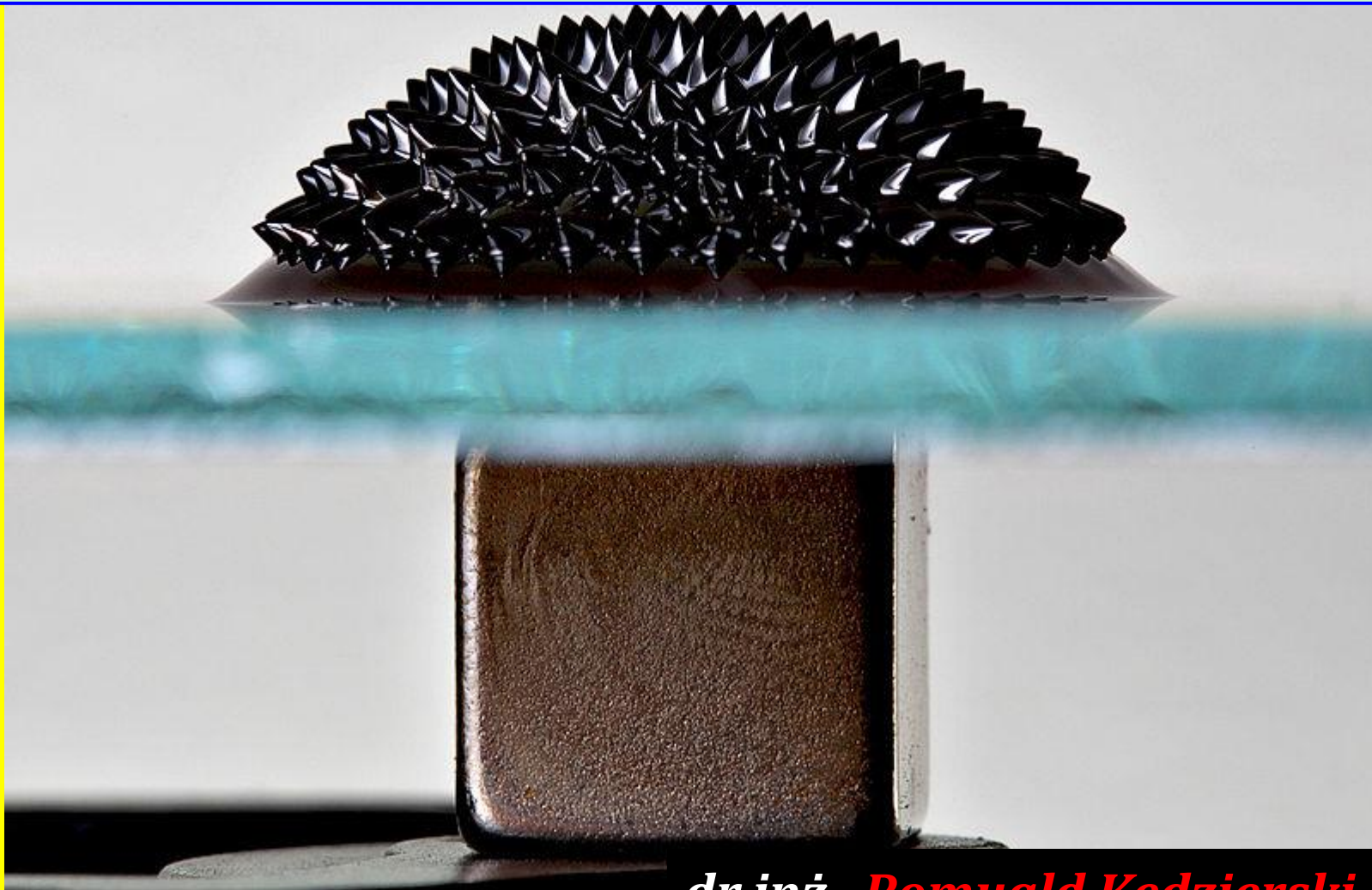


Właściwości magnetyczne materii



dr inż. Romuald Kędzierski

Kryteria podziału materii ze względu na jej właściwości magnetyczne

μ_r - względna przenikalność magnetyczna

χ - podatność magnetyczna

Wielkości niemianowane!

$$\chi = \mu_r - 1$$

$\mu_r \gg 1 \longrightarrow$ ferromagnetyki $\longrightarrow \chi \gg 1$

Np. *żelazo, kobalt, nikiel.*

$\mu_r > 1$ (niewiele!) \longrightarrow paramagnetyki $\longrightarrow \chi > 0$ (niewiele!)

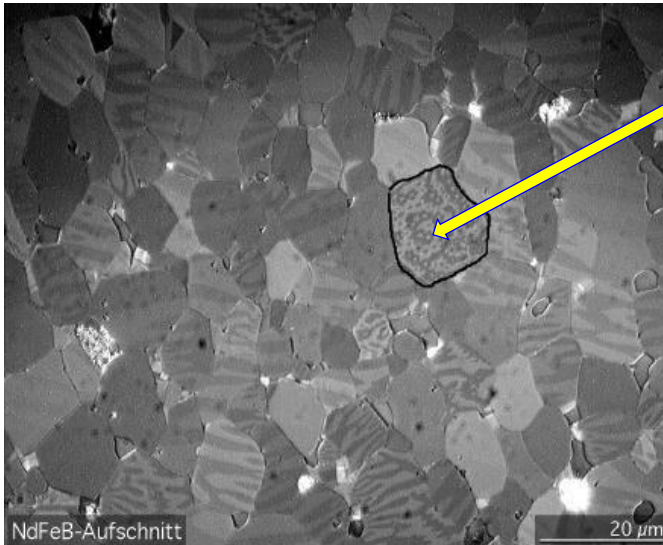
Np. *tlen O_2 , platyna, sód.*

$\mu_r < 1$ (niewiele!) \longrightarrow diamagnetyki $\longrightarrow \chi < 0$ (niewiele!)

Np. *woda, złoto, grafit.*

Ferromagnetyki

*W materiale ferromagnetycznym nie wykazującym na zewnątrz stanu namagnesowania, istnieją obszary zwane **domenami magnetycznymi**, które wykazują własne, spontaniczne namagnesowanie.*



*Pojedyncza **domena***

Rozmiar: rzędu $10^{-5} \div 10^{-4}$ m

W ferromagnetyku nie wykazującym na zewnątrz stanu namagnesowania, lokalne pola magnetyczne poszczególnych domen są zorientowane przypadkowo, znosząc się wzajemnie.

W paramagnetykach i diamagnetykach nie występują obszary, w których materia wykazuje stan spontanicznego namagnesowania!

Zachowanie się materii w zewnętrznym polu magnetycznym

Przyjęte założenia i oznaczenia:

- rozpatrywana próbka materii nie wykazuje stanu namagnesowania,

\vec{B}_z - wektor indukcji magnetycznej zewnętrznego pola magnetycznego, w którym próbka została umieszczona

\vec{B}_{ind} - wektor indukcji magnetycznej pola magnetycznego, jakie dodatkowo powstaje w materiale na skutek jego namagnesowania

\vec{B}_w - wektor wypadkowej indukcji magnetycznej pola w namagnesowanym materiale, podczas jego obecności w zewnętrznym polu magnesującym

$$\vec{B}_w = \vec{B}_z + \vec{B}_{ind}$$

Dla stosunkowo małych wartości indukcji pola zewnętrznego, zachodzi:

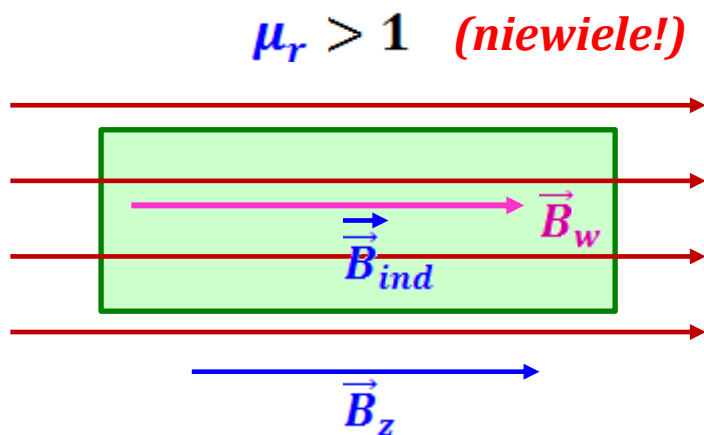
$$\vec{B}_{ind} = \chi \cdot \vec{B}_z$$

Stąd:

$$\vec{B}_w = \vec{B}_z + \chi \cdot \vec{B}_z = \vec{B}_z \cdot (1 + \chi) = \vec{B}_z \cdot (1 + \mu_r - 1)$$

$$\vec{B}_w = \mu_r \cdot \vec{B}_z$$

Paramagnetyki



A. $\vec{B}_{ind} = \chi \cdot \vec{B}_z \longrightarrow |\vec{B}_{ind}| \ll |\vec{B}_z|$

Oba wektory mają takie same zwroty.

B. $\vec{B}_w = \mu_r \cdot \vec{B}_z \longrightarrow |\vec{B}_w| > |\vec{B}_z|$

Niewiele!

Wartość wypadkowej indukcji pola magnetycznego wewnątrz paramagnetyku jest niewiele większa od indukcji pola zewnętrznego.

C. Zanik zewnętrznego pola magnetycznego:

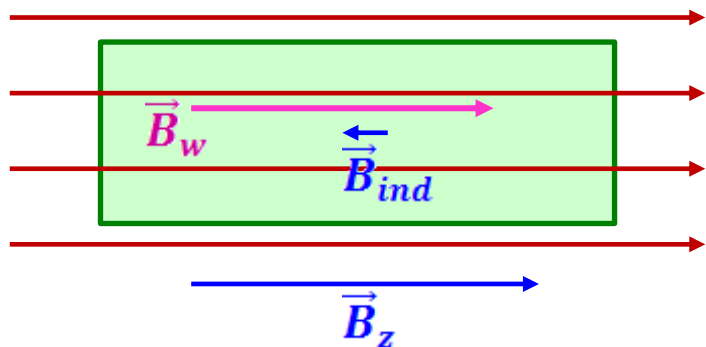
$$|\vec{B}_w| = 0$$

Paramagnetyku nie można trwale namagnesować!

D. Paramagnetyki są słabo przyciągane przez „magnesy”.

Diamagnetyki

$$\mu_r < 1 \text{ (niewiele!)} \quad \chi < 0 \text{ (niewiele!)}$$



$$A. \vec{B}_{ind} = \chi \cdot \vec{B}_z \longrightarrow |\vec{B}_{ind}| \ll |\vec{B}_z|$$

Oba wektory mają przeciwne zwroty.

$$B. \vec{B}_w = \mu_r \cdot \vec{B}_z \longrightarrow |\vec{B}_w| < |\vec{B}_z|$$

Niewiele!

Wartość wypadkowej indukcji pola magnetycznego wewnątrz paramagnetyku jest niewiele mniejsza od indukcji pola zewnętrznego.

C. Zanik zewnętrznego pola magnetycznego:

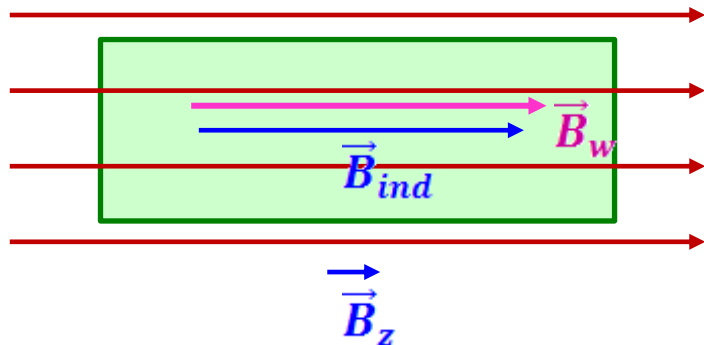
$$|\vec{B}_w| = 0$$

Diamagnetyku nie można trwale namagnesować!

D. Diamagnetyki są odpychane przez „magnesy”.

Ferromagnetyki

$$\mu_r \gg 1 \quad \chi \gg 1$$



$$A. \vec{B}_{ind} = \chi \cdot \vec{B}_z \longrightarrow |\vec{B}_{ind}| \gg |\vec{B}_z|$$

Oba wektory mają takie same zwroty.

$$B. \vec{B}_w = \mu_r \cdot \vec{B}_z \longrightarrow |\vec{B}_w| \gg |\vec{B}_z|$$

Wartość wypadkowej indukcji pola magnetycznego wewnątrz paramagnetyku jest wielokrotnie większa od indukcji pola zewnętrznego.

C. Zanik zewnętrznego pola magnetycznego:

$$|\vec{B}_w| > 0$$

Ferromagnetyk można trwale namagnesować!

D. Ferromagnetyki są silnie przyciągane przez „magnesy”.

Czy namagnesowany ferromagnetyk można rozmagnesować?

Tak!

- A.** *Poprzez umieszczenia ferromagnetyka w polu magnetycznym zorientowanym w przeciwną stronę niż skierowane jest pole magnetyczne namagnesowanego ferromagnetyka.*
- B.** *Poprzez ogrzanie ferromagnetyka do temperatury wyższej od tzw. **temperatury Curie**.*

*Powyżej tej temperatury, jak i po schłodzeniu poniżej jej, **ferromagnetyk staje się paramagnetykiem**.*

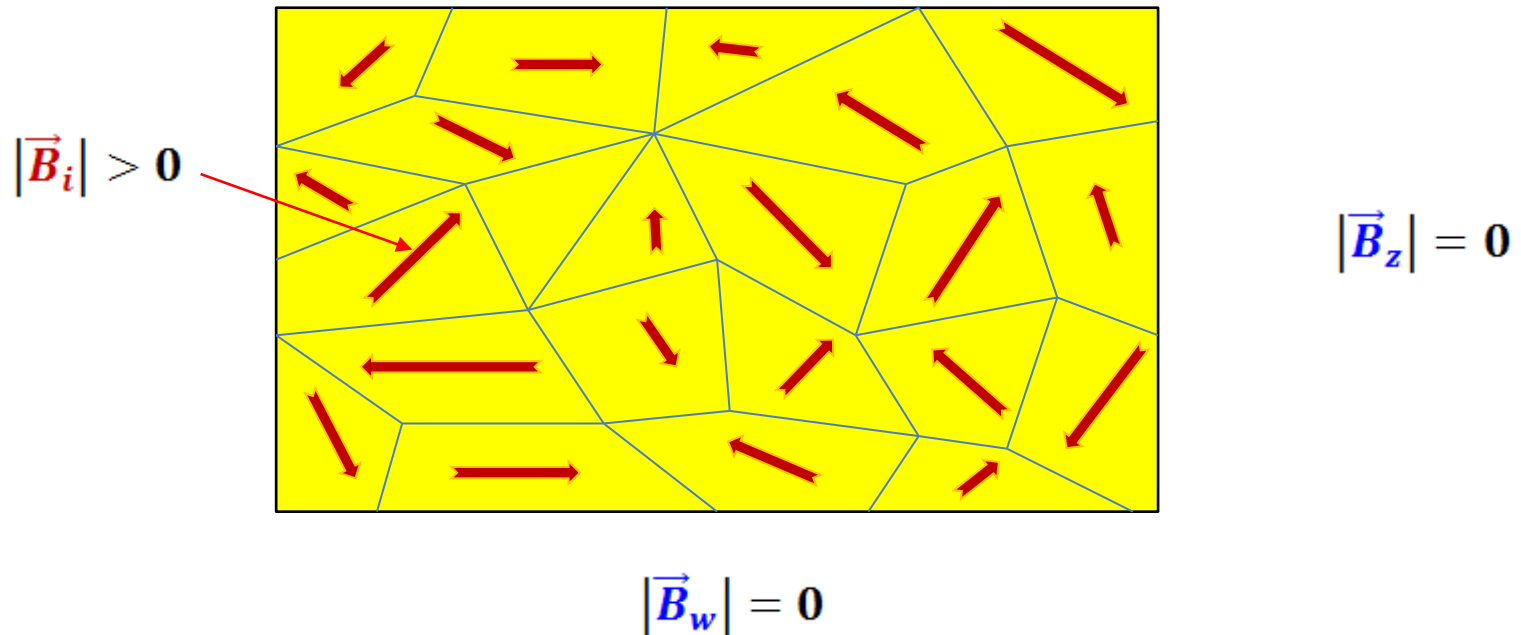
<i>Kobalt</i>	<i>1388 K</i>
<i>Żelazo</i>	<i>1043 K</i>
<i>Nikiel</i>	<i>627 K</i>
<i>Gadolin</i>	<i>292 K</i>
<i>Dysproz</i>	<i>88 K</i>

W stanie ciekłym metale te nie wykazują właściwości porządkowania domen!

Etapy procesu magnesowania ferromagnetyka

A. Brak zewnętrznego pola magnetycznego:

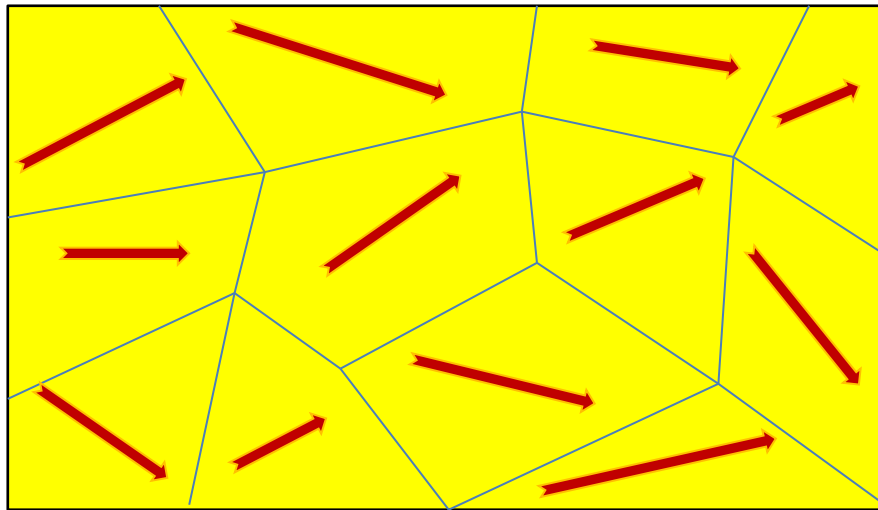
Wektory indukcji magnetycznej poszczególnych domen magnetycznych zorientowane są chaotycznie



Wypadkowa indukcja pola magnetycznego danej próbki ferromagnetyka ma wartość zerową!

B. Po umieszczeniu w zewnętrznym polu magnetycznym i stopniowym zwiększaniu jego indukcji.

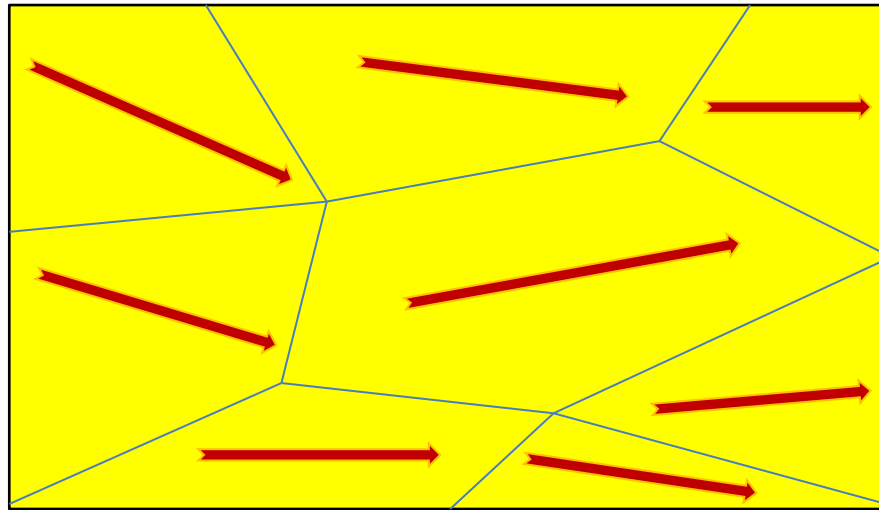
Następuje wzrost wielkości pojedynczych domen i ustawianie się ich wektorów ich indukcji magnetycznej zgodnie ze zwrotem zewnętrznego pola magnetycznego.



\vec{B}_z

$$|\vec{B}_w| > 0$$

C. Przy odpowiednio dużej wartości indukcji zewnętrznego pola magnetycznego osiąga się maksymalny stopień uporządkowania domen magnetycznych.



$$\vec{B}_z \geq \vec{B}_{nas}$$

$$|\vec{B}_w| = \max$$

Dalsze zwiększanie wartości zewnętrznego pola magnetycznego nie zwiększa wartości indukcji magnetycznej namagnesowanego ferromagnetyka!

D. Po zaniku zewnętrznego pola magnetycznego, wartość indukcji pola magnetycznego wewnątrz ferromagnetyka maleje, ale jest większa od zera – jest to tzw. **pozostałość magnetyczna**.

Praktyczne wykorzystanie materiałów ferromagnetycznych

- *magnetyczny zapis informacji*
- *elektromagnes*
- *do wytworzenia magnesów trwałych (tzw. stal twarda).*
- *rdzenie transformatorów (tzw. tzw stal miękka).*

Uwaga:

Wejdź na stronę internetową:

<http://www.efiz.pl/ferro/ferrop.html>

Obejrzyj animacje pokazujące zachowanie się ferromagnetyka w polu magnetycznym oraz tzw. pętlę histerezy

Rozstrzygnij, które z podanych poniżej zdań są prawdziwe, a które nie. Krótko uzasadnij swoją odpowiedź.

- 1. Tylko materiały paramagnetyczne i ferromagnetyczne można trwale namagnesować.**
- 2. Po umieszczeniu diamagnetyku w zewnętrznym polu magnetycznym, wektor indukcji magnetycznej w jego wnętrzu ma wartość niewiele mniejszą od wartości zewnętrznego pola magnetycznego i taki sam zwrot.**
- 3. Jeżeli dana próbka nienamagnesowanego materiału jest silnie przyciągana przez magnes, to próbka ta jest materiałem ferromagnetycznym.**
- 4. Ferromagnetyk można trwale rozmagnesować tylko poprzez ogrzanie go powyżej tzw. temperatury Curie.**
- 5. Jeżeli wartość podatności magnetycznej pewnego materiału była nieznacznie mniejsza od zera, to był to diamagnetyk.**
- 6. Jeżeli wartość względnej przenikalności magnetycznej pewnego materiału wynosiła 1,000002, to był to paramagnetyk.**
- 7. Jeżeli wartość temperatury Curie, dla pewnego ferromagnetyka wynosiła 560 K, to w temperaturze 300 ° C, będzie miał on właściwości paramagnetyka.**

- 8.** *Już przy niewielkich wartościach indukcji zewnętrznego pola magnetycznego, wartość indukcji pola magnetycznego wewnątrz ferromagnetyka, może być wielokrotnie większa od indukcji zewnętrznego pola magnetycznego.*
- 9.** *Materiały używane na magnesy trwałe powinny się łatwo dawać magnesować, a trudno rozmagnesowywać.*