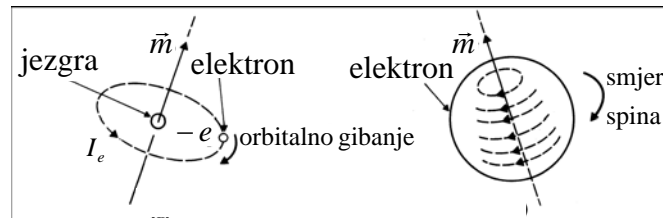


MATERIJALI U MAGNETSKOM POLJU

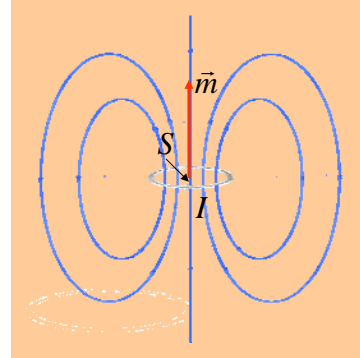
Magnetiziranje materijala

- Gibanje naboja \rightarrow struja \rightarrow orbitalno gibanje elektrona, spinovi elektrona, spinovi jezgre



Magnetski dipol i magnetizacija

- Magnetski dipol



- Dipolni moment: $\vec{m} = \vec{n}SI$
- Uvodimo magnetizaciju:

$$\vec{M}(\vec{r}) = \lim_{\substack{\Delta V \rightarrow 0 \\ \text{oko } \vec{r}}} \frac{\sum \vec{m}_i}{\Delta V} = \frac{d\vec{m}}{dV} \Rightarrow d\vec{m} = \vec{M}dV$$

16.4.2007

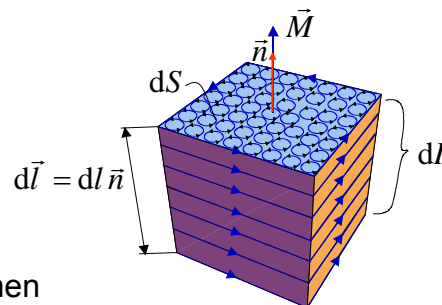
EMP - Materijali u magnetskom polju

3

- Razmotrimo elementarni volumen materijala

- Dipolni moment je:

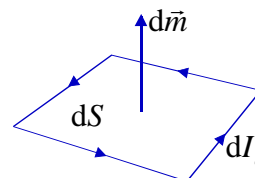
$$\begin{aligned} d\vec{m} &= \vec{M}dV = \vec{M}dIdS = \\ &= (\vec{M} \cdot d\vec{l})\vec{n}dS = dI\vec{n}dS \end{aligned}$$



- Slijedi da elementarni volumen možemo nadomjestiti magnetskim dipolom protjecanim strujom: $dI_a = \vec{M} \cdot d\vec{l}$

- Struju I_a zovemo amperska struja

- Ekvivalentni makroskopski izvor



16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

4

Veza magnetizacije i amperskih struja

- Razmotrimo plohu S_C magnetiziranog materijala
- Ukupna amperska struja je:

$$I_a = \oint_C \vec{M} \cdot d\vec{l} = \iint_{S_C} \vec{J}_a \cdot \vec{n}_{S_C} dS$$

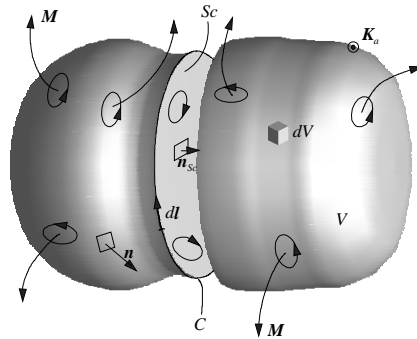
- Stokesov teorem

$$\nabla \times \vec{M} = \vec{J}_a$$

- Ako je $\nabla \times \vec{M}$ singularan

- Granična ploha
- Amperska plošna struja

$$\vec{K}_a = \vec{M} \times \vec{n}$$



16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

5

Vektor jakosti magnetskog polja

- Materijali u magnetskom polju \rightarrow magnetizacija \rightarrow dodatni izvor polja: \vec{J}_a
- Magnetska indukcija u materijalu \vec{B} = indukcija u vakuumu \vec{B}_0 stvorena slobodnim strujama vodiča \vec{J}_s + indukcija \vec{B}_a od dodatnog izvora amperskih struja \vec{J}_a
- Ukupnu indukciju dobivamo superpozicijom:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_a \Rightarrow \nabla \times \vec{B} = \mu_0 (\vec{J}_s + \vec{J}_a) \Rightarrow \nabla \times \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \right) = \vec{J}_s$$

- Uvodimo dodatni vektor jakosti magnetskog polja:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \Rightarrow \nabla \times \vec{H} = \vec{J}_s$$

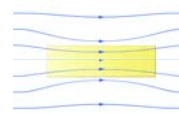
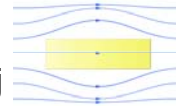
16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

6

Magnetski materijali

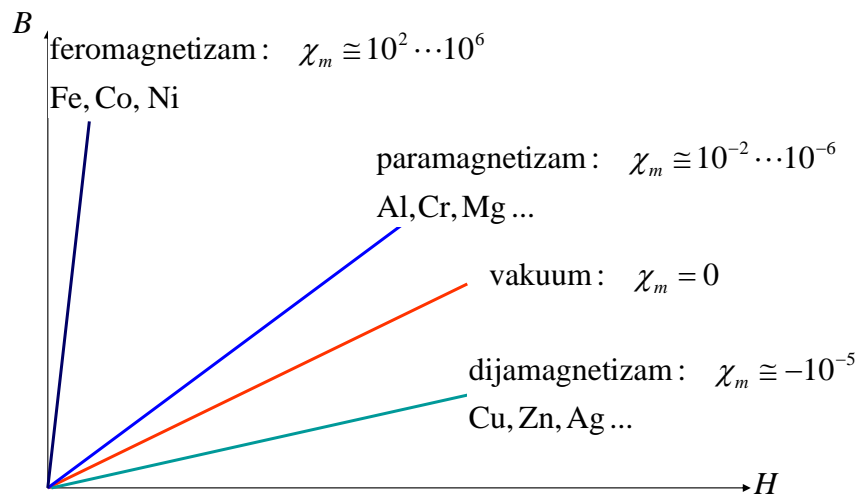
- Vrijedi: $\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$
- Magnetska susceptibilnost χ_m
- Ponašanje materijala
 - Dijamagnetizam: $\chi_m < 0$
 - Susceptibilnost – mali negativni broj
 - Paramagnetizam
 - Susceptibilnost – mali pozitivni broj
 - Feromagnetizam
 - Susceptibilnost – veliki pozitivni broj
 - Složena nelinearna ovisnost M i H



16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

7



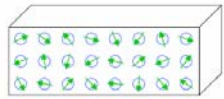
16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

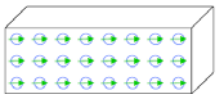
8

Proces magnetizacije feromagneta

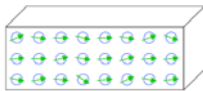
demagnetizirano stanje



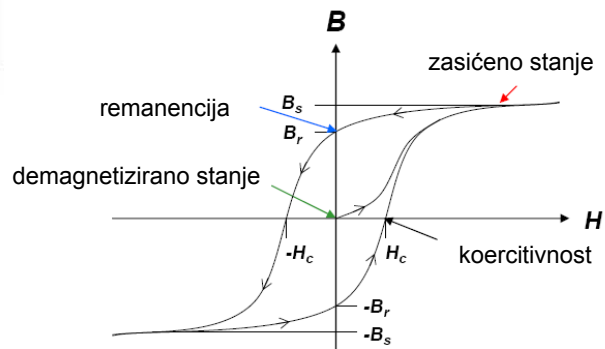
zasićeno stanje



remanencija



HISTEREZA



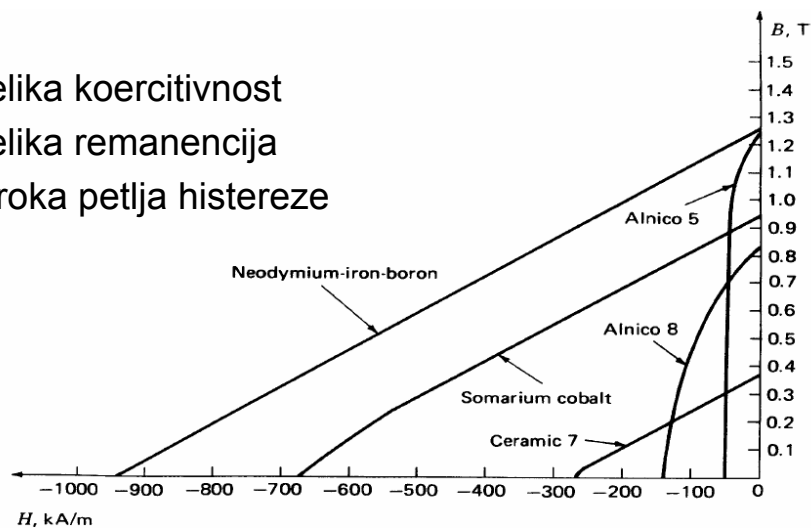
16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

9

Permanentni magneti

- Velika koercitivnost
- Velika remanencija
- Široka petlja histereze



16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

10

Jednadžbe statičkog magnetskog polja u materijalu

- Ampereov zakon u materijalima:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_s \Rightarrow \oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \vec{J}_s \cdot \vec{n} dS = I$$

- Jednadžba

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \Rightarrow \oiint_S \vec{B} \cdot \vec{n} dS = 0$$

ne uključuje izvore polja pa se ne mijenja prisutnošću materijala

16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

11

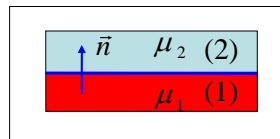
Uvjeti na granici dva materijala

- Izvide se iz integralnog oblika jednadžbi polja
- Postupak analogan pokazanom za statičko električno polje
- Tangencijalna komponenta $\vec{H} \rightarrow$ skok za iznos gustoće slobodnih plošnih struja na granici:

$$\vec{n} \times (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{K}_s$$

- Okomita komponenta $\vec{B} \rightarrow$ kontinuirano prelazi granicu:

$$\vec{n} \cdot (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) = 0$$



16.4.2007

EMP - Materijali u magnetskom polju

12

Primjer: Magnetsko polje ulazi iz zraka $\mu_1 = \mu_0$ gdje je magnetska indukcija:

$$\vec{B}_1 = \vec{a}_x 0,01 + \vec{a}_z 0,02 \text{ (T)}$$

u feromagnetski materijal s $\mu_2 = 100 \mu_0$. Granica sredstava je ravnina $z = 0$, na kojoj postoji plošna struja $\vec{K}_s = \vec{a}_x 5000 \text{ (A/m)}$. Odrediti magnetsku indukciju u feromagnetskom materijalu.

