

16 Vzájomné pôsobenie látky a poli

16.1 elektrické pole

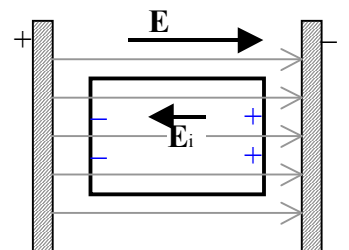
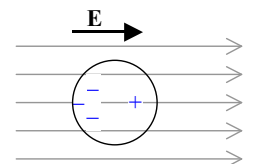
16.1.1 vodič v elektrickom poli

- elektrické vodiče sú látky, ktoré obsahujú veľký počet častíc s nábojom, ktoré sa v nich môžu voľne pohybovať. Tieto častice nazývame **voľné častice s nábojom**. V kovových vodičoch (napr. meď, hliník, striebro) sú to **voľné elektróny**, v kvapalinových vodičoch (v elektrolytoch, napr. roztokoch solí alebo kyselín vo vode) sú to **kladné a záporné ióny** a vo vodivých plynoch elektróny a oba druhy iónov.
- voľné častice s nábojom sa vo vodičoch ustavične a neusporiadane pohybujú, preto je vo vodiči, ktorý nie je nabitý a nie je vo vonkajšom elektrickom poli, ich rozloženie také, že v ľubovoľnej časti vodiča je úhrnný náboj nulový. Navonok sú vodiče elektricky neutrálne.
- zmena rozloženia voľných nabitých častíc vo vodiči nastane, ak vložíme nenabitý vodič do elektrického poľa – nastane **elektrostatická indukcia**
 - o elektrostatická indukcia je jav, pri ktorom sa protilahlé časti povrchu vodiča vloženého do elektrického poľa zelektrizujú nábojom s rovnakou veľkosťou, ale opačným znamienkom. Takto vzniknuté náboje častíc nazývame indukované náboje.
 - o keď vodič nabitý nesúhlasnými nábojmi vyberieme z elektrického poľa, elektrická indukcia zanikne; vodič sa vráti do pôvodného stavu
- vodič vložený do elektrického poľa zmení v dôsledku elektrostatickej indukcie tvar siločiar tohto poľa, a tak jav elektrostatickej indukcie sa využíva na ochranu rozličných zariadení pred vplyvom elektrického poľa, tzv. **elektrické tienenie**

16.1.2 izolant v elektrickom poli

- **izolanty (dielektriká)** obsahujú rovnako ako vodiče veľký počet častíc s nábojom, z ktorých sú zložené ich atómy alebo molekuly, no takmer všetky nabité častice sú v dielektrikách viazané vzájomnými silami tak, že sa nemôžu v látke voľne pohybovať
- **polarizácia dielektrika:**
 - o pôsobením síl vonkajšieho elektrického poľa na izolant sa ťažisko protónov v atómoch posunie o veľmi malú vzdialenosť v smere intenzity \vec{E}_e a ťažisko elektrónov v opačnom smere. Atómy alebo molekuly v izolante sa stávajú **elektrickými dipólmi**
 - o utvorenie dipólov a ich pravidelné usporiadanie sa prejaví tak, že sa na povrchu dielektriká objaví tenká vrstva s **viazanými elektrickými nábojmi**; táto vrstva je zdrojom nového elektrostatického poľa.
- polarizáciou dielektrika sa tvorí vnútorné elektrické pole s intenzitou \vec{E}_i opačného smeru, ako je smer intenzity \vec{E}_e vonkajšieho elektrického poľa. Intenzita \vec{E} výsledného poľa má smer intenzity \vec{E}_e a jej veľkosť je $|\vec{E}| = |\vec{E}_e| - |\vec{E}_i|$
- intenzita výsledného poľa je vždy menšia ako intenzita poľa, ktoré polarizáciu vyvolalo, a preto platí:

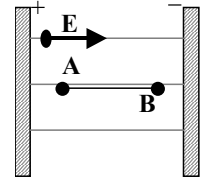
- o $\varepsilon_r = \frac{|\vec{E}_e|}{|\vec{E}|}$, kde ε_r je **relatívna permitivita** (je to látková konštanta, ktorá má pre rozličné dielektriká rozdielnu hodnotu)



- intenzita elektrického poľa v izolante (dielektriku) je za inak rovnakých podmienok ϵ_r -krát menšia ako intenzita elektrického poľa vo vákuu
 - o keď sú v homogénnom izotropnom dielektriku umiestnené vo vzdialenosti r dva voľné bodové náboje s veľkosťou Q_1 a Q_2 , potom na každú z nich pôsobí elektrická sila s veľkosťou:
 - $F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$, kde $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ je **permitivita dielektrika**, ϵ_0 je **permitivita vákuu**, pričom $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$

16.1.3 častica s nábojom v elektrickom poli

- keď vložíme do istého miesta elektrického poľa s intenzitou E náboj Q (kladný alebo záporný), pôsobí naň elektrická sila:
 - o $\vec{F}_e = Q\vec{E}$
- pre intenzitu elektrického poľa platí:
 - o $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q}$, $[E] = \text{N.C}^{-1} = \text{V.m}^{-1}$
- elektrický potenciál v danom bode poľa je určený pomerom práce, ktorú vykonajú sily elektrického poľa pri premiestnení kladného náboja Q' z daného miesta na povrch Zeme a veľkosti tohto náboja
 - o $\varphi_e = \frac{E_p}{Q'} = \frac{W}{Q'}$, $[\varphi_e] = \text{J.C}^{-1} = \text{V}$
- v homogénnom poli medzi dvoma rovnobežnými vodivými platňami má kladne nabitá platňa vzhľadom na uzemnenú platňu potenciál:
 - o $\varphi_e = |\vec{E}|d$, kde d je vzdialenosť platní
- pre **prácu** síl v homogénnom elektrickom poli platí:
 - o $W = F_e(d_1 - d_2) = |Q\vec{E}|d$, kde d je vzájomná vzdialenosť začiatočnej a konečnej polohy náboja
- podobne ako v gravitačnom poli ani v elektrickom poli nezávisí vykonaná práca od trajektórie, ale od vzájomnej vzdialenosti d miest A a B
- pre veľkosť práce vykonanej pri prenesení náboja Q medzi dvoma bodmi, medzi ktorými je napätie U , platí:
 - o $W = |\vec{E}|Qd = \frac{U}{d}Qd = QU$



16.2 magnetické pole

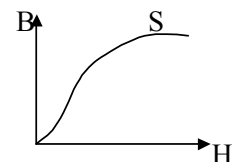
16.2.1 látky v magnetickom poli

- látky, ktoré výrazne reagujú na priblíženie magnetu (ocel, nikel), nazývame **feromagnetické**. Ostatné látky nazývame **neferomagnetické**. O žiadnej látke nemožno povedať, že je nemagnetická.
- rozdielne magnetické vlastnosti látok sú podmienené nerovnakými magnetickými vlastnosťami atómov, ich rozmiestnením v látke a charakterom ich vzájomného pôsobenia (interakciou).
 - o elektrón obiehajúci okolo jadra atómu utvára prúd, ktorý predstavuje rovinnú prúdovú slučku, ktorá má istý magnetický moment – **orbitálny magnetický moment**. Okrem toho má elektrón ešte vlastný **spinový magnetický moment**. výsledný magnetický moment atómu je daný vektorovým súčtom orbitálnych a spinových magnetických momentov jeho elektrónov. jadro atómu prispieva k celkovému magnetickému momentu atómu veľmi málo.

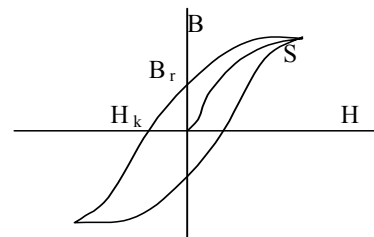
- atómy, ktorých výsledný magnetický moment je nulový, volajú sa **diamagnetické**, atómy s nenulovým magnetickým momentom sú **paramagnetické**
 - o **diamagnetické látky** (inertné plyny, zlato, meď, ortuť) majú relatívnu permeabilitu o niečo menšiu ako jedna, a preto nepatrne zoslabujú magnetické pole
 - o **paramagnetické látky** (platina, hliník, mangán, kyslík) majú relatívnu permeabilitu o niečo väčšiu ako jedna, a preto nepatrne zosilňujú magnetické pole. Magnetické nasýtenie (paralelné usporiadanie magnetických momentov) sa nedá dosiahnuť ani pôsobením silného vonkajšieho magnetického poľa.
- **feromagnetické látky** (nikel, oceľ, čisté železo) sa skladajú z paramagnetických atómov, no napriek tomu magnetické nasýtenie sa dá dosiahnuť už v magnetickom poli bežného elektromagnetu. Relatívna permeabilita feromagnetických látok je oveľa väčšia ako jedna (10^2 až 10^5).
 - o medzi najbližšími susednými atómami pôsobia **výmenné sily**, ktoré spôsobujú paralelné usporiadanie magnetických momentov. Smer, v ktorom sa magnetické momenty atómov usporiadajú, nie je rovnaký pre celú vzorku látky, a tak atómy, ktorých magnetické momenty sú usporiadané rovnakým smerom, tvoria **magnetickú doménu**. Tento jav sa nazýva **spontánna magnetizácia**.
 - o pôsobením vonkajšieho magnetického poľa sa magnetické momenty domén stáčajú do smeru vektora magnetickej indukcie, až kým nevymizne doménová štruktúra a látka sa stane magneticky nasýtenou. Tento dej sa nazýva **magnetizovanie**.
 - o do skupiny feromagnetických látok patria **ferimagnetické látky (ferity)**. Sú to zlúčeniny oxidu železa Fe_2O_3 a oxidmi iných kovov (ferit manganatý, ferit bárnatý). Ich relatívna permeabilita je 10^2 až 10^3 .

16.2.2 magnetická hysterézia

- pre veľkosť magnetickej indukcie magnetického poľa v strede veľmi dlhej cievky platí:
 - o $B = \mu_r \mu_0 \frac{NI}{l}$
- veľkosť magnetickej indukcie nie je určená iba prúdom I , ale závisí aj od hustoty závitov cievky, t.j. od pomeru $\frac{N}{l}$. Výraz $\frac{NI}{l}$ určuje veľkosť **intenzity magnetického poľa H** dlhej cievky:
 - o $H = \frac{NI}{l}$, $[H] = A.m^{-1}$
- platí:
 - o $\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H} = \mu \vec{H}$
 - o intenzita magnetického poľa je vektorová veličina, ktorá má v každom bode magnetického poľa rovnaký smer ako vektor magnetickej indukcie.
- relatívna permeabilita μ_r feromagnetických látok nie je konštantná, ale závisí od veľkosti intenzity magnetického poľa v látke
- so zvyšujúcim sa prúdom v cievke sa bude magnetická indukcia v jadre zväčšovať v závislosti od zväčšujúcej sa intenzity magnetického poľa. Grafom tejto závislosti je krivka, ktorá sa volá **krivka prvotnej magnetizácie**. Bodu S zodpovedá magnetické nasýtenie látky.
- pri znižovaní veľkosti intenzity magnetického poľa znižuje sa aj veľkosť magnetickej indukcie podľa inej krivky, čo je prejavom **nevratnosti magnetizačných procesov vo feromagnetických látkach**. Po dosiahnutí nulovej hodnoty intenzity magnetického poľa neklesne veľkosť magnetickej indukcie na nulovú hodnotu, ale na hodnotu B_r . Látka je zmagnetizovaná aj bez pôsobenia vonkajšieho magnetického poľa. magnetickú indukciu \vec{B}_r nazývame **remanentná magnetická indukcia**. Zmenou smeru vektora intenzity magnetického poľa (obrátením smeru prúdu v cievke) sa pri zväčšovaní prúdu zväčšuje aj intenzita magnetického poľa, kým magnetická

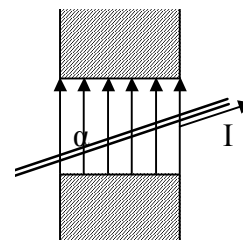


indukcia klesá. Pri hodnote intenzity magnetického poľa \vec{H}_k , ktorá sa nazýva **koercitívna intenzita magnetického poľa**, zmenší sa magnetická indukcia v látke na nulovú hodnotu. Pri ďalšom zväčšovaní intenzity magnetického poľa sa vzorka zmagnetizuje opačne až do nasýtenia. potom začneme intenzitu poľa znižovať a po dosiahnutí jej nulovej hodnoty zmeníme opäť smer prúdu v cievke, až sa opäť dostaneme do bodu S . Tým je jeden magnetizačný cyklus uzavretý. tento jav sa nazýva **magnetická hysterézia** a krivka sa volá **hysterézná slučka**.



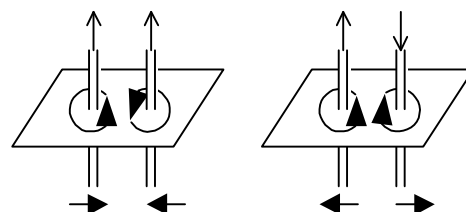
16.2.3 vodič s prúdom v magnetickom poli

- uvažujeme o priamom vodiči s prúdom I , ktorého časť s dĺžkou l (aktívna dĺžka vodiča) je v homogénnom magnetickom poli
- veľkosť sily F_m pôsobiacej v homogénnom poli na priamy vodič s prúdom je priamo úmerná jeho aktívnej dĺžke l , prúdu I a závisí aj od magnetického poľa a od polohy vodiča v ňom (keď je vodič rovnobežný s indukčnými čiarami magnetického poľa, je sila F_m nulová, kým v polohe kolmej na indukčné čiary dosahuje maximum)
- pre veľkosť magnetickej sily platí:
 - o $F_m = BIl \sin \alpha$, kde B je **magnetická indukcia** a charakterizuje silové pôsobenie magnetického poľa
 - o tento vzťah sa volá aj **Ampérov zákon**
- pre magnetickú indukciu platí:
 - o $B = \frac{F_m}{Il \sin \alpha}$, $|B| = \frac{N}{Am} = T$, jednotkou magnetickej indukcie je **tesla**
- sila \vec{F}_m , ktorá pôsobí na priamy vodič s prúdom v homogénnom magnetickom poli s magnetickou indukciou \vec{B} , je kolmá na vodič aj na magnetickú indukciu
 - o smer pôsobiacej sily môžeme určiť pomocou **Flemingovho pravidla ľavej ruky**: Keď položíme otvorenú ľavú ruku na vodič tak, aby prsty ukazovali smer prúdu a indukčné čiary vstupovali do dlane, natiiahnutý palec ukazuje smer sily, ktorou pôsobí magnetické pole na vodič s prúdom



16.2.4 silové pôsobenie dvoch vodičov s prúdmi

- v okolí vodiča s prúdom vzniká magnetické pole
- dva rovnobežné vodiče s prúdom, ktorých vzdialenosť je oveľa menšia ako ich dĺžka, pôsobia na seba silou, ktorej veľkosť je priamo úmerná súčinu prúdov I_1 a I_2 , dĺžke vodičov l a nepriamo úmerná vzdialenosti vodičov d :
 - o $F = k \frac{I_1 I_2}{d} l$
 - o ak sú smery prúdov rovnaké, vodiče sa priťahujú, ak sú rozdielne, odpudzujú sa
- konštanta úmernosti k závisí od voľby sústavy jednotiek a od prostredia:
 - o $k = \frac{\mu}{2\pi} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi}$, kde μ_0 je **permeabilita vákua** ($\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-1}$) a μ_r je **relatívna permeabilita** (udáva, koľkokrát väčšia (menšia) je permeabilita istého látkového prostredia ako permeabilita vákua)
- pre veľkosť pôsobiacej sily platí:



$$\circ F = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l$$

- pre veľkosť magnetickej indukcie v bodoch, ktorých vzdialenosť od priameho vodiča s prúdom je l je d , platí:
 - $\circ B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{d}$
- na základe silového pôsobenia medzi vodičmi s prúdom sa definuje jednotka prúdu **ampér**:
 - \circ ampér je stály prúd, ktorý pre prechode dvoma priamymi rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného prierezu, umiestnenými vo vákuu vo vzájomnej vzdialenosti 1 m, vyvolá medzi týmito vodičmi silu s veľkosťou $2 \cdot 10^{-7}$ newtona na 1 m dĺžky vodiča

16.2.5 častica s nábojom v magnetickom poli

- na priamy vodič s prúdom dĺžky l pôsobí v homogénnom magnetickom poli sila s veľkosťou:
 - $\circ F_m = BIl \sin \alpha$
 - \circ túto silu môžeme považovať za výslednicu pôsobiacich síl na voľné elektróny, ktoré sa pohybujú vo vodiči
- uvažujeme, že vo vodiči s dĺžkou l je N voľných elektrónov s celkovým nábojom $Q = Ne$, ktoré sa pohybujú rovnakou a konštantnou rýchlosťou \vec{v} v smere vodiča. Vzdialenosť l prejdú za čas $t = \frac{l}{v}$, t.j. prierezom vodiča prejde za čas t náboj Q . To zodpovedá prúdu s veľkosťou $I = \frac{|Q|}{t}$. po dosadení dostaneme:

$$\circ F_m = B \frac{|Q|}{t} vt \sin \alpha = |Q|vB \sin \alpha$$

- na jeden voľný elektrón pôsobí sila, ktorej veľkosť je:
 - $\circ F_m = evB \sin \alpha$
- keď sa častica s nábojom Q pohybuje súčasne v elektrickom a magnetickom poli, pôsobí na ňu **Lorentzova sila F_L** , ktorá je vektorovým súčtom elektrickej sily \vec{F}_e a magnetickej sily \vec{F}_m
- za neprítomnosti elektrického poľa je Lorentzova sila totožná s magnetickou silou
- magnetická sila je kolmá na rýchlosť častice s nábojom a na magneticú indukciu (smer pôsobiacej sily sa určuje pomocou Flemingovho pravidla ľavej ruky)
 - \circ keď rýchlosť častice s nábojom je rovnobežná s magnetickou indukciou, tak častice preletí týmto poľom
 - \circ keď častica vnikne do homogénneho magnetického poľa kolmo na indukčné čiary, pohybuje sa ďalej po kružnici v rovine kolmej na indukčné čiary
 - polomer kružnicovej trajektórie určíme z rovnosti magnetickej a odstredivej sily:

$$\bullet Bev = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{Be}$$

- \circ v ostatných prípadoch sa častica bude pohybovať po trajektórii tvaru skrutkovnice. Rýchlosť častice sa rozdeľuje na dve zložky: na rýchlosť rovnobežnú s indukčnými čiarami (touto rýchlosťou preletí magnetické pole) a na rýchlosťou kolmú na indukčné čiary (z tejto rýchlosti určíme polomer skrutkovnice

$$R = \frac{mv_2}{Be}$$

