

Feszültségforrások, idegen erő

Lokális Ohm-törvény: $\vec{j} = \sigma \vec{E}$

stacionárius áram esetén van térerősség a vezetőben

Mi tartja ezt fent?

Látszólag független kérdés:

lehet-e, hogy két azonos töltés egymás felé mozog?

Csak elektromos erők esetén nem.

De igen, ha megfogom és mozgatom őket.

Idegen erő: a töltéshordozókra ható nem elektromos erő

fontos típusa: töltésszétválasztó erők (enélkül csak dipólusok lennének)

Ezek tipikusan kémiai erők.

Kontaktpotenciál

Réz és cink lap összeérintve, eltávolítva feszültség mérhető
mint egy kondenzátor
eltávolítás előtt is kellett lennie feszültségnek, töltésnek

Oka: réz elektronegatívabb, elektronok jobban szeretnek átmenni.

Kontaktpotenciál alapja:



Addig mennek át, amíg az elektromos tér és az idegen erő egyensúlyba nem kerül.

elektrokémiai potenciál: $\mu_{Cu} + e \varphi_{Cu} = \mu_{Zn} + e \varphi_{Zn}$

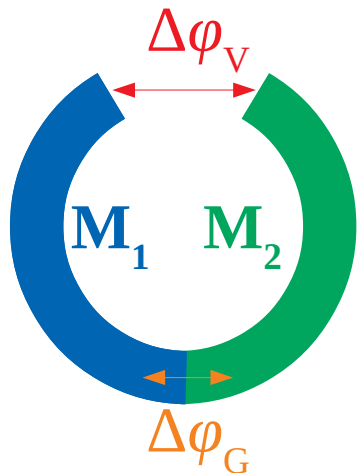
$$\Rightarrow \Delta \varphi = - \frac{\Delta \mu}{e}$$

Ez a **Galvani-potenciál**:

- a két fém belseje között
- kísérletileg nem mérhető (Q_p -re elektromos és idegen erő is hat)

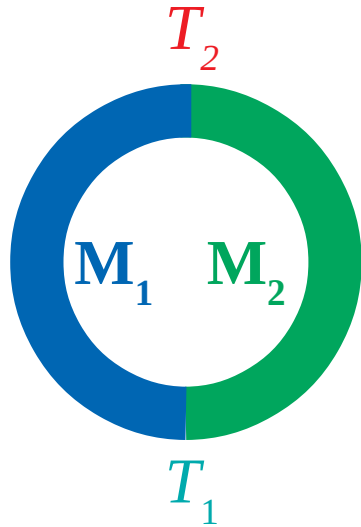
Ami mérhető: **Volta-potenciál**, a két fém között vákuumban

- itt csak elektromos erő van



Két vagy több fémből zárt kör
=> potenciálkülönbségek összege 0,
nincs áram magától
azaz nincs örökmozgó
és ha nem izoterm?

Termoelektromosság



- a két kontakt eltérő hőmérsékletű
 - a kémiai potenciál hőmérsékletfüggő $\mu(T)$
- $\Rightarrow \Delta\mu(T)$
 $\Rightarrow \Delta\varphi(T)$
 $\Rightarrow \Sigma\Delta\varphi \neq 0$, áram folyik
ez a **Seebeck-effektus**

Kísérlet: <https://fizipedia.bme.hu/index.php/Fájl:Termoelem.ogv>

Peltier-effektus

- termodinamika, ne legyen örökmozgó
=> a hatás a létrehozó okot csökkenti
- Seebeck-effektusnál ez azt jelenti, hogy az áram a hidegebb kontaktot fűti, a melegebb kontaktot hűti
- ez a hatás akkor is megvan, ha eredetileg nem volt ΔT
- ez a Peltier-effektus: áram hatására az egyik kontakt lehűl, a másik felmelegszik

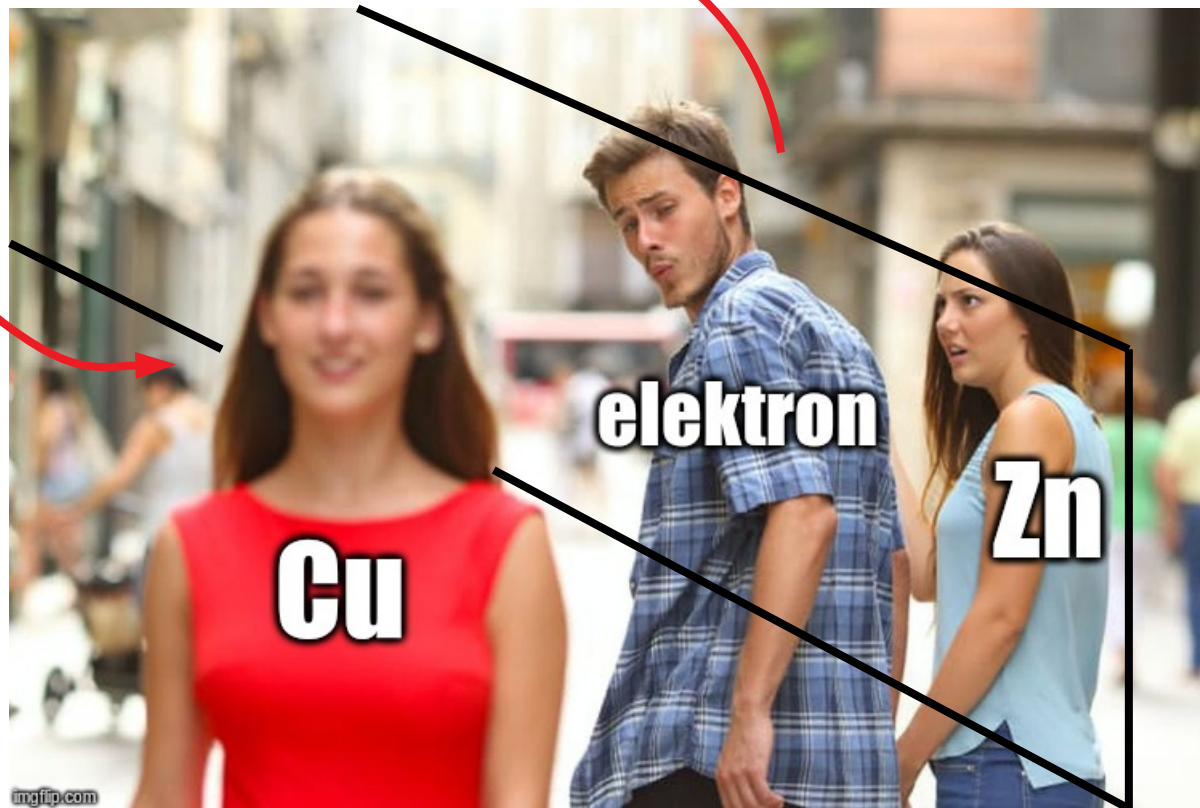
Kísérlet: <https://fizipedia.bme.hu/index.php/Fájl:Peltier-motor.ogv>

Galvánelem



Ha az elektron közvetlenül
át tud menni:
kontaktpotenciál,
vagy redox reakció

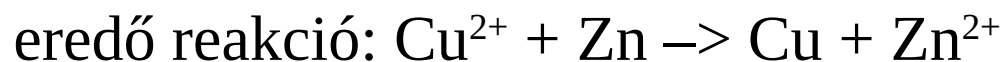
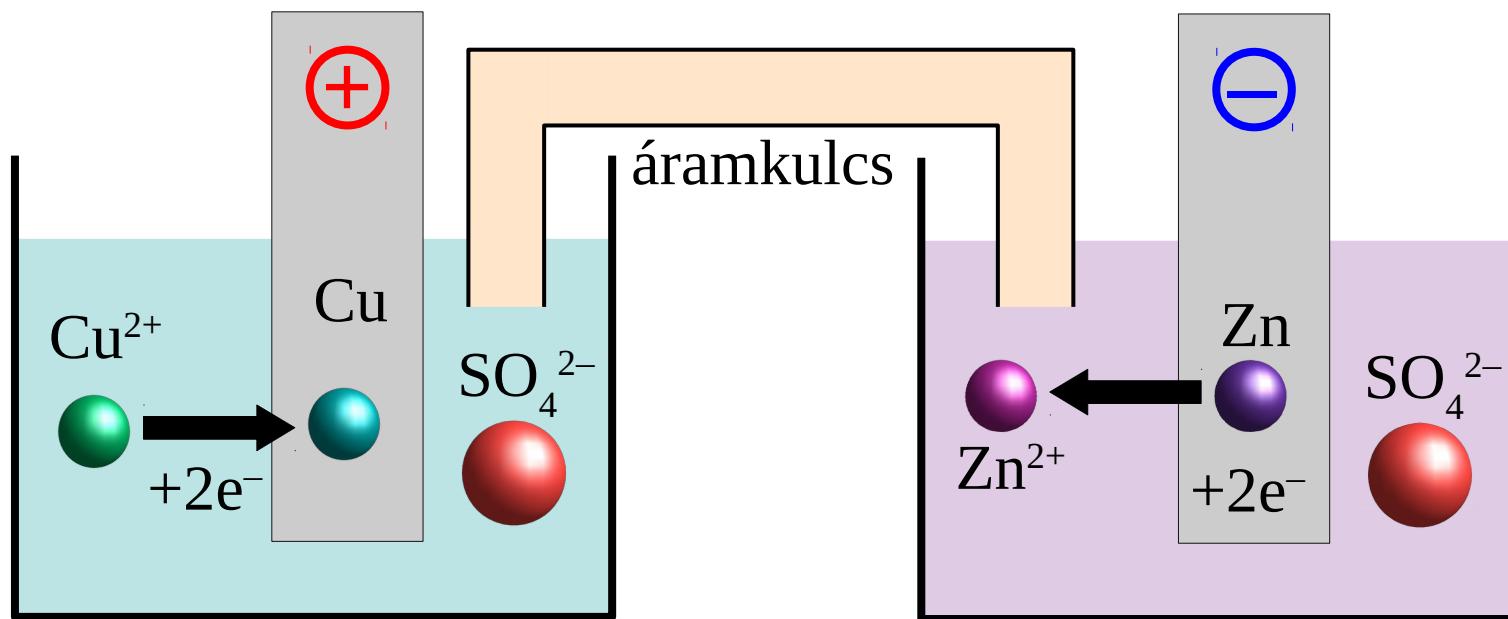
Galvánelem



Ha az elektron közvetlenül
át tud menni:
kontaktpotenciál,
vagy redox reakció

Ha csak kerülőúton:
galvánelem

Galvánelem



pozitív Cu^{2+} ion a + elektród felé mozog!
az idegen (kémiai) erő miatt

Az Ohm-törvény idegen erő jelenlétében

Newton II. + stacionárius állapot

$$\vec{F}_{\text{elektromos}} + \vec{F}_{\text{közegellenállás}} + \vec{F}_{\text{idegen}} = \vec{0}$$

erőtörvényeket beírva, Q_{vez} -zel osztva:

$$\vec{E} - \frac{k \vec{v}_{\text{vez}}}{Q_{\text{vez}}} + \frac{\vec{F}_{\text{idegen}}}{Q_{\text{vez}}} = \vec{0}$$

$$\vec{E}_{\text{idegen}} = \frac{\vec{F}_{\text{idegen}}}{Q_{\text{vez}}} \text{ bevezethető,}$$

de $\vec{F}_{\text{idegen}} \propto Q_{\text{vez}}$ nem feltétlen igaz

$\vec{v}_{\text{vez}}$ -re rendezve, ρ_{vez} -zel szorozva mindkét oldalt:

$$\boxed{\vec{j} = \sigma(\vec{E} + \vec{E}_{\text{idegen}})} \text{ vagy } \boxed{\vec{E} + \vec{E}_{\text{idegen}} = \rho \vec{j}}$$

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

Az Ohm-törvény lokális alakjai idegen erő jelenlétében.

Globális alak, elektromotoros erő

Integrálva a lokális alakot két ekvipotenciális felület között:

$$\underbrace{\int_1^2 \rho \vec{j} \cdot d\vec{r}}_{=RI} = \underbrace{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r}}_{=U} + \underbrace{\int_1^2 \vec{E}_{idegen} \cdot d\vec{r}}_{\stackrel{\text{def}}{=} \varepsilon}$$

$$\boxed{RI = U + \varepsilon}$$

Ohm-törvény globális alakja idegen erő jelenlétében

- **RI** tag: **áram** fenntartásához szükséges hatás
- **U**: **elektromos tér** hatása, ezt méri a feszültségmérő
- **ε** : **idegen erők** hatása

Elektromotoros erő: nem erő, hanem feszültség dimenziójú

$$\varepsilon \stackrel{\text{def}}{=} \int_G \vec{E}_{idegen} \cdot d\vec{r}$$

Beugró

ahol $\vec{E}_{idegen}$ az egységnyi töltésre jutó idegen erő (idegen erő "térerőssége")

Kirchhoff-féle huroktörvény idegen erővel

Ohm-törvény a hurok minden elemére:

$$U_1 = R_1 I_1 - \varepsilon_1$$

$$U_2 = R_2 I_2 - \varepsilon_2$$

$\vdots$

$$U_n = R_n I_n - \varepsilon_n$$

Összeadva:

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n R_i I_i - \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$$

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

- passzív tagok: ha nem folyik rajta áram, $U_i = 0$
- aktív tagok: áram nélkül is van rajta feszültség
- valós telepet szétbontjuk 2 ideális elemre:
 - ideális telep (aktív), $R_j = 0$, $\varepsilon_j \neq 0$
 - belső ellenállás (passzív), $R_i \neq 0$, $\varepsilon_i = 0$

lesz m db passzív, k db aktív tag, ezekre:

$$\boxed{\sum_{i=1}^m R_i I_i = \sum_{j=1}^k \varepsilon_j}$$

2.2 Elektromos áram mágneses tere

Oersted-kísérlet

- Oersted, 1820: Volta-oszlop, nagy feszültség, platinadrót felizzik
- sejtette, hogy mágneses tér is kisugárzik / teljesen véletlenül iránytűt tett mellé

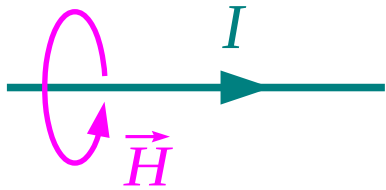
Nézzük meg:

https://fizipedia.bme.hu/index.php/Fájl:Oersted_kiserlet.ogv

Ampère, 1821:

- látta a Francia Tudományos Akadémián
- egy probléma: a Föld és a drót mágneses tere is hat!
- egy kamrát építtetett, mágnesekkel kompenzálta a Föld terét
- csak a drót terét tudta vizsgálni

Ampère-féle gerjesztési törvény



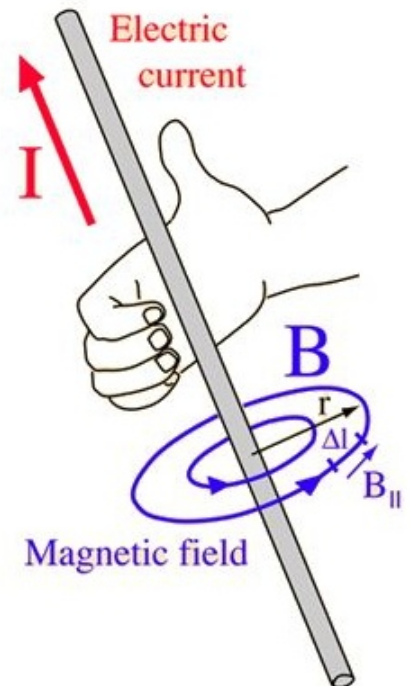
$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{r} = I$$

Beugró

Ez a globális alak.

Fontos: az I áram a G zárt görbe által határolt felületen átfolyó áramok eredő, előjeles összege.

Irányát a jobbkéz-szabály („like-szabály”) adja meg,
Ampèret jobb kézzel likeoljuk



Ampère-féle gerjesztési törvény lokális alakja

Ha az áramsűrűség ismert:

$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{r} = I = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A} \xrightarrow{\text{Stokes-tétel}} \int_A \text{rot } \vec{H} \cdot d\vec{A} = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

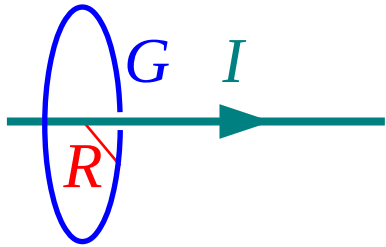
tetsz. A -ra igaz

$$\boxed{\text{rot } \vec{H} = \vec{j}}$$

lokális alak

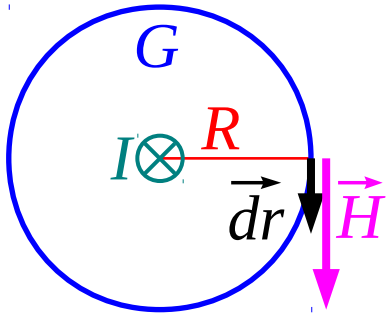
Egyenes vezető mágneses tere

G legyen egy R sugarú kör, a vezető a kör középpontjában, a kör síkjára merőlegesen.



mágn. tér forrásmentes
körszimmetria $\Rightarrow \vec{H}$ érintő irányú
nagysága a körön állandó

alulnézet:



$$\text{ekkor } \vec{H} \parallel \vec{dr} \Rightarrow \vec{H} \cdot \vec{dr} = |\vec{H}| |\vec{dr}| \cos 0 = H dr$$

$$\oint_G \vec{H} \cdot \vec{dr} = I \quad \text{gerjesztési törvénybe beírjuk:}$$

$$\oint_G \vec{H} \cdot \vec{dr} = \oint_G H dr = H \underbrace{\oint_G dr}_{=2R\pi} = H 2R\pi = I$$

$$\Rightarrow \boxed{H = \frac{I}{2R\pi}}, \text{ és érintő irányú}$$

- csak végtelen hosszú, egyenes vezetőre igaz
- ismert árammal ismert tér állítható elő
- de nem homogén (irány változik)
- Kísérlet:

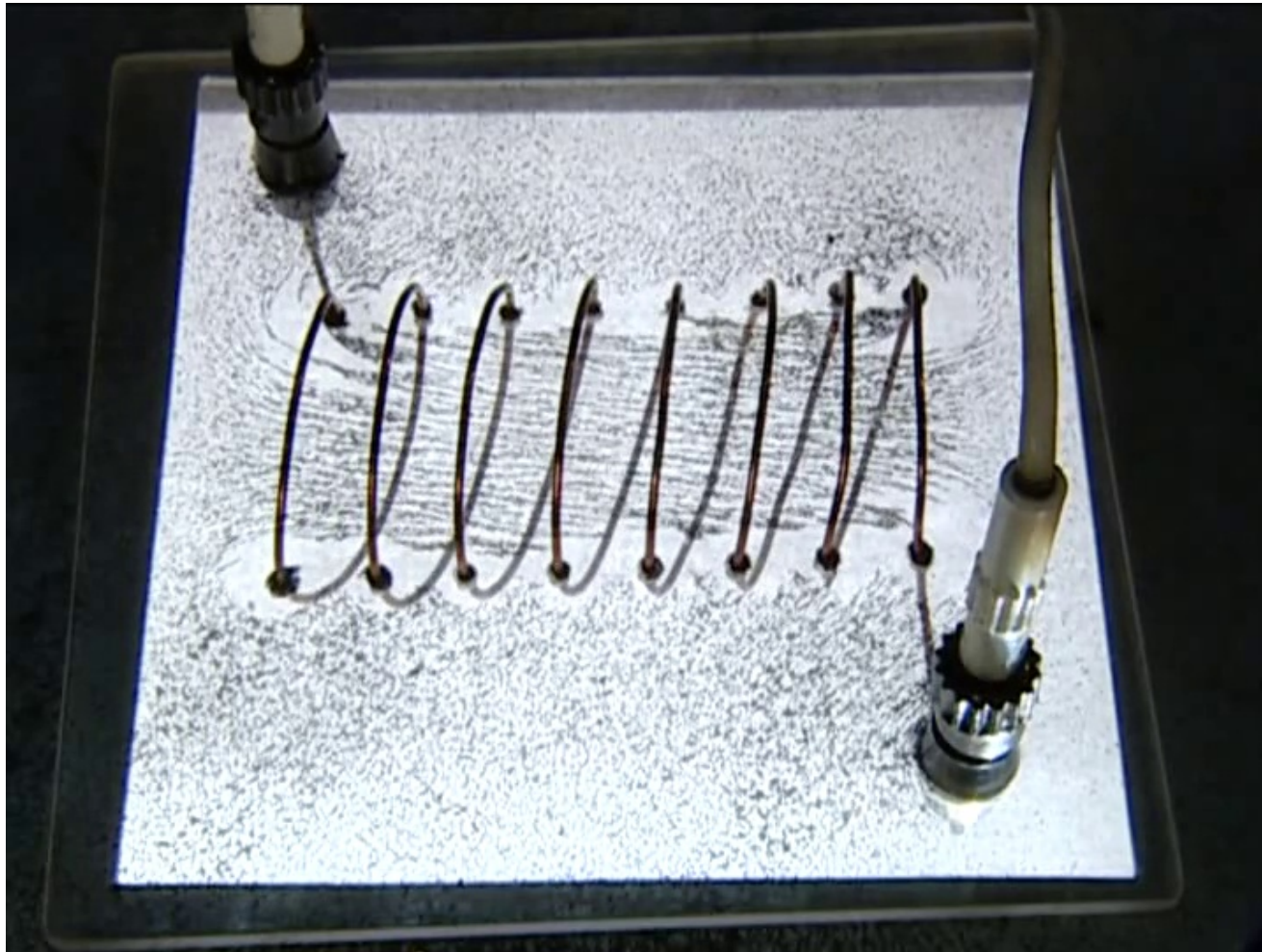
https://fizipedia.bme.hu/index.php/Fájl:Magneses_ero_vonalak.ogv

Szolenoid mágneses tere

szolenoid=tekercs, toroid=körtekercs

Kísérletben láttuk:

- tekercs belsejében a tér közel homogén
- tekercsen kívül sokkal kisebb a tér, $H_{\text{kívül}} \ll H_{\text{tekercsben}}$

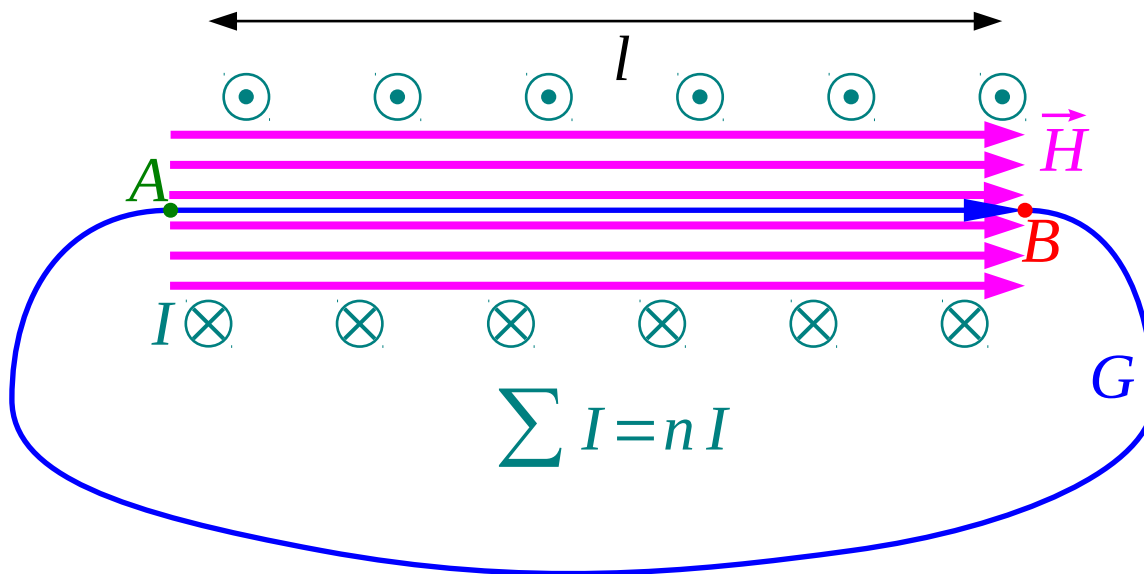


Szolenoid mágneses tere

szolenoid=tekercs, toroid=körtekercs

Kísérletben láttuk:

- tekercs belsejében a tér közel homogén
- tekercsen kívül sokkal kisebb a tér, $H_{\text{kívül}} \ll H_{\text{tekercsben}}$



$$nI = \oint_G \vec{H} \cdot d\vec{r} = \int_{A, \text{ belül}}^B \vec{H} \cdot d\vec{r} + \underbrace{\int_{B, \text{ kívül}}^A \vec{H} \cdot d\vec{r}}_{\approx 0} \approx \int_A^B \vec{H} \cdot d\vec{r} = \int_A^B H dr = H \underbrace{\int_A^B dr}_{=l} = Hl$$

$$\Rightarrow \boxed{H = \frac{nI}{l}}$$

V15

Mágneses térerősség (H) mérése szolenoiddal

Kompenzációval: a külső mágneses teret egy szolenoid belsejében levő térrel kompenzáljuk.

Tekercs irányát, áram nagyságát addig állítjuk, amíg a külső teret kioltja.

Kioltás észleléséhez nulldetektor (iránytű):

- elmozdítjuk, visszatér $\Rightarrow$ van eredő tér
- elmozdítjuk, ott marad $\Rightarrow$ az eredő tér nulla

$$\vec{H}_{\text{méréndő}} = -\vec{H}_{\text{tekercs}}$$

Köszönöm a figyelmet!