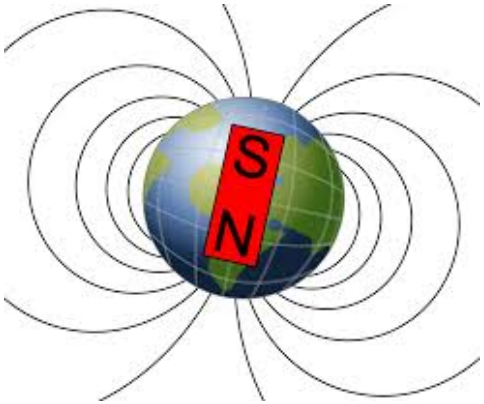
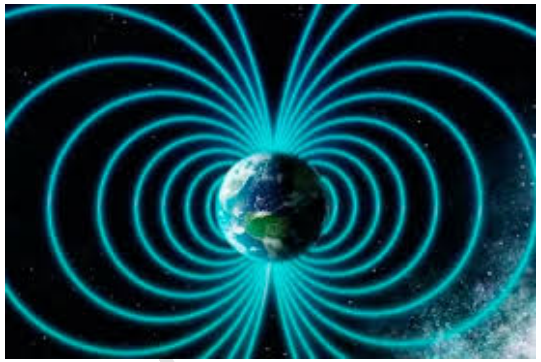
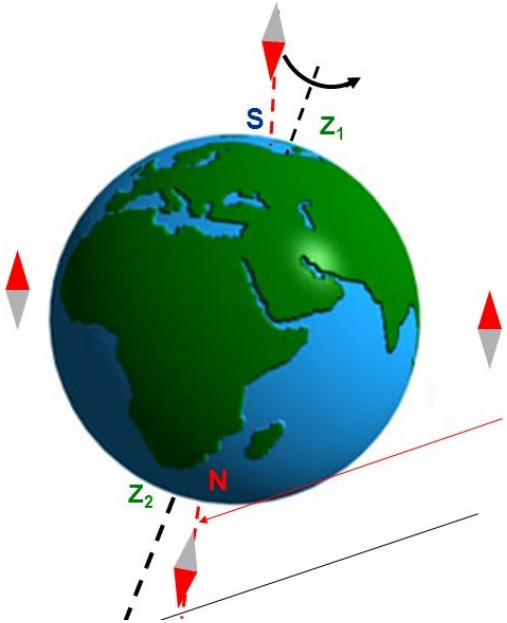
VIII. Magnetické pole - základná terminológia

KPHV FEI TUKE







1600 - William Gilbert - O magnete, magnetických telesách a veľkom magnete Zemi

1820 - Hans Christian Oersted - existencia súvislosti medzi elektrickými a magnetickými javmi

KPFIV

Magnetická indukcia

KPHV FVT TUKE

V okolí vodičov, ktorými preteká elektrický prúd a v okolí stálych magnetov je magnetické pole, ktoré sa prejavuje silovým pôsobením na vodič s prúdom alebo na oceľové predmety.

Magnetické pole je časť elektromagnetického poľa, ktorá sa prejavuje silovým pôsobením na pohybujúce sa elektricky nabité častice.

Magnetická sila je sila, ktorou magnetické pole pôsobí na nabité častice.

Magnetické pole pôsobí iba na pohybujúce sa častice s nábojom, preto v magnetickom poli budeme uvažovať o častici s nábojom Q pohybujúcej sa rýchlosťou v.

KFHV FVT TUKE

Magnetická indukcia magnetického poľa je vektorová veličina, ktorá v istom mieste poľa má veľkosť rovnú podielu maximálnej sily F, ktorou pole v tomto mieste poľa pôsobí na časticu s nábojom Q pohybujúcu sa rýchlosťou v a súčinu Qv, teda platí:

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{Q\vec{v}} \Rightarrow B = \frac{F}{Qv}$$

Jednotkou magnetickej indukcie je tesla T. Jeden tesla je magnetická indukcia v tom mieste magnetického poľa, v ktorom pole pôsobí na časticu s nábojom $1C$ pohybujúcu sa rýchlosťou $1m \cdot s^{-1}$ maximálnou silou $1N$.

$$[B] = \frac{[F]}{[Q]\,[v]} = \frac{1N}{1C \cdot 1m \cdot s^{-1}} = 1\frac{N}{A \cdot m} = 1T$$

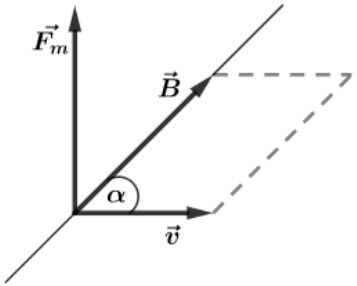
Pozn. V každom mieste magnetického poľa existujú dva navzájom opačné smery rýchlosti $\vec{v}$, pre ktoré magnetická sila $\vec{F}_m$, ktorou pole pôsobí na časticu s nábojom Q, nadobúda maximálnu hodnotu $\vec{F}$.

KPHV FVT TUKE

V každom mieste magnetického poľa existujú dva navzájom opačne smery rýchlosti, pre ktoré je magnetická sila rovná 0 ($F_m = 0$). Smer vektora $\vec{B}$ je jeden z týchto smerov. Vektor $\vec{B}$ má taký smer, aby pre magnetickú silu $\vec{F}_m$, ktorá v danom bode pôsobí na časticu s nábojom Q a rýchlosťou $\vec{v}$ platilo:

$$\vec{F}_m = Q\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$$

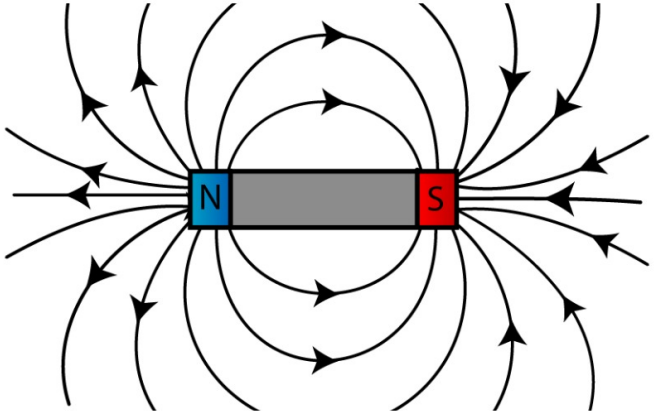
$$F_m = QBv \sin\alpha$$



KPHV FVT TUKE

Magnetické pole znázorňujeme pomocou magnetických indukčných čiar, t.j. orientované (myslené) čiary, ktorých dotyčnica v každom bode má smer vektora magnetickej indukcie $\vec{B}$. Smer magnetických indukčných čiar určujeme pomocou Ampérovho pravidla pravej ruky.

Ampérovo pravidlo pravej ruky: Ak položíme pravú ruku tak, aby palec ukazoval konvenčný (dohodnutý) smer prúdu vo vodiči, pokrčené prsty ukazujú smer magnetických indukčných čiar v okolí vodiča.



Pozn. Vektor magnetickej indukcie $\vec{B}$ má súhlasný smer so smerom dotyčnice k indukčnej čiare prechádzajúcej daným bodom a je orientovaný súhlasne s indukčnou čiarou.

KPHV FVT TUKE

V blízkom okolí vodiča s prúdom majú indukčné čiary tvar kružníc.

V blízkosti pozdĺžnej osi cievky sú indukčné čiary magnetického poľa rovnobežné s osou.

Mimo cievky sa magnetické indukčné čiary rozbiehajú.

Stacionárne magnetické pole - ak vektor magnetickej indukcie $\vec{B}$ je iba funkciou polohy a nezávisí od času. Je to magnetické pole, ktorého zdrojom je nepohybujúci sa permanentný magnet s konštantným prúdom alebo nepohybujúci sa permanentný magnet.

Homogénne magnetické pole - ak vektor magnetickej indukcie $\vec{B}$ je vo všetkých bodoch poľa rovnaký (indukčné čiary sú rovnobežné priamky.). Napr. magnetické pole vnútri cievky.

Každé reálne pole je nehomogénne. Homogénne magnetické pole (resp. pole blízke homogénnemu poľu) môžeme vytvoriť v ohraničenej oblasti.

KFHV FVT TUKE

Magnetické pole vodičov s prúdom

KPHV FVT TUKE

Biotov-Savartov-Laplaceho zákon v diferenciálnom tvare:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{d\vec{L}\times\vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{dQ}{dt}\frac{d\vec{L}\times\vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}dQ\frac{d\vec{L}}{dt}\times\frac{d\vec{r}}{r^3} =$$

$$\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{dQ\vec{v}\times\vec{r}}{r^3} \Rightarrow \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Q\vec{v}\times\vec{r}}{r^3} \Rightarrow B = \frac{\mu_0}{4\pi}Qvr\sin\alpha$$

Zákom odvodzuje ako prispieva k indukcii magnetického poľa v bode s polohovým vektorom $\vec{r}$ veľmi krátky úsek vodiča ΔL s prúdom I, kde α je uhol vektora $\vec{r}$ so smerom prúdu a $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N \cdot A^{-2}$ je magnetická konštanta (permeabilita vákua).

KPHVLF

Pre veľkosť magnetickej indukcie magnetického poľa nekonečne dlhého vodiča s ustáleným prúdom I vo vákuu vo vzdialenosti d od vodiča platí:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{d}$$

Pre veľkosť magnetickej indukcie magnetického poľa na osi nekonečne dlhého solenoidu (husto navinutá valcová cievka, ktorej dĺžka je väčšia ako priemer) s počtom závitov N na dĺžke L a pretekajúcim prúdom I, platí:

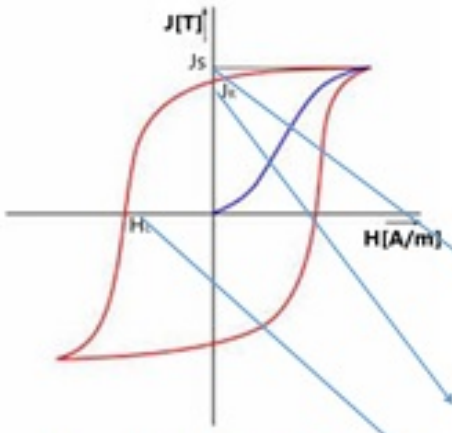
$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I$$

Orientáciu indukčných čiar u priameho vodiča (resp. orientáciu vektora magnetickej indukcie u solenoidu) určíme pomocou Ampérovho pravidla pravej ruky.

KPHV FVT TUKE

Magnetické vlastnosti látok

KPHV FVT TUKE



$$J = \mu_0 \chi H$$

χ - susceptibilita

$$B = \mu_0 (1 + \chi) H$$

polarizácia nasýtenia

remanentná polarizácia

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

koercivita

$$B = \mu_0 H + J$$

μ_r – relatívna permeabilita magnetika

B – indukcia magnetického poľa
μ_0 – permeabilita vákua
H – vektor intenzity
J – vektor magnetickej polarizácie

$$B = \mu H$$

μ – permeabilita magnetika

Ak do homogenného magnetického poľa (vonkajšie magnetické pole) s indukciou B_0 vo vákuu vložíme látku, bude mať magnetická indukcia hodnotu B. V látke sa vytvorí vnútorné magnetické pole s indukciou B_i, ktoré spolu s vonkajším magnetickým poľom vytvorí výsledné magnetické pole s magnetickou indukciou B:

$$B = B_0 + B_i = \mu_r B_0,$$

μ_r je charakteristika látky, ktorá sa nazýva relatívna permeabilita.

Súčin $\mu = \mu_0 \mu_r$ sa nazýva permeabilita látky.

diamagnetické látky: μ_r menej ako 1

paramagnetické látky: μ_r viac ako 1

feromagnetické látky: μ_r výrazne viac ako 1

KPHV FVT TUKE

Diamagnetické látky sú zložené z diamagnetickych atómov (výsledný magnetický moment je nulový). Ak diamagnetickú látku vložíme do vonkajšieho magnetického poľa, stav elektrónov sa zmení tak, že vzniknú magnetické momenty orientované proti vonkajšiemu magnetickému poľu. Preto diamagnetická látka mierne zoslabuje magnetické pole. Napr.: Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Hg...

Paramagnetické látky sú zložené z paramagnetických atómov (výsledný magnetický moment je nenulový). Ak paramagnetickú látku vložíme do vonkajšieho magnetického poľa, magnetické momenty atómov sa natáčajú do smeru vonkajšieho magnetického poľa, preto sa magnetické pole v látke mierne zosilní. Napr.: Al, Pt, Na, Cr, Mg, O_2

Feromagnetické látky sú zložené z paramagnetických atómov, existujú v nich oblastí, tzv. domény. Ak feromagnetickú látku vložíme do vonkajšieho magnetického poľa, magnetické polia domén sa orientujú súhlasne so smerom magnetického poľa, preto feromagnetické látky výrazne zosilňujú magnetické pole.

KPHV FVT TUKE

diamagnetické látky

$$\chi < 0$$

$$\mu_r < 1$$

paramagnetické látky

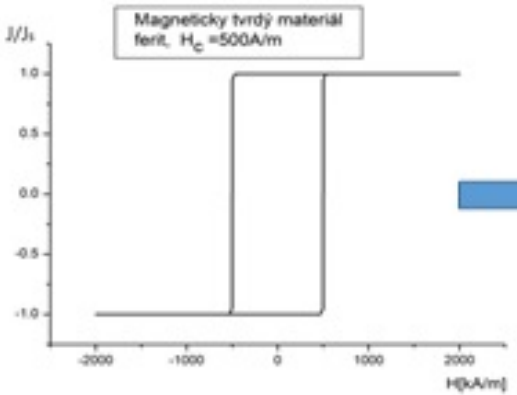
$$\chi > 0$$

$$\mu_r > 1$$

feromagnetické látky

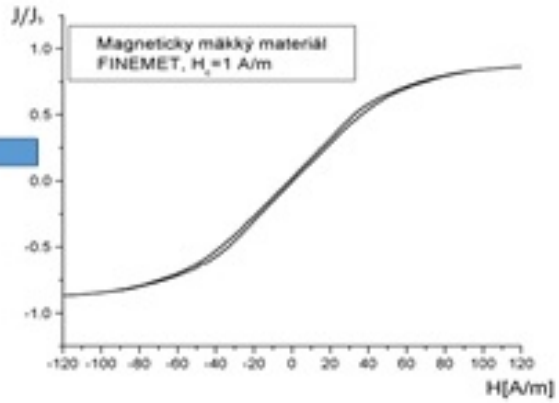
$$\chi \gg 1$$

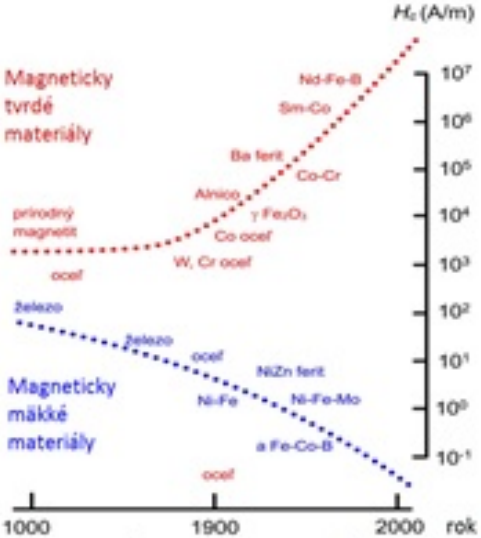
$$\mu_r \gg 1$$



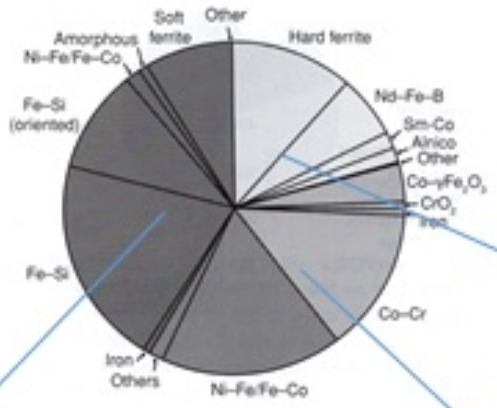
- vysoká hodnota energetického súčinu
- ťažko sa magnetizujú
- ťažko sa demagnetizujú
- vysoká koercivita
- permanentné magnety

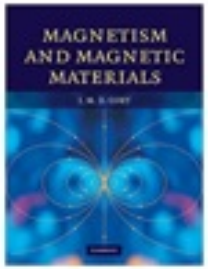
- vysoká permeabilita
- ľahko sa magnetizujú
- ľahko sa demagnetizujú
- nízka koercivita
- jadrá cievok





vývoj a použitie magnetických materiálov - úspešný trend

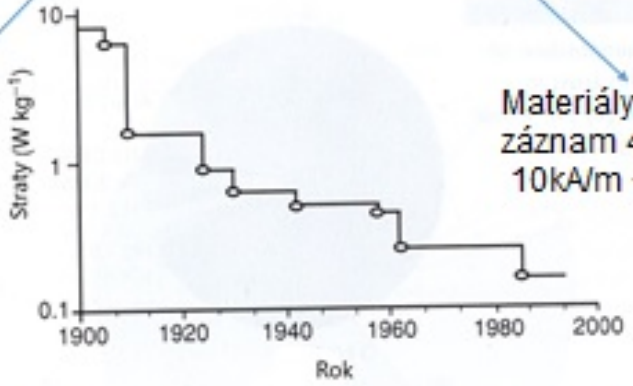




Permanentné magnety 20%
H_c > 400kA/m

Materiály pre magneticky záznam 40%
10kA/m <H_c<400kA/m

Magneticky mäkké materiály 40%
H_c < 10kA/m



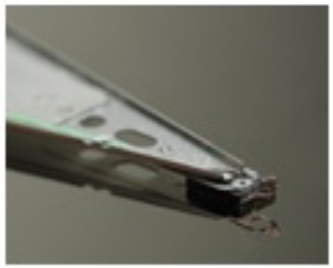
J. M. D. Coey, Magnetism and Magnetic Materials, Cambridge University Press, 2009

MAGNETICKÉ MATERIÁLY

zaujímavé vlastnosti, bohaté použitie, význam pre technickú prax

Použitie:

- rotory a statory elektromotorov a generátorov
- jadrá transformátorov a cievok
- elektromagnety, senzory, snímače
- hlavy prístrojov na zaznamenávanie informácií



Ekonomické a ekologické aspekty výroby, využívania a likvidácie

- úspora materiálov, náhrada doteraz používaných materiálov
- využívanie magnetických materiálov v nových situáciách
- úspora elektrickej energie pri výrobe a prevádzke zariadenia
- nižšie náklady na proces výroby
- recyklácia