

Magnetsko polje Zemlje

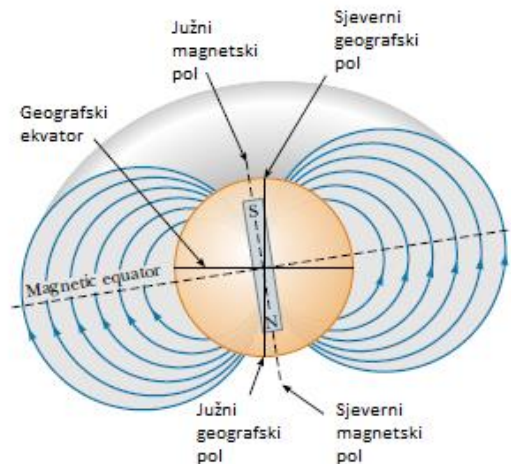
Cilj vježbe

Određivanje horizontalne komponente magnetskog polja Zemlje.

Teorijski dio

Uvod

Blizu površine Zemlje njezino magnetsko polje, tzv. geomagnetsko polje, moguće je aproksimirati poljem magnetskog dipola. Zamišljeni štapićasti magnet, koji proizvodi dipolno magnetsko polje, prolazio bi središtem Zemlje i bio bi nagnut približno 11° na Zemljinu os rotacije, pri čemu je njegov južni magnetski pol okrenut prema sjevernom geografskom polu. Geomagnetsko polje na površini Zemlje ima jakost od 25 do $65 \mu\text{T}$ (0.25 do 0.65 G).



Slika 1. Magnetsko polje Zemlje u blizini Zemljine površine pojednostavljeno zamišljeno kao polje magnetskog dipola.

U Zemljinoj unutrašnjosti kontinuirano nastaje magnetsko polje, uslijed konvektivnog električnog gibanja tekuće vanjske jezgre, potaknutog toplinom koja dolazi iz čvrste unutarnje jezgre. Taj prirodni proces nazivamo geodinamo, a tako generirano magnetsko polje zovemo glavnim poljem. Glavno polje se mijenja sporo u vremenu.

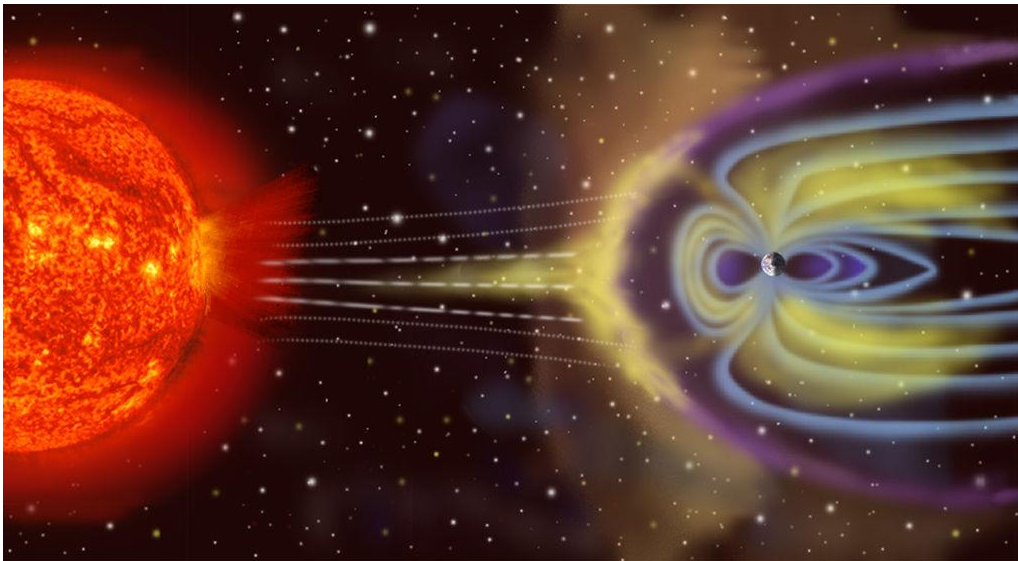
Djelić magnetskog polja koje mjerimo na površini Zemlje potječe i iz magnetizirane Zemljine kore. Proučavanjem magnetiziranosti stijena otkriveno je da je tijekom dosadašnje Zemljine prošlosti geomagnetsko polje mijenjalo polove (položaji magnetskog sjevera i magnetskog juga

se zamijene, pri čemu geografski polovi ostanu nepromijenjeni).

Mi se sada nalazimo u periodu u kojem Zemljino magnetsko polje lagano slabi, a primjerice magnetski pol u blizini sjevernog geografskog pola se pomiče oko 55km godišnje u smjeru sjever-sjeverozapad. Nije moguće reći kada će se točno dogoditi sljedeća promjena Zemljinih magnetskih polova. Očekuje se da će tijekom promjene magnetskih polova Zemlja zadržati slabije magnetsko polje i imati mnogobrojne magnetske polove. Životinje koje migriraju i orijentiraju se pomoću geomagnetskog polja (neke ptice, leptiri, kitovi, delfini, jastozi,...), će u tom periodu naići na teškoće. Radio komunikacije će se pogoršati i navigacija pomoću magnetskog kompasa će biti otežana.

Zemljino glavno polje dominira međuplanetarnim magnetskim poljem u dijelu prostora koji nazivamo magnetosfera (slika 2). Oblik magnetosfere nastao je kao odgovor na djelovanje Sunčevog vjetra (toka nabijenih čestica koji stalno izlazi iz Sunca). S dnevne strane se magnetosfera proteže do visine od oko 10 radijusa Zemlje, dok se s noćne strane izdužuje u tzv. magnetorep do udaljenosti od oko 100 Zemljinih radijusa.

Magnetosfera skreće tok većine nabijenih čestica iz Sunčevog vjetra oko Zemlje, dok geomagnetske silnice vode gibanje nabijenih čestica unutar magnetosfere. Različiti tok elektrona i iona unutar magnetosfere i u ionosferi¹ stvara sustave električne struje, koji uzrokuju varijaciju intenziteta Zemljinog magnetskog polja.



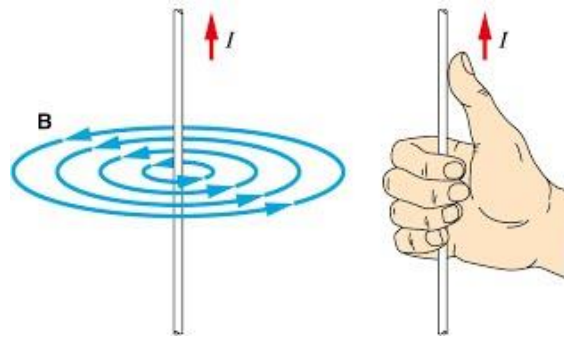
Slika 2. Zemljina magnetosfera oblikuje se pod utjecajem Sunčevog vjetra.

Magnetski učinak električne struje

Magnetsko polje nastaje gibanjem električki nabijenih čestica pa ako imamo vodič kojim teče struja (naboji u gibanju) tada se oko toga vodiča formira magnetsko polje. Smjer magnetskog

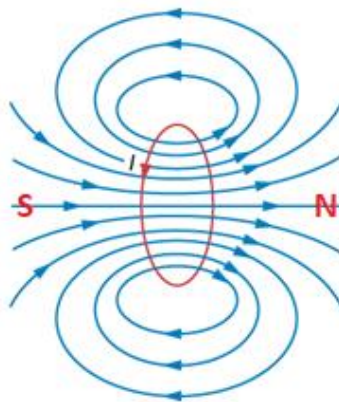
1 Dio Zemljine gornje atmosfere koji je ioniziran Sunčevim zračenjem. Ionosfera stvara unutarnji rub Zemljine magnetosfere.

polja ovisi o smjeru protoka elektrona kroz vodič. Prvi koji je uočio tu pojavu bio je danski fizičar H.C. Oersted, koji je promatrao vodič kojim teče struja u jednom smjeru i gledao odklon magnetske igle, a kad je promijenio polaritet, magnetska igla se otklonila u suprotnom smjeru. On je prvi koji je uočio vezu između elektriciteta i magnetizma, tj. elektricitet i magnetizam su povezani nabojima u gibanju. Smjer magnetskog polja oko vodiča određuje se pravilom desne ruke, koje kaže: Ako obuhvatimo vodič, kojim teče električna struja, prstima desne ruke, pri čemu palac pokazuje smjer toka električne struje, tada savijeni prsti pokazuju smjer magnetskog polja (Slika 3.).



Slika 3. Pravilo desne ruke prilikom određivanja smjera magnetskog polja.

Smjer električne struje je okomit na smjer magnetskog polja, a silnice magnetskog polja su koncentrične kružnice. No, kada električna struja teče vodičem koji je u obliku kružne petlje, tada je smjer magnetskog polja kao smjer magnetskog polja štapićastog magneta (Slika 4.).

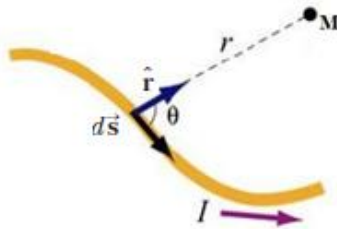


Slika 4. Magnetsko polje kružne petlje.

Primjena Biot-Savartovog zakona

Kako bismo odredili jakost magnetskog polja u nekoj točki prostora oko vodiča kojim teče struja, primjenjujemo Biot-Savartov zakon. Relacija za Biot-Savartov zakon (1) nam daje jakost magnetskog polja u točki prostora, koje stvara električna struja koja teče kroz vodič. Diferencijalni djelić vodiča ds u vakuumu stvara u točki M , koja je od njega udaljena za r , jakost magnetskog polja dH (Slika 5.):

$$d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}. \quad (1)$$



Slika 5. Određivanje jakosti magnetskog polja primjenom Biot-Savartovog zakona.

Ako želimo izračunati jakost magnetskog polja u sredini kružne petlje polumjera ρ , tada relacija (1) poprima oblik:

$$dH = \frac{1}{4\pi\rho^2} ds, \quad (2)$$

gdje su za kružnu petlju vektori \vec{ds} i \hat{r} okomiti pa vektorski umnožak daje samo iznos ds i smjer okomit na ravninu kružne petlje. Ako sada izraz (2) integriramo po cijeloj petlji dobit ćemo izraz za magnetsko polje kružne petlje u njezinom središtu:

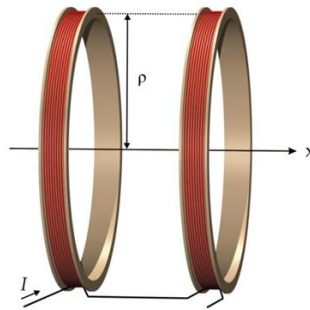
$$H = \frac{I}{4\pi\rho^2} \int_0^{2\pi} ds = \frac{I}{2\rho}, \quad (3)$$

gdje je smjer polja okomit na ravninu petlje. Ako sada uzmemo da imamo N namotaja, tj. da imamo plosnatu zavojnicu s N namotaja i srednjeg polumjera ρ tada je polje N puta veće:

$$H = \frac{NI}{2\rho}. \quad (4)$$

Eksperimentalni dio

Kako bi se eksperimentalno istražili magnetsko polje Zemlje, potrebno je formirati homogeno magnetsko polje u laboratorijskom okruženju. U tu svrhu koriste se Helmholtzove zavojnice, kod kojih je u središtu gotovo homogeno magnetsko polje. Helmholtzove zavojnice čine dvije zavojnice jednakih dimenzija (jednagog polumjera ρ), jednak broj namotaja (N) i udaljenost između zavojnica je ρ (Slika 6.).

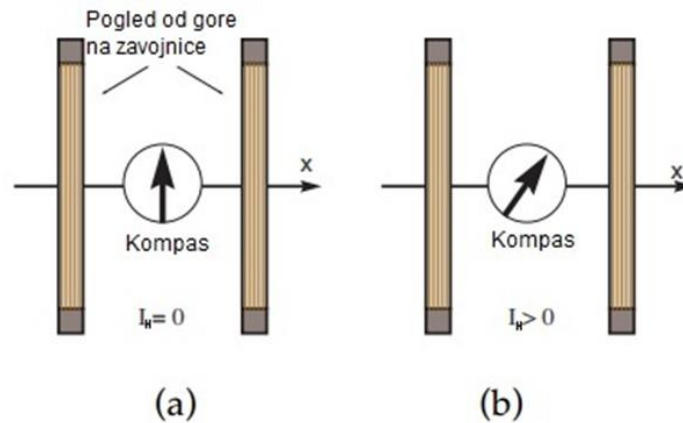


Slika 6. Helmholtzove zavojnice

Kako bismo odredili izraz za jakost magnetskog polja u središtu Helmholtzovih zavojnica potrebno je primijeniti Biot-Savartov zakon, tj. primijenimo sličan postupak kao što smo prethodno učinili za kružnu petlju u poglavlju 1.3.. Nakon što smo primijenili taj postupak, došli smo do izraza (5) za jakost magnetskog polja u središtu između dviju Helmholtzovih zavojnica polumjera ρ , N namotaja i kojom teče struja I .

$$H = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{NI}{\rho} \quad (5)$$

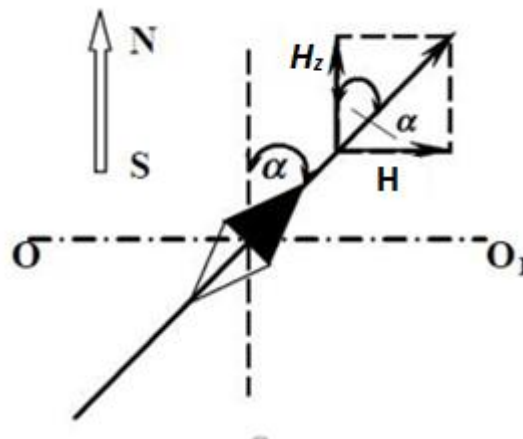
Prilikom izvođenja eksperimenta kompas je potrebno postaviti između dviju zavojnica na postolje, u horizontalnoj ravnini, koja prolazi središtima između zavojnica. Zavojnice su spojene na izvor istosmjernog napona. Kada strujnim krugom ne teče električna struja tada je odklon magnetske igle kompasu $\alpha = 0^\circ$ (Slika 8.a), odnosno magnetska igla pokazuje smjer sjevera Zemlje jer kroz zavojnice ne teče struje pa nema magnetskog polja zavojnica koja utječe na magnetsku iglu kompasu.



Slika 7. a) Položaj igle kompasu kada je $I = 0$ [A], b) Položaj igle kompasu kada je $I_H > 0$

No, kad se vrijednost napona postavi na 2 V i pomoću reostata mijenja iznos električne struje dolazi do otklon magnetske igle kompasu. Na slici 7.b. se vidi kako se igla otkloni za neki kut α kada kroz zavojnice poteče električna struja.

Dakle, u početku, kada zavojnicama ne teče električna struja, magnetska igla pokazuje smjer sjever, a kada zavojnicama teče električna struja I , tada se magnetska igla otkloni za kut α od smjera sjever. Pod utjecajem magnetskog polja zavojnice H , nastalog prolaskom struje I kroz zavojnice, i horizontalne komponente magnetskog polja Zemlje H_z , magnetska igla se otkloni u smjeru rezultantnog magnetskog polja kako je prikazano na slici 8.

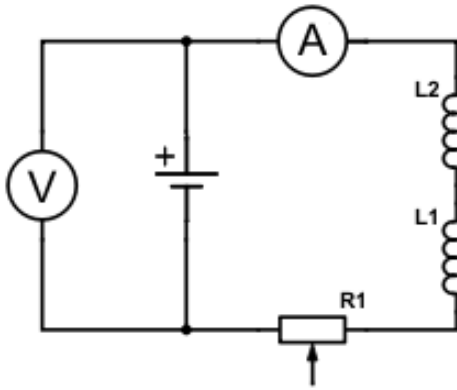


Slika 8. Prikaz otklona magnetske igle

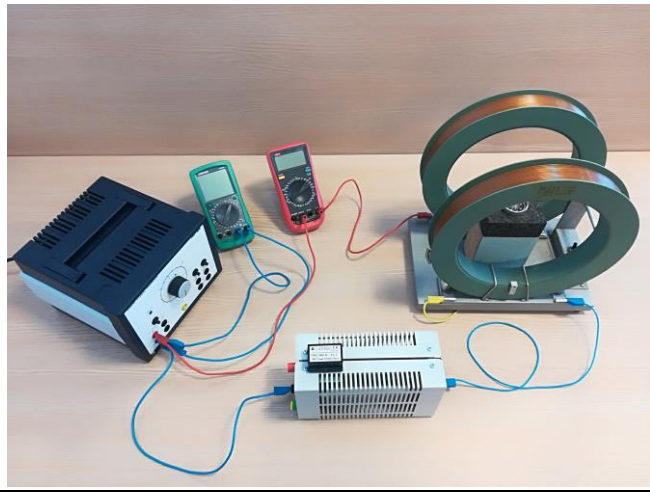
Slika 8. nam omogućava da zaključimo koja je veza između magnetskog polja zavojnica H i horizontalne komponente magnetskog polja Zemlje H_z . Tangens kuta α nam daje omjer magnetskog polja zavojnica H i horizontalne komponente magnetskog polja Zemlje H_z :

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{H}{H_z} \quad (6)$$

Mjerenjem električne struje koja prolazi kroz zavojnice, poznavanjem dimenzija zavojnica i brojem namotaja određujemo magnetsko polje zavojnica po relaciji (5), a mjerenjem kuta i primjenom relacije (6) određujemo horizontalnu komponentu magnetskog polja Zemlje.



Shema 1. Shema spoja



Slika 9. Eksperimentalni postav

Potrebna oprema za izvođenje vježbe Magnetsko polje Zemlje:

- Helmholtzove zavojnice
- Promjenjivi otpornik (reostat)
- Voltmetar i ampermetar
- DC izvor

Postupak mjerenja

1. Spojiti elemente prema shemi
2. Postavite kompas u središte zavojnica
3. Postavite Helmholtzove zavojnice tako da igla kompasa pokazuje sjever-jug na oznakama
4. Iglu kompasa zakrećite tako da povećavate jakost struje kroz zavojnice, odnosno napon izvora
5. Iglu zakrećite u koracima po 10 stupnjeva

Napomena: Mjerno područje ampermetra je u mA!

Ime i prezime:

Matični broj:

Grupa:

Datum:

Rad u laboratoriju

1. zadatak

a) Odredite broj namotaja pojedinog svitka $N = \underline{\hspace{2cm}}$

b) Izmjerite polumjer svitka $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$ m

2. zadatak

Ako je eksperimentalni postav složen kao na slici 7. izvršite mjerenja, tako da na izvoru istosmjernje struje povećavate iznos struje (I) kroz zavojnice, a na kompasu očitavate odklon magnetske igle (α). Popunite tablicu 1.

Tablica 1. Rezultati mjerenja

I (A)										
α (°)										
H (A/m)										
H_z (A/m)										

3. zadatak

Prema relaciji (5), izračunajte inducirano magnetsko polje (H) za pojedinu struju kroz zavojnice.

Izračun:

4. zadatak

Koristeći relaciju (6) izračunajte horizontalnu komponentu Zemlje (H_z) i popunite tablicu 1.

Izračun:

Ime i prezime:

Matični broj:

Grupa:

Datum:

Analiza i rasprava rezultata mjerenja

5. zadatak

Izračunajte maksimalnu apsolutnu, maksimalnu relativnu pogrešku i srednju kvadratnu pogrešku pri eksperimentalnom određivanju inducirano magetskog polja (H) relacija (5). Vrijednost za polumjer zavojnice ($\rho=13,55\pm 0,01$) cm i struje kroz zavojnice ($I=10\pm 0,1$) mA, a broj namotaja je konstantan i iznosi 250. Konačne rezultate upišite u tablicu 4.

- maksimalna apsolutna pogreška

- maksimalna relativna pogreška

Tablica 4. *Rezultati statističke analize slučajnih pogrešaka pri posrednom određivanju ind. mag. polja*

Rezultat mjerenja izražen MAKSIMALNOM APSOLUTNOM pogreškom	Rezultat mjerenja izražen MAKSIMALNOM RELATIVNOM pogreškom

b) Obradite u MS Excell-u podatke iz tablice 5. tako da prikazete ovisnost $H=f(\operatorname{tg}(\alpha))$. Istaknite jednadžbu regresije na grafu. Imenujte koordinatne osi. Ulijepite graf na ispod predviđeno mjesto.

c) Napišite jednadžbu regresijskog pravca u eksplicitnom obliku.

$$y = ax + b = \underline{\hspace{10cm}}$$

d) Koristeći jednadžbu regresijskog pravca i relaciju (6) izračunajte horizontalnu komponentu magnetskog polja Zemlje.

$$H_z = \underline{\hspace{10cm}}$$

8. zadatak

Objasnite linearnu korelaciju između danih mjernih podataka s obzirom na dobivenu vrijednost koeficijenta korelacije R .

9. zadatak

Zašto u ovom eksperimentu ne možemo usporediti dobiveni eksperimentalni rezultat s teorijskom vrijednošću horizontalne komponente magnetskog polja Zemlje?

10. zadatak

Navedite koje bi pogreške (sustavske ili slučajne) najviše mogle utjecati na rezultate mjerenja u ovom eksperimentu?

11. zadatak

Željezni prsten poprečnog presjeka 5 cm ima srednji promjer 16 cm. Oko prstena ja namotano 400 namotaja kojima teče struja jakosti 2 A. Relativna permeabilnost željeza je 500. Izračunajte:

- a) jakost magnetskog polja,
- b) magnetsku indukciju u prstenu i
- c) magnetski tok?

12. zadatak

Magnetsko polje koje okružuje Zemlju ima magnetsku indukciju $5 \cdot 10^{-5}$ T. Elektron iz kozmičkih zraka, kinetičke energije $3 \cdot 10^4$ eV kreće se okomito na silnice magnetskog polja. Kolika sila djeluje na taj elektron?

14. zadatak

Dalekovodom prolazi struja od 85 A. Dalekovod se nalazi u Zemljinom magnetskom polju indukcije $50 \mu\text{T}$ i okomit je na silnice polja. Kolika je sila na vodič ako je dugačak 20 m?