

Obsah

20 Stacionární a nestacionární magnetické pole	1
20.1 Magnetické pole	1
20.1.1 Stacionární mag. pole	1
20.1.2 Nestacionární mag. pole	1
20.1.3 Ampérovo pravidlo pravé ruky	1
20.2 Magnetická indukce	1
20.2.1 Nabité částice v mag. poli	2
20.2.2 Působení mag. pole na vodič	2
20.2.3 Magnetické pole paralelních vodičů	4
20.3 Vytváření magnetického pole	4
20.3.1 Přímý vodič	4
20.3.2 Cívky	5
20.4 Magnetický indukční tok	5
20.5 Energie magnetického pole cívky	5
20.6 Magnetické vlastnosti látek	5
20.6.1 Permeabilita	5
20.6.2 Diamagnetické látky	6
20.6.3 Paramagnetické látky	6
20.6.4 Feromagnetické látky	6
20.6.5 (Magnetické) hystereze	6
20.7 Elektromagnetická indukce	6
20.7.1 Indukčnost	7
20.7.2 Vlastní indukce	7
20.8 Foucaultovy proudy	7

20 Stacionární a nestacionární magnetické pole

20.1 Magnetické pole

- vektorové pole okolo pohybujícího se náboje nebo permanentního magnetu
- působení magnetické síly – přitahování, odpuzování, působení na el. náboje
- magnetické siločáry – uzavřené smyčky znázorňující magnetické pole
- vytvářeno magnety
 - permanentní magnety – stálé magnetické pole, nerosty
 - dočasný magnet – magnetický materiál pouze dočasně za určitého stavu
 - * působením permanentního magnetu – feromagnetické materiály magnetické při styku s permanentním magnetem
 - * elektromagnety – tvorba magnetického pole při průchodu el. proudu
- části magnetu
 - severní a jižní pól – (domluvený) začátek a konec magnetických siločár, přitahování nesouhlasných
 - netečné pásmo – střed magnetu, nepůsobení mag. síly

20.1.1 Stacionární mag. pole

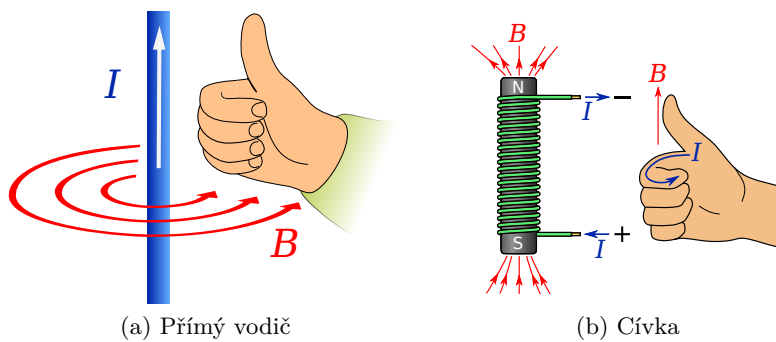
- neměnné v čase
- veličiny jej charakterizující konstantní
- zdroj – stacionární magnet, vodič s konstantní mag. polem

20.1.2 Nestacionární mag. pole

- proměnné vlastnosti v čase
- zdroj
 - pohybující se zdroj stacionárního mag. pole
 - vodič s proměnným proudem
- důvod elektromagnetické indukce

20.1.3 Ampérovo pravidlo pravé ruky

- pravidlo určující směr siločár mag. pole
- vodič
 - palec – směr proudu
 - prsty – směr siločár
- cívka
 - prsty – směr proudu
 - palec – směr siločár



Obr. 20.1: Ampérovo pravidlo pravé ruky

20.2 Magnetická indukce

- značka \vec{B} , jednotky T (tesla), další $\text{N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
- vektorová veličina popisující silové účinky mag. pole
- tvoří vektorové pole
- směr mag. indukce popsán magnetickými siločárami

20.2.1 Nabité částice v mag. poli

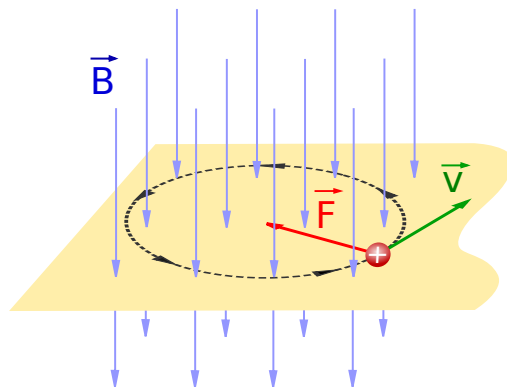
- Lorenzova síla – síla působící na pohybující se nabitou částici v mag. polem
- popis síly veličinou magnetické indukce
- obecný tvar

$$\vec{F}_m = Q(\vec{v} \times \vec{B})$$

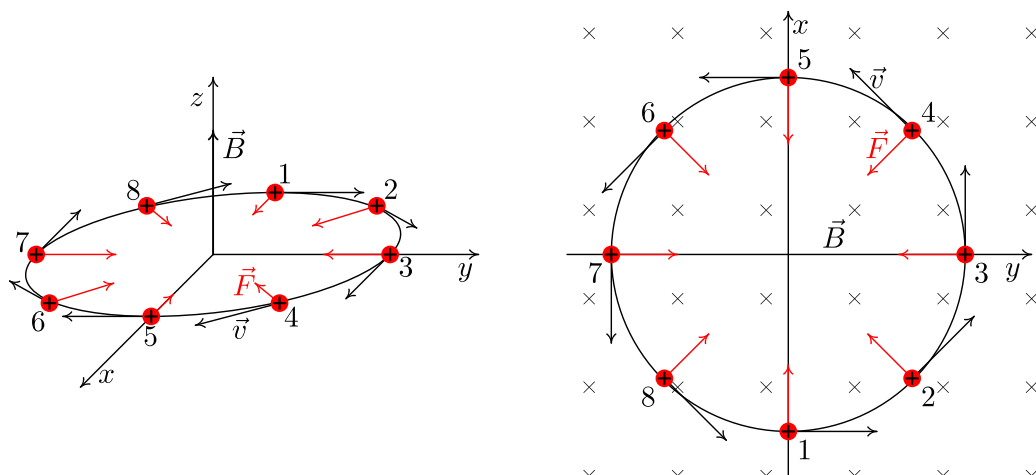
- Q – náboj částice
- \vec{v} – vektor rychlosti částice
- zjednodušený tvar pro velikost F_m

$$F_m = QvB \sin \alpha$$

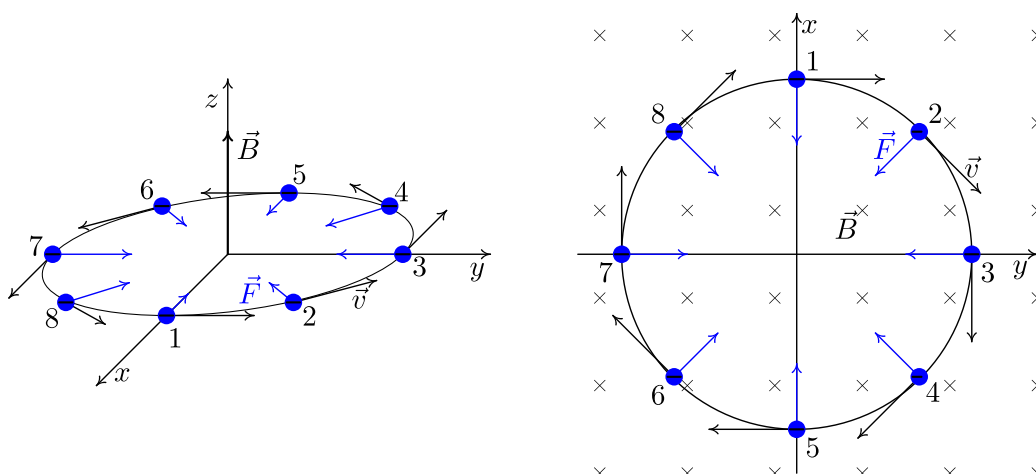
- α – úhel \vec{v} a \vec{B}



Obr. 20.2: Nákres situace nabité částice v mag. poli



Obr. 20.3: Pohyb kladně nabité částice v mag. poli



Obr. 20.4: Pohyb záporně nabité částice v mag. poli

20.2.2 Působení mag. pole na vodič

- mag. pole působí na vodič silou
- výslednice působení magnetických sil na elektrony ve vodiči

$$F = BIl \sin \alpha$$

- l – délka vodiče v poli
- I – proud procházející vodičem
- α – úhel vodiče a \vec{B} , kolmé – $\alpha = 90^\circ$
- předpoklad homogenního mag. pole, respektive konstantní mag. indukce
- odvození

$$F = QvB \sin \alpha$$

$$F = Q \frac{l}{t} B \sin \alpha$$

$$F = \frac{Q}{t} l B \sin \alpha$$

$$F = IlB \sin \alpha$$

Považujme Q za celkový náboj, který projde vodičem délky l za čas t

- odvození obecného tvaru

$$\vec{F} = Q\vec{v} \times \vec{B} \Rightarrow d\vec{F} = dQ\vec{v} \times \vec{B}$$

$$d\vec{F} = \frac{dQ}{dt} dt \vec{v} \times \vec{B}$$

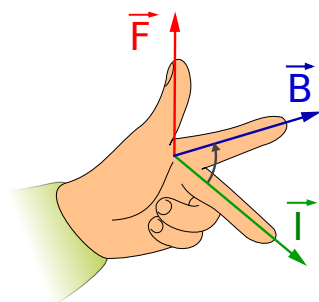
$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I \int_k d\vec{l} \times \vec{B}$$

- k – parametrická křivka vodiče

Flemingovo levé ruky

- prostředníček – směr proudu
- ukazováček – směr vektoru \vec{B}
- palec – směr \vec{F}_m



Obr. 20.5: Flemingovo pravidlo levé ruky

20.2.3 Magnetické pole paralelních vodičů

- vzájemné působení důvodem magnetických polí – působení magnetickou silou

- magnetické pole prvního vodiče působí na druhý vodič

$$F = BIl \cos \alpha \Rightarrow F = B_1 I_2 l$$

$$F = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1}{d} \cdot I_2 l$$

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

- stejný směr proudu – přitahování; rozdílný směr – odpuzování

20.3 Vytváření magnetického pole

20.3.1 Příímý vodič

- siločáry ve tvaru soustředných kružnic
- velikost indukce

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

- $\mu = \mu_0 \mu_r$ – permeabilita prostředí
- d – vzdálenost od vodiče

20.3.2 Cívky

- tvar pole shodný s tyčovým magnetem
- solenoid – průměr cívky mnohem menší než délka, pole uvnitř homogenní
- velikost indukce

$$B = \mu \frac{NI}{l}$$

- N – počet závitů
- l – délka cívky

20.4 Magnetický indukční tok

- taky *tok magnetické indukce*
- značka Φ (velké fí), jednotky Wb (weber)
 - také jednotky T·m²
- úhrnný tok magnetické indukce svislou plochou (míra počtu indukčních čar procházející plochou)

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \Rightarrow \Phi = BS \cos \alpha$$

- S – rovinná plocha
- α – úhel mezi \vec{B} a normálovým vektorem plochy

20.5 Energie magnetického pole cívky

- práce potřebná pro indukování proudu na cívce
- nutno překonat elektromotorické napětí na cívce $U_i = -L\Delta I/\Delta t$

$$\Delta E_m = W = UQ = |U_i| I \Delta t = L \frac{\Delta I}{\Delta t} I \Delta t = \Phi \Delta I$$

$$dE = \Phi dI$$

- celková energie rovna ploše pod grafem závislosti magnetického indukčního toku na proudu

$$E = \int_0^{I_0} \Phi dI = \int_0^{I_0} LI dI$$

$$E = \frac{1}{2} LI_0^2$$

20.6 Magnetické vlastnosti látek

- vytváření elementárního mag. pole elektrony
- součet polí → celkové pole
- celkové pole závislé na uspořádání elektronů

20.6.1 Permeabilita

- značka μ , jednotky $\text{N}\cdot\text{A}^{-2}$ nebo $\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$ (henry na metr)
- účinek materiálu/prostředí na výsledné účinky působícího magnetického pole
-

$$\mu = \frac{B}{H}$$

- H – intenzita magnetického pole, jednotky $\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$
 - * na rozdíl od indukce nebere v potaz vliv vázaných magnetických proudů
 - * vliv pouze vnějších magnetických polí
- permeabilita vakua $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{N}\cdot\text{A}^{-2}$

20.6.2 Diamagnetické látky

- $\mu_r < 1$ - zeslabení externího mag. pole
- vzácné plyny, měď, rtuť, nekovové materiály, kapaliny, organické látky...

20.6.3 Paramagnetické látky

- $\mu_r > 1$ (mírně větší)-externí mag. pole → mírné zesílení + vytvoření vlastního
- mag. pole nelze uspořádat, bez vnějšího si jej neudrží
- hliník, sodík, draslík, platina, kyslík, uran, hořčík...

20.6.4 Feromagnetické látky

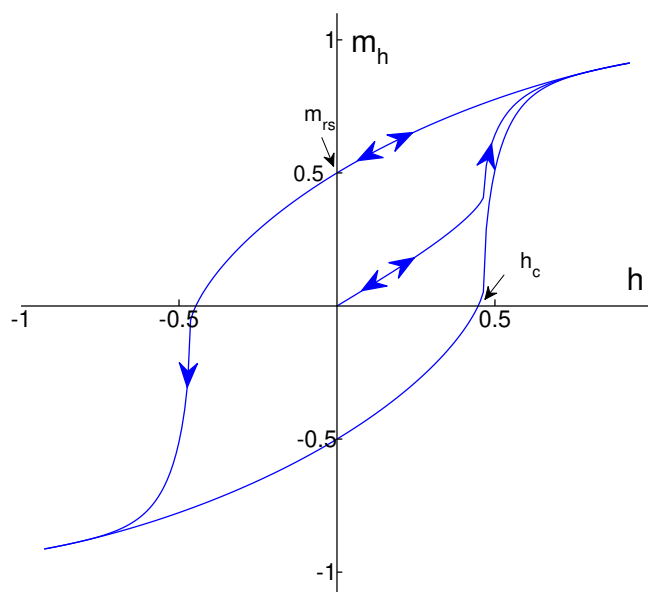
- $\mu_r \gg 1$
- značné zesílení mag. pole
- ztráta vlastní při určité teplotě (Curieova teplota)
 - chladnutí bez mag. pole → zničení struktury, přestává být magnetický
- železo, kobalt, nikl; hlavně v krystalech

Ferimagnetické látky (ferity)

- sloučeniny Fe_2O_3 a oxidy dalších kovů
- mnohem větší odpor než feromagnetické magnety
- v praxi široce používané

20.6.5 (Magnetické) hystereze

- *hystereze*
 - chování dynamického systému
 - výstupní veličina závislá nejen na proměnné, ale i na předchozím stavu
- magnetická hystereze – hysterezní křivka
 - uzavřená křivka magnetování
 - popis magnetizace materiálu v závislosti na intenzitě magnetického pole a předchozím stavu
 - užší křivka → jednodušší magnetizace/odmagnetování



Obr. 20.6: Magnetická hysterezní křivka

20.7 Elektromagnetická indukce

- vznik indukovaného elektrického pole vytvořeno nestacionárním mag. polem
- při změně mag. toku – deformace vodiče, průchod polem...
- Faradayův zákon elmag. indukce – udává velikost indukovaného napětí U_i

$$U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

- Lenzův zákon – mag. pole vybuze indukci působí proti směru pohybu vnějšího pole

20.7.1 Indukčnost

- značka L , jednotky H (henry)
- schopnost
 - vodivých těles vytvářet mag. pole v závislosti na protékajícím proudu
 - indukovat napětí ve vodiči při změně mag. pole
- základní vlastnost cívek

20.7.2 Vlastní indukce

- indukované el. pole v uzavřeném vodiči při změně mag. pole v důsledku změny proudu na vodiči
- mag. tok úměrný el. proudu

$$\Phi = LI$$

– L – indukčnost

- indukované napětí

$$U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

20.8 Foucaultovy proudy

- tzv. *vířivé proudy*
- vznik v plošných nebo objemových vodičích při změně mag. toku
- vznik opačné reakce – zeslabení mag. toku; největší zeslabení uprostřed průřezu
- využití

- stabilizace ručiček tachometru
- indukční brzda
- indukční vařiče, metalurgie – využití tepelných účinků
- indukční pece