



Mágneses alkalmazások az orvostechikában

Nanorészecskék Permanens mágnesek ?

Dr. Mészáros István Attila
meszaros.istvan.attila@gpk.bme.hu

1

1

Mágneses tér \Leftrightarrow anyag közös hatás leírása

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

$$\bar{B} = \mu_0 \mu_r \bar{H} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{M})$$

$$\bar{M} = \kappa \bar{H} = \frac{1}{V} \sum \bar{P}_i = \frac{1}{V} \bar{P}$$

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

Mágneses **permeabilitás**

Mágneses **szuszeptibilitás**
(érzékenység)

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

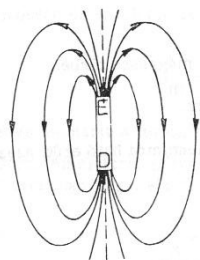
$$B \left[\frac{Vs}{m^2} = T \right]$$

$$H \left[\frac{A}{m} \right]$$

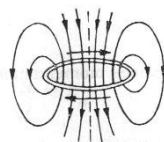
2

2

Mágneses dipólusmomentum



$$\vec{P}_m = m\vec{l}$$



$$\vec{P}_m = I\vec{A}$$

$$\begin{aligned}\tau &= \vec{p}_m \times \vec{B} \\ W &= -\vec{p}_m \cdot \vec{B} + konst \\ F &= p_m \frac{d\vec{B}}{dx}\end{aligned}$$

Homogén mágneses térben momentumra erő nem hat csak nyomaték.

Momentum energiája csökken ha térerőbe áll be.

Egymással igyekeznek párhuzamosra beállni.

3

Mágneses tulajdonságok eredete

Egyedi elemi részecskék mágneses tulajdonságai

Szabad atomok mágn. tulajdonságai

saját (spin) mágn. momentum (elektron, proton, neutron)
pályamomentum

Atomi (spin) mágn. momentum, 1s héj → Bohr magneton

Betöltött héjak spin momentuma zero.

$$\mu_B = \frac{q\hbar}{4\pi m} = \frac{q\hbar}{2m}$$

Szilárd testek

Pályamomentumok kompenzálják egymást (befagynak)

⇒ Csak a részlegesen betöltött héjak spinmomentumait kell számításba venni.

4

4

Mágneses anyagok csoportosítása

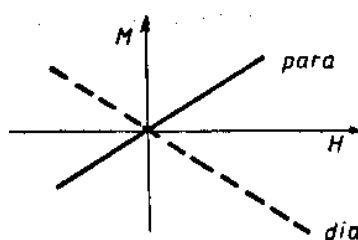
Gyengén mágneses anyagok

Dia (lezárt elektronhéj) $\kappa < 0$ ($\approx 10^{-5}$) Univerzális tulajd.
(Si, Cu, Zn, Ag, Cd, Au...)

Para (legalább egy páratlan elektron) $\kappa > 0$ ($10^{-3} - 10^{-5}$)
(Mg, Al, Ti, W...)

Antimágnes

Mágnesezési görbék



5

5



Közel ideális diamágnesek „lebegése”

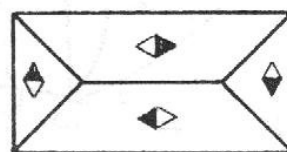
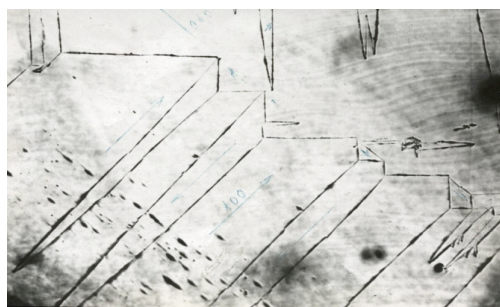
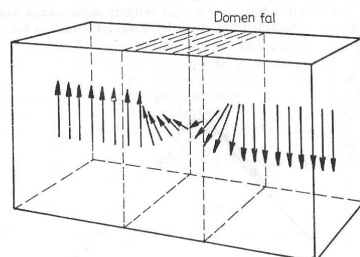
Meissner-effektus

Pírolitikus grafit lap

6

6

Rendezett mágneses szerkezetű anyagok



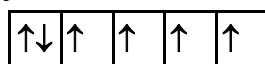
7

7

Rendezett mágneses szerkezetű anyagok

Szilárd test mágneses momentuma: a párosítatlan spinű elektronok spínmomentumainak eredője.

(3d, 4f héj telítetlen, doménszerkezet)



$$\mu_B = \frac{qh}{4\pi m} = \frac{q\hbar}{2m}$$

Fe: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2 \Rightarrow 4$ Bohr magneton

Co: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2 \Rightarrow 3$ Bohr magneton

Ni: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2 \Rightarrow 2$ Bohr magneton

Ferro $\uparrow\uparrow\uparrow$ (Fe, Co, Ni, Gd), ötvözetek, Heussler (Mn, Cr)

Antiferro $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$ (Cr, Mn)

Ferri $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$ (Fe_3O_4 , CrO_2 , ErO ...)

8

8

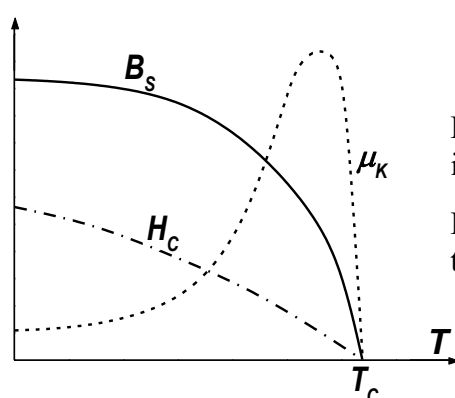
Mágneses tulajdonságok hőmérsékletfüggése (fázisátalakulás nélkül)

Dia	$\frac{\partial \chi}{\partial T} = 0$	
Para	$\chi = \frac{M}{H} = \frac{nP_a^2}{3kT} = \frac{C}{T}$	Nem vezető elektronok Maxwell-Boltzmann Curie-törvény Curie-Weiss
	$\chi = \frac{C}{T - \Theta}$	
	$\chi = \frac{nP_a^2}{W_F} = \frac{nP_a^2}{kT_F}$	Vezető elektronok Fermi-Dirac

9

9

Hőmérsékletfüggés (ferro)



Reverzibilis, végtelenszer
ismételhető

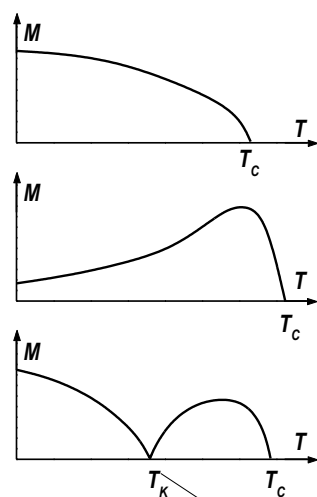
Hőmérséklet érzékelők,
tűzjelzők, forrasztó páka ...

Ferromágnes Curie-hőmérséklet
Antiferro mágneses Néel-hőmérséklet

10

10

Hőmérsékletfüggés (ferri)



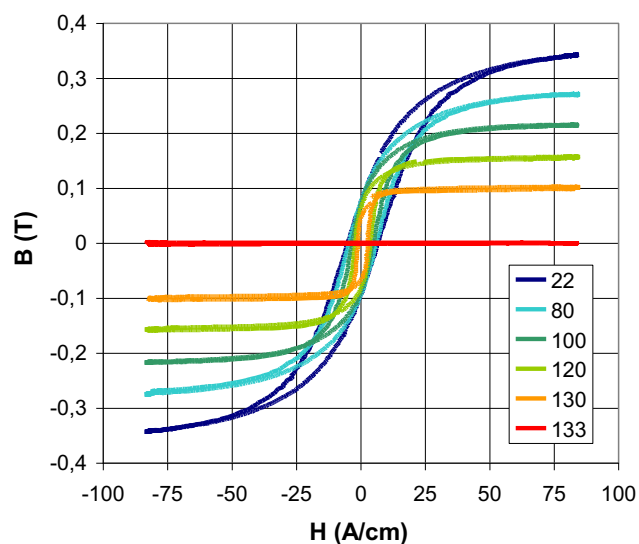
Az egyes "alrácok"
Curie-hőmérséklete és
ezek mágnesezettség
járuléka egymástól
eltérő.

Kompenzációs hőmérséklet

11

11

MnZn ferrit hiszterézis görbéjének hőmérsékletfüggése
Curie hőmérséklet: 133 °C



12

12

Néhány anyag Curie hőmérséklete (K)

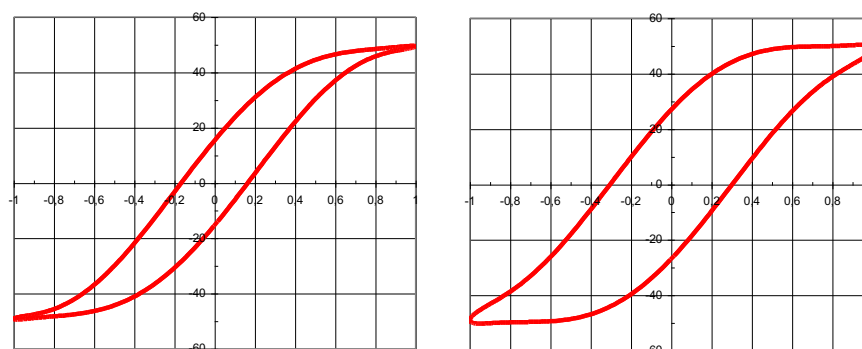
Fe	1043
Co	1388
Ni	627
Gd	293
Dy	85
CrBr ₃	37
Au ₂ MnAl	200
Cu ₂ MnAl	630
Cu ₂ MnIn	500
EuO	77
EuS	16.5
MnAs	318
MnBi	670
GdCl ₃	2.2
Fe ₂ B	1015
MnB	578

Data from F. Keffer, Handbuch der Physik, 18, pt. 2, New York: Springer-Verlag, 1966 and P. Heller, Rep. Progr. Phys., 30, (pt II), 731 (1967)

13

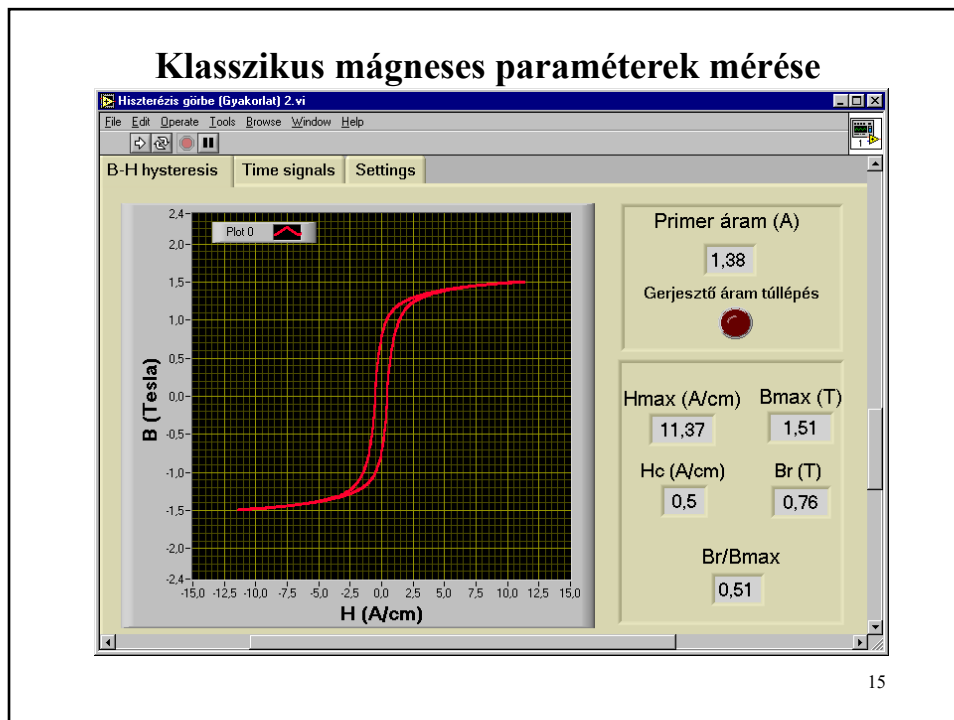
13

Rendezett szerkezetű mágneses anyagok jellemzése (hiszterézis)



14

14



15

Hiszterézis görbéből származtatott jellemzők

Első mágnesezési (szűz) görbe, dinamikus közép görbe

$M(H)$ és $B(H)$ hiszterézis görbék

Belső, mellék hiszterézis. Telítés !!! (Hol?)

Telítési indukció (B_M), Remanens indukció (B_R),
Koercitív erő (H_c)

Permeabilitások (μ_r): kezdő, maximális, differenciális,
növekményes (irreverzibilis)

Irreverzibilis és reverzibilis komponens

Jósági szám $(BH)_{max}$, négyzetletességi tényező B_R/B_M stb.

16

16

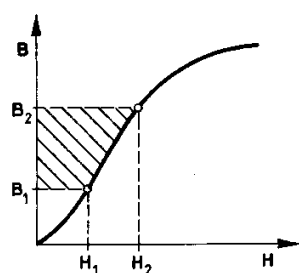
Material	Curie Temperature °C	Saturation Magnetisation	
		$4\pi I$, gauss	tesla
Fe	770	21,500	2.15
Ni	368	6,200	0.62
Co	1,121	18,000	1.80
65Fe-35Co	900-950	24,000	2.43

17

17

Mágnesezési veszteség

(doménfallozgatás, örvényáram, dielektromos, ...)

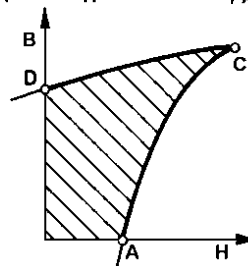
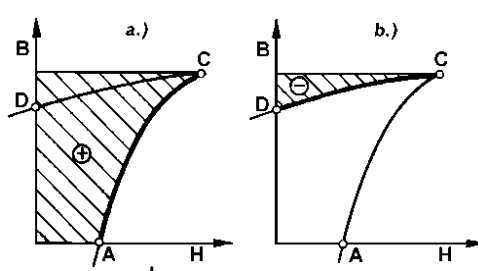


Mágneses tér energiasűrűsége:

$$w = \frac{1}{2} \bar{H} \cdot \bar{B}$$

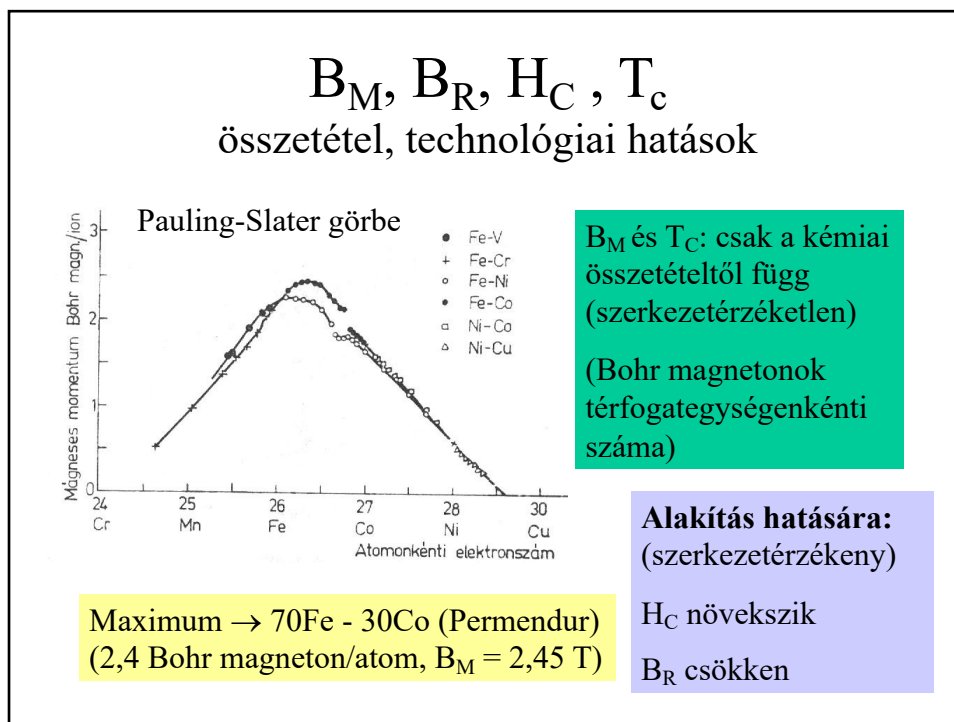
$$W = \int H dB$$

$$W_{\text{Hiszterézis}} = \oint H dB$$

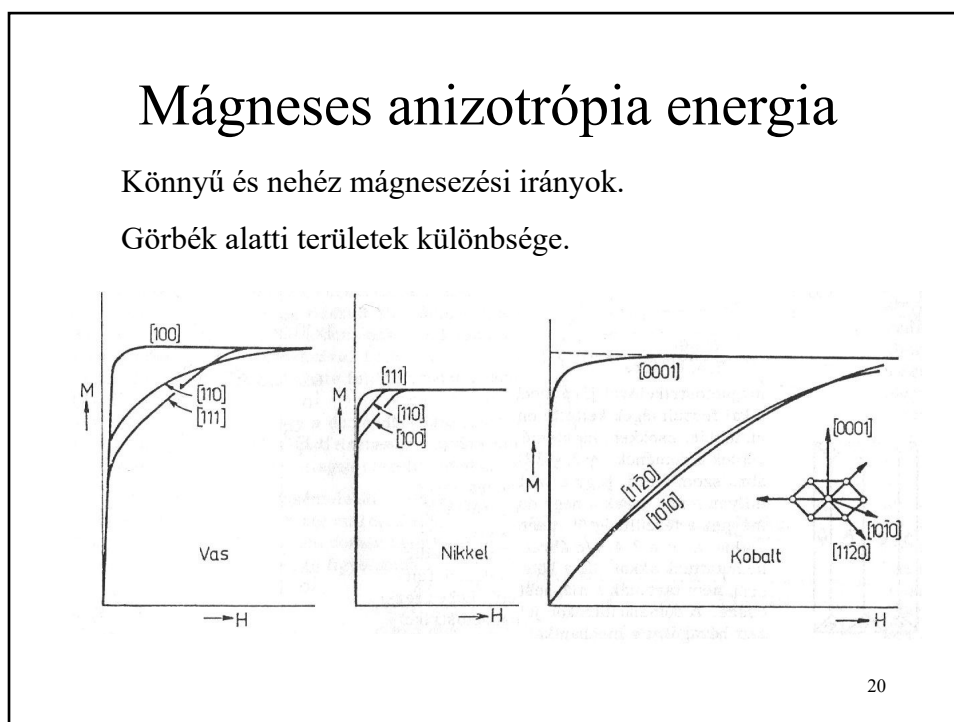


18

18



19

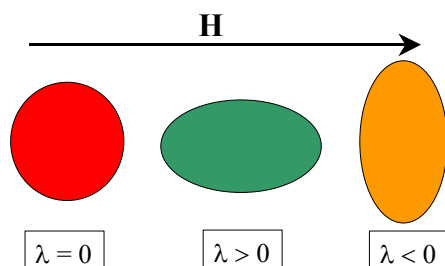


20

Magnetostríció, magnetoelaszticitás

Mágneses tér hatására történő méretváltozás.

λ a telítéshez tartozó érték ($50-100 \cdot 10^{-6}$)



Fe $\lambda > 0$, Ni $\lambda < 0$

ultrahang generátor
transzformátor zúgása

$$\lambda_{\text{térfogati}} = \frac{\Delta V}{V}$$

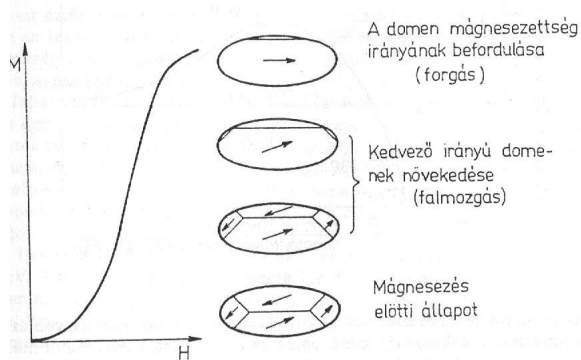
$$\lambda_{\text{lineáris}} = \frac{\Delta l}{l}$$

Pl: 1 m hosszú
 $\lambda = 100 \cdot 10^{-6}$
Méretváltozás: 0,1 mm

21

21

Az átmágneseződési folyamat kinetikája

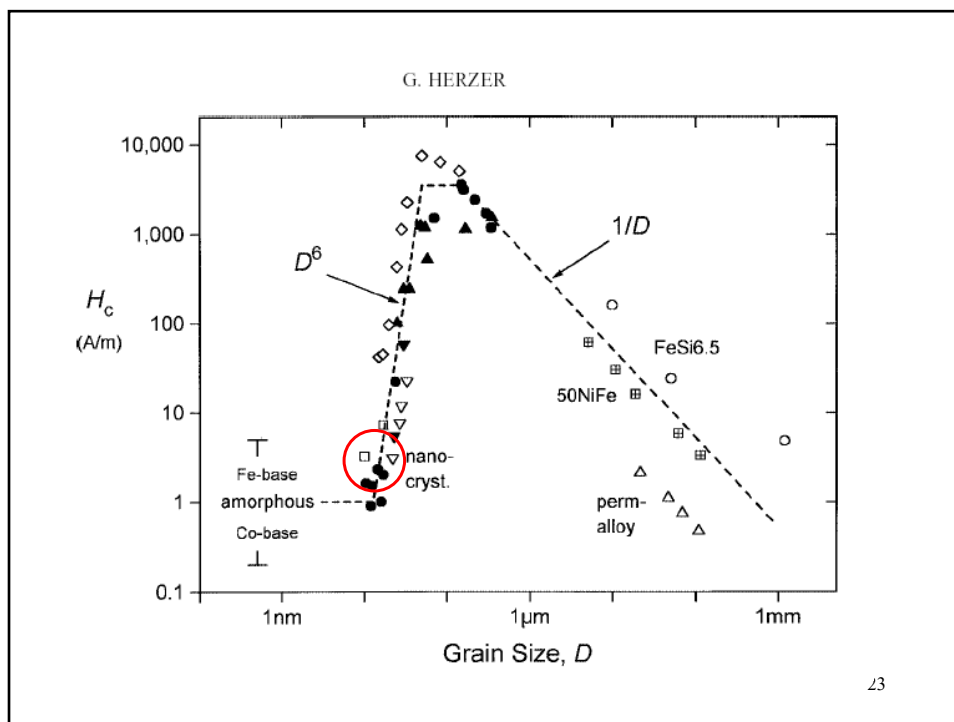


Falmozgás
reverzibilis
irreverzibilis
(irány mindig KI)

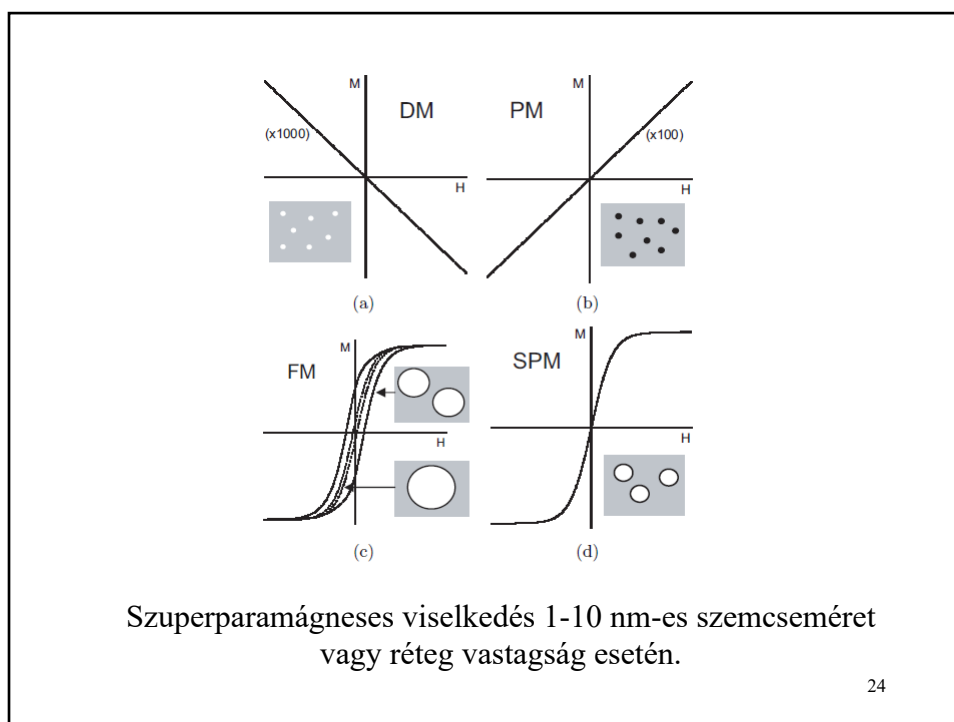
Forgás
inkoherens
koherens
(irány eltér a KI-tól)

22

22



23



24

A külső tér nem az egyes atomi momentumokat önállóan, hanem az egész szemcse mágneses momentumát igyekszik a tér irányába beállítani.

A szemcseméret csökkenésével csökken a kristályanizotrópia energia.

25

25

A nanoméretű superparamágneses vas-oxid vegyületek: magnetit (Fe_3O_4) és a maghemit ($\gamma \text{Fe}_2\text{O}_4$)

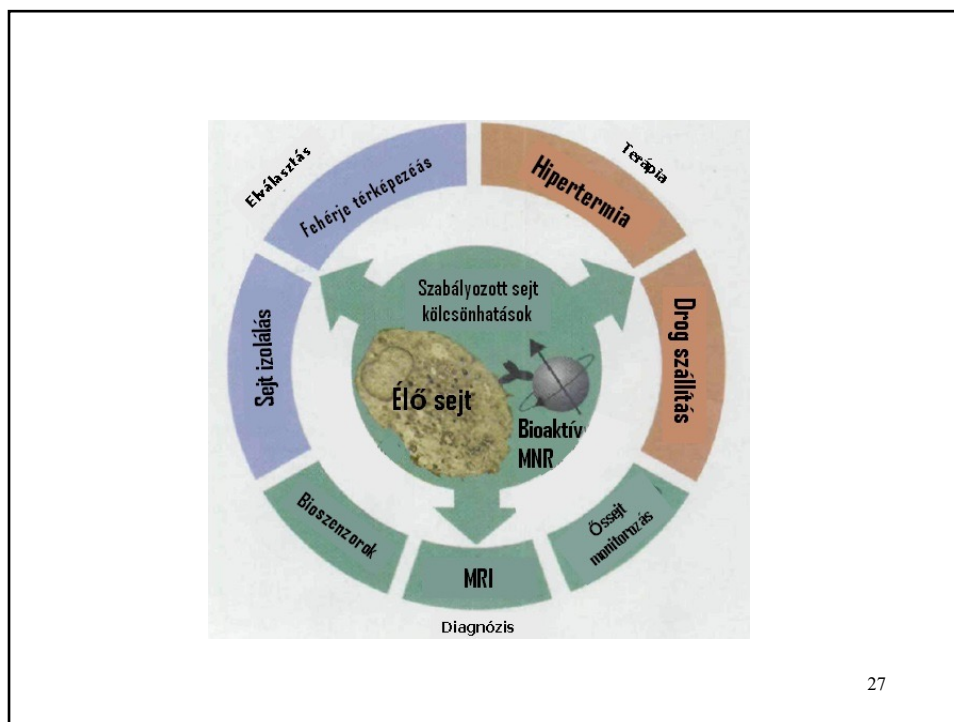
- 50–100 nm superparamágneses vas-oxidok (SPIO)
- 50 nm alatt ultrakicsi superparamágneses vas-oxidok (USPIO)

Vas-oxid-tartalmú kolloidoldatok:

- biokompatibilisek
- szervezetben le tudnak bomlani
- az élő sejtekre kifejtett toxikus hatásuk nincs (vitatott !)
- jól mágnesezhetőek
- kémiailag stabilak
- szintézisük viszonylag egyszerű
- terápiás felhasználásuk sokrétű

26

26



27

- sejtjelölés ill. izoláció
- mágneses rezonancia képalkotás kontraszt ágens
- gyógyszer hordozó
- rákos sejtek hővel történő elpusztítására készült változataik (hipertermia)

28

28

Mágneses jelölés, sejt izolálás

Megfelelő sejtcsoportokat (DNS-t) lehet jelölni mágneses nanorészecskékkel úgy, hogy specifikus antitesteket kötnek a felszínükhöz.

Mágnes segítségével a jelölt sejtek eltávolíthatók a szövetek közül. (Méreganyagok eltávolítása.)

Az átültetett őssejtek jelölése az élő szervezetben, ez nyomonkövethetővé teszi az osztódásukat és a sorsukat.

29

29

Kontrasztanyag

Vas-oxid-tartalmú készítmények.

Kolloidoldat, amely dextranvázva csomagolt vas-oxid-nanorészecskéket tartalmaz.

Sejtspecifikus.

A szervezet RES (reticuloendothelialis) rendszerének sejtjei veszik fel és halmozzák fel magukban.

A máj RES-sejtjei csak az épp szövetben találhatóak a carcinomában és az áttétes daganatokban nem, ezért az T2-súlyozott képeken élesen elkülönülnek az ép májszövettől. Használhatóak még a nyirokcsomók és a lép különböző elváltozásainak felismerésére.

30

30

Szabályozott gyógyszer hatóanyag leadása

Véráramba fecskendezve, külső mágneses tér segítségével a mágneses nanorészecskék a beteg célszervébe vagy célszövetébe juttathatók.

A hatóanyagok csak a célszerben fejtik ki hatásukat így megkímélik az egészséges szöveteket a gyógyszerek súlyos mellékhatásaitól.

31

31

Hipertermia

A mágneses nanorészecskék váltakozó mágneses térben melegítik a környezetüket.

A rákos sejtek elpusztíthatóvá válhatnak.

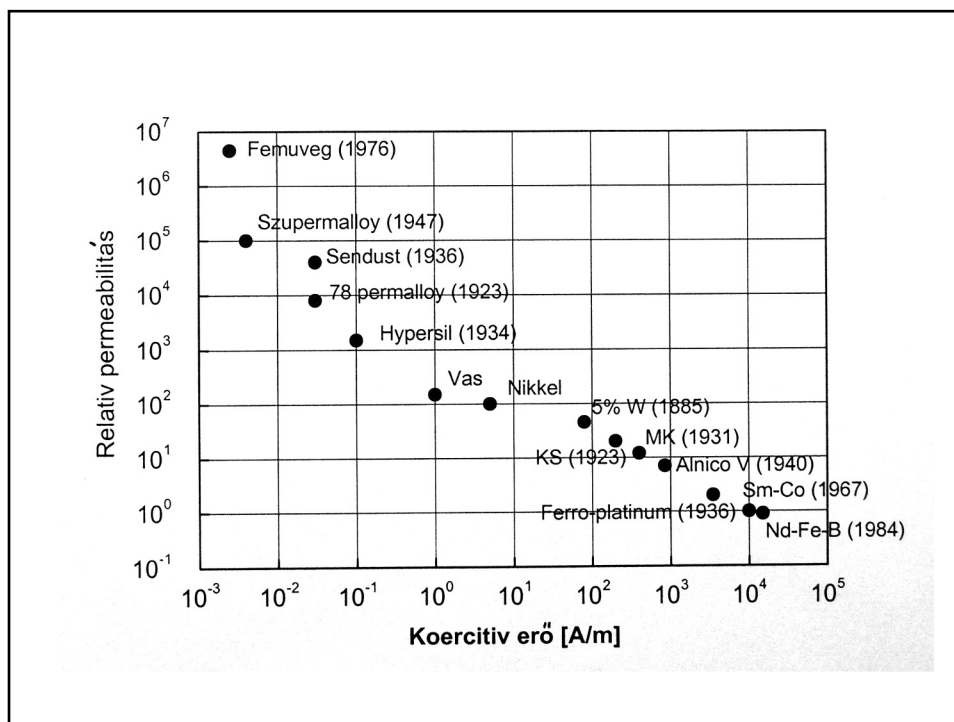
A daganatos sejtek érzékenyebbek a magasabb hőmérsékletre, mint az egészségesek.

Lokálisan alkalmazva a nanorészecskéket és egy adott területen megnövelve a hőmérsékletet elpusztíthatók ezek a sejtek.

A hőmérsékletet legalább 43 °C fokon kell tartani legalább 30 percig.

32

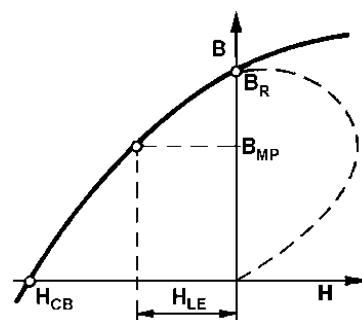
32



33

Felhasználói igények a keménymágneses anyagoknál

B_M	Nagy
B_R	Nagy
$(BH)_{max}$	Nagy
Hiszterézis terület	Nagy
$H_C > 400 \text{ A/cm}$	Nagy



Keménymágnes jelleggörbe

34

Keménymágnesek jellegzetes felhasználási területei

Légrézben előírt indukció keltése / fenntartása.

Drága, sokszor alakíthatatlan.

Híradástechnika:

hangszórók, mikrofonok, mikrohullámú eszközök

Méréstechnika:

galvanométerek

Mechanikai mozgatás, rögzítés:

motorok, emelő stb. mágnesek

Mágneses információ tárolás:

magnó, videó, floppy, merevlemez

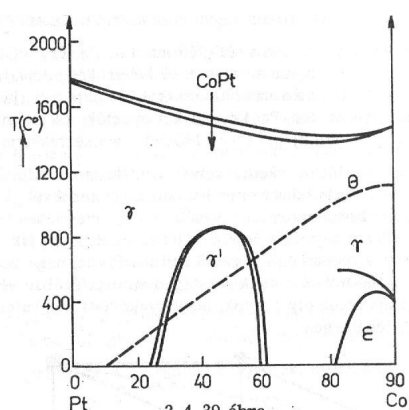
35

Keménymágnek néhány típusa

Martenzites (W)	(olcsó, klasszikus)
Alnico, Ticonal	(szokásos, tömegtermék)
Cu-Ni-Co, Fe-Co-V	(alakítható)
Pt-Co, Pt-Fe	(kitűnő, drága)
R-Co	(legjobb, magas ár, 0,1-1 g)
Nd-Fe-B	(kitűnő, de alacsony T_C)
Hexaferritek	(olcsó, porkohászat, egyszerű alkalmazások)

36

Pt - Co, Pt – Fe (ferro-platinum 1936)



A legjobb izotróp
keménymágnes

40-50% Pt (drága)

fkk rács + **rendeződés**

850 °C-ról hűtés

600-650 °C rendeződés (nagy
kristály anizotrópia)

Biokompatibilis