

## **Experimenty z magnetismu a z fyziky mikrosvěta**

JAROSLAV REICHL

Střední průmyslová škola sdělovací techniky Panská, Praha

V příspěvku jsou popsány čtyři experimenty, pomocí kterých lze demonstrovat vlastnosti magnetického pole a základní jevy z kvantové mechaniky (zejména fotoelektrický jev a jeho matematický popis).

### **Úvod**

V hodinách fyziky se snažím zařazovat různé typy experimentů, které mají žáky motivovat k dalšímu studiu, ale také prostě odlehčit probírané téma využitím opravdu jednoduchého experimentu. Všechny experimenty jsou v průběhu vyučovací hodiny vysvětleny – buď v rámci výkladu, nebo samotnými žáky. A experimenty zařazené do hodin fyziky pak motivují žáky i k výběru tématu absolventského projektu, který je na naší škole součástí profilové části maturitní zkoušky. Jeden z absolventských projektů je níže popsán.

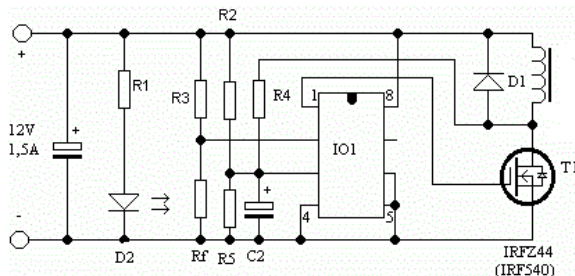
### **Experimenty**

Dále popsané experimenty lze použít v hodinách fyziky v popsaném tvaru, případně si je může každý učitel uzpůsobit svému vlastnímu stylu výuky, práci se žáky a dalším specifikům své výuky.

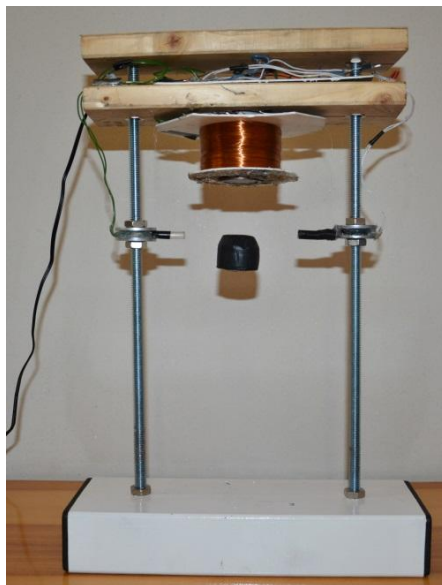
- **Magnetická levitace**

Magnetická levitace bylo téma absolventského projektu [1] Jiřího Budíla naší školy. Téma si vybral proto, že ho daná problematika baví jak teoreticky, tak je schopen prakticky velmi kvalitně příslušnou pomůckou vyrobit. Před vlastní výrobou modelu visacího levitátoru popsal různé typy magnetických levitátorů, uvedl jejich výhody i nevýhody (jak principiální, tak konstrukční) a nakonec si vybral tzv. visací levitátor. Před vlastním návrhem elektronického řešení i mechanické konstrukce tohoto typu levitátoru proměřil řadu charakteristik magnetů i Halových sond, které dále používal. Až poté přistoupil k návrhu obvodů, výrobě cívek, zapojování elektrických obvodů a stavbě nosné mechanické konstrukce. Schéma zapojení elektrické části modelu visacího levitátoru je zobrazeno na obr. 1, vyrobený model včetně levitujícího tělesa je zobrazen na obr. 2. V zadání práce bylo specifikováno, co vše má autor provést (kromě návrhu levitátoru sestrojít i vizualizaci modelu). Autorovi se podařilo

vyrobit model, který je vhodný jako pomůcka pro další výuku fyziky. Při obhajobě své maturitní práce vystupoval velmi přesvědčivě, každý dotaz komise dokázal správně zodpovědět. Následně pak svůj absolventský projekt prezentoval na výstavě studentských projektů STRETECH pořádané ČVUT Praha, kde dokázal velmi dobře reagovat i na velmi zvědavé dotazy vysokoškolských pedagogů.



Obr. 1 Schéma zapojení visacího magnetického levitátoru



Obr. 2 Finální model visacího magnetického levitátoru

- **Magnetické materiály**

Při jednom z nákupů na e-shopu firmy Unimagnet mě zaujala magnetická barva [2]. Přemýšlel jsem, jak by se dala tato barva využít ve fyzice, a náměty na jednoduché experimenty se dostavily.



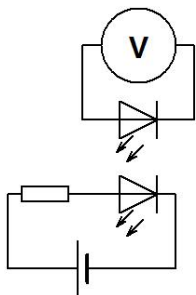
Obr. 3 Ukázka obrázkových kartiček; některé jsou z jedné strany potřené magnetickou barvou

Pro první z experimentů jsem připravil kartičky s různými obrázky těles ze dvou skupin: feromagnetické (šroubovák, klíč, kovový šrot, ...) a diamagnetické (dřevo, guma, člověk, ...). Kartičky s obrázky těles z feromagnetických materiálů jsem potřel z rubu magnetickou barvou a všechny kartičky zalaminoval. Ze špejle, nití a magnetu lze vyrobit jednoduchou udici, pomocí které lze obrázky těles z feromagnetických materiálů zvedat (obr. 3). Tento experiment je sice velmi jednoduchý, ale pro základní seznámení s magnetickým polem může být užitečný.

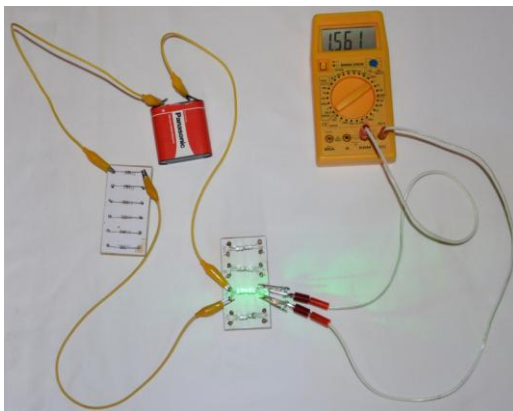
Ke druhému experimentu budeme potřebovat plech z feromagnetického materiálu a kartonovou desku. Obě desky postupně umístíme do svislé polohy a za desku umístíme silnější magnet. Pokud budeme kartičky, na kterých je umístěna magnetická barva, opatrně házet na desku, udrží se kartičky pouze na kartonové desce, zatímco od feromagnetické desky budou kartičky odpadávat. U desky z feromagnetického materiálu, za níž je umístěn magnet, se totiž magnetické indukční čáry uzavírají a do prostoru před deskou již nezasahují. Kartonovou deskou magnetické pole projde, a proto se na ní budou kartičky držet.

- **Fotoefekt s LED**

K experimentu, kterým netradičním způsobem ukážeme kvalitativně fotoefekt, budeme potřebovat několik LED emitujících elektromagnetické záření různých vlnových délek (tj. jak v oblasti lidským okem viditelného světla, tak třeba v oblasti ultrafialové či infračervené), ochranný rezistor (o odporu např. 100 ohmů), zdroj napětí (plochá baterie), spojovací vodiče a voltmetr. Jednu LED připojíme sériově přes ochranný rezistor k baterii a druhou, kterou umístíme naproti první LED, připojíme k voltmetru. Schematicky situaci zobrazuje obr. 4. Na obr. 5 je pak zobrazeno konkrétní provedení daného experimentu.



Obr. 4 Schéma zapojení elektrických obvodů



Obr. 5. Zapojený skutečný obvod

Osvědčilo se mi připájet LED pomocí hřebíčků na dřevěný panel tak, aby vždy dvojice LED byla proti sobě – tj. aby záření vycházející z LED připojené k baterii dopadalo do druhé LED přímo. Po zapojení první LED ke zdroji napětí ukáže voltmetr připojený ke druhé LED elektrické napětí. To tedy znamená, že záření dopadající na aktivní oblast druhé LED způsobilo fotoelektrický jev. Elektronů při tomto jevu uvolněných pak vytvořily příslušný rozdíl potenciálů detekovatelný jako elektrické napětí voltmetrem.

Právě popsaným způsobem proběhne experiment pouze v případě, pokud bude splněna podmínka pro energii fotonů daných frekvencí (resp. vlnových délek). Pokud je  $f_1$  frekvence záření emitovaného první LED a  $f_2$  je frekvence záření, kterou by emitovala druhá LED (momentálně připojená k voltmetru), ukáže voltmetr nenulovou hodnotu napětí za předpokladu, že platí:  $f_1 > f_2$ . Tato podmínka vyplývá ze zákona zachování energie: foton dopadající na druhou

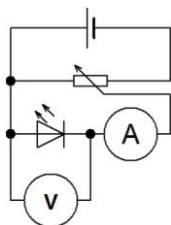
LED musí mít vyšší energii, než je energie fotonu, který by byl druhou LED emitován. Frekvence (resp. energie) fotonu emitovaného danou LED je přitom dána materiálem použitým pro její výrobu. Pokud uvedená podmínka pro frekvence fotonů nebude platit, fotoefekt nenastane a voltmetr ukáže nulovou hodnotu napětí.

Právě popsaný experiment by bylo možné vylepšit pečlivým proměřením napětí mezi různými dvojicemi LED.

• **Planckova konstanta**

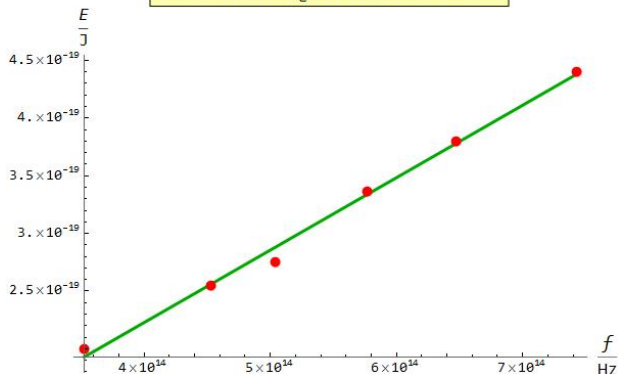
Pokud je to ve školních podmínkách možné, rád ukazuji proměřování fyzikálních konstant s využitím jednoduchých pomůcek. Daleko podstatnější v danou chvíli je, aby žáci experimentu rozuměli, případně ho sami navrhli a experiment jim přinesl ujasnění (resp. využití) probíraného fyzikálního zákona, než zda vyjde přesná tabulková hodnota proměřované konstanty.

Pro měření Planckovy konstanty jsem vycházel z elektrického obvodu, jehož schéma je na obr. 6. Napětí na LED jsem postupně zvyšoval do doby, než začala LED svítit. Hodnotu tohoto prahového napětí jsem si poznamenal. (Prahové napětí lze získat i z průběhu voltampérové charakteristiky příslušné LED; proto je v obvodu zapojen také ampérmetr.) Při plném jasu jsem pak s využitím spektrometru firmy Vernier naměřil vlnovou délku, na níž LED vyzařuje s nejvyšší intenzitou. Stejný postup jsem pak zopakoval pro další typy LED.



Obr. 6 Schéma obvodu

Graf závislosti energie na frekvenci světla LED



Obr. 7. Graf závislosti energie fotonu na jeho frekvenci

Foton viditelného světla dané frekvence vzniká v LED při rekombinaci páru elektron – díra. Elektrická energie (daná prahovým napětím  $U$  a elektrickým nábojem  $Q$  elektronu) se mění na energii fotonu elektromagnetického záření s frekvencí  $f$ . Tedy podle zákona zachování energie můžeme psát:  $E = UQ = hf$ , kde  $h$  je Planckova konstanta. Frekvenci fotonu příslušného záření přitom získáme z proměřené vlnové délky a velikosti rychlosti světla ve vakuu. Pokud vyneseme závislost energie fotonu (spočítané z hodnoty prahového napětí a náboje elektronu) na frekvenci daného fotonu, získáme graf zobrazený na obr. 7. Aproximací získáme lineární průběh, z něhož lze Planckovu konstantu určit jako směrnici tohoto lineárního průběhu. Na základě naměřených hodnot vychází z provedeního a zaznamenaného experimentu hodnota Planckovy konstanty  $6,28 \cdot 10^{-34}$  J.s. Detailněji je měření spolu s naměřenými daty a dalšími grafy popsáno v [3].

### **Literatura**

- [1] Budil J.: *Absolventský projekt Magnetická levitace*, SPŠST Panská Praha, 2017.
- [2] <https://www.unimagnet.cz/63-magneticka-barva>, [citováno 27. 8. 2017]
- [3] [http://jreichl.com/fyzika/vernier/planckova\\_konstanta.pdf](http://jreichl.com/fyzika/vernier/planckova_konstanta.pdf), [citováno 27. 8. 2017]