

Ismétlés

elektromos áram: töltéshordozók **rendezett** mozgása

instacioner eset: $I \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dQ}{dt}$, stacioner eset: $I = \frac{Q}{t}$

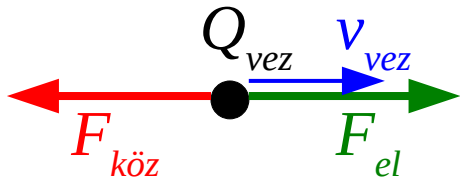
az **áramsűrűség:** $\vec{j} \stackrel{\text{def}}{=} \rho_{\text{vez}} \vec{v}_{\text{vez}}$

ennek fluxusa az áramerősség: $I = \int_A \vec{j} \cdot \vec{dA}$

Az Ohm-törvény lokális alakja

3 anyagi egyenlet: $\vec{P} = \vec{P}(\vec{E})$, $\vec{M} = \vec{M}(\vec{H})$, és $\vec{j} = \vec{j}(\vec{E})$

A Q_{vez} töltéshordozó v_{vez} sebességgel mozog egy vezető **közegben**



$\vec{F}_{elektromos} + \vec{F}_{közegellenállás} = \vec{0}$, mert **stacionárius**

lineáris eset: $\vec{F}_{közegellenállás} = -k \vec{v}_{vez}$

$$Q_{vez} \vec{E} - k \vec{v}_{vez} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v}_{vez} = \frac{Q_{vez}}{k} \vec{E} \quad / \cdot \rho_{vez}$$

$$\rho_{vez} \vec{v}_{vez} = \vec{j} = \underbrace{\frac{\rho_{vez} Q_{vez}}{k}}_{=\sigma} \vec{E}$$

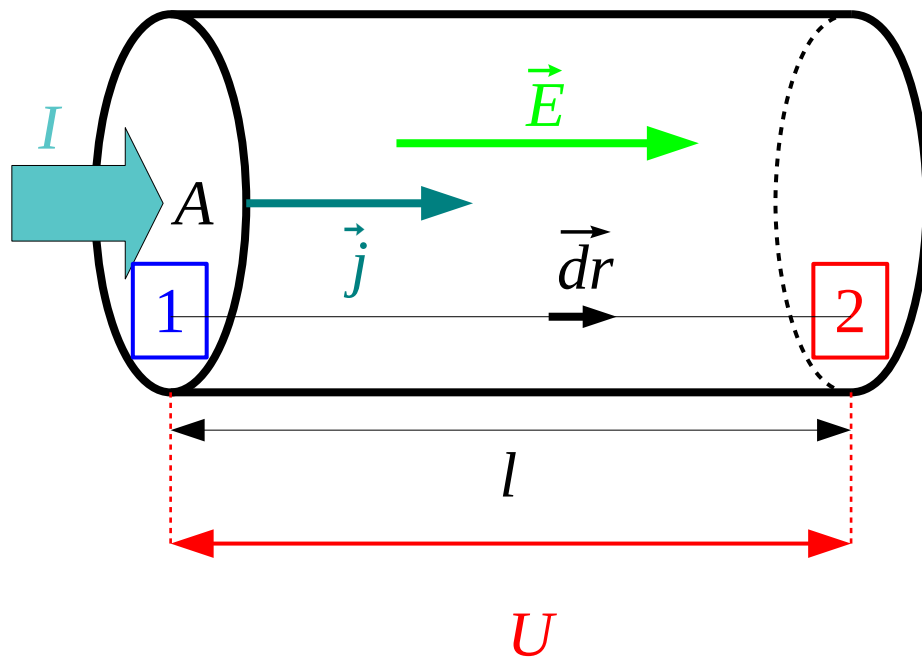
σ a fajlagos vezetőképesség, $\rho = \frac{1}{\sigma}$ a fajlagos ellenállás

V10

ezekkel: $\boxed{\vec{j} = \sigma \vec{E}}$ vagy $\boxed{\vec{E} = \rho \vec{j}}$ az Ohm-törvény lokális alakjai Beugró

Az Ohm-törvény globális alakja

A lokális alak **egyetlen pontra**,
a globális egy **véges nagyságú** ellenállásra vonatkozik.
Nézzünk pl. egy homogén, hengeres vezetőt



$$\begin{aligned} U &= \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_1^2 \rho \underbrace{\vec{j} \cdot d\vec{r}}_{= j dr, \text{ mert } \parallel\text{-ak}} = \rho \int_1^2 j dr = \\ &= \rho j \underbrace{\int_1^2 dr}_{=l} = \rho j l = \rho \frac{I}{A} l = \underbrace{\frac{\rho l}{A}}_{=R} I \end{aligned}$$

$$U = RI$$

Beugró

Ohm-törvény globális alakja
R: ellenállás

V15

Ohm-törvény megjegyzések

Ohm-törvény csak akkor érvényes, ha lineáris a közegellenállás
nem mindig, de gyakori

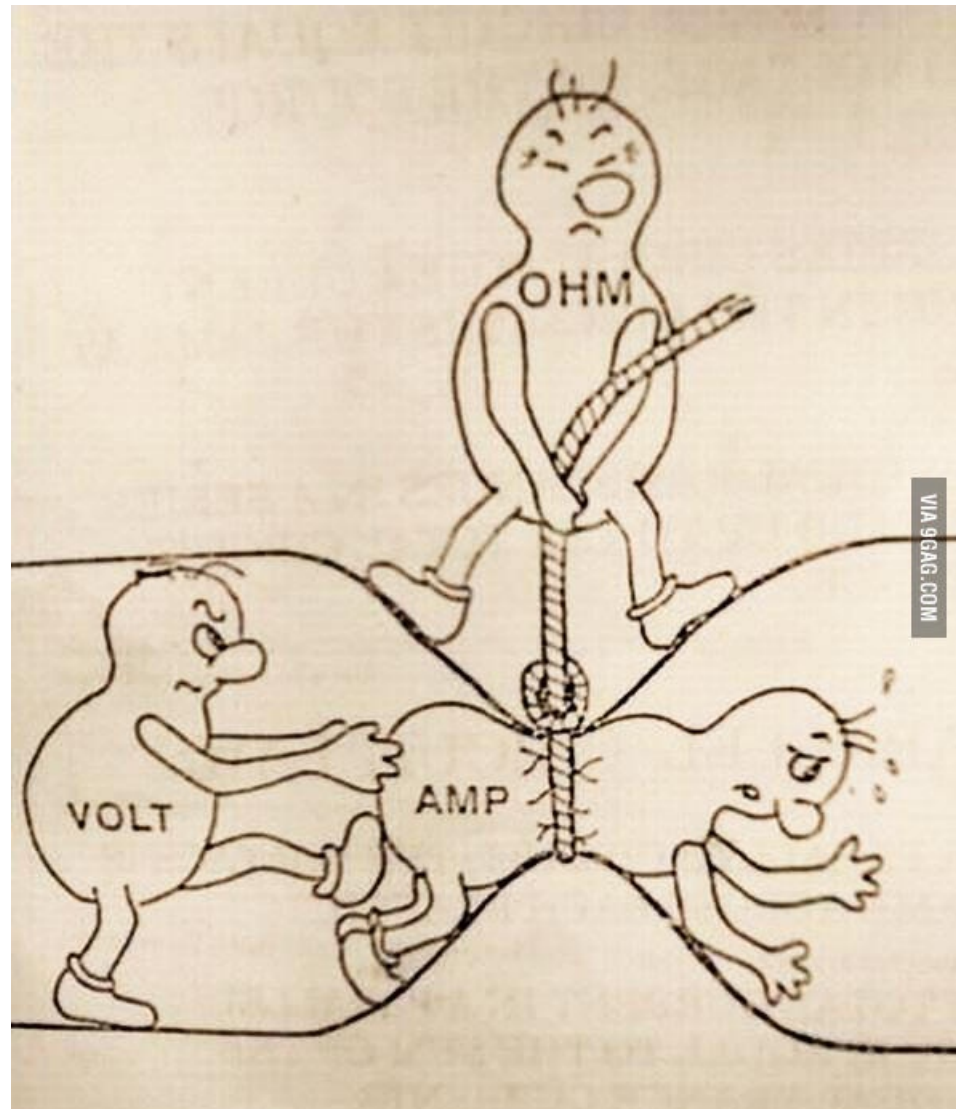
LIH anyagban 3 lineáris anyagi egyenlet: $\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$, $\vec{M} = \mu_0 \chi_m \vec{H}$, $\vec{j} = \sigma \vec{E}$

$R = \frac{\rho l}{A}$ egyszerű alak, mert egyszerű geometria

bonyolult geometria => nehéz kiszámolni

belátható: tetsz. geometriánál lokális Ohm-t. => globális is érvényes

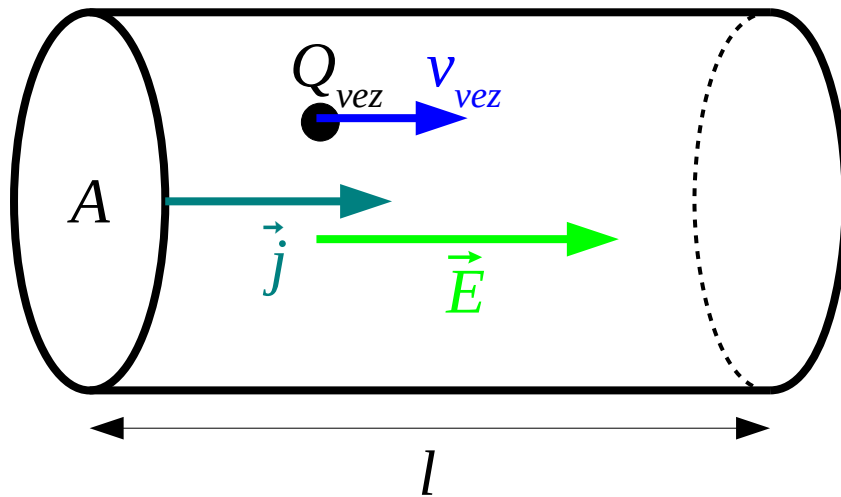
Ohm-törvény szemléletesen



Az elektromos áram teljesítménye: Joule-törvény

Lokális alak

emlékeztető mechanikából: $P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$, most: $\vec{F} = \vec{F}_{\text{elektromos}} = Q \vec{E}$



$$P = \vec{F}_{el.} \cdot \vec{v} = Q \vec{E} \cdot \vec{v} = Q_{vez} \vec{E} \cdot \vec{v}_{vez}$$

de: P globális, helyette
teljesítménysűrűség (lokális)

$$\rho_P = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{P}{V} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{Q_{vez}}{V} \vec{E} \cdot \vec{v}_{vez} =$$

$$= \vec{E} \cdot \vec{v}_{vez} \underbrace{\lim_{V \rightarrow 0} \frac{Q_{vez}}{V}}_{=\rho_{vez}} = \vec{E} \cdot \underbrace{\vec{v}_{vez} \rho_{vez}}_{=\vec{j}} = \vec{E} \cdot \vec{j}$$

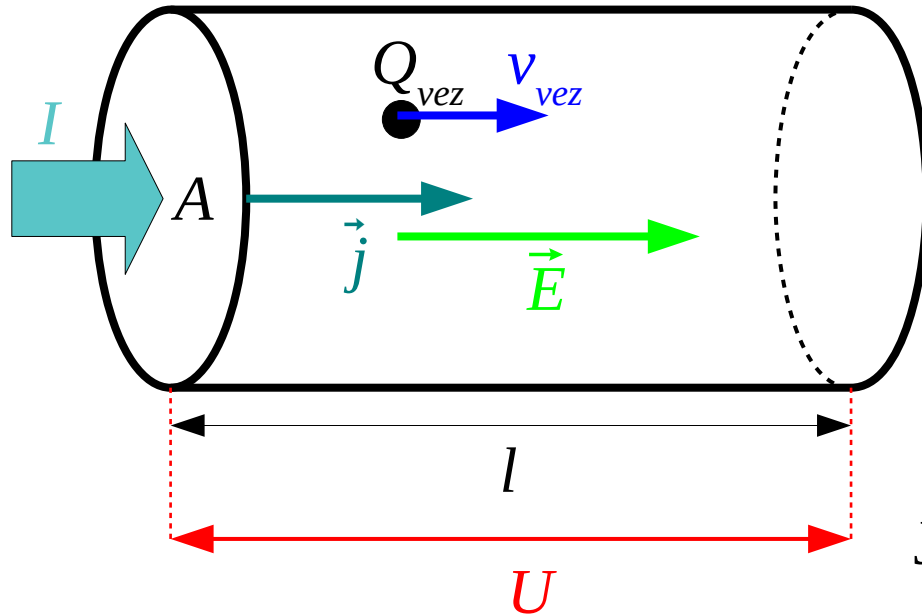
$$\boxed{\rho_P = \vec{E} \cdot \vec{j}} \text{ Joule-törvény lokális alakja}$$

Beugró

V15

Globális alak

homogén, egyenes vezetőre (henger)



$$P = \rho_p V = \underbrace{\vec{E} \cdot \vec{j}}_{=Ej} A l = E j A l =$$

$$= \underbrace{E l}_{=U} \underbrace{j A}_{=I} = U I$$

$$P = U I$$

Beugró

Joule-törvény globális alakja

V10

és a munka: $W = \int P dt = \int U I dt = U I t$

Globális alak – alternatív levezetés

tetszőleges alakú vezetőre igaz

$$U \stackrel{\text{def}}{=} \frac{W}{Q_p} \Rightarrow W = U Q_p$$

kis dt alatt $U \approx$ állandó, ezalatt dQ töltésen $dW = U dQ$ munkát végez

$$P = \frac{dW}{dt} = U \underbrace{\frac{dQ}{dt}}_{=I} = U I$$

$$\boxed{P = U I}$$

Ez a levezetés váltóáramra is igaz.

Vezetés mechanizmusai

különféle közegekben külfönféle töltéshordozók
mechanizmusok ezek fajtái, keletkezése, eltűnése, mozgása alapján

volt róla szó:

- fémes vezető – vezetési elektronok
- sók oldatai – ionok (hidratált)

Vezetés vákuumban

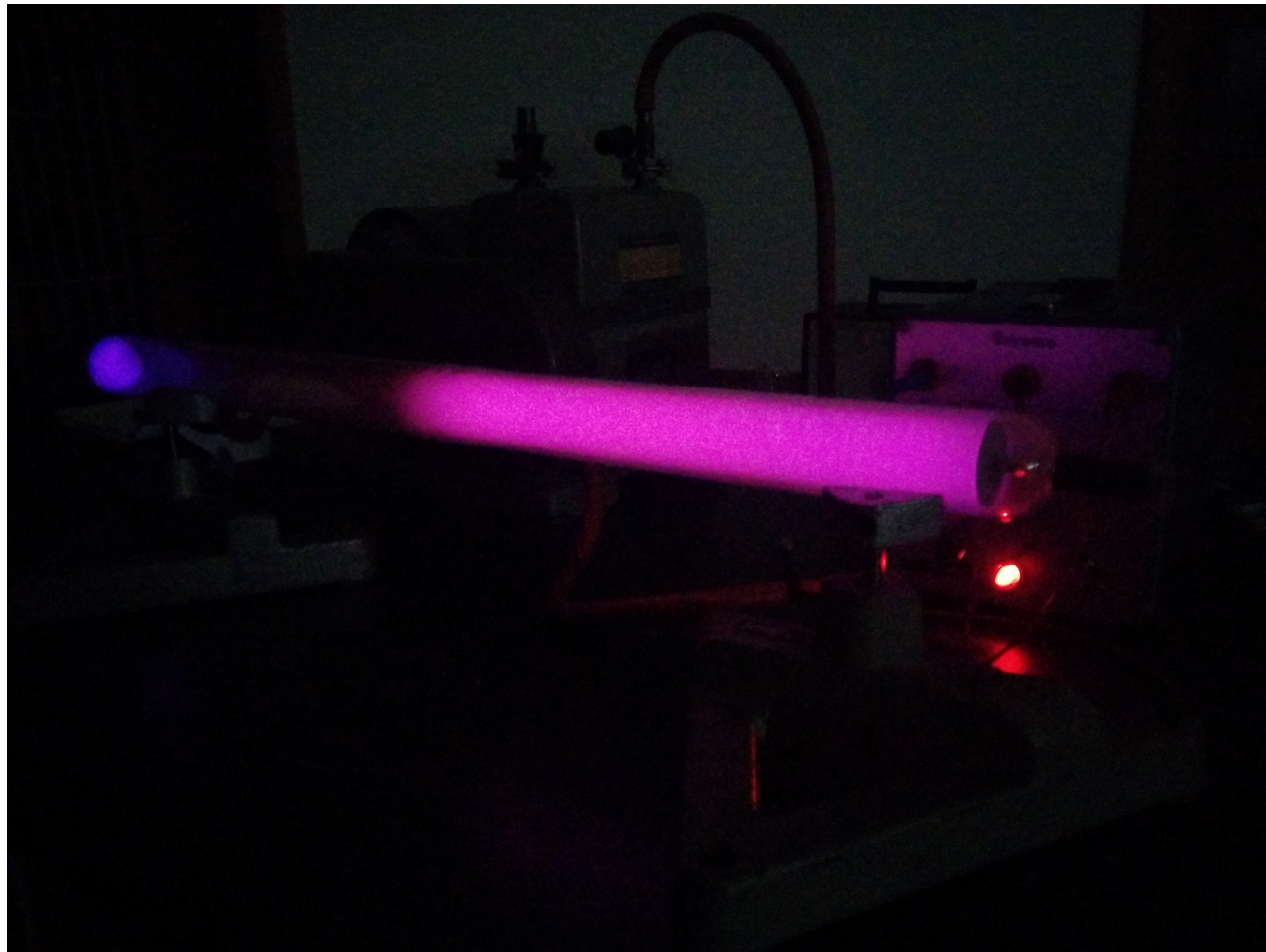
- Noooooormális? Vákuumban mi vezet, ha nincs részecske?
- csalunk: bejuttatunk töltéshordozót (ált. e^-)
- katódból lép ki => **katódsugárcső** név
- lehet:
 - termikus emisszió (melegítés)
 - fotoelektromos hatás (fény)
 - hidegemisszió (nagy térerő kell)
- gyakorlatban: képcső (képernyő, oszcilloszkóp)
 - lyukas anód mögött fluoreszkáló üveg
 - elektron elektromos (vagy mágneses) térrel eltéríthető
- 2 kísérlet:
[https://fizipedia.bme.hu/index.php/Katódsugarak_I.](https://fizipedia.bme.hu/index.php/Katódsugarak_I)
[https://fizipedia.bme.hu/index.php/Katódsugarak_IV.](https://fizipedia.bme.hu/index.php/Katódsugarak_IV)

Vezetés gázokban: a) nem önálló vezetés

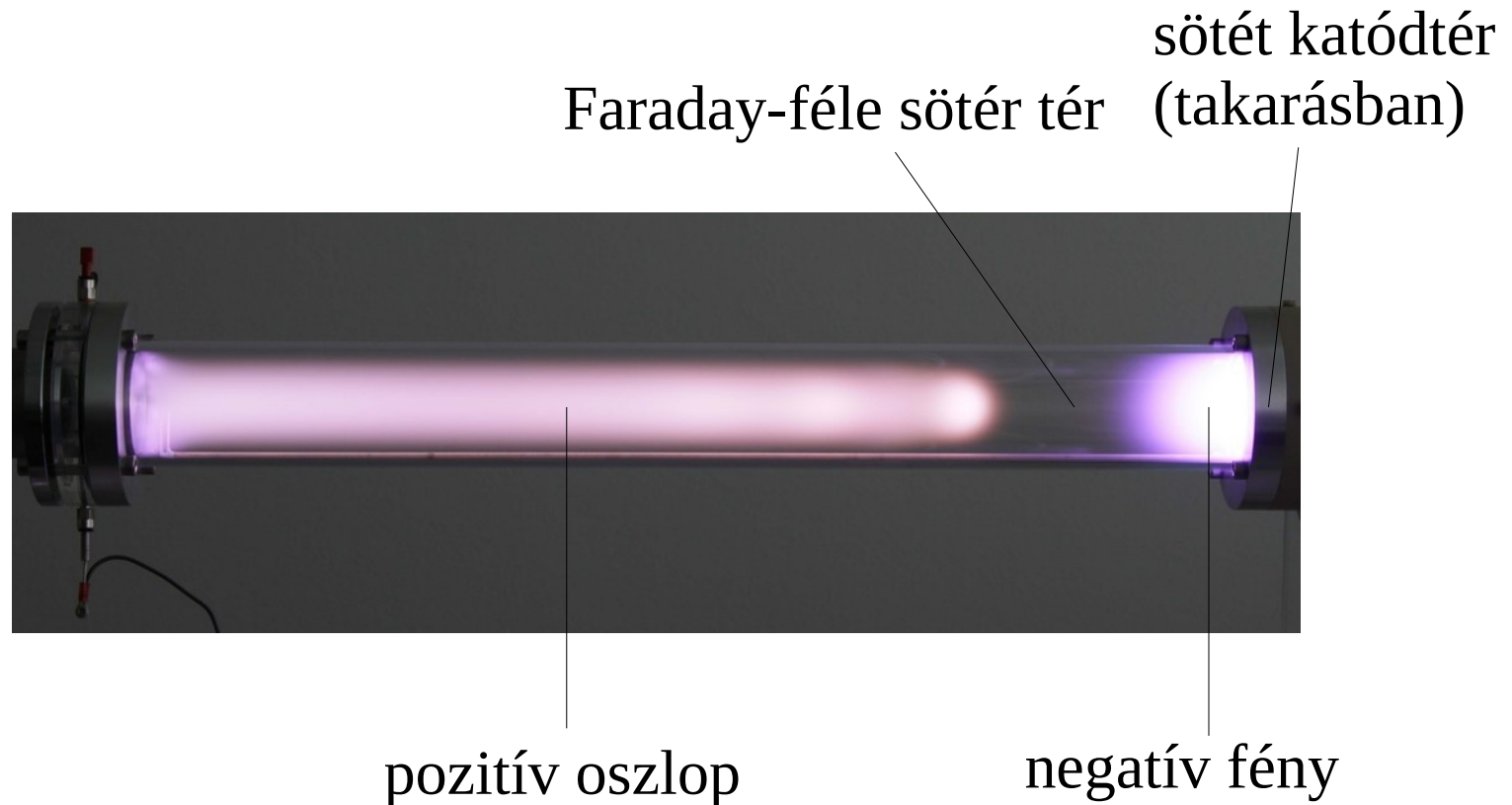
- semleges molekulák, de ionizálhatóak
- nem tarja fent magát, folyamatosan ionokat kell létrehozni
- ionizáció forrása:
 - kozmikus sugárzás
 - radioaktív sugárzás
 - kémiai reakció (láng)
 - hő
- van egy max. áram (összes iont begyűjti)
- pl.: lángionizációs detektor

Vezetés gázokban: b) önálló vezetés

- ritkított gáz (nagy szabad úthossz)
- nagy feszültség
- keletkezik egy ion, felgyorsul, a katódból e^- -okat lök ki
- az e^- -ok újra ionizálnak



Vezetés gázokban: b) önálló vezetés



- katódhártya: villódzó fény kíséri az ionok becsapódását
- sötét katódtér: e^- -ok gyorsulnak
- negatív fény: e^- -ok elég gyorsak az ionizáláshoz, ezt fény kíséri
- Faraday-féle sötét tér: az ionizálásban lelassult e^- -ok gyorsulnak
- pozitív oszlop: e^- -ok újra ionizálnak

Vezetés gázokban: b) önálló vezetés



- pozitív oszlop néha szegmentálódhat
- alkalmazás:
 - ködfénylámpa (negatív fény)
 - fénycső (pozitív oszlop)

Ionos vezetés

- Sóban ionok, szilárd állapotban (kristálysícs) nem tudnak elmozdulni
- láttuk: oldatuk vezető
- olvadékuk is vezető
- kísérlet:

https://fizipedia.bme.hu/index.php/Az_üveg_elektrolitikus_vezetése

Kirchhoff-törvények

Maxwell-egyenletek + stacionaritás => levezethetők

$$\oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = \int_V \rho dV$$

$$\oint_G \vec{E} \cdot d\vec{r} = - \int_A \dot{\vec{B}} \cdot d\vec{A}$$

$$\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{r} = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A} + \int_A \dot{\vec{D}} \cdot d\vec{A}$$

$$\vec{j} \neq 0; \quad \dot{\vec{B}} = 0; \quad \dot{\vec{D}} = 0$$

$$\oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = \int_V \rho dV$$

$$\oint_G \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$$

$$\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

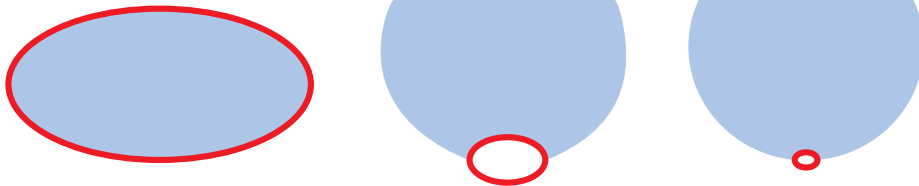
$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{r} = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

Csomóponti törvény

4. Maxwell-egyenlet stat. esetben: $\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{r} = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$

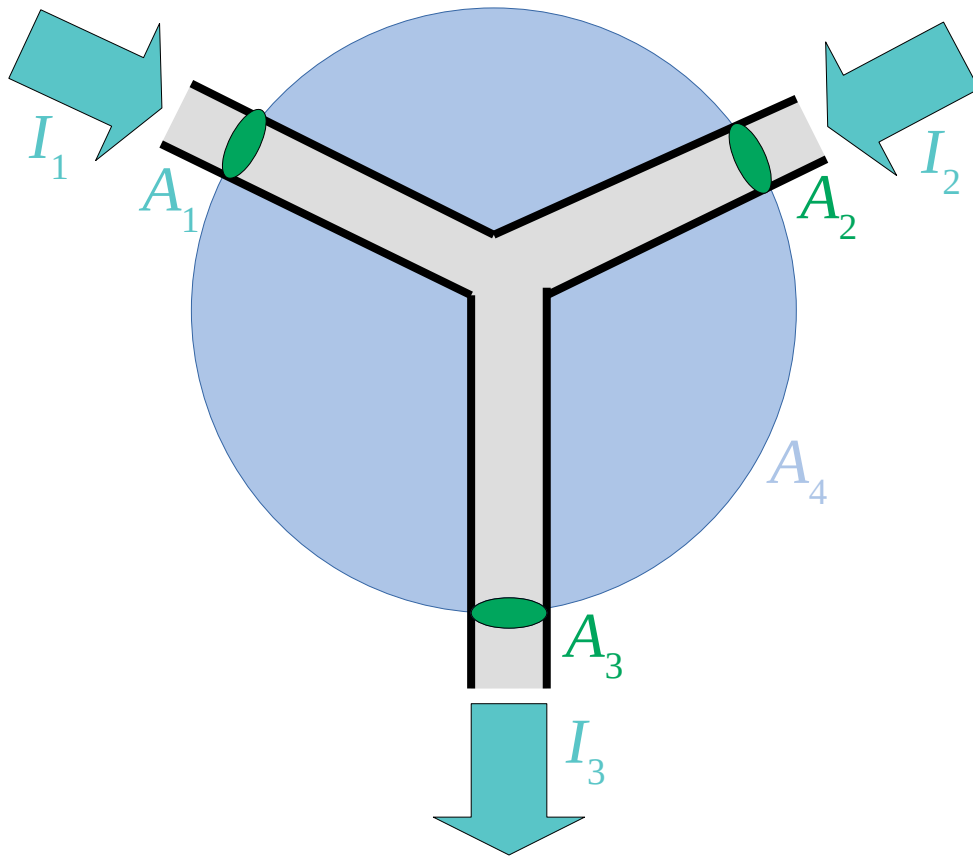
A felület, G perem $\Rightarrow$ elkezdjük bezárni a felületet
 $\Rightarrow$ végül G egy pontra szűkül

A pereme G



határesetben: $\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{r} = 0 \Rightarrow \oint_A \vec{j} \cdot d\vec{A} = 0$

egy csomópont köré egy A felület:



$$0 = \oint_A \vec{j} \cdot d\vec{A} = \underbrace{\int_{A_1} \vec{j} \cdot d\vec{A}}_{=I_1} + \underbrace{\int_{A_2} \vec{j} \cdot d\vec{A}}_{=I_2} + \underbrace{\int_{A_3} \vec{j} \cdot d\vec{A}}_{=I_3} + \underbrace{\int_{A_4} \vec{j} \cdot d\vec{A}}_{=0} = I_1 + I_2 + I_3$$

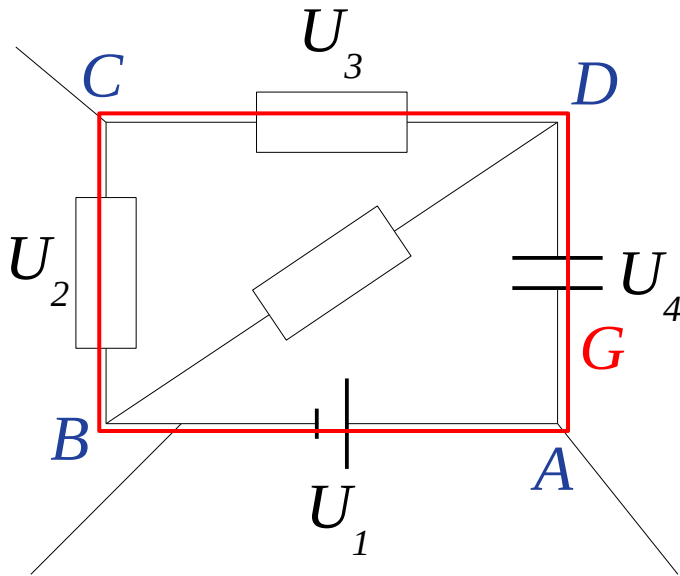
ált. egy csomópontra: $\sum_{k=1}^n I_k = 0$

V15

Beugró

Huroktörvény

2. Maxwell-egyenlet stac. esetben: $\oint_G \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$



zárt G hurok, lehet a belsejében akármi

$$0 = \oint_G \vec{E} \cdot d\vec{r} = \underbrace{\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}}_{=U_1} + \underbrace{\int_B^C \vec{E} \cdot d\vec{r}}_{=U_2} + \underbrace{\int_C^D \vec{E} \cdot d\vec{r}}_{=U_3} + \underbrace{\int_D^A \vec{E} \cdot d\vec{r}}_{=U_4} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

V10

ált. egy zárt hurokra:

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

Beugró

Köszönöm a figyelmet!