

# Magnetické pole

**Magnety** jsou obecný název pro přírodní železné rudy, které mají schopnost přitahovat k sobě železné předměty a ostatní látky se stejnou schopností. Název byl odvozen od Řeckého města Magnesie, u kterého bylo naleziště těchto minerálů.

Tyto látky tvoří **magnetické pole**, nicméně toto fyzikální pole lze vytvořit i jinak - obecně se rozdělují zdroje magnetického pole na:

- **Permanentní magnety** – látky tvořící magnetické pole, aniž by k tomu potřebovaly vnějšího vlivu. Vyskytují se v přírodě a v různých horninách. Vyrobit je můžeme z feromagnetických látek.
- **Elektromagnety** – potřebují k vytvoření magnetického pole elektrický proud. Jedná se o elektricky vodivé materiály. Jako elektromagnet se využívá např. cívka s feromagnetickým jádrem.

Dříve se magnetismus nespojoval s elektřinou. Jako první si spojitosti všiml H. Ch. Oersted, který při práci s elektrickým obvodem zaznamenal, že se po zapojení obvodu hýbe střílka kompasu. Dnes již víme, že magnetické pole úzce souvisí s polem elektrickým, což vyjadřují Maxwellovy rovnice. Jejich těsnou spojitost dokazuje i elektromagnetická indukce. Existuje ale také pole elektromagnetické, které s výše jmenovanými typy polí nesmíme zaměňovat.

Magnetické pole se dělí primárně na pole stacionární a nestacionární.

## Stacionární magnetické pole

**Stacionárním magnetickým polem** označuje takové magnetické pole, jehož vlastnosti se v čase nemění. Vektor **B** magnetické indukce má v určitém bodě pole stálou velikost i směr. Zdrojem tohoto pole mohou být permanentní magnety nebo nepohyblivé se vodiče, ve kterém protéká konstantní elektrický proud.

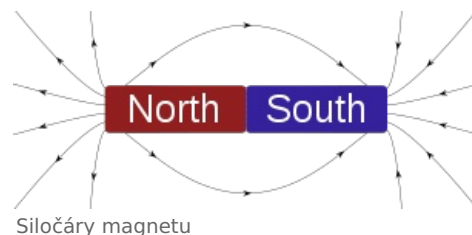
### Magnetické indukční čáry

Ke znázornění magnetického pole můžeme využít **magnetické indukční čáry**. Magnetická indukční čára je vždy uzavřená křivka, jejíž tečna má v daném bodě směr osy malé magnetky umístěné v tomto bodě. U přímého vodiče tak pozorujeme soustředné kružnice se středem v místě průsečíku vodiče s rovinou na něj kolmou, ve které kružnice leží.

Uvnitř cívky jsou magnetické indukční čáry navzájem rovnoběžné s osou cívky. Vně cívky je magnetické pole obdobné jako u tyčového magnetu. Magnetické indukční čáry zde vytváří uzavřené křivky vystupující z jednoho konce cívky (odpovídá severnímu pólu magnetu) a vstupují do opačného konce (jižního pólu).

Díky tomu, že jsou magnetické indukční čáry uzavřené křivky, můžeme pro magnetické pole použít i označení *pole vírové* - neexistují totiž magnetické náboje, ze kterých by siločáry (tedy magnetické indukční čáry) začínaly a končily. Tento znak by platil pro elektrické pole, které nazýváme také polem zřídlovým.

K určení orientace indukčních čar v okolí elektrického vodiče nám pomáhá **Ampérovo pravidlo pravé ruky** pro přímý vodič, kdy nám prsty pravé ruky ukazují požadovanou orientaci magnetických indukčních čar, zatímco palec směřuje stejně jako proud ve vodiči. V pozměněném znění se pravidlo dá uplatnit také pro cívku (**Ampérovo pravidlo pravé ruky pro cívku**), kde pokrčené prsty ukazují směr proudu v závitech a orientaci magnetických indukčních čar pak značí palec.



Siločáry magnetu

### Magnetická síla

**Magnetická síla  $F_m$**  je základním projevem silového působení magnetického pole. Určena je vzorcem  **$F_m = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$** .

Směr síly, kterou působí vnější magnetické pole na vodič nacházející se v daném poli určuje **Flemingovo pravidlo levé ruky**: Položíme-li otevřenou levou ruku k přímému vodiči tak, aby prsty ukazovaly směr proudu a indukční čáry vstupovaly do dlaně, ukazuje odtažený palec směr síly, kterou působí magnetické pole na vodič s proudem. <sup>[1]</sup>

### Magnetická indukce

Je vektorová veličina (se směrem určeným tečnou k dané indukční čáře) **B** s jednotkou T (Tesla), kdy  $T = N \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}$ , která charakterizuje působení síly magnetického pole na vodič s proudem. Pro dané homogenní pole je vždy konstantní.

## Magnetické pole vodičů s proudem

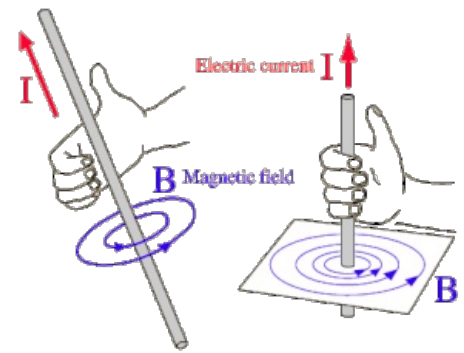
Z obecných znalostí víme, že v okolí vodiče, kterým protéká proud, se vytváří magnetické pole. Zároveň víme, že magnetické pole působí určitou silou na vodič s proudem. Když umístíme blízko sebe dva přímé rovnoběžné vodiče, kterým bude procházet proud, budou na sebe navzájem působit silou a mohou nastat dvě varianty.

*Vodiči budou procházet proudy stejného směru a oba vodiče se budou navzájem přitahovat.*

*Vodiči budou procházet proudy opačného směru a oba vodiče se budou navzájem odpuzovat.*

K tomu jsme došli za použití Ampérova pravidla pravé ruky, díky kterému jsme zjistili orientaci indukčních čar. Tohoto poznání jsme využili pro zjištění směru síly, která bude působit mezi vodiči díky Flemingovu pravidlu levé ruky.

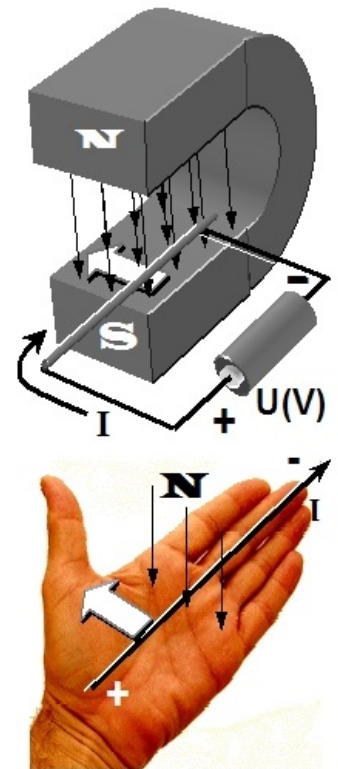
Pro určení velikosti působící síly se používá vzorec  $F = (\mu/2\pi) \cdot (I_1 \cdot I_2 \cdot l) / d$ .



Ampérovo pravidlo pravé ruky

## Magnetické pole cívky

Cívkou rozumíme namotaný vodič. V praxi využíváme cívky různých tvarů a provedení (např. s nebo bez jádra). Velikost magnetické indukce závisí na počtu závitů cívky a na elektrickém proudu, který danou cívkou prochází. Problém nastává s vytvořením homogenního magnetického pole. Podle tvaru a rozměrů se určují tři základní druhy cívek. Téměř homogenní magnetické pole je v **Hemholtzových cívkách**. Hemholtzovy cívky jsou úzké kruhové cívky se společnou osou, jejichž vzájemná vzdálenost se rovná poloměru cívek. Používají se ve Wehneltové trubici. Ta umožňuje pozorovat pohyb elektronů v magnetickém poli. **Solenoid** je dlouhá válcová cívka s vysokým počtem závitů, jejichž průměr je mnohem menší než délka cívky. **Toroid** získáme stočením solenoidu do prstence.



Flemingovo pravidlo levé ruky

## Částice s nábojem v magnetickém poli

Známe vzorec pro výpočet síly magnetického pole pro přímý vodič  $F_m = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$  a také víme, že v kovovém vodiči je elektrický proud tvořen elektrony s nábojem  $Q = -eN$ , kdy  $N$  je počet elektronů. Výsledný vzorec pro výpočet síly působící na částici s nábojem v magnetickém poli bude znít:  $F_m = B \cdot Q \cdot v \cdot \sin \alpha$ .

## Lorentzova síla

V elektromagnetickém poli se pohybuje částice s nábojem, na tuto částici současně působí síla elektrická  $F_e$  a magnetická  $F_m$ . Proto výsledná síla působící na částici bude  $F = F_e + F_m$ .

## Indukčnost cívky

Indukčnost cívky **L** [H] je veličinou charakterizující magnetické vlastnosti cívky. Jedná se mimo jiné o důležitý parametr elektrického obvodu (stejně jako odpor **R** a kapacita **C**). Aplikací Faradayova zákona elektromagnetické indukce získáme vztah  $U_i = -\Delta\Phi/\Delta t = -L \cdot \Delta I / \Delta t$  vyjadřující, že v cívkce se indukuje napětí 1V, pokud má indukčnost 1H a dojde v ní ke změně proudu o 1A za 1s. Energie magnetického pole je vyjádřena vztahem  $E_m = 1/2 L I^2$ .

## Intenzita

Intenzitu magnetického pole **H** [A/m] můžeme vyjádřit vztahem  $H = F_m / I = IN / l$ .

## Permeabilita prostředí

Permeabilita prostředí  $\mu$  je veličinou charakterizující prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno elektrickým proudem. Ve vakuu, pokud zde vzniká magnetické pole, mluvíme o permeabilitě vakua  $\mu_0$  -  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$ .

## Nestacionární magnetické pole

Vlastnosti **nestacionárního magnetického pole** se oproti tomu s časem mění, mění se tedy magnetická indukce. Mezi zdroje tohoto pole můžeme zařadit nepohybující se vodič s časově proměnným proudem, pohybující se vodič s proudem (časově proměnným i konstantním) nebo pohybující se permanentní magnet či elektromagnet.

### Elektromagnetická indukce

Díky nestacionárnímu magnetickému poli vzniká indukované elektrické pole a tomuto jevu se říká **elektromagnetická indukce**. V tomto případě vzniká na koncích cívky indukované elektrické napětí  $U_i$  a celým uzavřeným obvodem prochází indukovaný elektrický proud  $I_i$ . Využití: *Indukční plotna* - Těsně pod plotnou se nachází cívka napájená vysokofrekvenčním střídavým proudem. Pomocí tohoto periodicky se střídajícího proudu se indukuje proud ve vodivé pánvi a protože má pánve nenulový odpor, vzniká na ní potřebné teplo k přípravě potravin. Důležité je, že indukční plotna zůstává nezahřátá. *Elektrický kytarový snímač* - Kmitající kovová struna, působící jako magnet, indukuje ve svém okolí nestacionární magnetické pole a to následně mění směr magnetického indukčního toku v cívkách se stejnou frekvencí jako kmity struny a přenáší tyto kmity do zesilovače, reproduktoru.

### Magnetický indukční tok

**Magnetický indukční tok** je skalární veličina  $\Phi$  s jednotkou Wb (weber), která se používá ke kvantitativnímu popisu elektromagnetické indukce. Potřebujeme homogenní magnetické pole, rovinnou plochu o obsahu  $S$ , normálu  $n$  k ploše  $S$ , vektor magnetické indukce  $B$  a úhel  $\alpha$ , který svírá normála  $n$  s vektorem  $B$  - vznikne nám vzorec  $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$ .

Ve spojitosti s elektromagnetickou indukcí je nezbytné zmínit **Faradayův zákon elektromagnetické indukce** vyjádřený rovnicí  $U_i = -d\Phi/dt$ , kde  $U_i$  značí okamžitou hodnotu napětí. Znaménko minus symbolicky představuje **Lenzův zákon** o směru indukovaného elektrického proudu, který svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, který ho vyvolává.

### Foucaultovy vířivé proudy

Indukované proudy vznikající v masivních vodičích (např. plech) pohybující se v magnetickém poli, případně ty, jež jsou umístěny v časově proměnném magnetickém poli, které působí proti změně, která ho vyvolala. Využití - *indukční brzda u lokomotiv, autobusů, tramvají, výtahů*

### Vlastní indukce

Ve spojitosti s cívkou se setkáváme dále s jevem zvaným vlastní indukce (označovaná písmenem  $L$ ), při němž vzniká ve vodiči indukované elektrické pole změnami magnetického pole. Díky těmto změnám se vytváří proud procházející vodičem. Využití: *tlumivka* - Je to cívka, která má uzavřené feromagnetické jádro a vysokou indukčnost. Má velké využití v elektrotechnice.

### Přechodný děj

Nastává v případě, kdy se rozpojil nebo spojil elektrický obvod, ve kterém se nacházela cívka s velkou indukčností  $L$ . Tento děj vyplývá ze zákona zachování energie. Při spojení vznikne indukované napětí, které má opačnou polaritu než napětí zdroje (podle Lenzova zákona). Při rozpojení obvodu vznikne indukované napětí, které má se zdrojem shodnou polaritu, ale výrazně větší velikost.

## Magnetické vlastnosti látek

Velikost magnetické indukce je závislá na permeabilitě prostředí, kterým je tvořené jejich jádro. Magnetická indukce cívky navinuté na ocelové jádro je vyšší než bez jádra. Relativní permeabilita je určena vlastnostmi atomů, ze kterých je látka složena.

Elektrony v atomech vytvářejí elementární magnetické pole, které vytváří výsledné magnetické pole atomu. Podle uspořádání elektronů v atomu rozdělujeme látky do 3 skupin:

1) **Diamagnetické látky** Diamagnetické látky jsou složeny z diamagnetických atomů a relativní permeabilita je nepatrně menší než jedna. Z toho vyplývá, že tyto látky mírně zeslabují magnetické pole a od magnetu se odpuzují. Příkladem mohou být inertní plyny, zlato, měď, rtuť a další...

2) **Paramagnetické látky** Jedná se o látky složeny z paramagnetických atomů, jejichž relativní permeabilita je nepatrně vyšší než 1. Mírně zesilují magnetické pole. Trvalý magnetický moment má paramagnetický atom (molekula) i v nepřítomnosti vnějšího magnetického pole. Většinou je to způsobené přítomností nepárového elektronu v elektronovém obalu. Dipóly na sebe v paramagnetech nepůsobí a při nepřítomnosti vnějšího pole jsou náhodně orientované, proto je magnetický moment nulový. Pokud se látka nachází v magnetickém poli, dochází k natočení dipólu ve směru magnetického pole a tím ke vzniku magnetického momentu. Tyto látky není možné trvale zmagnetovat. Patří sem například draslík, sodík nebo modrá skalice (měď a modrá skalice sem patří kvůli chemické vazbě).

3) **Feromagnetické látky** Jsou to látky složeny z paramagnetických atomů, které se uspořádávají do magnetických domén. Na rozdíl od paramagnetických látek je feromagnetismus vysvětlován magnetickými doménami. Jejich relativní permeabilita je o mnoho vyšší než 1 (řádově  $10^2$  až  $10^5$ ). I v blízkosti slabého magnetického pole se magnetické pole zesílí a dojde ke zmagnetizování látky.

Příčinou magnetizace látky je působení výměnných sil mezi sousedními atomy. Jejich vlivem nastává i bez magnetického pole souhlasné uspořádání magnetických polí v malé oblasti látky. Při této samovolné magnetizaci vznikají mikroskopické domény - *magnetické domény* (objem  $10^{-3}$ – $10$  mm<sup>3</sup>) - jsou to vlastně atomy, které jsou uspořádány stejným směrem. Magnetické domény jsou magneticky nasycené oblasti feromagnetické látky a jsou orientovány nahodile. Působením magnetického pole se tyto domény orientují souhlasně a látka získává vlastnosti magnetu. Magnetizací se objem domén postupně zvětšuje, až je látka magneticky nasycena (tedy když jsou domény souhlasně uspořádány a doménová struktura vymizí). Oproti tomu u paramagnetických látek nelze dosáhnout paralelního uspořádání magnetických momentů - tj. magnetického nasycení (souhlasnému uspořádání atomů a tedy i souhlasné orientace magnetických polí brání jejich tepelný pohyb).

Feromagnetickými látkami jsou na příklad Fe, Co, Ni, popř. jejich slitiny. Mezi feromagnetické látky řadíme i *ferimagnetické látky* (jinak řečeno ferity), které se od feromagnetických látek liší větším odporem. Jedná se o sloučeniny oxidu železitého nebo jiných kovů (Mn, Ba).

Feromagnetické látky mají velký význam ve výrobě transformátorů a elektromagnetů (tvoří v nich jádra cívek). Látky feromagnetické se využívají ve slaboproudové elektrotechnice nebo jako permanentní magnety.

## Vlastnosti feromagnetických látek

Feromagnetismus se projeví v případě, že je látka v krystalickém stavu (v kapalném nebo plynném skupenství se chovají jako paramagnetické látky).

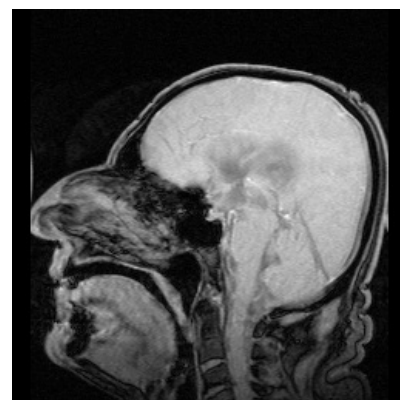
Pro každou feromagnetickou látku existuje Curieova teplota, při jejímž překročení se stává látkou paramagnetickou. Vzniklé magnetické domény se rozpadají opět na jednotlivé atomy a vzniku domén brání tepelný pohyb částic.

## Využití

Díky magnetickým vlastnostem Země můžeme například využívat magnetku jako kompas k orientaci. Nejedná se ale o jediné využití znalostí jevů spojených s magnetickým polem v technické praxi. Známy je i magnetický záznam zvukových či obrazových signálů - nosičem může být např. disketa. Jedním z medicínských nejdůležitějších využití je magnetická rezonance (MRI).

### BOLD fMRI

Blood oxygen level dependent functional magnetic resonance je jedním z nástrojů vizualizace anatomických struktur mozku. Na rozdíl od standardní MRI detekuje dynamické změny. Tyto dynamické změny jsou zapříčiněny kolísáním oxyhemoglobinu a karbaminohemoglobinu na základě jejich rozdílných vlastností. Deoxyhemoglobin má paramagnetické vlastnosti, to znamená, že v místech s jeho vyšší koncentrací vznikají magnetické nehomogenity a tím dochází k rychlejší ztrátě energie excitovaných protonů, z čehož vyplývá větší lokální úbytek radiofrekvenčního signálu. Detekce signálu je zpracována prostřednictvím Echo Planar Imaging (EPI). Metoda umožňuje pomocí rychlých změn v magnetickém poli dekodovat signál z celého řezu nebo objemu po jednom či několika radiofrekvenčních pulzech. Detekovaný signál se rozdělí na konečný počet vzorků. Na rozdíl od deoxyhemoglobinu má oxyhemoglobin slabé diamagnetické vlastnosti a velmi malý efekt.



NPH MRI 272 GILD

### Fyziologický princip BOLD fMRI

Mozek neskládá cukr jako primární zdroj energie. Když neurony vykazují aktivitu, aktivně pumpují ionty přes membránu. Tato aktivita vyžaduje energii, která pochází z glukózy. Vyšší krevní tok přináší víc glukózy a tím i víc kyslíku prostřednictvím oxyhemoglobinu. Změna krevního toku je lokalizovaná 2–3 mm od místa neurální aktivity.

# Odkazy

## Související články

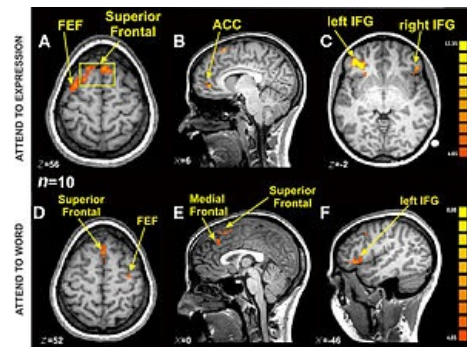
- Magnetický dipól
- Lorentzova síla
- Indukované proudy
- Magnetická resonance
- Flemingovo pravidlo levé ruky

## Zdroj

- LEPIL, ŠEDIVÝ, . *Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus*. 5. vydání. Prometheus, 2007. 342 s. ISBN 978-80-7196-202-1.
- AMLER, Evžen. *Elektřina a magnetismus* [přednáška k předmětu biofyzika, obor Všeobecné lékařství, 2.LF Karlova univerzita]. Praha. 15. 10. 2013. Dostupné také z <<https://moodle.mefanet.cz/login/index.php>>.
- JANDORA, R.. Elektromagnetická indukce. [cit. 2013-11-21]. <http://radek.jandora.sweb.cz/f16.htm>
- REICHL, J. a VŠETIČKA, M.. Multimediální encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2013-11-27]. <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/302-elektromagneticka-indukce>
- TARÁBEK, ČERVINKOVÁ, . *Odmaturuj z fyziky*. 2. vydání. Didaktis, 2006. 220 s. ISBN 80-7358-058-6.
- BOLD FMRI
- NAVRÁTIL, ROSINA, . *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Grada Publishing, a. s., 2005. 524 s. s. s. 257-260. ISBN 80-247-1152-4..
- Wikipedia: Funcional magnetic resonance imaging  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Functional\\_magnetic\\_resonance\\_imaging](https://en.wikipedia.org/wiki/Functional_magnetic_resonance_imaging) [27.11.2013]
- Nature: What does fMRI tell us about neuronal activity?  
[http://www.nature.com/nrn/journal/v3/n2/box/nrn730\\_BX1.html](http://www.nature.com/nrn/journal/v3/n2/box/nrn730_BX1.html) [27.11.2013]

## Reference

1. LEPIL, Oldřich a Přemysl ŠEDIVÝ. *Elektřina a magnetismus*. 5. vydání. Praha : Prometheus, 2007. Kapitola 7.3 Magnetická indukce. s. 145. ISBN 978-80-7196-202-1.



fMRI BOLD activation in an emotional Stroop task