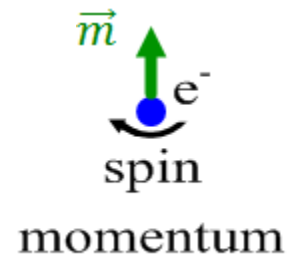
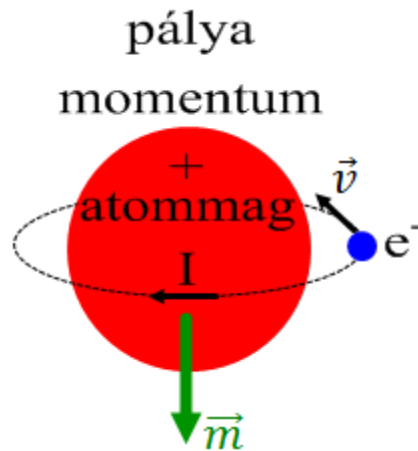


Anyagok mágneses tulajdonsága

Három fő csoportba sorolhatók:

- diamágnesek
- paramágnesek
- ferromágnesek

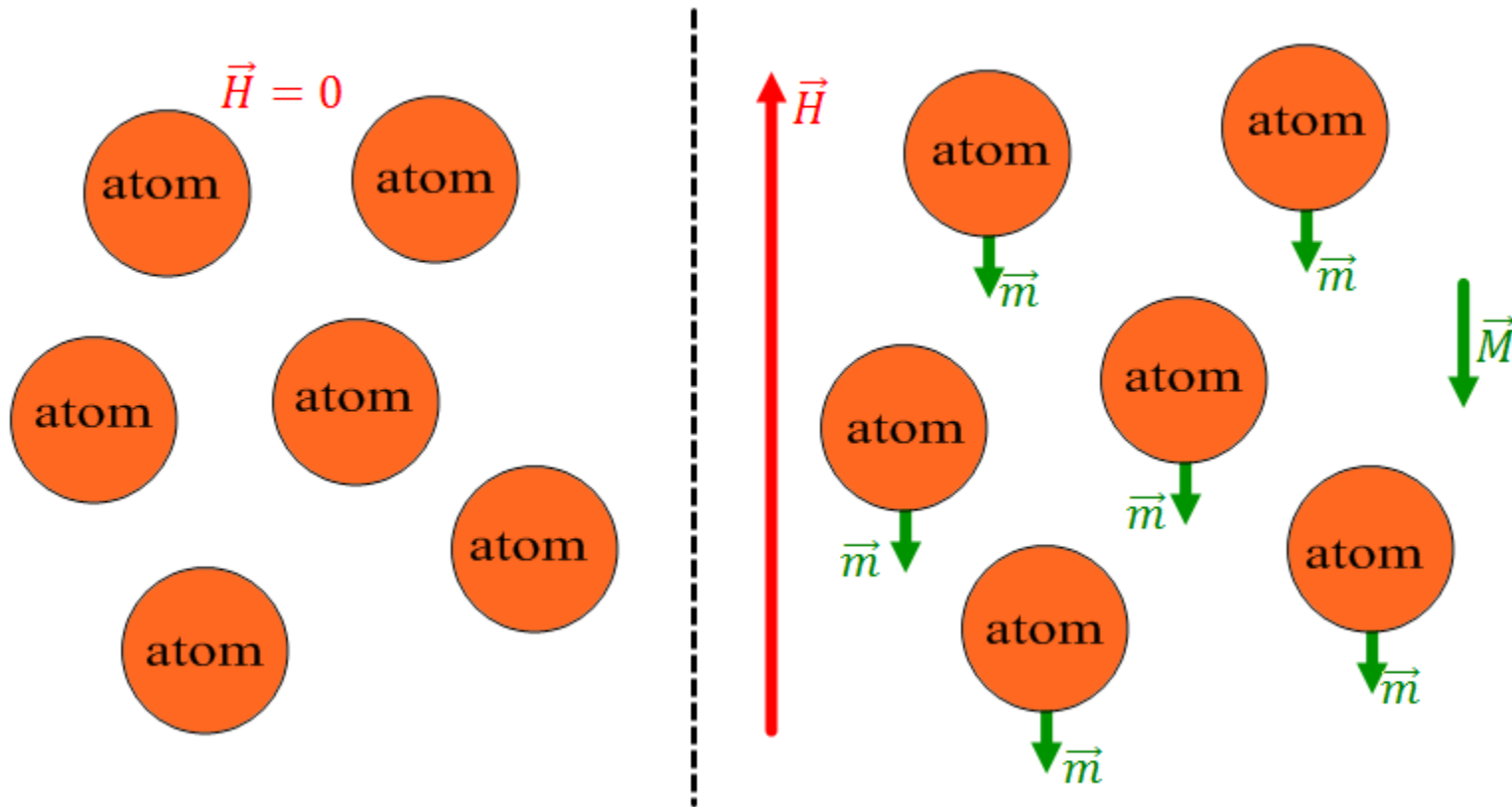
Az atomok mágneses tulajdonságaiért főleg az elektronok felelősek:



Speciális esetben (zárt elektróhéj 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)

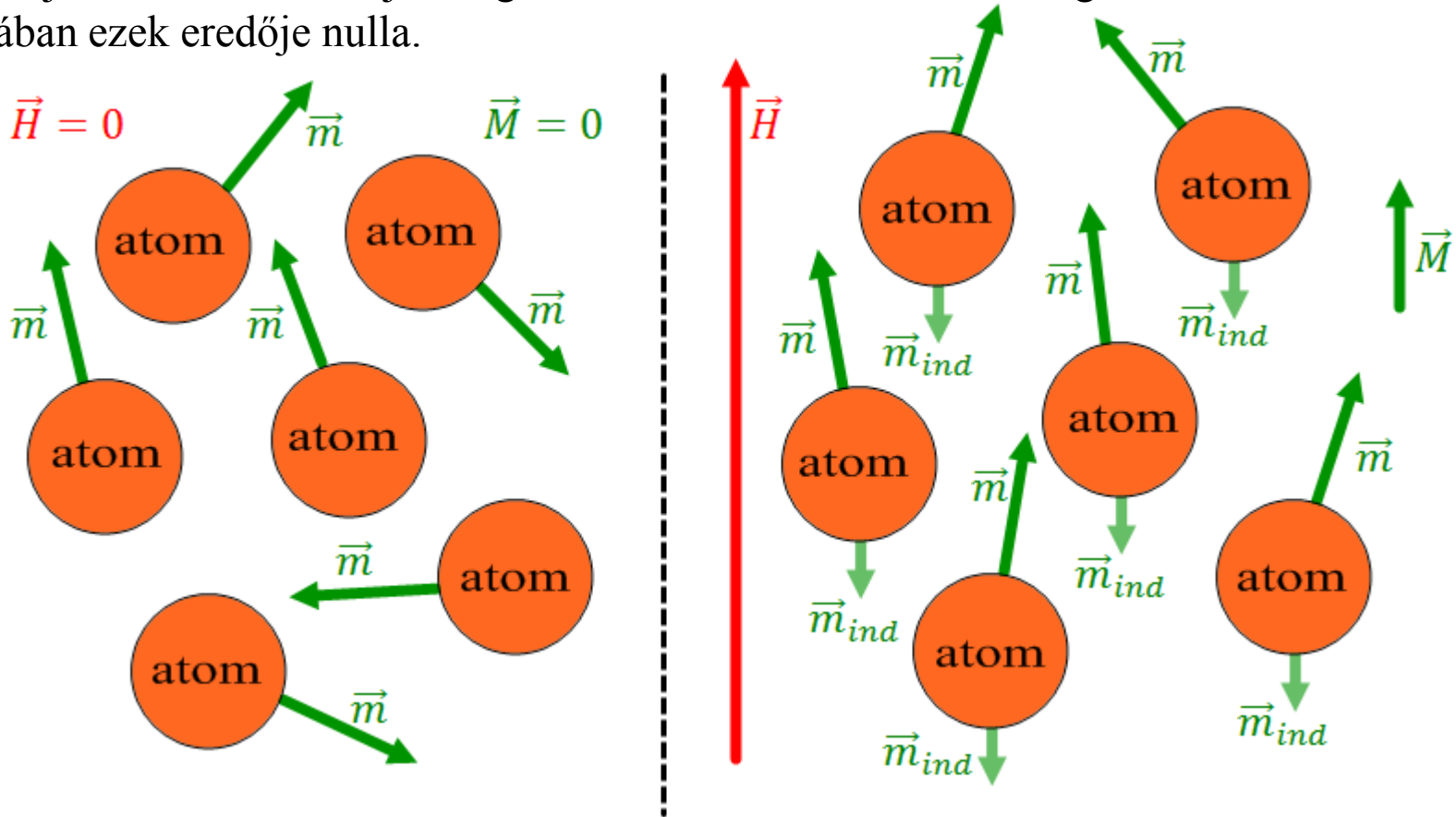
$$\vec{M} = \chi \vec{H} \quad \chi < 0 \quad \chi \approx -10^{-4} \quad \mu_r = 1 + \chi \approx 0.9999$$

[BÉKA VIDEÓ!](#)

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.

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

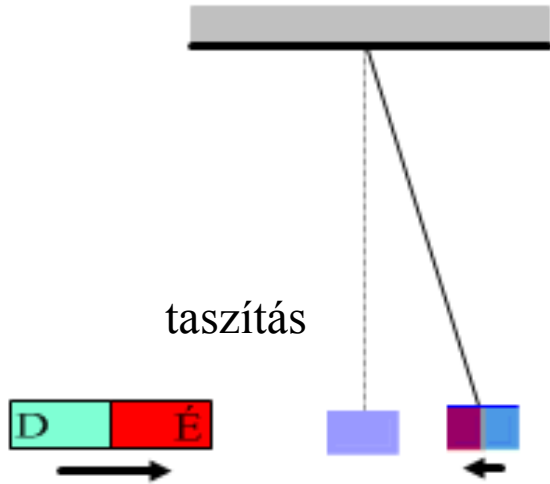
$$\mu_r = 1 + \chi \approx 1.000001 - 1.001$$

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

Dia- és Paramágnesek

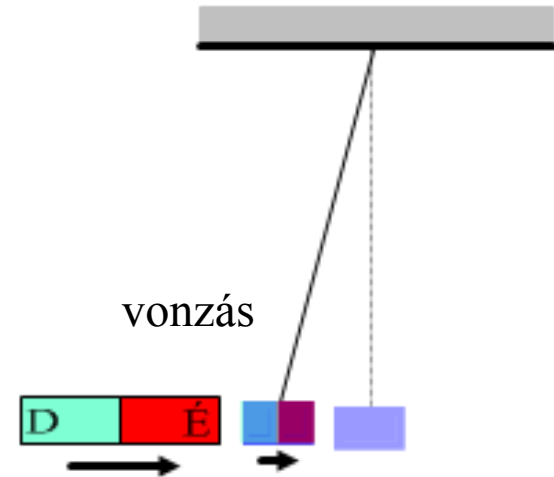
Diamágnesek:

nemesgázok, víz, ezüst, arany, réz



Paramágnesek:

alkálifémek, alumínium, volfrám, oxigén



Ferromágnesek

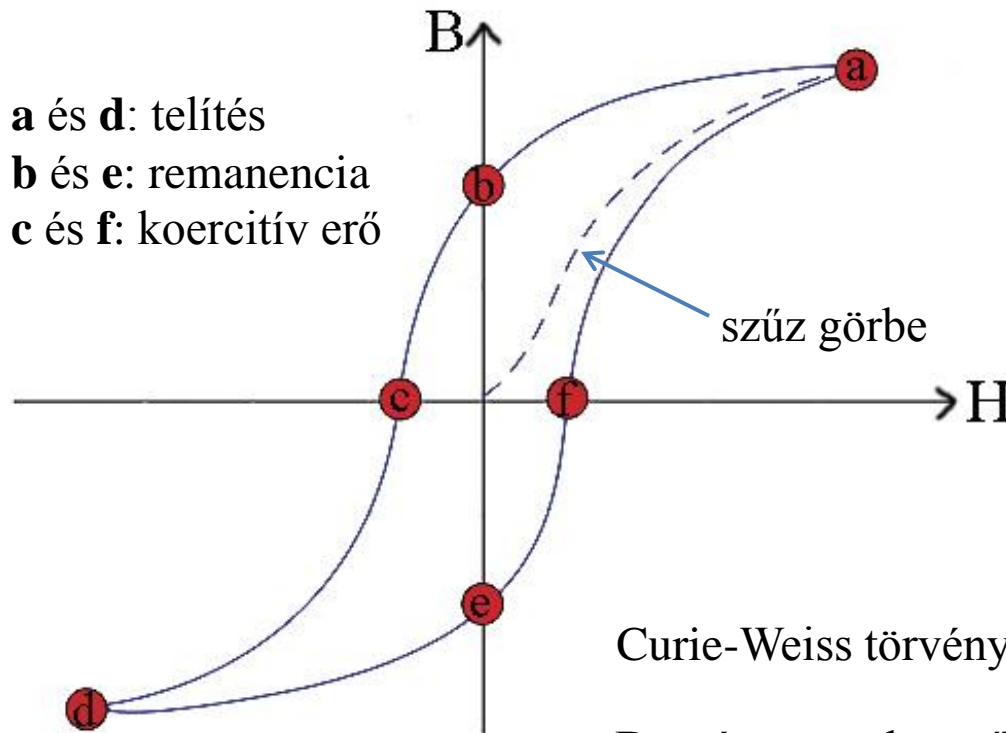
Erősen mágnesezhető anyagok, többé-kevésbé megőrzik mágneseességüket.

pl. vas, kobalt, nikkell

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

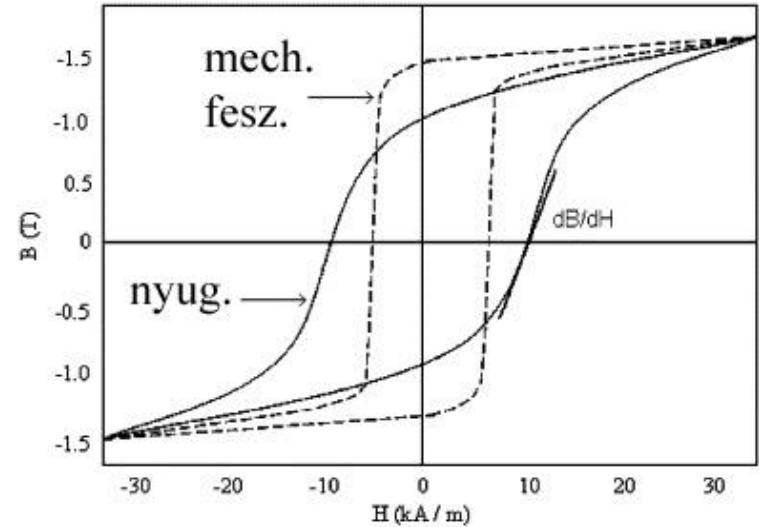
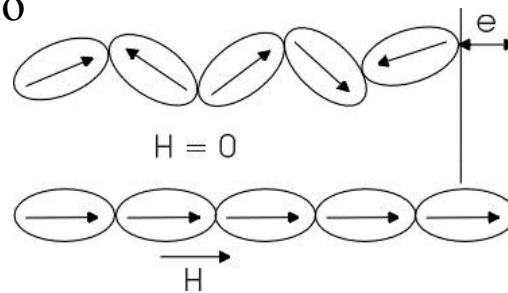
Doménes szerkezetűek, a **doménen** belül a saját mágneses dipólmomentumok egy irányba állnak.

Magnosztrikció

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

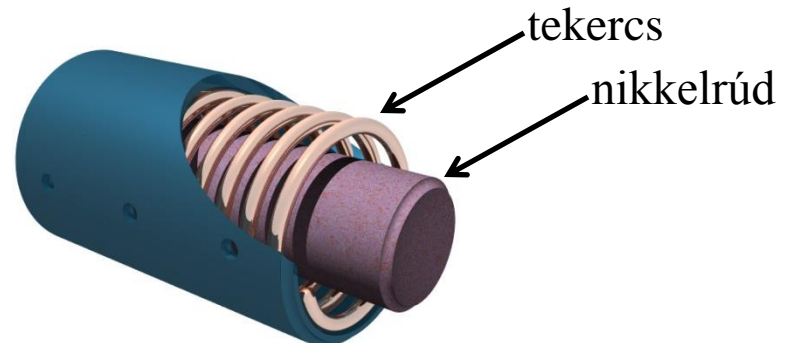
Ennek a fordítottja is igaz:

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



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**.

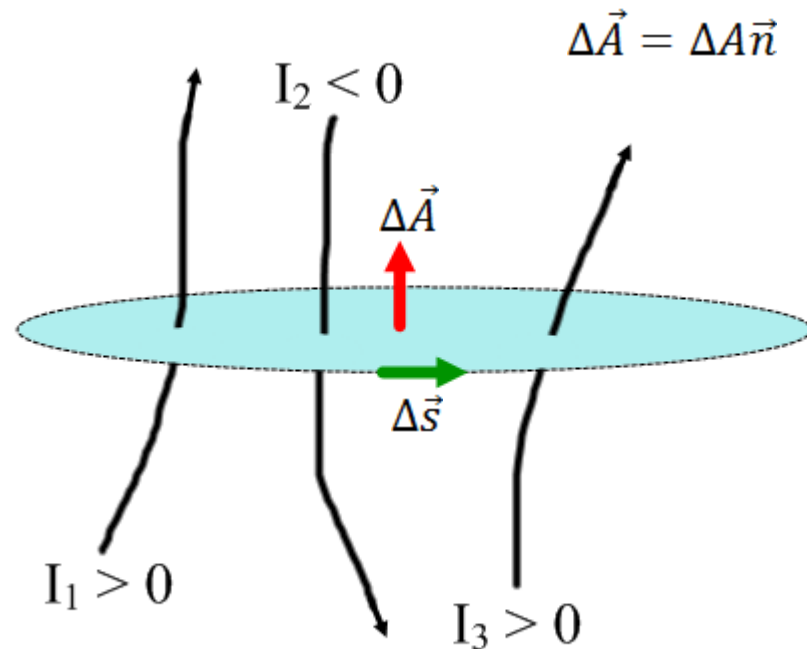
$\Delta\vec{s}$ és \vec{n} irányát a jobbcsvavar szabály kapcsolja össze.

A felületen átfolyó áram általánosan:

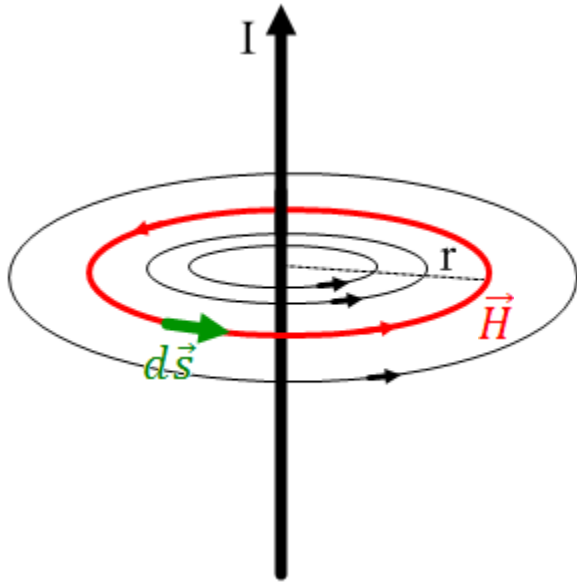
$$\oint_G \vec{H} \cdot d\vec{s} = \int_F \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

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

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



Alkalmazás: végtelen egyenes vezető tere



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

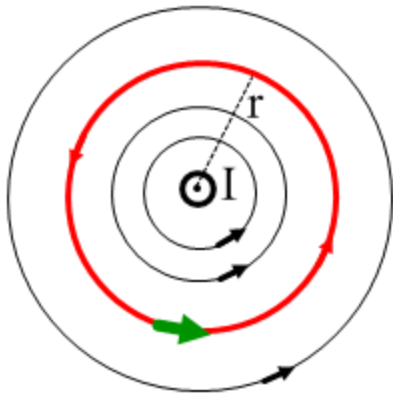
Hengerszimmetria miatt: A térerősség nagysága csak az r távolságtól függ, iránya pedig tangenciális.

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

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

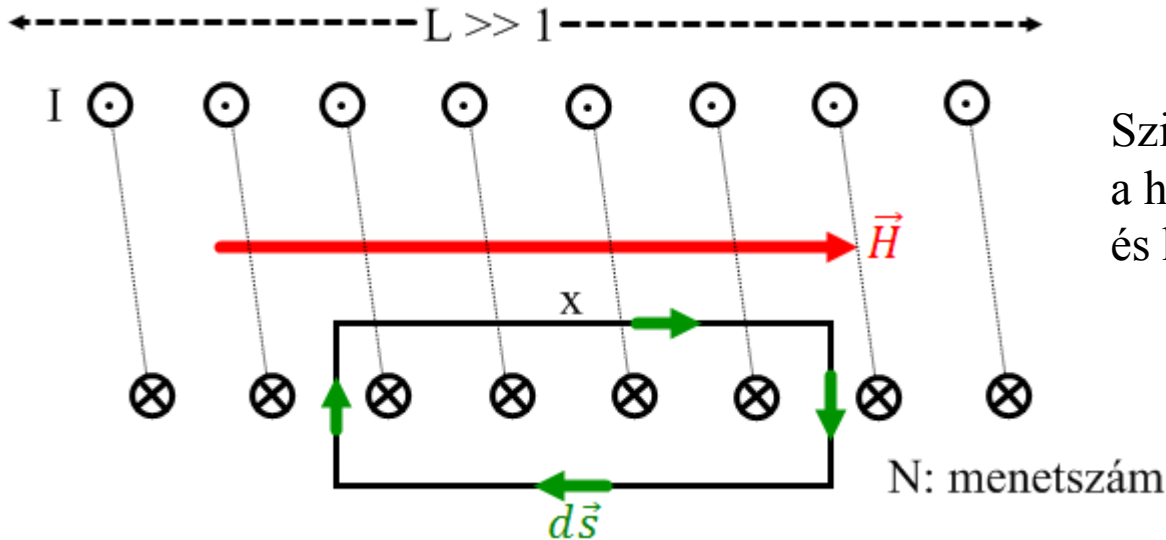
$$H 2r\pi = I$$

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



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

Alkalmazás: „végtelen” hosszú egyenes tekercs tere



Szimmetria miatt: A térerősség a hossz tengellyel 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)

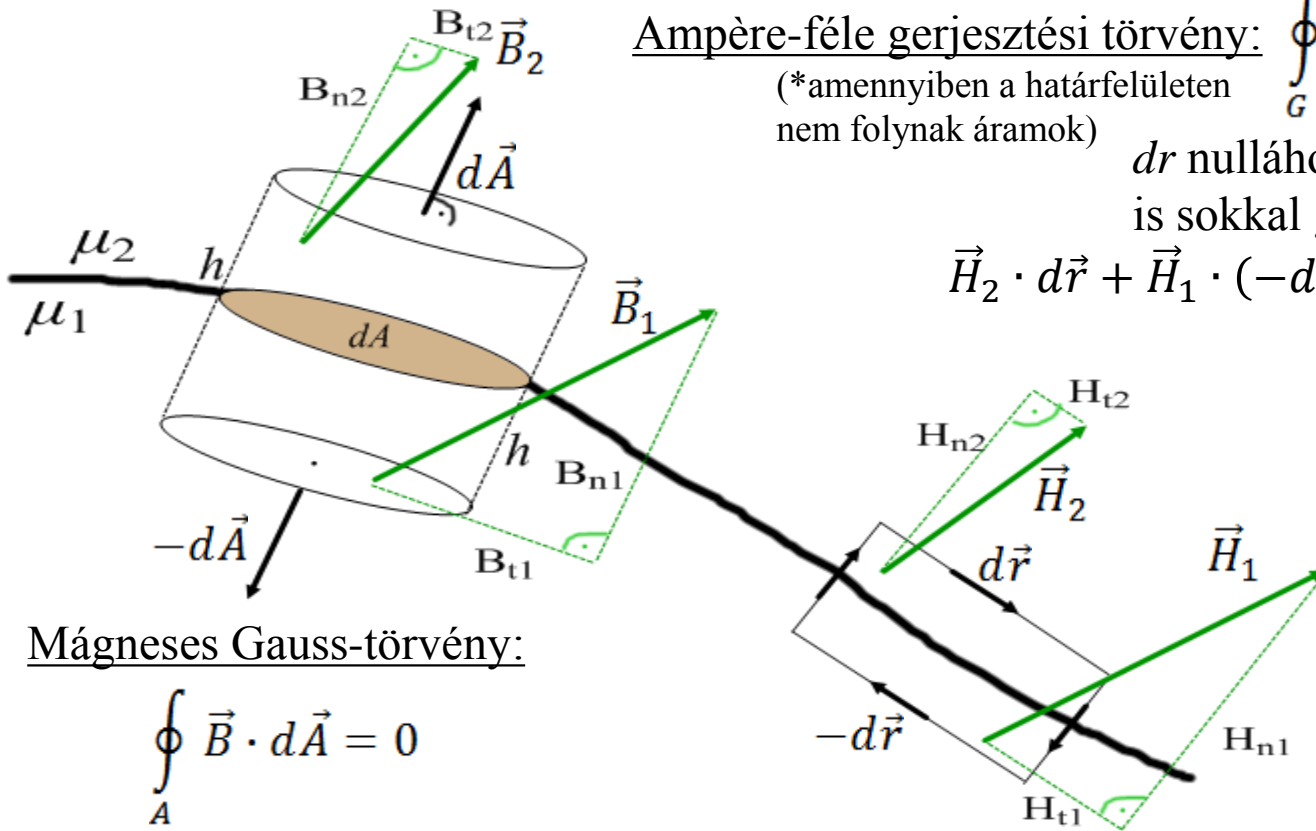
dr nullához tart, h még ennél is sokkal gyorsabban tart nullához.

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

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

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

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



Mágneses Gauss-törvény:

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

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

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

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

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

Biot-Savart törvény

Egy $I d\vec{s}$ áramelem az \vec{r} helyvektorral jelzett P pontban a következő mágneses indukciót hozza létre:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

A $\{d\vec{s}, \vec{r}, d\vec{B}\}$ jobbsodrású rendszert alkot (vektorszorzat).

Használva az \vec{r} irányú egységvektort: $\vec{e}_r = \frac{\vec{r}}{r}$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} d\vec{s} \times \vec{e}_r$$

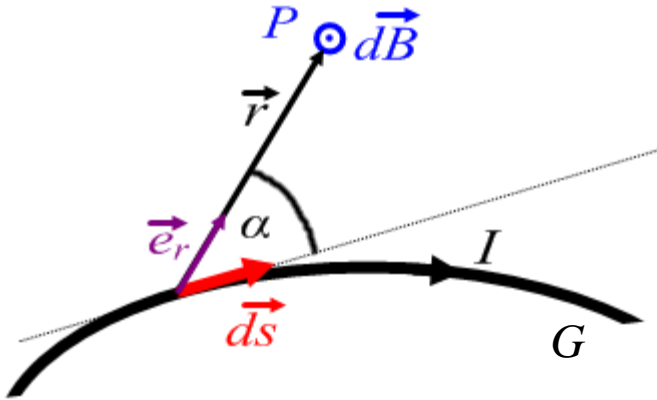
A törvény ezen alakja vákuum vagy levegő esetén érvényes, ahol: $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$

Ha a közegtől független alakot szeretnénk, akkor felírhatjuk a mágneses térerősségre is:

$$d\vec{H} = \frac{I}{4\pi r^2} d\vec{s} \times \vec{e}_r$$

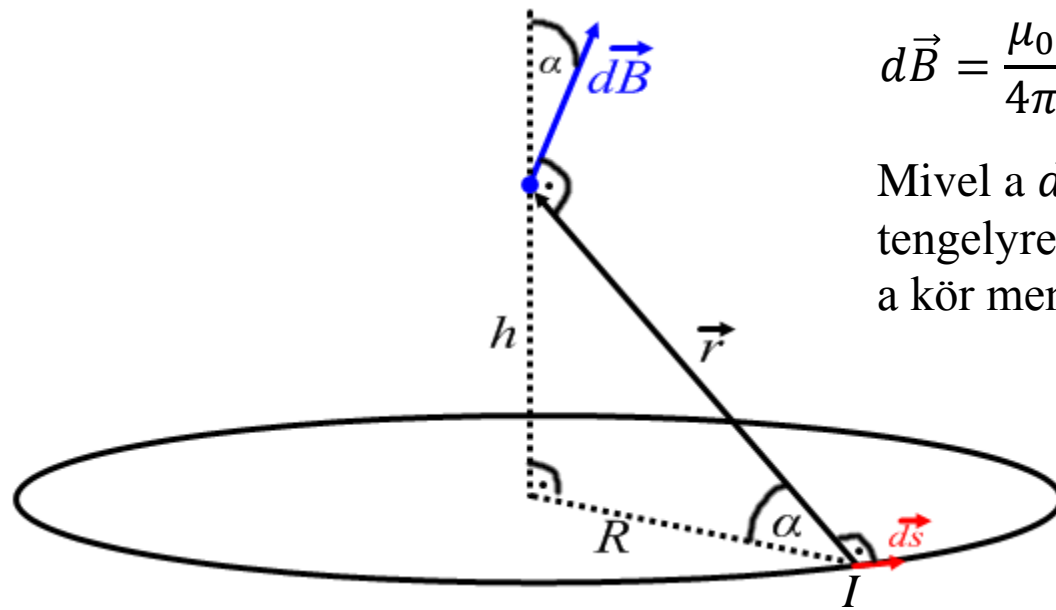
A G görbe által jelzett kiterjedt áramjárta vezető mágneses indukciójára:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_G \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} \quad \text{illetve} \quad \vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint_G \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} \quad \text{ha a } G \text{ görbe zárt (köráram)}$$



Biot-Savart törvény alkalmazása köráramra

Számítsuk ki, hogy milyen mágneses indukciót hoz létre egy I árammal árt R sugarú kör alakú vezető a középpontján átmenő tengely mentén:



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

Mivel a $d\vec{s}$ érintőirányú, a középponton áthaladó tengelyre mutató \vec{r} vektor erre merőleges lesz a kör mentén végighaladva mindenütt:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Ids \cdot r \cdot \sin 90^\circ}{r^3}$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Ids}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} ds$$

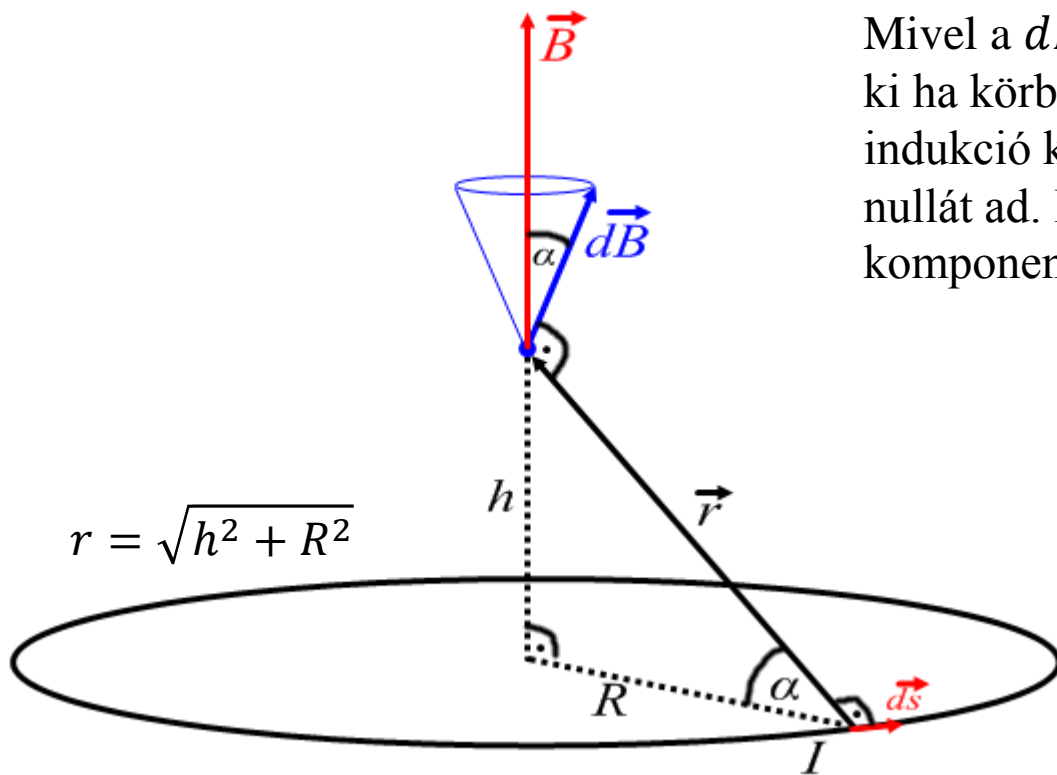
Az r távolság a körvonal minden pontjára ugyanaz: $r = \sqrt{h^2 + R^2}$

Tehát a dB járulék minden pontra ugyanakkora nagyságú a kör mentén végighaladva.

Írányukat tekintve viszont a $d\vec{B}$ vektorok egy α nyílásszögű kúpot rajzolnak ki, a merőleges szárú szögek alapján:

$$\cos \alpha = \frac{R}{r} = \frac{R}{\sqrt{h^2 + R^2}}$$

Köráram mágneses tere



Mivel a $d\vec{B}$ vektorok egy α szögű kúpot rajzolnak ki ha körbehaladunk a köráram mentén, az eredő indukció körárammal párhuzamos komponense nullát ad. Így aztán csak a tengellyel párhuzamos komponenssel kell számolni:

$$dB \cos \alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} ds \frac{R}{\sqrt{h^2 + R^2}}$$

Az eredő mágneses indukció:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi(h^2 + R^2)} \cdot \frac{R}{\sqrt{h^2 + R^2}} \oint_G ds$$

$$B = \frac{\mu_0 I R}{4\pi(h^2 + R^2)^{3/2}} \cdot 2R\pi = \frac{2\mu_0 I R^2 \pi}{4\pi(h^2 + R^2)^{3/2}}$$

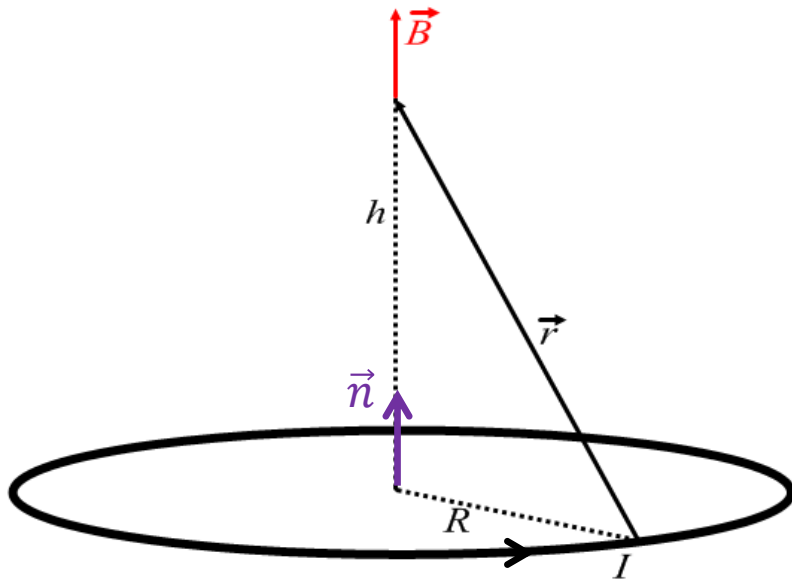
Egyszerűsítve az eredő indukció:

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(h^2 + R^2)^{3/2}}$$

A kör középpontjában ($h = 0$) nézve:

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

Mágneses dipólus által létrehozott mágneses tér



Figyelembe véve, hogy az R sugarú köráram mágneses dipólmomentuma:

$$\vec{m} = IA \cdot \vec{n} = IR^2\pi \cdot \vec{n}$$

Az előző oldalról:

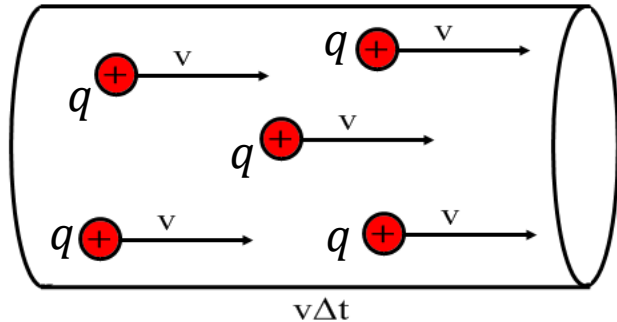
$$B = \frac{2\mu_0 IR^2\pi}{4\pi(h^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 \cdot m}{2\pi(h^2 + R^2)^{3/2}}$$

A köráramtól nagy távolságra ($h \gg R$):

$$B = \frac{\mu_0 \cdot m}{2\pi h^3}$$

Az irányokat is figyelembe véve: $\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi h^3} \vec{m}$

Mozgó ponttöltés által létrehozott mágneses tér



Az elektromos áramerősség definícióját felhasználva:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{Nq}{\Delta t}$$

Az áramelem hosszára: $\Delta s = v\Delta t$

Ezek segítségével a Biot-Savart törvény alapján meghatározható a mozgó ponttöltések által keltett mágneses tér:

$$\Delta \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \Delta \vec{s} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\frac{Nq}{\Delta t} \vec{v} \Delta t \times \vec{r}}{r^3}$$

Egyszerűsítve és N -el osztva, az egyetlen töltés által okozott mágneses indukció:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \vec{v} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0 q}{4\pi r^2} \vec{v} \times \vec{e}_r$$

