

## **NETRADIČNÍ EXPERIMENTY Z ELEKTRINY A MAGNETISMU (NEJEN) PRO STŘEDNÍ ŠKOLU**

Věra KOUDELKOVÁ, Leoš DVOŘÁK

### **Abstrakt**

Příspěvek popisuje tři netradiční (nejen) demonstrační experimenty z oblasti elektřiny a magnetismu. Motivací k prvnímu experimentu – Kutálení plechovky – bylo video ze serveru YouTube; cílem experimentu bylo změřit sílu, kterou nabitě brčko přitahuje plechovku. Druhý experiment demonstruje vlastnosti diamagnetických a paramagnetických látek (měří velikost síly, kterou je daná látka přitahována resp. odpuzována od magnetu). Třetí experiment ukazuje netradiční využití transformátoru včetně toho, že závit cívky nemusí být jen z drátu. Všechny tři experimenty jsou využitelné na různých stupních škol a jsou s úspěchem využívány i při přípravě budoucích učitelů fyziky na MFF UK.

## **NON-TRADITIONAL EXPERIMENTS FROM THE AREA OF ELECTRICITY AND MAGNETISM (NOT ONLY) FOR HIGH SCHOOL ' STUDENTS.**

### **Abstract**

The paper presents three non-traditional (not only) demonstrational experiments from the area of Electricity and Magnetism. Motivation for first experiment – Rotating can – was taken from video on YouTube. The goal of the experiment was to measure the force between charged straw and a can. Second experiment demonstrates behaviour of diamagnetic and paramagnetic material. Last experiment shows non-traditional uses of electric transformer including the fact that coil don't have to be made only from a wire. All three experiment can be used in different types of school and are used during future physics teachers' training.

### **Úvod**

Cílem příspěvku je prezentovat tři experimenty, které ukazují (převážně známé) jevy netradičním způsobem. Všechny experimenty jsou s úspěchem využívány na střední škole, ale použitelné jsou na různých stupních škol (experiment Kutálení plechovky má úspěch jak u nejmenších – dětí na prvním stupni ZŠ, tak během přípravy budoucích učitelů fyziky na MFF).

#### **1. Kutálení plechovky**

Motivací pro následující experiment bylo video ze serveru YouTube ([1], přibližně od druhé minuty), ve kterém je plechovka kutálena po stole pomocí nabitě tyčky. Osvědčily se nám lehké plechovky od nápojů, k rozpořívání používáme nabitě brčko či nabitou plastovou tyč. Je potřeba velmi dbát na to, aby plechovky nebyly pomačkané. Experiment lze s úspěchem využít na různých stupních škol:

##### **1.1. 1. stupeň ZŠ**

Děti na 1. stupni ZŠ v rámci zájmové činnosti rády zkoumají, jak a kam je potřeba tyčku přiložit, aby se plechovka pohybovala co nejlépe, mohou se „přetahovat“ dvěma tyčkami o jednu plechovku, případně závodit, kdo dokutálí plechovku jako první na

druhý konec třídy. Vzhledem k tomu, že síla je poměrně malá, lze v rámci „závodu plechovek“ prozkoumat i všechny drobné nerovnosti na podlaze.

### 1.2. Studenti SŠ

Experiment jsme použili jako námět na část laboratorní práce pro studenty druhého ročníku pražského gymnázia.

Studenti dostali za úkol jednak prozkoumat, jak závisí velikost přitažlivé síly na velikosti náboje brčka a jednak kvalitativně pozorovat velikost síly.

V tabulce 1. jsou uvedeny nejčastější odpovědi na otázky týkající se závislosti přitažlivé síly na velikosti náboje:

Otázka	Nejčastější odpověď
Jak musí být brčko vůči plechovce umístěné?	Co nejbližší k plechovce, rovnoběžně s ní, aby působilo co největší plochou
Z jaké největší vzdálenosti brčko na plechovku reaguje („reakční vzdálenost“)?	1-2 cm
Jak se reakční vzdálenost změní, pokud použijete dvě nabitá brčka?	Cca 3 cm, vzdálenost se téměř zdvojnásobí

Tabulka 1. Odpovědi studentů na otázky týkající se závislosti velikosti přitažlivé síly na náboji brčka

Všichni studenti komentovali, že se „reakční vzdálenost“ při použití dvou nabitých brček zvětší. Většinou se objevovalo, že se zdvojnásobí, což může být způsobeno mimo jiné i tím, že pokud použijeme dvě brčka, jejich vzdálenost od plechovky se zvětší.

V další části laboratorní práce studenti zkoumali pohyb plechovky po nakloněné rovině. Většina z nich byla překvapena, že sklon nakloněné roviny, po které ještě plechovka vyjede, je velmi malý (pro jedno nabitá brčka cca  $0,5^\circ - 1^\circ$ , pro nabitou tyč přibližně  $4^\circ - 6^\circ$ ; zvětšení sklonu při použití dvou nabitých brček je téměř nepozorovatelné).

To, že brčko plechovku vůbec přitáhne, většinu studentů nejdříve překvapilo, ale s dopomocí byli schopni jev vysvětlit.

Studenti laboratorní práci ocenili jako zajímavou a užitečnou (a to nejen proto, že nešlo o žádné přesné měření a tudíž nemuseli zpracovávat protokol), jak je vidět i z několika jejich komentářů:

„Poměrně jednoduché a nebylo těžké pokusy provést, ale zajímavé a poučné, tudíž jsem si dokázal přitažlivou sílu lépe představit.“

„Zaujal mě experiment s rozpohybováním plechovky“

Zaujetí studentů úlohou je vidět i z komentáře jedné studentky během kutálení plechovky po nakloněné rovině: „Tak pojed, ty potvoro, pojed...“.

### 1.3. Studenti VŠ

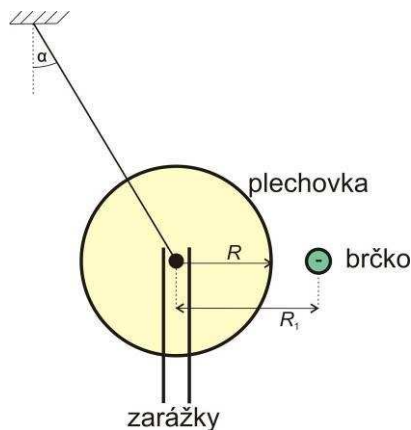
Posluchači učitelství už by měli být schopni sílu naměřit i kvantitativně. Jak ale změřit takto malou sílu?

#### 1.3.1. Z úhlu závěsu:<sup>1</sup>

Plechovka (kvůli menší hmotnosti je naše „plechovka“ vyrobená z papírové ruličky obalené alobalem) je zavěšena na dvou tenkých vláknech délky přibližně 2 m. Plechovku vychýlíme ze svislé polohy. Pohyb plechovky vymezují dvě zarážky, které jí

<sup>1</sup> Experiment byl v této podobě poprvé prezentován na konferenci „Week of doctoral students 2009“, viz [2].

nedovolí ani zcela přiskočit k brčku, ani se vrátit do nejnižší polohy. Pokud k plechovce přiblížíme nabitě brčko, nastane pro jistou vzdálenost rovnováha průmětu tíhové síly plechovky a elektrostatické síly mezi brčkem a plechovkou, z které lze velikost elektrostatické síly spočítat (při známé hmotnosti brčka). Schéma celé aparatury je vidět na obrázku 1.



Obr. 1: Schéma aparatury pro měření elektrostatické síly mezi brčkem a plechovkou

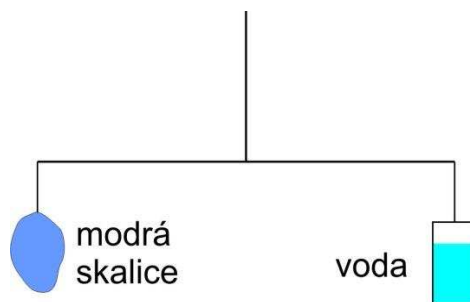
### 1.3.2. Na vahách:

Druhá metoda změření síly využívá citlivých digitálních vah k měření síly. Pokud plechovku položíme na váhy s přesností alespoň mg, váhy vytárujeme a přiblížíme k plechovce seshora nabitě brčko, ukáží váhy zápornou výchylku odpovídající přitažlivé síle mezi plechovkou a brčkem. Tento způsob měření je vhodný i jako rychlá demonstrace přímo do přednášky, případně lze samozřejmě závislost síly na vzdálenosti mezi brčkem a plechovkou naměřit ve volitelném semináři a na přednášce ukázat až výsledky.

Oběma způsoby vychází velikost naměřené síly ve velmi dobré shodě s teorií (teoretická závislost byla počítána pro nekonečně dlouhou plechovku a brčko pomocí Gaussovy věty). Naměřené výsledky včetně odvození teoretického vztahu budou publikováno jinde.

## 2. Dia- a paramagnetismus

Klasický experiment, který se používá k demonstraci magnetických vlastností neferomagnetických kovů, využívá torzní vahadlo (viz schéma na obrázku 3).

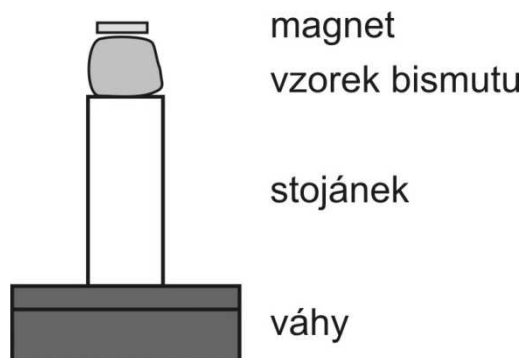


Obr. 2: Klasická demonstrace magnetických vlastností neferomagnetik.

Na tyčku vahadla je zavěšeno na jedné straně paramagnetikum (obvykle modrá skalice), na druhé diamagnetikum (nejčastěji voda v malé nádobce). Celé vahadlo je uprostřed zavěšeno. Pokud přiblížíme k dané látce magnet, vahadlo se vychýlí (k magnetu v případě modré skalice, resp. od magnetu v případě vody). Nevýhod tohoto

experimentu je několik, jako hlavní vidíme špatně prokazatelnou výchylku vahadla – vahadlo se natáčí i působením průvanu, pohybem ruky s magnetem...

K prokazatelnější demonstraci diamagnetismu a paramagnetismu lze využít citlivých digitálních vah (s přesností alespoň 0,05 g), které jsou dnes ve školách vcelku běžně dostupné.



Obr. 3: Uspořádání experimentu pro demonstraci dia- a paramagnetismu

Uspořádání experimentu je vidět na obrázku 4. Na vahách je umístěn nemagnetický stojánek (osvědčily se nám plastové kelímky od nápojů) o výšce alespoň 20 cm, aby magnet neovlivňoval samotnou plochu vah. Na stojánku je vzorek zkoumané látky. Váhy vytárujeme. Pokud ke vzorku přiblížíme magnet, váhy ukáží kladnou výchylku pro diamagnetikum, resp. zápornou pro paramagnetikum.

Asi nejproblematičtější částí experimentu je příslušný vzorek. Diamagnetika mají relativní permeabilitu mírně menší než jedna, čím menší relativní permeabilita, tím lepší diamagnetikum. Z dostupných materiálů patří mezi silná diamagnetika například bismut, jehož magnetická susceptibilita (tj. rozdíl relativní permeability od jedné) je  $-1,7 \cdot 10^{-4}$ . Vodu využít lze, ale vzhledem k tomu, že její magnetická susceptibilita je o řád menší, bude výchylka vah jen v mg. Jako zástupce paramagnetik by mohl být v kabinetech chemie naležitelný např. chrom s magnetickou susceptibilitou  $3,2 \cdot 10^{-4}$  (paramagnetika mají relativní permeabilitu lehce větší než jedna, proto je magnetická susceptibilita kladná).

Pro naše měření jsme měli k dispozici bismut o hmotnosti 90 g. Váhy ukázaly kladnou výchylku 0,14 g, což odpovídá odpudivé síle o velikosti 1,4 mN. Jako paramagnetikum jsme použili kusový chrom o hmotnosti 515 g. Váhy ukázaly zápornou výchylku 0,36 g, což odpovídá přitažlivé síle 3,6 mN.

Video s celým experimentem je k dispozici na adrese [3].

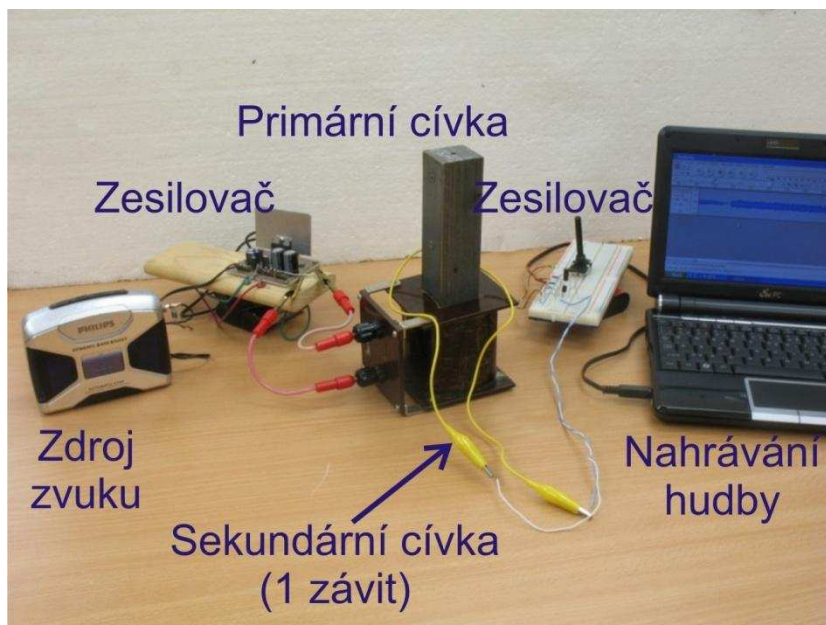
### 3. Netradiční transformátor

Motivací k následujícímu experimentu byla otázka, zda by nešlo princip transformátoru demonstrovat nějak zajímavěji než transformací střídavého napětí o síťové frekvenci.

Zajímavější než užívat napětí o frekvenci 50 Hz je transformovat hudební signál. Ještě překvapivější je skutečnost, že místo vodiče mohou jako závit sekundární cívky fungovat i naše prsty.

Uspořádání experimentu je vidět na obrázku 5. Hudba z přehrávače je přes zesilovač vedena na primární vinutí (600 závitů) transformátoru. Sekundární vinutí je tvořeno jedním závitkem. Výstup transformátoru je přes zesilovač veden do vstupu zvukové karty notebooku. Ten zde slouží jen pro záznam zvuku, výstup může být

nahrán například v programu Audacity. Současně jej lze v reproduktoru notebooku také poslouchat.



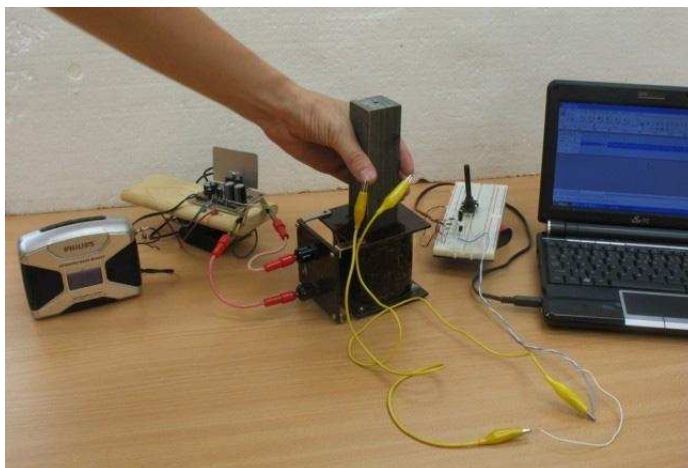
Obr. 4: Uspořádání experimentu „Netradiční transformátor“

Jeden závit na sekundární straně je dostatečný na to, aby byl signál dostatečně čistý a zřetelný. Pomocí experimentu lze současně ukázat nezávislost indukovaného napětí na velikosti závitu – změna velikosti závitu nemá žádný vliv na kvalitu výsledné hudby. Naopak, pokud místo jednoho závitu použijeme dva, je amplituda výstupního signálu dvakrát větší.

K závitů sekundární cívky nemusíme připojovat jen notebook. Připojíme-li k němu sluchátka, lze hudební signál přímo poslouchat (s poměrně malou hlasitostí, ale zřetelně). Dokonce můžeme závit připojit i k reproduktoru – signál na sekundáru pak můžeme poslouchat „nahlas“, sice tiše, ale přesto průkazně. (Netřeba asi dodávat, že je vhodné použít co nejcitlivější reproduktor.) I v tomto uspořádání lze jasně demonstrovat, že se stoupajícím počtem závitů sekundáru (stačí dva až čtyři závity) hlasitost stoupá.

V druhé variantě lze místo sekundárního závitu použít prsty (viz obr. 6) – ty spolu s dlaní tvoří většinu sekundárního závitu, k prstům jsou pomocí krokosvorek připojeny kablíky, které výsledný signál přenášejí do vstupu notebooku. Hudba transformovaná pomocí prstů je na hranici šumu, ale přesto zřetelná. Pro lepší slyšitelnost je výhodné omezit přechodový odpor prstů – namočit je ve vodě, případně obalit kousky alobalu, k nimž se pomocí krokodýlků připojí kablíky vedoucí ke vstupu do zvukové karty.

Parametry pokusu lze přizpůsobovat. Například místo primární cívky 600 závitů, jejíž impedance vyhovuje pro připojení k výstupu zesilovače, lze užít cívku 60 závitů, k níž pro jistotu do série zapojíme rezistor o odporu okolo 4 ohmů nebo více. Ovlivněním frekvenční charakteristiky a problematikou optimalizace experimentu vůbec se budeme zabývat v jiném příspěvku.



Obr. 5: Transformace hudby pomocí prstů

#### 4. Závěr

Výše uvedené experimenty netradičním způsobem demonstrují některé jevy z oblasti elektřiny a magnetismu, které jsou sice převážně známé, ale žáky a studenty často nové. Varianty pokusů zde popsané jsou zvoleny tak, aby byly názorné a dostatečně motivační pro žáky a studenty. Pokud budete mít libovolné komentáře či dotazy k uvedeným experimentům, budu ráda, pokud se mi ozvete na mail [vera.koudelkova@mff.cuni.cz](mailto:vera.koudelkova@mff.cuni.cz)

#### Literatura

1. *Static Electricity demonstrations*. Poslední aktualizace 28. 4. 2007. Dostupné na www: <<http://www.youtube.com/watch?v=QxZ6AWLpnUw&feature=related>>.
2. KOUDELKOVÁ, V. *Hand- and Minds-on Electricity and Magnetism II*. in: WDS'09 Proceedings of Contributed Papers, Part III. Matfyzpress, Praha 2009, ISBN: 987-80-7378-103-3
3. *Diamagnetismus a paramagnetismus*. Poslední aktualizace 30. 1. 2011. Dostupné na www: <<http://www.youtube.com/watch?v=-SN3p--XmEA>>.

#### Kontaktní adresa

Mgr. Věra Koudelková  
KDF MFF UK  
V Holešovických 2, 180 00 Praha 8  
Telefon: +420 22191 2429  
E-mail: [vera.koudelkova@mff.cuni.cz](mailto:vera.koudelkova@mff.cuni.cz)