

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum II



### Úloha č. 19

Název úlohy: .....Měření s torzním magnetometrem.....

Jméno: .....Vladislav Wohlrath..... Obor: (FOF) FAF FMUZV

Datum měření: .....10. 10. 2016..... Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkoly

1. Změřte závislost výchylky magnetometru na proudu protékajícím cívkou. Měření proveďte pro obě cívky a různé počty závitů (5 a 10).
2. Výsledky měření znázorněte graficky.
3. Diskutujte výsledky měření z hlediska platnosti Biot-Savartova zákona.
4. Změřte směrní moment vlákna metodou torzních kmitů.
5. Určete magnetický moment magnetu užívaného při měření (v Coulombových i Ampérových jednotkách).

## Teoretická část

Malý permanentní tyčový magnet o neznámém Coulombově magnetickém momentu  $p$  zavěsíme vodorovně na tenké vlákno a umístíme do středu kruhové cívky kolmo k jeho ose. Pokud bude cívka mít poloměr  $r$ , počet závitů  $N$  a poteče jí proud  $I$ , vytvoří v místě magnetu podle Biotova-Savartova[1] zákona magnetické pole o intenzitě

$$H = \frac{NI}{2r}. \quad (1)$$

Vektor intenzity pole bude kolmý na magnetický moment magnetu a na magnet bude působit moment síly

$$M = pH, \quad (2)$$

a vychýlí se z původní polohy o úhel<sup>i</sup>

$$\alpha = \frac{M}{D} = \frac{pH}{D} = \frac{pNI}{2rD}, \quad (3)$$

kde  $D$  je směrní moment vlákna. Z Biotova-Savartova zákona tedy vyplývá závislost

$$\alpha \propto \frac{NI}{r}, \quad (4)$$

kterou experimentálně ověříme.

Směrní moment  $D$  určíme metodou torzních kmitů. Na vlákno zavěsíme vodorovně mosaznou tyč. Jestliže je moment setrvačnosti tyče vzhledem k ose otáčení  $J$  a zanedbáme momenty ostatních částí magnetometru, bude kyvadlo kmitat s periodou

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{D}}. \quad (5)$$

Ze známého směrního momentu a naměřené závislosti (4) můžeme pomocí (3) vypočítat magnetický moment  $p$ .

Kromě Coulombova magnetického momentu  $p$  definujeme též Ampérův magnetický moment

$$m = \frac{p}{\mu_0} \quad (6)$$

## Výsledky měření

Pokud není uvedeno jinak, uvedené odchylky jsou standardní a odchylku nepřímo měřených veličin určujeme metodou přenosu chyby. Používáme zápis  $x = 10(1)$  cm, kde číslo v závorce vyjadřuje odchylku v řádu poslední uvedené číslice, tedy  $x = (10 \pm 1)$  cm.

Pokus probíhal při normálním tlaku a pokojové teplotě ( $t \approx 22^\circ\text{C}$ ).

Měření jsme provedli se dvěma kruhovými cívkami, které budeme důsledně nazývat větší ( $d = 2r = 40,5(5)$  cm) a menší ( $d = 20,0(2)$  cm). Obě cívky měly 10 závitů a umožňovaly zapojení, ve kterém tekla proud jen 5 závitů. Měřili jsme tyčový magnet označený jako MAGNET2.

Na magnet jsme připevnili malé zrcadlo a zamířili jsme na něj laserový paprsek. Do vzdálenosti  $L = 1,14(1)$  m od magnetu jsme umístili stínítko tak, aby na něj v rovnovážné poloze s nulovým proudem cívkou paprsek dopadal kolmo.

<sup>i</sup>Platí pro malé úhly

Pro obě cívky jsme měnili proud v rozmezí 0–4 A a měřili výchylku místa dopadu laseru na stínítko. Proud jsme měřili vnějším ampérmetrem. Pokud se vychýlil o  $\Delta l$ , úhel otočení magnetu určíme jako

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{\Delta l}{L}. \quad (7)$$

Přímo hodnoty  $\Delta l$  neuvádíme, naměřené úhly jsou uvedeny v tabulce 1 a zaneseny do grafu 1

	menší cívka $r = 10(1) \text{ cm}$		větší cívka $r = 20,3(3) \text{ cm}$	
	$N = 5$	$N = 10$	$N = 5$	$N = 10$
$I \text{ (A)}$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$
0,5	0,40	0,80	0,23	0,45
1,0	0,80	1,63	0,43	0,85
1,5	—	2,43	—	—
2,0	1,63	3,23	0,83	1,68
2,5	—	4,04	—	—
3,0	2,43	4,83	1,26	2,48
3,5	—	5,61	—	—
4,0	3,23	6,38	1,68	3,30

Tabulka 1: Naměřená závislost úhlu otočení magnetu na volbě cívky a proudu jí protékajícím

Pro změření směrního momentu vlákna jsme na něj zavěsili mosaznou tyč o délce  $l_t = 24,0(1) \text{ cm}$ , hmotnosti  $m_t = 56,6 \text{ g}$  a průměru  $d_t = 6 \text{ mm}$ . Moment setrvačnosti takové tyče vzhledem k ose procházející průměrem v jejím středu je podle [2]

$$J = m(d_t^2 + \frac{1}{12}l_t^2) = 2,74 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2. \quad (8)$$

Změřili jsme dobu 20 kmitů  $80,5 \text{ s}$ , tedy perioda  $T = 4,03 \text{ s}$ . Směrní moment vlákna jsme určili podle (5)  $D = 6,6(2) \cdot 10^{-4} \text{ N m rad}^{-1}$ . Odchylku jsme odhadli na 3 %.

Naměřenou závislost (3) jsme nařizovali Coulombovým magnetickým momentem  $p = 3,8(2) \cdot 10^{-7} \text{ Wb m}$ . Vzhledem k nepřesnostem při měření jsme odchylku odhadli na 5 %. Ampérův magnetický moment vypočítáme podle (6) jako  $m = 0,30(2) \text{ A m}^2$ . Teoretickou závislost (3) jsme zanesli do grafu 1 pro porovnání s naměřenými veličinami.

## Diskuze

Z Biotova-Savartova zákona plyne, že bychom pro jeden konkrétní magnet měli být schopni najít konstantu  $p$  tak, že naměřené hodnoty pro obě cívky a všechny proudy budou odpovídat vzorci (3). Takovou konstantu se nám skutečně podařilo najít, naměřené hodnoty vykazují dobrou shodu s teoretickou závislostí (viz graf 1). Můžeme soudit, že naše výsledky jsou ve shodě s Biotovým-Savartovým zákonem.

Domnělým zdrojem velkých nepřesností byly otřesy v místnosti, avšak i po důkladném dupání v bezprostřední blízkosti aparatury nebyly naměřeny žádné odchylky. Další chyby mohly být způsobeny nedokonalým tvarem cívek, nelinearitou vlákna či kolísáním proudu, tyto chyby však považujeme za malé a měření za neobyčejně přesné.

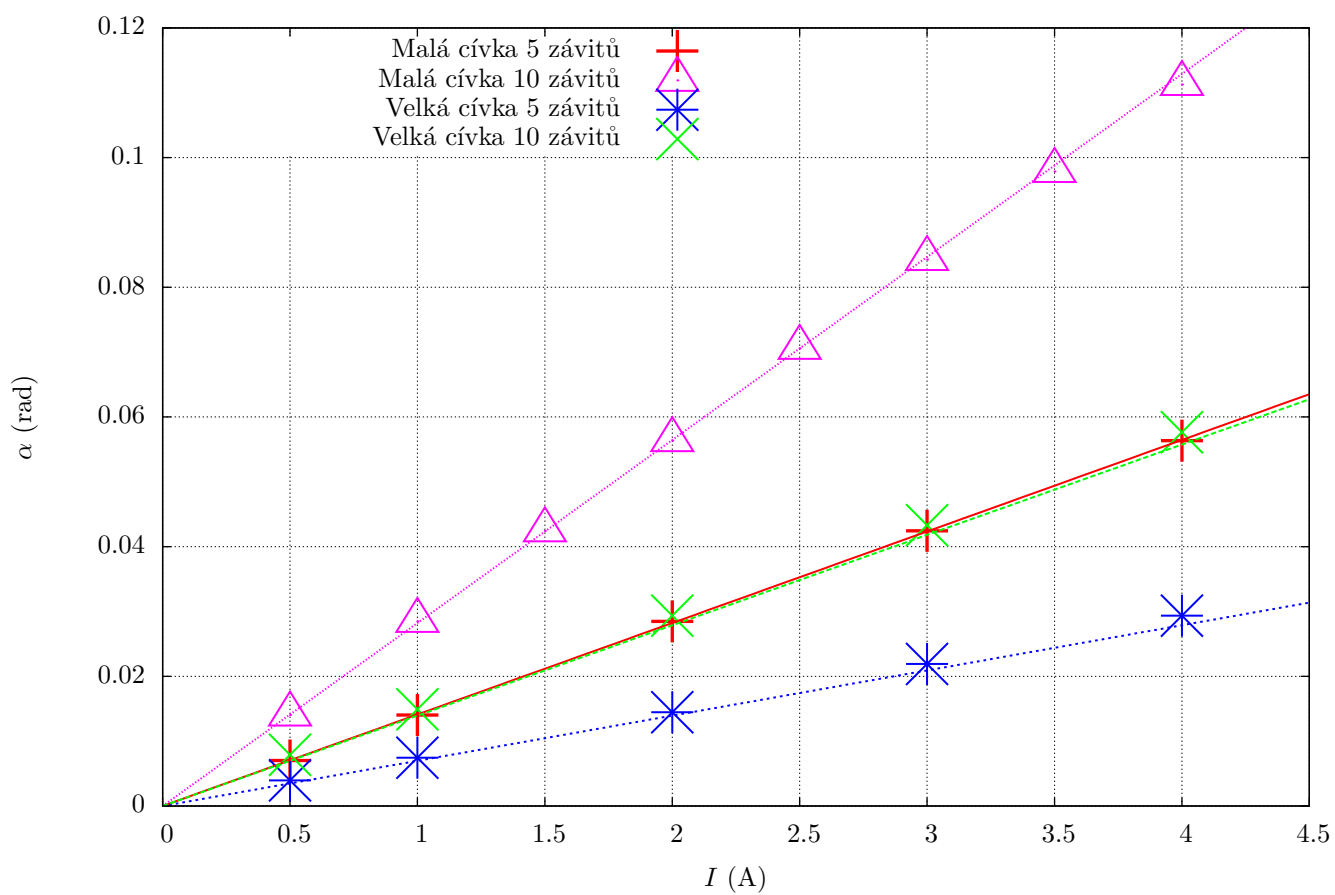
Naopak měření směrního momentu vlákna považujeme za nepřiliš přesné, k měření délky mosazné tyče byl k dispozici pouze svinovací metr a ostatní parametry tyče byly napsané na přiloženém papírku bez údaje o jejich přesnosti. Kromě toho jsme zanedbávali ostatní části aparatury zavěšené na vlákně. Ve vzorci (8) jsme mohli zanedbat první člen.

## Závěr

Změřili jsme závislost výchylky magnetometru na proudu procházejícím cívkou pro dvě různé cívky a různé počty závitů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1 a zaneseny do grafu 1. Do grafu je též vynesena teoretická závislost vyplývající z Biotova-Savartova zákona. Hodnoty se dobře shodují, takže Biotův-Savartův zákon zůstává v platnosti.

Dále jsme metodou torzních kmitů změřili směrní moment vlákna v magnetometru  $D = 6,6(2) \cdot 10^{-4} \text{ N m rad}^{-1}$ .

Z naměřené závislosti jsme určili Coulombov magnetický moment  $p = 3,8(2) \cdot 10^{-7} \text{ Wb m}$  nebo též Ampérův magnetický moment  $m = 0,30(2) \text{ A m}^2$ .



Graf 1: Naměřená závislost úhlu otočení magnetu na volbě cívky a proudu jí protékající, teoretická závislost (3) s nabitým magnetickým momentem  $p$

## Seznam použité literatury

1. SEDLÁK, Bedřich; ŠTOLL, Ivan. *Elektrína a magnetismus*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2198-2.
2. SERWAY, Raymond A. *Physics for Scientists and Engineers, second ed.* 1986. ISBN 0-03-004534-7.