

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Lukáš Lejdar

Naměřeno: 24. září 2024

Obor: F

Skupina: Út 16:00

Testováno:

Úloha č. 5: Magnetické pole

$$T = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 101,35 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 47,7 \text{ }^{\circ}$$

1. Úvod

Cílem je změřit horizontální složku magnetického pole na Zemi pomocí Gaussova magnetometru a proměřit magnetickou odezvu feromagnetického materiálu.

2. Postup měření

2.1. Geomagnetické pole

Máme střelkový kompas a tyčový magnet v konfiguraci podle Gaussových poloh 1 a 2 jako na obrázku 1. Pokud délka magnetu l je výrazně menší než vzdálenost od kompasu r a magnet považujeme za nekonečně tenký, lze odvodit aproximativní vztah

$$H_z = \frac{7M}{4\pi\mu_0 r^3} \frac{1}{\left(\frac{3}{2} \tan \varphi_1 + 4 \tan \varphi_2\right)}, \quad (1)$$

kde $M = \mu l$ je celkový magnetický moment, který určíme z periody kmitů v magnetickém poli Země. Je-li osa magnetu stočena vůči magnetickému poli Země o úhel φ , pak na něj působí magnetický moment velikosti $MH_z \sin \varphi \approx MH_z \varphi$ a pokud směrový moment závěsu $D\varphi \approx 0$, platí pohybová rovnice

$$J\ddot{\varphi} + MH_z \varphi = 0, \quad (2)$$

kde

$$J = \frac{m}{4} \left(R^2 + \frac{l^2}{3} \right) \quad (3)$$

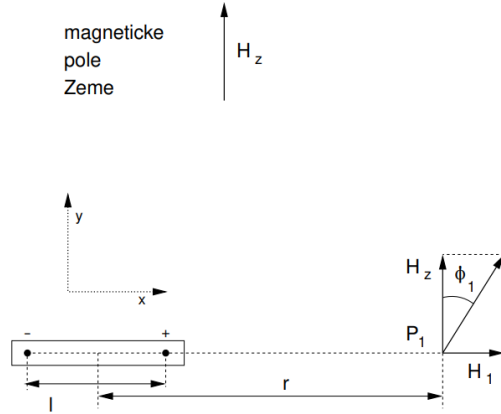
je moment setrvačnosti válce. Celý magnet potom na závěsu kmitá s periodou

$$T^2 = \frac{4\pi^2 J}{MH_z} \quad (4)$$

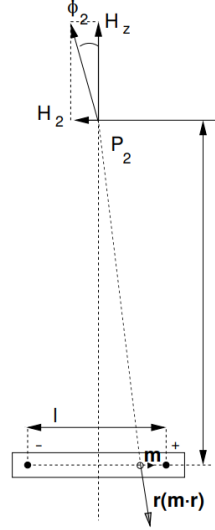
odkud lze dosadit do vztahu 1.

$$H_z = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{7\pi J}{\mu_0 r^3} \frac{1}{\left(\frac{3}{2} \tan \varphi_1 + 4 \tan \varphi_2\right)}} \quad (5)$$

a) 1. Gaussova poloha



b) 2. Gaussova poloha



Obrázek 1: Schéma experimentálního uspořádání. Permanentní magnet je vždy orientován kolmo ke směru magnetického pole Země podél osy x a úhly φ_1 a φ_2 označují výchylky strelky kompasu od severo-jížního směru.

2.2. Magnetické odezva feromagnetického materiálu

Hledáme způsob, jak zjistit parametrickou závislost magnetické indukce $y = B(t)$ na magnetické intenzitě $x = H(t)$ v některém materiálu. Pro tento účel slouží obvod na obrázku 2, kde měření probíhá na tenkém toroidním magnetickém jádře se dvěma vinutími buzeném střídavým napětím $U = U_0 \cos(\omega t)$. Pro obvod primárního vynutí můžeme získat první závislost z Ampérova zákona jako

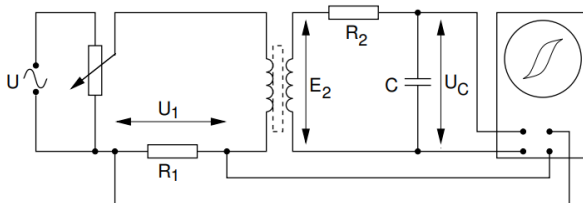
$$H(t) = \frac{N_1 I_1}{2\pi r} = \frac{N_1}{2\pi r R_1} U_1(t) \quad (6)$$

Pro zjednodušení budu předpokládat konstantní intenzitu magnetického pole i magnetickou indukčnost, aby platilo $\Phi = S N B$ a $\mathbf{B}(t) = \mu_0(\mathbf{H}(t) + \mathbf{M}(t))$, kde do vztahu (6) dosadím průměr poloměrů r_{\max} a r_{\min} . Pro obvod sekundárního vinutí platí

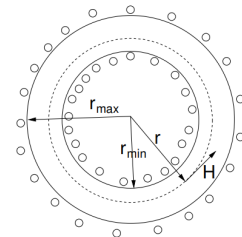
$$\frac{d\phi}{dt} + R_2 C \dot{U}_C + U_C = 0. \quad (7)$$

Je-li časová konstanta integračního obvodu $R_2 C \gg T = \frac{2\pi}{\omega}$, pak lze okamžitý náboj na kondenzátoru ohraničit jako $|CU_C| = |Q_C| \leq T \dot{U}_C^{Amp} \ll R_2 C \dot{U}_C^{Amp}$ odkud plyne, že po většinu času periody platí $U_C \ll R_2 C \dot{U}_C$. Jinými slovy, kondenzátor se nikdy nestihne nabít a člen U_C v rovnici (6) můžeme zanedbat. Když navíc dosadím $\frac{d\Phi}{dt} = N_2 S_2 \frac{dB}{dt}$ dostávám druhou závislost

$$B(t) \approx -\frac{R_2 C}{N_2 S_2} \dot{U}_C(t) \quad (8)$$



Obrázek 2: Schéma obvodu pro měření magnetického pole ve feromagnetu



Obrázek 3: Schéma řezu toroidní cívky

3. Výsledky měření

3.1. Geomagnetické pole

Použil jsem válcový magnet o hmotnosti $m = 306.3 \pm 0.2 \text{ g}$, délce $l = 123.3 \pm 0.4 \text{ mm}$ a průměru $d = 21.2 \pm 0.1 \text{ mm}$, který při vodorovném závěsu kmitá s periodou $T = 9.62 \pm 0.04 \text{ s}$. Výchyly střelky kompasu φ způsobené tímto magnetem v Gaussových polohách 1 a 2 jsou uvedené v tabulce 1.

| $r \pm 0.5 \text{ (mm)}$ | $\varphi_1^+ \pm 1$ | $\varphi_1^- \pm 1$ | $\varphi_2^+ \pm 1$ | $\varphi_2^- \pm 1$ |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| -300 | 73 | -75 | -50 | 52 |
| -400 | 52 | -50 | -33 | 35 |
| -500 | 37 | -37 | -19 | 22 |
| 300 | 72 | -71 | -50 | 53 |
| 400 | 51 | -51 | -34 | 33 |
| 500 | 37 | -36 | -19 | 19 |

Tabulka 1: Měření výchylky střelky kompasu od severo-j jižního směru pro obě natočení magnetu v obou Gaussových polohách.

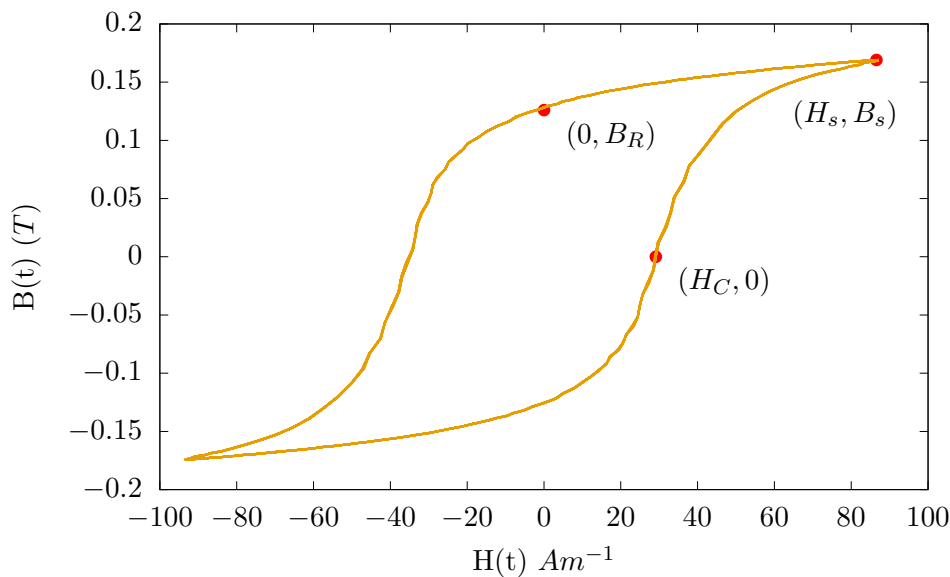
Pro každou dvojici úhlů φ jsem podle vztahu (6) spočítal horizontální komponentu magnetického pole země a výsledné hodnoty zprůměroval pro konečné

$$H_z = 16.2 \pm 0.3 \text{ Am}^{-1} \quad (9)$$

3.2. Magnetické odezva feromagnetického materiálu

Sestavil jsem obvod podle obrázku 2 s parametry $R_1 = 83 \Omega$, $R_2 = 120 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \mu\text{F}$. Počty závitů na okruzích transformátoru byly $N_1 = 260$ a $N_2 = 900$ s toroidním feromagnetickým jádrem o rozměrech $r_2 = 28.7 \pm 0.3 \text{ mm}$, $r_1 = 19.5 \pm 0.3 \text{ mm}$ a výškou $h = 7.3 \pm 0.2 \text{ mm}$. Měřil jsem závislost $U_C(t)$ a $U_1(t)$ a podle vztahů (8) a (6) vykreslil závislost B na H do grafu 1.

Získaná saturační magnetizace je $B_s = 0.169 \text{ T}$ pro intenzitu $H_s = 86.6 \text{ Am}^{-1}$, koercitivní síla $H_C = 29.1 \text{ Am}^{-1}$ a remanentní magnetizace $B_R = 0.126 \text{ T}$.



Graf 1: Měření parametrické závislosti $x = H(t)$ a $y = B(t)$ podle vztahů (8) a (6).

4. Závěr

Z měření výchylky kompasu v důsledku magnetu v Gaussových polohách 1 a 2 jsem změřil horizontální složku intenzity magnetického pole země $H_z = 16.2 \pm 0.3 \text{ Am}^{-1}$, odkud jsem dopočítal indukce $B_z = 20.4 \pm 0.3 \text{ } \mu\text{T}$, která odpovídá tabulková hodnota v Brně je $B_z = 20.344 \text{ } \mu\text{T}$.

Použitím obvodu z obrázku 2 jsem změřil hysterezní křivku některého feromagnetického materiálu a vykreslil ji do grafu 1. Odečtená koercitivní síla byla $H_C = 29.1 \text{ Am}^{-1}$, takže bychom tento materiál řadili mezi magneticky měkké.

Reference

- [1] Hustota pevných látek. Dostupné z <http://www.converter.cz/tabulky/hustota-pevne.htm>.