

## ZEMELJSKO MAGNETNO POLJE

### Uvod

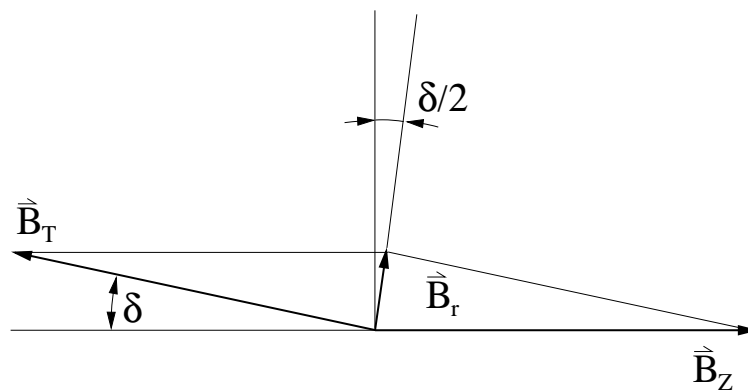
Pri tej vaji z dvema različnima metodama merimo isto količino, to je velikost vodoravne komponente gostote zemeljskega magnetnega polja  $B_Z$ . Pri analizi meritve razmisli, katere metoda da boljši rezultat in zakaj!

**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 neznanu polje  $\vec{B}_Z$ . Pri tem moramo upoštevati, da tuljava ni neskončno dolga; magnetna poljska gostota v njeni sredini je

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

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  $\delta$ , 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

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

kjer smo z  $J = m(r^2/4 + h^2/12)$  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

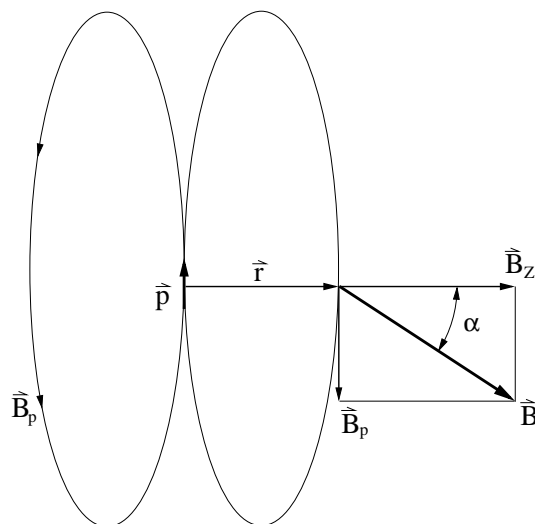
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{pB_Z}{J}}.$$

Iz meritve  $\omega_0$  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

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

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:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_p}{B_Z} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \frac{p}{B_Z}.$$



Slika 2: Shema meritve vodoravne komponente zemeljskega magnetnega po Gaussovi metodi. Merimo  $\alpha$ , to je smer rezultante magnetnega polja dipolnega magneta in zemeljskega magnetnega polja glede na smer sever-jug.

## Naloga

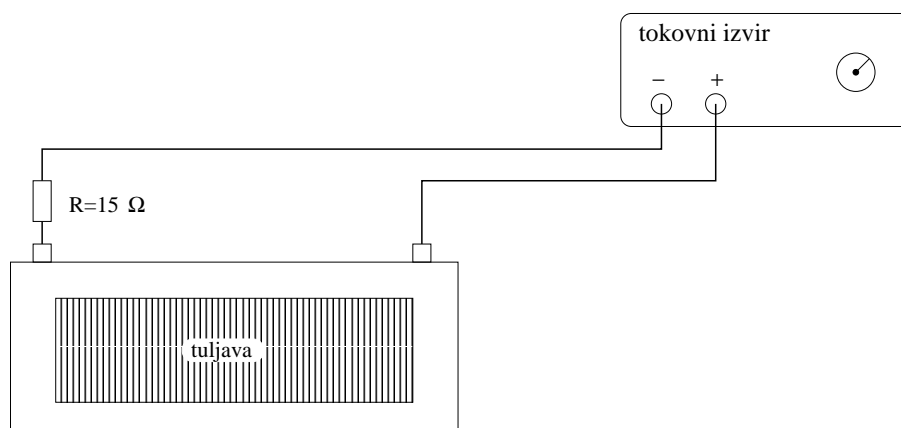
- A Izmeri vodoravno komponento gostote zemeljskega magnetnega polja s kompenzacijo in po Gaussovi metodi.
- B Določi magnetni moment paličastega magneta.

## Potrebščine

- tuljava na vrtljivi letvi s pritrjenim kompasom
- nastavljivi tokovni izvor
- ampermeter, žice, upor  $15 \Omega$
- ravnilo s kompasom
- paličasti magnet
- nihalo: vrstica s plastičnim držalom v obliki tulca
- štoparica, tehtnica in kljunasto merilo

## Navodilo

**A.** Meritev s kompenzacijo je tako enostavna, da ne potrebuje dodatnih navodil. Vezava je prikazana na sliki 3. Seznaneni se z variabilnim napetostnim oz. tokovnim izvorom s pomočjo katerega reguliramo tok v veliki tuljavi. Zaporedno s tuljavo je vezan manjši upor, ki preprečuje tokovne preboje. Velikost toka je v  $mA$  prikazan na zaslonu izvora. Kolikšen je najmanjši kot  $\delta$ , pri katerem meritev še uspe? Meri pri najmanj 4 različnih kotih  $\delta$ . Natančnost orientacije tuljave glede na smer zemeljskega magnetnega polja



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

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.

**B.** Izmeri nihajni čas magneta, ki visi na vrvi, postavljen v plastični tulec. 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 zavrtel. Izmeri odklone magnetne igle v več razdaljah med magnetom in kompasom. Pri vsaki razdalji meri večkrat in obrni magnet za  $180^\circ$ . Pri izbrani razdalji  $r$ , glej sliko 2, za rezultat vzemi srednjo vrednost odklonov.