

## Magnetické pole Země

Pro zvýšení motivace žáků o studium fyziky mohou posloužit i netradiční laboratorní práce. A to zejména takové, při nichž s využitím jednoduchých pomůcek žáci naměří hodnoty fyzikálních veličin, na základě kterých potom budou moci určit např. fyzikální konstantu nebo parametr popisující vlastnosti nějakého tělesa či objektu. Přitom při řešení úloh tyto hodnoty běžně hledají v tabulkách. A menší hodnota určované konstanty nebo parametru, může znamenat větší atraktivitu měření a pro žáky tak může být zajímavější. Jedním z takových parametrů je i velikost horizontální složky magnetické indukce magnetického pole Země.

### Teoretický základ

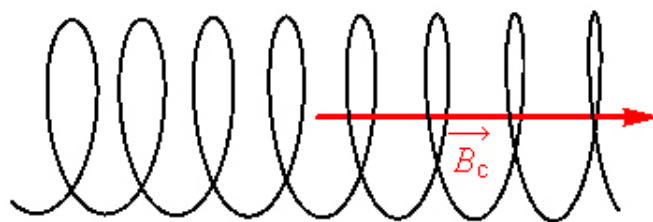
I ve školních podmínkách lze určit i relativně malou hodnotu fyzikálního parametru, který popisuje magnetické pole Země. Navíc při tomto měření zopakujeme společně se žáky řadu vlastností magnetického pole obecně, magnetického pole cívky, ale také např. sčítání vektorů a další matematické dovednosti.

Žáci středních škol se seznamují s různými zdroji magnetického pole, které popisují většinou kvalitativně. Kvantitativní popis provádějí pouze tehdy, je-li tento popis relativně jednoduchý a nevyžaduje-li použití vyšší matematiky. Jedním z relativně jednoduchých zdrojů magnetického pole, který lze též dobře popsat matematicky, je i solenoid, tj. nekonečně dlouhá cívka. V praxi takovou cívku není možné sestrojít, ale za solenoid lze považovat s dobrou přesností i cívku, jejíž délka je výrazně větší než její průměr. Pro velikost magnetické indukce  $B_c$  takové cívky, která má délku  $l$  a počet závitů  $N$ , platí vztah

$$B_c = \frac{\mu NI}{l}; \quad (1)$$

symbol  $I$  přitom označuje elektrický proud procházející cívku a  $\mu$  značí permeabilitu jádra cívky.

Vektor magnetické indukce  $\vec{B}_c$  této cívky je přitom rovnoběžný s její osou (viz obr. 1).



J. Reichl, 2011

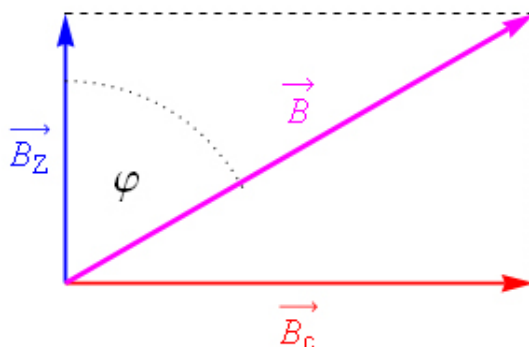
obr. 1

Bude-li cívka vystavena současně i magnetickému poli Země (což, pokud není magneticky stíněna, je vždy), budou se obě magnetická pole navzájem skládat. Při běžném proměřování magnetického pole cívky magnetickou indukcí magnetického pole Země do svých výpočtů nezahrnujeme, neboť její velikost je velmi malá. Pokud ovšem připravíme experiment s cílem určit velikost magnetické indukce magnetického pole Země, její vliv na průběh experimentu pochopitelně započítat musíme. Je důležité si uvědomit, že magnetické indukční čáry magnetického pole Země jsou uzavřené křivky, které vystupují z jednoho magnetického pólu Země (dle domluvy ze severního) a vstupují do druhého magnetického pólu. Jejich tvar přitom víceméně kopíruje povrch Země, a proto je nutné při popisovaném experimentu hovořit pouze o horizontální složce magnetické indukce magnetického pole

Země. Vertikální složka se při dále popsaném experimentu neprojeví, neboť magnetická síla, která díky této složce magnetické indukce vzniká, by musela mít srovnatelnou velikost s tíhovou silou působí na magnetku kompasu.

Experiment tedy připravíme tak, že do cívky umístíme kompas. Ten orientujeme vůči cívice tak, aby v okamžiku, kdy cívkou neprochází elektrický proud, mířila magnetka kompasu ve směru kolmém na podélnou osu cívky (a tedy ve směru kolmém na vektor magnetické indukce  $\vec{B}_c$  cívky). V této poloze na kompasu natočíme úhломěrnou stupnici tak, aby úhel nula stupňů odpovídal směru k severnímu pólu. Připojíme-li cívku ke zdroji napětí, vlivem procházejícího elektrického proudu vznikne v cívice magnetické pole. To se bude skládat s magnetickým polem Země a magnetka kompasu se proto vychýlí z původního směru (směr k severnímu zeměpisnému pólu) o úhel  $\varphi$ . Označíme-li vektor horizontální složky magnetické indukce magnetického pole Země  $\vec{B}_Z$  a vektor složeného magnetického pole  $\vec{B}$ , můžeme situaci schématicky zakreslit tak, jak je uvedeno na obr. 2. Na základě tohoto obrázku můžeme pro velikost vektoru  $\vec{B}_Z$  psát vztah

$$B_Z = \frac{B_c}{\operatorname{tg} \varphi} . \quad (2)$$



J. Reichl, 2011

obr. 2

Dosadíme-li nyní do vztahu (2) vyjádření velikosti magnetické indukce magnetického pole cívky dle vztahu (1), dostaneme pro velikost horizontální složky magnetické indukce magnetického pole Země vztah

$$B_Z = \frac{\mu NI}{l \operatorname{tg} \varphi} . \quad (3)$$

Při použití jedné konkrétní cívky s danými parametry jsou jedinými proměnnými ve vztahu (3) elektrický proud  $I$  a úhel  $\varphi$ . Změříme-li tyto dvě na sobě vzájemně závislé fyzikální veličiny, budeme moci na základě vztahu (3) vypočítat velikost horizontální složky magnetické indukce magnetického pole Země.

### Výroba pomůcky

K vlastnímu experimentu budeme potřebovat velkou prázdnou PET láhev, měděný smaltovaný drát (o průměru přibližně 0.3 mm a délce 5 m), kompas, reostat, zdroj napětí, spojovací vodiče, LabQuest a ampérmetr firmy Vernier, list papíru a lepidlo (viz obr. 3). Použití pomůcek firmy Vernier není nezbytné, ale jsou vhodné i proto, že naměřená data později můžeme zpracovat v programu LoggerPro této firmy. Nicméně experiment je možné provést i s běžným ampérmetrem. V tomto článku popíšeme postup měření a jeho zpracování s využitím pomůcek od firmy Vernier. Měření s klasickým ampérmetrem probíhá stejně;

naměřená data poté můžeme přepsat do přiloženého souboru ve formátu XLS, ve kterém jsou připraveny výpočty vedoucí k určení velikosti horizontální složky magnetické indukce magnetického pole Země.



J. Reichl, 2011

obr. 3

Nejdříve si vyrobíme cívku, která bude vhodná pro další měření. Na první pohled by se mohlo zdát, že k měření takové hodnoty, jako je velikost horizontální složky magnetické indukce magnetického pole Země, bude zapotřebí velmi sofistikovaných pomůcek. Přínos tohoto experimentu je právě v tom, že i magnetické pole Země lze proměřit s pomůckou vyrobenou vlastními silami.

Cívku vyrobíme z velké PET láhve a měděného smaltovaného drátu o průměru přibližně 0,3 mm a délce zhruba 5 m. Z láhve odřízneme ty její části, které nemají tvar válce, tj. vršek láhve s hrdlem a spodní část láhve nade dnem. Ve vzdálenosti několika milimetrů od jednoho z okrajů takto vzniklého pláště válce vytvoříme otvor takového průměru, aby jím bylo možné protáhnout vybraný smaltovaný drátek. Otvor je vhodné udělat např. špendlíkem - je důležité, aby nebyl tento otvor příliš velký. Stejný otvor vytvoříme symetricky od druhého okraje pláště válce tak, aby ležel na téže povrchové přímce pláště jako první otvor. Nyní láhev potřeme na několika pásech spojujících oba okraje válcové plochy lepidlem. To proto, aby drátek, který budeme na láhev namotávat, na láhvi neklouzal. Z jednoho konce drátu necháme volných přibližně 20 cm a drát začneme navinovat na válcovou plochu. Stoupání závitů volíme přibližně 1 cm. Menší stoupání by bylo na úkor čitelnosti údajů z kompasu uvnitř cívky, vyšší stoupání by znamenalo menší velikost magnetické indukce samotné cívky. Po navinutí závitů na celou výšku válcové plochy protáhneme konce drátu vytvořenými otvory a zajistíme proti vytažení lepidlem nebo izolepou.

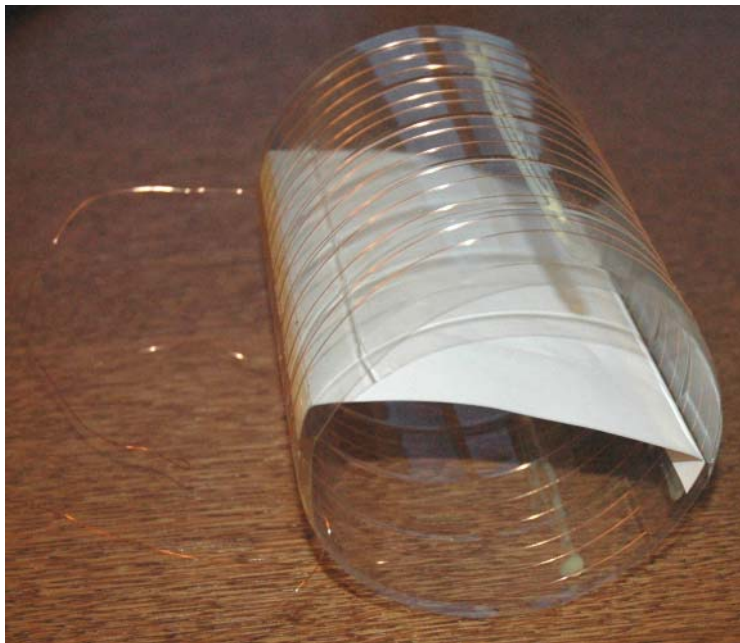
Nyní je nutné vyrobít držák kompasu uvnitř cívky. K tomu budeme potřebovat kancelářský papír, z něhož vystříháme obdélník. Jedna jeho strana bude mít délku stejnou jako je výška válcové plochy vystřižená z láhve a druhá bude přibližně o 2 cm delší, než je průměr válcové plochy. Po délce tohoto obdélníka z každé strany ohneme část o šířce 1 cm, abychom vytvořili chlopně pro vlepení papíru dovnitř válcové plochy. Tyto chlopně potřeme lepidlem (musí držet na plastu láhve, ale nesmí jej poleptat), opatrně papírový obdélník vsuneme dovnitř válce a chlopně zevnitř přitlačíme ke stěně válce. Necháme řádně zaschnout.

Po zaschnutí zkrátíme případně délku drátu, který přesahuje otvory v plastovém válci, a jeho konce v délce přibližně 1 cm až 2 cm opatrně opálíme hořící salkou a poté hadříkem

setřeme vzniklé saze. Tímto způsobem odstraníme z drátu smalt a konce drátu bude možné vodičivě spojit vodiči s krokosvorkami s dalšími součástkami v obvodu.

Hotová cívka je zobrazená na obr. 4.

Pro pozdější zpracování naměřených dat budeme potřebovat znát parametry naší vyrobené cívky. Spočítáme tedy počet celých závitů na plášti cívky (otvory na protažení měděného drátu leží na jedné povrchové přímce, proto by neměl být problém s určením počtu závitů) a délku cívky (tj. vzdálenost mezi prvním a posledním závitem cívky). Cívka, s níž jsme měření prováděli, měla 14 závitů a délku 14,3 cm.



J. Reichl, 2011

obr. 4

Na první pohled by se mohlo zdát, že tuto cívku nemůžeme považovat za solenoid a že tedy nemůžeme použít k výpočtu velikosti magnetické indukce jejího magnetického pole vztah (1). Přesto jsme tak postupovali a výsledky, kterých jsme tímto postupem dosáhli, jsou akceptovatelné.

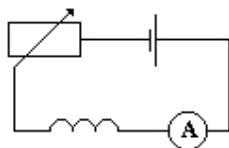
### **Provedení experimentu**

Vyrobenou cívku umístíme na vodorovnou podložku tak, aby papírový držák vlepený v cívce byl ve vodorovné poloze, a zajistíme proti valivému pohybu. Zkontrolujeme, zda v okolí nejsou předměty, které by mohly rušit správnou činnost kompasu, a případně je odstraníme. Na papírový držák v cívce položíme doprostřed cívky opatrně kompas a cívku zorientujeme tak, aby magnetka kompasu (mířící k severnímu zeměpisnému pólu) byla kolmá na podélnou osu cívky. Otočnou stupnici na kompasu otočíme tak, aby směru k severnímu pólu odpovídal úhel nula stupňů. Tím je pomůcka připravena k použití.

K cívce připojíme sériově ampérmetr a reostat, který nastavíme a zapojíme tak, aby měl v okamžiku připojování nejvyšší odpor. Tyto součástky připojíme ke zdroji napětí (např. baterie s elektromotorickým napětím 9 V). Schéma tohoto obvodu je zobrazeno na obr. 5, fotografie skutečného obvodu je pak na obr. 6.

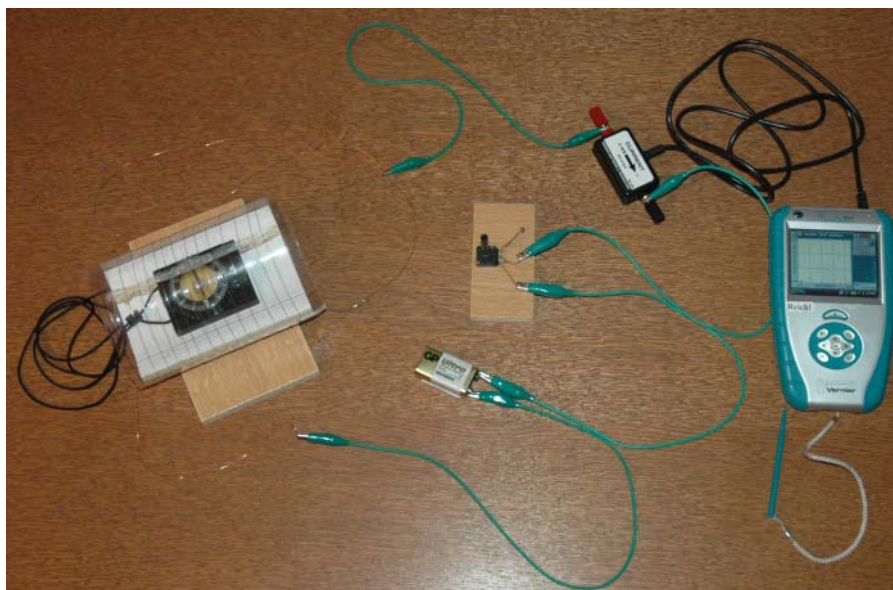
Ampérmetr připojíme k LabQuestu a nastavíme *Režim* na *Události + hodnoty*. V zobrazené nabídce ponecháme *Počet sloupců* na přednastavené hodnotě 1 a do položky *Název* vyplníme název měřené veličiny. To je ta veličina, kterou budeme zadávat manuálně -

v našem případě se bude jednat o úhel  $\varphi$  (viz teoretická část tohoto článku). Proto vyplníme do této položky např. *uhel* a do položky *jednotky* vyplníme *stupen*. Potvrdíme a LabQuest je připraven k měření.



J. Reichl, 2011

obr. 5



J. Reichl, 2011

obr. 6

Spustíme měření a pomocí reostatu nastavíme takovou hodnotu odporu, aby se vlivem magnetického pole cívky generovaným procházejícím elektrickým proudem vychýlila magnetka kompasu o takový úhel, jehož hodnotu budeme schopní bez problému odečíst na stupnici kompasu. Pak pomocí stylusu dataloggeru LabQuest stiskneme na displeji symbol „modré kolečko“ zobrazený v levém dolním rohu displeje. Tím se otevře okno, ve kterém budeme moci zadat hodnotu proměnné, kterou jsme předtím nadefinovali. Stiskem tlačítka *OK* zadanou hodnotu uložíme.

Stejným způsobem postupujeme při dalším měření. Celkem provedeme 5 až 10 měření. Naměřená data pak uložíme a importujeme do programu LoggerPro.

V tomto programu jsou zobrazeny v tabulce naměřených hodnot dva sloupce: *uhel* a elektrický proud *I*. K těmto dvěma sloupcům přidáme další dva resp. jeden - závisí na tom, jak přehledný výstup uživatel požaduje. Volbou *Data - Nový dopočítávaný sloupec* z menu programu otevřeme dialogové okno, do jehož položky *Name* zapíšeme jméno nové dopočítávané fyzikální veličiny - v našem případě *Bcívky*. Do položky *Units* (s využitím rozbalovacího menu této položky) napíšeme jednotku této fyzikální veličiny:  $\mu\text{T}$ . Do položky *Equation* zapíšeme definiční vztah nové fyzikální veličiny ve tvaru

$$4 \cdot \pi \cdot 0,1 \cdot 14 \cdot I / 0,143, \quad (4)$$

kde  $\pi$  reprezentuje Ludolfovo číslo  $\pi$ , 14 je počet závitů, 0,143 m je délka cívky a 0,1 je upravený koeficient vystupující v permeabilitě vakua; úprava je provedena tak, aby velikost magnetické indukce magnetického pole cívky vycházela přímo v  $\mu\text{T}$  (a mohli jsme tyto hodnoty jednoduše zobrazit). Symbol *I* znamená sloupec hodnot elektrického proudu. Tento

symbol lze na správné místo vztahu vložit také pomocí výběru, který se zobrazí po stisku tlačítka *Variables (Columns)*. Dialog uzavřeme stiskem tlačítka *Hotovo* a v tabulce se zobrazí nový sloupec s dopočítanými hodnotami.

Analogicky vložíme další nový sloupec s názvem *Bzeme* a opět v jednotkách  $\mu\text{T}$ . Do položky *Equation* tentokrát vyplníme vztah

$$\text{"Bcivky"}/\tan(\text{"uhel"}*\pi/180). \quad (5)$$

Zlomek  $\pi/180$  je v argumentu funkce tangens proto, abychom úhly ze sloupce *uhel* převedli na radiány; funkce tangens je definována pouze pro argumenty v obloukové míře.

Vztahy (4) a (5), pomocí nichž jsme dopočítali další dva sloupce tabulky s naměřenými daty, jsou plně v souladu s teoretickými vztahy (1) a (2). Rozdíl je pouze ve formě zápisu - do programu *LoggerPro* je nutné zapisovat vztahy bez využití typografických značek (zlomky, indexy, ...).

Doplňná tabulka je zobrazená na obr. 7.

Run 1				
	uhel (stupen)	I (A)	Bcivky ( $\mu\text{T}$ )	Bzeme ( $\mu\text{T}$ )
1	5	0,0191	2,351	26,875
2	10	0,0303	3,733	21,173
3	20	0,0627	7,713	21,192
4	35	0,1416	17,419	24,876
5	50	0,1985	24,416	20,487
6	55	0,2599	31,974	22,389
7	75	0,5477	67,386	18,056
8	65	0,3925	48,292	22,519
9				

J. Reichl, 2011

obr. 7

## Závěr a poznámky

Vypočítáme-li průměrnou hodnotu velikosti horizontální složky magnetické indukce magnetického pole Země, získáme hodnotu  $22,2 \mu\text{T}$  s relativní chybou přibližně 9 %. Tato chyba se může zdát na první pohled relativně velká, ale když vezmeme v úvahu použité pomůcky, myslím, že je to výsledek akceptovatelný. Hodnota měřené fyzikální veličiny, která se pro region České republiky uvádí v literatuře, je přibližně  $20 \mu\text{T}$ . Shoda našeho měření s hodnotou uváděnou v literatuře je tedy dobrá.

Je pravda, že firma Vernier nabízí též čidlo magnetického pole, kterým by bylo možné měřit přímo velikost magnetické indukce v cívce, ale záměrně jsme tento způsob měření nepoužili, aby si žáci uvědomili (resp. zopakovali), na jakých parametrech velikost magnetické indukce cívky závisí.

Pokud je k měření využit klasický ampérmetr, je možné využít pro vlastní výpočet hledané fyzikální veličiny přiložený soubor ve formátu XLS. Zadáním parametrů cívky (počet závitů a délka) a vyplněním dvou sloupců měřených fyzikálních veličin (úhel a elektrický proud) získáme velmi rychle hodnotu hledané fyzikální veličiny. V případě, že chceme žáky donutit pracovat samostatně, neměl by být pro ně problém příslušný výpočet v tabulkovém editoru zrealizovat.