

Az elektromágneses tér energiája

Az elektromos tér energiasűrűsége korábbról: $w_E = \frac{1}{2} \vec{D} \cdot \vec{E}$

Hasonlóképpen, a mágneses tér energiája: $w_M = \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H}$

A tér egy adott pontjában az elektromos és mágneses terek együttes energiasűrűsége tehát (amennyiben mindkettő jelen van):

$$w_{EM} = \frac{1}{2} (\vec{D} \cdot \vec{E} + \vec{B} \cdot \vec{H})$$

A pont egy (elegendően) kicsiny ΔV térfogatú környezetében lévő energia:

$$\Delta W_{EM} = \frac{1}{2} (\vec{D} \cdot \vec{E} + \vec{B} \cdot \vec{H}) \Delta V$$

Amennyiben az energiasűrűség nem homogén, egy véges térfogatban lévő energiát térfogati integrállal számolhatjuk:

$$W_{EM} = \frac{1}{2} \int_V (\vec{D} \cdot \vec{E} + \vec{B} \cdot \vec{H}) dV$$

Az Ampère-féle gerjesztési törvény

Mozgó töltések (áramok) mágneses teret hoznak létre.

Vékony vonalas vezetőkre a mágneses térerősség zárt görbére vett integrálja egyenlő a görbe által határolt tetszőleges felületen áthaladó áramok előjeles összegével.

$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{s} = \sum_i I_i$$

A normális irányába átfolyó áram **pozitív**.

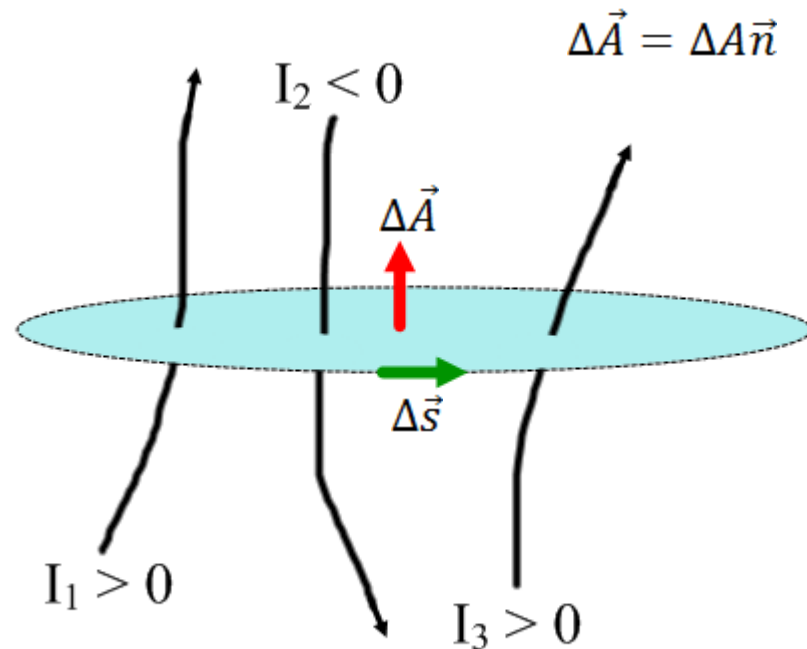
$\Delta\vec{s}$ és \vec{n} irányát a jobbcsvavar szabály kapcsolja össze.

A felületen átfolyó áram általánosan:

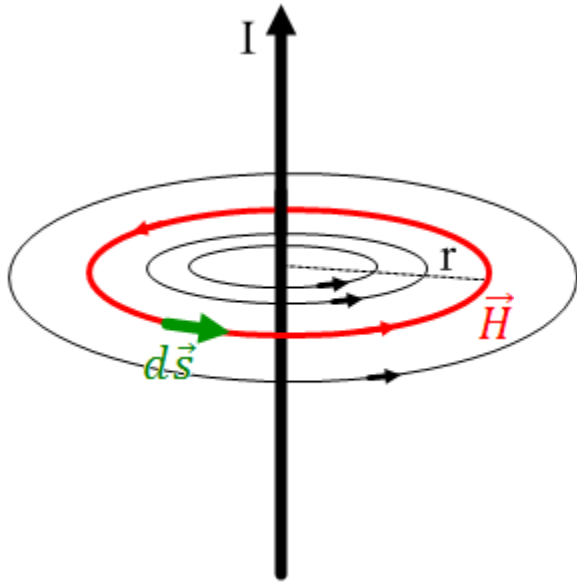
$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{s} = \int_F \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

Innen az Ampère-féle gerjesztési törvény differenciális (lokális) alakja:

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



Alkalmazás: végtelen egyenes vezető tere



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

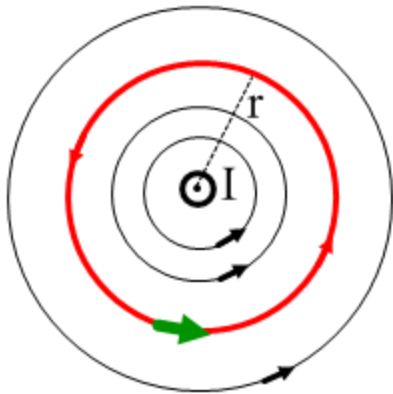
Hengerszimmetria miatt: A térerősség nagysága csak az r távolságtól függ, iránya pedig tangenciális.

$$d\vec{s} \parallel \vec{H}$$

Tehát:
$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{s} = H \oint_G ds = H 2r\pi$$

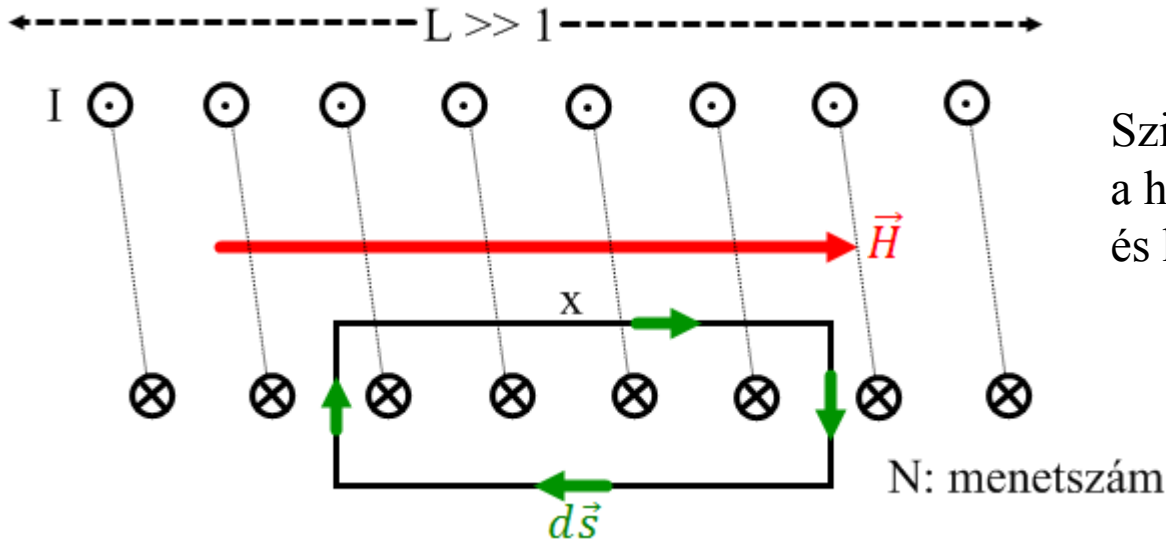
$$H 2r\pi = I$$

$$H = \frac{I}{2r\pi}$$



Vákuumban vagy levegőben pedig:
$$B = \frac{\mu_0 I}{2r\pi}$$

Alkalmazás: „végtelen” hosszú egyenes tekercs tere



Szimmetria miatt: A térerősség a hossztengellyel párhuzamos, és homogén. Kívül nulla.

$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{s} = Hx$$
$$Hx = \frac{NIx}{L} \quad H = \frac{NI}{L}$$
$$\sum_i I_i = \frac{NI}{L} x$$

Vákuumban vagy levegőben pedig: $B = \mu_0 \frac{NI}{L}$

Ha a tekercsben valamilyen más anyag van: $B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{L}$

Határfeltételek

Ampère-féle gerjesztési törvény: $\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{r} = 0^*$

(*amennyiben a határfelületen nem folynak áramok)

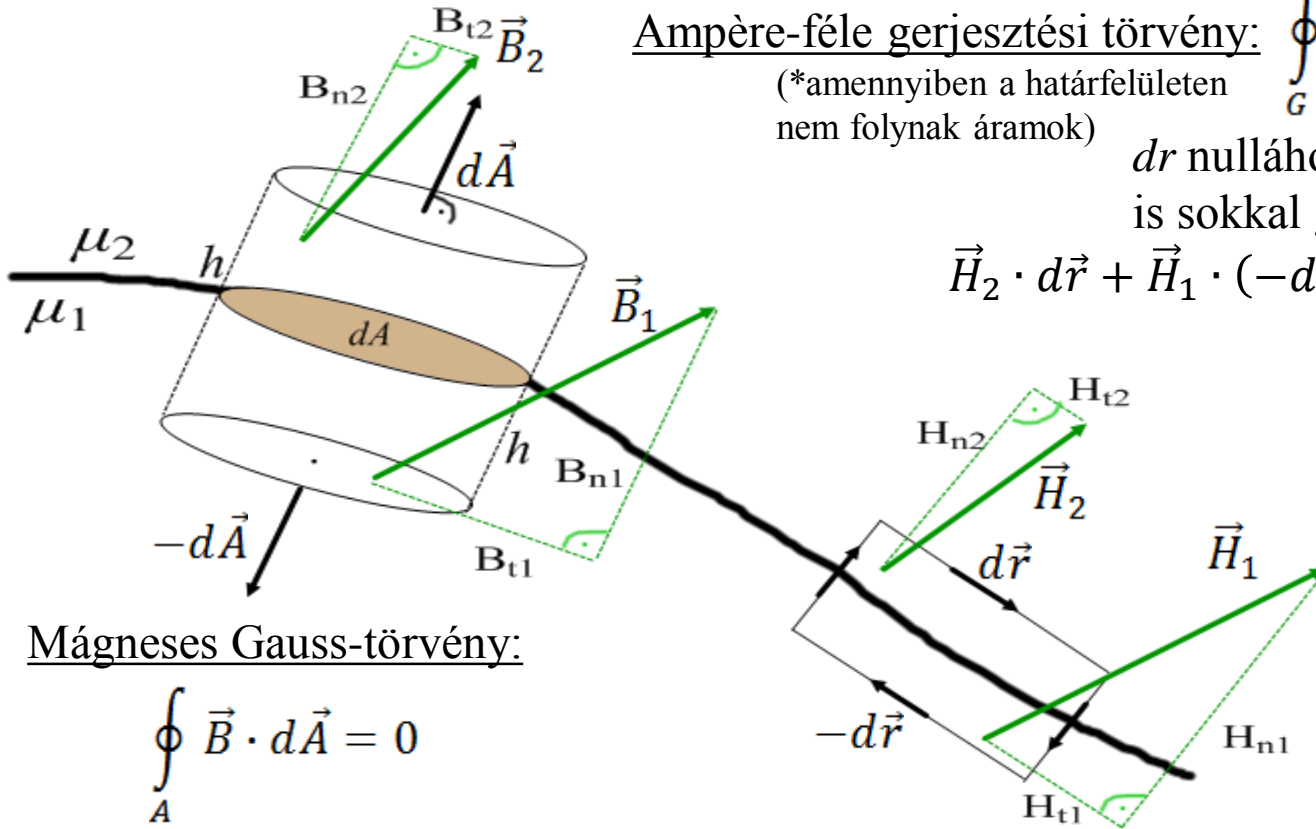
dr nullához tart, h még ennél is sokkal gyorsabban tart nullához.

$$\vec{H}_2 \cdot d\vec{r} + \vec{H}_1 \cdot (-d\vec{r}) = H_{2t}dr - H_{1t}dr = 0$$

$$H_{1t} = H_{2t}$$

$$\frac{B_{1t}}{\mu_1} = \frac{B_{2t}}{\mu_2}$$

$$\frac{B_{1t}}{B_{2t}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$



Mágneses Gauss-törvény:

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

dA nullához tart, h még ennél is sokkal gyorsabban tart nullához.

$$\vec{B}_2 \cdot d\vec{A} + \vec{B}_1 \cdot (-d\vec{A}) = B_{2n}dA - B_{1n}dA = 0$$

$$B_{2n} - B_{1n} = 0$$

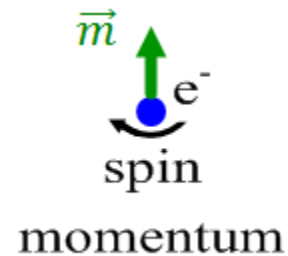
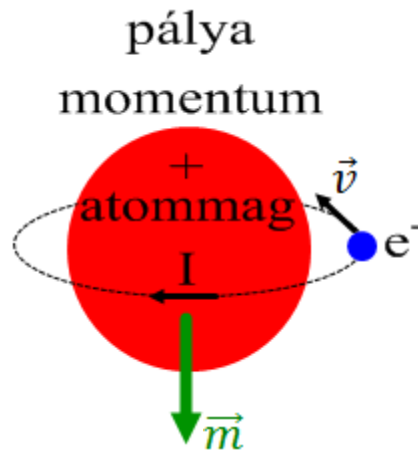
$$B_{1n} = B_{2n} \rightarrow \mu_1 H_{1n} = \mu_2 H_{2n} \rightarrow \frac{H_{1n}}{H_{2n}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

Anyagok mágneses tulajdonsága

Három fő csoportba sorolhatók:

- diamágnesek
- paramágnesek
- ferromágnesek

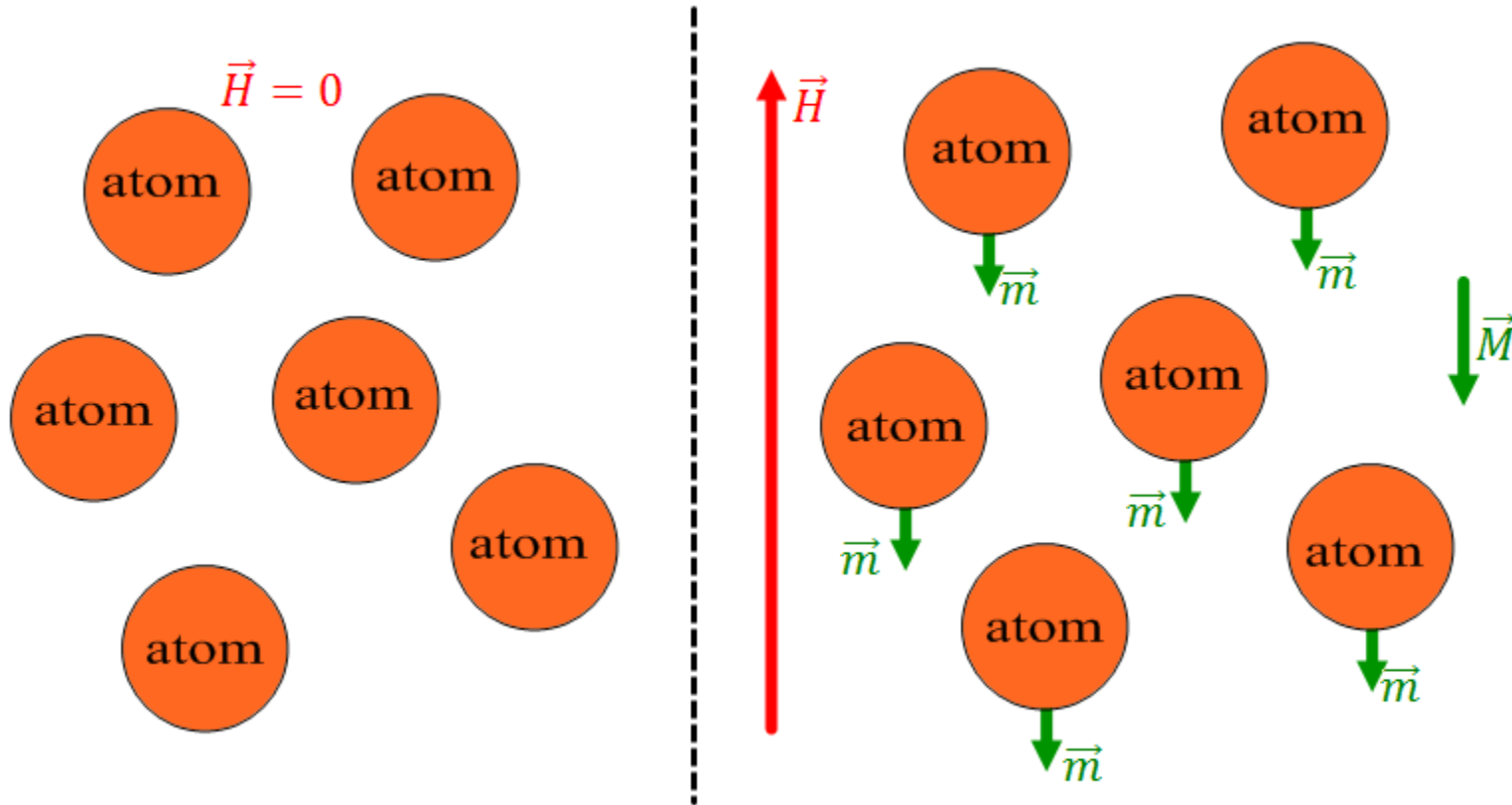
Az atomok mágneses tulajdonságaiért főleg az elektronok felelősek:



Speciális esetben (zárt elektronshéj esetén) ezek kiegyenlítik egymást, és ekkor az atom nem rendelkezik saját mágneses momentummal.

Diamágnesesek

Diamágneses anyagok atomjai nem rendelkeznek saját mágneses momentummal.



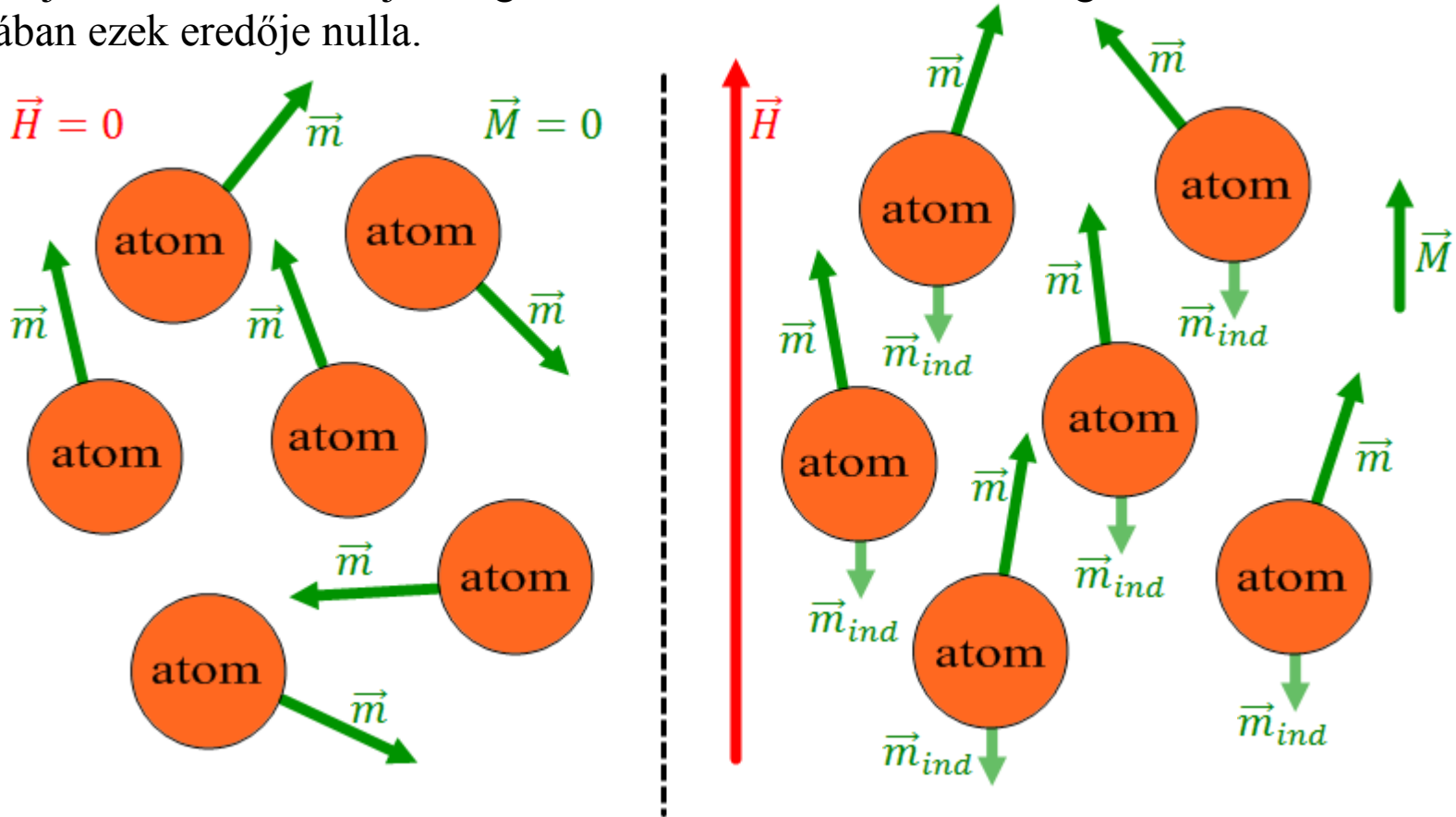
Külső mágneses tér hatására az atomokban mágneses momentum indukálódik. Ezek iránya ellentétes a külső térrel (annak hatását gyengíteni igyekeznek – Lenz törvény)

$$\vec{M} = \chi \vec{H} \quad \chi < 0 \quad \chi \approx -10^{-4} \quad \mu_r = 1 + \chi \approx 0.9999$$

Tehát a közegbeli indukció kisebb, mint a vákuumbeli $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$ indukció.

Paramágnesek

Az atomjai rendelkeznek saját mágneses momentummal. A hőmozgásuk miatt külső tér hiányában ezek eredője nulla.



Külső tér két hatás: indukált mágneses momentum; saját momentumokat a tér irányába igyekszik befordítani a hőmozgás ellenében. Magasabb hőmérsékleten kevésbé tudja.

$$\chi \approx 10^{-6} - 10^{-3}$$

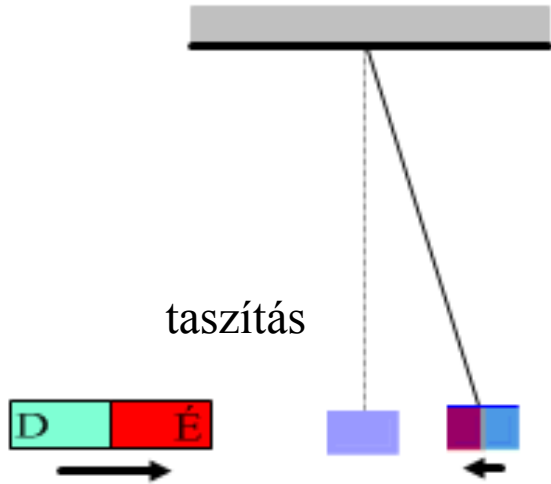
$$\mu_r = 1 + \chi \approx 1.000001 - 1.001$$

Curie-törvény: $\chi \sim \frac{1}{T}$

Dia- és Paramágnesek

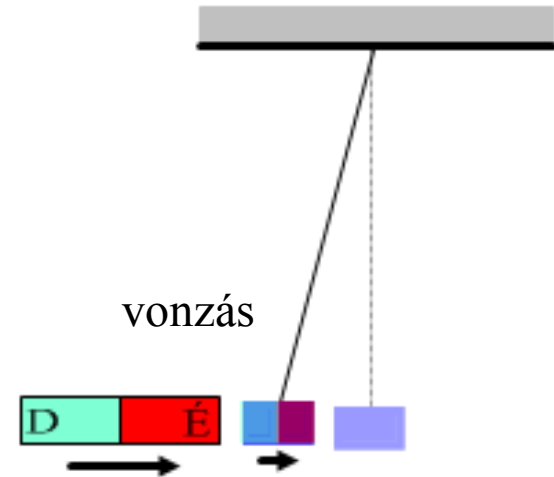
Diamágnesek:

nemesgázok, víz, ezüst, arany, réz



Paramágnesek:

alkálifémek, alumínium, volfrám, oxigén



Ferromágnesek

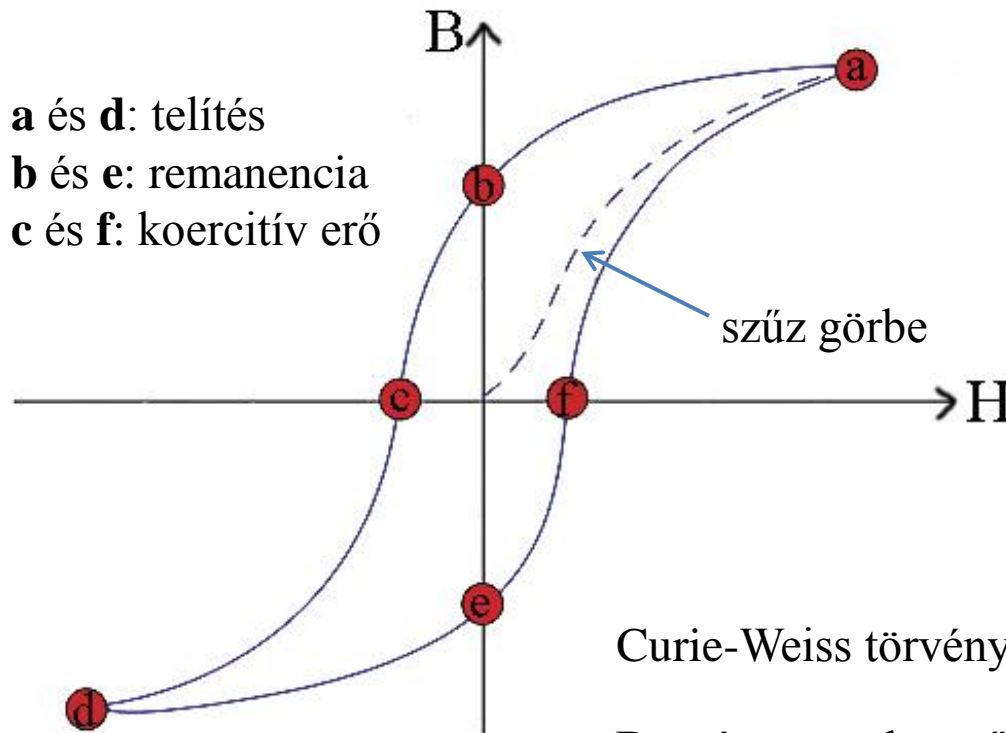
Erősen mágnesezhető anyagok, többé-kevésbé megőrzik mágnesességüket.

pl. vas, kobalt, nikkelt

A szuszceptibilitás értéke függ a külső tértől, a lineáris anyagegyenletek nem érvényesek.

$$\mu_r \approx 100 - 1000000$$

Jellemző rájuk a hiszterézis:



Nagy remanenciájú anyagok (kemény) használhatók permanens mágnesnek.

Kis remanenciájú (lágy) anyagok használhatók elektromágnesben és transzformátorban.

A Curie-hőmérséklet fölött a ferromágneses anyagok paramágnesessé válnak.

Visszahűtve a szuszceptibilitás egyre növekszik.

Curie-Weiss törvény:
$$\chi \sim \frac{1}{T - T_C}$$

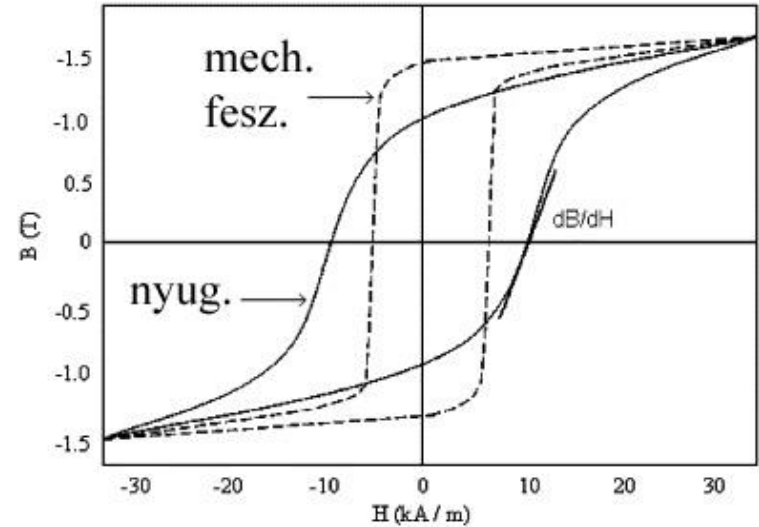
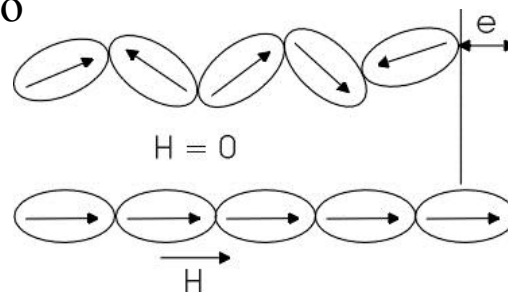
Doménes szerkezetűek, a **doménen** belül a saját mágneses dipólmomentumok egy irányba állnak.

Magnosztrikció

Ferromágneses anyagok hiszterézis görbéjének alakja megváltozik deformáció hatására. Tehát a mechanikai feszültség befolyásolja a mágneses tulajdonságokat.

Ennek a fordítottja is igaz:

Magnosztrikció: Mágneses tér hatására bekövetkező deformáció



Változó tér esetén a mechanikai rezgés frekvenciája kétszerese lesz a gerjesztő tér frekvenciájának. Rezonancia, ha a tér frekvenciája megegyezik valamelyik mechanikai sajátfrekvencia felével.

Felhasználás: pl. ultrahang generátorok

