

# Mágneses körök

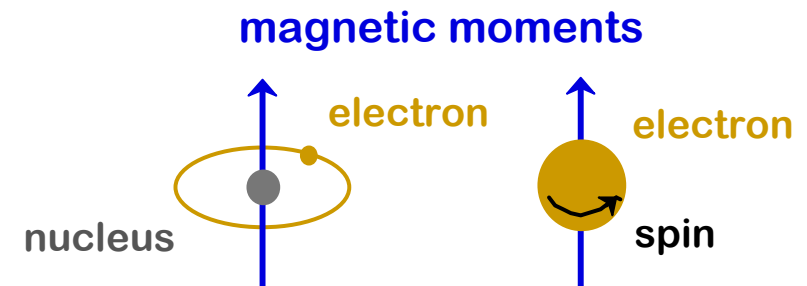
## Fizikai alapok

### Mágneses tér

Az elektromosan töltött részecskék között az elektrosztatikus kölcsönhatás mellett mágneses kölcsönhatás is létezik. Ez a kölcsönhatás kapcsolatban áll a töltött részecskék mozgásával. Ez a gyakorlatban legkönnyebben az árammal átjárt vezetők esetében érzékelhető, ahol a kölcsönhatás a töltéshordozók kollektív mozgásának hatásaként jön létre.

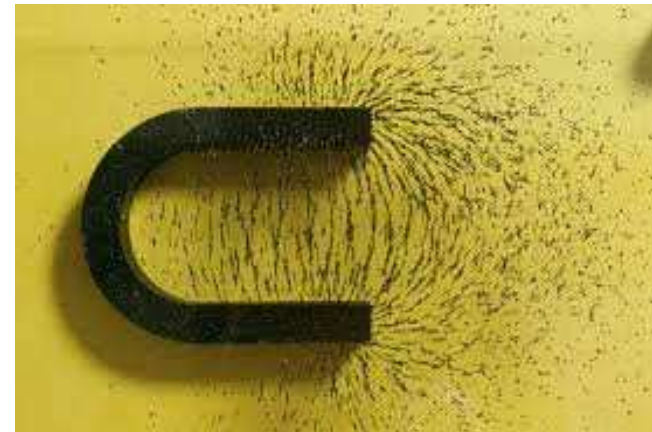
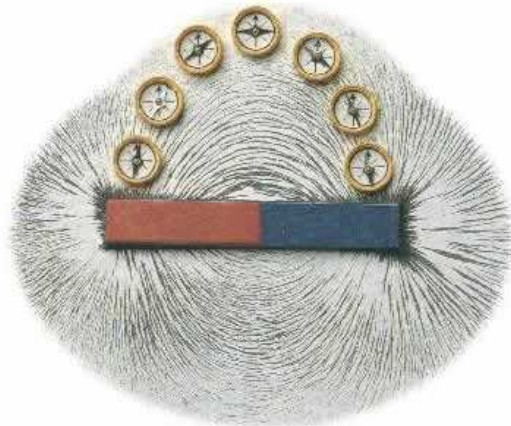
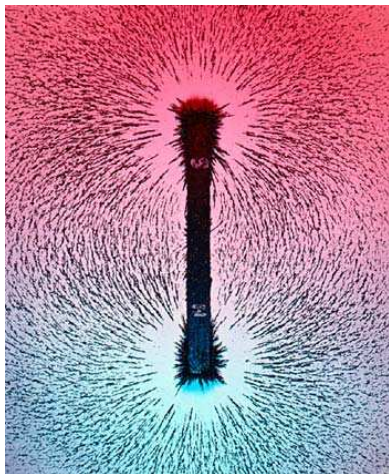
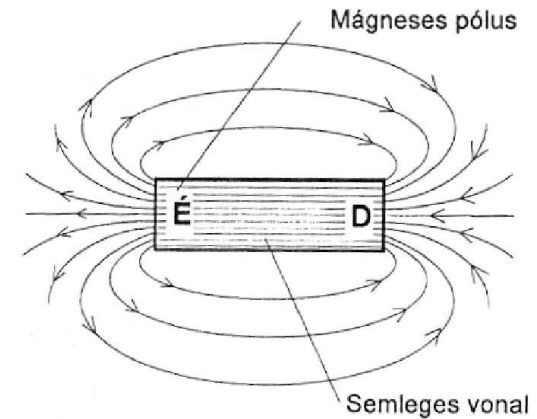
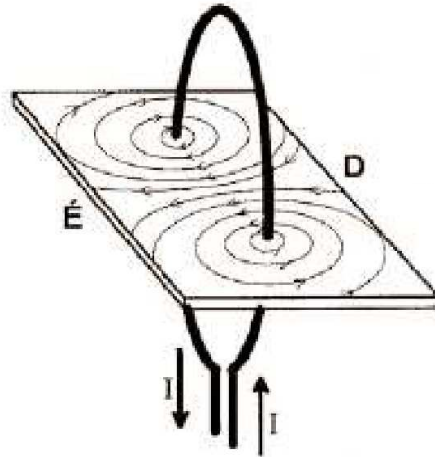
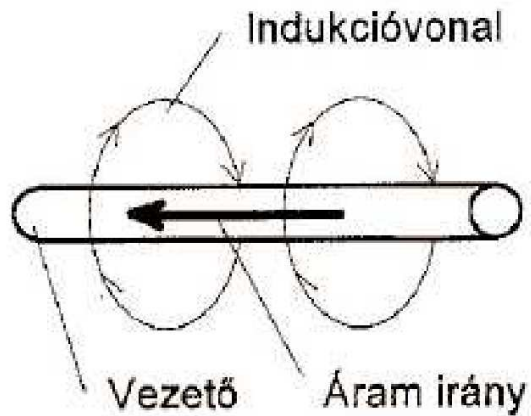
Mágneses kölcsönhatás lép fel az állandó mágnesek esetében is az elektronok köráramának és saját mágneses momentumaiknak, ill. az atommagok mágneses momentumainak eredményeként.

A mágneses kölcsönhatást mágneses erőter segítségével írják le. A kölcsönhatás úgy értelmezhető, hogy a mozgó részecskére a másik mozgó részecske által létrehozott mágneses tér hat, hasonlóan az elektrosztatikus kölcsönhatáshoz, ahol a töltött részecskére a másik töltött részecske elektromos tere fejt ki erőt.



## Erővonalak

A mágneses teret az elektromos térhez hasonlóan erővonalakkal szemléltetik.



A mágneses erővonalak mindig önmagukban záródnak (hurkot képeznek), nincs mágneses töltés, amin végződnének – a mágneses tér örvényes.

## *Mágneses mennyiségek*

A mágneses teret szintén két vektormennyiség jellemzi: a mágneses térerősség **H** és az indukció **B**. Az indukció az erővonal sűrűségnek felel meg. Azon erővonalak számát, amelyek egy adott felületen mennek át, fluxusnak nevezik. A fluxus az indukciónak az adott felület szerinti integrálja:

$$\Phi = \int_A \mathbf{B} d\mathbf{A}$$

Homogén mágneses tér esetén, ha az erővonalak merőlegesek a felületre, a fluxus megegyezik az indukció és a felület szorzatával:

$$\Phi = BA$$

A mágneses térerősség arányos az indukcióval:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$$

ahol  $\mu_0$  a vákuum permeabilitása,  $\mu_r$  a teret kitöltő anyag relatív permeabilitása. A mágneses térerősség zárt görbe szerinti vonalintegrálja a zárt görbe által meghatározott áramok eredőjével egyezik meg, amit gerjesztésnek ( $\Theta$ ) nevezünk (gerjesztési törvény):

$$\oint_l \mathbf{H} d\mathbf{l} = \Sigma \mathbf{I} = \Theta$$

## *Erőhatás*

Az elektromos térrel ellentétben nem a mágneses térerősséggel, hanem az indukcióval arányos az erőhatás.

Az árammal átjárt vezetőre mágneses térben ható erő:

$$\mathbf{F} = I \cdot (\mathbf{I} \times \mathbf{B})$$

ahol  $l$  a vezető hossza,  $\mathbf{I}$  az áramerősség és  $\mathbf{B}$  az indukció.

A mágneses térben mozgó töltött részecskére ható erő:

$$\mathbf{F} = Q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

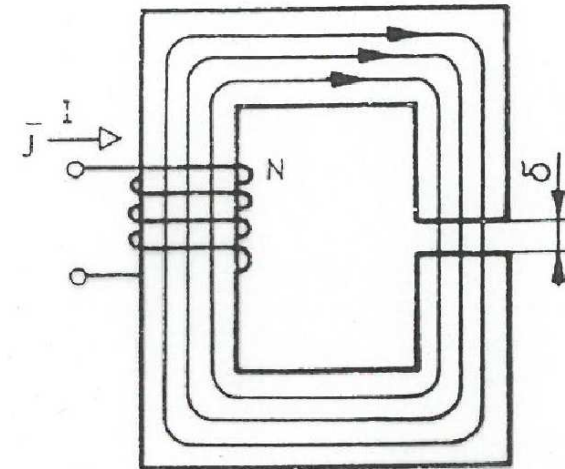
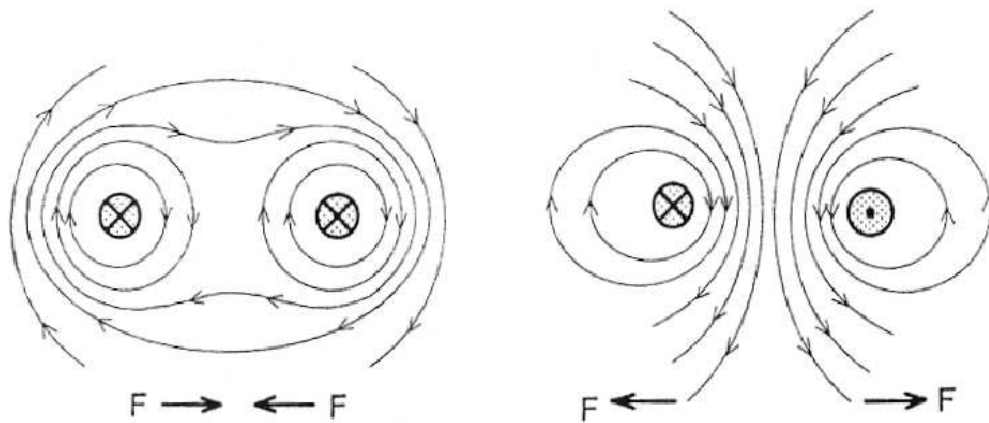
ahol  $Q$  a részecske töltése,  $\mathbf{v}$  a részecske sebessége. Mivel a részecskére ható erő merőleges a sebességre, a részecske nem gyorsul, nem változik az energiája, csak az iránya változik meg. A mágneses térre merőleges irányban belépő részecske körpályára, míg a ferde irányban belépő részecske spirális pályára áll. Az indukcióvonalakkal párhuzamosan mozgó részecskére nem hat erő.

## Erőhatás (2)

Az árammal átjárt vezetők között vonzó vagy taszító erő lép fel:

$$\mathbf{F} = \mu_0 \mu_r (\mathbf{I}_1 \cdot \mathbf{I}_2) / 2\pi R$$

ahol  $\mathbf{I}_1$  és  $\mathbf{I}_2$  a vezetékekben folyó áram,  $R$  a vezetékek távolsága.



A mágneses anyagok légrésében fellépő összehúzó erő:

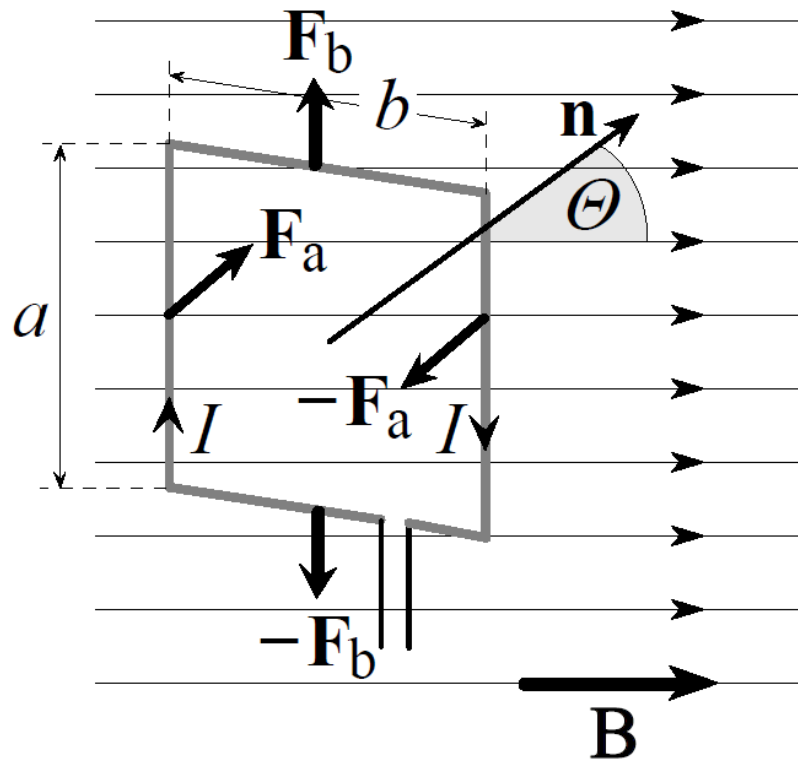
$$\mathbf{F} = B^2 A / 2\mu_0$$

ahol  $A$  a mágneses anyag keresztmetszete.

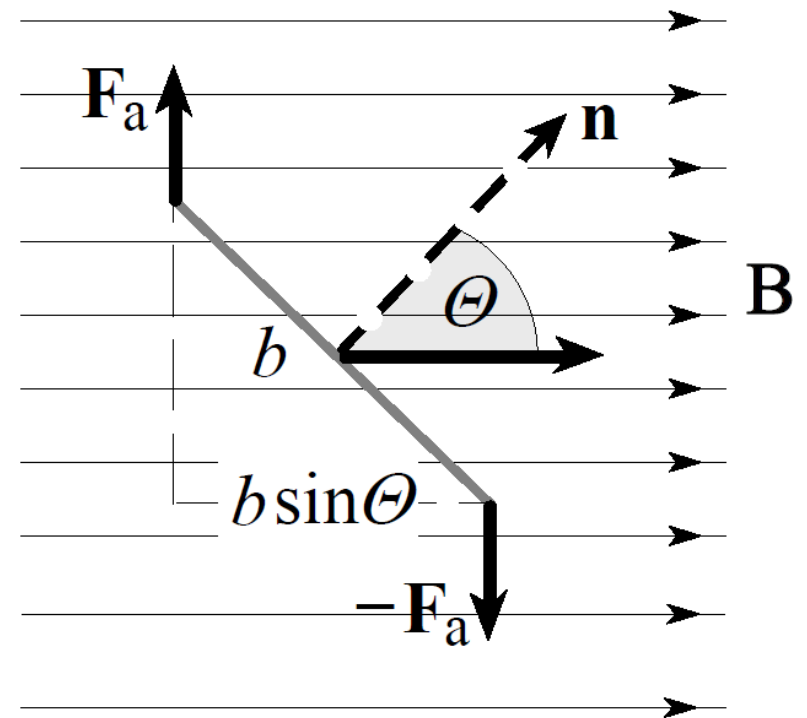
### Erőhatás (3)

Árammal átjárt hurokra a mágneses térben forgatónyomaték hat, ami a térre merőleges irányba fordítja:

$$\mathbf{M} = IBA \sin \Theta$$



Oldalnézet



Felülnézet

## Az eltolási áram – Maxwell I. törvénye

Nemcsak az elektromos áram, hanem az elektromos erőter, nevezetesen az elektromos eltolás változása is mágneses teret hoz létre. Az elektromos eltolás idő szerinti deriváltját eltolási áramsűrűségnek nevezik:

$$J_D = dD/dt$$

ahol  $J_D$  az eltolási áramsűrűség

Az eltolási áram hatásának figyelembe vételével a gerjesztési törvény:

$$\oint_I H dl = \int_A J dA + \int_A \frac{\partial D}{\partial t} dA$$

Ez Maxwell első törvénye (integrált alak), amelyik megmutatja, hogy mind a vezetési áram, mind az eltolási áram (a két fajta áramsűrűségnek a zárt görbére kifeszített felület szerinti integrálja) mágneses örvényteret létesít.

## Indukció, önindukció – Maxwell II. törvénye

A mágneses tér változása viszont örvényes elektromos teret hoz létre, amelynek nagysága a fluxusváltozás sebességével (az indukcióváltozás sebességének a zárt görbére kifeszített felület szerinti integráljával) arányos (Maxwell második törvénye integrált alakban):

$$\oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l} = - \int_A \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} d\mathbf{A}$$

Ennek eredményeként a hurokban feszültség keletkezik, ha megváltozik az általa körbefogott fluxus:

$$u_i = d\Phi/dt$$

Ez az indukció jelensége. Ha a fluxusváltozás a hurokban folyó áram változásának a következménye, akkor is keletkezik feszültség, amely az áramváltozás ellen hat - önindukció. Az önindukciós feszültség arányos az áram idő szerinti deriváltjával:

$$u_i = -L \cdot di/dt$$

Az L arányossági tényezőt önindukciós tényezőnek vagy induktitásnak nevezik.

A vezetékeknél fellépő szkinhatás az önindukció következménye.



## *Indukció vezetékben és tekercsben*

A vezetékben feszültség indukálódik, ha mágneses térben úgy mozgatjuk, hogy metszi az erővonalakat. Az indukált feszültség:

$$u_i = \mathbf{B} \times \mathbf{v} \times \mathbf{l}$$

ahol  $v$  a sebesség és  $l$  a vezeték hossza.

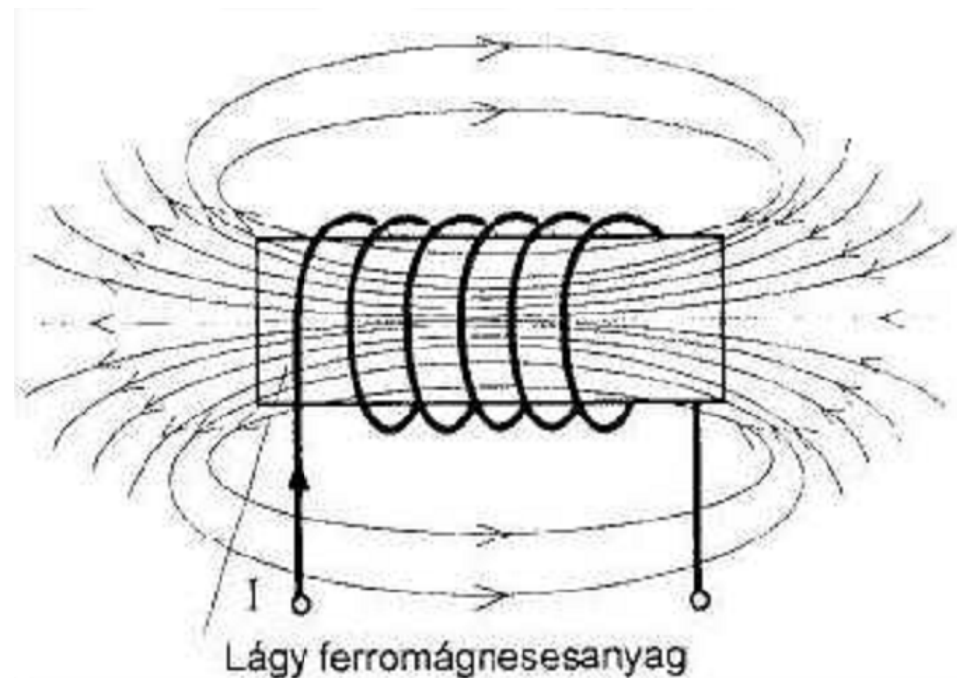
Tekercsben minden egyes menetben  $d\Phi/dt$  feszültség indukálódik, ezért az indukált feszültség a tekercs végein:

$$u_i = N \cdot d\Phi/dt$$

ahol  $N$  a menetszám.

*A mágneses tér energiasűrűsége*

$$w = W/V = 1/2 \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{B} = B^2 / (2\mu_0\mu_r)$$



## Maxwell III. és IV. törvénye

Az elektromos eltolás vektor forrásai a valódi elektromos töltések. Az eltolás zárt felület szerinti integrálja megegyezik a töltéssűrűségnek a felület által bezárt térfogat szerinti integráljával (Maxwell harmadik törvénye integrált alakban):

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

azaz az A felület által bezárt V térfogatba belépő és kilépő eltolási erővonalak algebrai összege megegyezik a térfogatban lévő töltések algebrai összegével.

Ha egy állandó mágnes eltörik, a törött darabok hasonlóan viselkednek, mint az egész viselkedett: mindkettőnek van északi és déli pólusa. Nincsenek valódi egymástól elválasztható mágneses töltések - a mágneses indukcióvektor tere forrásmentes (Maxwell negyedik törvénye integrált alakban):

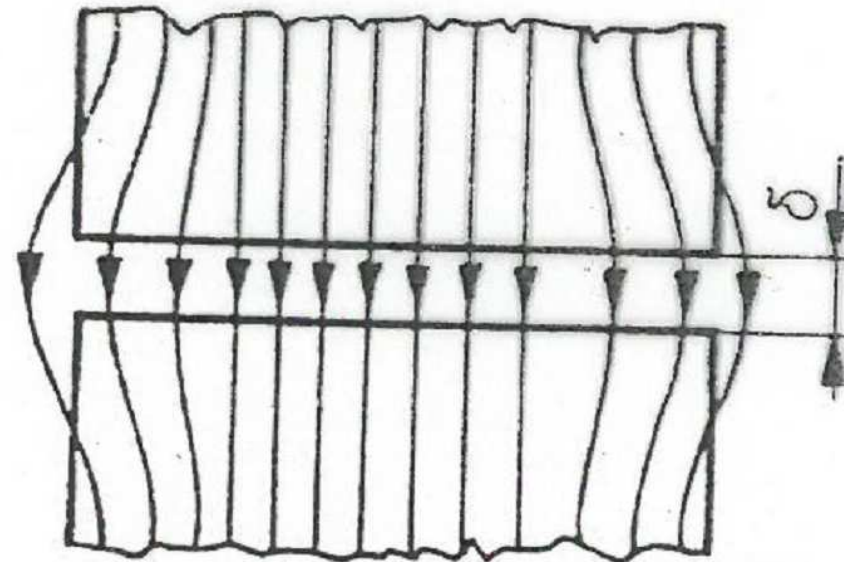
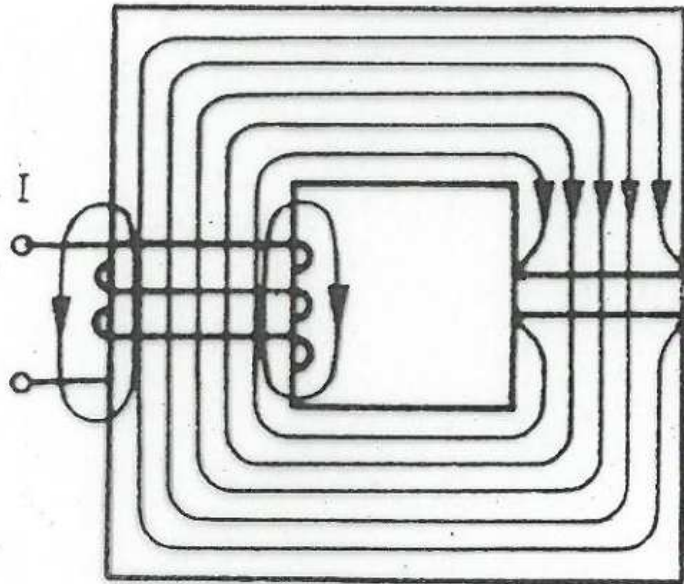
$$\oint_A \mathbf{B} d\mathbf{A} = 0$$

azaz az A felület által bezárt V térfogatba belépő és kilépő mágneses indukcióvonalak algebrai összege nulla.

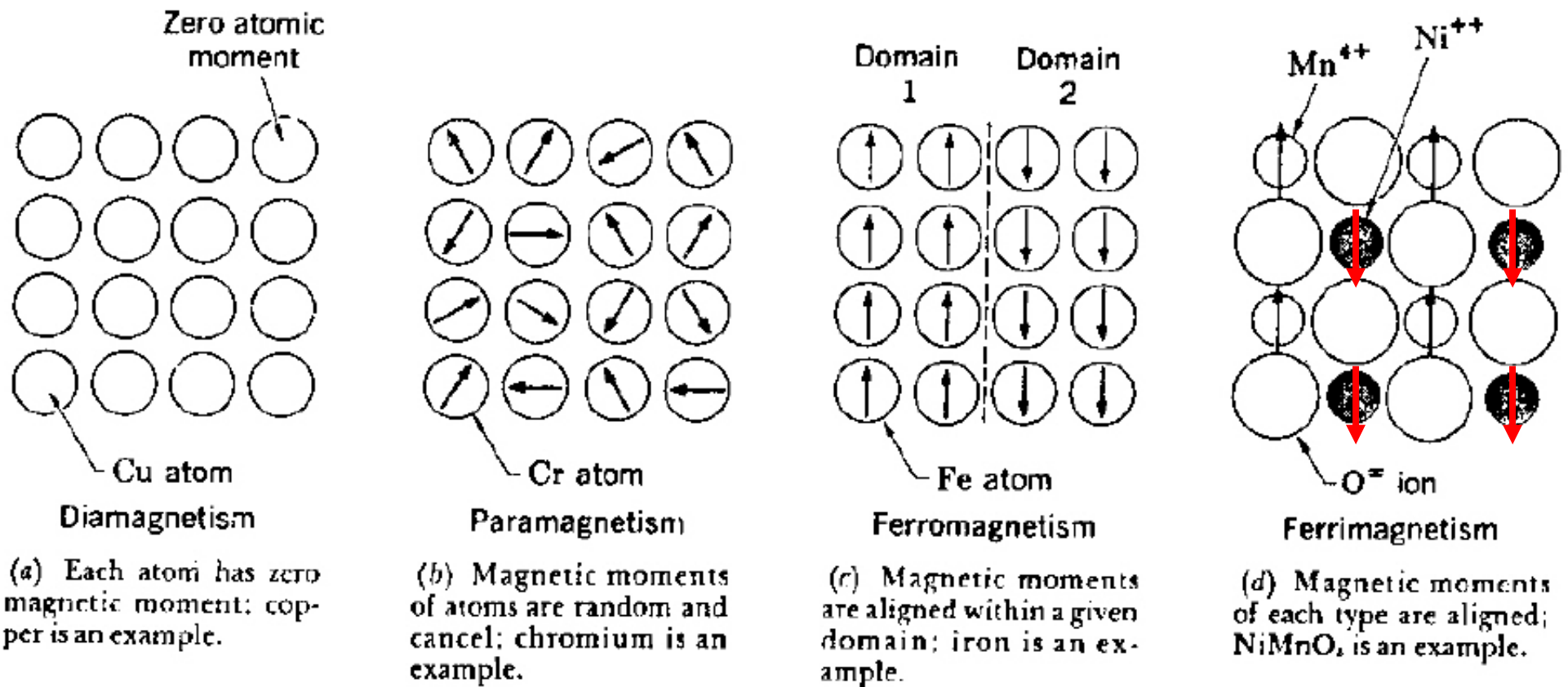
## Az anyagok hatása a mágneses térre

Ha egy anyagot mágneses térbe helyezünk, vagy vonzza (összegyűjti, vezeti) vagy taszítja (szórja) a mágneses erővonalakat az atomok eredő mágneses momentumai és azok elrendeződésének függvényében.

A mágneses térrel történő kölcsönhatás szerint megkülönböztetnek erősen (ferro- és ferrimágneses anyagok) vagy gyengén mágneses anyagokat (dia- és paramágneses anyagok).



# Az anyagok felosztása mágneses tulajdonságaik alapján



**FIGURE 12-15** Schematic illustrations of the atomic origins of the four types of magnetic behavior. No external magnetic field is present.

### *Diamágneses anyagok*

Cu, Bi, C, Ag, Au, Pb, Zn, stb.

Az atomoknak nincs saját mágneses momentumuk. Az atomok körül keringő elektronok pályája precesszál a mágneses tér hatására, ami csökkenti a mágneses indukciót az anyagon belül. Taszítja a mágneses erővonalakat. Minden anyagban jelen van, de a para-, ferro- és ferrimágneses anyagokban elhanyagolható a hatása.

$$\mu_r = 0,9999 - 0,99999999$$

### *Paramágneses anyagok*

Al, Cr, K, Mg, Mn, Na, stb.,

Az atomoknak van saját mágneses momentumuk. Külső mágneses térrel egyező irányú belső tér alakul ki, mert az atomok rendezetlen mágneses momentuma kissé befordul a tér irányába.

$$\mu_r = 1,00001 - 1,1$$

## *Ferromágneses anyagok*

Vas, nikkell, kobalt, néhány ritka földfém, ötvözetek.

Az atomoknak van saját mágneses momentumuk. Makroszkopikus tartományokon (domének) belül a szomszédos atomok mágneses momentumai azonos irányban állnak (kvantummechanikai effektus: kicserélődési kölcsönhatás). Az egyes domének mágneses momentumai különböző irányokban állnak.

Adott kristályszerkezethez kötődik – átkristályosodáskor eltűnik: csak szilárd anyagokban, csak a Curie hőmérséklet alatt.

Külső mágneses térrel egyező irányú belső tér jön létre a doménfalak mozgása miatt: a külső térrel kis szöget bezáró domének híznak a többi domén rovására. Nem lineáris összefüggés B és H között, hiszterézis.

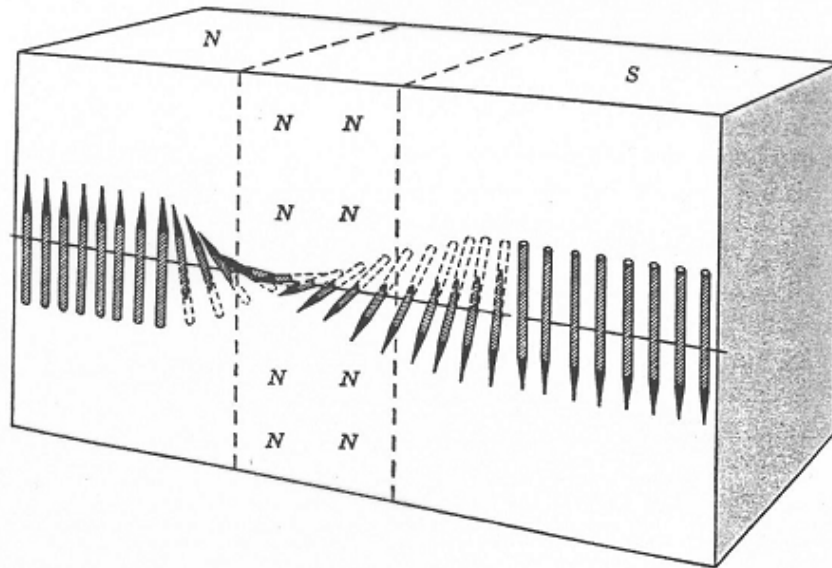
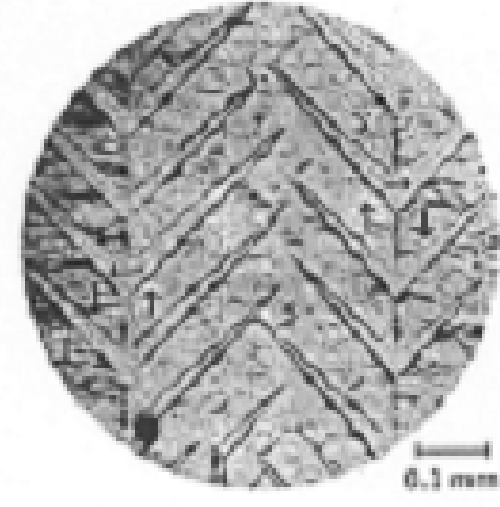
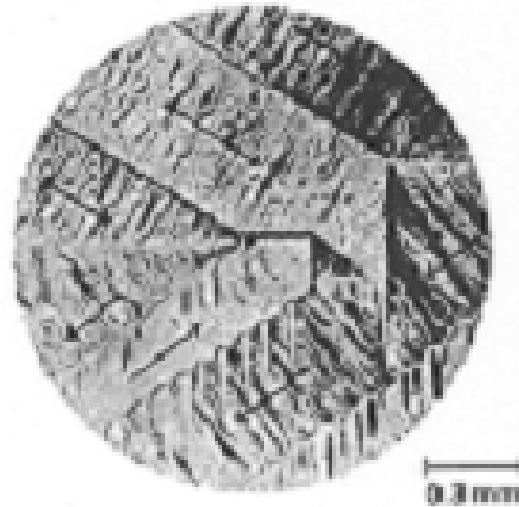
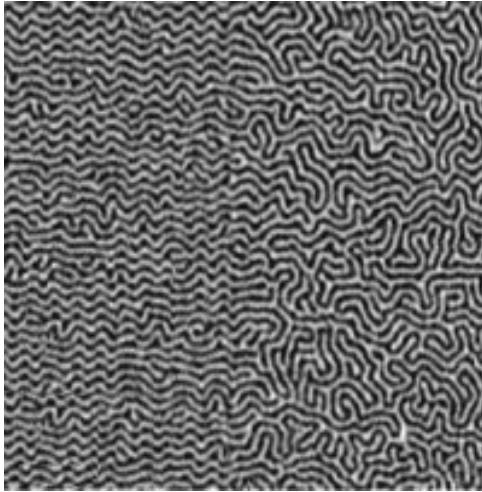
$$\mu_r = 10^6$$

## *Ferrimágneses anyagok*

Vegyes oxidok:  $MO_nFe_2O_3$ , ahol M fém, pl. Ni, Al, Zn, Mg, Ba, de Fe is ( $Fe_3O_4$ ).

A két fajta fém mágneses momentuma antiparallel a doménen belül, de az egyik nagyobb, így van eredő mágneses momentum, erős mágnesesség.

# Domének



## *Antiferromágnesek*

A ferritekhez hasonló mágneses szerkezetűek, de az antiparallel mágneses momentumok megegyeznek egymással, kölcsönösen kioltják egymás hatását.

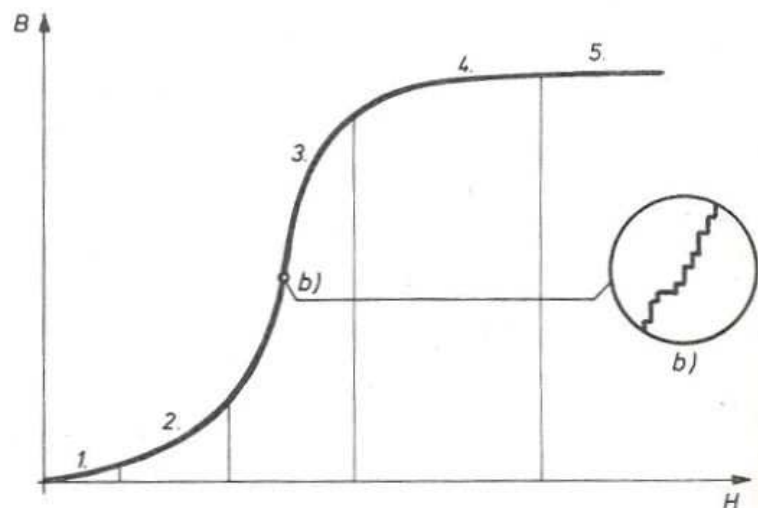
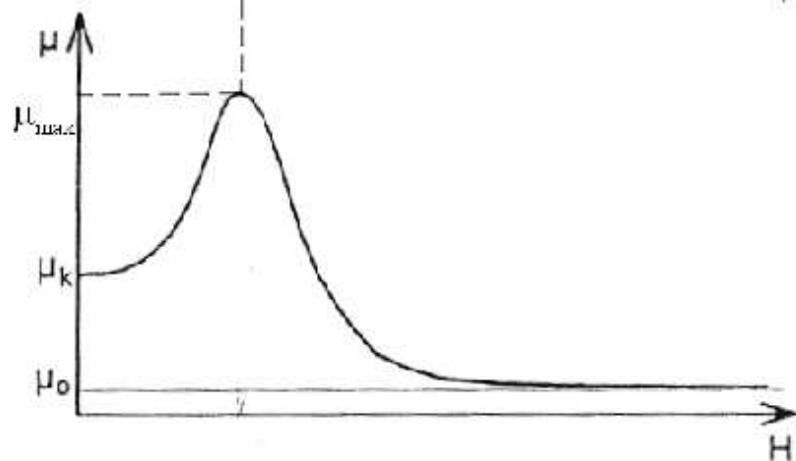
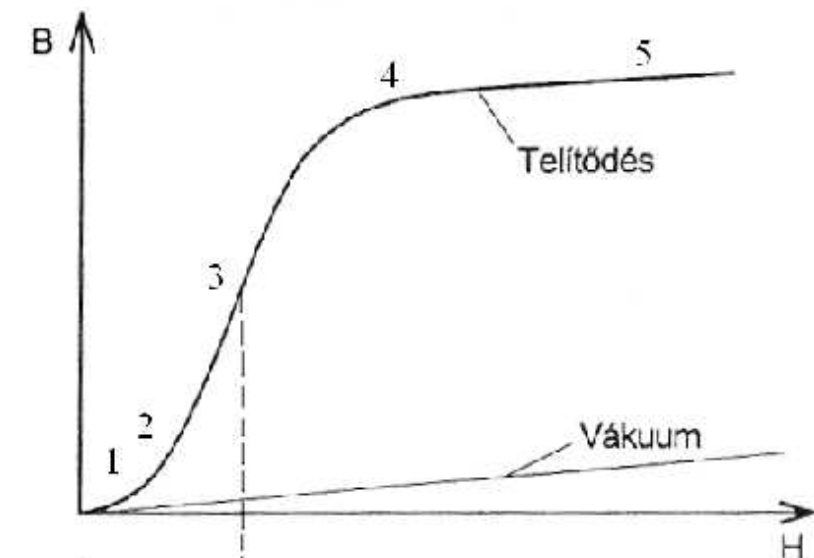
## Az elektromos és a mágneses tér összehasonlítása

Az erőtér neve		Elektromos tér	Mágneses tér
Az erőtér fizikai jellemzői	Térerősség	Elektromos térerősség (jele <b>E</b> , mértékegysége V/m)	Mágneses térerősség (jele <b>H</b> , mértékegysége A/m)
	Fluxussűrűség	Elektromos indukció/eltolás (jele <b>D</b> , mértékegysége As/m <sup>2</sup> )	Mágneses indukció (jele <b>B</b> , mértékegysége Vs/m <sup>2</sup> (Tesla))
	Kapcsolatuk	<b><math>D = \epsilon_0 \epsilon_r E</math></b>	<b><math>B = \mu_0 \mu_r H</math></b>
Nyitott erővonal	Forrás és nyelő	Van	Nincs
	Kelti	Elektromosan töltött részecske	-
Zárt erővonal	Hurok	Van	Van
	Kelti	Mágneses tér változása	Elektromosan töltött részecske mozgása (elektromos áram) vagy elektromos tér változása
Árnyékolása		Faraday-kalitkával (a vezető belsejében az elektromos térerősség csak 0 lehet)	Vastag vasburokkal (csak a törési törvény használható ki)



# A ferro- és ferrimágneses anyagok tulajdonságai

## Mágnesezési görbe



Erősen nemlineáris.

Szakaszai:

1 – lineáris

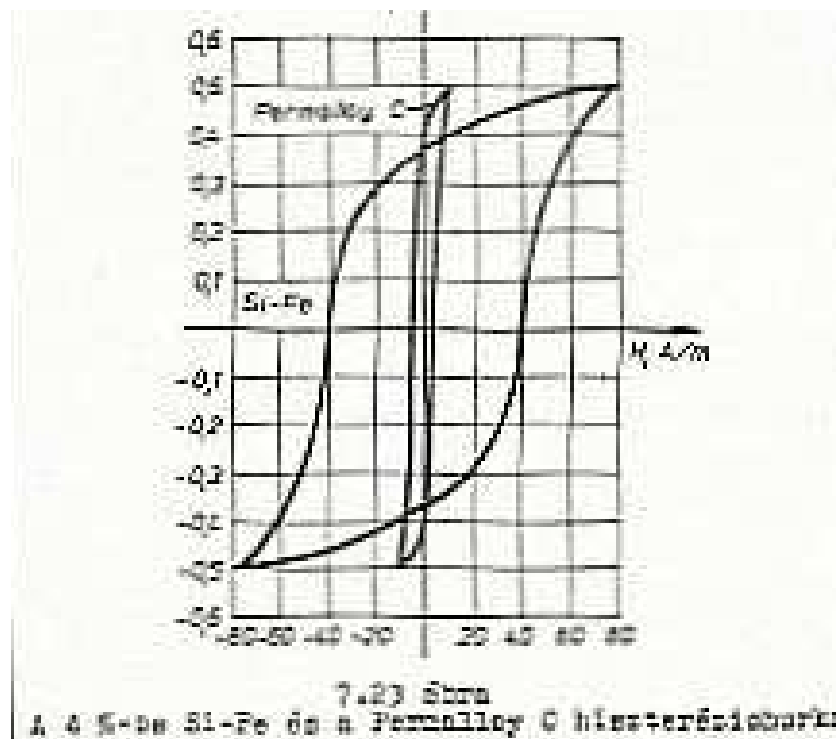
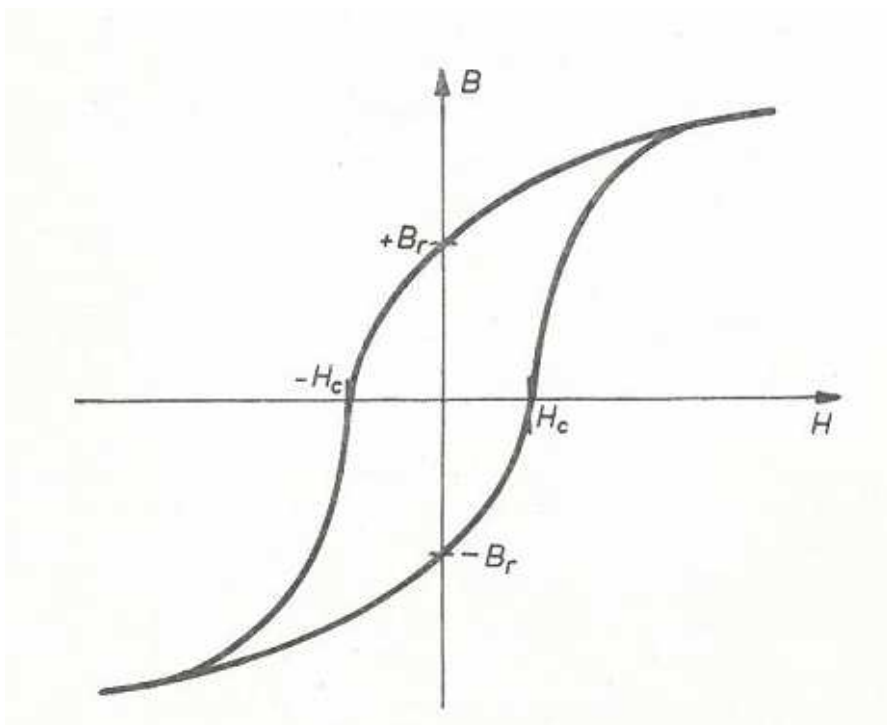
2 – négyzetes

3 – meredek

4 – telítési

5 – paramágneses ( $\mu_r=1$ )

# Hiszterézis



Visszamaradó mágneses indukció: remanens indukció ( $B_r$ ). A megszüntetéséhez szükséges térerősség a koercitív térerősség vagy koercitív erő ( $H_c$ ). A mágnesben tárolt energia arányos a hiszterézis görbe területével.

Lágy mágneses anyagok:  $H_c < 300$  A/m (keskeny hiszterézis) - vasmagok.

Kemény mágneses anyagok:  $H_c > 10000$  A/m (széles hiszterézis) – állandó mágnesek.

## Mellékhurok

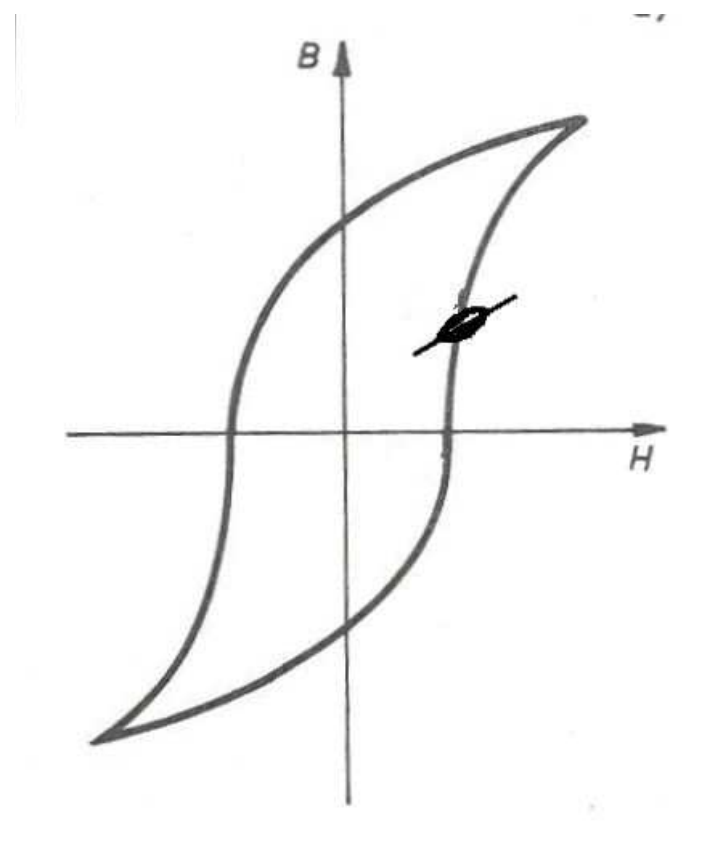
Ha az egyenáramú gerjesztésre (munkapont beállítás) váltó jelet ültetünk, mellékhurok keletkezik.

A mellékhurok végpontjait összekötő egyenes meredeksége a váltóáramú permeabilitást határozza meg, amit inkrementális permeabilitásnak hívnak. Ennek a  $\Delta H \rightarrow 0$  határértéke a reverzibilis permeabilitás.

A mágnesezési görbe nonlinearitása torzítást okoz, felharmonikusok generálódnak.

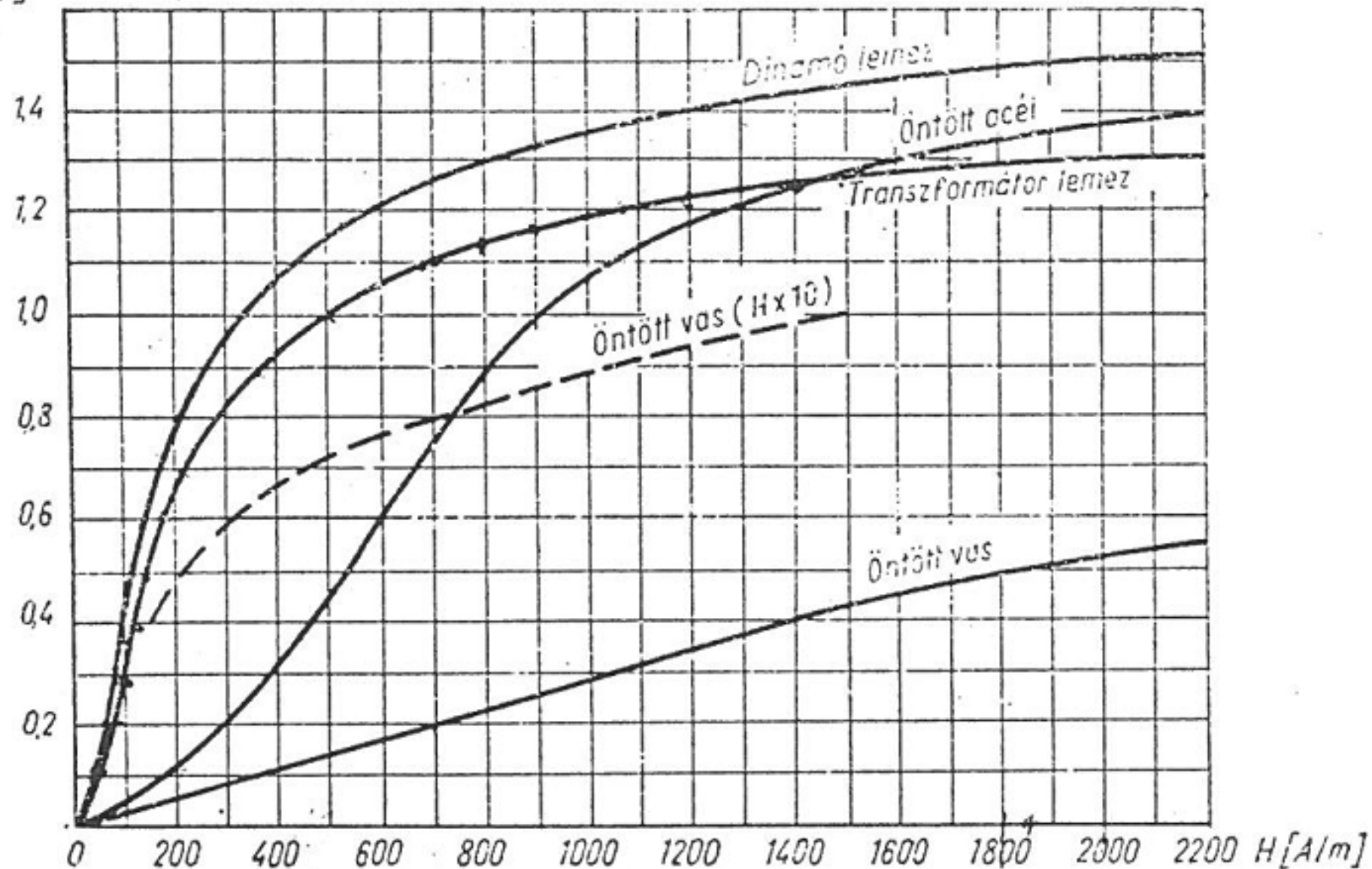
## Katalógus:

Lágy mágneses anyagok esetében a mágnesezési görbét (a hiszterézis szélessége elhanyagolható), kemény mágneses anyagoknál a hiszterézis görbe bal felső negyedét adják meg (ez hordozza a tervezéshez szükséges információt).

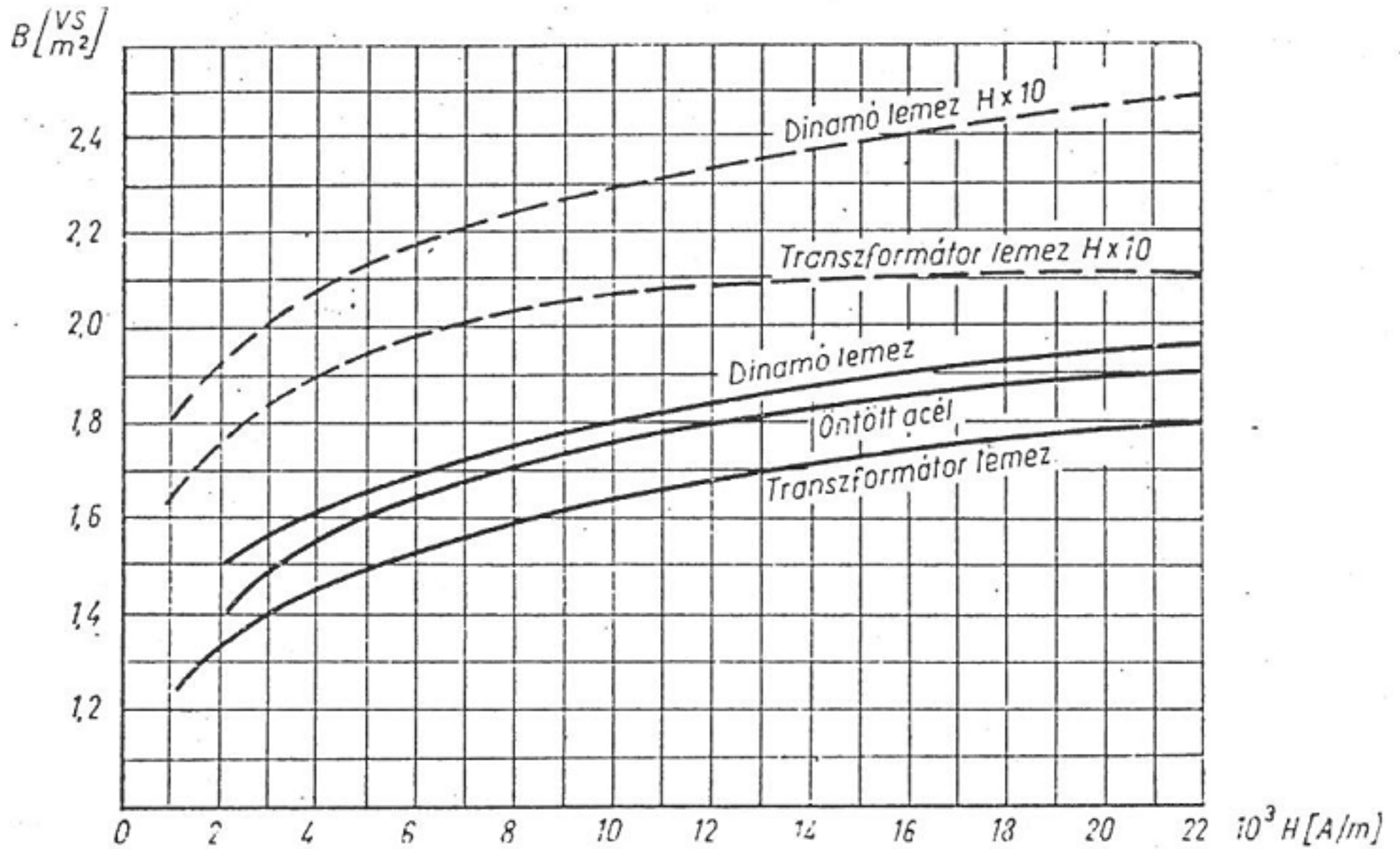


# Lágy mágneses anyagok

$B \left[ \frac{Vs}{m^2} \right]$

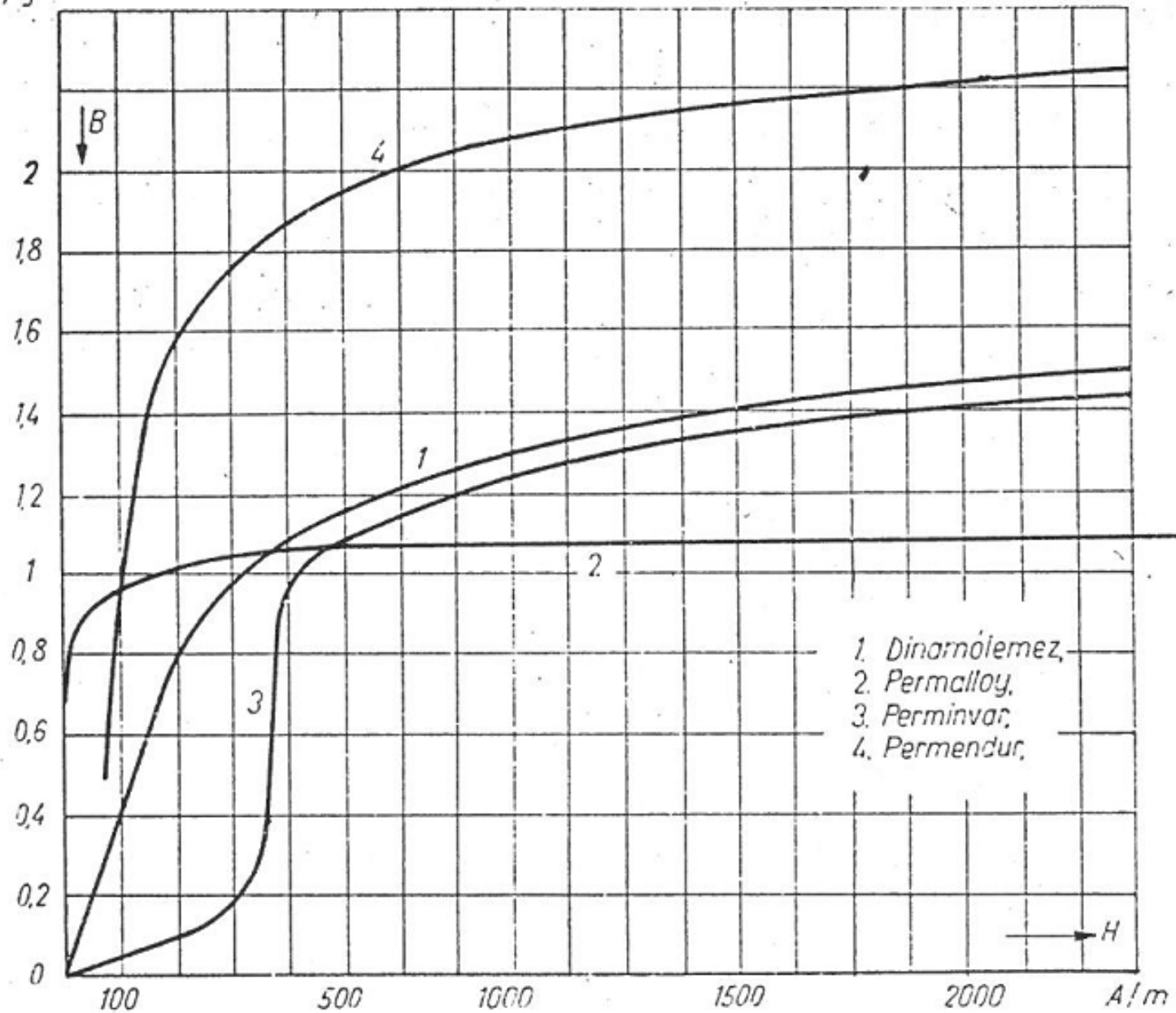


## Lágy mágneses anyagok (2)



# Lágy mágneses anyagok (3)

$B \left[ \frac{Vs}{m^2} \right]$



## Lágy mágneses anyagok (4)

*Lágy mágnesanyagok szokásos összetétele és jellemzőik*

Az összetétel és a jellemzők tájékoztató jellegűek, a technológiával változnak.

A mágnesanyag neve és összetétele	$\frac{B_r}{T}$ $\frac{Vs}{m^2}$	$H_c$ $\frac{A}{m}$	$\mu_K$	$\mu_{max}$
Svéd vas (Fe 99,94%)	0,75	80	250	5 500
Szilíciumvas (Fe 96%; Si 4%)	1,2	40	400	6 700
Permalloy A (Fe 22%; Ni 78%)	0,6	4	9 000	70 000
Permendur 50 (Fe 50%; Co 50%)	1,4	120	8 000	50 000
Mo-Permalloy (Fe 18%; Ni 78%; Mo 4%)	0,5	4	20 000	75 000
Vanádium-Permendur (Fe 48%; Co 40%; V 2%)	1,4	160	800	4 500
Perminvár (Fe 30%; Ni 45%; Co 25%)	0,3	110	350	1 800
Supermalloy (Fe 15%; Ni 79%; Mo 5%; Mn 0,5%; egyéb)	—	0,15	—	1 000 000

# Kemény mágneses anyagok

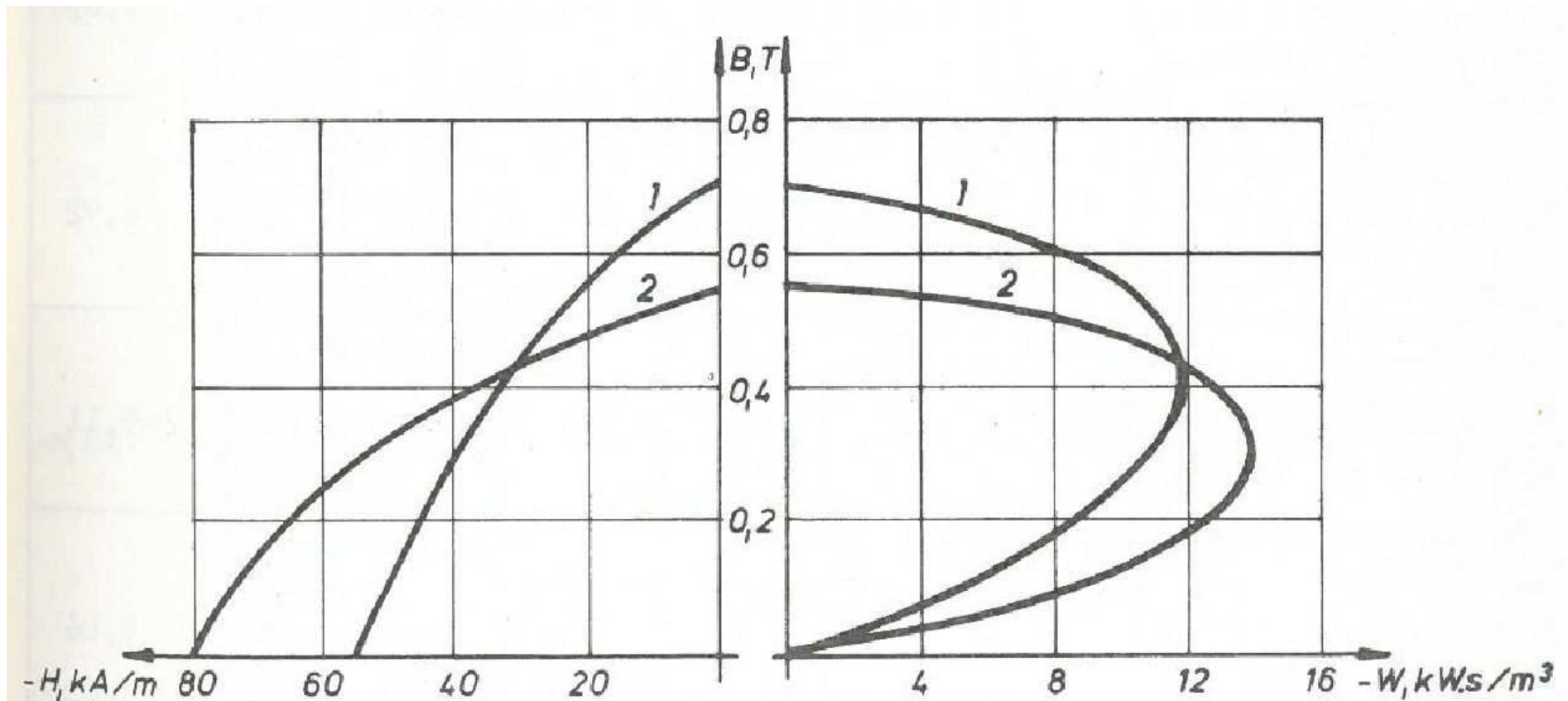
*Kemény mágneses anyagok szokásos összetétele és jellemzői*  
 Az összetétel és a jellemzők tájékoztató jellegűek, a technológiával változnak.

A mágneses anyag neve és összetétele	$B_r \frac{VS}{m^2}$	$H_C \frac{A}{m}$	$\frac{B_r^{IH} C_{max}}{Wattsec}$ $\frac{1}{m^3}$
Szénacél (Fe 99%; C 0,9%)	0,65	4 800	—
Wolfram mágnes (Fe 94%; W 5%; C 0,6%)	1,1	5 200	2 400
Króm mágnes (Fe 95%; Cr 4%; C 0,6%)	0,9	8 700	2 400
KS-mágnes (koercit) (Fe 53%; Co 35%; W 7%; Cr 3,5%; C 0,9%)	1,0	18 500	7 200
MK-mágnesek (Fe 58%; Ni 29%; Al 13%)	0,6	44 000	11 000
Alnico (Fe 54%; Al 10%; Ni 17%; Co 12,5%; Cu 6%)	0,72	43 000	13 000
Platin-Cobalt mágnes (Pt 77%; Co 23%)	0,45	200 000	30 000
Vicalloy (Fe 33%; Co 52%; V 15%)	1,0	20 000	—



## Kemény mágneses anyagok (2)

A hiszterézisgörbéből megszerkeszthető a mágnesben tárolt energiasűrűség az indukció függvényében. Minél nagyobb a tárolt energia, annál nehezebb a mágnezt átmágnesezni.



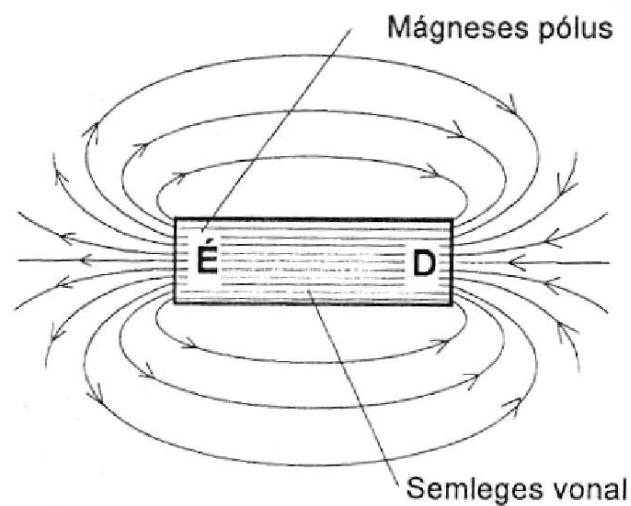
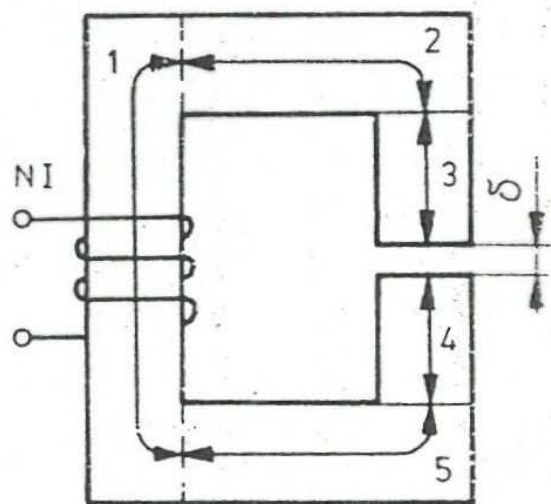
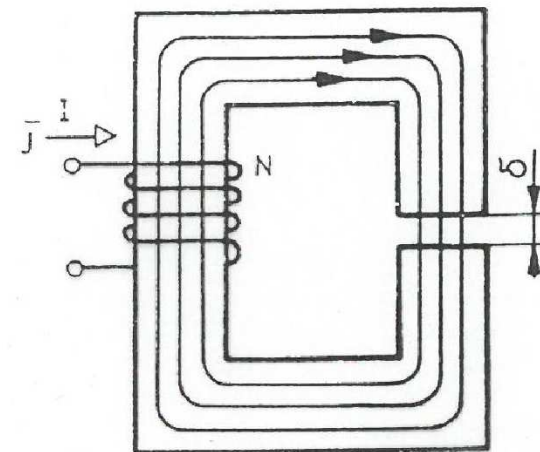
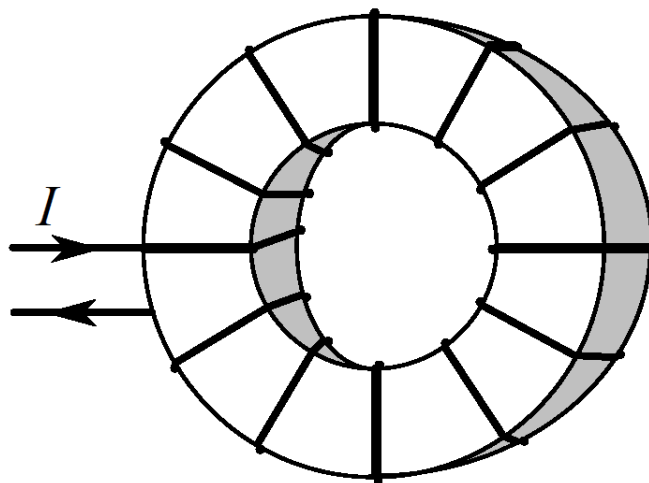
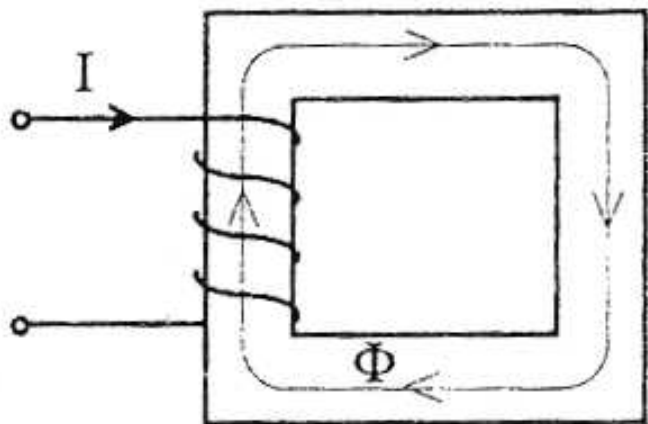
7.46 ábra  
Öntött mágnesek jelleggörbéi  
1 Alnico; 2 Ticonal

## *Jellemző indukció értékek*

Jelenség	Mágneses indukció [Vs/m <sup>2</sup> ]
Föld mágneses tere	$\sim 6 \times 10^{-5}$
Erősáramú vezeték közelében	$\sim 10^{-4}$
Mágneses rögzítés	$\sim 10^{-3}$
Légmagos tekercs	$\sim 10^{-2}$
Mágneskapcsolók	0,05-0,1
Állandó mágnesek	0,05-0,1
Forgótekercses műszer	0,15
Villamosgép légrése, transzformátor	$\sim 1$
Mágneses rezonanciás képalkotás, MRI, (gyógyászat)	$\sim 1,5$
Szupravezető mágnesek	10-20

# Mágneses körök

Minden elrendezés, ahol zárt indukcióvonalak vannak, mágneses körnek tekintendő.



# Analógia az elektromos áramkörökkel

## *Analóg mennyiségek*

<b>Elektromos áramkör</b>	<b>Mágneses kör</b>
Feszültség $U$	Gerjesztés $\Theta = NI$ (Mágneses feszültség)
Áram $I$	Fluxus $\Phi$
Áramsűrűség $J$	Indukció $B$
Ellenállás $R$	Mágneses ellenállás $R_m$
Térerősség $E$	Térerősség $H$

## *Összefüggések*

$U = IR$	$\Theta = \Phi R_m$
$R = \rho \cdot l / A$	$R_m = 1 / \mu_0 \mu_r \cdot l / A$
$E = U / l$	$H = \Theta / l$

Érvényesek a Kirchoff törvények is: csomóponti és hurok törvény.

## Alkalmazás

Egyen- és váltóáramú generátorok

Villanymotorok, elektromágnesek, stb.

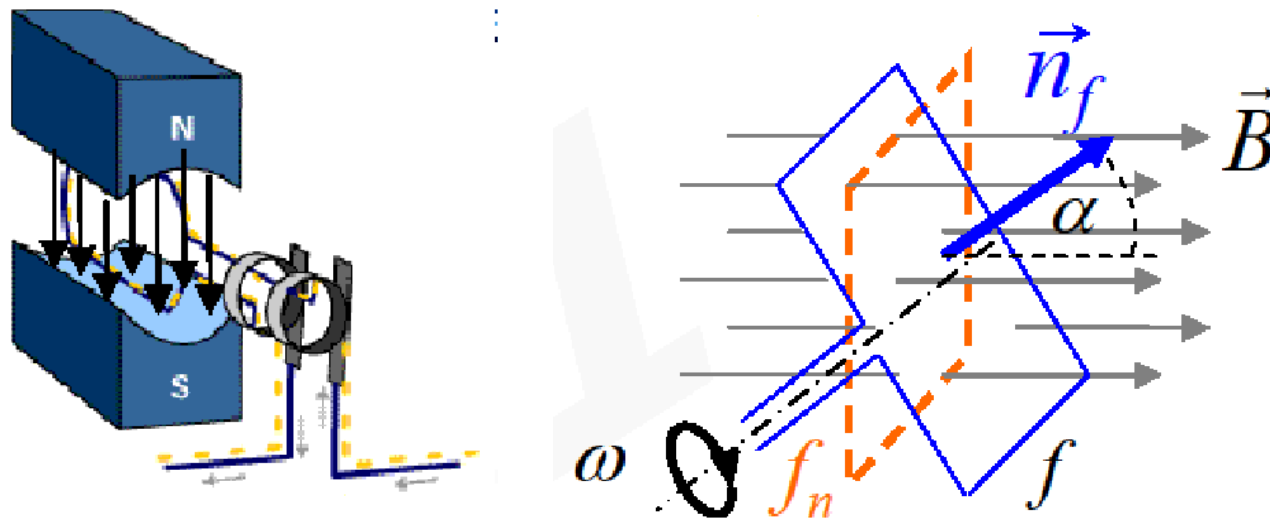
Elektronikus alkatrészek (pl. jelfogók, csöngők)

Érzékelők, jeladók (pl. mikrofon, hangszóró, sebesség mérés, stb.)

Adattárolás

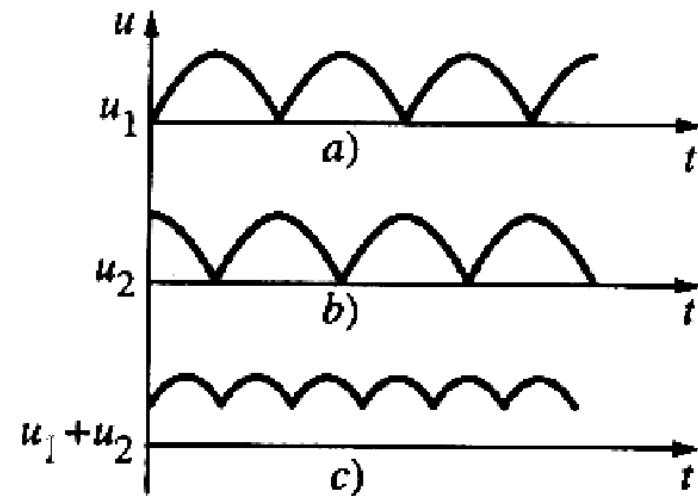
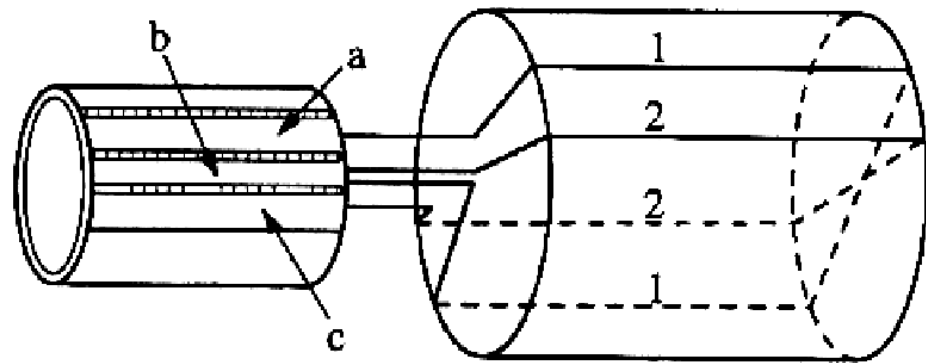
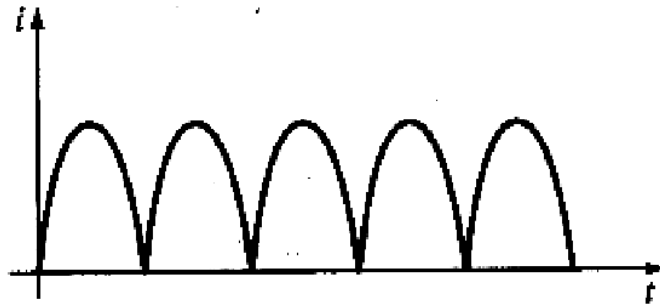
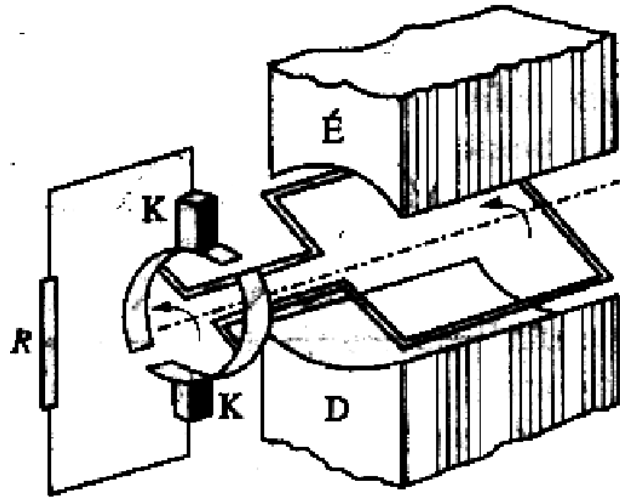
Anyagvizsgálat, egészségügy

*Váltóáramú generátorok*

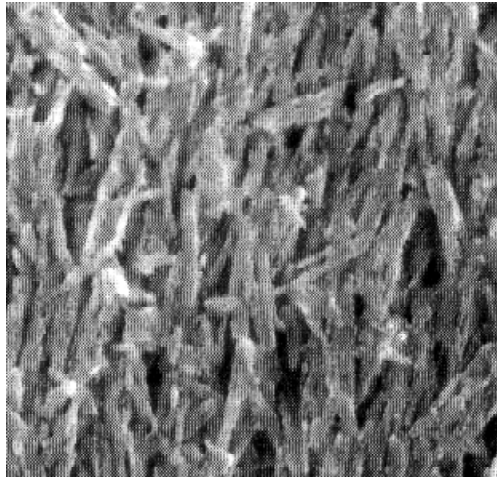


Háromfázisú generátornál 3 db  $120^\circ$ -onként elhelyezett tekercs.

# Egyenáramú generátorok

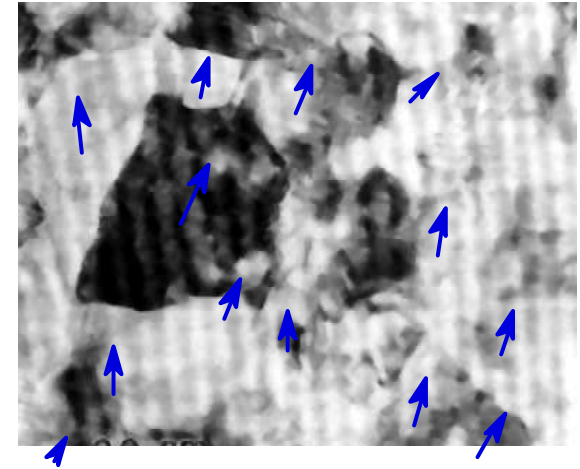


## Mágneses adattárolás



~2.5 $\mu\text{m}$

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  tűkristályok  
mágnesszalag, floppy  
(mágneses momentumok  
a tű irányában állnak (+/-))



~60nm

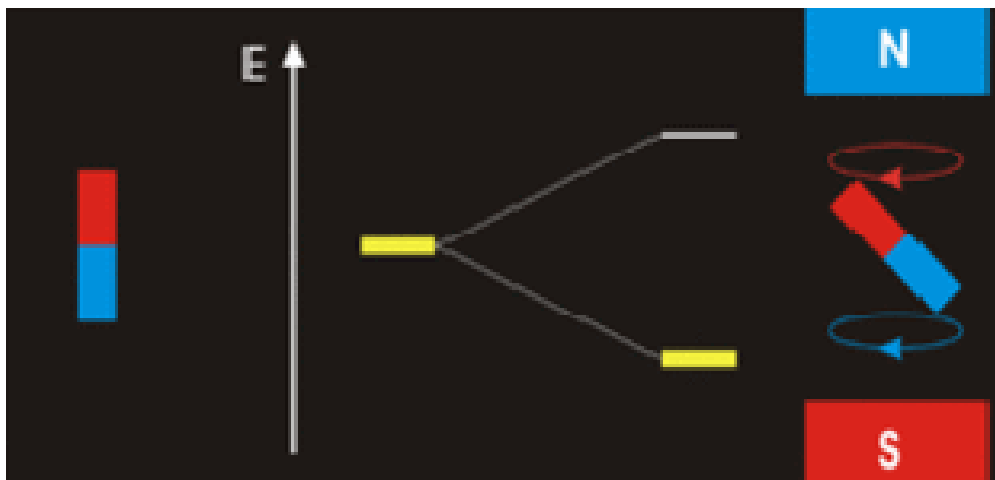
CoPtCr vagy CoCrTa ötvözet  
merevlemez  
(10-30 nm-es domének)

## Anyagvizsgálat

### Mágneses magrezonancia (nuclear magnetic resonance NMR)

Mágneses térben az atommagok saját mágneses momentumai (spinjei) két különböző energia állapotot vehetnek fel.

Rádiófrekvenciás fotonokkal (60–1000 MHz) gerjeszteni lehet a spint a magasabb energia állapotba – erős abszorpció.

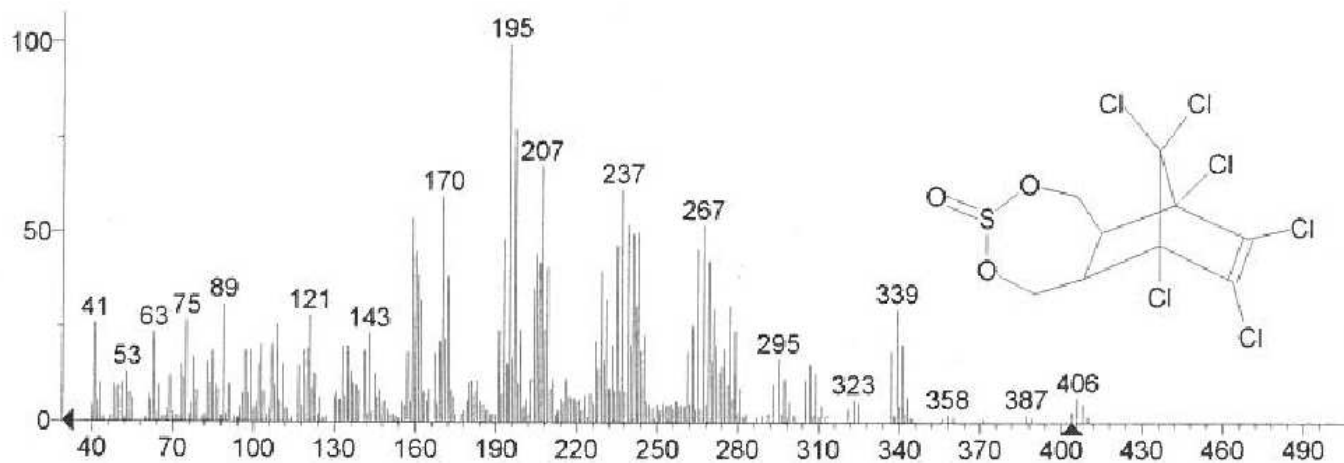




## Mágneses magrezonancia (2)

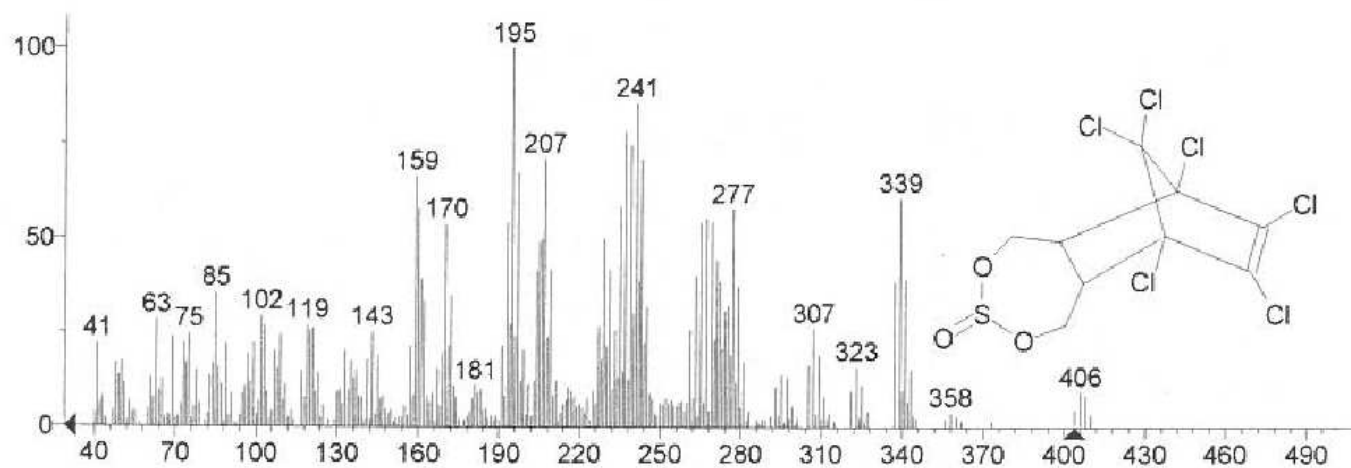
Hit 1 : Endosulfan

C<sub>9</sub>H<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>O<sub>3</sub>S; MF: 884; RMF: 903; Prob 41.9%; CAS: 115-29-7; Lib: replib; ID: 23588.

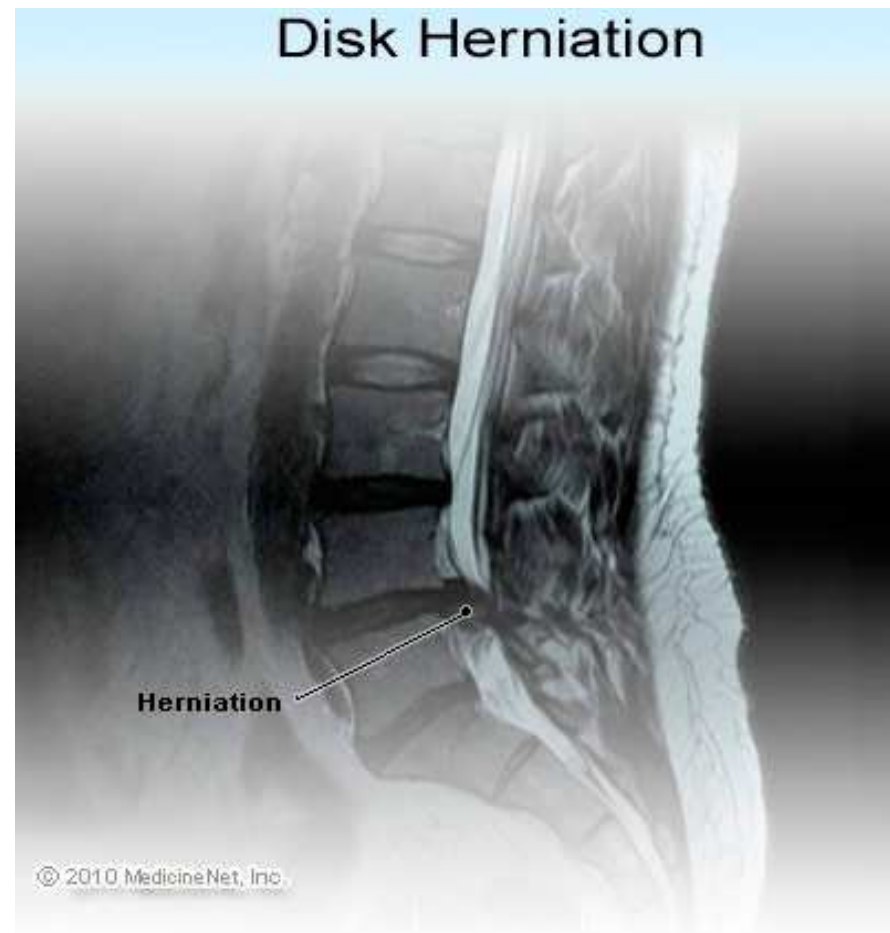


Hit 2 : Endosulfan II

C<sub>9</sub>H<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>O<sub>3</sub>S; MF: 881; RMF: 897; Prob 37.0%; CAS: 33213-65-9; Lib: mainlib; ID: 122069.

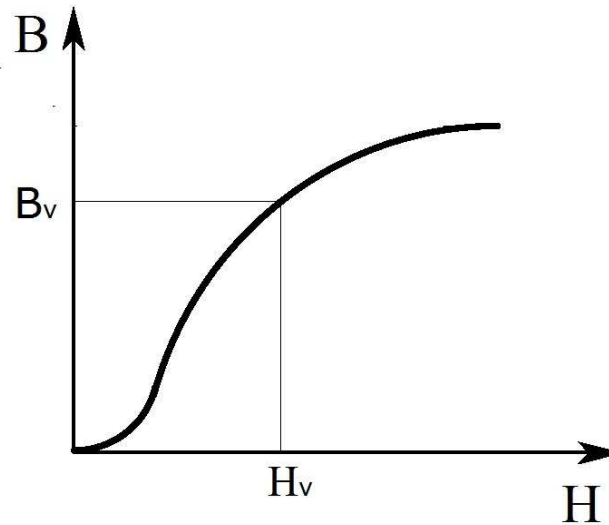
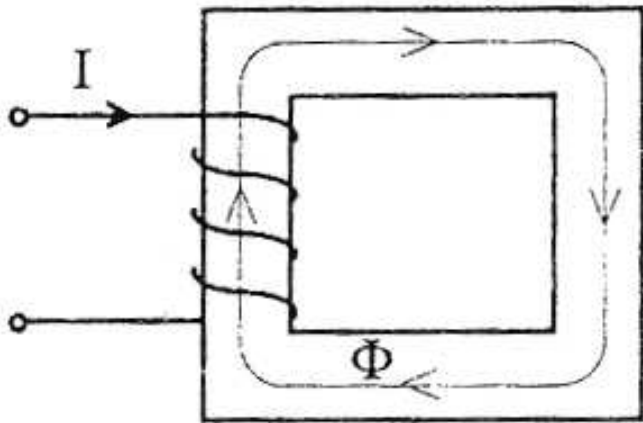


# Mágneses rezonanciás képalkotás (magnetic resonance imaging MRI)



## Mintafeladatok

### 1., Lágyvasas zárt mágneses kör



Ismert:

menetszám  $N$ ,  
gerjesztőáram  $I$ ,  
vas hossza  $l_v$ ,  
mágnesezési görbe

Kérdés:

indukció  $B_v$ ?

Megoldás

Gerjesztési törvény:

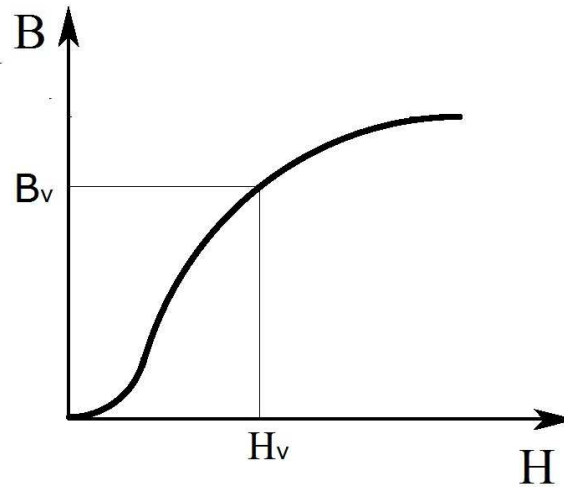
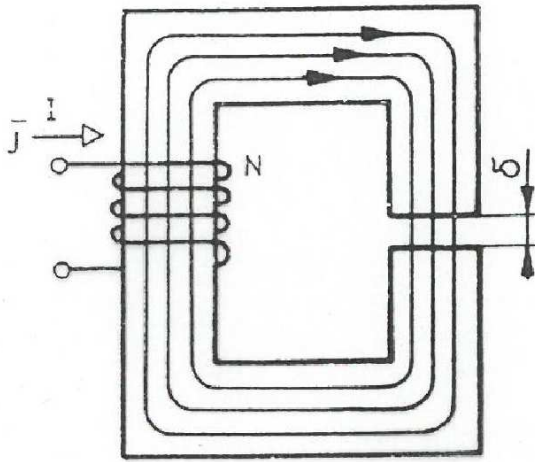
$$H_v l_v = NI$$

Innen:

$$H_v = NI / l_v$$

$H_v$ -t bejelölve  $B_v$  leolvasható a mágnesezési görbéről.

## 2., Lágyvasas mágneses kör légréssel



Ismert:

menetszám  $N$ ,

indukció  $B_v$

vas hossza  $l_v$ ,

légrés hossza  $\delta$

szóródási tényező  $\tau$

mágnesezési görbe

Kérdés:

gerjesztőáram  $I$ ?

Megoldás

Gerjesztési törvény:

$$H_v l_v + H_l \delta = NI$$

$B_v$ -t bejelölve  $H_v$  leolvasható a mágnesezési görbéről.

$$H_l = B_l / \mu_0 = B_v / (\tau \mu_0)$$

$H_l$ -t és  $H_v$ -t a felső egyenletbe helyettesítve:

$$H_v l_v + B_v \delta / (\tau \mu_0) = NI$$

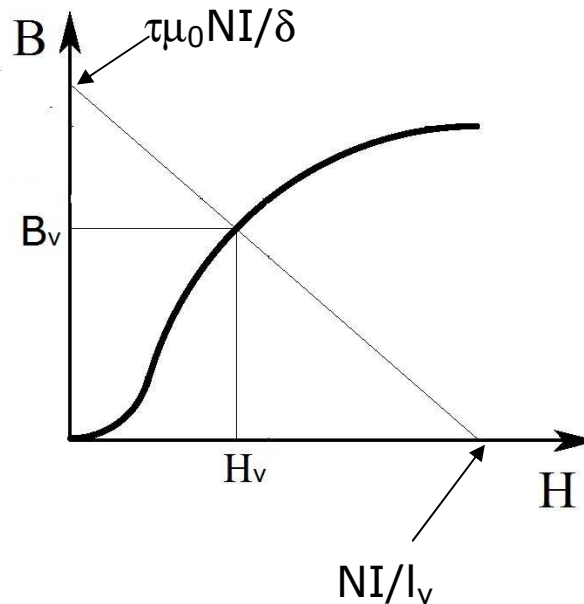
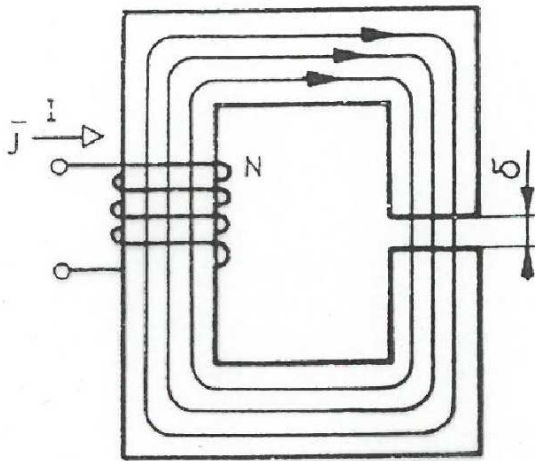
Innen az áramerősség:

$$I = [H_v l_v + B_v \delta / (\tau \mu_0)] / N$$

A szóródási tényező azt mutatja meg, hogy a légrés effektív keresztmetszete hányszorosa a vasénak:

$$\tau = A_{\text{leff}} / A_v$$

### 3., Lágyvasas mágneses kör légréssel



Ismert:

menetszám  $N$ ,  
gerjesztőáram  $I$   
vas hossza  $l_v$ ,  
légrés hossza  $\delta$   
szóródási tényező  $\tau$   
mágnesezési görbe

Kérdés:

indukció  $B_v$ ?

Megoldás

Gerjesztési törvény:

$$H_v l_v + H_l \delta = NI$$

$$H_l = B_l / \mu_0 = B_v / (\tau \mu_0)$$

$H_l$ -t a felső egyenletbe helyettesítve:

$$H_v l_v + B_v \delta / (\tau \mu_0) = NI$$

Innen az indukció:

$$B_v = \tau \mu_0 / \delta \cdot (NI - H_v l_v)$$

Ez egy negatív meredekségű egyenes egyenlete.

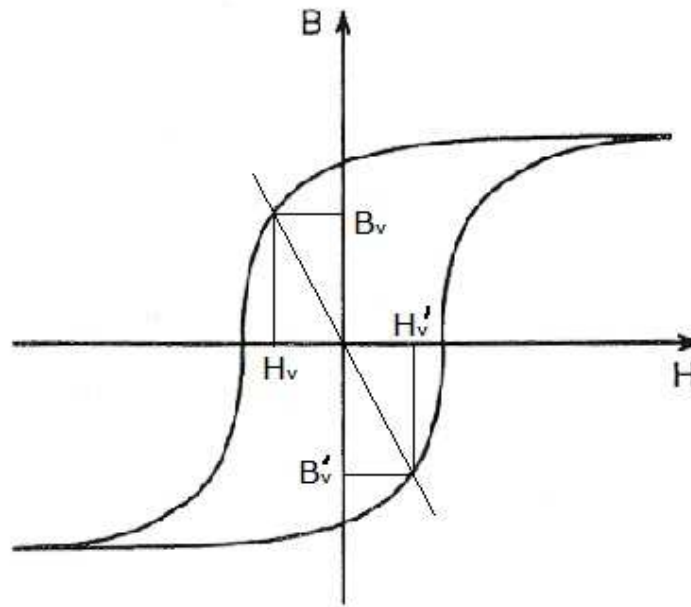
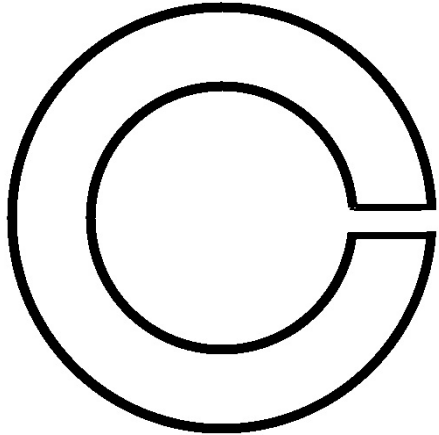
Szerkesztése:

$$\text{Ha } B_v = 0, H_v = NI / l_v$$

$$\text{Ha } H_v = 0, B_v = \tau \mu_0 NI / \delta$$

Az egyenes és a mágnesezési görbe metszéspontja meghatározza  $B_v$  és  $H_v$  értékét.

## 4., Állandó mágneses kör



Ismert:

mágnes hossza  $l_v$

légrés hossza  $\delta$

szóródási tényező  $\tau$

histerézis görbe

Kérdés:

indukció a légrésben  $B_l$ ?

Megoldás

Gerjesztési törvény:

$$H_v l_v + H_l \delta = 0$$

$$H_l = B_l / \mu_0 = B_v / (\tau \mu_0)$$

$H_l$ -t a felső egyenletbe helyettesítve:

$$H_v l_v + B_v \delta / (\tau \mu_0) = 0$$

Ez olyan negatív meredekségű egyenes egyenlete, amelyik átmegy az origón:

$$B_v = -H_v l_v \tau \mu_0 / \delta$$

Az egyenes és a histerézis görbe metszéspontja meghatározza  $B_v$  és  $H_v$  értékét.

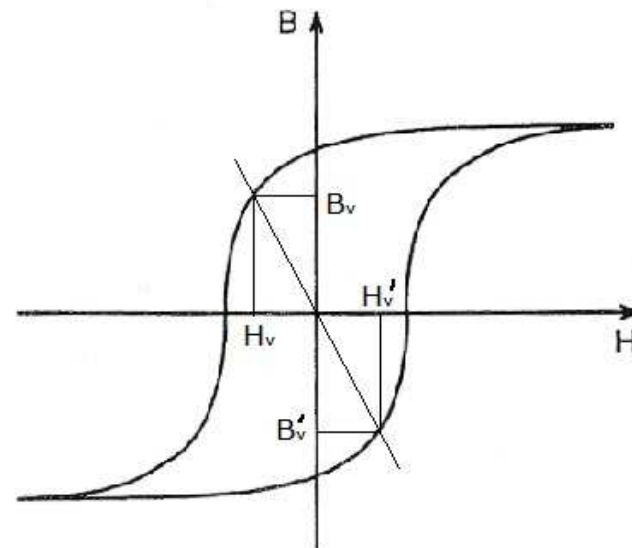
$$B_l = B_v / \tau$$

## Sajátságok

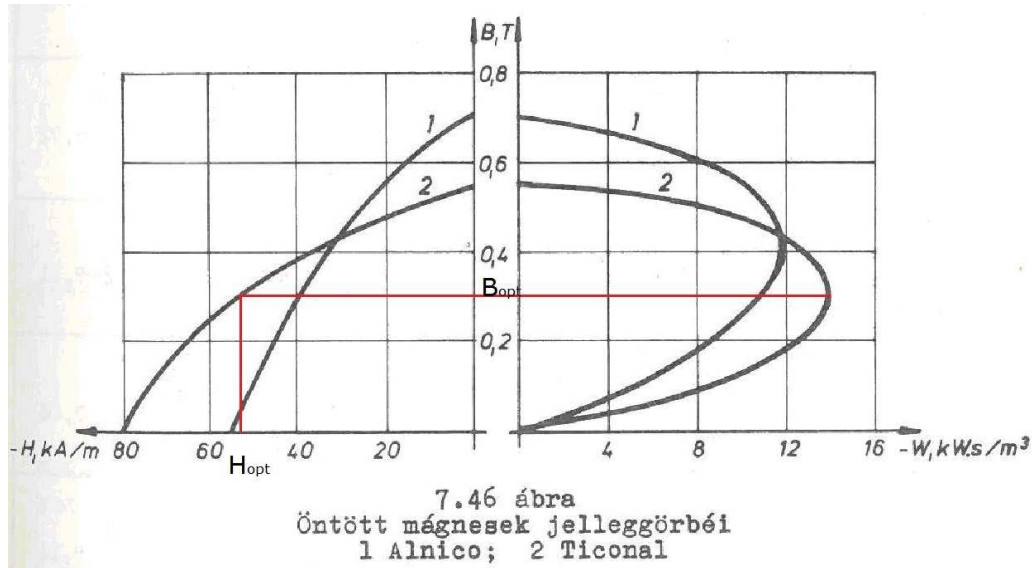
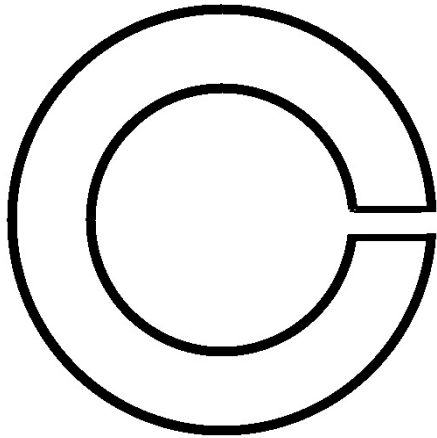
1.,  $B_v$  és  $H_v$ , valamint  $B_v'$  és  $H_v'$  abszolút értékei megegyeznek, csak ellentétes előjelűek. Hogy melyik érvényes konkrétan, a mágnes pólusainak a helyzetétől függ.

2., A példából látszik, hogy csak a bal felső és jobb alsó negyedek hordoznak a számításhoz szükséges információt. Mivel a görbe tükörszimmetrikus, elég a bal felsőt megadni.

3., Az állandó mágnesben az indukció és a térerősség ellentétes irányúak. Ez analóg a feszültségforrással az elektromos áramkörökben: a feszültségforráson belül az áram és a térerősség iránya ellentétes.



## 5., Állandó mágnes tervezése



Ismert:

fluxus  $\Phi$

légrés hossza  $\delta$

szóródási tényező  $\tau$

hiszterézis görbe  
( $B \times H$  szorzat)

Kérdés:

Mágnes optimális

méretei:

keresztmetszet  $A_v$ ?

hossz  $l_v$ ?

Megoldás

$H_{vopt}$  és  $B_{vopt}$  értékeket  
hiszterézis görbéből

Gerjesztési törvény:

$$H_{vopt} l_v + H_l \delta = 0$$

$$H_l = B_l / \mu_0 = B_{vopt} / (\tau \mu_0)$$

$H_l$ -t a felső egyenletbe  
helyettesítve:

$$H_v l_v + B_{vopt} \delta / (\tau \mu_0) = 0$$

Innen a mágnes  
hossza:

$$l_v = B_{vopt} \delta / (\tau \mu_0 H_{vopt})$$

A mágnes  
keresztmetszete:

$$A = \Phi / B_{vopt}$$



## **Ellenőrző kérdések:**

- 1., Milyen részecskék között van mágneses kölcsönhatás?
- 2., Mivel kapcsolatos az állandó mágnesesség?
- 3., Milyen vektormennyiségekkel jellemzik a mágneses teret?
- 4., Mi a kapcsolat a mágneses fluxus és az indukció között?
- 5., Mi a kapcsolat a mágneses térerősség és az indukció között?
- 6., Mikor nem hat erő a mágneses térben az árammal átjárt vezetőre?
- 7., Gyorsul vagy lassul-e a töltött részecske mágneses térben?
- 8., Hogy mozog a töltött részecske mágneses térben?
- 9., Milyen irányú erő hat két párhuzamos árammal átjárt vezetőre?
- 10., Mi az eltolási áramsűrűség?
- 11., Hoz-e létre mágneses teret az eltolási áram?
- 12., Létezik-e örvényes elektromos tér?
- 13., Mihozza létre az örvényes elektromos teret?
- 14., Mi az induktivitás?
- 15., Hol végződnek a mágneses erővonalak?
- 16., Milyen a diamágneses anyag?
- 17., Hogy viselkedik mágneses térben a paramágneses anyag?
- 18., Hogy állnak az atomok mágneses momentumai a ferromágneses anyagokban?
- 19., Hogy viselkednek a ferromágneses anyagok mágneses térben?

- 20., Mi a különbség a ferrimágneses és az antiferromágneses anyagok között?
- 21., Mi a remanens indukció?
- 22., Mi a koercitív erő?
- 23., Mire használják a lágy mágneses anyagokat?
- 24., Mire használják a kemény mágneses anyagokat?
- 25., Mi a reverzibilis permeabilitás?
- 26., Mondjon példát mágneses alkalmazásokra!
- 27., Mi az NMR?
- 28., Mi az MRI?