

IZVEŠTAJ ZA DOPISNO TAKMIČENJE
TURNIR MLADIH FIZIČARA

Strujna vaga

Apstrakt

Cilj ovog izveštaja bio je merenje uticaja magnetne sile na provodnik u magnetnom polju i proveravanje zavisnosti magnetne indukcije od struje kroz kalem koji indukuje homogeno magnetno polje. Dobijeni su sl. rezultati:

$$B_1 = (191,3 \pm 1,5)mT$$

$$B'_1 = (196 \pm 4)mT$$

$$B_2 = (185 \pm 4)mT$$

$$B_3 \sim I_m$$

Učenik: Marko Marković
Srednja škola: Gimnazija "Ime gimnazije"
Grad: Ime grada/opštine

10. oktobar 2023.godine

1 Teorijski uvod

Pri prolasku struje kroz provodnik dolazi do deformacije prostora u njegovoj okolini. Provodnik oko sebe indukuje magnetno polje, što se može primetiti prinošenjem drugog provodnika u njegovu okolinu. Tada deluje na pri-nešeni provodnik deluje sila koja se naziva magnetna sila. Dakle, interakcija između provodnika vrši se posredstvom magnetnog polja, čije je osnovno svojstvo delovanje na pokretna naelektrisanja.

Svaki provodnik možemo zamisliti kao prostor ispunjen malim naelektrisanim česticama, količine naelektrisanja q koja se kreću brzinom V . Na svaku od njih deluje Lorencova sila data sa:

$$\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B} \quad (1)$$

gde je B magnetna indukcija polja u kome se čestica nalazi. Skalarno zapisana jednačina ima oblik:

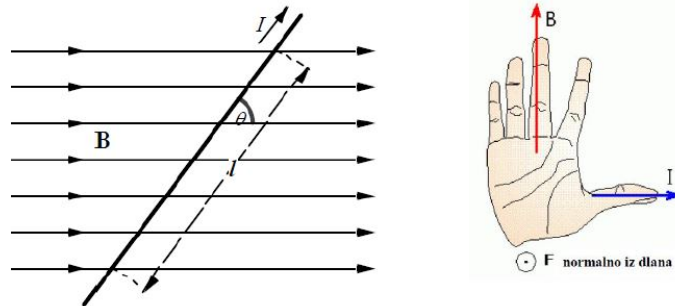
$$F = qVB\sin\theta \quad (2)$$

gde θ ugao između linija pravca magnetnog polja i vektora brzine. Kad se ova relacija "prosumira" po celom provodniku, obzirom da su tamo čestice koje indukuju struju elektroni dobija se sl. relacija:

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \quad (3)$$

Tj.

$$F = IlB\sin\theta \quad (4)$$



Slika 1: Grafički prikaz delovanja sile na provodnik i vektorskog proizvoda

2 Aparatura

Za izvođenje ove vežbe bila je potrebna sledeća aparatura predstavljena na slici 2:

1. izvor jednosmerne i naizmenečne struje;
2. ispravljač naizmenečne struje u jednosmernu;
3. ispitivani provodnici;
4. prekidač za propuštanje struje kroz zavojnice;
5. i 8. ampermetri;
6. analogna vaga;
7. zavojnice;
9. stalak.



Slika 2: Aparatura

3 Eksperimentalna postavka

Ako se provodnik postavi u horizontalni položaj u homogenom magnetnom polju na njega će delovati magnetna sila kao i sila gravitacije. Kalemovi koji indukuju magnetno polje su postavljeni tako da linije polja budu pod pravim uglom u odnosu na provodnik. Zahvaljujući takvom rasporedu ne mora da se razmišlja o sinusima iz vektorskog proizvoda, jer je $\sin \frac{\pi}{2} = 1$, odnosno $\sin \frac{3\pi}{2} = -1$. U odnosu na smer struje ugao koji zaklapa vektor \vec{l} sa magnetnim poljem će biti jedan od ova dva i tako će se masa povećavati ili smanjivati.

Na početku izvođenja vežbe, tj. pre puštanja struje kroz kolo, izmerena je analognom vagom masa svakog provodnika koja je označena sa m_0 . Tada je jedina sila koja deluje na provodnik gravitaciona:

$$\vec{F} = m_0 \vec{g} \quad (5)$$

Pri puštanju struje kroz oba kola (jedno kolo je vezano za provodnik koji se ispituje, a drugo za kalem koji izaziva magnetno polje) dobija se jednakost iz koje se će se kasnije izračunavati vrednosti magnetne indukcije:

$$\vec{F} = m \vec{g} = I \vec{l} \times \vec{B} \quad (6)$$

$$(m_0 \pm \Delta m)g = IlB \quad (7)$$

gde je Δm razlika mase pri povećanju jačine struje kroz provodnik.

3.1 Određivanje magnetne indukcije pri konstantnoj dužini provodnika

Uzet je provodnik dužine 25mm i postavljen u magnetno polje. Izmerena je njegova početna masa, a zatim propuštena struja kroz njega. Za različite vrednosti jačine struje kroz provodnik pri konstantnom naponu merena je masa. Jačina struje je merena u intervalu od 0,5A do 5A, kada se masa povećavala. Nakon ovih merenja je zamenjen smer struje i interval je bio od -0,5A do -5A, kada se masa smanjivala.

Pri ovom i sledećem delu vežbe je bio konstantan napon od 12V u zavojnici, dakle i konstantna struja.

3.2 Određivanje magnetne indukcije kod različitih dužina provodnika

Iskorišćena su merenja za provodnik od 25mm i napravljena još jedna sa istim postupkom i provodnikom od 50mm, ali 2 navoja, što ga čini kao provodnik od 100mm.

Pravolinijski se dobija iz grafika koeficijent pravca iz kojeg se računa magnetna indukcija.

3.3 Prikaz zavisnosti sile od jačine struje u kalemu

Korišćen je provodnik od 100mm kroz koji je ostavljen konstantan napon i jačina struje od 5A. Menjan je napon kroz kalem, čime se menjala i jačina struje kroz kalem. Za različite vrednosti jačine struje kroz kalem merena je masa provodnika i dobijen grafik.

4 Rezultati i obrada rezultata merenja

Obzirom na ampermetar koji je korišćen tokom izrade vežbe, gde je klasa tačnosti iznosila 1,5, merna greška za jačinu struje se izračunava na osnovu formule:

$$\Delta I = \frac{\text{Klasa} - \text{tačnosti} * \text{Opseg} - \text{instrumenta}}{100} \quad (8)$$

U opsegu do 1A korišćen je [0,1], na dalje je korišćen opseg [0,5].

$$\Delta F = \Delta m_1 g \quad (9)$$

Gde je greška za vagu uzeta kao $\Delta m = 0,01g$, a za $\Delta m_1 = 0,02g$ obzirom da se greške sabiraju.

Merenjem dobijene su vrednosti prikazane u tabelama 3, 4 i 5.

l[mm]	Im[A]	m[g]	m1[g]	Fg[mN]	dFg[mN]
100	0	36,08	0,00	0,0	0,2
	2	36,60	0,52	5,1	0,2
	4	38,16	2,08	20,4	0,2
	6	39,85	3,77	37,0	0,2
	8	41,71	5,63	55,2	0,2
	10	43,51	7,43	72,9	0,2
	12	45,32	9,24	90,6	0,2

Slika 3: Tabela vrednosti dobijena pri konstantnoj dužini provodnika i variranju jačine struje

Za obradu rezultata merenja korišćen je program Origin, te su dobijeni naredni grafici: 6, 7, 8 i 10. Sa poslednjeg grafika može se primetiti ono što je i teorijski očekivano, a to je da je jačina struje kroz kalem proporcionalna magnetnoj sili, koja je proporcionalna magnetnoj indukciji.

Sa grafika se uz pomoć sledeće jednačine može izraziti magnetna indukcija:

$$B = \frac{k}{l} \quad (10)$$

l[mm]	I[A]	dI[A]	max dI[A]	m[g]	m1[g]	Fg[mN]	dFg[mN]
25	-5,00	0,075	0,08	26,93	-2,43	-23,8	0,2
	-4,50	0,075	0,08	27,16	-2,20	-21,6	0,2
	-4,00	0,075	0,08	27,41	-1,95	-19,1	0,2
	-3,50	0,075	0,08	27,65	-1,71	-16,8	0,2
	-3,00	0,075	0,08	27,91	-1,45	-14,2	0,2
	-2,50	0,075	0,08	28,15	-1,21	-11,9	0,2
	-2,00	0,075	0,08	28,41	-0,95	-9,3	0,2
	-1,50	0,075	0,08	28,64	-0,72	-7,1	0,2
	-1,000	0,015	0,015	28,90	-0,46	-4,5	0,2
	-0,500	0,015	0,015	29,12	-0,24	-2,4	0,2
	0,000	0,015	0,015	29,36	0,00	0,0	0,2
	0,500	0,015	0,015	29,58	0,22	2,2	0,2
	1,000	0,015	0,015	29,85	0,49	4,8	0,2
	1,50	0,075	0,08	30,06	0,70	6,9	0,2
	2,00	0,075	0,08	30,32	0,96	9,4	0,2
	2,50	0,075	0,08	30,56	1,20	11,8	0,2
	3,00	0,075	0,08	30,82	1,46	14,3	0,2
	3,50	0,075	0,08	31,07	1,71	16,8	0,2
	4,00	0,075	0,08	31,32	1,96	19,2	0,2
	4,50	0,075	0,08	31,58	2,22	21,8	0,2
	5,00	0,075	0,08	31,82	2,46	24,1	0,2

Slika 4: Tabela vrednosti dobijena pri konstantnoj dužini provodnika i variranju jačine struje

gde je k koeficijent pravca fitovanog grafika. Greška za koeficijent indukcije je tražena uz pomoć parcijalnog izvoda:

$$\Delta B = \left| \frac{\partial B}{\partial k} \right| \Delta k \quad (11)$$

gde je greška Δk dobijena uz pomoć programa Origin, koji radi po principu MNK gde su pre plotovanja grafika ubačene greške instrumenata (ampermetra i vage).

Koeficijent pravca dobijen fitovanjem grafika 6 iznosi:

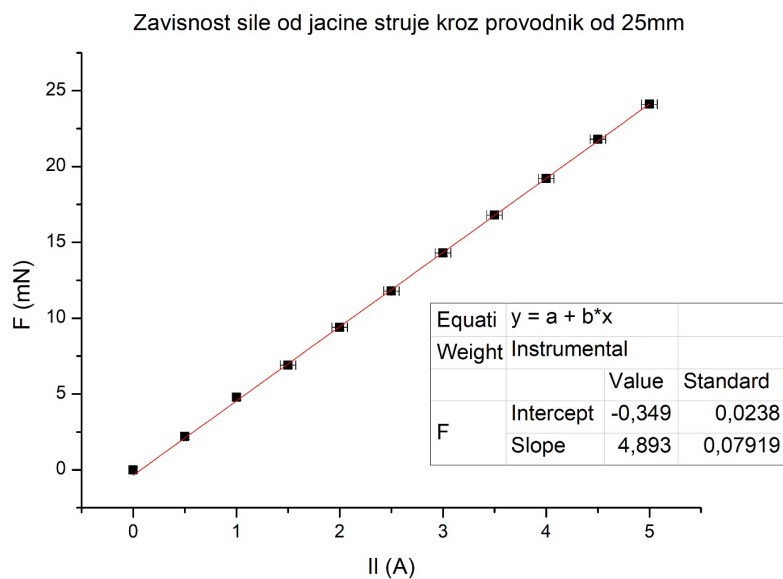
$$k_1 = (4,78 \pm 0,04) \frac{mN}{A}$$

$$B_1 = \frac{k_2}{l_2} = \frac{4,78 \frac{mN}{A}}{25mm} = 0,19134T = 191,34mT \sim 191,3mT$$

$$\Delta B'_1 = \frac{\Delta k_2}{l_2} = \frac{0,04 \frac{mN}{A}}{25mm} = 0,0015T = 1,5mT$$

l[mm]	I[A]	dI[A]	max dI[A]	m[g]	m1[g]	Fg[mN]	dFg[mN]
100	0,000	0,015	0,015	36,08	0,00	0,0	0,2
	0,500	0,015	0,015	36,94	0,86	8,4	0,2
	1,000	0,015	0,015	37,91	1,83	18,0	0,2
	1,50	0,075	0,08	38,80	2,72	26,7	0,2
	2,00	0,075	0,08	39,71	3,63	35,6	0,2
	2,50	0,075	0,08	40,70	4,62	45,3	0,2
	3,00	0,075	0,08	41,66	5,58	54,7	0,2
	3,50	0,075	0,08	42,63	6,55	64,3	0,2
	4,00	0,075	0,08	43,53	7,45	73,1	0,2
	4,50	0,075	0,08	44,41	8,33	81,7	0,2
	5,00	0,075	0,08	45,46	9,38	92,0	0,2

Slika 5: Tabela vrednosti dobijena pri promeni jačine struje kalema

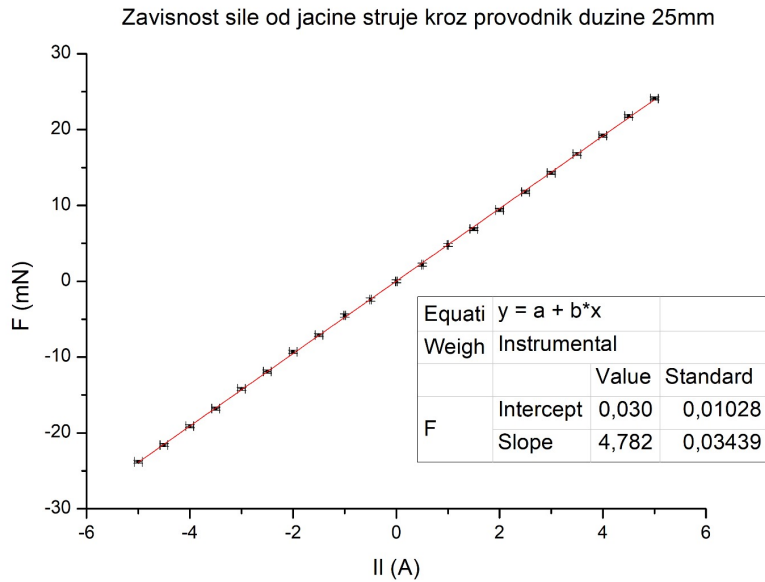


Slika 6: Grafik zavisnosti sile od jačine struje kroz provodnik dužine 25mm

te magnetna indukcija dobijena iznosi:

$$B_1 = (191,3 \pm 1,5)mT$$

Koeficijent pravca dobijen fitovanjem grafika 7 i magnetna indukcija



Slika 7: Grafik zavisnosti sile od jačine struje kroz provodnik dužine 25mm

iznose:

$$k'_1 = (4,91 \pm 0,08) \frac{mN}{A}$$

$$B'_1 = \frac{k_2}{l_2} = \frac{4,91 \frac{mN}{A}}{25mm} = 0,1963496T = 196,3496mT \sim 196mT$$

$$\Delta B'_1 = \frac{\Delta k_2}{l_2} = \frac{0,08 \frac{mN}{A}}{25mm} = 0,004T = 4mT$$

$$B'_1 = (196 \pm 4)mT$$

Ovde se jako lepo može videti koliko na preciznost merenja utiče broj merenih tačaka.

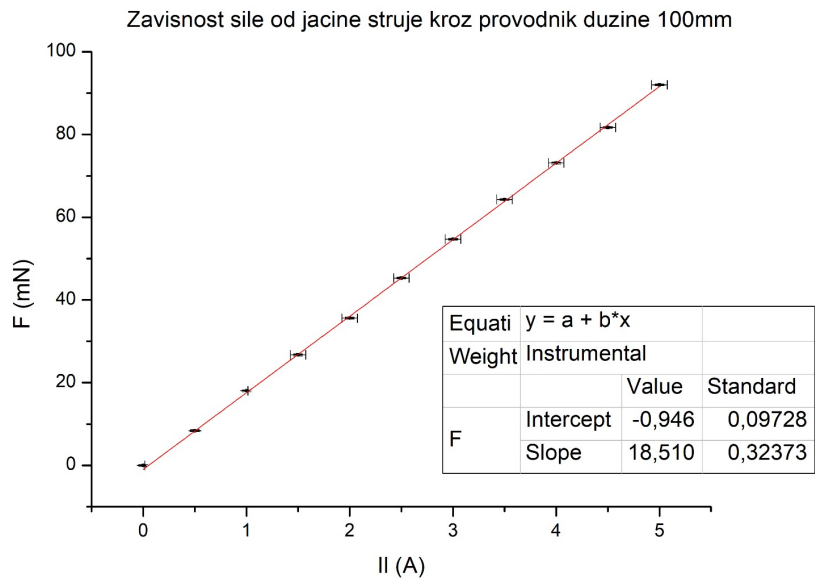
Koeficijent pravca dobijen fitovanjem grafika 8 i magnetna indukcija iznose:

$$k_2 = (18,5 \pm 0,4) \frac{mN}{A}$$

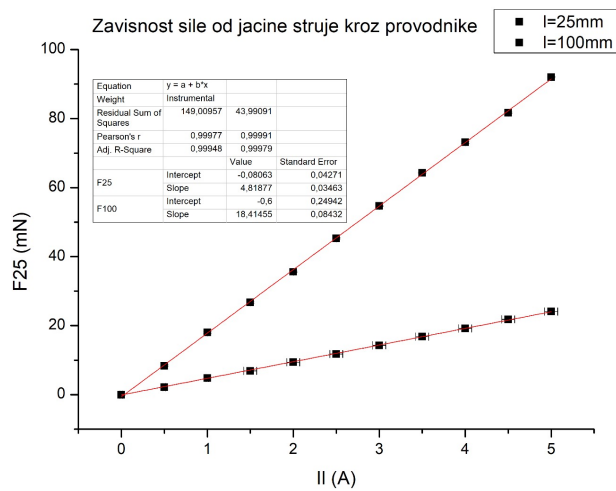
$$B_2 = \frac{k_2}{l_2} = \frac{18,5 \frac{mN}{A}}{100mm} = 0,185211T = 185,211mT \sim 185mT$$

$$\Delta B_2 = \frac{\Delta k_2}{l_2} = \frac{0,4 \frac{mN}{A}}{100mm} = 0,004T = 4mT$$

$$B_2 = (185 \pm 4)mT$$

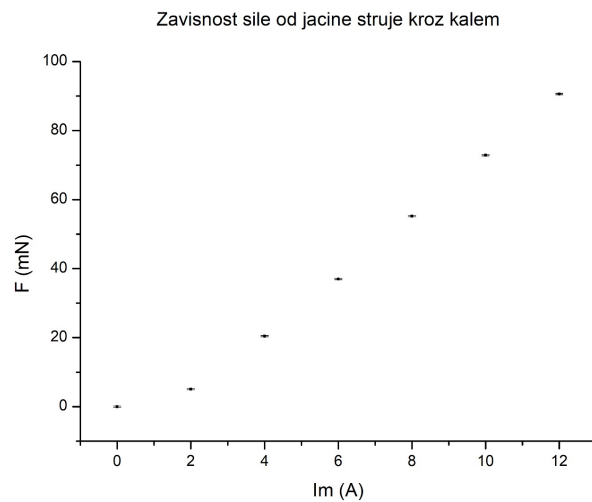


Slika 8: Grafik zavisnosti sile od jačine struje kroz provodnik dužine 100mm



Slika 9: Grafik zavisnosti sile na provodnik od jačine struje kroz dva provodnika, poređenje

Upoređena su ova dva grafika i predstavljena na jednom.



Slika 10: Grafik zavisnosti sile na provodnik od jačine struje kroz kalem

5 Diskusija i zaključak

Dobijeni grafici su svi linearni, kao što je teorijski bilo očekivano. Greške merenja uzrokovane su nehomogenošću polja na krajevima solenoida i ljudskim faktorom očitavanja vrednosti. Videli smo da sila raste linearno sa jačinom struje u provodniku, kao što smo i pretpostavili u teorijskom uvodu. Na osnovu koeficijenata pravca dobijenih linearnih zavisnosti odredili smo magnetnu indukciju polja u kom se nalazio provodnik.

6 Literatura

Ovde navesti sve radove/knjige na koje se pozivate tokom istraživanja fenomena, kao i linkove do sajtova gde ste preuzeli slike/snimke koji nisu vaši, u obliku:

[1] Stojadinović, S., Belča, I. *Praktikum za eksperimentalne vežbe iz elektronike*, Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2005.