

19. MĚŘENÍ S TORZNÍM MAGNETOMETREM

Pracovní úkol

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

V této úloze se seznámíme s torzní měřicí metodou, které se ve zdokonalené formě užívá k určování malých magnetických momentů, studiu magnetické anizotropie apod. Zároveň ověříme platnost Biotova-Savartova zákona prostřednictvím jednoduchých vztahů, které z něho vyplývají.

Úvod

Je-li magnetický dipól vložen do homogenního pole o intenzitě H , působí na něj silový moment

$$\vec{M} = p H \sin \vartheta \quad , \quad (1)$$

kde p je magnetický moment a ϑ úhel, který svírá osa dipólu se směrem intenzity magnetického pole. Protože za podmínek našeho pokusu je úhel ϑ málo odlišný od $\pi/2$, můžeme v (1) klást $\sin \vartheta = 1$, takže máme

$$M = p H \quad . \quad (2)$$

U torzního magnetometru je malý permanentní magnet, představující dipól, zavěšen na napjatém kovovém vlákně, při jehož zkroucení se vyvolá direkční silový moment M_d úměrný úhlu α , o který bylo vlákno zkrouceno

$$M_d = D \alpha \quad . \quad (3)$$

Rovnovážná výchylka α zavěšeného magnetu pak odpovídá stavu, kdy se momenty (2) a (3) sobě rovnají. Dostáváme tak

$$H = \alpha D/p \quad , \quad (4)$$

neboli intenzita pole je úměrná rovnovážné výchylce magnetu. Umístíme-li magnet doprostřed kruhové cívky o poloměru r a počtu závitů N protékane proudem I , platí pro intenzitu pole

$$H = N I / 2r \quad . \quad (5)$$

Vztah (5) je známým důsledkem Biotova-Savartova zákona. Po dosazení do (4) dostáváme

$$I = 2 r D \alpha / N p \quad (6)$$

Přímou úměrnost proudu I měřené výchylce α lze podle (6) pro různé poloměry cívek r a různé počty závitů N experimentálně ověřit. Stanovíme-li směrný moment vlákna D , můžeme podle (6) určit moment magnetu p .

Smerný moment D nejlépe určíme metodou torzních kmitů. Necháme-li kmitat těleso o známém momentu setrvačnosti J zavěšené na vlákně, jehož směrný moment chceme zjistit, bude doba kmitu

$$T = 2 \pi \sqrt{J / D}$$

V daném případě zasuneme do otvoru ve střední části magnetometru kovovou tyč (délka ~ 24 cm, $\phi \sim 6$ mm), jejíž moment setrvačnosti je

$$J = \frac{m l^2}{12} = 2,72 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

Moment setrvačnosti ostatních rotujících částí magnetometru je přibližně stokrát menší a proto jej zanedbáváme.

Sestavení magnetometru

Nejdříve zavěsíme do zářezu v torzní hlavici jednu ze strun. Na její dolní konec nasuneme střední část magnetometru se zrcátkem. Po nastavení je zrcátko umístěno nahore a trubička sloužící k upevnění tlumícího křídélka dole. Ve středu této části magnetometru jsou dva otvory, z nichž horní je určen pro nasunutí tyčky o známém momentu setrvačnosti, do dolního zasuneme magnet. Na dolní konec tělesa zasuneme do zářezu druhou strunu, na jejíž konec zavěsíme držák. Spodní část držáku zasuneme do svorky, mírným tlakem na držák napneme obě struny a držák zajistíme ve svorce utažením šroubu. Napnutí struny musí být takové, aby po rozechvění vydávala slyšitelný tón.

Je-li třeba tlumit pohyb střední části magnetometru, nasadíme do zářezů v trubičce tlumící křídélko, které zasahuje do nádoby s kapalinou. Výškou kapaliny je možno nastavit velikost tlumení. Do druhého konce trubičky zasuneme tyčku s posuvnou kuličkou, která představuje protiváhu ke křídélku. Potom kuličku nastavíme tak, aby těžiště bylo v ose magnetometru. Abychom toho dosáhli, překloupíme celý magnetometr o 90° tak, aby struna byla přibližně ve vodorovné poloze. Horní konec magnetometru je přitom opřen o stativovou tyč posuvnou v horní desce aparatury. Poloha této tyče se aretuje šroubem. Toto vyvážení provádíme s kompletovaným magnetometrem (nasunuto zrcátko a magnet).

Po vyvážení překloupíme magnetometr zpět do pracovní polohy. Pod tlumící křídélko nasuneme nádobu s kapalinou (obvykle vodou), otočíme konsolku

pod nádobku a zvedneme ji do potřebné výšky. Polohu konsolky aretujeme šroubem. Při dynamickém zjišťování momentu torze vlákna není nasunuto křídélko, protiváha a magnet. V horním otvoru magnetometru je však zasunuta tyč, jejíž moment setrvačnosti kolem osy byl uveden výše.

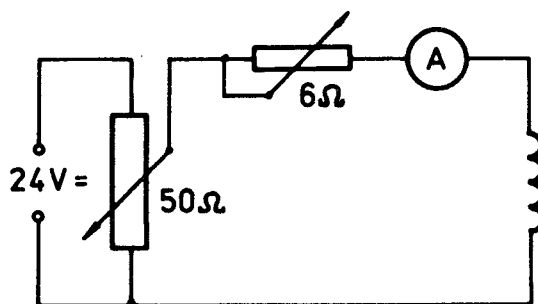
Aby těžiště tyče bylo v ose magnetometru, provádíme vyvážení při vodorovné poloze struny magnetometru (obdobně jako při vyvažování tlumícího křídélka). Rovnováhu nastavujeme posuvem tyčky.

Cívky uchycujeme do zvláštního stojanu. Rovina cívek má být rovnoběžná s osou magnetu. Polohu cívek nastavujeme tak, aby magnet byl přibližně ve středu. Vinutí cívek je děleno, na střední svorku je vyveden též střed vinutí.

Pokyny pro měření

Cívku napájíme z rozvodu v praktiku ze svorek 24 V. Zapojení obvodu je na obr.1. Malé proudy (do 2 A) regulujeme především potenciometrem 50Ω , větší pak posuvným rezistorem 6Ω . Úhel otočení magnetometru měříme metodou zrcátka a škály.

Při měření je třeba si uvědomit, že otočí-li se zrcátko magnetometru o úhel α , vychýlí se paprsek odražený od zrcátka o 2α .



Obr. 1

Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983
st. a čl. 2.2.1, 4.1.2.2, 5.1.1, 5.2.1.1, 5.2.1.3