

## DUM č. 8 v sadě

### 11. Fy-2 Učební materiály do fyziky pro 3. ročník gymnázia

Autor: Vojtěch Beneš

Datum: 01.02.2014

Ročník: 2A, 2C

Anotace DUMu: Dokument obsahuje sadu cvičení z fyziky pro 3. ročník gymnaziálního studia z tematického celku Stacionární magnetické pole. Je určen k samostatné domácí přípravě žáků.

Materiály jsou určeny pro bezplatné používání pro potřeby výuky a vzdělávání na všech typech škol a školských zařízení. Jakékoliv další využití podléhá autorskému zákonu.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Metodické pokyny

Dokument obsahuje sadu cvičení z fyziky pro 3. ročník gymnaziálního studia z tematického celku Stacionární magnetické pole. Je určen k samostatné domácí přípravě žáků.

Samostatnému počítání příkladů by měl předcházet výklad v hodině doplněný experimenty a předvedení několika vzorových příkladů. Předpokládá se zvládnutí základního učiva o elektrickém náboji a základů mechaniky.

Jedná se o výběr cvičení, které autor považuje za základ, který by měl dobrý student zvládnout. Cvičení nebyla opsána z učebnic či sbírek, ale nově vytvořena tak, aby co nejlépe doplňovala autorův výklad v hodinách. Snahou nebylo vymyslet co neoriginálnější nejzapeklitější příklady, ale naopak poskytnout základní problémy k procvičování probrané látky.

V dokumentu jsou cvičení rozřazena do oddílů věnovaných vlastnostem magnetického pole a určování magnetické síly. Zařazen je i rozšiřující oddíl pro zvědavé studenty věnovaný pohybu nabitých částic v magnetickém poli – tento je svého druhu výjimkou a nejedná se tedy o „základ“.

Autor usiloval o to, aby byla jednotlivá cvičení správně seřazena, totiž od lehčího k těžšímu, a aby zvládnutý problém v jednom cvičení byl pokud možno použit a rozšířen v některém z následujících. Je třeba poznamenat, že v současné době existuje několik velmi obsáhlých sbírek příkladů, které ovšem nerespektují výše zmíněnou pedagogickou zásadu. Často také množství příkladů k dispozici (desítky v jedné kapitole) žáky od počítání odradí. Autor se snažil udělat kompromis mezi kvalitou zvládnutí učiva a časovou náročností na domácí přípravu žáků.

Všechna schémata byla vytvořena autorem, fotografie byla převzata z

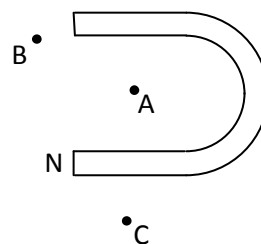
[http://cds.cern.ch/record/1645024/files/201401-013\\_10.jpg?subformat=icon-640](http://cds.cern.ch/record/1645024/files/201401-013_10.jpg?subformat=icon-640).

### 3. ročník      Stacionární magnetické pole – cvičení

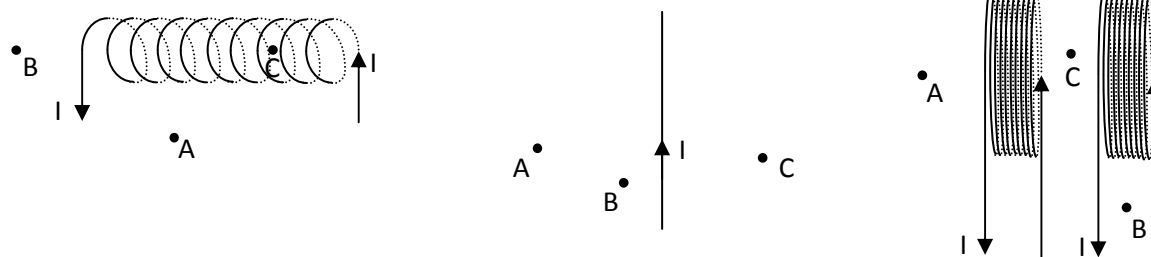
Zadaná hodnota  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

#### Magnetické pole

- 1) Pomocí indukčních čar znázorněte magnetické pole v těchto případech:
  - a) pole permanentního magnetu ve tvaru U,
  - b) pole vytvořené solenoidem (dlouhá tenká cívka, zadní strana tečkovaná),
  - c) pole vytvořené přímým vodičem,
  - d) pole vytvořené Helmholtzovými cívkami (dvojice cívek o poloměru  $r$ , jejichž vzdálenost je  $r$ ).



U elektromagnetů označte jejich severní pól. Do vyznačených bodů A, B a C zakreslete vektor magnetické indukce  $\vec{B}$  a polohu magnetické stříelky, jejíž severní pól vybarvíte červenou barvou.



- 2) Do následujících obrázků vyznačte síly působící mezi magnety.

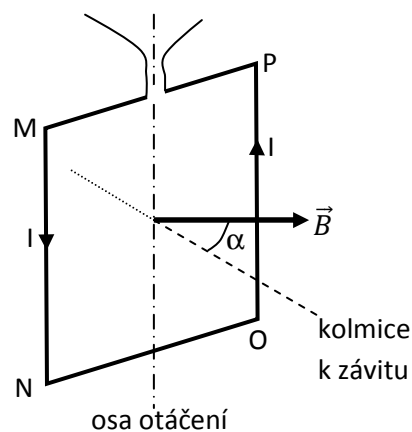


- 3) Máme cívku o 200 závitů, poloměru  $r = 2 \text{ cm}$  a délce  $d = 20 \text{ cm}$ . Jaký proud bychom do ní museli pustit, aby v jejím středu vzniklo magnetické pole o indukci 1 T? Je magnetické pole o velikosti 1 T „hodně velké“ či „hodně malé“? [796 A]
- 4) Máme rovný drátek o tloušťce 0,6 mm a pustíme do něj proud o velikosti 1 A. Jak intenzivní magnetické pole vznikne 1 mm od jeho povrchu? [0,154 mT]
- 5) Do středu solenoidu o  $N = 50$  závitů a délce  $L = 20 \text{ cm}$  umístíme magnetickou stříelku maličkých rozměrů. Solenoid leží na vodorovném stole, jeho osa jde od západu na východ. Do solenoidu poté pustíme proud o velikosti  $I = 250 \text{ mA}$ . Znázorněte situaci při pohledu shora, včetně magnetického pole země  $B_z$  a magnetického pole solenoidu  $B_s$ . O kolik stupňů se vychýlí stříelka z původního směru, je-li horizontální složka magnetického pole Země  $B_z = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ ? [o 76°]
- 6) **Oerstedův pokus** ve škole. Napneme dlouhý drát vodorovně od severu na jih. Umístíme 12 mm pod něj maličkou magnetickou stříelku a do drátu pustíme proud 3,0 A. Magnetická stříelka se vychýlí o 60°. Vypočítejte experimentálně zjištěnou hodnotu magnetické indukce Země  $B_{\text{exp}}$  a pokuste se vysvětlit rozdíl oproti správné hodnotě  $B_z = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ . [ $2,9 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ , v oblasti stříelky (o velikosti cca 1 cm) není pole drátu homogenní, magnetické pole Země má i složku vertikální]

## Magnetická síla

- 1) Vodičem, který délkou 10 cm zasahuje do homogenního magnetického pole o indukci 2 mT, teče proud 750 mA. Situaci prostorově znázorníte (vektory  $\vec{B}$ ,  $\vec{l}$ ,  $\vec{F}_m$ ) a vypočítejte magnetickou sílu v těchto případech:
  - a) vodič je kolmý na magnetické indukční čáry,
  - b) vodič svírá úhel  $30^\circ$  s magnetickými indukčními čarami,
  - c) vodič je rovnoběžný s magnetickými indukčními čarami. [0,15 mN; 0,075 mN; 0 N]
- 2) **Magnetické kyvadélko.** Hliníková tyčinka o hmotnosti 2,0 g je zavěšena na dvou rovnoběžných tenoučkých drátcích tak, že se může kývat kolem rovnovážné polohy, přičemž osa tyčinky zůstává stále vodorovná. Délkou 4,0 cm zasahuje do magnetického pole, o kterém budeme předpokládat, že je homogenní, svislého směru, orientované dolů a že má indukci 80 mT. Pomocí drátků pustíme do tyčinky proud 1,2 A. Vypočítejte, o jaký úhel se vychýlí. [ $11^\circ$ ]
- 3) Hliníková tyčinka o hmotnosti 5 g má délku 8 cm. Leží na dvou rovnoběžných kolejničkách (vodivý kontakt) vzdálených 6 cm od sebe, které jsou skloněny o úhel  $20^\circ$  vůči vodorovnému směru. Celek se nachází v homogenním magnetickém poli svislého směru o indukci 50 mT. Vypočítejte, jaký proud musíme do kolejnic pustit, aby se tyčinka udržela v rovnováze. [6 A]

- 4) **Princip motoru.** Z pevného drátu, obtížně deformovatelného, vytvoříme čtvercový závit MNOP a zajistíme, aby se mohl volně otáčet kolem svislé osy. Strana čtverce má délku  $a = MN = NO = 10$  cm. Závit umístíme do předp. homogenního magnetického pole vodorovného směru o indukci  $B = 20$  mT. Kolmice k závitům svírá s magnetickým polem úhel  $\alpha = 30^\circ$  a závitem prochází proud  $I = 2$  A.



- a) Vypočítejte velikost a do obrázku vyznačte směr sil působících na strany MN, NO, OP a PM. [ $F_{MN} = F_{OP} = 4$  mN, opačná orientace;  $F_{NO} = F_{PM} = 2$  mN, opačná orientace]
  - b) Vysvětlete, které síly mají otáčivý účinek. Vypočítejte celkový točivý moment. [ $2 \cdot 10^{-4}$  N·m]
  - c) Proveďte stejný výpočet pro úhel  $\alpha = 90^\circ$  a  $\alpha = 0^\circ$ . Rozhodněte, ve kterém okamžiku má tento "motor" největší "sílu". [při  $\alpha = 90^\circ$  je  $M = 4 \cdot 10^{-4}$  N·m, při  $\alpha = 0^\circ$  je  $M = 0$  N·m]
- 4) **Definice ampéru.** Uvažujme dva rovnoběžné nekonečně dlouhé vodiče umístěné 1 m od sebe ve vakuu, kterými teče proud 1 A souhlasným směrem. Vypočítejte, jak velkou silou na sebe působí dva protilehlé úseky o délce 1 m. Namalujte si obrázek a rozhodněte, zda se touto silou vodiče přitahují či odpuzují. [ $2 \cdot 10^{-7}$  N, přitahují se]
  - 5) Napájecí kabel je tvořen dvěma rovnými dráty obalenými gumovou bužírkou. Střed drátů jsou 4 mm od sebe, kabel má délku 20 m, guma je nemagnetické prostředí, takže  $\mu_r = 1$ . V daném okamžiku teče oběma dráty proud 2 A opačným směrem. Jak velkou silou na sebe dráty působí? [4 mN, odpuzují se]
  - 6) Odvoďte vztah pro sílu, kterou se přitahují dva protilehlé úseky o délce L rovnoběžných dlouhých vodičů s proudy  $I_1$  a  $I_2$  umístěných v prostředí o permeabilitě  $\mu$  ve vzdálenosti d od sebe. Ze vztahu vyjádřete permeabilitu  $\mu$ . Permeabilita má jednotku H/m (henry na metr). Vyjádřete 1 H/m pomocí základních jednotek soustavy SI. [ $[\mu] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

## Pohyb částice v magnetickém poli

- 1) Jádru  $\text{He}^{++}$  (tj. částice  $\alpha$ ) má hmotnost  $6,68 \cdot 10^{-27}$  kg. Rychlostí  $2 \cdot 10^7$  m/s vletí do magnetického pole o indukci 50 mT, kolmému na směr pohybu. Vypočítejte magnetickou sílu působící na částici, její zrychlení a poloměr její trajektorie v magnetickém poli. [ $3,2 \cdot 10^{-13}$  N;  $4,8 \cdot 10^{13}$  m/s<sup>2</sup>; 8,35 m]
- 2) Elektron o hmotnosti  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg byl nejdříve z klidu urychlen elektrickým napětím 2 kV, načež vletěl do magnetického pole o indukci 50 mT. Vypočítejte jeho rychlost a poloměr trajektorie v magnetickém poli. [ $2,65 \cdot 10^7$  m/s; 3 mm]
- 3) Největší kruhový urychlovač LHC v CERNu ve Švýcarsku má obvod 27 km a protony jsou v něm urychlovány na (kinetickou) energii až 4 TeV. Klidová hmotnost protonu je  $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg.
  - a) Vypočítejte, jakou rychlost by měl při této energii proton podle klasické mechaniky. [ $2,8 \cdot 10^{10}$  m/s = nadsvětelná = nelze]
  - b) Ve skutečnosti se při tak vysokých energiích uplatňují relativistické efekty, protony se pohybují rychlostí blízkou (ale menší) rychlosti světla  $v \cong c = 3 \cdot 10^8$  m/s a jejich hmotnost roste se zvětšující se energií. Vypočítejte, kolikrát za sekundu oběhne urychlený proton kruhovým urychlovačem. Podle vzorce  $E = m \cdot c^2$  vypočítejte celkovou hmotnost protonu. [jedenácttisíckrát;  $m = 7,11 \cdot 10^{-24}$  kg]
  - c) Vypočítejte, jak silné pole musí vytvářet supravodivé magnety, aby se proton udržel na kruhové trajektorii. [3,1 T]



Obrázek převzat z [http://cds.cern.ch/record/1645024/files/201401-013\\_10.jpg?subformat=icon-640](http://cds.cern.ch/record/1645024/files/201401-013_10.jpg?subformat=icon-640)