

# Magnety a vodiče v jednoduchých pokusech

Leoš Dvořák

Katedra didaktiky fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

leos.dvorak@mff.cuni.cz

## Úvod

Pokusy a pomůcky popsané v tomto příspěvku se týkají síly působící na vodič s proudem a elektromagnetické indukce. Některé z nich používám již dlouho v semináři pro budoucí učitele fyziky, asi dva vznikly nově speciálně pro vlachovický seminář – i když samozřejmě jejich princip je jasný a je možné, že podobné pokusy jsou někde popsány ve starší literatuře.

Jak zařadit tyto pokusy a pomůcky do výuky, nechávám na vás, laskavých čtenářích tohoto příspěvku. Lze je užít v demonstračních pokusech (byť většinou jde o pomůcky dosti malé), nechat žáky, aby si je prohlédli v klidu i v činnosti a diskutovali, jak pracují, nebo si je mohou žáci vyrobit i sami třeba v rámci různých projektů. Jde o pomůcky typu „low cost“, tedy využívající dostupné a laciné materiály, a lze je snadno vyrobit v podstatě „na koleně“, bez speciálního dílenského vybavení. Zvládne to i méně šikovný jedinec (za takového se považuje i autor tohoto článku). Navíc dále popsané konstrukce nejsou žádným „kánonem“, lze je podle potřeby upravovat a vylepšovat; mají sloužit spíš jako inspirace pro vás, učitele fyziky, a pro vaše žáky.

## Potřebný materiál a kde ho získat

Právě proto, že jde o jednoduché konstrukce, na nichž lze leccos upravovat, lze na otázku, kde sehnat potřebný materiál, odpovědět parafrází výroku loupežníka Lotranda z filmové pohádky [1]: „Kde se dalo, pantáto převore, kde se dalo...“. Nemusíme ovšem přepadat pocestné a kupce. Korkové zátky se jistě najdou nějaké starší, smaltovaný měděný drát lze získat ze starých cívek, magnety z rozbitých mikrovlnek. Pokud se nám nechce rozebírat staré přístroje, vše se dá také koupit; v době internetu stačí zadat do Googlu například „smaltované dráty“ a vypadne řada odkazů na dodavatele a prodejce.

Přesto je možná rozumné uvést odkaz na to, kde lze sehnat magnety. (Nechápejte to jako reklamu, autor článku ani jeho pracoviště nemají s dále uvedeným dodavatelem nic společného.) E-shop [2] nabízí velkou řadu feritových i neodymových magnetů a věcí s magnety souvisejících, jako je ferrofluid. Neodymové magnety větších rozměrů jsou přirozeně dost drahé (nemluvě o magnetech pro průmyslová použití), ale malé neodymové magnety jsou skutečně za pár korun, podobně feritové magnety.

## Pozor na silné magnety

Ještě dvě upozornění týkající se neodymových magnetů. Jednak: Jsou křehké a při větším úderu (leckdy stačí, když se navzájem či k něčemu rychle „přicvaknou“) se snadno rozštípnou. A za druhé: Jsou opravdu silné. Již od rozměru zhruba dva krát dva centimetry a tloušťky řekněme centimetr se navzájem drží tak velkou silou, že je velmi obtížné je od sebe oddělit. (K síle jejich vzájemného přitahování viz např. [3].) A když se k sobě „přicvakávají“, pozor, aby vám nepřicvakly kousek prstu, i od menších magnetů to dost bolí. Výrobci a dodavatelé proto mezi magnety vkládají plastové distanční podložky; vědí, proč to dělají. Na stránkách [2], konkrétně na [4] jsou bezpečnostní pokyny,

vyplatí se je dodržovat. S menšími magnety v zásadě problémy nejsou (jen pozor: nepolykat!), podobně je tomu s feritovými magnety rozumných rozměrů.

## Magnet působí na vodič s proudem

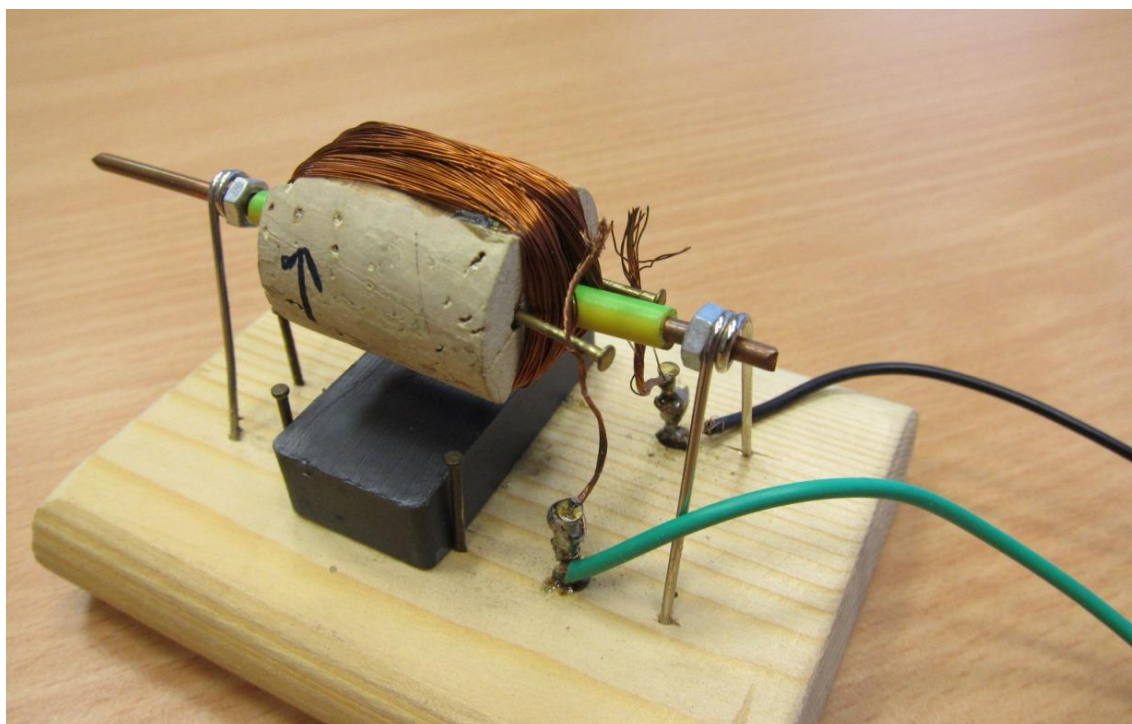
Síla, kterou magnetické pole působí na vodič s proudem, se využívá v řadě aplikací, například v motorech, měřicích přístrojích s otočnou cívkou a v reproduktorech. Princip všech těchto zařízení si lze ukázat na jednoduchých modelech, které si můžeme udělat my sami nebo naši žáci.

### a) Motorek ze špuntu

Konstrukci jednoduchého modelu motorku ukazuje fotografie na obrázku 1. Na korkové zátce je navinuto několik desítek závitů smaltovaného měděného drátu (o průměru asi 0,2 až 0,4 mm, množství „co se vejde“). Osičkou je v tomto případě silnější měděný drát (o průměru asi 2 mm), „ložiska“ jsou z větších spínacích špendlíků známých též pod libozvučným českým názvem „sichrhajčka“. Kousky bužírky (plastového obalu měděného drátu) a malé matičky zabraňují posouvání cívky ve směru osy.

Komutátorem jsou dva malé mosazné hřebíčky, k nimž jsou konce drátu cívky připájeny. Jako kartáčky dotýkající se komutátoru jsou použita měděná lanka z kabelů, třeba z dvoulinky, z níž stáhneme plastový obal. Tyto „kartáčky“ je třeba vhodně vytvářet, aby se jich mosazné hřebíčky komutátoru dotýkaly, ale zároveň aby kartáčky nebránily otáčení cívky. Dlužno přiznat, že celá konstrukce není příliš dokonalá (občas je třeba prstem přitlačit na spodní část „kartáčku“, aby na hřebíček tlačil větší silou a měl lepší kontakt), takže je tu příležitost k vylepšování. Na druhou stranu je zde princip komutátoru vidět velmi názorně.

„Statorem“ pod cívkou je feritový magnet, v našem případě šlo o magnet  $4 \times 2 \times 1$  cm. Otáčení motorku napomůže, přiblížíme-li k „rotoru“, tedy k cívce, druhý magnet shora. Motorek se točí už při napájení z ploché baterie.



Obr. 1. Jednoduchý motorek z korkové zátky.

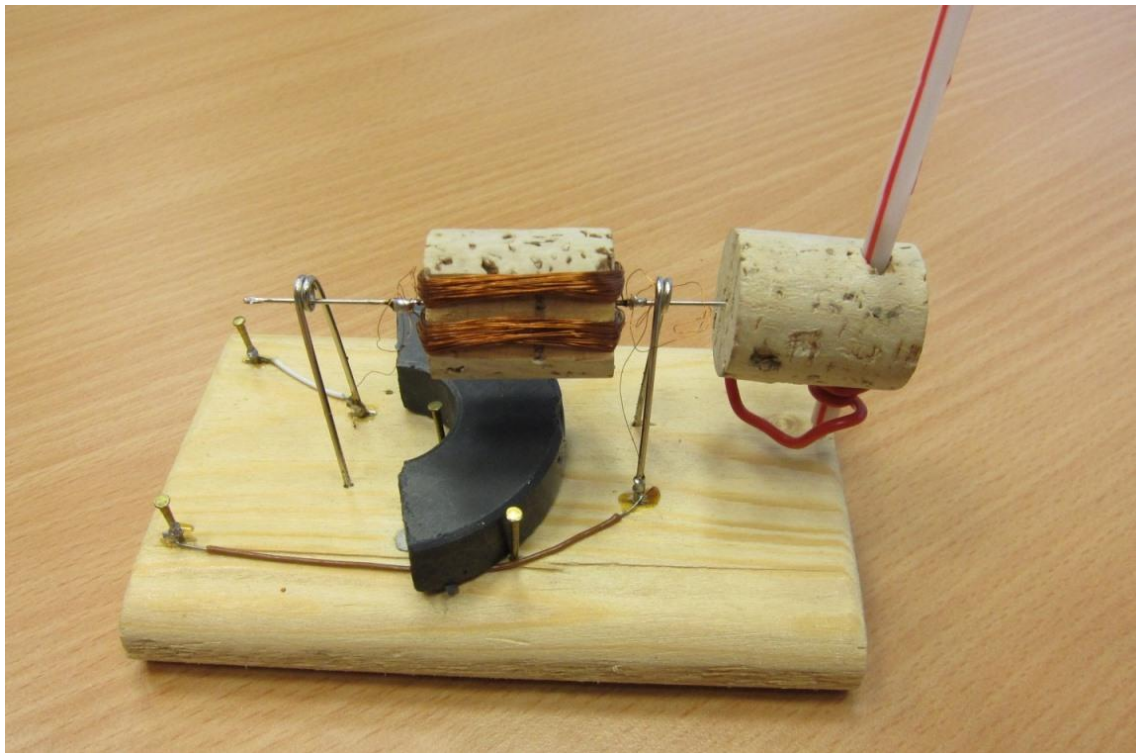
## b) Model měřicího přístroje s otočnou cívkou

Konstrukce je podobná jako v případě motorku. Osičkou jsou v tomto případě dvě silné jehly zapíchnuté do zátky. Na jednu z jehel je napíchnuta další zátka, která nese ručičku přístroje, zhotovenou z plastového brčka (aby byla ručička co nejlehčí) – viz obr. 2. Vyvážení do rovnovážné polohy, tedy s ručkou svisle vzhůru, je zajištěno zátěží, v našem případě z kusu zvonkového drátu.

Osička se opět otáčí v očkách větších spínacích špendlíků. Původně sloužily tyto špendlíky i jako přívod proudu do cívk, ale kontakt mezi spínacími špendlíky a jehlami byl nedokonalý (povrchy zřejmě časem mírně oxidují), takže je lépe přivádět do cívkou proud přívody z tenkého měděného drátku smotaného do spirálky. (Nemusí být tak krásná jako ve skutečných měřicích přístrojích, viz detail na obr. 3.) Magnetem je v našem případě polovina magnetu z mikrovlnky, stejně dobře vyhoví magnet popsany výše u motorku.



Obr. 2. Model měřicího přístroje s otočnou cívkou

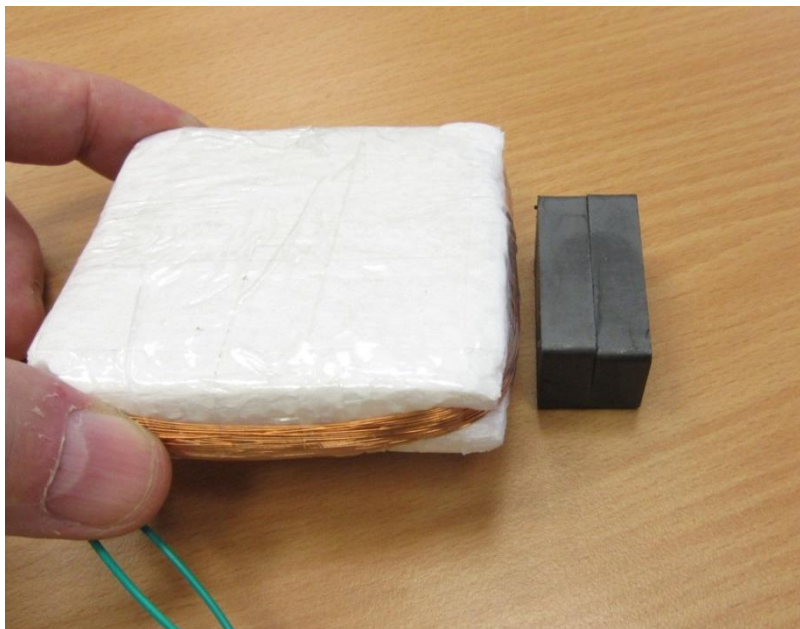


Obr. 3. Model měřicího přístroje s otočnou cívkou – detail

Funkci přístroje lze demonstrovat připojením ploché baterie, v závislosti na polaritě se ručka vychýlí vpravo nebo vlevo. Proud procházející přístrojem je v tomto případě značný, jde skoro o připojení baterie do zkratu, proud je omezen jen odporem cívkou a vnitřním odporem baterie. Přístroj ale reaguje, i když proud sériově omezíme žárovkou, třeba 3,5 V, 0,3 A. Pokud si s konstrukcí více „vyhrajete“, půjde ukázat, že proud dvěma paralelními žárovkami je větší než proud jednou žárovkou. Pro žádné kvantitativní měření ale samozřejmě naše konstrukce určena není, má opravdu jen ukazovat princip přístroje.

### c) Princip reproduktoru: „hrající destička“

Princip elektrodynamického reproduktoru můžeme demonstrovat pomocí jednoduché konstrukce, kterou ukazuje obr. 4. Na destičku z pěnového polystyrénu navineme asi 50 až 70 závitů smaltovaného měděného drátu průměru asi 0,2 až 0,4 mm. Vývody této cívky připájíme k tenkým izolovaným kablíkům, kterými budeme přivádět proud z baterie nebo ze zesilovače. Z boku přiblížíme k cívice feritový magnet.



Obr. 4. „Hrající destička“ ukazuje princip elektrodynamického reproduktoru

Pokud vývody cívky připojíme k ploché baterii, poteče cívkou proud (ne příliš malý, kolem 1 A, v závislosti na odporu cívky) a v magnetickém poli feritového magnetu (o něco méně než 0,1 T) bude na cívku působit síla, která ji může pozorovatelně nazzdvihnout. (Vztah  $F = BIl$  dá pro  $l = 4$  cm,  $B = 0,1$  T a proud 1 A hodnotu  $F = 4 \cdot 10^{-3}$  N, což vynásobeno 50 závity dá  $F_{celk} = 0,2$  N.) Pokud proud střídavě zapínáme a vypínáme, cívka s destičkou „skáče“ a rozechvívá vzduch – při dostatečné frekvenci uslyšíme tón.

Připojíme-li cívku k zesilovači, do něhož pouštíme hudební signál, destička se chvěje v rytmu tohoto signálu, rozechvívá vzduch a my slyšíme hudbu. Sice slabě, ale slyšíme. Oddálíme-li magnet, pohyb destičky ustane a my neslyšíme nic, při opětovém přiblížení opět hudbu slyšíme. (Autorovi příspěvku se pro demonstraci osvědčilo používat Vivaldiho Čtyři roční období.)

Upozornění: 1) Pokud závity cívky jen volně navineme, budou kmitat právě jen závity, tedy kusy drátu, a ne celá destička, neuslyšíme prakticky nic. Závity je proto třeba co nejpevněji spojit s destičkou. Osvědčilo se omotat destičku i se závity co nejtěsněji průhlednou Izolepou.

2) Odpor cívky by měl být minimálně 4  $\Omega$ , abychom nepřetížili zesilovač, kterým náš reproduktor napájíme. Pokud by si reproduktor vyráběli žáci, je to příležitost k výpočtu odporu drátu daného průměru a délky.

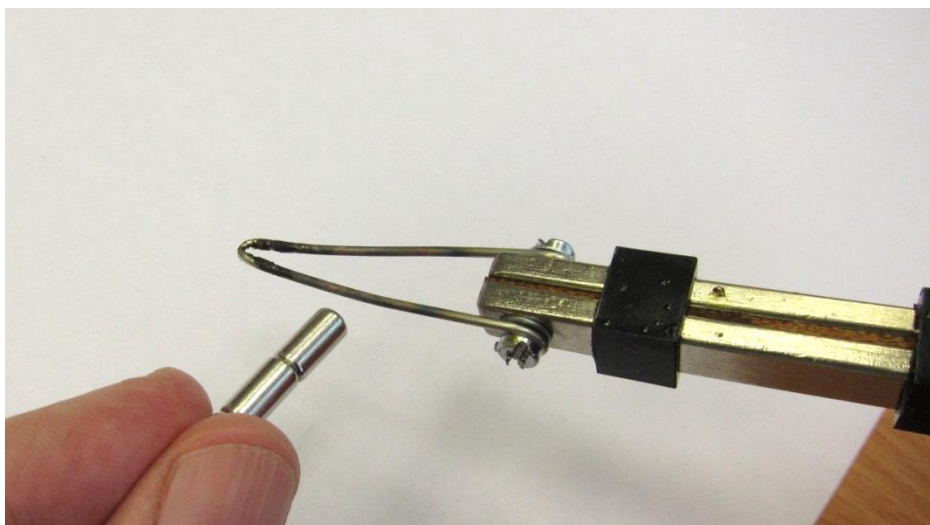
3) Účinnost našeho reproduktoru je velmi malá: příkon je několik wattů a zvuk je slabý. Ale princip naše konstrukce demonstruje – a spolehlivě vyvolá údiv, že takováto jednoduchá věc může hrát.

## Vodič s proudem působí na magnet

Jestliže magnet působí silou na vodič s proudem, musí podle třetího Newtonova zákona naopak vodič s proudem působit silou na magnet. Pokud je vodič namotán do tvaru cívky, je to možná zřejmější – řekneme, že cívka tvoří magnet a situaci chápeme jako vzájemné působení dvou magnetů. Ale i vodič s proudem, který netvoří cívku, na magnet působí.

### a) Magnet u smyčky pistolové páječky

Sílu působící na magnet, můžeme my nebo naši žáci cítit vlastníma rukama. Stačí přiblížit malý neodymový magnet, který držíme v prstech, ke smyčce pistolové páječky a páječku zapnout, viz obr. 5. V prstech zřetelně cítíme chvění; je-li magnet blízko smyčky, může se i pozorovatelně rozkmitat.



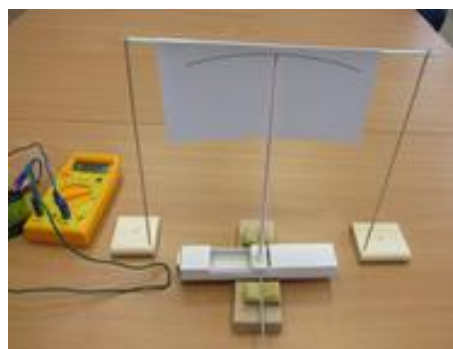
Obr. 5. Sílu působící na magnet v blízkosti smyčky pistolové páječky, protékané proudem, cítíme vlastníma rukama

V kuloárových diskusích po přednesení příspěvku jsem byl upozorněn, že podobně mohou žáci cítit slabé chvění magnetu u síťové prodlužovací šňůry, kterou protéká dostatečně velký proud, například když je do ní zapojena varná konvice.

### b) „Vážení magnetu“ kvalitativně i kvantitativně

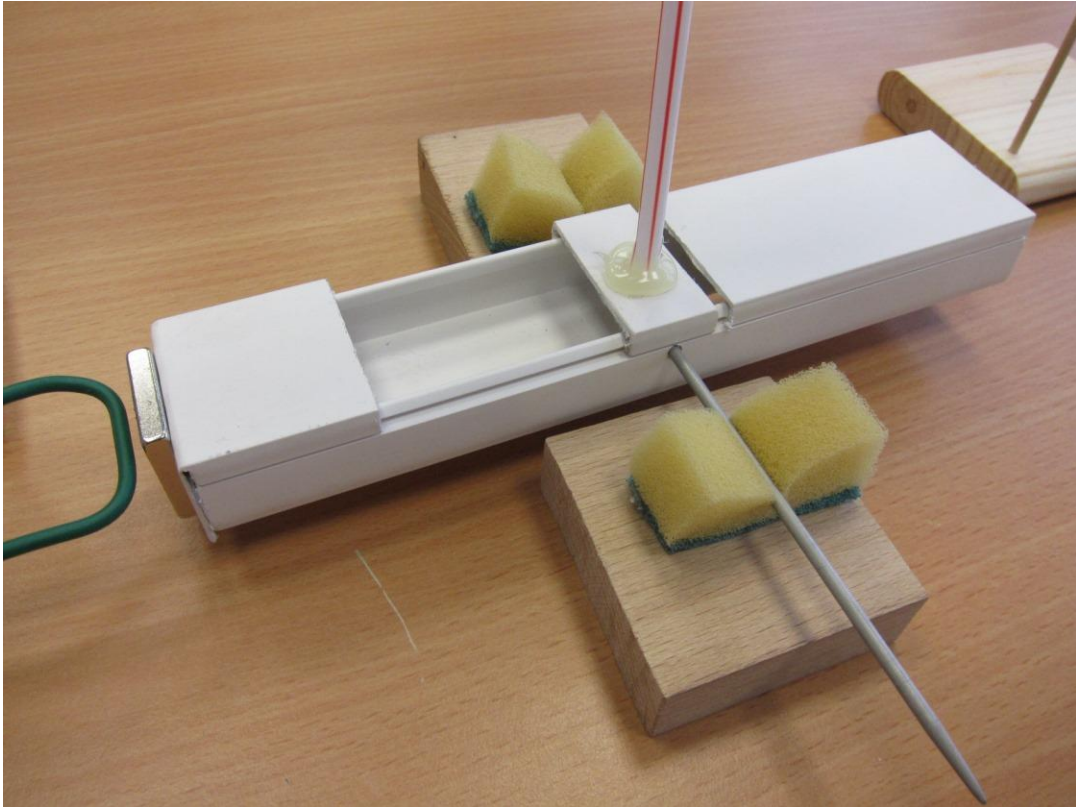
Sílu, kterou vodič protékaný stejnosměrným proudem působí na magnet, lze měřit pomocí malých digitálních vážek, viz [3]. Vystačíme však i s levnějšími pomůckami.

Obr. 6 ukazuje jednoduché vážky zhotovené z plastových elektrikářských lišt. Na jedné straně je na „jezdci“ z víčka dané plastové lišty upevněn plochý neodymový magnet, v našem případě měl rozměry  $25 \times 25 \times 5$  mm. Připevněn je jednoduše tak, že na druhé straně plastu je ocelová maticka M10. Stejnými matickami naše vážky sami vyvažujeme na druhé straně vahadla. Osou je hliníková pletací jehlice na ponožky (koupeno v galanterii, 6 jehlic za 30 Kč).



Obr. 6. Vážky k demonstraci síly působící na magnet

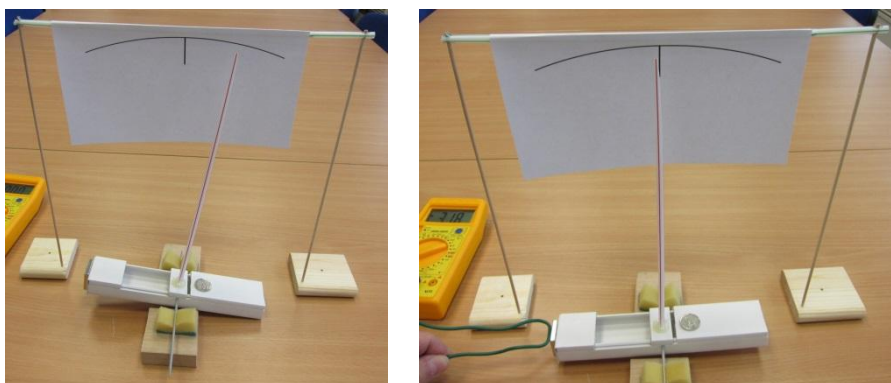
„Technologie“ práce s plastovými elektrikařskými lištami je popsána v [5], detail konstrukce našich vážek ukazuje obr. 7. Ručička je opět z plastového brčka seříznutého do špičky. Osa vážek je položena na dřevěných destičkách, na nichž jsou ještě kousky molitanové houbičky na nádobí – bez nich se osička odvalovala po destičkách s velmi malým třením a vážky dlouho kmitaly.



Obr. 7. Detail vážek pro demonstraci síly působící na magnet

K magnetu přibližujeme vodič s proudem, vodič stačí držet v ruce. Zdrojem proudu je plochá baterie, ta do zkratu dá přes 4 A. Podle polarity proudu se vážky výrazně vychýlí na jednu nebo na druhou stranu.

Kromě kvalitativní demonstrace mohou naše vážky sloužit i ke kvantitativnímu měření, jak to ukazuje obr. 8.



Obr. 8. Využití vážek pro kvantitativní měření síly působící na magnet

Na pravou stranu vah položíme minci 1 Kč do takového místa, abychom tíhu mince vyvážili silou, kterou vodič s proudem působí na magnet. Z pokusu pak můžeme určit velikost magnetické indukce daného magnetu.

V našem případě bylo těžiště mince vzdáleno asi 2,8 cm od osy vah, magnet asi 10,5 cm. Hmotnost mince (lze najít na stránkách ČNB [6]) je 3,6 g. Sílu, která působí na magnet, lze odtud vypočítat jako přibližně 0,01 N. Délka vodiče byla asi 2,5 cm, protékající proud asi 4 A. Ze vztahu  $F = BIl$  pak velikost magnetické indukce vychází asi 0,1 T, což u plochého neodymového magnetu vcelku odpovídá.

## Elektromagnetická indukce

Ve vodiči, který se pohybuje v blízkosti magnetu, se indukuje elektrické napětí. Jde-li o rovný vodič délky  $l$ , kolmý k magnetickým siločarám, který se pohybuje rychlostí  $v$ , přičemž směr rychlosti je kolmý jak na siločáry, tak na vodič, je velikost indukovaného napětí dána vztahem  $U = Bvl$ . Pro délku řádu centimetrů, magnetickou indukci řádu desetiny tesla a rychlost řádu m/s vychází indukované napětí řádu milivoltů, což není mnoho. Přesto jej můžeme ve výuce demonstrovat.

### a) Demonstrace indukovaného napětí citlivým indikátorem

Jednou z možností je použít dostatečně citlivý indikátor, který bude indukované napětí ukazovat například svitem LED. Takovýto indikátor si více než třicet učitelů vyrobilo na workshopu na konferenci Dílny Heuréky 2014. Indikátor umožňuje demonstrovat napětí indukované v rovném kusu vodiče, kolem něhož pohybujeme feritovým magnetem, a také napětí indukované při pohybu vodiče v zemském magnetickém poli.

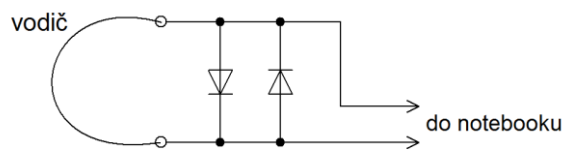
Podrobný popis konstrukce indikátoru, principu jeho funkce a několika pokusů s ním lze nalézt ve sborníku [7]. Sborník je volně dostupný na webu.

### b) Napětí indukované v kmitajícím drátu

Nechceme-li vyrábět zvláštní indikátor, můžeme využít toho, že mikrofonní vstup notebooku má citlivost řádu milivoltů. Může tedy zesílit napětí indukované ve vodiči a výsledek poslouchat pomocí reproduktoru, ať už notebooku samotného nebo lépe pomocí reproduktorové soustavy.

Frekvence indukovaného napětí ovšem musí být taková, aby ji zesilovač v notebooku dokázal zesílit a abychom výsledný zvuk dokázali slyšet (tedy v rozmezí od asi 20 Hz do maximálně 20 kHz, reálně spíše do několika kHz).

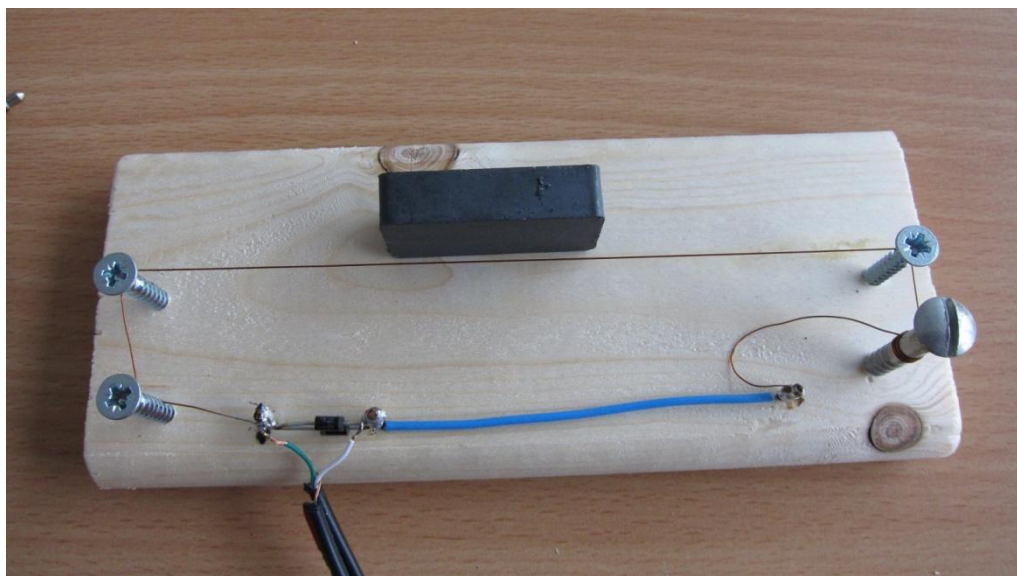
Magnetem těžko můžeme kmitat s frekvencí stovek či tisíců Hz – může ale kmitat samotný drát. Schéma zapojení je na obr. 9. Kolem vodiče pohybujeme magnetem, signál se přenáší do notebooku. Obě diody mají jen ochrannou funkci. Běžně se nijak neuplatní, protože napětí řádu milivoltů je nestačí „otevřít“, tj. neteče jimi prakticky žádný proud. Pouze kdyby se na vstup dostalo nějaké vyšší napětí (je to velmi nepravděpodobné, možná kdybychom u vodiče měli smyčku pistolové páječky a páječku zapínali a vypínali), pak by diody začaly vést a případnou špičku vyššího napětí by zkratovaly. V našem případě byly diody typu 1N4005, lze použít jakékoli podobné. Funkce ochranných diod a zapojení konektoru (3,5 mm, typu „jack“) jsou blíže popsány v [8].



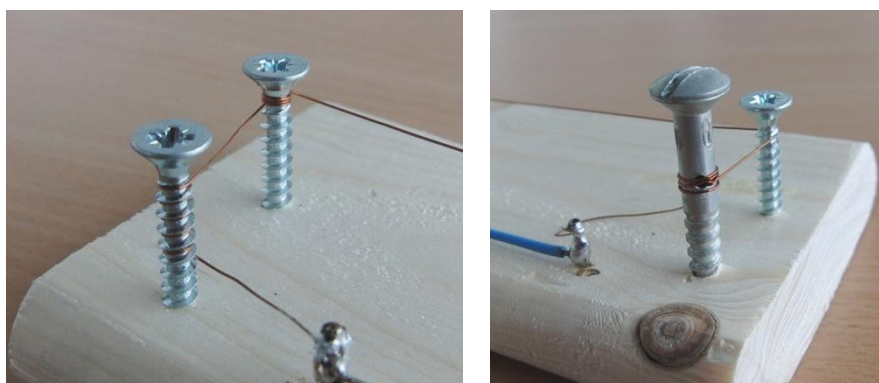
Obr. 9. Připojení kmitajícího drátu do mikrofonního vstupu notebooku

Možnou reálnou konstrukci, která byla předvedena na konferenci, ukazuje obr. 10. Měděný drát, v našem případě o průměru 0,25 mm, je napnut kolem vrutů zavrtaných do destičky z měkkého dřeva. Jako ve všech výše popsáných konstrukcích užíváme

„plotovky“ ze smrkového dřeva o šířce 7 cm a tloušťce 2 cm, délka destičky byla v našem případě asi 16 cm. Větší vrut (na obr. 10 vpravo dole) má podobnou funkci jako ladicí kolík na kytarě, jeho otáčením drát napínáme nebo povolujeme. Jak je vidět na obr. 11, vrut je provrtán (vrtáčkem o průměru 1 mm), drát je otvorem provlečen a kolem vrutu několikrát omotán.



Obr. 10. Kmitající drát u magnetu – reálná konstrukce.



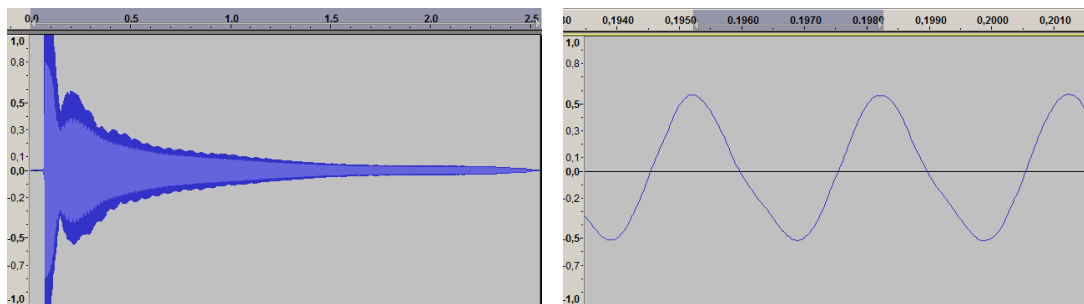
Obr. 11. Detail uchycení měděného drátu.

Konektor na kabelu zapojíme do mikrofonního vstupu notebooku; na počítači přitom nastavíme, aby signál z mikrofonního vstupu šel po zesílení do reproduktorů. V různých verzích Windows se nastavení trochu liší, např. ve Windows 7 v Ovládacích panelech vybereme Hardware a zvuk, pak Zvuk, na kartě Záznam zvolíme mikrofon a ťukneme na tlačítko Vlastnosti a pak na kartě Poslouchat zaškrtneme volbu Poslouchat toto zařízení. Na dalších záložkách můžeme nastavit například úroveň zesílení. Upozornění: Pokud nastavíme, že notebook zesílí signál z mikrofonu a pouští ho do reproduktorů, pak v případě, kdy do mikrofonního vstupu nic nezapojíme, se může notebook „rozhoukat“: v notebooku je vlastní mikrofon, ten snímá zvuk z reproduktorů, notebook ho zesílí, pustí do reproduktorů... a kladná zpětná vazba a houkání či pištění je na světě. (Ještě že má notebook tlačítko pro umlčení reproduktorů.)

Když prstem brkneme o drát a poblíž drátu je magnet, uslyšíme z reproduktoru tón kmitající struny. Časový průběh indukovaného napětí můžeme též zobrazit například v programu Audacity, výsledek ukazuje obr. 12. Levá část obrázku ukazuje, že amplitu-



da napětí poměrně rychle klesá s časem, v pravé části je vidět, že indukované napětí není přesně harmonické (proč by také mělo být?), ale mění se periodicky s časem a lze alespoň přibližně odečíst periodu a vypočítat frekvenci; v našem případě byla asi 330 Hz. Přesněji by šlo frekvenci pomocí Audacity určit zobrazením frekvenčního spektra signálu.



Obr. 12. Průběh indukovaného napětí v závislosti na čase (vykresleno programem Audacity).

Na ZŠ se zřejmě spokojíme jen s kvalitativním pokusem, tj. demonstrací, že v kmitajícím drátu se „něco indukuje“. Na SŠ úrovni bychom mohli diskutovat, jak velké napětí se indukuje. I kdyby amplituda výchylky drátu byla jen  $A=0,1$  mm, maximální rychlost by byla  $v = A\omega = A \cdot 2\pi f \doteq 10^{-4} \text{ m} \cdot 2000 \text{ s}^{-1} = 0,2 \text{ m/s}$ . Z výše uvedeného vztahu  $U = Bvl$  pro  $B \doteq 0,1 \text{ T}$  a  $l = 0,04 \text{ m}$  vychází maximální napětí asi 0,8 mV. Výpočet je samozřejmě jen přibližný – rychlost jsme odvodili pro případ harmonických kmitů a  $\omega$  spočetli jen velmi hrubě, velikost indukce u feritového magnetu bude o něco nižší než 0,1 T apod. – ale o řádové velikosti indukovaného napětí nám dává dobrou představu.

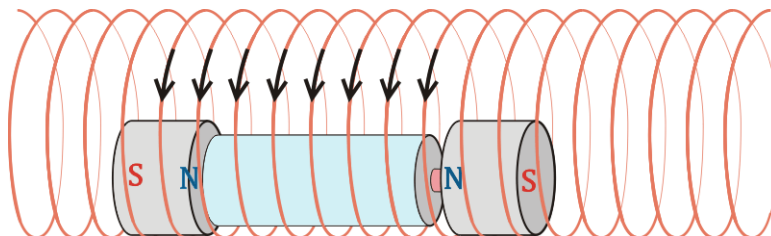
Jak už bylo řečeno, popsaná konstrukce má sloužit spíš jako inspirace a nabízí prostor k vylepšování. Šlo by například zkoušet, co vzít za kmitající drát. Měděný drát, použitý v našem případě, má tu výhodu, že lze ukázat, že se k němu magnet nepřitahuje. Nevýhodou je skutečnost, že se vytahuje, takže jej bude nutno častěji napínat a zřejmě nevydrží příliš dlouho.

## Bonus: „elektrický vláček“ (s trochou odkazů a vysvětlení)

Jako bonus k příspěvku bylo na konferenci demonstrováno zařízení někdy označované jako „elektrický vláček“ nebo také „magnetický vláček“: článek 1,5 V, na jehož póly jsou „přicvaknutý“ dva neodymové magnety, dáme do dlouhé cívky z neizolovaného drátu; on se v ní sám posouvá. Na YouTube mají videa tohoto vláčku (např. [9]) stovky tisíc zhlédnutí; české video [10] nabízí i jednoduché vysvětlení.

Konstrukci, kterou jsme na konferenci ukazovali, si nechala vyrobit Nadace Depositum Bonum – a funguje opravdu dobře. Jako každý podobný „elektrický vláček“ vyžaduje články, které dávají velký proud – použité 1,5 V baterie do zkratu dávaly 6 i více ampér. (S běžnými tužkovými bateriemi vláček nejspíš nebude fungovat, síla mezi magnety a cívkou nestačí překonat tření.) Rovněž magnety musí být co nejsilnější. Pokud byste si chtěli „vláček“ vyrobit sami, na YouTube lze najít i podrobný návod včetně detailů, jak si navinout cívku, viz [11].

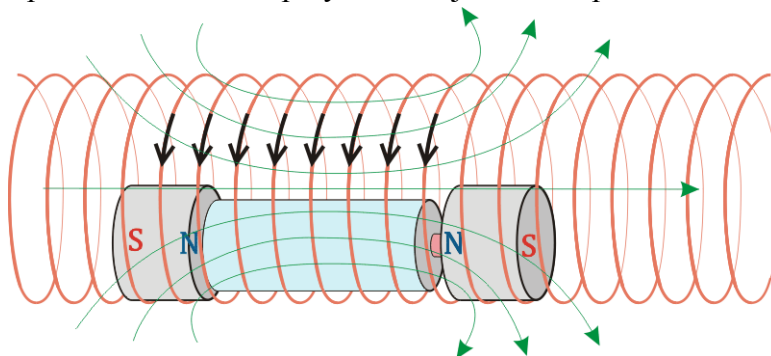
Pro vysvětlení, proč se „vláček“ pohybuje, je vhodné si uvědomit, jak v cívce teče proud. Schematicky to ukazuje obr. 13. Z kladného pólu baterie přes kovový povrch magnetu teče proud závitů cívky (zhruba v oblasti, kde je baterie) a pak přes povrch druhého magnetu zpět do záporného pólu baterie. Před a za „vláčkem“ tedy v cívce žádný proud neteče – právě jen část cívky v oblasti baterie je zdrojem magnetického pole.



Obr. 13. „Elektrický vláček“: baterie 1,5 V, magnety a cívka.

Jednoduše můžeme chování vláčku vysvětlit tak, že část cívky v oblasti baterie působí jako magnet; její severní pól je u kladného pólu baterie, jižní pól u záporného pólu baterie. Pokud jsou magnety „přicvaknuté“ k baterii orientovány tak, jak ukazuje obrázek, „severní pól cívky“ (u + pólu baterie) odpuzuje pravý magnet směrem doprava. Naopak jižní pól cívky (u – pólu baterie) přitahuje levý magnet, takže ho také táhne směrem doprava. Celý vláček se proto pohybuje směrem doprava.

Trochu podrobnější pohled ukazuje obr. 14, na němž jsou schematicky zakresleny indukční čáry magnetického pole cívky. Je vidět, že v oblasti severních pólů neodymových magnetů je pole cívky silnější (indukční čáry jsou tam hustší), póly jsou taženy ve směru magnetické indukce cívky, který ukazují zelené šipky. V oblasti jižních pólů magnetů je pole slabší, takže i síla na ně působící je výrazně menší a i když míří doleva, nepřemůže sílu působící na severní póly. Vláček je tažen doprava.



Obr. 14. Schematické znázornění indukčních čar magnetického pole cívky.  
(Nakreslena je jen část každé indukční čáry.)

## Závěr

Jak již bylo řečeno výše, pomůcky a pokusy v tomto příspěvku popisované mají sloužit především jako inspirace pro vaše vlastní konstrukce a experimenty. Velmi rád si na příští konferenci ve Vlachovicích nebo při jiných příležitostech vyslechnu vaše zkušenosti s používáním výše uvedených a případně upravených pomůcek, sáhnou si na vámi vyrobené nové varianty přístrojů a budu zvědav na to, co s nimi dokážete ve výuce dělat.

## Literatura a další zdroje

- [1] SMYCZEK K., SVĚRÁK Z.: *Lotrando a Zubejda*. Film, ČR, 1996.
- [2] Neomag-magnet s.r.o. Online: <http://www.neomag.cz/> [cit. 18. 10. 2015].
- [3] DVOŘÁK L.: *Další nápady z Malé Hraštic 5: Jak silné jsou magnety?*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 20. Ed. V. Koudelková, Praha 2015, v tisku.
- [4] Neomag-magnet s.r.o.: *Bezpečnostní pokyny*. Online: <http://www.neomag.cz/article/2972/files/bezpecnostni-pokyny.pdf> [cit. 18. 10. 2015].
- [5] DVOŘÁK L.: *Leoš Dvořák: Co s čočkami – aneb optická lavice pro období finanční krize*. In: Dílny Heuréky 2009-2010. Sborník konferencí projektu Heuréka. Ed. L. Dvořák, I. Dvořáková, V. Koudelková, Prometheus, Praha 2011, s. 145-161. Dostupné online: [http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky\\_2009-2010.pdf](http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2009-2010.pdf) [cit. 18. 10. 2015].
- [6] *1 Kč - Česká národní banka*. Online: [https://www.cnb.cz/cs/platidla/mince/mince\\_1czk.html](https://www.cnb.cz/cs/platidla/mince/mince_1czk.html) [cit. 18. 10. 2015].
- [7] DVOŘÁK L.: *Nebojme se operačních zesilovačů (aneb jak demonstrovat napětí indukované v kousku vodiče)*. In: Dílny Heuréky 2014. Sborník konference projektu Heuréka. Ed. V. Koudelková, L. Dvořák, Matfyzpress, Praha 2014, s. 40-61. Dostupné online: [http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky\\_2014.pdf](http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2014.pdf) [cit. 19. 10. 2015].
- [8] DVOŘÁK L.: *Pokusy se zvukovou kartou*. In: Dílny Heuréky 2005. Sborník konference projektu Heuréka. Ed. L. Dvořák, Prometheus, Praha 2006, s. 39-48. Dostupné online: [http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky\\_2005.pdf](http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2005.pdf) [cit. 19. 10. 2015].
- [9] Amazing Science: *World's Simplest Electric Train*. Dostupné online: <https://www.youtube.com/watch?v=J9b0J29OzAU> [cit. 19. 10. 2015].
- [10] *Badatelna -- 17. díl: Jak funguje magnetický vláček?* Dostupné online: <https://www.youtube.com/watch?v=NOX6op7Lli4> [cit. 19. 10. 2015].
- [11] Monty4s: *How to make smallest Electromagnetic Train in a wire coil*. Dostupné online: <https://www.youtube.com/watch?v=FVP2hJQmc1c> [cit. 19. 10. 2015].