Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II – Elektřina a magnetismus

Úloha č. XIX.

Název: Měření s torzním magnetometrem

Pracoval: Radim Pechal stud. skup. F – 11 dne 16. prosince 2008

Odevzdal dne: ....

Hodnocení:..

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 9	
Diskuse výsledků	0 – 5	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Pracovní úkol

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

Teoretický úvod

V případě, že se vloží osově symetrický magnetický dipól do homogenního magnetického pole o intenzitě $\vec{H}$, začne na tento dipól působit síla, jejíž velikost momentu síly M jde dle [1.] vyjádřit vztahem

$$M = p \cdot H \cdot \sin\vartheta, \tag{1}$$

kde p je velikost magnetického momentu, H je velikost intenzity magnetického pole a ϑ je úhel, který svírá osa dipólu se směrem intenzity magnetického pole. V případě, že $\vartheta \approx \pi/2$, můžeme člen $\sin\vartheta$ uvažovat roven jedné. Vztah (1) můžeme upravit na tvar

$$M = p \cdot H. \tag{2}$$

Při měření torzním magnetometrem se na kovové vlákno připevní symetrický magnetický dipól. Při pohybu magnetu dochází k torznímu namáhání vlákna. Vyvolaný silový direkční moment vlákna M_d úměrně závisí na úhlu pootočení magnetu α. Což se dá zapsat vztahem

$$M_d = \alpha \cdot D, \tag{3}$$

kde D je direkční moment vlákna.

Rovnovážná poloha magnetu nastane v případě, že $M = M_d$. Pokud je magnet umístěn v prostřed kruhové cívky o průměru d s N závity a protéká jí stejnosměrný proud I, můžeme vyjádřit velikost intenzity pole vztahem

$$H = N \cdot \frac{I}{d}. \tag{4}$$

Uvážením a úpravou výše zmíněných vzthů dostáváme vztah pro výpočet momentu magnetu

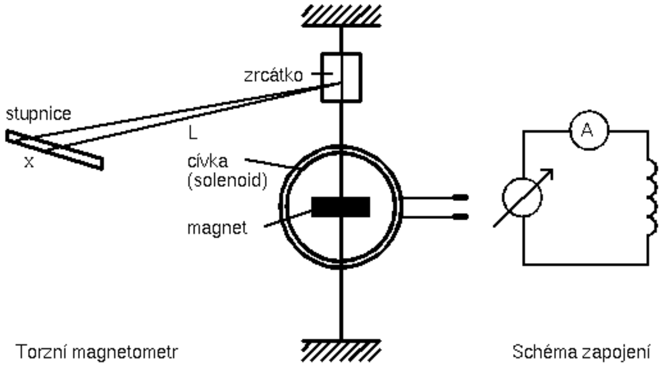
$$p = \frac{d \cdot D \cdot \alpha}{N \cdot I}. \tag{5}$$

Direkční moment drátu D je nejvhodnější určit pomocí torzních kmitů. Místo magnetu se zasune tyč známých rozměrů a rozpohybuje se. Direkční moment se určí z periody kmitu T vztahem

$$D = \frac{4\pi^2 \cdot J}{T^2}, \tag{6}$$

kde J je moment setrvačnosti použité tyče.

Při měření se nejdříve sestaví torzní magnetometr podle obr 1.



Obr 1.: Schematické znázornění torzního magnetometru a schéma zapojení elektrického obvodu.

Pokud protéká proud cívkou, začne se natáčet magnet a tím torzně namáhá vlákno magnetometru. Spolu s vláknem se natáčí i zrcátko. Zrcátko je osvětlováno a odražené světlo se promítá na stupnici. Odečítá se výchylka x. Úhel α, který udává výchylku se vypočítá pomocí vztahu

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{x}{L}, \tag{7}$$

kde L je vzdálenost stupnice od zrcátka.

Megnatický moment p je možno vyjadřit v jednotkách $\mathrm{Wb \cdot m}$. Pro vyjádření v Ampérových jednotkách $\mathrm{A \cdot m^2}$ je nutno použít přepočetního vztahu

$$p[\mathrm{A \cdot m^2}] = \frac{1}{\mu_0} p[\mathrm{Wb \cdot m}], \tag{8}$$

kde $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}\,\mathrm{H \cdot m^{-1}}$ je permeabilita vakua.

Výsledky měření

Nejdříve jsem určil direkční moment vlákna. K měření jsem používal tyč s momentem setrvačnosti $J = 2,72 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{kg \cdot m^2}$. Měřil jsem vždy dobu T_{10} 10 period. Z nich jsem určil periodu T.

T_{10} [s]	40,22	40,22	40,16	40,22	40,25
T [s]	4,02	4,02	4,02	4,02	4,03

Tab 1.: Perioda kmitu kovové tyčky.

Pomocí vztahu (6) jsem určil direkční moment vlákna

$$D = (0,66 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}\,\mathrm{N \cdot m \cdot rad^{-1}}.$$

Dále jsem měřil závislost výchylky magnetometru na proudu, který protékal cívkou. Měření jsem prováděl s cívkou A, která měla průměr $d_A = (202 \pm 2)\,\mathrm{mm}$, a s cívkou B, která měla průměr $d_B = (395 \pm 2)\,\mathrm{mm}$.

Proud jsem měřil s ampérmetrem s třídou přesnosti 0,2. Ze stupnice jsem odečítal s přesností 1/150 zvoleného rozsahu.

Stupnice byla vzdálena $l = (1225 \pm 5)$ mm od zrcátka.

I [A]	x [mm]	α [rad]	x [mm]	α [rad]
	$N = 10$ závitů		$N = 5$ závitů	
$4,00 \pm 0,05$	337 ± 3	$0,134 \pm 0,001$	166 ± 3	$0,067 \pm 0,001$
$3,50 \pm 0,05$	290 ± 3	$0,116 \pm 0,001$	144 ± 3	$0,059 \pm 0,001$
$3,00 \pm 0,05$	247 ± 3	$0,099 \pm 0,001$	123 ± 3	$0,050 \pm 0,001$
$2,50 \pm 0,02$	211 ± 3	$0,085 \pm 0,001$	105 ± 3	$0,043 \pm 0,001$
$2,00 \pm 0,02$	167 ± 3	$0,068 \pm 0,001$	84 ± 3	$0,034 \pm 0,001$
$1,50 \pm 0,02$	125 ± 3	$0,051 \pm 0,001$	63 ± 3	$0,026 \pm 0,001$
$1,00 \pm 0,01$	84 ± 3	$0,034 \pm 0,001$	42 ± 3	$0,017 \pm 0,001$
$0,500 \pm 0,005$	43 ± 3	$0,018 \pm 0,001$	22 ± 3	$0,009 \pm 0,001$
0	0	0	0	0

Tab 2.: Závislost výchylky magnetu na proud pro cívku A.

I [A]	x [mm]	α [rad]	x [mm]	α [rad]
	$N = 10$ závitů		$N = 5$ závitů	
$4,00 \pm 0,05$	169 ± 3	$0,069 \pm 0,001$	85 ± 3	$0,035 \pm 0,001$
$3,50 \pm 0,05$	151 ± 3	$0,061 \pm 0,001$	74 ± 3	$0,030 \pm 0,001$
$3,00 \pm 0,05$	125 ± 3	$0,051 \pm 0,001$	63 ± 3	$0,026 \pm 0,001$
$2,50 \pm 0,02$	107 ± 3	$0,044 \pm 0,001$	54 ± 3	$0,022 \pm 0,001$
$2,00 \pm 0,02$	86 ± 3	$0,035 \pm 0,001$	44 ± 3	$0,018 \pm 0,001$
$1,50 \pm 0,02$	64 ± 3	$0,026 \pm 0,001$	33 ± 3	$0,013 \pm 0,001$
$1,00 \pm 0,01$	43 ± 3	$0,018 \pm 0,001$	23 ± 3	$0,009 \pm 0,001$
$0,500 \pm 0,005$	22 ± 3	$0,009 \pm 0,001$	12 ± 3	$0,005 \pm 0,001$
0	0	0	0	0

Tab 3.: Závislost výchylky magnetu na proud pro cívku B.

Z naměřených hodnot jsem určil pomocí vztahu (5) magnetický moment

$$p = (0,46 \pm 0,05) \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Wb} \cdot \mathrm{m}.$$

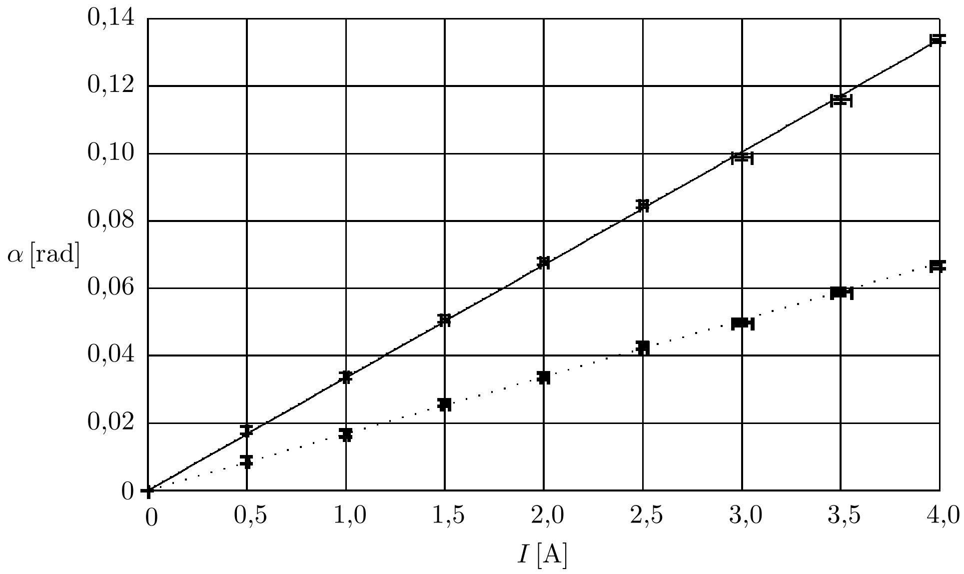
Pomocí vztahu (8) jsem magnetický moment přepočítal na ampérovy jednotky

$$p = (0,37 \pm 0,04)\,\mathrm{A} \cdot \mathrm{m}^2.$$

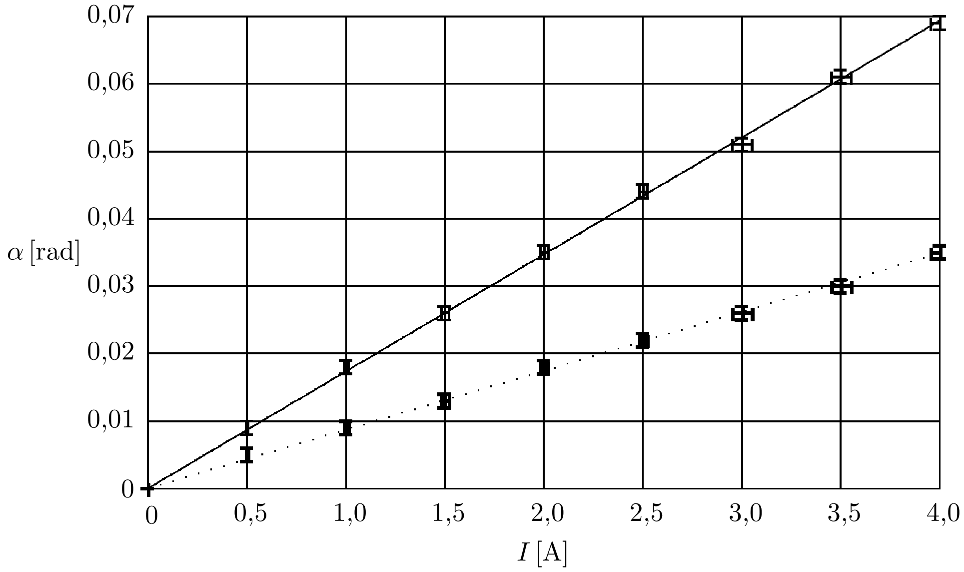
Naměřená data jsem dále graficky znázornil.

V grafu 1. je znázorněna závislost výchylky magnetometru na proudu protékajícím cívkou A. Plnou čárou jsou znázorněna data naměřená pro cívku s 10 závity a tečkovaně jsou znázorněna data pro cívku s 5 závity.

V grafu 2. je dále znázorněna závislost výchylky magnetometru na proudu protékajícím cívkou B. Opět jsou plnou čarou znázorněna naměřená data pro případ, kdy měla cívka 10 závitů a tečkovaně je znázorněn případ, kdy cívka měla 5 závitů.



Graf 1.: Závislost výchylky magnetometru na proudu protékajcím cívkou A



Graf 2.: Závislost výchylky magnetometru na proudu protékajcím cívkou B

Diskuse výsledků

Při měření momentu setrvačnosti jsem se dopouštěl největší chyby při měření periody kmitů. Chyba byla způsobena spouštěním a vypínámím stopek. Svou reakční dobu jsem odhadl na $\sigma_r = \pm 0,2\,\mathrm{s}$. Měřil jsem vždy 10 period. Chyba, která připadala na jednu periodu tak připadala $\sigma = \pm 0,04\,\mathrm{s}$.

Používal jsem kovovou tyč popsanou v [1.]. Tyč vážila $m = (56,459 \pm 0,001)\,\mathrm{g}$ a byla dlouhá $l \approx 24\,cm$. Odpovídala tak momentu setrvačnosti $J = 2,72 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2$ uvedenému v [1.].

Při měření direkčního momentu vlákna jsem se také dopouštěl chyby v podobě zanedbávání momenty setrvačnosti úchytu tyče. Ovšem tato chyba je řádově menší a proto jsem ji mohl zanedbat. Z naměřených dat jsem pomocí vztahu (6) určil direkční moment vlákna, který jsem dále používal.

Průměry cívek jsem měřil svinovacím metrem s přesnosti $\sigma = \pm 1\,\mathrm{mm}$. Chybu se kterou jsem určil průměry jednotlivých cívek jsem odhadl na $\sigma = \pm 2\,\mathrm{mm}$.

Při měření závislosti výchylky magnetu na proudu protékajícím cívkami jsem se dopouštěl největší chyby při odečítání ze stupnice. Magnetometr byl vybaven tlumícím křidélkem, které tlumilo kmity magnetometru. Přesto se však výchylka měnila o $\sigma = \pm 1\,\mathrm{mm}$ kolem odečtené hodnoty ze stupnice. Ze stupice jsem odečítal s přesnotí $\sigma = \pm 1\,\mathrm{mm}$. Od naměřených hodnot x_x jsem odečelt hodnotu x_0 pro proud $I = 0\,\mathrm{A}$. Hodnotu x_0 jsem odečítal také s přesností $\sigma = \pm 1\,\mathrm{mm}$. Celkovou chybu výchylky na stupnici jsem tak určil jako $\sigma = \pm 3\,\mathrm{mm}$.

K měřené proudu jsem používal ampérmetr s třídou přesnosti 0,2. Odečítal jsem s přesností 1/150 zvoleného rozsahu. U přístroje byla přiložena opravná křivka. Opravná křivka se pohybovala v intervalu $[0; 1]$ dílek. Měření pro proud $I = 0\,\mathrm{A}$ jsem prováděl tak, že jsem odpojil zdroj elektrického napětí.

Vztah (5) je důsledkem Biot-Savartova zákona. Mohu jej přepsat do podoby

$$\alpha = \frac{p \cdot N \cdot I}{d \cdot D},$$

kde p, N, d a D jsou konstantní. Výchylka tak lineárně závisí na protékajícím proudu, což odpovídá naměřeným hodnotám zobrazených v grafu 1 a grafu 2.

Pomocí vztahu (5) jsem určil magnetický moment pro jednotlivá měření. Z těchto dat jsem určil magnetický moment jako střední hodnotu.

Závěr

Proměřil jsem závislost výchylky magnetometru na proudu protékajícím cívkou. Pro cívku A jsem tuto závislost znázornil v grafu 1., pro cívku B jsem závislost znázornil v grafu 2.

Závislost vyšla lineární, což odpovídá Biot-Savartovu zákonu.

Pomocí torzních kmitů jsem určil direkční moment vlákna d, který mi vyšel

$$D = (0,66 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}\,\mathrm{N} \cdot \mathrm{m} \cdot \mathrm{rad}^{-1}.$$

Z naměřených dat jsem určil také magnatický moment magnetu p, který mi vyšel

$$p = (0,46 \pm 0,05) \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Wb} \cdot \mathrm{m} = (0,37 \pm 0,04)\,\mathrm{A} \cdot \mathrm{m}^2.$$

Seznam použité literatury

[1.] R. Bakule, J. Šternberk: *Fyzikální praktikum II.* Elektřina a magntismus. Státátní pedagogické nakladatelství, Praha.