

# Magnetický dipól

**Magnetický dipól** je obdobou dipólu elektrického. Je definován jako ohraničení uzavřené proudové smyčky nebo dvojice pólů zdroje magnetického pole, jehož rozměry jsou blízké nule a magnetický moment je konstantní. Tento idealizovaný model sloužící k přibližnému popisu šíření magnetického pole si můžeme představit jako systém dvou "magnetických monopolů" - hypotetických elementárních částic nesoucích opačné *magnetické náboje* (obdoba elektrického náboje). Uvedená analogie je konvenční, neboť existence magnetického monopolu dosud nebyla experimentálně prokázána. Magnetické pole kolem jakéhokoli zdroje nabývá povahy dipólového pole se stoupající vzdáleností od tohoto zdroje.

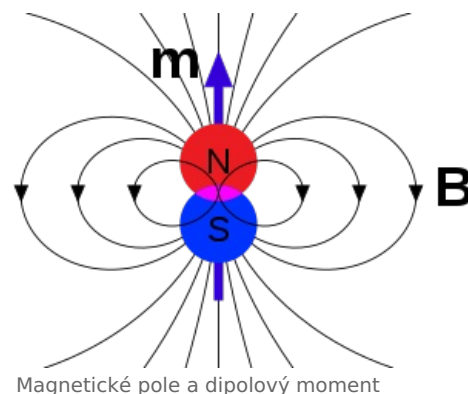
Stejně jako elektrický dipól má totiž i dipól magnetický veliký praktický význam pro popis vnitřku hmotných těles. Základní částice struktury všech látek - atom - je vždy také magnetickým dipólem, protože každý elektron „obíhající“ jádro tvoří vlastně dokonalou proudovou smyčku.

## Magnetický dipólový moment

Za model magnetického dipólu můžeme považovat malou (v porovnání se vzdáleností, ve které magnetické pole zkoumáme) uzavřenou vodivou smyčku o ploše **S**, kterou prochází proud **I**. Pak magnetický moment této plošky je definován takto:

$$\boldsymbol{\mu} = I\mathbf{S}\mathbf{n},$$

kde **n** je jednotkový vektor kolmý na plochu smyčky a směřovaný tak, že pro pozorujícího tímto směrem proud prochází smyčkou proti směru hodinových ručiček. Z rovnice je vidět, že stejný směr má i vektor dipólového momentu. Změní-li se směr proudu ve smyčce, obrátí se vektor **μ** na opačnou stranu.



## Vlastnosti pole elementárního magnetického dipólu

Uvážíme-li, že se účinky pole magnetického dipólu zkoumají ve vzdálenosti od dipólu, která je nesrovnatelně větší než rozměry tohoto dipólu, můžeme místo skutečného dipólu uvažovat tzv. **elementární dipól** (též **bodový dipól**). Vektorový potenciál **A** bodového dipólu s momentem **m** umístěného v počátku souřadné soustavy je dán vztahem

$$\mathbf{A}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\mathbf{m} \times \mathbf{r}}{r^3},$$

kde **r** je polohový vektor a  $\mu_0$  je permeabilita vakua. Potenciál má tedy směr kolmý na **r** i **m** a velikost

$$A(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{r^2}.$$

Magnetická indukce **B**, je svázána s potenciálem podle standardního vztahu **B = rot A**. Z ní lze po úpravách získat vztah pro indukci v místě **r** dostatečně vzdáleném od dipólu:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left( 3\mathbf{r} \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{r}}{r^5} - \frac{\mathbf{m}}{r^3} \right) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left( \frac{3m \cos \beta}{r^3} \mathbf{r}_1 - \frac{\mathbf{m}}{r^3} \right),$$

kde  $\beta$  je úhel mezi **r** a **m**, **r**<sub>1</sub> je jednotkový vektor ve směru **r**.

Alternativně můžeme získat skalární potenciál elementárního magnetického dipólu podle vztahu

$$\psi(\mathbf{r}) = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{r}}{4\pi r^3},$$

Podobnost matematického tvaru tohoto vztahu rovnici pro vyjádření potenciálu dipólu elektrického je taky jedním z důvodů pro zavedení termínu magnetický dipól. Díky této shodě v průběhu polí je možné formálně zavést pojem "*magnetického náboje*" a magnetický dipól chápat také jako dvojici magnetických nábojů stejné velikosti a opačného znaménka. Takový postup se někdy volí pro popis magnetického pole vytvořeného jen zmagnetovanými látkami. Příslušná teorie je pak zcela analogická teorii elektrostatického pole. Na rozdíl od elektrostatiky je však nutné považovat magnetické náboje za *formálně zavedenou veličinu*.

## Potenciální energie a silové účinky magnetického pole na

# magnetický dipól

Volný dipól vložený do vnějšího magnetického pole se jeho vlivem indukce natáčí tak, aby dipólový moment mířil stejným směrem jako magnetická indukce pole. Proto se například magnety volně položené na stůl blízko sebe zorientují souhlasně, čili opačnými póly k sobě. Ze stejného důvodu se železné piliny v prostoru kolem magnetu zorientují ve směru magnetických indukčních čar. Při souhlasné orientaci má totiž dipól nejmenší potenciální energii, kterou lze vyjádřit rovnicí

$$E_p = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B} = -mB \cos \alpha,$$

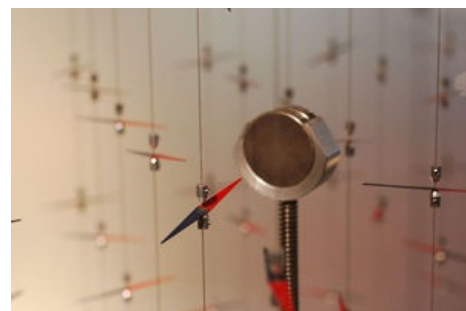
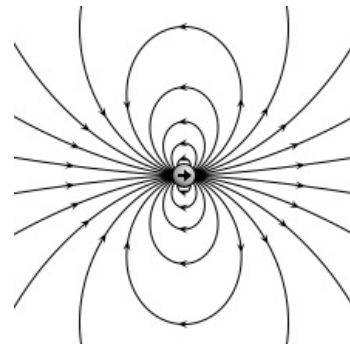
kde tečka značí *skalární součin*,  $\alpha$  je úhel mezi vektory  $\mathbf{B}$  a  $\mathbf{m}$ . Z tohoto vztahu lze určit také práci potřebnou k pootočení dipólu. Na dipól působí magnetická síla

$$\mathbf{F} = (\mathbf{m} \cdot \nabla) \mathbf{B} = (m \cdot \nabla B_x, m \cdot \nabla B_y, m \cdot \nabla B_z),$$

kde  $\nabla$  je operátor nabla. Tato síla má posuvné účinky. Způsobuje, že magnety se přitahují opačnými póly k sobě, zatímco souhlasné póly se odpuzují. Ze vztahu je ovšem vidět, že v homogenním poli je výsledná síla nulová a dipól se pouze natáčí. Otáčivé účinky vnějšího pole na dipól můžeme vyjádřit jako moment magnetické síly

$$\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{B},$$

kde  $\times$  značí *vektorový součin*. Je vidět, že síla neotáčí dipól orientovaný souhlasně s polem, protože moment je nulový. V této orientaci má potenciální energie minimum, takže jde o stabilní rovnovážnou polohu. Moment je nulový i pro dipól orientovaný opačně, ovšem tato rovnováha stabilní není (maximum potenciální energie).



Magnetky zavěšené na drátech kolem magnetu se zorientují ve směru magnetických indukčních čar a opačným pólem k magnetu.

## Odkazy

### Související články

- Magnetické pole
- Elektrický dipól
- Elektromagnetická interakce

### Externí odkazy

- Magnetický dipól

### Zdroj

- 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>>.
- Skripta Katedry fyziky povrchů a plazmatu MFF UK [https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/elmag/3\\_4](https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/elmag/3_4)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)
- [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD\\_strana](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana),

### Použitá literatura

- NAVRÁTIL, Leoš. *Medicínská biofyzika*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- L. D. LANDAU, J. M. LIFŠIC,. *Klasická teorie pole*. 7. vydání. Hayka, 1988. 512 s. ISBN 5-02-014420-7.
- CHOW, TAI L.,. *Introduction to electromagnetic theory: a modern perspective*. 1. vydání. Jones & Bartlett Learning, 2006. 523 s. ISBN 978-0-7637-3827-3.