

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

1.1.4 Silové pôsobenie dvoch vodičov s prúdmi

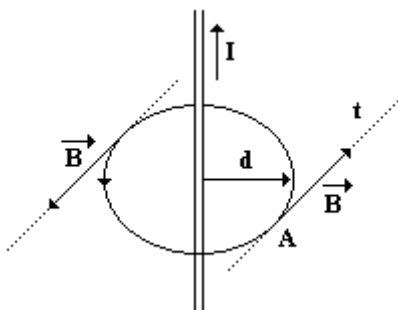
Doteraz sme sa zoznámili s dvoma základnými javmi tej časti fyziky, ktorá sa zvykne nazývať elektromagnetizmus:

1. V okolí vodiča, ktorým prechádza prúd, sa nachádza magnetické pole.

2. Na vodič s prúdom, ktorý pretína indukčné čiary magnetického poľa, pôsobí magnetická sila.

Ak chceme vyšetrovať magnetické pole dvoch vodičov s prúdom, musíme najskôr detailnejšie preskúmať magnetické pole v okolí samostatného priameho dostatočne dlhého vodiča. Ideálne by bolo vyšetrovať magnetické pole v okolí nekonečne dlhého vodiča, pretože by sme nemuseli brať do úvahy javy, ktoré nastávajú na konci vodiča. Takýto vodič ale neexistuje.

Magnetické indukčné čiary v okolí vodiča, ktorým tečie elektrický prúd sú sústredné kružnice so stredom v ose vodiča ležiace v rovine kolmej na vodič. Vektor magnetickej indukcie $\vec{B}$ leží v rovine kolmej k vodiču a má smer dotyčnice k magnetickej indukčnej čiare.

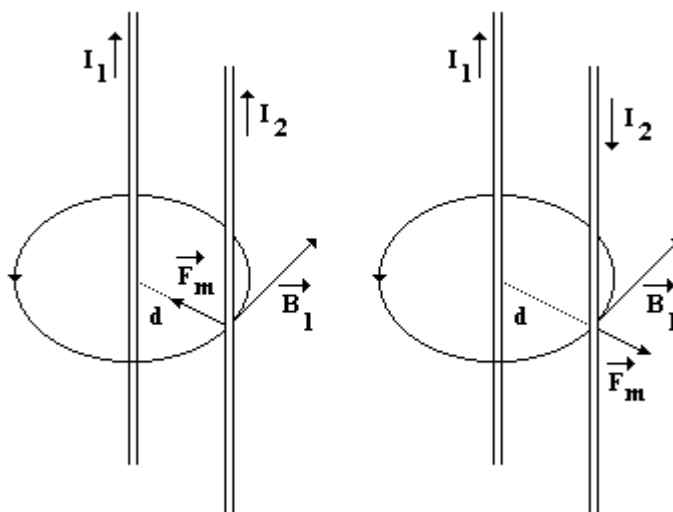


Pre veľkosť magnetickej indukcie v bode A platí vzťah $B = \mu \frac{I}{2\pi d}$, kde I je prúd prechádzajúci vodičom, d je vzdialenosť bodu od vodiča (t.j. polomer magnetickej indukčnej čiare) a μ permeabilita prostredia (napríklad jadra cievky, ...).

Pre vákuum (a približne aj pre vzduch) má permeabilita vákua hodnotu $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$. Permeabilita prostredia súvisí s permeabilitou vákua podľa vzťahu $\mu = \mu_0 \mu_r$, μ_r je relatívna permeabilita prostredia. Relatívna permeabilita výrazným spôsobom ovplyvňuje magnetické vlastnosti látok.

Uvážme situáciu, kedy je v magnetickom poli priameho vodiča umiestnený rovnobežne ďalší veľmi dlhý tenký vodič, ktorým preteká prúd. Vodiče na seba budú pôsobiť magnetickou silou, pretože každý z nich sa nachádza v magnetickom poli druhého vodiča. Smer magnetickej sily, ktorá pôsobí na jeden z rovnobežných vodičov s prúdom, závisí od smeru prúdu v druhom vodiči:

1. Prúdy vo vodičoch majú súhlasný smer – vodiče sa priťahujú,
2. Prúdy vo vodičoch majú opačný smer – vodiče sa odpudzujú.



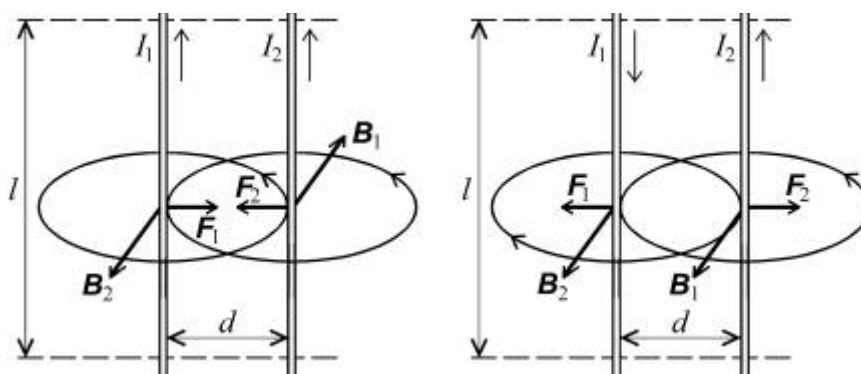
Táto interakcia je „opačná“ ako interakcia dvoch nábojov, resp. magnetov. Určme veľkosť magnetickej sily, ktorá pôsobí na časť jedného vodiča o dĺžke l , ak je druhý vodič vzdialený od tohoto vodiča o vzdialenosť d :

$$F_m = B_1 I_2 l = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l$$

kde I_1 a I_2 sú prúdy vo vodičoch. Na základe tohoto vzťahu sa definuje jednotka **ampér**, ktorá patrí medzi základné jednotky sústavy SI.

Výraz $\sin \alpha$ sme do vzťahu pre magneticú silu nepísali, pretože magnetické indukčné čiary magnetického poľa vytváraného jedným vodičom sú kolmé k druhému vodiču. Teda $\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$.

Ak teda máme dva susediace vodiče, ktorými prechádza prúd, nachádza sa každý z nich v magnetickom poli druhého vodiča. Susediace vodiče na seba navzájomne pôsobia magnetickými silami.



Vzájomné silové pôsobenie rovnobežných vodičov s prúdmi súhlasného a nesúhlasného smeru. Pri myšlienkovom experimente sme nakreslili len dve kruhové indukčné čiary, každú okolo jedného vodiča v spoločnej rovine. Treba si však uvedomiť, že rovín, ktoré sú kolmé na vodiče, by sme mohli nakresliť ľubovoľne veľa a v každej z nich by sme mohli nakresliť podobnú dvojicu indukčných čiar.

Na základe našich skúseností a pokusov so železnými pilinami vieme, že vzájomné silové pôsobenie vodičov s prúdom bude veľmi malé. Pripravili sme preto najprv **myšlienkový experiment**, ktorý nebudeme robiť s pomôckami, ale necháme ho „prebehnúť“ len v našich predstavách. Nakreslíme si obrázok a budeme sa usilovať využiť naše doterajšie vedomosti o magnetických silách a poliach na získanie nového poznatku. Vymodelovali sme si preto na obrázku dva rovnobežné vodiče, ktorými necháme (v našich predstavách) prechádzať prúdy I_1 a I_2 , raz rovnakým smerom (obrázok vľavo), druhý raz navzájom opačnými smermi.

Pri analýze javu treba použiť

- najprv pravidlo pravej ruky na určenie smeru indukčných čiar a vektora $(\vec{B}_1, \vec{B}_2)$ magnetickej indukcie pre každý z prúdov (I_1, I_2) ,
- potom Flemingovo pravidlo ľavej ruky na určenie smeru magnetickej sily $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ pôsobiacej na vodič.

Z analýzy vyplýva, že rovnobežné vodiče, ktorými prechádzajú prúdy rovnakým smerom sa navzájom priťahujú. Ak nimi prechádzajú prúdy navzájom opačné, odpudzujú sa.

Z Ampérovho zákona vyplýva pre silu vzájomného pôsobenia vodičov vzťah

$$F_m = B_1 I_2 l = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l \quad (1)$$

Tento vzťah vyjadruje veľkosť magnetickej sily, ktorou na seba navzájom pôsobia na dĺžke l dva dlhé, rovnobežné vodiče s prúdmi I_1, I_2 , zo vzájomnej vzdialenosti d .

Poznámky

Na odvodenie vzťahu (1) treba poznať a použiť prostriedky vyššej matematiky. Vzťah presne platí pre *dva priame, rovnobežné, nekonečne dlhé vodiče*. V praxi to znamená, že platí približne pre dva priame, rovnobežné vodiče, ktorých vzájomná vzdialenosť d je značne menšia v porovnaní s ich dĺžkou l , $d \ll l$.

Mali by sme si uvedomiť, že na celej dĺžke l vyznačenej na prvom vodiči je magnetická indukcia $\vec{B}_2$, poľa od druhého vodiča, rovnaká a kolmá na prvý vodič. Preto magnetické pole, v ktorom je prvý vodič uložený, môžeme považovať za homogénne magnetické pole. Potom môžeme vyjadriť veľkosť F_m magnetickej sily, ktorou druhý vodič pôsobí na prvý vodič dvoma súčasne platiacimi vzťahmi

$$F_m = B_2 I_1 l$$

$$F_m = B_2 I_1 l = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_2}{d} I_1 l$$

Odtiaľ pre magnetickú indukciu B_2 vo vzdialenosti d od druhého priameho vodiča, v mieste, kde je uložený prvý vodič, vychádza

$$B_2 = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi d} I_2$$

Zo vzťahu (1) teda vo všeobecnosti vyplýva, že vo vzdialenosti d od nekonečne dlhého priameho vodiča s prúdom I je magnetické pole s veľkosťou B magnetickej indukcie

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi d} I \quad (2)$$

Pre praktické výpočty môžeme teda vzťah (2) využiť vtedy, ak vzdialenosť d od vodiča je malá voči jeho dĺžke l , $d \ll l$.

Definícia jednotky ampér

Pomocou javu vzájomného pôsobenia rovnobežných vodičov s prúdom je definovaná aj jedna zo základných jednotiek sústavy SI. Na Ampérovu počesť je po ňom pomenovaná **ampér [A]**:

Ampér je stály prúd, ktorý pri prechode dvoma priamymi, rovnobežnými, nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného prierezu, umiestnenými vo vákuu, vo vzájomnej vzdialenosti 1m, vyvolá medzi týmito vodičmi silu s veľkosťou $2 \cdot 10^{-7}$ newtona na 1m dĺžky vodiča.