

IV. Magnetické pole ve vakuu a v magnetiku

Osnova: 1. Magnetické pole el. proudu
2. Vlastnosti mg. pole
3. Magnetikum

1. Magnetické pole el. proudu

historický úvod – „podivné“ experimenty ukazující **neznámé silové působení**:

starověk: **nerost - nerost** (oxidy železa), **nerost - železo**, **magnetka - nerost**,
magnetka - Země

H. Ch. Oersted (1820): **vodič** (protékaný proudem) - **magnetka**

A. M. Ampère: **vodič - vodič** (protékaný proudem), **vodič** (s proudem) - **cívka**

síla nazvána **magnetickou silou**, zavedeno **magnetické pole**

→ vodiče protékané proudem, pohybující se náboje a zmagnetovaná tělesa
vytvářejí mg. pole, které se projevuje účinky na tytéž objekty

veličina charakterizující mg. pole – **magnetická indukce** $\vec{B}$, $[B] = \text{T} = \text{NA}^{-1}\text{m}^{-1}$

1. Magnetické pole el. proudu

magnetická síla $\vec{F}_m$ působící na bodový náboj q pohybující se rychlostí $\vec{v}$ vzhledem ke zdroji mg. pole $\vec{B}$ se dá vyjádřit jako

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

na náboj v el. i mg. poli působí tzv. **Lorentzova síla**

$$\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

tok magnetické indukce $\vec{B}$ plochou $\vec{S}$ – **magnetický indukční tok** je

$$\Phi = \iint_{\vec{S}} \vec{B} d\vec{S}$$

2. Vlastnosti magnetického pole

Síla mezi dvěma rovnoběžnými přímými vodiči

experiment:

- vektor mg. indukce má směr tečny ke kružnici se středem ve vodiči v rovině kolmé na vodič („**Ampérovo pravidlo pravé ruky**“)
- $B \sim \frac{1}{a}$, $B \sim I$, kde a je vzdálenost od vodiče, I procházející proud, výsledek:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{a}$$

- do pole vodiče vložíme další vodič, kterým prochází proud I' , potom

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{II'}{a} d$$

je velikost síly, kterou jeden vodič působí na délku d druhého vodiče

2. Vlastnosti magnetického pole

Definice ampéru

Ampér je proud, který při stálém průtoku dvěma rovnoběžnými přímými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu, umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 metr, vyvolá mezi nimi sílu $2 \cdot 10^{-7}$ N.

Ampérův zákon

Cirkulace Γ vektoru $\vec{B}$ podél libovolné uzavřené křivky $\vec{a}$ je rovna celkovému proudu (násobenému permeabilitou vakua), který protéká plochou ohraničenou touto křivkou.

$$\Gamma = \mu_0 I_c, \text{ (kde } \Gamma = \oint_{\vec{a}} \vec{B} d\vec{a} \text{)}$$

→ mg. pole není potenciální

Další poznatek: Mg. indukční tok libovolnou uzavřenou plochou je nulový $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$

→ mg. indukční čáry jsou uzavřené, neexistuje mg. monopól

2. Vlastnosti magnetického pole

Mg. pole závitů a cívky (solenoidu)

Ampérovo pravidlo pravé ruky, pole uvnitř dlouhé cívky délky d o N závitěch

$$B = \mu_0 \frac{NI}{d}$$

Náboj v mg. poli

Na náboj q v mg. poli působí síla $\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$ ($F_m = qvB\sin\alpha$)

Pokud je pole homogenní a $\vec{v} \perp \vec{B}$ trajektorie náboje q o hmotnosti m je kružnice o poloměru

$$r = \frac{mv}{qB}$$

využití: hmotnostní spektrometr, cyklotron (urychlovače)

3. Magnetikum

Magnetikum = látkové prostředí, soustředíme se na jeho magnetické vlastnosti

Magnetický dipól

- malá (tedy rovinná) smyčka plochy S protékaná proudem

mg. moment smyčky $\vec{m} = I \cdot \vec{S}$, kde $\vec{S} = S \cdot \vec{n}$ je vektor ve směru normály plochy orientace smyčky, srovnání pole el. a mg. dipólu

Rozložení mg. dipólů

- je popisováno vektorem magnetizace $\vec{M}(\vec{r}) = \frac{\vec{m}_V(\vec{r})}{V}$, tj. objemovou hustotou mg. dipólů,

vektorem magnetizace charakterizuje mg. vlastnosti jednotlivých látek (magnetik)

3. Magnetikum

vektor magnetické intenzity $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$

- používá se k popisu magnetického pole v látce (magnetiku) místo mg. indukce
- již zohledňuje mg. vlastnosti látky
- pro velkou skupinu látek (homogenní, izotropní lineární prostředí) se dá převést na tvar $\vec{H} = \vec{B}/\mu$, kde μ je **permeabilita prostředí** a μ_r je **relativní permeabilita** prostředí (udává kolikrát zesílí látka pole)

Ampérův zákon pro magnetikum

Cirkulace vektoru mg. intenzity podél libovolné uzavřené křivky je rovna celkovému proudu, který protéká plochou ohraničenou touto křivkou.

$$\Gamma = \oint_{\vec{a}} \vec{H} d\vec{a} = I_c$$

3. Magnetikum

Klasifikace magnetik

1) diamagnetické látky

- $\mu_r < 1$, zeslabují mg. pole
- jejich „stavební částice“ nemají vlastní dipólové mg. momenty
- po vložení do mg. pole se indukované mg. momenty natočí proti směru pole
- některé kovy, nekovové pevné látky, kapaliny, plyny

2) paramagnetické látky

- $\mu_r > 1$, mírně zesilují mg. pole, platí Curieho vztah $\mu_r = 1 + \frac{C}{T}$
- jejich „stavební částice“ mají vlastní dipólové mg. momenty
- po vložení do mg. pole se vlastní mg. momenty natočí ve směru pole (zesílení, orientační polarizace), indukované pole mírně oslabují (účinek mnohem menší než u vlastních mg. momentů)
- většina kovů, některé plyny (vzduch, ...)

3. Magnetikum

3) feromagnetické látky

- $\mu_r \gg 1$, silně zesilují mg. pole
- mg. dipóly jsou orientovány spontánně v celcích, tzv, **Weissoových doménách**, ty se jako celky též natáčejí (do stavu nasycení)
- nastává jev **hystereze**