

Lorentzova síla v akcii

Leoš Dvořák

Katedra didaktiky fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze, ČR

Abstract

The aim of this article is to provide an inspiration for some not-so-traditional experiments concerning the force on an electric current in magnetic field. These experiments proved to increase students' motivation and may be used to develop their skills and understanding of relevant physics by various ways from simple demonstrations up to small projects.

1 Úvod

Lorentzova síla $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ (zde nám půjde jen o tuto její část, nikoli o část $q\vec{E}$) chápána jako síla, kterou magnetické pole působí na letící náboj, je „v akcii“ například v urychlovačích, v televizorech s klasickou obrazovkou apod., nehledě na to že díky ní nás Země chrání před nabitými částicemi ze slunečního větru. Možnost demonstrovat ve škole zakřívání proudu letících částic je závislá na vybavení kabinetu případně na ochotě „obětovat“ na tyto pokusy starý televizor. Ovšem Lorentzova síla se samozřejmě projevuje i jako síla, působící v magnetickém poli na vodič s proudem. Takže je „v akcii“ i v každém elektromotoru a řadě podobných zařízení.

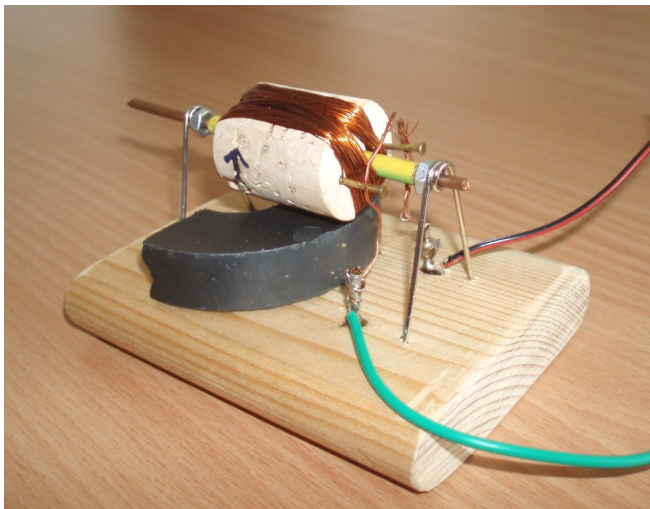
Podívejme se na několik, možná méně tradičních pokusů, které budou tyto projevy Lorentzovy síly demonstrovat a umožní studentům názorně vidět principy činnosti některých technických zařízení. Zkušenost ukázala, že pokusy tohoto typu studenty zaujmou a studenti je hodnotí jako názorné a přínosné pro pochopení, jak v daných zařízeních fyzika funguje.

2 Elektromotor z korkové zátky

Stejnoseměrný elektromotorek ze zátky není nijak objevnou konstrukcí a v různých formách se jistě objevuje v řadě návodů. Přesto se studentům tradičně líbí a umožní jim názorně pochopit zejména funkci komutátoru.

Konstrukce je velmi jednoduchá. Osou, kolem níž se zátka otáčí, může být silnější měděný drát, ložiska tvoří očka zavíracích špendlíků. Na zátku navineme zhruba sto závitů tenkého smaltovaného měděného drátu, takže vznikne otočná cívka. Konce drátu připájíme ke dvěma mosazným hřebíčkům zapíchnutým do zátky. Hřebíčky fungují jako kontakty komutátoru. Druhé kontakty („kartáčky“ komutátoru) tvoří odizolované měděné kablíky. Ke kartáčkům připojíme přívody od ploché baterie nebo od

dvou baterií zapojených v sérii. Pod cívku položíme plochý feritový magnet; druhý můžeme přidržovat shora.



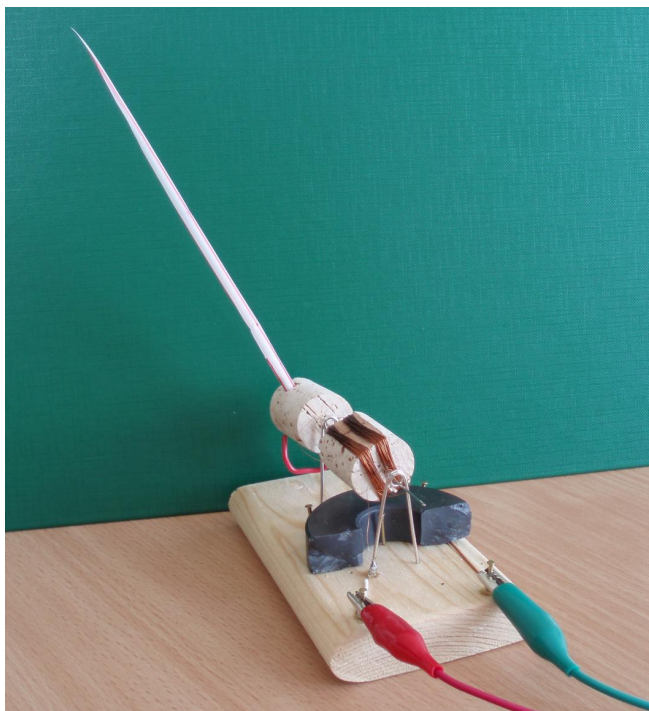
Obr. 1. Elektromotor z korkové zátky

Motorek je sice jednoduchý, ale přitáhne pozornost. Točí se, kontakty komutátoru jiskří, motorek vrčí a studenti si na něj mohou sáhnout. A navíc, pokud by si jej studenti chtěli postavit sami (nebo pokud se nad jeho konstrukcí alespoň zamýšlejí), musí si rozmyslet, jak má být orientována cívka, do kterých míst zapíchnout hřebíčky, aby komutátor fungoval, jak s tím souvisí poloha magnetu... Podle našich zkušeností seznámení s tímto modelem motorku vhodně doplní zkušenosti z experimentování s hotovými učebními pomůckami (modely motorků), nemluvě o pouhém sledování nákresu v učebnici. Zřejmě by bylo i vhodným doplňkem k „virtuálním hrátkám“ s motorky ve formě různých apletů. Umožní totiž „poprat se s realitou“ – a také lépe ocenit um tvůrců skutečných profesionálních elektromotorů.

3 Model měřicího přístroje s otočnou cívkou

Korková zátka s cívkou otočná kolem osičky může být základem i dalšího zařízení – modelu deprézského měřicího přístroje. Tentokrát se obejdeme bez komutátoru. Přívodní dráty prostě budou tvořit spirálky, vracející otočnou cívku do základní polohy. Na osu nasadíme další zátku, do níž kolmo prostrčíme špejli nebo brčko tvořící ručičku měřicího přístroje. Na opačný konec ručky nasadíme „protizávaží“ například z namotaného drátu. Vše

vyvážíme tak, aby k otočení cívky stačil jen nepatrný silový moment. Pod cívku dáme opět plochý magnet. Celou konstrukci ukazuje obr. 2.



Obr. 2. Model měřicího přístroje

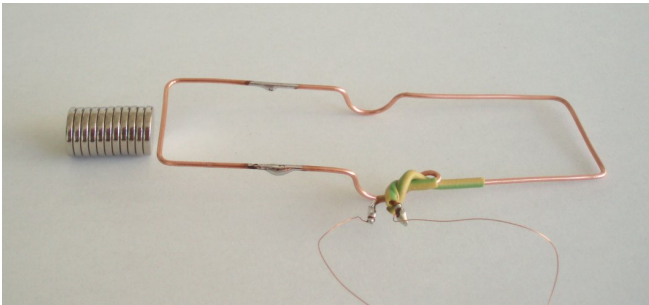
Takovýto měřicí přístroj spolehlivě indikuje proudy řádu stovek mA, například v obvodu s baterií a žárovíčkou. (Pokud bychom chtěli přístroj citlivější, použijeme silnější magnet, více závitů na cívce apod. nebo proud zesílíme např. tranzistorovým zesilovačem. Ale to už bychom zřejmě příliš komplikovali názornost a jednoduchost celé konstrukce.)

Náš měřicí přístroj můžeme též doplnit stupnicí a ocejchovat. Stupnice ovšem nebude lineární – ale i to může být příležitostí k diskusi se studenty, proč je tomu tak a jak je v profesionálních měřicích přístrojích zařízení, aby stupnice lineární byla. Dalším problémem, jehož řešení by nás ovšem už mohlo zavést mimo oblast elektromagnetismu, je skutečnost, že náš měřicí přístroj je jen málo tlumený a ručka tedy velmi dlouho kývá. (Jako nejjednodušší, byť dosti nestandardní řešení se kdysi v podmínkách letního tábora pro středoškoláky ukázalo zabořit hrot osičky do dřezu vhodné konzistence...)

4 Jeden vodič u magnetu

Ve vzorci $F = B I l$ se síla týká jediného vodiče s proudem u magnetu. Proto je vhodné kromě demonstrace silového působení magnetického pole na mnoho závitů cívky demonstrovat opravdu i sílu působící na jediný vodič. Tradičně se k tomu používají velké proudy, napájení z akumulátoru apod. Se silnějšími feritovými magnety lze však silové účinky demonstrovat i na vodiči, jímž prochází proud z ploché baterie – a dokonce i jen proud kolem půl ampéru i nižší.

Jednu z možností ukazuje obr. 3. Jde o pokus, který si mohou vyzkoušet sami žáci. Základem je „kolébka“ ze silnějšího měděného drátu (o průměru do 1 mm), jejíž jednu stranu přiblížíme k pólu magnetu. Do drátu přivádíme proud tenkými přívodními vodiči stočenými do spirály tak, aby co nejméně ovlivňovaly pohyb kolébky. Magnetická indukce v blízkosti magnetu má přibližně vodorovný směr a je zhruba kolmá na vodič na boční straně kolébky. Při zapojení proudu se kolébka nakloní.



Obr. 3. Demonstrace síly působící na jediný vodič s proudem

Připojíme-li baterii k přívodním vodičům přímo, je náklon velmi výrazný; kolébka ovšem reaguje již na proud řádu stovek mA. Pro pokus lze užít i malé neodymové magnety, které lze v poslední době získat již za velmi přijatelnou cenu.

Tento pokus bychom po malém vylepšení mohli využít i k orientačnímu kvantitativnímu měření velikosti magnetické indukce v blízkosti magnetu. Opět je tu příležitost pro studentské laboratorní práce či malé projekty.

5 Reakce magnetu na vodič s proudem

Při experimentech se silou působící na vodič s proudem je dobré uvědomit si, že platí zákon akce a reakce – tedy že magnetické pole vodiče zpětně působí na magnet. (Poznamenejme, že zde nebudeme řešit otázky typu, zda nemůže být „klasický“ zákon akce a reakce mezi magnetem a vodičem narušen tím,

že část hybnosti by odneslo elektromagnetické pole. To u pokusů tohoto typu zřejmě opravdu nehrozí.)

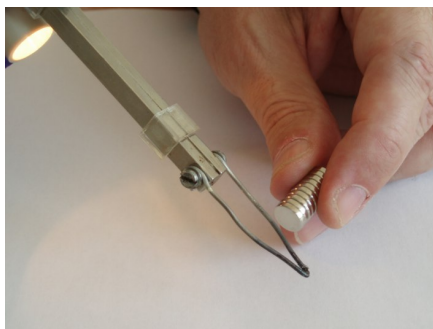
Působení na magnet lze demonstrovat na malém plochém neodymovém magnetu položeném na hladké podložce, např. na hladkém papíře. (V našem případě byl použit magnet o průměru 1 cm a výšce 2 mm.) Těsně nad magnet umístíme silnější vodič (viz obr. 4), jímž necháme protékat proud z baterie nebo z akumulátoru. Jde o zapojení baterie do zkratu, takže vodič připojíme jen krátce; z akumulátoru raději využijeme jen 1-2 články. Magnet se na podložce posune.



Obr. 4. Demontrace síly působící na magnet

6 Magnet a smyčka pistolové páječky

Velmi jednoduchý pokus, který lze provést s feritovým nebo neodymovým magnetem umožní síly mezi magnetem a vodičem cítit opravdu „vlastními rukama“. Stačí držet magnet v ruce a přiblížit ho ke smyčce zapnuté pistolové páječky. Ucítíme výrazné chvění. Chvění zčásti cítíme i v ruce, v níž držíme páječku. Protože proud procházející smyčkou, je velký, je značná i působící síla.



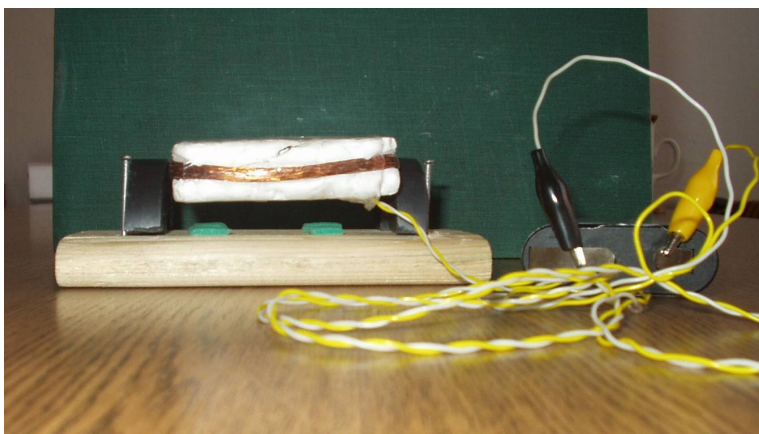
Obr. 5. Magnet u pistolové páječky

Sílu působící na magnet lze demonstrovat i pomocí malého neodymového magnetu položeného na stole. Těsně nad něj přiložíme okraj smyčky pistolové páječky a páječku na okamžik zapneme. Efekt je docela překvapivý.

7 Lorentzova síla „na vlastní uši“ aneb model reproduktoru

Model reproduktoru ve tvaru hrající destičky jsem již stručně v přehlednějších článcích popsal dříve [1,2]. Zde bych chtěl blíže zmínit metodiku jeho prezentace.

Model sestává z polystyrenové destičky, kolem jejíhož obvodu je navinuto několik desítek závitů tenkého smaltovaného drátu (tak, aby odpor této cívky nebyl menší než asi 8Ω). Závity jsou zpevněny tím, že destičku těsně obtočíme Izolepou. Přívod k cívce je tvořen tenkým ohebným kablíkem. Z boku k závitům přiblížíme větší feritový (nebo neodymový) magnet.



Obr. 6. „Hrající destička“

Při prezentaci tohoto reproduktoru obvykle nejprve připojím cívku přímo k baterii. Síla působící na závity je tak velká, že destičku nadzdvihne. Ukážu, že při zapínání a vypínání proudu se destička pohybuje nahoru a dolů. Kdybychom dokázali proud zapínat a vypínat velmi rychle (třeba 440x za sekundu), destička by se chvěla v daném rytmu a vydávala by zvuk.

Místo takto rychlého zapínání a vypínání proudu připojíme přívody cívky k výstupu zesilovače, na jehož vstup přivedeme hudební signál. Já používám začátek Vivaldiho „Čtvera ročních období“. Výsledný zvuk je sice slabý, ale přesto: destička slyšitelně hraje. Jsou-li studenti dostatečně zticha, je zvuk slyšet v celé posluchárně.

Pro studenty (libovolného věku) je první setkání s tímto modelem reproduktoru velmi překvapivé. Nemohou uvěřit, že něco tak jednoduchého

může hrát. Je vhodné, aby si na destičku také sáhli nebo ji vzali do ruky, aby Lorenzovu sílu (resp. její důsledky) nejen „slyšeli na vlastní uši“ ale také cítili vlastníma rukama.

Uvedený model reproduktoru lze různě obměňovat. Cívku můžeme například navinout na obvod krabičky od sýra, která pak funguje také jako membrána reproduktoru.

Již možná trochu do extrému dovedenou snahou po jednoduchosti by byl „reproduktor“, který by nevyužíval více závitů, ale opravdu jen kousek vodiče. Kupodivu i takovýto přístroj může fungovat, i když spíše jako ne příliš kvalitní sluchátko či „šeptáček“. Tenký drátek přilepený na kousek papírku dokáže v magnetickém poli při průchodu střídavého proudu rozechvět sebe i papírek. Výsledný zvuk je skutečně slyšet – alespoň, pokud máme ucho blízko papírku.

8 Závěr

Variant těchto a podobných jednoduchých pokusů lze jistě vymyslet víc. Jak již bylo řečeno, jsou dobrým námětem na menší projekty žáků a studentů, ale lze je využít ve výuce i jako žákovské pokusy a také jako pokusy demonstrační, a to na úrovni základní i střední školy a vlastně i na úvodní VŠ úrovni, například pro budoucí učitele fyziky.

Literatura

[1] Dvořák L. *Pokusy a projekty nejen pro letní tábory*. Sborník konference Šoltésove dni 2003. Ed.: Hajdúková T., Metodicko-pedagogické centrum města Bratislavy, 2003, ISBN 80-7164-373-4, s. 45-52.

[2] Dvořák L.: *Informal Physics Education and Teachers' Training – Some Examples and Experiences*. In: *Informal Learning and Understanding of Physics: selected contributions / Third International GIREP Seminar, 5-9 September 2005, Ljubljana, Slovenia*, Ed: Planinšič G., Mohorič A. Ljubljana: Faculty of Mathematics and Physics, 2006. ISBN 961-6619-00-4, s. 86-95.