



Fizikalni praktikum II

Poročilo

Vaja : Zemljino magnetno polje

Simon Bukovšek

Datum vaje: 18. 10. 2022

Datum oddaje poročila: 25. 10. 2022

1 Teoretični uvod

Zemljino magnetno polje se lahko meri na vsaj dva načina. En način je, da postavimo kompas v tuljavo in spreminjamo tok, dokler magnetno polje v tuljavi ne izniči zunanjega magnetnega polja. To je sicer težko preveriti, zato se tuljava postavi pod majhen kot glede na smer sever-jug in se meri, pri katerem toku kaže kompas ravno po simetrali kota med tuljavo in severom. Magnetno polje v sredini tuljave z N ovoji dolžine l in polmera r podaja enačba:

$$B_T = \frac{\mu_0 N I}{\sqrt{l^2 + (2r)^2}}.$$

Druga možnost je dvojna meritev magnetnega polja in magnetnega momenta magnetna. Najprej izmerimo, s kakšno frekvenco zaniha magnet na torzijskem nihalu. To nam podaja enačba

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{B_z p_m}{J}},$$

kjer je p_z magnetni moment in J vztrajnostni moment nihala. Drugi eksperiment meri, koliko se odkloni igla kompasa, če se ji približa paličasti magnet orientiran v smeri vzhod-zahod. To nam podaja enačba

$$\tan \alpha = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \frac{B_z}{p_m}.$$

S pomočjo teh dveh meritev lahko izračunamo tako Zemljino magnetno polje, kot tudi magnetni moment magnetna.

2 Pripomočki

- Tuljava s prilagodljivim tokom na natančnem kotomeru.
- Stojalo z nihalom, paličasti magnet in štoparica.
- Tirnica z merilom in kompas.

3 Meritve

Najprej smo pri več kotih izmerili tok v tuljavi, ko je kompas kazal v smeri simetrale kota med tuljavo in severom. Nato smo izmerili nihajni čas paličastega magneta v Zemljinem magnetnem polju in pri več oddaljenostih magneta izmerili odklon igle kompasa od severa.

4 Izmerjeni podatki

Meritve tokov pri kompenzacijski metodi so podane v tabeli 1

kot δ ($\pm 0,5^\circ$)	tok I [mA] (± 1 ma)
20°	172
15°	168
10°	173
5°	171
-5°	170
-10°	173
-15°	163
-20°	155

Tabela 1: Meritve tokov pri kompenzacijski metodi.

Pri tuljavi smo izmerili:

- dolžina: $l = (60 \pm 1)$ cm,
- premer: $2r_T = (13,0 \pm 0,2)$ cm,
- število ovojev: $N = 60$.

Nato smo premerili paličast magnet in dobili naslednje podatke:

- masa: $m = (35,15 \pm 0,01)$ g,
- dolžina: $h = (46,1 \pm 0,1)$ mm,
- polmer: $r = (7,75 \pm 0,05)$ mm.

Pri tulcu smo izmerili iste količine:

- masa: $m = (5,40 \pm 0,01)$ g,
- dolžina: $h = (50,0 \pm 0,1)$ mm,
- notranji polmer: $r_1 = (8,00 \pm 0,05)$ mm,
- zunanji polmer: $r_2 = (9,50 \pm 0,05)$ mm.

Merjeni so bili časi desetih nihajnih časov, ki so podani v tabeli 2.

n	$10t_0$ [s]
1	21,09
2	21,10
3	21,22
4	21,06

Tabela 2: Meritve nihajnih časov torzijskega magnetnega nihali pri Gaussovi metodi.

Na koncu smo izmerili še odvisnost kota odklona kompasa od oddaljenosti prečno postavljenega paličastega magneta. Podatke prikazuje tabela 3

oddaljenost r [cm] ($\pm 0,1$ cm)	kot δ v levo ($\pm 0,5^\circ$)	kot δ v desno ($\pm 0,5^\circ$)
52,5	7°	-6°
42,5	12°	-11°
32,5	23°	-24°
27,5	36°	-36°
22,5	51°	-52°
20,5	59°	-60°
18,5	66°	-68°
16,5	72°	-75°
14,5	77°	-79°

Tabela 3: Meritve odklonov kompasa v odvisnosti od oddaljenosti magneta.

5 Analiza podatkov

Po kompenzacijski metodi je izračun zemeljskega magnetnega polja zelo preprost. Povprečen tok skozi tuljavo je bil $I_k = (168 \pm 2)$ mA, torej je magnetno polje enako:

$$B_z = \frac{\mu_0 N I_k}{\sqrt{l^2 + (2r)^2}} = (2,06 \pm 0,06) \cdot 10^{-5} \text{ T.}$$

Za prvi eksperiment pri Gaussovi metodi je potrebno najprej izračunati vztrajnostni moment magneta:

$$J_m = \frac{m}{12}(3r^2 + h^2) = (6,75 \pm 0,04) \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2$$

in vztrajnostni moment tulca:

$$J_t = \frac{m}{12}(3(r_1^2 + r_2^2) + h^2) = (1,33 \pm 0,01) \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2$$

Povprečen nihajni čas torzijskega nihala je $t_0 = (2,112 \pm 0,004)$ s. Tako lahko izračunamo produkt magnetnega polja Zemlje in magnetnega momenta paličastega magneta:

$$\xi_1 = B_z p_m = \frac{4\pi^2(J_m + J_t)}{t_0^2} = (7,15 \pm 0,06) \cdot 10^{-5} \text{ J.}$$

Najboljši način za izračun razmerja teh dveh količin je izračun naklona premice na grafu $\tan \alpha(r^{-3})$. Preračunani podatki so tabelirani v tabeli 4 in prikazane na spodnjem grafu.

r^{-3} [m ⁻³]	$\tan \alpha$
$6,91 \pm 0,07$	$0,114 \pm 0,018$
$13,0 \pm 0,2$	$0,203 \pm 0,018$
$29,1 \pm 0,5$	$0,435 \pm 0,021$
$48,1 \pm 1,0$	$0,727 \pm 0,027$
$87,8 \pm 2,3$	$1,26 \pm 0,05$
116 ± 3	$1,70 \pm 0,07$
158 ± 5	$2,36 \pm 0,12$
223 ± 8	$3,38 \pm 0,23$
328 ± 13	$4,70 \pm 0,44$

Tabela 4: Preračunane meritve iz tabele 3 za linearizacijo.

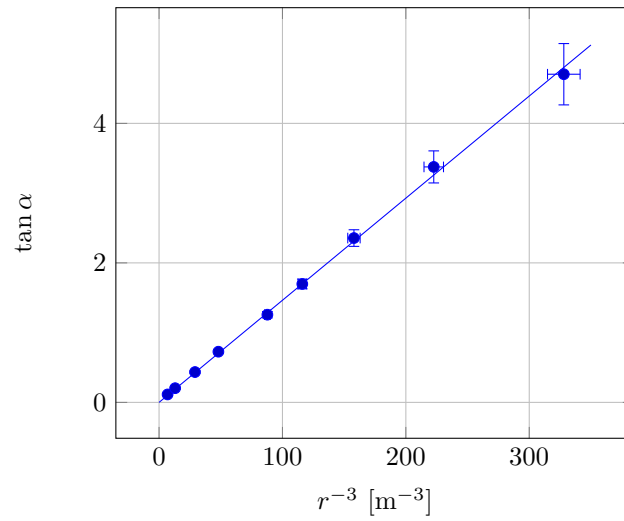
Naklon premice je enak $k = (0,0146 \pm 0,0002)$ m³. Iz tega lahko izračunamo razmerje magnetnega polja in magnetnega momenta:

$$\xi_2 = \frac{p_m}{B_z} = k \frac{4\pi}{\mu_0} = (1,46 \pm 0,02) \cdot 10^5 \text{ m}^3 \text{ A}^2 \text{ N}^{-1}.$$

Sedaj imamo vse podatke, da izračunamo tako magnetno polje, kot tudi magnetni moment:

$$p_m = \sqrt{\xi_1 \xi_2} = (3,23 \pm 0,04) \text{ A m}^2,$$

Odvisnost tangensa kota odklona kompasu od minus tretje potence oddaljenosti magneta



$$B_z = \sqrt{\frac{\xi_1}{\xi_2}} = (2,21 \pm 0,03) \cdot 10^{-4} \text{ T.}$$

Dejansko magnetno polje Zemlje je $B_Z = 22 \mu\text{T}$, kar je zelo blizu izračunanega rezultata in znotraj njegove napake.