

Zemeljsko magnetno polje

Uvod

Pri tej vaji z dvema različnima metodama merimo isto količino, to je velikost vodoravne komponente gostote zemeljskega magnetnega polja B_Z . Pri analizi meritve razmisli, katera metoda da boljši rezultat in zakaj!

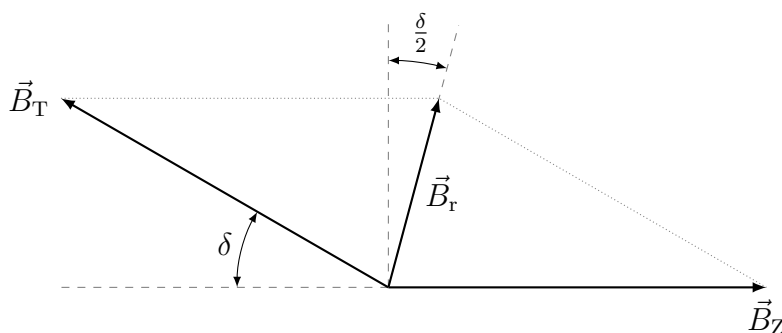
A. Kompenzacijska metoda Pri merjenju vodoravne komponente zemeljskega magnetnega polja s kompenzacijo postavimo tuljavo v smer silnic magnetnega polja Zemlje, kakor jo kaže kompas. Velikost toka v tuljavi I nastavimo tako, da je polje v sredini tuljave ravno enako merjenemu polju, toda nasprotno obrnjeno.

V primeru, ko je vsota obeh poljskih gostot enaka nič, postane magnetna igla indiferentna – nima preferenčne smeri, saj njena magnetna energija ni odvisna od orientacije. Polje tuljave računamo iz dimenzij tuljave in toka in tako določimo neznano polje \vec{B}_Z . Pri tem moramo upoštevati, da tuljava ni neskončno dolga; magnetna poljska gostota v njeni sredini je

$$B_T = \frac{\mu_0 N I}{\sqrt{L^2 + (2r)^2}}, \quad (1)$$

kjer je L dolžina tuljave, $2r$ njen premer in N število ovojev. Indiferentno ravnotežje je v praksi težko natančno doseči, saj je v njegovi bližini navor na iglo zelo majhen (teoretično nič) in posledično je ravnovesna lega igle težko določljiva.

Zato je bolje opravljati meritve izven indiferentne lege, kjer se igla v končnem času izniha v ravnovesno lego. Pri tem tuljavo zasukamo za majhen kot δ , glede na smer sever-jug, in izmerimo tok, pri katerem se postavi magnetna igla v smeri simetrale smeri sever-jug in osjo tuljave. Obe poljski gostoti sta takrat spet enaki, o čemer se prepričaj s pomočjo slike 1.



Slika 1: Shema meritve vodoravne komponente zemeljskega magnetnega polja s kompenzacijo. Natančnost meritve izboljšamo z odklikom tuljave od smeri magnetnega polja \vec{B}_Z . Magnetno polje tuljave \vec{B}_T nastavimo tako, da je po velikosti enako neznanemu polju \vec{B}_Z in smer rezultante obeh polj \vec{B}_r na simetrali med smerema \vec{B}_Z in \vec{B}_T .

B. Gaussova metoda Pri Gaussovi metodi izmerimo hkrati dve količini; vodoravno komponento magnetnega polja \vec{B}_Z in magnetni moment \vec{p} paličastega magneta. Zato

moramo napraviti dve meritvi. Pri prvi meritvi izmerimo nihajni čas, s katerim niha prosto viseči vodoravni magnet okrog mirovne lege. Okrog navpične osi deluje nanj navor $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{B}_Z$ ($|\vec{M}| = pB_Z \sin \varphi$) in nihanje magneta opisuje naslednja enačba

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -pB_Z \sin \varphi, \quad (2)$$

kjer smo z $J = m \left(\frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right)$ označili vztrajnostni moment magneta mase m okoli navpične osi, ki je oblike valja višine h in radija r . Pri majhnih amplitudah je krožna frekvenca enaka

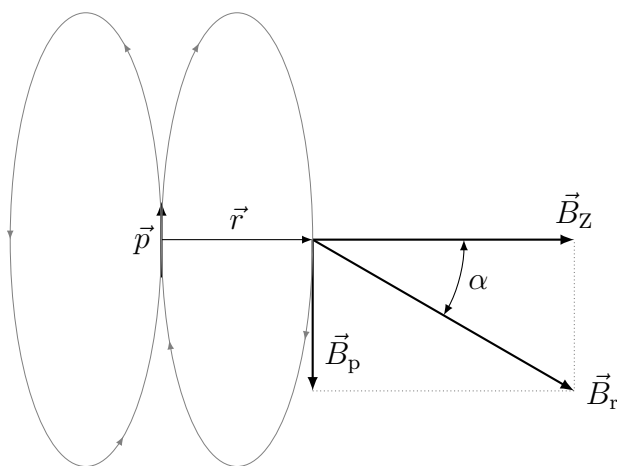
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{pB_Z}{J}}. \quad (3)$$

Iz meritve ω_0 določimo produkt pB_Z , druga meritev pa je potrebna, da določimo še kvocient p/B_Z . Uporabimo isti paličasti magnet kot prej in primerjamo njegovo polje z zemeljskim magnetnim poljem. Magnetno polje paličastega magneta ima v veliki oddaljenosti glede na dimenzije magneta obliko polja točkastega dipola, ki je

$$\vec{B}_p = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[-\frac{\vec{p}}{r^3} + \frac{3(\vec{p} \cdot \vec{r})\vec{r}}{r^5} \right]. \quad (4)$$

Za lažjo obdelavo rezultatov se zanimamo le za polje dipola v njegovi ekvatorialni ravnini. Takrat je produkt $\vec{p} \cdot \vec{r} = 0$ in v zgornji enačbi ostane le prvi člen. Meritev opravimo tako, da paličasti magnet postavimo pravokotno na zemeljsko magnetno polje in potem v različnih oddaljenostih od magneta v njegovi ekvatorialni ravnini z magnetno iglo določimo smer rezultante obeh polj, kakor je definirana na sliki 2. Iz naslednje relacije določimo iskani kvocient

$$\tan \alpha = \frac{B_p}{B_Z} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \frac{p}{B_Z}. \quad (5)$$



Slika 2: Shema meritve vodoravne komponente zemeljskega magnetnega po Gaussovi metodi. Merimo kot α , to je smer rezultante \vec{B}_r magnetnega polja dipolnega magneta \vec{B}_p in zemeljskega magnetnega polja \vec{B}_Z glede na smer sever-jug.

Potrebščine

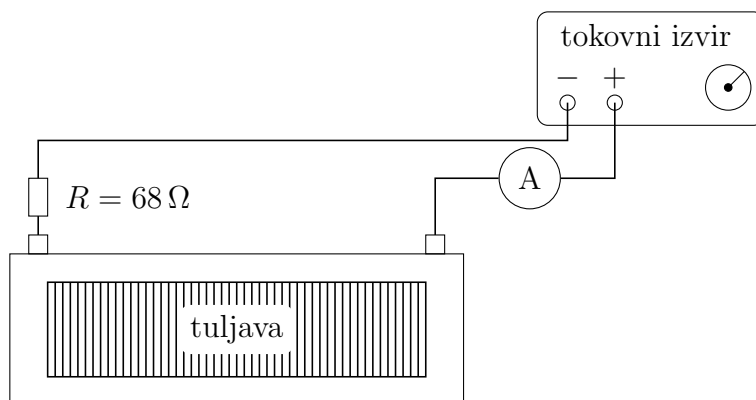
- tuljava na vrtljivi letvi s pritrjenim kompasom
- nastavljivi tokovni izvor
- ampermeter, žice, upor (68 ± 7) Ω
- ravnilo s kompasom
- paličasti magnet
- nihalo: vrvica s plastičnim držalom v obliki tulca
- štoparica, tehtnica in kljunasto merilo

Naloga

1. Izmeri vodoravno komponento gostote zemeljskega magnetnega polja s kompenzacijo in po Gaussovi metodi.
2. Določi magnetni moment paličastega magneta.

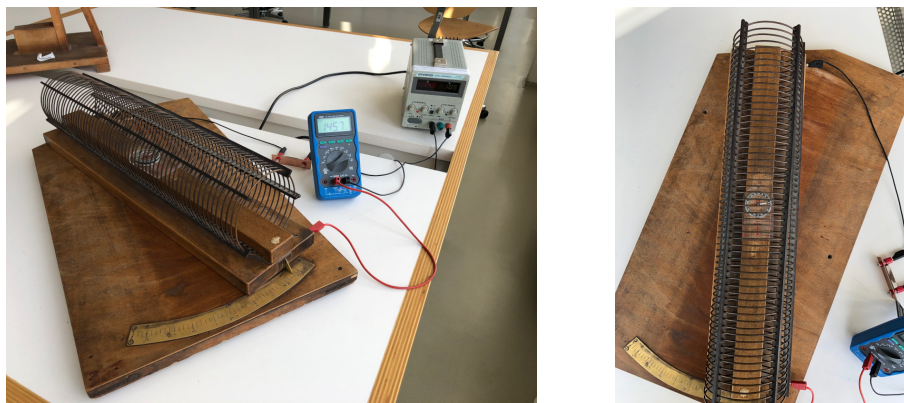
Navodilo

A. Meritev s kompenzacijo je tako enostavna, da ne potrebuje dodatnih navodil. Shema vezave je prikazana na sliki 3. Seznanjeni se z variabilnim napetostnim oz. tokovnim izvorom s pomočjo katerega reguliramo tok v veliki tuljavi. Omeji največji tok na izhodu tokovnega izvora na približno 250 mA. S tem preprečiš, da v ampermetru pregori varovalka deklarirana za 400 mA. Zaporedno s tuljavo je vezan manjši upor, ki preprečuje tokovne preboje. Velikost toka je v mA prikazan na zaslonu izvora, vendar za meritev raje uporabi ampermeter. Kolikšen je najmanjši kot δ , pri katerem meritev še uspe? Meri pri najmanj 4 različnih kotih δ .



Slika 3: Shema vezave izvora, upora, tuljave in ampermetra pri kompenzacijski metodi.

Natančnost orientacije tuljave glede na smer zemeljskega magnetnega polja določi tako, da preveriš, če so rezultati simetrični pri zamenjavi kota $+\delta$ v $-\delta$. Pazi, da v bližini ni drugih magnetov. Zapiši si vse rezultate meritev.



Slika 4: Postavitev eksperimenta pri meritvi s kompenzacijo.

B. Izmeri nihajni čas magneta, ki visi na vrvici, postavljen v plastični tulec, slika 5 levo. Magnet naj bo vodoraven. Počakaj, da se umiri in si takrat zapomni mirovno lego. Iz mirovne lege ga zanihaj le malo, da velja znani pogoj $\sin \varphi \approx \varphi$. Meri večkrat po 10 prehodov skozi mirovno lego. Izmeri maso in dimenzije magneta za določitev vztrajnostnega momenta. Stehtaj in izmeri tudi tulec, v katerem je bil magnet obešen. Prestavi magnet v drsnik na ravnilu, ki si ga prej pravilno usmeril, slika 5 desno. Izmeri odklone magnetne igle v več razdaljah med magnetom in kompasom. Pri vsaki razdalji meri večkrat in obrni magnet za 180° . Za rezultat odklona magnetne igle pri izbranih razdaljah r , glej sliko 2, vzemi srednjo vrednost izmerjenih odklonov. Iz vseh meritev določi vodoravno komponento gostote zemeljskega magnetnega polja ter magnetni moment paličastega magneta.



Slika 5: (*levo*) Meritev nihajnega časa paličastega magneta. (*desno*) Meritev odklona igle v kompasu v odvisnosti od razdalje med kompasom in paličastim magnetom.