

8. Magnetic Train

Peter Štrauch

konzultant: Jozef Hanč

Ústav fyzikálnych vied, PF UPJŠ v Košiciach

Turnaj mladých fyzikov, 2016

29. ročník

Znenie úlohy

Originálne znenie

Button magnets are attached to both ends of a small cylindrical battery. When placed in a copper coil such that the magnets contact the coil, this "train" starts to move. Explain the phenomenon and investigate how relevant parameters affect the train's speed and power.

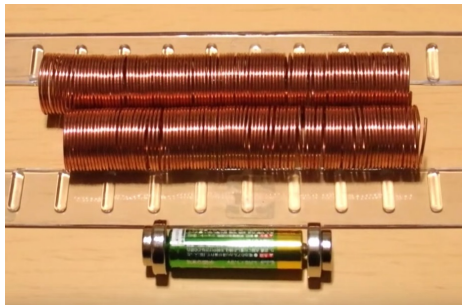
Preklad

Magnety v tvare gombíku sú priložené k oboom koncom malej valcovej batérie. Ak túto zostavu umiestnime do medenej cievky tak, že magnety sa dotýkajú cievky, tento "vlak" sa začne pohybovať. Vysvetlite daný jav a skúmajte, ako podstatné parametre vplývajú na rýchlosť a silu vlaku.

Ref. <http://iypt.org/images/e/ef/problems2016.pdf>

Ref. <http://www.tmfsrc.sk/sk/aktuality/169>

Demonštrácia



Ref. <https://youtu.be/J9b0J290zAU>

Ref. <https://youtu.be/Y1MD0erruDU>

Ingrediencie :)

- **batéria:** zinkovo-burelová alebo alkalická?
- **gombíkové magnety:** neodymové
!!! väčší priemer ako batéria
- **drôt:** medený \Leftarrow el. vodič & diamagnetikum
!!! bez ochranej izolačnej vrstvy = nelakovaný

✓ www.creative.sk/cievky/nelakovany-medeny-drot-0-6-mm-cievka-200-g/
cena: 10€/80m

✓ <http://www.hobby-kreativ.sk/hobby-kreativ/eshop/29-1-DRoTY-a-DRoTIKY>

✓ <http://goo.gl/HgzV9U>

odstrániť izoláciu z koaxiálneho kábla (ϕ 1mm)

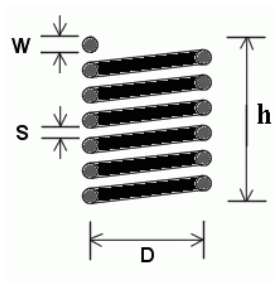
cena: 0,20 €/m (Rádioamatér, Jakobyho ul., Košice)

∴ tyč na navíjanie drôtu

∴ podpery, držiaky, naklonená rovina, ...

Výroba aparátúry

- **dĺžka drôtu** \approx (obvod závitů)*(počet závitů) = $\pi D \frac{h}{w+s}$
 - užšia batéria \Rightarrow užší magnet \Rightarrow kratší drôt



- **cievka:** krátka, dlhá, toroid
- natáčať drôt pomocou vrtačky

Ref. <https://youtu.be/IXeXcbvBPJw>

Ref. <https://youtu.be/FVP2hJQmc1c?t=3m50s>

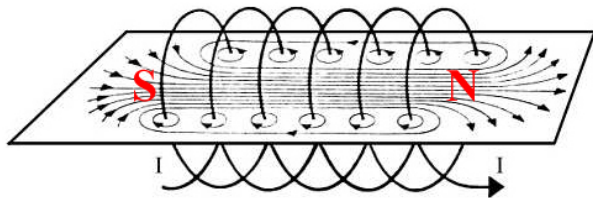
Fyzikálna podstata

neodýmový magnet je el. vodivý & medený drôt je bez izolácie

- (batéria) + (magnety) + (kratšia časť cievky medzi magnetmi) = uzavretý obvod, ktorým prechádza prúd

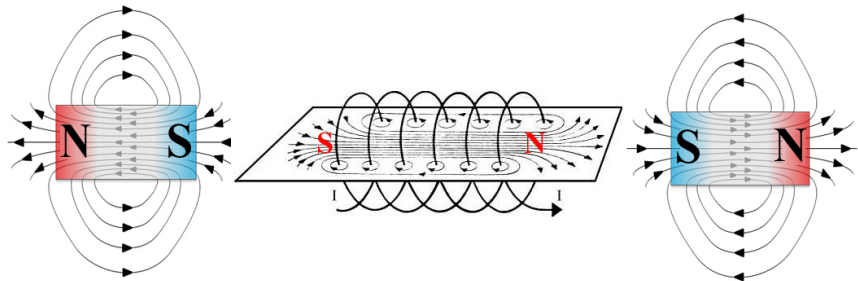
cievkou prechádza prúd

- "kratšia časť cievky" vytvára vo svojom vnútri homogénne magnetické pole = virtuálny magnet



Ref. https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium_magnet

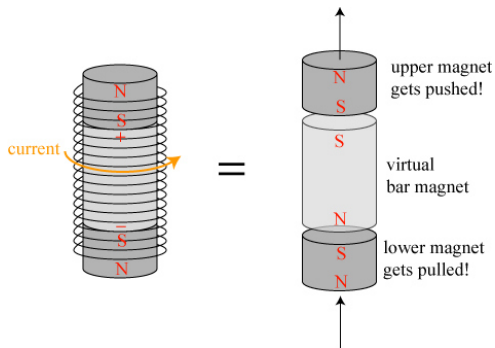
Čo sa stane s magnetmi?



Fyzikálna podstata

v cievke su vedľa seba "vhodne" uložené 3 magnety
(2 gombíkové & 1 virtuálny)

- virtuálny magnet odpudzuje jeden gombíkový magnet
- virtuálny magnet priťahuje druhý gombíkový magnet
- gombíkové magnety su spojené s batériou \Rightarrow hýbe sa aj batéria



Ref. <http://skullsinthestars.com/2014/12/12/the-mystery-of-the-magnetic-train>

$$B = \frac{\mu_0 N I_0}{l_C}$$

$$B = \mu_0 \xi \frac{U_e}{R}$$

$$B = \mu_0 \xi \frac{U_e}{R_i + R_M + \rho \frac{l_D}{S}}$$

Ref. Tirpák, A. (2009). Elektromagnetizmus.

Návrhy pre meranie

Ktoré parametre sú podstatné?

$$B = \frac{\mu_0 N I_0}{l_C} = \mu_0 \xi \frac{U_e}{R_i + R_M + \rho \frac{l_D}{S}}$$

- **magnet**
 - počet magnetov
- **batéria** (tužková, mikrotužková, iné typy?)
 - svorkové napätie (závisí od opotrebovanosti batérie)
- **drôt**
 - hustota závitov ξ
 - prierez drôtu S
- odpor (batérie R_i , magnetu R_M , drôtu)
- hmotnosť vláčiku m

Návrhy pre meranie

Ako vplývajú parametre na rýchlosť a silu vlaku?

- pre aké parametre $\max\{\text{silu vlaku}\}$?

★ **dráha so stúpaním:** rovnováha síl

$$F_{hnacia} = F_g + F_t = mg \sin \alpha + F_t$$

★ **dráha vo vodorovnej polohe:** "silu vlaku" \sim zrýchlenie

- videomeranie cez Coach alebo Tracker

$$\text{pri štarte vláčika: } F_{hnacia} - F_t = ma$$

pozn.: F_t merať experimentálne

Teoretický model

Výhody: Viem meniť ľahko parametre \Rightarrow úspora času a financií

Návrhy riešenia:

★ **prístup cez energiu:**

$$\Delta E_p = -F\Delta x \dots (\text{analog. pre kondenzátor: Feynman})$$

★ **prístup cez silu:** Coulombov zákon pre magnetizmus

- problém odhadnúť vzdialenosť r magnetu od cievky

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{p_1 p_2}{r^2} \dots (\text{analog. pre el. náboje: } F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2})$$

Ref. Feynman, R. P. (1977). The Feynman Lectures on Physics, Vol. 2 (pp. 225–229).

Ref. Bloomfield, L. A. (2009). How Things Work (4 ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

V zadaní úlohy nie je zakázané:

- zníženie trenia prostredníctvom el. vodivej látky
 - hrozí prechod prúdu cez túto látku a nie cez závit cievky
- prúd dodávať do obvodu z napojeného zdroja na cievku \Rightarrow vyšší prúd v cievke \Rightarrow silnejšia indukcia
 - možnosť použiť izolovaný (lakovaný) drôt
 - bude to fungovať, keď pole nebude len okolo kratšej časti cievky, ale bude pozdĺž celej cievky?

V čom je problém?

obvod je v skrate: nízky odpor \Rightarrow vysoké prúdy

- dĺžka fungovania vlaku \sim rôzna kapacita batérie [mAh]

$$\text{kapacita batérie} = I \cdot t$$

... akú má vláčik životnosť?

Prezentácia & odborné články:

Bloomfield, L. A. (2009). How Things Work. Hoboken, NJ: Wiley.

✓ <https://goo.gl/rNPkDB>

Tirpák, A. (2009). Elektromagnetizmus. Bratislava: IRES.

✓ <http://goo.gl/BrzRBj>

Feynman, R. (1977). The Feynman Lectures on Physics, Vol. 2 (pp. 225–229).

✓ <http://goo.gl/RV2WnD>

Videonávody:

✓ <https://youtu.be/IXeXcbvBPJw>

✓ <https://youtu.be/J9b0J290zAU>

✓ <https://youtu.be/Y1MD0erruDU>

✓ <https://youtu.be/FVP2hJQmc1c>

Ďakujem za pozornosť!

Peter Štrauch
pstrauch89@gmail.com