

1.2 Magnetosztatika

Magnetosztatikai alapjelenség



mágnes ~ megdörzsölt üvegrúd
vas ~ vatta (szigetelő)

soha nem taszítja el =>
tökéletes szigetelő

van mágneses pólus
(azaz „mágneses töltés”),
de mindig dipólus

mágnesrudat kettévágva
két újabb dipólus lesz

NINCS MÁGNESES MONOPÓLUS!

Nincs mágneses



monopólus

elektron elemi részecske

- elektromos monopólus (töltés)
- mágneses dipólus (spin)

mágneses monopólus léte:

- elméleti érvek (Dirac) mellette
- kísérletileg nem sikerült
- aktívan kutatott terület

=> aszimmetria a Maxwell-egyenletekben

Magnetosztatika alapegyenletei

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\dot{\vec{B}}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \dot{\vec{D}}$$

Maxwell-egyenletek

sztatika esetén: $\vec{j}=0$, $\dot{\vec{B}}=0$, $\dot{\vec{D}}=0$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = 0$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = 0$$

Elektrosztatika

Magnetosztatika

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

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

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

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

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

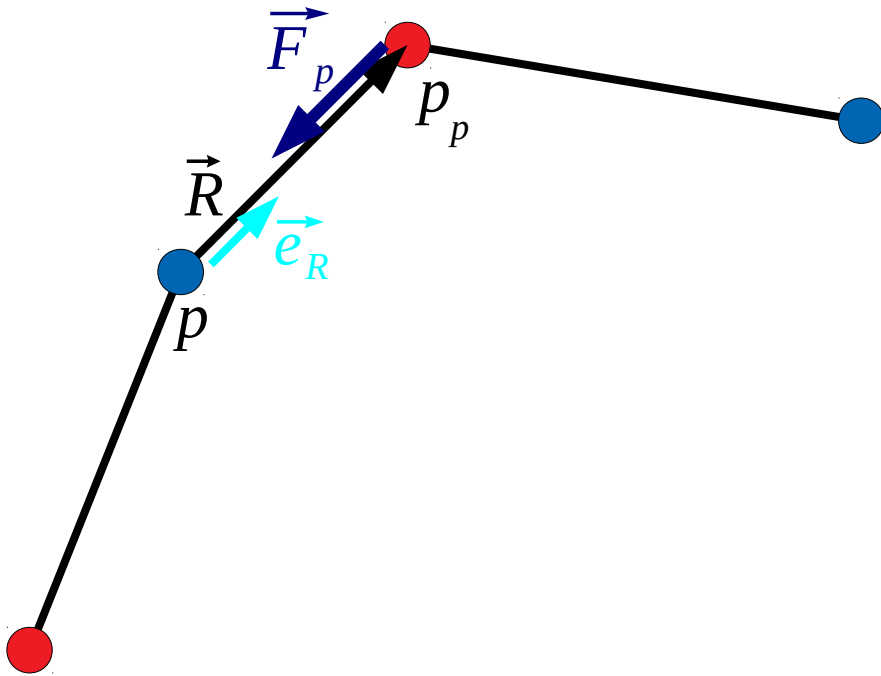
$$\oint_G \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$$

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

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

Mágneses Coulomb-törvény

Ezt hogy, ha csak dipólus van?
Hosszú dipólusok, vagy páronként.



Jelölés: p póluserősség,
vagy q mágneses töltés
[p]=[q]=Vs=Wb (Weber)

$$\vec{F}_p = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{p p_p}{R^2} \vec{e}_R, \text{ ahol}$$

$\vec{R}$ a p -ből p_p -be mutató vektor,
 μ_0 a vákuum **permeabilitás** a,

$$\vec{e}_R = \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|} \text{ az } \vec{R} \text{ irányú egységvektor}$$

mágneses térerősség: $\vec{H} = \frac{\vec{F}_p}{p_p}$, de nem ez az SI definíció

Szótár 1

Analógiák elektromosság és mágnesség között
mértékegységek V $\Leftrightarrow$ A cserével

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_p}{Q_p} \text{ elektromos térerősség } \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}_p}{p_p} \text{ mágneses térerősség } \left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

$$\vec{D} \text{ elektromos megosztás } \left[\frac{\text{As}}{\text{m}^2} \right]$$

elektromos indukció

$$\vec{B} \text{ mágneses indukció } \left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \right]$$

$$Q \text{ elektromos töltés } [\text{As}]$$

$$p \text{ mágneses pólus } [\text{Vs}]$$

$$\vec{P} \text{ elektromos polarizáció } \left[\frac{\text{As}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\vec{M} \text{ mágneses polarizáció } \left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \right]$$

Szótár 2

$$\epsilon_0 \text{ a vákuum permittivitása } \left[\frac{\text{As}}{\text{Vm}} \right] \quad \mu_0 \text{ a vákuum permeabilitása } \left[\frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \right]$$

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

$$\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \approx 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}$$

$$\vec{P} = \vec{P}(\vec{E}) \text{ anyagi egyenlet}$$

$$\vec{M} = \vec{M}(\vec{H}) \text{ anyagi egyenlet}$$

Szótár 3 (LIH anyagok)

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$$

χ_e elektromos szuszceptibilitás

$\epsilon_r = 1 + \chi_e$: relatív permittivitás

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$: abszolút permittivitás

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{M} = \mu_0 \chi_m \vec{H}$$

χ_m mágneses szuszceptibilitás

$\mu_r = 1 + \chi_m$: relatív permeabilitás

$\mu = \mu_0 \mu_r$: abszolút permeabilitás

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

Szótár 4

$\epsilon_r = 1 + \chi_e$: relatív permittivitás

$\mu_r = 1 + \chi_m$: relatív permeabilitás

ferroelektromosság ($\epsilon_r \gg 1$)

ferromágnesség ($\mu_r \gg 1$)

dielektrikum ($\chi_e > 0$, $\epsilon_r > 1$)

paramágneses anyagok ($\chi_m > 0$, $\mu_r > 1$)

Ø

diamágneses anyagok ($\chi_m < 0$, $\mu_r < 1$)

vezetők

Ø

Paramágnesség

- mint az irányítási polarizáció szigetelőben
- van párosítatlan e^- , eredő mágneses dipólmomentum
- külső tér hatására rendeződik
- az ilyen „jól érzi magát” a mágneses térben
- pl.: alumínium

Diamágnesség

- minden anyag ilyen is
- gyengébb, mint a paramágnesség
- a külső térrel **ellentétes irányú!** mágneses dipólus keletkezik
- az e^- , mint köráram és a mágneses tér kölcsönhatásából
- az ilyen „rosszul érzi magát” a mágneses térben
- pl.: bizmut

Hiszem, ha látom ...

https://fizipedia.bme.hu/index.php/Diamágnesség,_paramágnesség_-_szilárd_anyagok

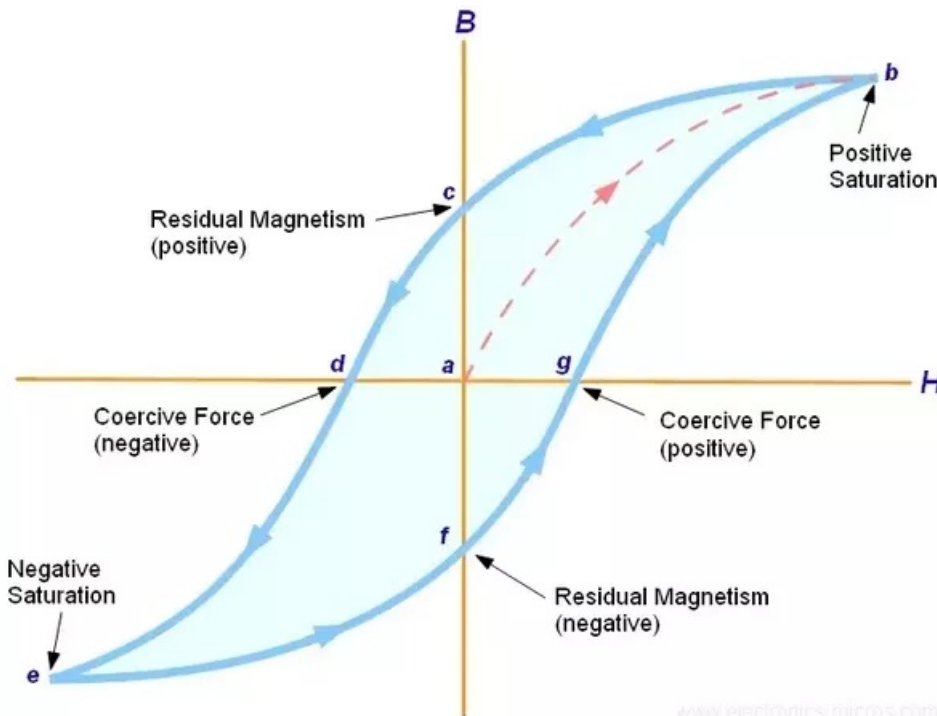
Folyadék is lehet para- vagy diamágneses:

https://fizipedia.bme.hu/index.php/Diamágnesség,_paramágnesség_-_folyadékok

Ferromágnesség

- **domének:** eleve rendezett a mágnesezettség
- oka: kicserélődési kölcsönhatás (kvantummechanika)
- itt is van párosítatlan e^-
- **hiszterézis:** ugyanúgy, mint a ferroelektromos esetben
- **Curie-pont:** ezen hőmérséklet fölött a domének szétesnek, paramágneses lesz:

<https://www.youtube.com/watch?v=haVX24hOwQI>



Hiszterézis hurok:

- telítés (b, e)
- remanens (maradék) mágnesség (c, f)
- koercitív erő (d, g)

A 3 viselkedés együtt:

V15

Curie-motor

Periodikusan változtatjuk a hőmérsékletet a Curie-pont körül:

https://www.youtube.com/watch?v=YzwGzJm41_o

2. Stacionárius terek és egyenáramok

feltételezések: $\vec{j} \neq 0$; $\vec{B} = 0$; $\vec{D} = 0$

azaz: nincs változás, de van **áram**

Sztatika vs. stacionárius állapot

példa: kád víz

sztatika: dugó bedugva, valamennyi víz



stacionárius állapot: dugó kihúzva, csap megnyitva
=> dinamikus egyensúly, vízszint állandó, van vízáram



elektrodinamikában

4. Maxwell-egyenlet: $\mathbf{rot} \vec{H} = \vec{j} + \dot{\vec{D}} \Rightarrow \dot{\vec{D}} = \mathbf{rot} \vec{H} - \vec{j}$

sztatika: $\mathbf{rot} \vec{H} = \vec{j} = 0$

stac. terek: $\mathbf{rot} \vec{H} = \vec{j} \neq 0$

Miről lesz szó ebben a fejezetben?

- **2.1. Elektromos áram**
- elektromos áram jellemzése
- Ohm-törvény: áram – elektromos térerősség kapcsolat
- Joule-törvény: teljesítmény
- vezetés mechanizmusai – mi, hogyan vezet
- feszültségforrások – mi hozza létre a teret
- **2.2. Elektromos áram mágneses tere**
- áramjárta vezető mágneses tere
- mágneses tér hatása áramra
- köráram, mint mágneses dipólus
- Lorentz-erő: mágneses tér hatása mozgó töltésre
- áramok kölcsönhatása

2.1. Elektromos áram

Kezdjük egy kísérlettel:

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

Elektromos áram, áramsűrűség

az áramhoz nem elég a fehér por, **töltéshordozók** kellenek

töltéshordozó: töltéssel bíró részecske, ami erő hatására könnyen el tud mozdulni

vezető: olyan anyag, amelyben töltéshordozók vannak

elektromos áram: töltéshordozók **rendezett** mozgása

Elektromos áram, áramsűrűség

nézzünk egy darab vezetőt:

t idő alatt Q_t töltés lép be

stacionárius $\Rightarrow$ ugyanennyi lép ki (nem halmozódik fel töltés)

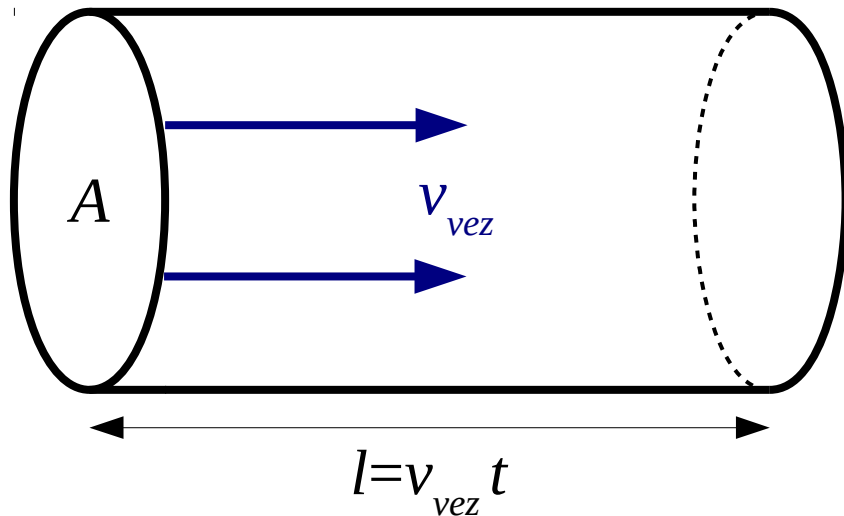
áram: időegység alatt átmenő valami

elektromos áram: töltésáram, időegység alatt átmenő töltés

$$I \stackrel{\text{def}}{=} \frac{Q_t}{t}, [A]$$

instacioner eset: $I \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dQ}{dt}$

a töltéshordozókat képzeljük el fluidumként, ρ_{vez} töltéssűrűséggel,
 v_{vez} sebességgel áramlik (drift sebesség)

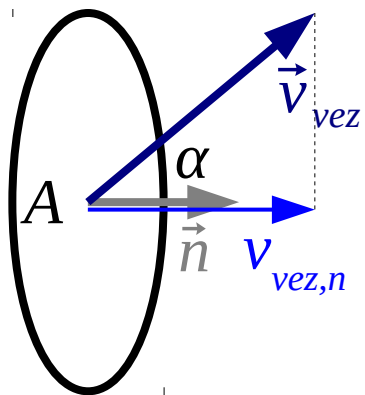


t idő alatt:

a henger térfogata: $V = Al = A v_{vez} t$

a benne levő töltés: $Q_t = V \rho_{vez}$

$$I = \frac{Q_t}{t} = \frac{V \rho_{vez}}{t} = \frac{A v_{vez} \cancel{t} \rho_{vez}}{\cancel{t}} = \rho_{vez} v_{vez} A$$



ha nem merőlegesek: $v_{vez,n} = v_{vez} \cos \alpha = \vec{v}_{vez} \cdot \vec{n}$

$$\text{ekkor: } I = \rho_{vez} v_{vez,n} A = \underbrace{\rho_{vez} \vec{v}_{vez}}_{\vec{j}} \cdot \underbrace{\vec{n} A}_{\vec{A}} = \vec{j} \cdot \vec{A}$$

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

Beugró

láttuk, hogy sík felületre, homogén esetben az áram: $I = \vec{j} \cdot \vec{A}$

görbe felület, inhomogén eset?

kis felületek (diszkógömb) $\Rightarrow$ felületi integrál

$$I = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

Beugró

vagyis az áramerősség az áramsűrűség fluxusa

Köszönöm a figyelmet!