

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM 1

Úloha č.: IXX.

Název: Měření s torzním magnetometrem

Vypracoval: Mária Šoltésová stud. sk. F – 14 dne 13. 10. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval:dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úloha:

1. Změřte závislost výchylky magnetometra na proudu protékajícím cívkou. Měření urobte pro obě cívky a různé počty závitů (5 a 10). Maximální povolený proud obvodem je 4 A.
2. Výsledky měření znázorníte graficky.
3. Diskutujte výsledky měření z hlediska platnosti Biot-Savartova zákona.
4. Změřte směrový moment vlákna metodou torzních kmitů.
5. Určete magnetický moment magnetu používaného při měření (v Coulombových i Ampérových jednotkách).

Teoretická časť:

Ak je magnetický dipól vložený do homogénneho magnetického poľa s intenzitou H , pôsobí naň moment sily

$$M = pH \sin u, \quad (1)$$

kde p je magnetický moment a u je uhol, ktorý zvierá os dipólu so smerom intenzity magnetického poľa. Za podmienok nášho pokusu môžeme uvažovať $u \approx \frac{p}{2}$, takže dostaneme:

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

Magnet zavesený na vlákne sa pôsobením vonkajšieho magnetického poľa vychýli o uhol α , pričom silový moment M_d vyvolaný skrútením vlákna je úmerný výchylke a

$$M_d = Da. \quad (3)$$

Rovnovážna výchylka magnetu zodpovedá stavu $M = M_d$, dostaneme priamu úmernosť medzi intenzitou magnetického poľa a rovnovážnou výchylkou magnetu

$$H = a \frac{D}{p}. \quad (4)$$

Pre intenzitu magnetického poľa v strede cievky s polomerom r , počtom závitov N , ktorou preteká prúd I , platí z Biot-Savartovho zákona

$$H = \frac{NI}{2r}. \quad (5)$$

Po dosadení do (4) dostaneme

$$a = \frac{Np}{2rD} I, \quad (6)$$

ak smernicu v lineárnej závislosti uhlu α od prúdu I označíme ako a , magnetický moment p určíme ako

$$p = \frac{2rD}{N} a. \quad (7)$$

Ak určíme direkčný moment D , môžeme zo vzťahu (7) určiť magnetický moment p .

Medzi výchylkou magnetu α a výchylkou svetelnej značky na tienidle x platí vzťah

$$a = \frac{1}{2} \arctan \frac{x}{l}. \quad (8)$$

Direkčný moment D určíme z periódy torzných kmitov, pri ktorých bude na vlákne zavesené teleso so známym momentom zotrvačnosti J . Pre periódu kmitov T platí:

$$T = 2p \sqrt{\frac{J}{D}} \Rightarrow D = \frac{4p^2 J}{T^2}. \quad (9)$$

Použité pomôcky a prístroje:

magnetometer s dvoma cievkami, stojan, osvetľovacia súprava, magnet, kovová tyčka, posuvná guľôčka, tlmiace krídelko, nádoba s kvapalinou

merací prístroj	najmenší dielik
pásmový meter	1 mm
stopky	0,1 s
stupnica tienidla	1 mm
ampérmeter	0,01 A

Postup:

1. Zmeriame periódu torzných kmitov tyče zavesenej na vlákne, ktoré budeme používať na pokus, určíme direkčný moment vlákna D .
2. Zmeriame priemery oboch cievok.
3. Upevníme cievku na stojan tak, aby os magnetu ležala v rovine cievky.
4. Zapojíme cievku do obvodu s ampérmetrom a postupne zvyšujeme prúd prechádzajúci obvodom. Pre každú hodnotu prúdu odčítame z tienidla polohu svetelnej značky, ktorá udáva výchylku magnetu.
5. Meranie opakujeme pre obe cievky, v polohe pre 5 a 10 závitov.

Výsledky meraní:

Najprv sme zmerali dobu desiatich kmitov kovovej tyče na vlákne 10T, z nej sme určili periódu kmitov T ako $T = (4,07 \pm 0,03)$ s. Namerané údaje sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1: Perióda torzných kmitov kovovej tyče

	1	2	3	4	5	priemer \bar{T}	odchýlka σ_T	rel. chyba η_T
10T [s]	41,0	40,8	40,6	40,6	40,6	40,7		
T [s]	4,10	4,08	4,06	4,06	4,06	4,07	0,03	0,4%

Odchýlka doby kmitu je určená ako spojenie štandardnej odchýlky nameraných údajov a reakčnej doby odhadnutej na 0,2 s.

Zo vzťahu (9) sme určili direkčný moment vlákna ako $D = (6,48 \pm 0,08)10^{-4}$ kg.m².s⁻², za moment zotrvačnosti sme dosadili hodnotu $J = 2,72.10^{-4}$ kg.m² uvedenú v [2].

Vzdialenosť zrkadielka od tienidla sme určili ako $l = (130 \pm 1)$ cm, chyba je odhadnutá vzhľadom k faktu, že nulová poloha nebola presne v mieste, kde je rovina tienidla kolmá na dopadajúci lúč. Zmerali sme priemery oboch cievok v rôznych miestach, namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 2. Všetky vzdialenosti boli merané pásmovým metrom.

Tabuľka 2: Rozmery cievok

	malá cievka		veľká cievka	
	d_m [cm]	r_m [cm]	d_v [cm]	r_v [cm]
1.	20,5	10,3	39,9	20,0
2.	20,3	10,2	40,3	20,2
3.	20,4	10,2	39,8	19,9
4.	20,6	10,3	40,7	20,4
5.	20,5	10,3	40,5	20,3
priemer		$\bar{r}_m = 10,2$		$\bar{r}_v = 20,1$
odchýlka		$S_{r_m} = 0,1$		$S_{r_v} = 0,2$

Odchýlka je určená ako štatistická chyba nameraných hodnôt.

Merali sme vychýlenie magnetu zaveseného na vlákne v závislosti od prúdu pretekajúceho cievkou, meranie sme robili pre obidve cievky, pre 5 a 10 závitov. Namerané hodnoty sú v tabuľkách 3 a 4.

Tabuľka 3: *Malá cievka: závislosť uhlovej výchylky od prúdu*

5 závitov			10 závitov		
I [A]	Δx [cm]	α [rad]	I [A]	Δx [cm]	α [rad]
0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,000
0,50	2,0	0,008	0,25	2,0	0,008
1,00	4,1	0,016	0,50	4,1	0,016
1,30	5,4	0,021	0,75	6,3	0,024
1,50	6,3	0,024	1,00	8,5	0,033
2,00	8,3	0,032	1,25	10,6	0,041
2,25	9,4	0,036	1,50	12,7	0,049
2,50	10,5	0,040	1,75	14,9	0,057
3,00	12,6	0,048	2,00	17,1	0,065
3,25	13,8	0,053	2,25	19,2	0,073
3,50	14,7	0,056	2,50	21,3	0,081
4,00	16,8	0,064	2,75	23,6	0,090
			3,00	25,8	0,098
			3,24	27,9	0,106
			3,50	30,1	0,114
			3,75	32,3	0,122
			4,00	34,5	0,130

Tabuľka 4: *Veľká cievka: závislosť uhlovej výchylky od prúdu*

5 závitov			10 závitov		
I [A]	Δx [cm]	α [rad]	I [A]	Δx [cm]	α [rad]
0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0,000
0,25	0,5	0,002	0,25	1,0	0,004
0,50	1,0	0,004	0,50	2,1	0,008
0,75	1,5	0,006	0,75	3,3	0,013
1,00	2,1	0,008	1,00	4,4	0,017
1,25	2,6	0,010	1,25	5,5	0,021
1,50	3,2	0,012	1,50	6,6	0,025
1,75	3,7	0,014	1,75	7,7	0,030
2,00	4,3	0,017	2,00	8,8	0,034
2,25	4,9	0,019	2,25	9,9	0,038
2,50	5,4	0,021	2,50	11,0	0,042
2,75	5,9	0,023	2,75	12,1	0,046
3,00	6,5	0,025	3,00	13,2	0,051
3,25	7,0	0,027	3,25	14,4	0,055
3,50	7,6	0,029	3,50	15,5	0,059
3,75	8,2	0,031	3,75	16,6	0,064
4,00	8,8	0,034	4,00	17,7	0,068

Hodnota Δx udáva vzdialenosť na stupnici tienidla od rovnovážnej polohy, v ktorej sa magnet nachádza, keď cievkou neprechádza prúd. Uhlovú výchylku α sme určili podľa vzťahu (8).

Prúd sme merali na ampérmetri s triedou presnosti 0,2 % pri rozsahu 7,5 A, chyba merania prúdu je teda $s_I = 0,01$ A. Presnosť odčítania zo stupnice tienidla odhadneme ako 2 mm, chyba určenia uhlu α je potom $s_\alpha = 0,001$ rad.

Lineárnou regresiou sme určili smernicu závislosti vo vzťahu (6), z nej sme podľa vzťahu (7) určili magnetický moment p . Výsledky pre rôzne konfigurácie sú uvedené v tabuľke 5, v rámci

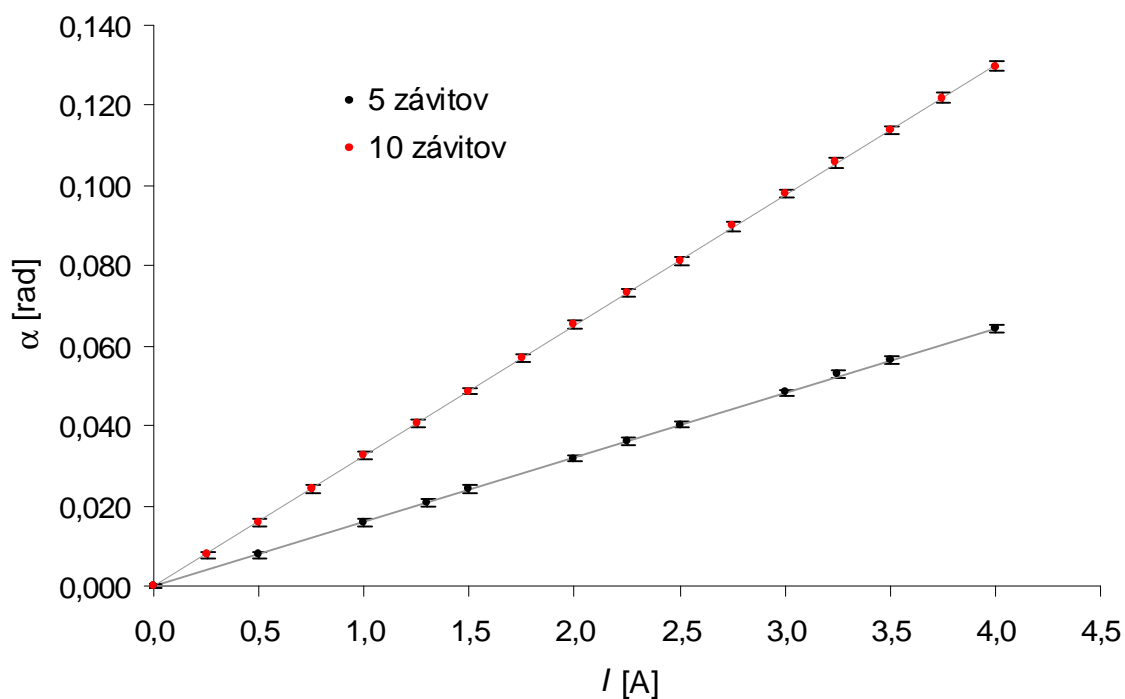
chyby zhodujú. Výsledný moment sme určili ako ich aritmetický priemer:
 $p = (4,33 \pm 0,07) \cdot 10^{-7} \text{ Wb.m} = (0,345 \pm 0,05) \text{ A.m}^2$

Tabuľka 5: Magnetický moment pre rôzne konfigurácie

malá cievka	5 závitov	$(4,27 \pm 0,07) \cdot 10^{-7} \text{ Wb.m}$
	10 závitov	$(4,31 \pm 0,07) \cdot 10^{-7} \text{ Wb.m}$
veľká cievka	5 závitov	$(4,34 \pm 0,07) \cdot 10^{-7} \text{ Wb.m}$
	10 závitov	$(4,41 \pm 0,07) \cdot 10^{-7} \text{ Wb.m}$

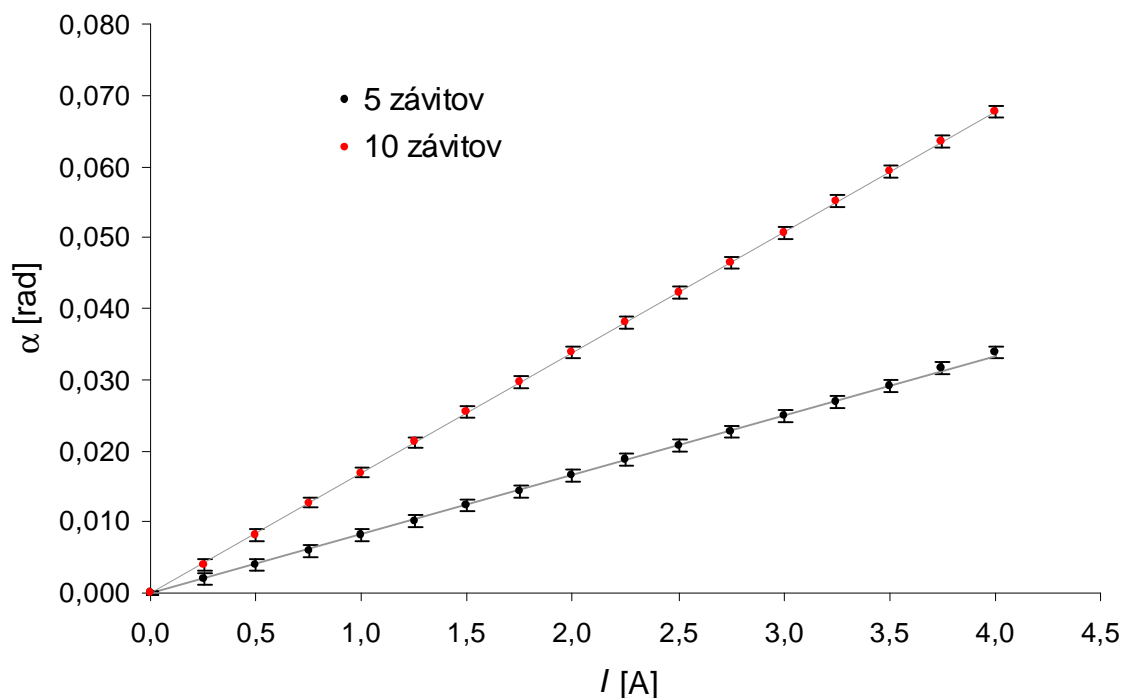
Grafické znázornenie nameraných údajov a regresné priamky sú v grafe 1 a 2.

Graf 1: Malá cievka: namerané údaje preložené regresnou krivkou



Chybové úsečky označujú chybu výchylky α danú nepresnosťou odčítania hodnoty zo stupnice tienidla, chyba určená regresiou je oproti nej zanedbateľná. Chybu odčítania prúdu udáva veľkosť bodu vyznačujúceho hodnotu v grafe.

Graf 2: Veľká cievka: namerané údaje preložené regresnou krivkou



Chybové úsečky označujú chybu výchylky α danú nepresnosťou odčítania hodnoty zo stupnice tienidla, chyba určená regresiou je oproti nej zanedbateľná. Chybu odčítania prúdu udáva veľkosť bodu vyznačujúceho hodnotu v grafe.

Diskusia:

Závislosť výchylky magnetu je podľa nameraných údajov priamo úmerná prúdu pretekajúcemu cievkou, čo súhlasí s Biot-Savartovým zákonom, ktorý hovorí, že intenzita magnetického poľa vytvoreného vnútri cievky je priamo úmerná prúdu, ktorý ňou preteká. Biot-Savartov zákon hovorí tiež, že táto intenzita je priamo úmerná počtu závitov a nepriamo úmerná polomeru cievky, čo sa potvrdilo taktiež.

Z grafov vidno, že údaje dosť presne spĺňajú predpokladanú lineárnu závislosť, čo je dané tým, že prúd bol meraný dostatočne presným ampérmetrom a takisto metóda merania uhlu zrkadielkovou metódou je pomerne presná, ak sa počká, kým sa magnet ustáli. Podobne zanedbanie faktu, že rovnovážna poloha magnetu nebola presne v mieste, kde je rovina tienidla kolmá na dopadajúci lúč, nehrá príliš veľkú rolu, vzdialenosť zrkadla od tienidla bola dostatočne veľká. Menej presné je určenie magnetického momentu p , na nepresnosti sa podieľa hlavne nepresnosť určenia polomeru cievok, ktoré nemali pravidelný kruhový tvar.

Záver:

Zmerali sme periódu kmitov telesa so známym momentom zotrvačnosti a určili sme direkčný moment vlákna ako $D = (6,48 \pm 0,08) \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

Zmerali sme závislosť vychýlenia magnetu od prúdu pretekajúceho cievkou pre dve cievky s rôznym polomerom a rôzne počty závitov. Nameraná závislosť je lineárna, čím sme overili platnosť Biot-Savartovho zákona, zo smernice tejto závislosti sme určili magnetický moment tyčového magnetu ako $p = (4,33 \pm 0,07) \cdot 10^{-7} \text{ Wb} \cdot \text{m} = (0,345 \pm 0,05) \text{ A} \cdot \text{m}^2$.

Literatúra:

- [1] Doc. RNDr. Roman Bakule, CSc., Doc. RNDr. Jiří Šternberk, CSc., Fyzikální praktikum II. Elektřina a magnetismus, Státní pedagogické nakladatelství, Praha
- [2] Studijní text k praktiku II., Měření s torzním magnetometrem,
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>