

Meno a priezvisko:

Škola:

Predmet:

Školský rok/blok:

Skupina:

Trieda:

Dátum:

Bilingválne gymnázium C. S. Lewisa, Beňadická 38, Bratislava

Fyzika

/

Teória

Magnetické pole

Stacionárne magnetické pole

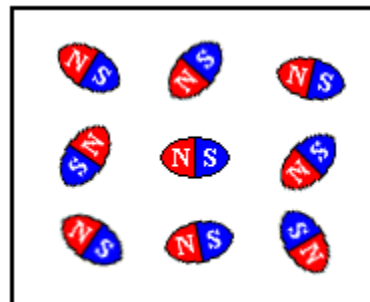
1.1.7 Látky v magnetickom poli

Veľkosť magnetickej indukcie cievky je závislá od permeability prostredia v ktorom sa cievka nachádza, resp. ktorým je tvorené jej jadro. Preto je magnetická indukcia cievky navinutej na uzatvorenom oceľovom jadre väčšia ako magnetická indukcia rovnakej cievky bez jadra.

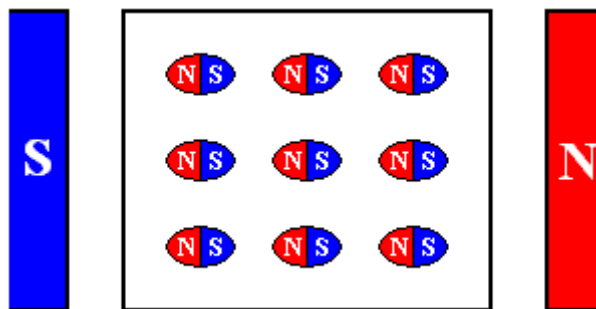
Hodnota relatívnej permeability je určená vlastnosťami atómov, z ktorých je látka zložená. Tento poznatok bol známy už Ampérovi, ktorý tvrdil, že magnetické vlastnosti látok určujú elektrické prúdy vo vnútri týchto látok.

Zjednodušený model si môžeme predstaviť nasledovne: elektróny v atómoch vytvárajú elementárne magnetické polia, ktoré sa skladajú a vytvárajú výsledné magnetické pole atómu. Podľa usporiadania elektrónov v atóme delíme magnetické látky do troch skupín:

1. **Diamagnetické látky** sa skladajú z diamagnetických atómov a majú relatívnu permeabilitu o málo nižšiu ako 1 ($\mu_r < 1$). To znamená, že tieto látky mierne zoslabujú magnetické pole. Patria sem inertné plyny, zlato, meď, ortuť, **Diamagnetické látky sa od magnetu odpudzujú.**
2. **Paramagnetické látky** sú zložené z paramagnetických atómov a ich permeabilita je o niečo väčšia ako 1, tj. $\mu_r > 1$. Tieto látky mierne zosilňujú magnetické pole (draslík, sodík, hliník, ...). Atómy týchto látok majú vlastné magnetické pole. Vonkajším magnetickým polom je možné usporiadať ich tak, aby došlo k súhlasnej orientácii magnetických polí jednotlivých atómov, a tým aj k značnému zosilneniu magnetického poľa v materiáli. V skutočnosti ale tento stav nenastáva – bráni mu v tom **tepelný pohyb**. Magnetické pole v paramagnetickej látke nie je možné zosilniť ani vonkajším polom s veľmi veľkou magnetickou indukciou. **Paramagnetická látka sa k magnetu priťahuje a bude sama priťahovať drobné kovové predmety (kancelárske spinky, ...) len v prípade, že bude v blízkosti magnetu. Paramagnetickú látku nie je možné zmagnetizovať trvale.**
3. **Feromagnetické látky** sú zložené tiež z paramagnetických atómov, ale v takom usporiadaní, že výrazne zosilňujú magnetické pole. Ich relatívna permeabilita je oveľa väčšia ako 1 ($\mu_r \gg 1$). Už slabým magnetickým polom je možné u nich vyvolať také usporiadanie atómov, že sa magnetické pole zosilní a dôjde k zmagnetovaniu látky. Magnetické pole vo feromagnetickkej látke zostáva aj po zaniknutí vonkajšieho poľa. Príčinou magnetizácie látky je pôsobenie tzv. **výmenných síl** susednými atómami. Ich vplyvom nastáva aj bez vonkajšieho magnetického poľa súhlasné usporiadanie magnetických polí v malej oblasti látky. Pri tejto **spontánnej (samovolnej) magnetizácii** vznikajú v látke zmagnetované mikroskopické oblasti (ich objem je približne $10^{-3} - 10 \text{ mm}^3$), ktoré nazývame **magnetické domény**. Ich orientácia je náhodná. Pôsobením vonkajšieho magnetického poľa sa tieto domény orientujú súhlasne a látka získava vlastnosti



magnetu. Pri tomto jave sa objem domén postupne zväčšuje, až sa pri ich súhlasnom usporiadaní doménová štruktúra stráca – látka je magneticky nasýtená. **Feromagnetickú látku je možné zmagnetovať trvale: napríklad ak priložíme permanentný magnet k skrutkovaču alebo nožíku, začne priťahovať drobné kovové predmety (kancelárske spinky, šróbiky, ...). Feromagnetická látka je tvorená rovnakým druhom atómov ako látka paramagnetická, líšia sa ale v inom usporiadaní atómov a teda aj v inom vzájomnom silovom pôsobení.**



Štruktúru paramagnetickej látky sme zobrazili na prvom obrázku. Zmagnetované oblasti sú ale v paramagnetickej oblasti výrazne menšie ako v látke feromagnetickej – v látke paramagnetickej sa jedná len o jednotlivé atómy, zatiaľ čo v látke feromagnetickej ide o „zhluky“ atómov. Navyše tieto oblasti nie je možné v paramagnetickej látke usporiadať v smere vonkajšieho magnetického poľa (ako u feromagnetickej látky – druhý obrázok); tomuto preusporiadaniu bráni tepelný chaotický pohyb častíc látky.

Počet feromagnetických látok nie je veľký, napriek tomu majú značný praktický význam: vyrábajú sa z nich jadrá cievok v elektromagnetoch, transformátoroch, elektrických strojoch,

Základné vlastnosti feromagnetických látok

1. Feromagnetizmus sa prejavuje len vtedy, ak je látka **v kryštalickom stave** – v kvapalnom alebo plynnom stave sa správajú látky ako paramagnetické. **Feromagnetizmus je teda vlastnosťou štruktúry, nie jednotlivých atómov.**
2. Pre každú feromagnetickú látku existuje určitá teplota – tzv. **Curieho teplota**. Po jej prekročení látka stráca feromagnetické vlastnosti a stáva sa látkou paramagneticou.

Pri prekročení Curieho teploty (je to spravidla rádovo niekoľko stovák °C) je tepelný pohyb tak intenzívny, že sa vzniknuté magnetické domény rozpadajú na jednotlivé atómy.

Ak chcete zničiť magnet, vhodte ho do ohňa. Ak ho necháte chladnúť bez prítomnosti magnetického poľa, získate kus nemagnetického materiálu. Ak ho opäť zahrejete na Curieho teplotu a necháte ho opäť vychladnúť – ale v magnetickom poli, získate opäť magnet.

Vzniku domén totiž bráni vnútorný tepelný pohyb častíc. Preto sa tieto domény jednoduchšie vytvoria v prítomnosti vonkajšieho magnetického poľa. Pred opätovným vytvorením magnetických domén je nutný ohrev na Curieho teplotu preto, aby sa intenzívnym tepelným pohybom rozpadli zvyšky magnetických domén, ktoré mohli v štruktúre látky zostať z predošlého magnetovania. Bez ohrevu na Curieho teplotu by bolo nutné použiť veľmi silné magnetické pole.

K natočeniu domén je nutné dodať určitú energiu, je nutné vykonať určitú prácu. A túto energiu je možné získať ohriatím materiálu (častice a domény začnú intenzívnejšie vibrovať a je teda jednoduchšie preklopiť ich do požadovanej polohy) alebo silným magnetickým poľom (magnetická sila sa bude snažiť domény natočiť tak, aby boli v energeticky výhodnom stave).

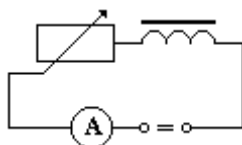
Medzi feromagnetické látky patria tiež **ferimagnetické látky (ferity)** – zlúčeniny Fe_2O_3 s oxidmi iných kovov (Mn, Ba, ...). Majú omnoho väčší elektrický odpor ako kovové feromagnetické látky, a preto našli široké uplatnenie v praxi (slaboprúdová elektrotechnika, permanentné magnety, ...).

1.1.8 Magnetická hysterézia

Pre veľkosť magnetickej indukcie veľmi dlhej cievky platí vzťah:

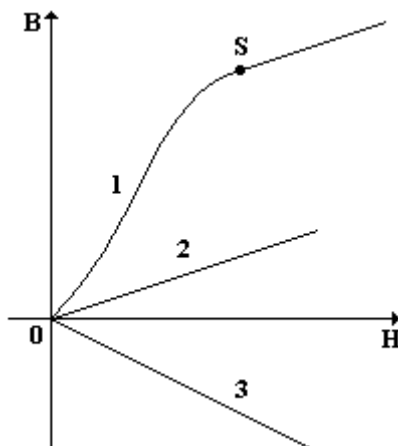
$$B = \mu_0 \mu_r \frac{N.I}{l} = \mu \frac{N.I}{l} = \mu.H$$

kde $H = \frac{N.I}{l}$ je **intenzita magnetického poľa**; $[H] = A.m^{-1}$. Je to vektorová fyzikálna veličina, ktorej vektor má (v izotropnom prostredí – v prostredí, ktoré má vo všetkých smeroch rovnaké vlastnosti) rovnaký smer ako vektor magnetickej indukcie. Relatívna permeabilita feromagnetických látok nie je konštantná, ale závisí na veľkosti intenzity magnetického poľa. Závislosť $B = \mu_0 \mu_r H$ nie je lineárna.

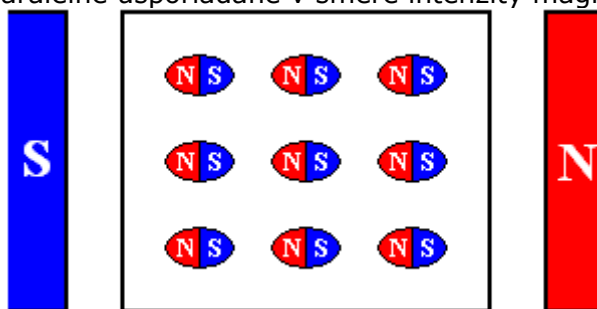


Ak budeme v uvažovanej cievke s magnetickým jadrom z feromagnetической látky (podľa schémy zapojenia) postupne zväčšovať prúd z nulovej hodnoty, bude sa magnetická indukcia v jadre zväčšovať v závislosti na zväčšujúcej sa intenzite magnetického poľa.

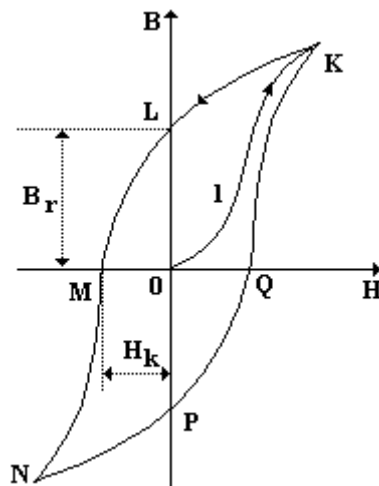
Veľkosť magnetickej intenzity je daná vzťahom $H = \frac{N.I}{l}$, to znamená, že magnetická intenzita sa mení v závislosti na zmene prúdu. Počet závitov cievky N a jej dĺžka l zostávajú konštantné. Opisujeme závislosť magnetickej indukcie od prúdu, ktorý preteká cievkou.



Grafom tejto závislosti je krivka prvotnej magnetizácie, ktorá je zobrazená na obrázku (krivka č.1). Bod S na tejto krivke zodpovedá magnetickému nasýteniu látky. To je stav, pri ktorom sú magnetické domény paralelne usporiadané v smere intenzity magnetického poľa $\vec{H}$.



Ďalšie zväčšovanie magnetickej indukcie za bod S je spôsobené zväčšovaním magnetickej indukcie poľa samotnej cievky (tj. už ďalej sa neuplatní vplyv feromagnetického jadra) – krivka č.2. Krivka č.3 znázorňuje diamagnetickú látku.



Pri znižovaní veľkosti intenzity magnetického poľa (teda pri znižovaní prúdu, ktorý tečie cievkou) sa znižuje i veľkosť magnetickej indukcie. Grafom závislosti je krivka KL , ktorá hovorí o **nevratnosti magnetizačných procesov vo feromagnetických látkach**. Na obrázku je zakreslený celý graf.

Po dosiahnutí nulovej hodnoty intenzity magnetického poľa neklesne veľkosť magnetickej indukcie na nulovú hodnotu, ale na hodnotu B_r . Látka je teda zmagnetizovaná i bez pôsobenia vonkajšieho magnetického poľa. Magnetická indukcia $\vec{B}_r$ sa nazýva **remanentná (zbytková) magnetická indukcia**. Ak zmeníme smer vektora intenzity magnetického poľa na opačný (tj. obrátíme smer prúdu v cievke), bude sa s ďalším zväčšovaním prúdu tečúcim cievkou (teda aj so zväčšovaním veľkosti magnetickej intenzity) znižovať veľkosť magnetickej indukcie (časť krivky LM).

Ak dosiahneme veľkosť intenzity magnetického poľa hodnoty H_k (tzv. **koercitívna intenzita magnetického poľa**), klesne veľkosť magnetickej indukcie v látke na nulu (bod M). Pri ďalšom zväčšovaní intenzity magnetického poľa (a teda aj prúdu prechádzajúceho cievkou) sa vzorka magnetizuje opačne až do nasýtenia (bod N). Po dosiahnutí bodu N začneme intenzitu magnetického poľa opäť znižovať (ako v predošlom prípade) a po dosiahnutí jej nulovej veľkosti zmeníme opäť smer prúdu v cievke a dostaneme sa do bodu K (časť krivky $NPQK$). Tým je jeden magnetizačný cyklus uzatvorený.

Opísaný jav sa nazýva **magnetická hysterézia** a krivka $KLMNPQK$ **hysterézna slučka**.

Hysterézna slučka je dôležitou charakteristikou feromagnetických látok – dajú sa z nej určiť hodnoty B_r a H_k , je možné odhadnúť tzv. **hysterézne straty**, ktoré sú príčinou **nežiadúceho zahrievania feromagnetických látok pri ich striedavej magnetizácii** (zahrievanie ocelových jadier transformátorov, ...). Hysterézne straty sú priamo úmerné obsahu plochy ohraničenej hysteréznu slučkou.

Podľa tvaru krivky delíme látky na:

1. **Magneticky tvrdé** – majú širokú hysteréznou slučku, veľkú hodnotu B_r a sú preto viac odolné voči zmagnetovaniu (ocel s vysokým obsahom uhlíka, ...). Po zrušení vonkajšieho magnetického poľa zostávajú naďalej zmagnetizované a správajú sa ako permanentný magnet. Ich magnetické pole je možné zrušiť pomocou vonkajšieho magnetického poľa opačnej polarizácie (napríklad do cievky s jadrom zavedieme prúd opačného smeru).
2. **Magneticky mäkké** – materiály s úzkou hysteréznu slučkou, ktoré sa dajú ľahko zmagnetizovať (magnetofónové pásky, diskety, ...). Majú malú B_r , čo znamená, že po zrušení vonkajšieho magnetického poľa ich vlastné magnetické pole prakticky zaniká.

