

Experimenty z Interaktivní fyzikální laboratoře: magnetické pole

ZDENĚK ŠABATKA

KDF MFF UK v Praze, Gymnázium Nový Porg

Tento článek popisuje především námět na přípravu vlastní aparatury pro měření magnetického pole sestávající z jednoduchého teslametru a stativu pro dlouhou cívku, a několik námětů na experimenty s popsány pomůckami, které lze využít především na střední škole. Článek rovněž podává krátkou zprávu o novinkách v Interaktivní fyzikální laboratoři (IFL) na MFF UK v Praze ve školním roce 2014/15, kde si studenti mohou většinu popsanych experimentů vyzkoušet.

IFL ve školním roce 2014/15

IFL je provozována KDF MFF UK v Praze a pro studenty středních škol připravuje praktická cvičení z fyziky (především ve formě laboratorních prací), na která docházejí v rámci školních exkurzí. Studenti pracují ve 3-4 členných skupinkách. Laboratoř nabízí programy, na které je možné přihlásit maximálně 16 studentů. Více informací o fungování laboratoře, jednotlivých lekcích a volných termínech je k dispozici na webových stránkách IFL [1]. Koncepce IFL a některé experimenty, se kterými se zde mohou studenti setkat, byly popsány v příspěvcích [2], [3].

V uplynulém školním roce 2014/2015 laboratoř navštívilo v rámci praktických cvičení přes 600 studentů středních škol. Jejich učitelé pro ně mohli vybírat z pěti nabízených tematických programů. Ke čtyřem stávajícím (Elektrostatika, Termodynamika, Rotační pohyb, Mechanické kmitání a tuhé těleso) přibýly aktivity, jejichž ústředním motivem je magnetické pole cívky.

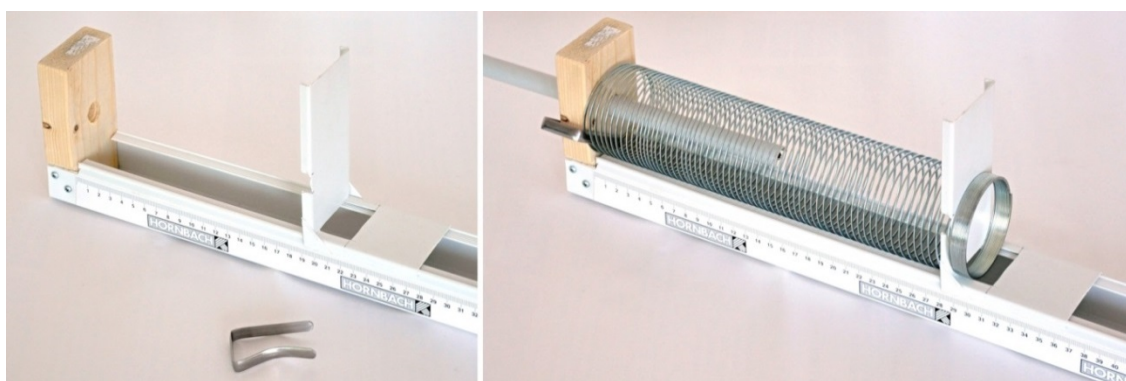
Předcházející programy byly koncipovány buď tím způsobem, že pro každou skupinku studentů bylo připraveno speciální stanoviště (ta na něm pracovala po celou dobu cvičení a v závěru o svých výsledcích informovala spolužáky), nebo se jednotlivé skupinky studentů prostrídaly na více různých časově méně náročných stanovištích a prošly tak všemi připravenými aktivitami.

Nový program byl rozdělen do tří částí. První společná byla pojata jako seznámení se základními pojmy (v tomto případě týkajícími se magnetického pole cívky) a byla společná všem skupinám studentů. Aktivity pro tuto část byly připraveny podle námětu Václava Piskače [4], [5] a studenti při nich objeví (zopakují si) základní vlastnosti magnetického pole a jejich závislost na různých parametrech. Druhá část představuje kvantitativní laboratorní měření, při kterém studenti zkoumají závislost magnetického pole na vybraném parametru cívky. Každá ze skupin měří jinou vlastnost. Těmito experimenty a použitou aparaturou se zabývá tento příspěvek detailněji. Ve třetí části pracují skupinky studentů rovněž na oddělených úkolech. Ty souvisí s praktickým použitím magnetického pole cívky. Dvě skupiny měří různými metodami měrný náboj elektronu a zbývající dvě sestavují různé modely elektromotorů.

Návody na experimenty pro studenty byly připraveny v elektronické formě [6]. Rovněž výsledky svých měření zpracovávají studenti na počítačích a do papírového záznamového archu „pouze“ zapisují závěry. Záznamový arch rovněž obsahuje několik doplňkových otázek týkajících se konkrétních zkoumaných jevů a závislostí. Výhodou elektronického zpracování je mimo jiné to, že je dostupné online a studenti se mohou na cvičení připravit z domova.

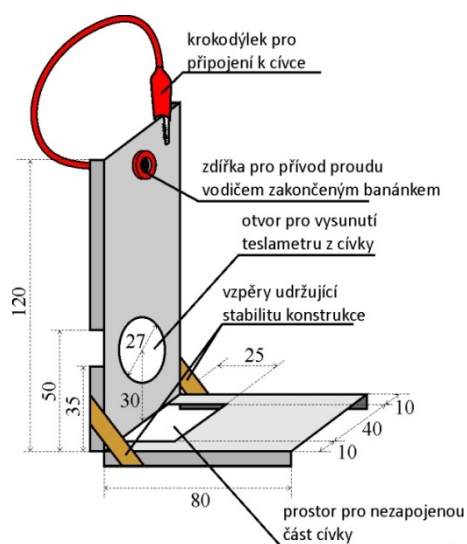
Aparatura pro zkoumání magnetického pole cívek

Hlavní myšlenkou celé aparatury je využití kovové pružiny (dětské hračky, viz obr. 1) jakožto cívky, kterou bude procházet proud, a bude tedy zdrojem magnetického pole. Výhodou je, že v rámci „rozumných měřítek“ může mít téměř libovolnou hustotu závitů (resp. délku a počet zapojených závitů). Samotné počítání závitů je pro studenty velmi snadné a názorné. Průměr závitů použité pružiny je přibližně 6,7 cm. Kromě samotné pružiny je aparatura³ tvořena stativem a jednoduchým teslametrem.



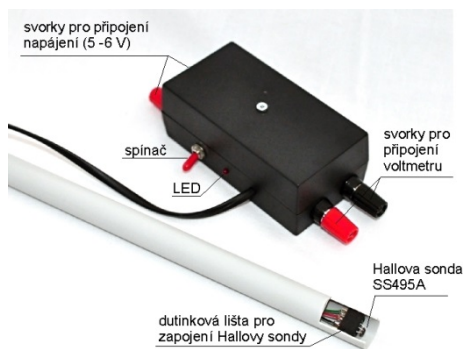
Obr. 1. Stativ s jezdcem. Vlevo bez cívky a sondy. Vpravo připraveno k měření.

Pro výrobu stativu (obr. 1) je zapotřebí 50–60 cm elektrická lišta šíře 6 cm. (K využití elektrická lišta tímto způsobem jsem byl inspirován náměty [7], [8].) Výška lišty je přibližně 4 cm. Na její hranu tak snadno přilepíme část papírového metru, který poslouží jako měřítko. K jedné straně elektrická lišta je připevněn dřevěný špalíček o základních vnějších rozměrech 6×2,5×11,5 cm. Na své spodní straně byl seříznut, aby se vešel do lišty, k níž byl připevněn pomocí vrtů. V dřevěném špalíku je otvor průměru 1,6 cm pro zasunutí trubičky (sondy jednoduchého teslametru). K tomuto špalíku můžeme cívku přichytit pomocí spony používané pro zafixování ubrusu. Druhý konec cívky by měl být pohyblivý. Za tímto účelem je možné z nevyužitého krytu elektrická lišta vyrobít jezdec (obr. 2).

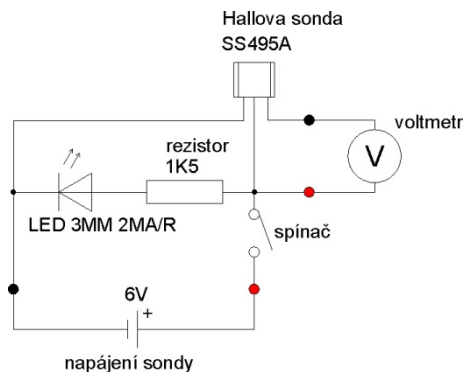


Obr. 2. Konstrukce jezdcu

³ Důležitou informací pro učitele je rovněž přibližná cena: Hallova sonda ~ 31 Kč, měřicí obvod včetně krabiček, svorek a Hallovy sondy ~ 160 Kč, stativ včetně jezdcu a kovové úchytky ~ 32 Kč; pružina ~ 148 Kč.



Obr. 3. Sonda s krabičkou



Obr. 4. Schéma zapojení obvodu



Obr. 5.

Inspiraci pro sestavení jednoduchého teslametru jsem našel v [9], [10]. Základem celého měřicího obvodu (obr. 4) je Hallova sonda s označením SS495A. Výrobce udává, že konstanta úměrnosti mezi Hallovým napětím a velikostí magnetické indukce má velikost $3,125 \pm 0,125 \text{ mV/G}$. Tento údaj jsem ověřil měřeními a v rámci udávané chyby je správný. Ve výpočtech i materiálech pro studenty je tedy používána hodnota $31,25 \text{ V/T}$. Sondu je možné připojit k napětí 4,5–10,5 V. Lze tak využít plochou baterii. V aparatuře (obr. 3) je sonda zasazena do malé dutinkové lišty, která je zapojena do obvodu a pomocí sekundového lepidla připevněna do plastové trubičky průměru 1,6 cm a délky přibližně 45 cm. Zbývající části obvodu včetně konektorů pro připojení voltmetru a zdroje napětí jsou zasazeny do plastové krabičky (obr. 5) o přibližných rozměrech $4 \times 5,4 \times 10,4 \text{ cm}$.

Halovo napětí, které nás při zkoumání magnetického pole zajímá, odpovídá změně napětí v porovnání s okamžikem, kdy sonda nebyla umístěna v magnetickém poli. Z toho důvodu je vhodné využít voltmetr s funkcí *relative*. Ta umožňuje „posunout nulu“ a voltmetr tak měří pouze přírůstky nebo úbytky napětí. Dostupnou a dobře fungující volbou je voltmetr UT10A (výrobce UNI-T). Navíc nabízí rovněž možnost měření kapacity kondenzátorů, která bývá dostupná spíše na dražších přístrojích.

Aby bylo Hallovo napětí měřitelné s dostatečnou přesností, je třeba, aby bylo magnetické pole dostatečně „silné“ a cívkou (pružinou) procházel dostatečně velký proud. Pro použitou cívku v daných experimentech dostačuje, je-li maximální proud okolo 2,5 A.

Teoretická východiska

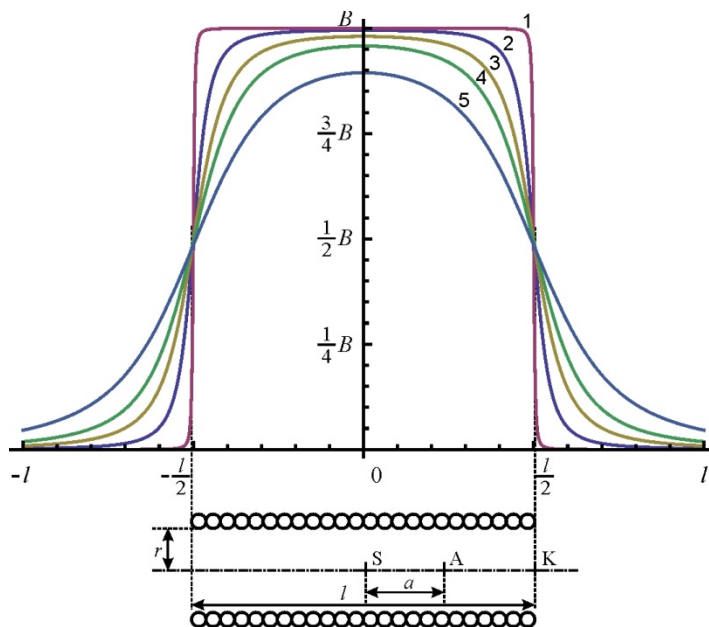
Jednou z rovnic popisujících magnetické pole dlouhé cívky, která by měla být známa studentům gymnázia je rovnice (viz např. [11])

$$B'_s = \mu \frac{NI}{l} \quad (1)$$

udávající velikost magnetické indukce uvnitř velmi dlouhé válcové cívky délky l , s N závitů, kterou prochází proud o velikosti I . Rovnice (1) je však pouze zjednodušením (pro střed velmi dlouhé cívky - solenoidu) rovnice (viz např. [12])

$$B_A = \mu \frac{NI}{2l} \left[\frac{\frac{l}{2} + a}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2} + a\right)^2}} + \frac{\frac{l}{2} - a}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2} - a\right)^2}} \right] \quad (2)$$

udávající velikost magnetické indukce v konkrétním místě A na ose cívky. Parametr a udává vzdálenost popisovaného místa od středu cívky, r představuje poloměr závitů. Z rovnice (2) můžeme odvodit i vztahy pro velikost magnetické indukce ve středu B_S ($a = 0$) a na konci cívky B_K ($a = 0,5 l$). Jejich porovnáním zjistíme, že pro každou cívku platí, že velikost magnetické indukce na konci cívky je v porovnání s její hodnotou ve středu cívky poloviční $B_K = 0,5 B_S$. Průběhy magnetických indukcí na osách cívek s různými průměry závitů avšak stejnou délkou zachycuje



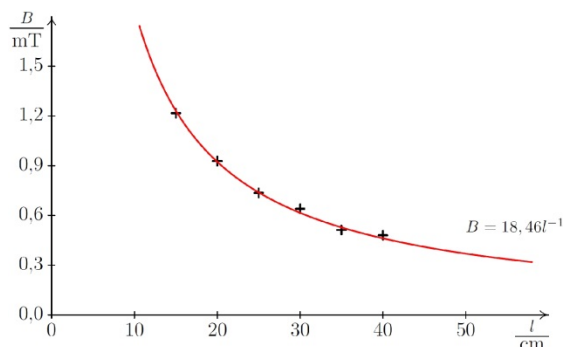
Obr. 6. Magnetická indukce na ose cívky

obr. 6. Znázorněny jsou průběhy pro poměry $2r : l$ 1) 0,01; 2) 0,1; 3) 0,2; 4) 0,3; 5) 0,5. Pro lepší představu je pod grafem znázorněn i řez cívkou příslušné délky.

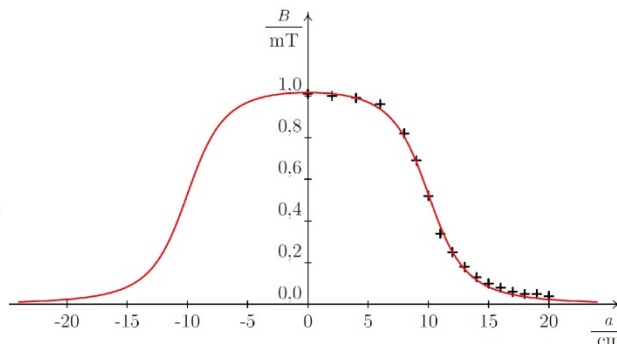
Náměty na experimenty

Pohled na rovnici (1) nám napovídá, že můžeme proměřit závislost velikosti magnetické indukce ve středu cívky na počtu závitů N , délce cívky l (obr. 7) i na velikosti proudu I .

Aparatura však rovněž umožňuje proměřit průběh magnetické indukce na ose cívky (obr. 8), i když pro toto měření v IFL využíváme teslametru firmy Phywe. Jeho citlivost je vyšší a umožňuje popsat prostor vně cívky detailněji. Nicméně představená aparatura je pro základní proměření rovněž dostačující. Na základě takového měření studenti snadno porovnají velikost B ve středu a na konci cívky, a odhalí meze homogeneity magnetického pole. Program v IFL zahrnuje i pokus, ve kterém studenti zjistí, jak závisí magnetické pole v blízkosti cívky na materiálu do ní vloženého jádra. K dispozici mají ocelový, hliníkový, mosazný, dřevěný a polystyrénový kvádrík (stejných rozměrů). Na tyto experimenty naleznete návody i připravené soubory MS Excel pro zpracování naměřených dat na webové stránce IFL věnované tematickému celku *Magnetické pole solenoidu* [6].



Obr. 7. Měření závislosti $B(l)$



Obr. 8. Průběh B na ose cívky

Nadstavbovým úkolem může být: určit na základě znalosti rovnice (1) konstantu úměrnosti mezi Halloovým napětím a velikostí magnetické indukce (ověřit údaj výrobce). Díky přehlednému vinutí závitů cívky může být aparatura využita i k ověření Ampérova pravidla pravé ruky. Použitý Hallův senzor je natolik citlivý, že detekuje magnetické pole ocelového kvádříku použitého coby jádra elektromagnetu i po vypnutí proudu. Můžeme demonstrovat, že jedna strana je jižním a druhá severním magnetickým pólem. Zapnutím proudu cívkou opačným směrem změním magnetizaci jádra. Aparaturu lze rovněž využít ke zkoumání magnetického pole permanentních magnetů. V takovém případě již není třeba cívky, pouze na jezdec je upevněn magnet. Nejjednodušším způsobem připevnění je vzít dva magnety a jezdec mezi ně „scvaknout“.

Literatura

- [1] <http://kdf.mff.cuni.cz/ifl> [cit. 2015-08-24]
- [2] ŠABATKA, Z.; DVOŘÁK, L.; DROZD, Z., a kol. Interaktivní fyzikální laboratoř (názory pražských učitelů a učitelek). Veletrh nápadů učitelů fyziky 14, konferenční sborník. Brno: Masarykova univerzita, 2009, s. 206-210. ISBN 978-80-210-5022-8.
- [3] ŠABATKA, Z. Experimenty z Interaktivní fyzikální laboratoře – rotující soustavy. Veletrh nápadů učitelů fyziky 19: sborník z konference. Cheb, 2014.
- [4] PISKAČ, V. Žákovské elektromagnety. Fyzikální šuplík [online]. 2011. [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/fyzika/zakovske_elektromagnety.pdf
- [5] PISKAČ, V. Žákovské elektromagnety: pracovní listy. Fyzikální šuplík [online]. 2011. [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/fyzika/zakovske_elektromagnety_-_pracovni_listy.pdf
- [6] ŠABATKA, Z. Magnetické pole solenoidu [online]. 2015 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/experiment/stac_pole/
- [7] DVOŘÁK, L. Další nápady z Malé Hraštic: co s čočkami. Veletrh nápadů učitelů fyziky 15: Sborník z konference. Prometheus, 2011, s. 47-51. ISBN 978-80-7196-417-9. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/15-05-Dvorak.html>

- [8] PISKAČ, V. Reostat a potenciometr. Fyzikální šuplík [online]. 2012 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/elektro/reostat_a_potenciometr.pdf
- [9] HUBENÁK, J. Měření magnetické indukce. Veletrh nápadů učitelů fyziky IX: sborník z konference. Brno: Paido, 2004, s. 33-37. svazek 2. ISBN 80-7315-087-5. Dostupné také z: http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/pdf/09-16-Hubenak_J.pdf
- [10] PAZDERA, V. Výroba $4 \times$ jinak. In: Dílny Heuréky 2012: sborník konferencí projektu Heuréka. Praha: Prometheus, 2012, s. 116-123. ISBN 978-80-7196-396-7. Dostupné také z: https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2012.pdf
- [11] SVOBODA, E. a kol. Přehled středoškolské fyziky. Praha: Prometheus, 1996. ISBN 80-7196-116-7
- [12] BROŽ, J., a kol. Základy fyzikálních měření I. díl. Praha: SPN, 1967. ISBN 16-924-67.