

18. Stacionární magnetické pole

1. "Zdroje" magnetického pole a jeho popis

- magnetické pole tyčového permanentního magnetu
- přímého vodiče s proudem
- cívky s proudem
- magnetická indukce
- magnetická indukční čára

2. Magnetické silové působení

- mezi dvěma magnety
- mezi magnetem a vodičem s proudem
- mezi dvěma rovnoběžnými vodiči s proudem
- elektricky nabitá částice v magnetickém poli

3. Magnetické vlastnosti látek a jejich využití

- látky diamagnetické, paramagnetické
- feromagnetické
- elektromagnety
- magnetické látky v praxi – relé, reproduktor, galvanometr, magnetický záznam informací

4. Srovnání polí elektrické × magnetické

Stacionární magnetické pole - časově neměnné magnetické pole. Existuje kolem nehybných permanentních magnetů nebo kolem nehybných vodičů či cívek s konstantním proudem.

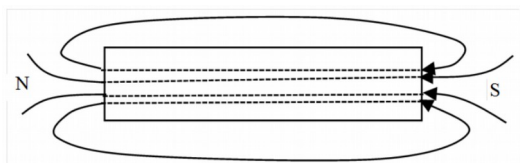
Grafické znázornění mg. pole – mg. indukčními čarami.

Magnetická indukční čára je uzavřená orientovaná křivka, která má v každém místě orientaci malé magnetky. Magnetické indukční čáry by se daly zviditelnit například rozsypanými železnými pilinami nebo malými magnetickými střílkami.

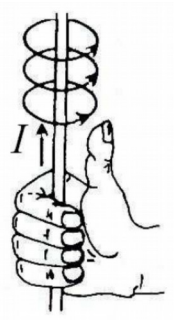
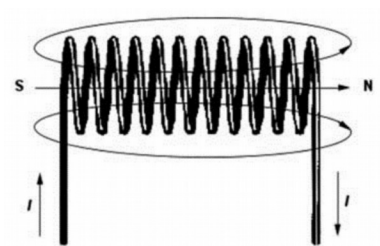
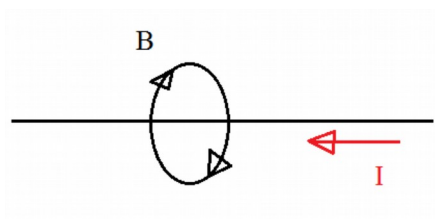
Například u magnetického pole tyčového magnetu (nebo cívky s proudem) lze říci, že magnetické indukční čáry směřují od severního pólu k jižnímu **vně** magnetu (cívky).

Příklady magnetického pole:

Permanentní magnet:



Vodič s proudem:



Cívka s proudem: Směr magnetického pole vodiče s proudem i cívky s proudem určujeme pomocí **Ampérova pravidla pravé ruky**:

- Vodič s proudem – vodič s proudem uchopíme do pravé ruky tak, aby palec směřoval po směru protékajícího proudu, ohnuté prsty pak ukazují směr magnetických indukčních čar.
- Cívka s proudem – cívku uchopíme do pravé ruky tak, aby ohnuté prsty směřovaly ve směru protékajícího proudu, palec pak ukazuje směr magnetických indukčních čar. (Dá se jinak říci, že palec ukazuje severní pól cívky).

Magnetická indukce:

Jde o vektorovou veličinu označovanou \vec{B} . Vektor magnetické indukce má směr tečny k magnetickým indukčním čarám. Jednotkou je **T** (tesla).

V některých konkrétních případech se počítá následovně:

Magnetická indukce polí vodičů s proudem:

1. Příčný vodič

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

kde I je proud ve vodiči,
d je vzdálenost od vodiče

μ je magnetická permeabilita (charakterizuje prostředí, hodnota se najde v tabulkách)

2. Kruhá smyčka

$$B = \mu \frac{I}{2r}$$

kde r je poloměr smyčky

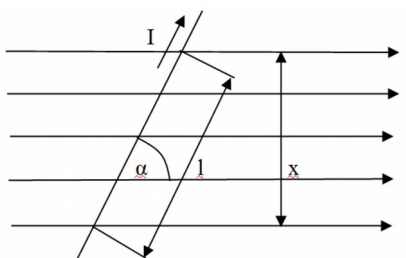
3. Cívka

$$B = \mu \frac{N \cdot I}{l}$$

kde N je počet závitů, l je délka cívky

Pozn. Orientace \vec{B} – Ampérovým pravidlem pravé ruky (viz výše)

Magnetické silové působení:

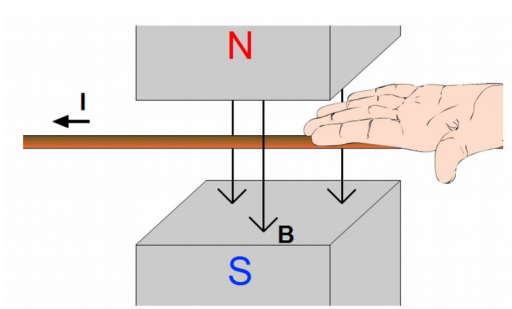


$$F_m = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$

kde **B** je **magnetická indukce** (vektorová veličina charakterizující mg. pole), [B] = T
Orientace **F_m** (síly, kterou působí mg. pole na vodič s proudem) – Flemingovým pravidlem levé ruky.

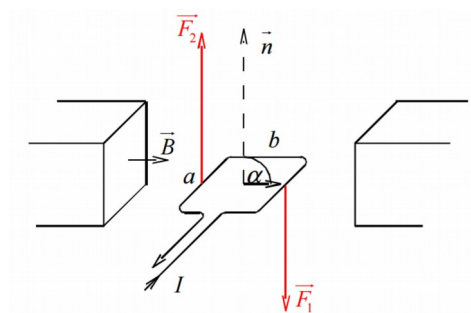
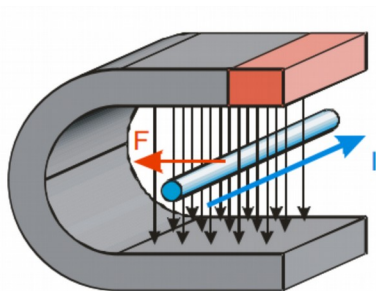
Flemingovo pravidlo levé ruky:

Levou ruku přiložíme k vodiči tak, aby do dlaně vstupoval vektor magnetické indukce, prsty směřovaly ve směru protékajícího proudu a potom odchýlený palec ukazuje směr působící magnetické síly.



1) mg. pole na přímý vodič s proudem

2) mg pole na závit s proudem



<http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika%20S%C5%A0/04%20Elekt%C5%99ina%20a%20magnetismus/05%20Magnetick%C3%A9%20pole/03%20Magnetick%C3%A1%20s%C3%ADla.pdf>

<http://www.e-fyzika.cz/kapitoly/01-stacionarni-magneticke-pole.pdf>

Poznámka:

Platí: $F_1 = F_2 = B \cdot I \cdot a$, obě síly jsou kolmé na rovinu závitu a mají opačný směr. Na závit působí moment dvojice sil:

$$M = b \cdot F_1 = b \cdot F_2 = b \cdot B \cdot I \cdot a = B \cdot I \cdot S,$$

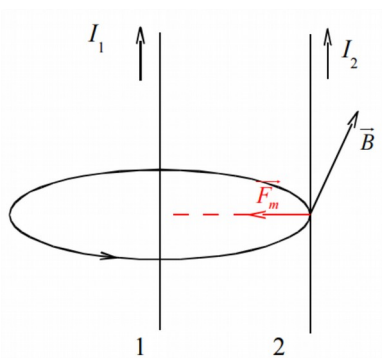
kde I je proud v závitě a S plocha závitu.

Pro $\alpha = \pi/2$ je moment M největší, jeho působením se závit otáčí do rovnovážné polohy, kdy je pak $\alpha = 0$ a také $M = 0 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Obecně platí:

$$M = B \cdot I \cdot S \cdot \sin \alpha.$$

3) mezi dvěma přímými rovnoběžnými vodiči s proudem



Ampérův zákon:

$$F_m = k \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{d} \cdot l, \text{ kde } k = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi}$$

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$ je permeabilita vakua

μ_r je relativní permeabilita

Se vzájemným působením dvou vodičů s proudem se pojí i definice základní jednotky – ampéru:

Ampér je stálý proud, který při průchodu dvěma rovnoběžnými přímými nekonečně dlouhými vodiči

zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 m od sebe vyvolá mezi vodiči sílu $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ na 1 m délky vodiče.

4. Částice s nábojem v magnetickém poli: Podobně jako působí magnetické pole na elektrony tvořící proud ve vodiči, působí magnetické pole i na každou volnou částici s nábojem, která do něj vnikne. Pokud částice s nábojem Q vnikne do magnetického pole kolmo k indukčním čarám, pak síla má velikost:

$$F_m = B \cdot I \cdot l = \frac{B \cdot Q \cdot l}{t} = B \cdot Q \cdot v$$

(Např. na elektron tak působí síla $F_m = \mathbf{B} \cdot \mathbf{e} \cdot \mathbf{v}$). Směr této síly je kolmý k vektoru rychlosti částice, což znamená, že tato síla zakřivuje trajektorii částice a působí jako síla dostředivá F_d . Porovnáme-li F_m a F_d , získáme vztah pro poloměr kružnice, po které se v mg. poli taková částice pohybuje:

$$r = \frac{m \cdot v}{Q \cdot B}$$

Možnosti ovlivňovat trajektorii částice s nábojem magnetickým polem se využívá v řadě technických zařízení, jako je např. televizní obrazovka, urychlovač elementárních částic, hmotnostní spektrograf,...

Směr působení magnetické síly na nabitou částici určíme Flemingovým pravidlem levé ruky pro částici s nábojem: Levou ruku přiložíme tak, aby prsty ukazovaly směr rychlosti pohybu částice, magnetické indukční čáry vstupovaly do dlaně a potom odchýlený palec ukazuje směr působení magnetické síly na kladně nabitou částice.

Magnetické vlastnosti látek a jejich využití:

Podstata magnetických vlastností látek spočívá v samotných atomech, souvisí s elektronovým obalem atomu.

Rozdělení látek podle jejich magnetických vlastností:

1. **Diamagnetické látky** se skládají z diamagnetických atomů a mají relativní permeabilitu nepatrně menší než 1. Mírně tedy zeslabují magnetické pole.

Př. inertní plyny, Au, Cu, Hg, téměř všechny organické látky,...

2. **Paramagnetické látky** se skládají z paramagnetických atomů a jejich relativní permeabilita je nepatrně větší než 1. Mírně zesilují magnetické pole

Př. alkalické kovy, Pt, Al, Mn, O,...

3. **Feromagnetické látky** se skládají z paramagnetických atomů se spontánní magnetizací, která díky výměnným silám mezi sousedními atomy způsobuje v určitých malých oblastech látky (**doménách**) paralelní uspořádání magnetických momentů atomů (výsledné magnetické momenty domén však mají různý směr). Působením vnějšího magnetického pole nastává **magnetování** látky – magnetické momenty domén se stáčíjí do směru tohoto pole. Stočení mg. momentů domén může být dočasné (u **magneticky měkkých látek**) nebo trvalé (u **magneticky tvrdých látek** – trvá i po odstranění vnějšího mg. pole). Relativní permeabilita feromagnetických látek je řádově 10^2 až 10^5 . Výrazně zesilují magnetické pole.

Př. Fe, Co, Ni, Ga, jejich slitiny, ale i slitiny, jež tyto prvky neobsahují (Heuslerovy). Používají se jako jádra cívek v elektromagnetech, transformátorech, elektrických strojích, jako součásti různých relé, reproduktorů, galvanometrů a dalších zařízení, která využívají elektromagnetu, umožňují magnetický záznam informací,...

Pozn. 1: Plyny ani kapaliny nemohou být feromagnetické.

Pozn. 2: Při **Curieově teplotě** látka ztrácí vlastnosti feromagnetika a přechází v paramagnetikum.

Pozn. 3: Mezi feromagnetické látky patří také **ferity** (látky **ferimagnetické**). Jde o sloučeniny oxidu železa Fe_2O_3 s oxidy jiných kovů. Jejich relativní permeabilita je řádově 10^2 až 10^3 . Mají mnohem větší odpor než feromagnetika a užívají se zejména ve slaboproudé elektronice a jako permanentní magnety.

Srovnání elektrického a magnetického pole:

- a) **elektrické pole – zřídlové** – jeho zdrojem jsou elektrické náboje. Elektrické siločáry začínají a končí na nabitých tělesech;

- b) *magnetické pole* – **vírové** – indukční čáry jsou uzavřené křivky, obdobný zdroj, jakým jsou pro el. pole náboje, magnetické pole nemá – nelze získat pouze severní pól magnetu.

Vliv látky na elektrické a na magnetické pole:

- a) *elektrické pole* – určující je relativní permitivita. Ta má hodnotu 1 pro vakuum, pro ostatní dielektrika je větší než 1. Vzhledem k tomu, že tato veličina figuruje ve vzorci pro výpočet elektrické síly ve jmenovateli, pak ϵ_r logicky určuje, kolikrát se zmenší elektrická síla (a tedy zeslabí elektrické pole) v případě, že nabitě těleso umístíme do látkového prostředí namísto do vakua.

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

ϵ ... permitivita prostředí (jednotkou je F/m – farad na metr)

ϵ_r ... relativní permitivita prostředí (najde se v tabulkách, bez jednotky)

ϵ_0 ... permitivita vakua (jednotkou je F/m – farad na metr)

- b) *magnetické pole* – určující je relativní permeabilita:

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

μ ... permeabilita prostředí (jednotkou je H/m – henry na metr)

μ_r ... relativní permeabilita prostředí (najde se v tabulkách, bez jednotky)

μ_0 ... permeabilita vakua (jednotkou je H/m – henry na metr)