partial x}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\rho}{\varepsilon_o}; \qquad div\, \underline{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_o}$$

$$\underline{\nabla}\, \underline{E} = \frac{\partial E_i}{\partial r_i} = \partial_i E_i = \frac{\rho}{\varepsilon_o}$$

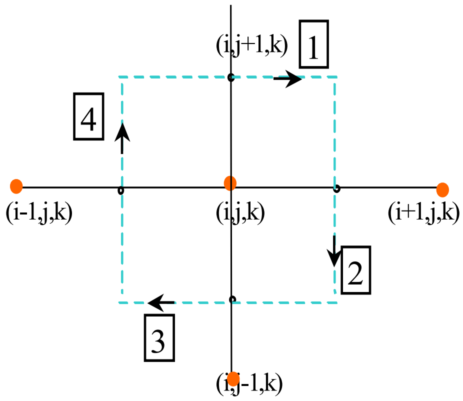
Gauss törvény

$$\oiint \underline{E}\, d\underline{f} = \oiiint div\, \underline{E}\, dV = \frac{q}{\varepsilon_o} = \frac{1}{\varepsilon_o} \oiiint \rho\, dV$$

$$\boldsymbol{div}\ \underline{\boldsymbol{E}} = \frac{\rho}{\varepsilon_{\boldsymbol{o}}}$$

Vonal integrál törvénye

$$\oint \underline{E}\ d\underline{s} = 0$$



$$\int_{(1)} \underline{\boldsymbol{E}}\, \boldsymbol{d}\underline{\boldsymbol{s}} = \frac{\boldsymbol{E_x(i,j,k)} + \boldsymbol{E_x(i,j+1,k)}}{2}\boldsymbol{a}$$

$$\int_{(2)} \underline{\boldsymbol{E}}\, \boldsymbol{d}\underline{\boldsymbol{s}} = -\frac{\boldsymbol{E_y(i,j,k)} + \boldsymbol{E_y(i+1,j,k)}}{2}\boldsymbol{a}$$

$$\int_{(3)} \underline{\boldsymbol{E}}\, \boldsymbol{d}\underline{\boldsymbol{s}} = -\frac{\boldsymbol{E_x(i,j,k)} + \boldsymbol{E_x(i,j-1,k)}}{2}\boldsymbol{a}$$

$$\int_{(4)} \underline{\boldsymbol{E}}\, \boldsymbol{d}\underline{\boldsymbol{s}} = \frac{\boldsymbol{E_y(i,j,k)} + \boldsymbol{E_y(i-1,j,k)}}{2}\boldsymbol{a}$$

$$\left\{ \frac{\boldsymbol{E_x(i,j+1,k)} - \boldsymbol{E_x(i,j-1,k)}}{2\boldsymbol{a}} - \frac{\boldsymbol{E_y(i+1,j,k)} - \boldsymbol{E_y(i-1,j,k)}}{2\boldsymbol{a}} \right\} \boldsymbol{a}^2 = 0$$

(Hasonlóan a másik két síkmetszeten (x, z és a y, z síkon) felvett vonal mentén!)

3N egyenlet, de összefüggőek! $\frac{\partial \boldsymbol{E_x}}{\partial \boldsymbol{y}} - \frac{\partial \boldsymbol{E_y}}{\partial \boldsymbol{x}} = 0$; $\left(\boldsymbol{rot}\ \underline{\boldsymbol{E}}\right)_{\boldsymbol{z}} = 0$

$$\oint \underline{\boldsymbol{E}}\boldsymbol{d}\underline{\boldsymbol{s}} = \oiint (\boldsymbol{rot}\,\underline{\boldsymbol{E}})\boldsymbol{d}\underline{\boldsymbol{f}} = 0$$

$$\boldsymbol{rot}\ \underline{\boldsymbol{E}} = 0$$

$$\left(\underline{\nabla} \times \underline{E}\right)_i = \varepsilon_{ijk} \frac{\partial E_k}{\partial r_j} = \varepsilon_{ijk}\, \partial_j\, E_k = 0$$

Irodalom

Fogarassy B. : ELEKTRODINAMIKA ***Egyetemi jegyzet***
Budó Á.,… : Kisérleti Fizika II. (Elektrodinamika)

Ajánlott irodalom

Budó Á.,… : Kisérleti Fizika III. (Optika -Atomfizika)
R. Feynman,… : Mai Fizika III. (Optika)
R. Feynman,… : Mai Fizika V. (Elektro- és magnetosztatika)
R. Feynman,… : Mai Fizika VI. (Elektodinamika)
Nagy K. : Elektrodinamika

Kapcsolódó irodalom

Jackson: Elektrodinamika