

## Određivanje specifičnog naboja elektrona

### Cilj vježbe

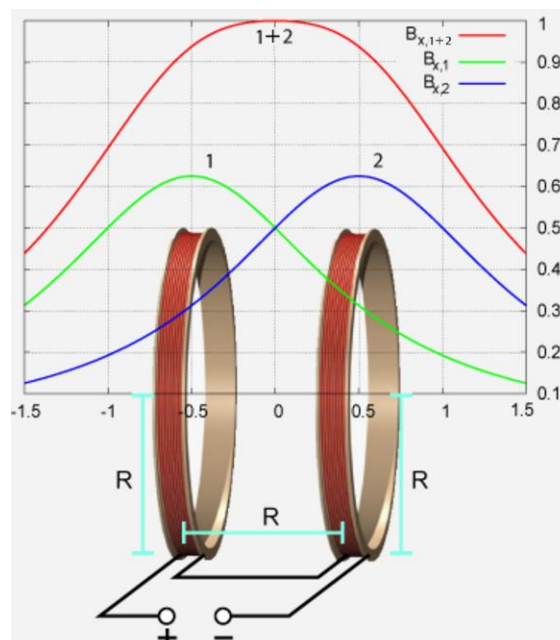
Odrediti specifični naboj elektrona (omjer  $e/m_e$ ) iz poznatog polumjera putanje elektronske zrake u elektronskoj cijevi, i poznatog napona i jakosti struje u Helmholtzovim zavojnicama između kojih se elektronska cijev nalazi..

### Teorijski dio

#### Helmholtzov spoj

Helmholtzov spoj čine dvije identične zavojnice polumjera  $R$  postavljene na udaljenost tog polumjera. Kada su zavojnice spojene na izvor tako da električne struje kroz zavojnice imaju iste smjerove, između zavojnica se stvara homogeno magnetsko polje. Magnetska indukcija u središtu zavojnica s  $N$  zavoja proporcionalna je jakosti električne struje  $I$  koja prolazi zavojnicama:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \cdot \mu_0 \cdot N \cdot \frac{I}{R}. \quad (1)$$



Slika 2. Magnetska indukcija u Helmholtzovom spoju

Ako bi elektron bio pušten u magnetsko polje između zavojnica, tako da mu vektor brzine nije paralelan s vektorom magnetskog polja, onda bi magnetska sila djelovala na elektron, i

zakretala njegovu putanju. Magnetska sila koja djeluje na naboj koji se giba u magnetskom polju je Lorentzova sila iznosa:

$$F_L = e \cdot v \cdot B \cdot \sin\theta, \quad (2)$$

gdje je  $e$  naboj elektrona,  $v$  brzina elektrona,  $B$  magnetska indukcija, a  $\theta$  kut kojeg zatvaraju vektor brzine i magnetskog polja.

Za analizu gibanja elektrona u električnom ili magnetskom polju koristi se katodna cijev. U ovoj vježbi katodna cijev postavljena je između Helmholtzovih zavojnica. Katodna cijev je staklena vakuumska cijev u koju su postavljene elektrode – anoda i katoda, pa čestice koje nose naboj ubrzavaju između elektroda jer su privučene, odnosno odbijene Coulombovom silom.

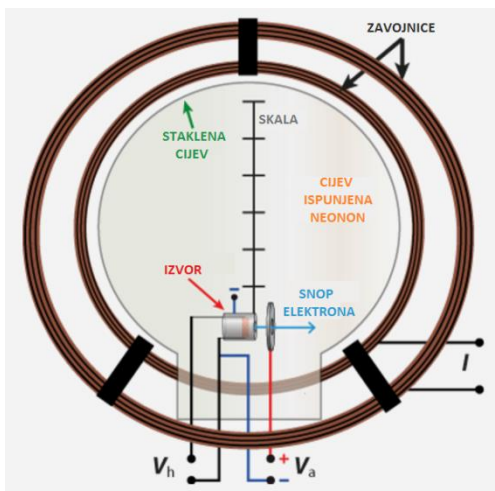
Budući da se u eksperimentalnom postavu za određivanje specifičnog naboja elektrona, elektron uvijek giba tako da mu je vektor brzine okomit na vektor magnetskog polja, za iznos Lorentzove sile može se pisati:

$$F_L = e \cdot v \cdot B. \quad (3)$$

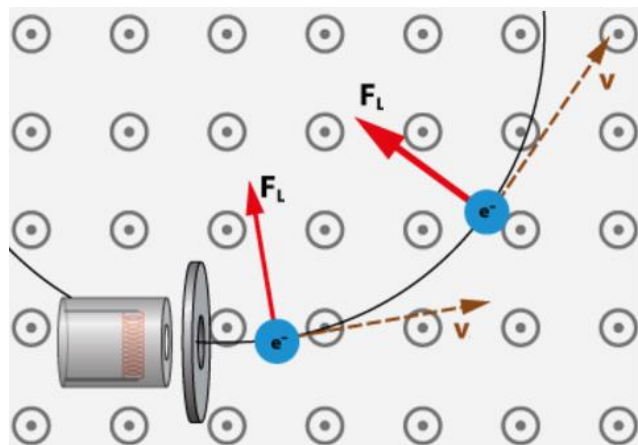
Upravo Lorentzova sila ima ulogu centripetalne sile pa slijedi da je:

$$e \cdot v \cdot B = m_e \cdot \frac{v^2}{r}, \quad (4)$$

gdje je  $m_e$  masa elektrona, a  $r$  polumjer kružne putanje elektrona.



**Slika 3.** Skica eksperimentalnog postava za određivanje specifičnog naboja elektrona



**Slika 4.** Lorentzova sila na elektrona koji se giba u katodnoj cijevi

Iz prethodne jednadžbe proizlazi za specifični naboj elektrona:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v}{r \cdot B}. \quad (5)$$

U katodnoj cijevi elektron se giba zbog razlike potencijala između anode i katode te dobiva kinetičku energiju:

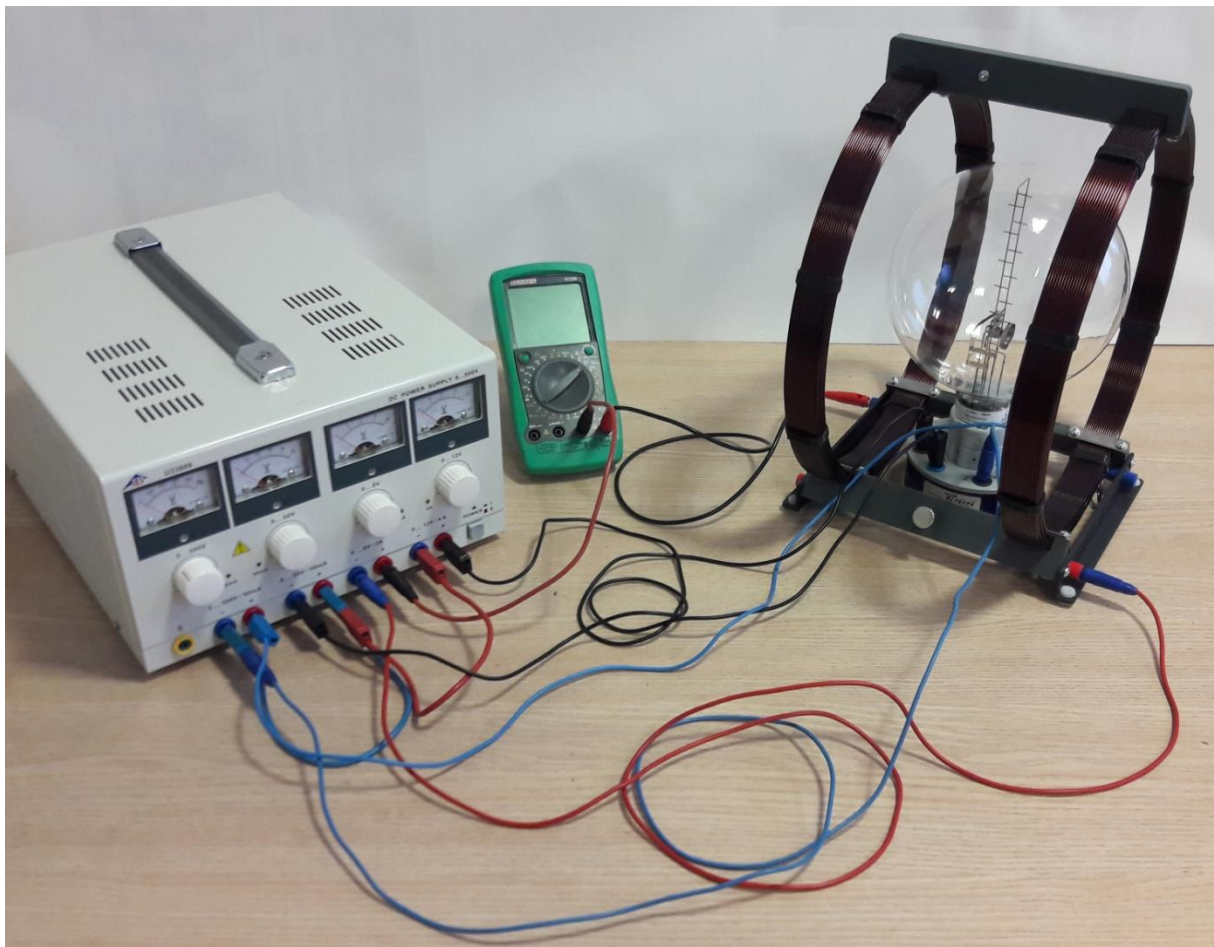
$$e \cdot U = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 . \quad (6)$$

Kombiniranjem izraza 5 i 6, dobiva se:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U}{(B \cdot r)^2} . \quad (7)$$

## **Eksperimentalni dio**

Na slici 5. prikazan je eksperimentalni postav za određivanje specifičnog naboja elektrona.



**Slika 5.** Eksperimentalni postav

**Potrebna oprema za izvođenje vježbe Određivanje specifičnog naboja elektrona:**

- Elektronska cijev
- DC izvor za elektronsku cijev
- Helmholtzove zavojnice
- Ampermetar

**Tehnički podatci o izvoru**

Na izvoru istosmjerne struje mogu se regulirati četiri različita napona u eksperimentalnom postavu (s lijeva na desno na izvoru):

1. Napon na anodi 0 do 500 V
2. Wehnelt napon 0 do 50 V
3. Napon na Helmholtzovom spoju 0 do 8 V
4. Napon grijača 0 do 12 V

Anoda je ona elektroda kroz koju električna struja ulazi u strujni krug. U katodnim cijevima anoda je uvijek na pozitivnom naboju pa će elektroni izlijetati s anode i tvoriti uski snop – elektronsku zraku. Reguliranjem napona na anodi može se smanjivati ili povećavati promjer elektronske zrake.

Wehnelt napon je razlika potencijala na gridu. Grid je sustav elektroda koji ima ulogu konvergentne elektrostatske leće. Gridom se lokalizira emisija elektrona pa se mijenjanjem Wehnelt napona regulira debljina elektronskog snopa.

Reguliranjem napona koji je narinut na Helmholtzov spoj utječe se na električnu struju koja prolazi zavojnicama, a čija se jakost očitava na ampermetru ( $I_H$ ).

Emisija elektrona posljedica je zagrijavanja tanke metalne žice, odnosno grijača. Povećavanjem napona na grijaču povećava se jakost električne struje koja prolazi tankom žicom te ona počinje žariti.

Magnetsko polje magnetske indukcije  $B$  koje se generira između para Helmholtzovih zavojnica proporcionalno je jakosti električne struje  $I_H$  koja prolazi jednom zavojnicom:

$$B = k \cdot I_H . \quad (8)$$

Konstanta proporcionalnosti  $k$  određena je polumjerom zavojnica  $R = 147,5 \text{ mm}$  i brojem zavoja po zavojnici  $N = 124$ :

$$k = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{N}{R} = 0,756 \frac{\text{mT}}{\text{A}} . \quad (9)$$

**Postupak mjerenja:**

1. Uključiti izvor istosmjerne struje i ampermetar
2. Napon grijača postaviti na 6,5 V
3. Napon na anodi postaviti na 300 V (nikada ne povećavati ovu vrijednost)
4. Wehnelt napon postaviti na 20 V ili dok elektronski snop ne bude sasvim uzak i oštar
5. Napon na Helmholtzovom spoju povećavati dok promjer elektronske zrake ne bude 5 cm – tada zraka prolazi pored najviše prečke na skali
6. Očitati jakost struje na ampermetru  $I_H$
7. Smanjivati napon na anodi u koracima po 20 V, a povećavati napon na Helmholtzovom spoju tako da promjer elektronske zrake bude stalan (5 cm); Za svako smanjenje očitati jakost struje i parove točaka ( $U$ ,  $I_H$ ) unijeti u tablicu, gdje je  $U$  napon na anodi
8. Ponoviti postupak za polumjere 4 cm i 3 cm

**Napomena:** Mjerno područje ampermetra je u A.

Ime i prezime:

Matični broj:

Grupa:

Datum:

## Rad u laboratoriju

### Zadatak 1

Prateći korake u postupku pri mjerenju ispuniti tablicu 1. vrijednostima za jakost električne struje za tri različita polumjera elektronskog snopa.

**Tablica 1.** *Mjerni podaci*

Br.mj.	U (V)	r = 0,05 m			r = 0,04 m			r = 0,03 m		
		$I_H$ (A)	B (T)	$\frac{e}{m_0}$ ( $10^{11}$ AS/kg)	$I_H$ (A)	B (T)	$\frac{e}{m_0}$ ( $10^{11}$ AS/kg)	$I_H$ (A)	B (T)	$\frac{e}{m_0}$ ( $10^{11}$ AS/kg)
1	300									
2	280									
3	260									
4	240									
5	220									
6	200									
7	180									
8	160									
9	140									
10	120									

**Zadatak 2**

Prema relaciji (8) izračunajte magnetsku indukciju i unesite vrijednosti u tablicu 1. Prikažite jedan račun:

**Zadatak 3**

Prema relaciji (7) izračunajte specifični naboj elektrona i unesite vrijednosti u tablicu 1. Prikažite jedan račun:

Ime i prezime:

Matični broj:

Grupa:

Datum:

## Analiza i rasprava rezultata mjerenja

### Zadatak 4

Izračunajte zadane veličine u tablici 2. kako bi grafičkom metodom mogli odrediti specifični naboj elektrona.

**Tablica 2.** Podaci za analizu

Br.mj.	U (V)	r = 0,05 m		r = 0,04 m		r = 0,03 m	
		2U (V)	(Br) <sup>2</sup> (T <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )	2U (V)	(Br) <sup>2</sup> (T <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )	2U (V)	(Br) <sup>2</sup> (T <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )
1	300						
2	280						
3	260						
4	240						
5	220						
6	200						
7	180						
8	160						
9	140						
10	120						



**Zadatak 5**

a) U *MS Excell*-u prikazite ovisnost  $(Br)^2 = f(2U)$  za polumjer snopa  $r = 5 \text{ cm}$ . Na grafu istaknite jednadžbu regresije. Imenujte koordinatne osi. Ulijepite graf na za to predviđeno mjesto.

b) Napišite jednadžbu regresijskog pravca u eksplicitnom obliku.

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

c) Koristeći jednadžbu regresijskog pravca i relaciju (7) odredite specifični naboj elektrona

$$e/m = \underline{\hspace{10cm}}$$

d) Usporedite izračunatu vrijednost specifičnog naboja elektrona s poznatom vrijednošću  $e/m = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ As/k}$ . Koliko je odstupanje? Prikazite račun.

**Zadatak 6**

a) U *MS Excell*-u prikažite ovisnost  $(Br)^2 = f(2U)$  za polumjer snopa  $r = 4 \text{ cm}$ . Na grafu istaknite jednadžbu regresije. Imenujte koordinatne osi. Ulijepite graf na za to predviđeno mjesto.

b) Napišite jednadžbu regresijskog pravca u eksplicitnom obliku.

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

c) Koristeći jednadžbu regresijskog pravca i relaciju (7) odredite specifični naboj elektrona

$$e/m = \underline{\hspace{10cm}}$$

d) Usporedite izračunatu vrijednost specifičnog naboja elektrona s poznatom vrijednošću  $e/m = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ As/k}$ . Koliko je odstupanje? Prikažite račun.

**Zadatak 7**

a) U *MS Excell*-u prikazite ovisnost  $(Br)^2 = f(2U)$  za polumjer snopa  $r = 3 \text{ cm}$ . Na grafu istaknite jednadžbu regresije. Imenujte koordinatne osi. Ulijepite graf na za to predviđeno mjesto.

b) Napišite jednadžbu regresijskog pravca u eksplicitnom obliku.

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

c) Koristeći jednadžbu regresijskog pravca i relaciju (7) odredite specifični naboj elektrona

$$e/m = \underline{\hspace{10cm}}$$

d) Usporedite izračunatu vrijednost specifičnog naboja elektrona s poznatom vrijednošću  $e/m = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ As/k}$ . Koliko je odstupanje? Prikazite račun

**Zadatak 8**

- a) Za koji polumjer elektronskog snopa ste dobili vrijednost specifičnog naboja elektrona najbližu poznatoj vrijednosti? Što mislite zašto je to tako?
- b) Koje su pogreške(sistemske, slučajne) utjecale na rezultate vaših mjerenja? Objasnite.
- c) Koji bi se vanjski uvjeti mogli poboljšati pa da se dobiju precizniji rezultati?