

## Několik netradičních pokusů z magnetismu

VĚRA KOUDELKOVÁ  
KDF MFF UK Praha

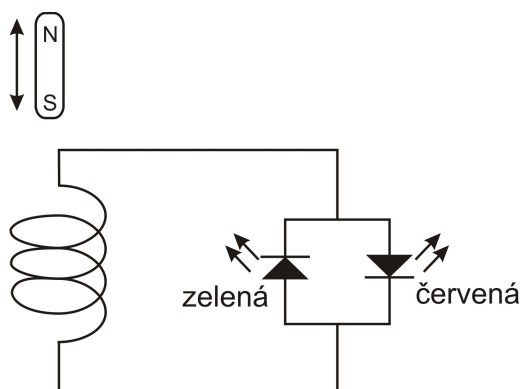
V příspěvku jsou popsány tři netradiční pokusy z magnetismu – použití LED pro demonstraci elektromagnetické indukce, demonstrace diamagnetismu a magnetické kyvadlo brzděné vířivými proudy.

### Úvod

Inspiraci na tři pokusy popsané v tomto příspěvku jsem čerpala ze zahraničních časopisů (viz [1-3]).

### Elektromagnetická indukce

Elektromagnetická indukce se na školách obvykle ukazuje pomocí voltmetru s ručkou uprostřed. Autoři článku [1] doporučují používat dvě svítivé diody zapojené antiparalelně (tedy paralelně s opačnou polaritou). V našich podmínkách lze pokus provádět se školní cívkou 12 000 závitů, červenou a zelenou LED a běžným školním válcovým magnetem (viz obr. 1).



Obr. 1: Schéma zapojení LED

### Výhody:

- LED reagují rychle, na rozdíl od ručky voltmetru je nebrzdí setrvačnost.
- Lze demonstrovat velikost změny magnetického indukčního toku – při rychlém pohybu magnetu LED svítí hodně, při pomalejším málo.
- Barva svitu LED indikuje polaritu.

- Poslední výhoda je hlavně motivační – na rozdíl od voltmetru, kde se pouze „hýbe ručka“, při požití LED „opravdu vyrábíme energii“ a něco reálného rozsvítíme.

Pokročilejší studenti mohou provést odhad velikosti indukovaného napětí:

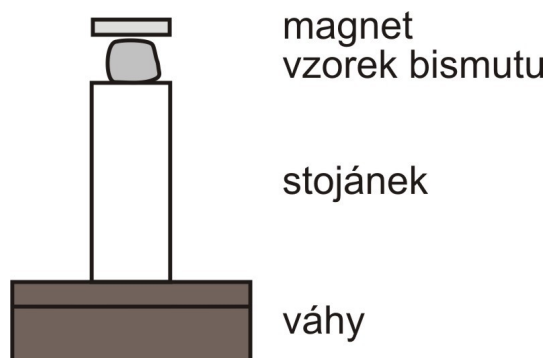
$$|U| = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta (B \cdot S \cdot N)}{\Delta t},$$

kde  $B$  je magnetická indukce (pro neodymové magnety je v blízkosti magnetu  $B \sim 1$  T),  $S$  je průřez magnetu ( $\sim 1$  cm<sup>2</sup>),  $N = 12\,000$  je počet závitů cívky a  $\Delta t$  je doba, za kterou změna magnetického indukčního toku nastane (pokud magnetem pohybujeme rukou, lze odhadnout  $\Delta t \sim 0,6$  s). Po dosazení vyjde  $|U| \sim 2$  V, což je právě zhruba napětí, při němž svítí LED.

### Demonstrace diamagnetismu

Pokud vložíme diamagnetickou látku do magnetického pole, vzniknou v ní magnetické dipóly, které působí proti vnějšímu poli. V látce tak dojde k zeslabení vnějšího magnetického pole. Navenek se diamagnetismus projevuje slabým odpuzováním látky od magnetu.

Vhodnou látkou pro demonstraci diamagnetismu je bismut, který má magnetickou susceptibilitu přibližně dvacetkrát větší než voda ( $\chi_{\text{bismut}} \sim -2 \cdot 10^{-4}$ ).



Obr. 2: Uspořádání experimentu pro demonstraci diamagnetismu

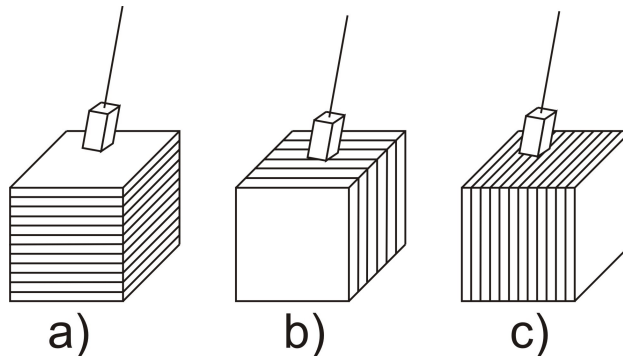
Uspořádání experimentu je vidět na obrázku 2 (viz také [2]). Na citlivé váhy (potřebná citlivost jsou setiny gramu) je umístěn stojánek z neferomagnetického materiálu, na který je položen vzorek bismutu. Pokud se k bismutu přiblížíme shora neodýmovým magnetem, zaznamenáme na vahách větší výchylku. Váhy samozřejmě neregistrují zvětšení hmotnosti vzorku bismutu, ale sílu – v tomto případě sílu, kterou je diamagnetická látka odpuzována od magnetu.

V uspořádání popsaném výše lze dosáhnout síly o velikosti několika desetin milinewtonu, což se na vahách projeví zvýšením údaje o několik setin gramu.

Poznámka: stojánek musí být dostatečně vysoký (v našem uspořádání cca 30 cm), aby experiment nebyl ovlivňován přitahováním magnetu s horní deskou vah.

## Magnetické kyvadlo

Experiment popsáný v článku [3] je dalším z řady pokusů, jimiž lze demonstrovat vířivé proudy. Autoři článku vyrobili krychli z vrstev hliníku a papíru a poté nad touto kostkou nechali kývat magnet (viz obr. 3).



Obr. 3: Magnet kývající se nad kostkou z vrstev hliníku a papíru

V článku jsou uvedeny dva závěry pokusu:

- Pokud se magnet kýve nad hladkou stranou (obr. 3a), velmi rychle se utlumí.
- Pokud je kostka otočená tak, že se magnet kýve rovnoběžně s vrstvami (obr. 3b), je tlumení pohybu jen velmi malé.

Autoři však nezodpověděli několik dalších otázek, například:

- Co se stane, pokud je kostka natočená šikmo?
- Jaké bude tlumení, pokud se bude magnet kývat kolmo na vrstvy? (obr. 3c)
- Jsou kmity magnetu harmonické? Jak je velké tlumení?
- Jak závisí tlumení na vzdálenosti mezi magnetem a kostkou?

### Uspořádání pokusu

V našem uspořádání jsme použili kvádr o rozměrech 6 x 6x 4,5 cm vyrobený z měděných plechů spojených epoxidem, který slouží současně jako lepidlo i jako izolace. Magnet byl složen z malých kulatých neodymových magnetů (viz obr. 4).



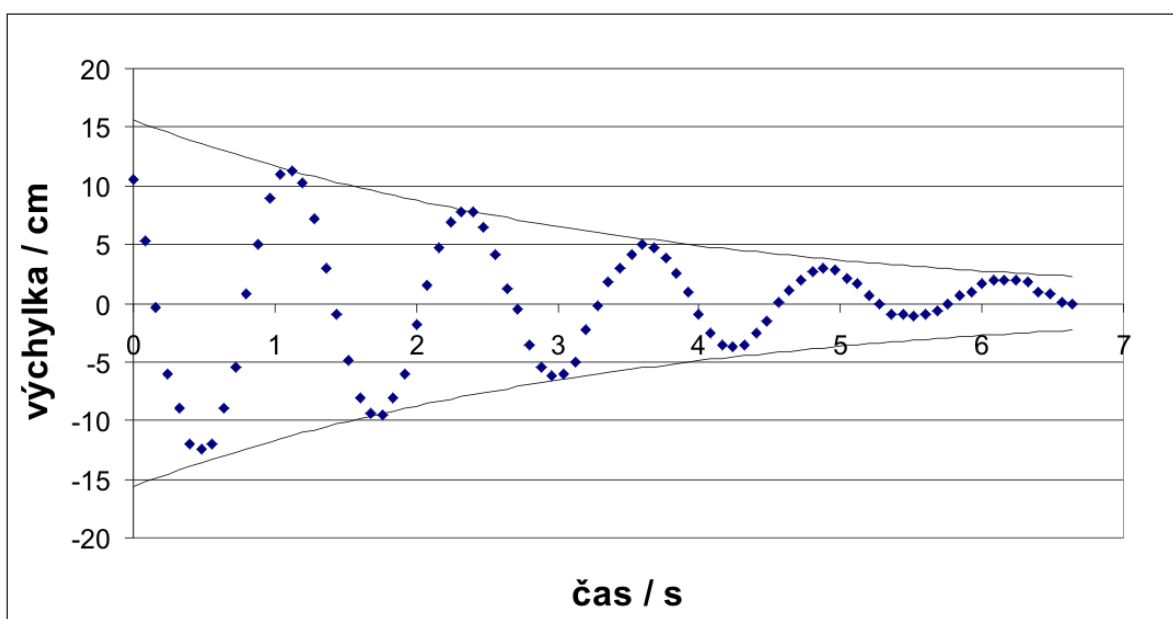
Obr. 4: Uspořádání experimentu

### Některé odpovědi

Pokud se magnet kýve nad hladkou stranou kostky a vzdálenost mezi magnetem a kostkou je menší než přibližně 0,5 cm, dojde k aperiodickému pohybu – magnet neudělá ani jeden kmit.

Pokud je kostka natočená šikmo, kmity se ve směru kolmém na vrstvy tlumí hodně, ve směru rovnoběžném s vrstvami se tlumí jen velmi málo. V důsledku toho se pohyb magnetu rychle stočí do směru rovnoběžného s vrstvami.

Graf na obrázku 5 popisuje pohyb magnetu ve směru vrstev. Z grafu je vidět, že magnet vykonává přibližně tlumený harmonický pohyb. Body popisují pohyb magnetu, hladké křivky jsou exponenciální regresní funkce charakterizující zmenšování amplitud kmitů.



Obr. 5: Graf pohybu magnetu nad kostičkou

Poznámka: Hodnoty souřadnice v jednotlivých časech byly získány tak, že jsem pohyb magnetu nad kostkou natáčela na video a polohu pak odečítala z videa pomocí programu AviStep.

### Závěr

Výše uvedené pokusy jsou vhodné pro středoškolské studenty – buď v běžných hodinách jako demonstrační experimenty nebo v seminářích, kde mohou studenti provést i podrobnější rozbor a měření. Pokud některý pokus vyzkoušíte či budete mít nějaké otázky nebo komentáře, budu ráda, pokud se mi ozvete na adresu [vera.koudelkova@mff.cuni.cz](mailto:vera.koudelkova@mff.cuni.cz).

## **Literatura**

- [1] Lottis, D., Jaeger, H.: LED's in Physics Demos: A Handful of Examples, *Phys. Teach.*, 34 (3), 144-146 (1996)
- [2] Willems, P. L.: Demonstrating Diamagnetism, *Phys. Teach.*, 35 (11), 463 (1997)
- [3] Sasaki, M., Seki, Y., Sasaki, A.: Magnetic-pendulum set-up illustrates eddy-current generation and inhibition, *Phys. Ed.*, 40 (2), 127-128 (2005)