

## KISÉRLETI FIZIKA

### Elektrodinamika

#### 4. (III. 4-8.)

**Áram (I), mozgó töltések:**

$$I + dq/dt = 0$$

(Időegység alatt kiáramló töltés)

Mértékegysége:  $[I] = [A] = [Cb] / [s]$

**Típusai:**

= **konduktív** (vezetési)  $e^-$   
 = **konvektív** (diszkrét ion) **ion**

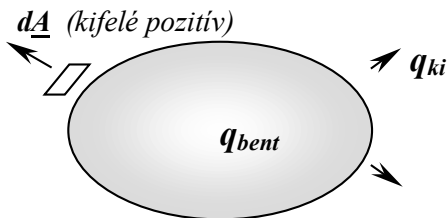
**Áramsűrűség ( $\underline{j}$ )**

$$\underline{j}_n = dI/dA$$

(Felületegységen, időegység alatt kiáramló töltés)

$$\iint \underline{j} d\underline{A} = I$$

( $\underline{j}$  iránya a felület normálisának iránya!)



$$\Delta q_{ki} + \Delta q_{bent} = 0 \quad / \Delta t$$

$$I_{ki} + dq_{bent}/dt = 0$$

, ahol  $dq_{bent} = \rho dV$

$$\iint \underline{j} d\underline{A} + \iiint (\partial \rho / \partial t) dV = 0$$

$$\boxed{\text{div } \underline{j} + \partial \rho / \partial t = 0}$$

**a kontinuitási egyenlet.**

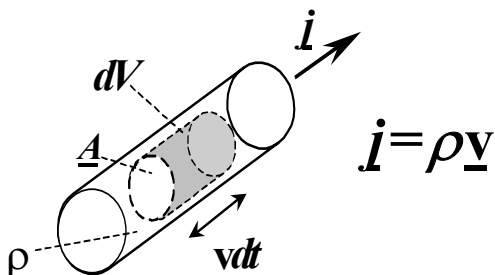
( $\rho$  itt a térfogati töltéssűrűség)

Konvektív (homogén) áramlásban:

$$\underline{j} A = I = dq/dt =$$

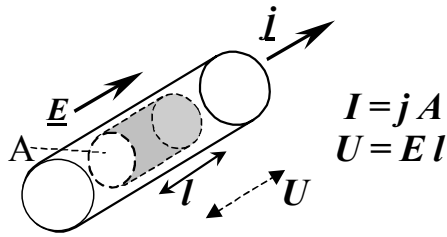
$$\rho dV/dt = \rho (v dt A)/dt$$

$$\boxed{\underline{j} = \rho \underline{v}}$$



Töltések mozgása anyagban:

$$\underline{j} = \underline{j}(\underline{E}) \quad \underline{E} \text{ kihúzza a töltéseket.}$$



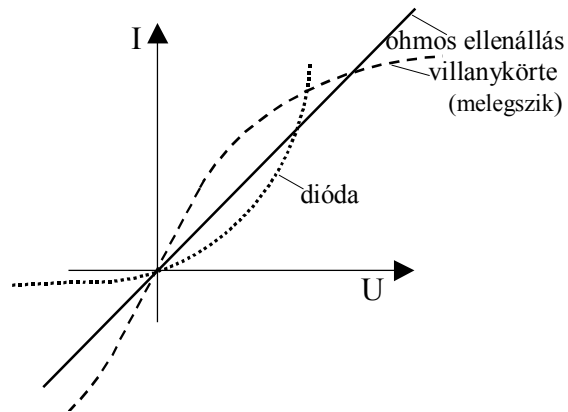
$I = I(U)$  összefüggések.

Lineáris összefüggés:

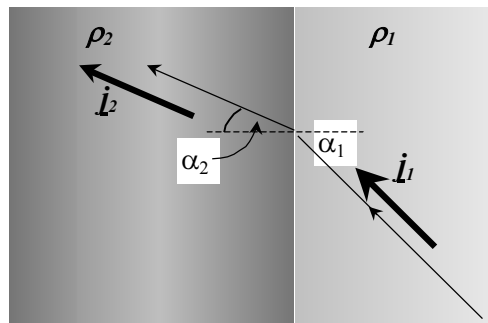
$$U = I R$$

$$\underline{E} = \rho \underline{j} \quad \underline{j} = \sigma \underline{E}$$

( $\sigma$  néha tenzor)



Közeghatárán az áramvonalak ( $\underline{j}$ )  
töréstörvénye:



$$E_{t1} = E_{t2} \quad \text{és} \quad j_{n1} = j_{n2};$$

$$\rho_1 j_{t1} = \rho_2 j_{t2}$$

$$\rho_1 / \rho_2 = \operatorname{tg} \alpha_2 / \operatorname{tg} \alpha_1 = \sigma_2 / \sigma_1$$

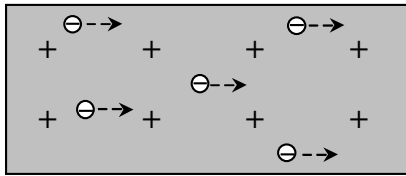
( $\rho$  itt a fajlagos ellenállás)

$$\operatorname{rot} \underline{E} = 0 \quad \text{és} \quad \operatorname{div} \underline{j} = 0$$

$$\int \underline{E} \, d\underline{s} = 0 \quad \iint \underline{j} \, d\underline{A} = 0$$

# 1. Vezetés

## 1.1 Fémek



Elektronok mozognak (csak):

$$m \underline{v} = \underline{F} = e \underline{E}$$

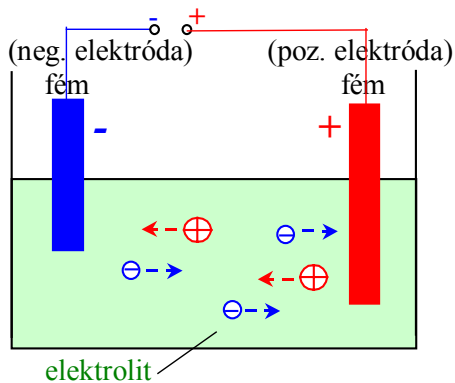
$$\underline{v} = (e \underline{E} / m) t ; \underline{v} = (e \underline{E} / m) \tau$$

$$\underline{j} = \rho \underline{v} = \rho (e / m) \tau \underline{E} = \sigma \underline{E}$$

$$\sigma = n (e^2 / m) \tau$$

## 1.2 Szupravezetők

## 1.3 Elektrolitok

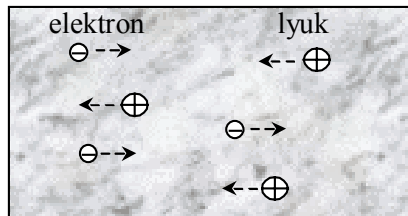


Néha elfogy az oldatból az anyag (az ion).

## 1.4 Szilárd elektrolitok

(szuperionos vezetők) Ag I

## 1.5 Félvezetők



A pozitív ion (a lyuk) nem elektronhiányos atom, hanem az elektronhiány (atommag nélkül) maga mozog, ezért kisebb tömegű, tehát mozgékonyabb!

Mozgékonyosság ( $\mu$ ) :  $v = \mu E$

$$v_+ = \mu_+ E ; v_- = \mu_- E$$

$$j = \rho_+ v_+ + \rho_- v_- = (\rho_+ \mu_+ + \rho_- \mu_-) E$$

$$\sigma = (\rho_+ \mu_+ + \rho_- \mu_-)$$

$$\sigma = e (n_+ \mu_+ + n_- \mu_-)$$

## 1.6 Szigetelők

## 1.7 Gázok (gázkisülések, demonstráció)

## 1.8 Vákuum (hideg - meleg emisszió)

Legtöbb megjelenés (drótok, ellenállások, telepek)

Drótok  $R$  kicsi  $\Rightarrow U \approx 0$

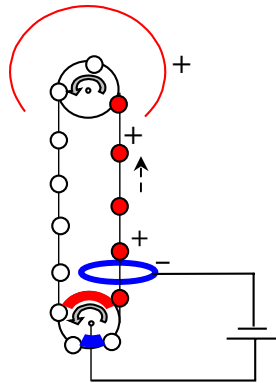
Ellenállások  $U = I R$

Telepek (Az  $\mathcal{E}$  elektromotoros erő), azaz  $U$  független  $I$ -től.

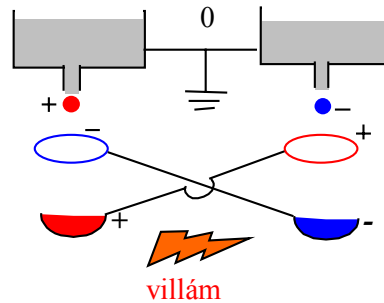
## 2. Mi a telep?

Valami a töltéseket a tér ellenében mozgatja...

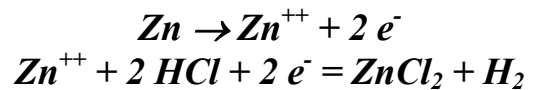
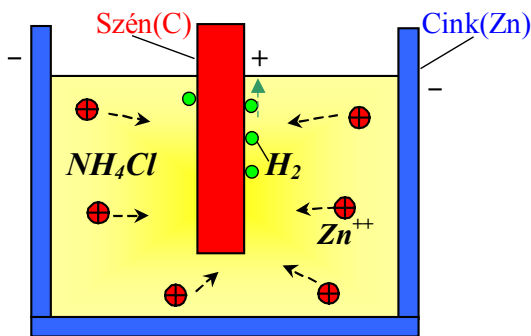
### 2.1 Pelletron



### 2.2 Megosztásos gép (Thompson)



### 2.3 Szárzelem (Le Clanché)



**A Zn oldódni akar!**

(Az oldatba u.i. nincs cink, a *koncentráció kiegyenlítő*dése az új hajtóerő.)

Csak úgy tud oldódni, ha a lemeztől a *szén*- (pozitív)-elektrodhoz megy (szemben az elektromos térrel!). Csak ott, a *szén felszínén* tudja átadni az elektronját az oldat  $\text{H}^+$  ionjának.

A szénelektrodát (szénporral kevert) barnakő ( $\text{MnO}_2$ ) veszi körül, hogy a fejlődő hidrogént ( $\text{H}_2$ ) -t azonnal vízzé oxidálja (és így nem távozik el a gáz, hanem oldatban marad).

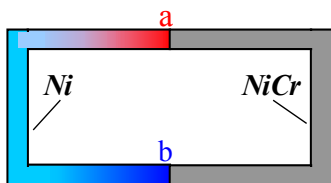
( $E_{\text{Zn}}^{\text{HCl}} = 1.5 \text{ V}$ ). A Zn *fogy*, a barnakő *oxigént veszít*:  $\text{MnO}_2 + \text{H}_2 = \text{MnO} + \text{H}_2\text{O}$ ; az ammóniumklorid oldat *hígul*, következésképpen az elem „*kifárad*“.

## 3. Termoelem

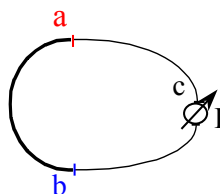
Két fém érintkezéskor köztük feszültség keletkezik, kontaktpotenciál ( $\Phi$ )

(A fémenként eltérő *elektronkoncentráció kiegyenlítő*dése a hajtóerő)

Önmagában  $\Phi$  nem mérhető /zárt áramkörben/, de a  $\Phi$  hőmérsékletfüggő!



( $T_a = T_b$  esetén áram nincs!)



Melegítésre változik a helyzet, mert  $\Phi(T_a) \neq \Phi(T_b)$ , ha  $T_a \neq T_b$ !

Az  $\alpha$  Seebeck együttható jellemzi ezt a hőmérsékletfüggést:

$$\alpha = \partial \Phi / \partial T.$$

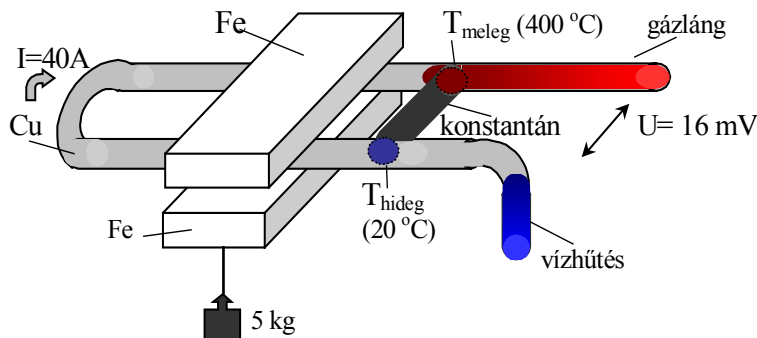
(avagy termofeszültségi együttható).

(Az  $\alpha$  anyagi minőségtől függ,  $\alpha^{\text{Ni}}$  és a  $\alpha^{\text{NiCr}}$  között kedvezően nagy a különbség!)

Termofeszültségi effektust általában hőmérsékletmérésre használják (termoelem):

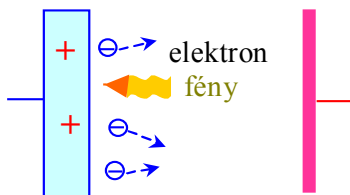
$$\begin{aligned} \Delta\Phi &= \oint \left( \frac{\partial\Phi}{\partial r} \right) dr = \oint \left( \frac{\partial\Phi}{\partial T} \right) \left( \frac{\partial T}{\partial r} \right) dr = \oint \left( \frac{\partial\Phi}{\partial T} \right) \text{grad } T \, dr = \oint \alpha(T) \text{grad } T \, dr = \dots \\ &= \int_c^b \alpha_2 \text{grad } T \, dr + \int_b^a \alpha_1 \text{grad } T \, dr + \int_a^c \alpha_2 \text{grad } T \, dr = \dots \\ &= \alpha_2 (T_b - T_c) + \alpha_1 (T_a - T_b) + \alpha_2 (T_c - T_a) = (\alpha_1 - \alpha_2) (T_a - T_b) \end{aligned}$$

Tehát pl:  $\Delta\Phi_{\text{NiCr-Ni}} = (\alpha^{\text{Ni}} - \alpha^{\text{NiCr}}) \Delta T$ , ahol  $(\alpha^{\text{Ni}} - \alpha^{\text{NiCr}}) = 40 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ .



A gázlánggal melegített hosszú rézrúd - konstantán termoelemen a hőmérsékletgradiens következtében (a kis telepotesztés ellenére is) nagy áram folyik, amely a lágy-vaslapokat nagy (mágneses) erővel szorítja egymáshoz.

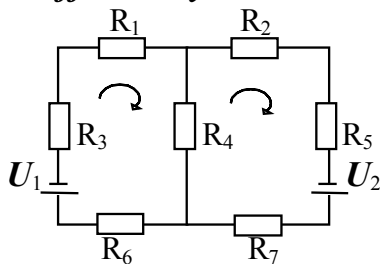
#### 4. Fotoelem



Kvantummechanikai effektus.

A fényben (dinamikus elektromosmező) rejlő energia következtében lépnek ki az elektronok a fémből a vákuumba (az elektrosztatikus tér ellenében) /gerjesztés/.

#### 5. Kirchhoff törvények

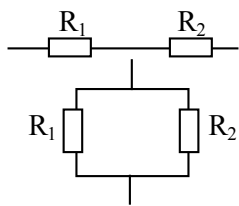


Csomóponti törvény  
(kontinuitási egyenlet):

$$\sum_i I_i = 0 \quad \iint \underline{j} \, d\underline{A} = 0$$

Áramkörtörvény (hurok törvény):

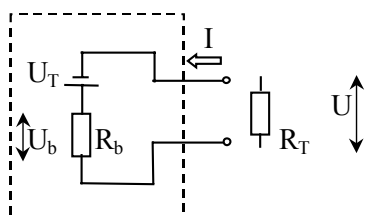
$$\sum_i U_i = \sum_i I_i R_i \quad \oint \underline{E} \, d\underline{s} = 0$$



Soros kapcsolás (eredője):  $R_e = R_1 + R_2$

Párhuzamos kapcsolás (eredője):

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

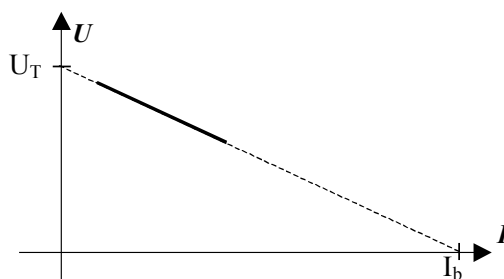


Thevenin tétel, Norton tétel:

Lineáris hálózatok (négy pólus helyettesítése)

$$U = U_T - I R_b$$

$$I = \frac{U_b}{R_b} = \frac{U_T - U}{R_b} = I_b - \frac{U}{R_b}$$



## 6. Áram és a teljesítmény

$$W = q \Phi = Q U \quad \dot{W} = P = I U = I^2 R = U^2 / R \quad (\text{teljesítmény})$$