

## B2\_07 Curek elektronov v električnem in magnetnem polju

### 1 Curek elektronov v magnetnem polju – merjenje mase elektrona

#### **Teoretični uvod**

Če spustimo curek elektronov v dovolj razsežno homogeno magnetno polje, se ukrivi v krog. Magnetna sila  $F_m = evB$  je pravokotna na tir, torej je to centripetalna sila:

$$evB = \frac{mv^2}{r},$$

od koder sledi:

$$r = \frac{mv}{eB}.$$

Hitrost curka elektronov izračunamo iz pospeševalne napetosti  $U$ . Električna energija se pretvori v kinetično:

$$\frac{mv^2}{2} = eU,$$

od koder sledi:

$$v^2 = \frac{2eU}{m}.$$

S tem dobimo:

$$r = \frac{mv}{eB} = \frac{m}{eB} \sqrt{\frac{2eU}{m}},$$

od tod pa

$$\frac{m}{e_0} = \frac{r^2 B^2}{2U}.$$

Elektron ima osnovni naboj  $e_0 = 1,60 \times 10^{-19}$  As, ki ga lahko določimo z Millikanovim poskusom. Maso elektrona lahko potem izračunamo iz  $m = e_0 r^2 B^2 / (2U)$ . Med Helmholtzovima tuljavama dobimo homogeno magnetno polje z gostoto

$$B = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \cdot \frac{NI}{r_0},$$

pri čemer je število ovojev  $N = 320$ , polmer tuljave  $r_0 = 0,068$  m, indukcijska konstanta pa je  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Vs/Am.

Maksimalni tok skozi tuljavi je 1 A!

#### **Naloga**

Izmeri maso elektrona.

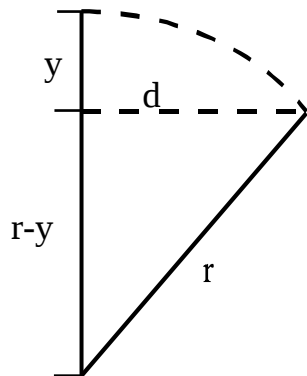
#### **Potreščine**

Elektronska cev s stojalom, Helmholtzovi tuljavi, usmernik (5000 V), usmernik (30 V), žica, merilo, ampermeter, voltmeter.

#### **Navodilo**

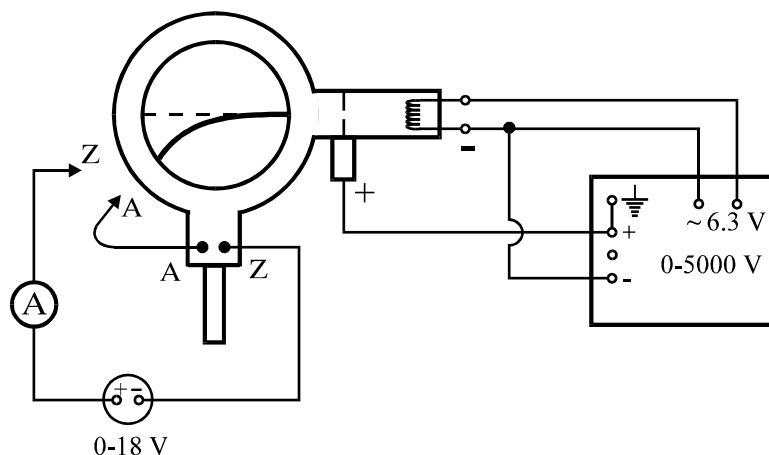
Sestavi vezje po sliki 1 in POKLIČI ASISTENTA, DA PREGLEDA VEZJE!

Ker magnetno polje ni dovolj obsežno, opazujemo na zaslonu le del krožnice. Zato si pomagamo enako kot pri sferometru:



Velja:  $r^2 = d^2 + (r-y)^2$ ,  
 iz tega sledi:  $r = \frac{d^2 + y^2}{2y}$

Z različnimi tokovi skozi tuljavi ustvarjaš različne gostote magnetnega polja. Za izbrani električni tok, ki pa je manjši od 1 A, izmeri par spremenljivk  $d$  in  $y$  ter izračunaj pripadajoči polmer kroga. Opravi deset meritev pri različnih vrednostih pospeševalne napetosti in toka skozi tuljavi.

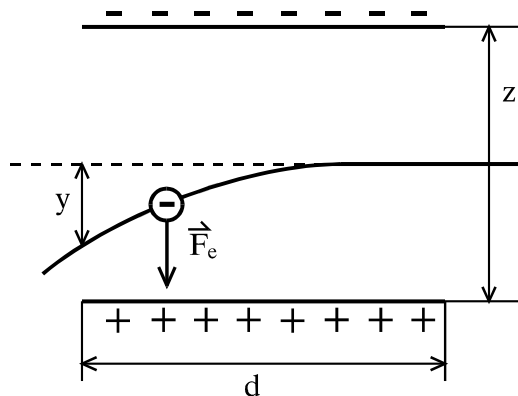


Slika 1. Uklanjanje curka elektronov v prečnem magnetnem polju.

## 2 Curek elektronov v električnem polju

### ***Teoretični uvod***

Če prileti curek elektronov v električno polje pravokotno na smer polja, se ukrivi (slika 2). Pri našem poskusu prileti elektron v električno polje v vodoravni smeri, nanj pa deluje električna sila v navpični smeri. Zato se elektron giblje po paraboli. Zanima nas, za koliko ( $y$ ) se odkloni curek elektronov od prvotne smeri, če leti skozi kondenzator z dolžino  $d$ , razmikom med ploščama ( $z$ ) in če je na kondenzatorju napetost  $U_K$ .



Slika 2. Uklon curka elektronov v električnem polju.

Gibanje elektrona je enako gibanju kamna pri vodoravnem metu in tudi račun je zelo podoben. Elektron najprej pospeši napetost  $U$ , zato ima v vodoravni smeri hitrost  $v = \sqrt{2eU/m}$ . Za prelet skozi kondenzator potrebuje čas  $t = d/v$ . Medtem, ko leti skozi kondenzator, deluje nanj električna sila  $F_e = eE = eU_K/z$ . Elektron se zato giblje enakomerno pospešeno v navpični smeri, hkrati pa se giblje enakomerno v vodoravni smeri. V navpični smeri se giblje s pospeškom  $a = F_e/m = eU_K/(mz)$ . V času preleta skozi kondenzator (čas  $t$ ) prepotuje v navpični smeri pot  $y = at^2/2 = eU_K d^2 / (2mv^2)$ . Če v to enačbo vstavimo  $v^2 = 2eU/m$  in krajšamo, dobimo za odklon  $y = U_K d^2 / (4Uz)$ .

### **Naloga**

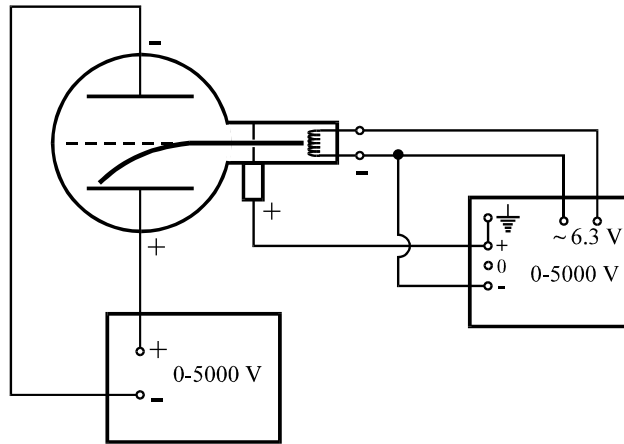
Izmeri odklon curka elektronov v električnem polju in meritev primerjaj z izračunanim odklonom.

### **Potreščine**

Elektronska cev s stojalom, usmernik (5000 V), usmernik (30 V), žica, merilo, ampermeter, voltmeter.

### **Navodilo**

Sestavi vezje po shemi 3 in pokliči asistenta, da pregleda vezje. Izmeri odklon curka  $y$  ter razdalji  $z$  in  $d$ . Zapiši si tudi napetosti  $U_K$  in  $U$ . Izračunaj odklon  $y$  in ga primerjaj z izmerjeno vrednostjo. Račune opremi z napakami! Da dobiš nekaj občutka za hitrosti elektronov, izračunaj hitrost elektronov v vodoravni smeri!



Slika 3. Shema vezave za uklanjanje curka elektronov v električnem polju.

### Razmisli

- Opiši gibanje pozitivno in negativno nabitega delca pod vplivom električnega polja?
- Opiši gibanje pozitivno in negativno nabitega delca pod vplivom magnetnega polja?
- Delci  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  priletijo v magnetno polje. Kako vpliva hitrost (velikost in smer) na njihovo gibanje? Prikaži s fizikalnimi risbami!
- Razloži termično emisijo elektronov.
- Razmisli o vezavah na slikah 1 in 3! Če poskus razumeš, lahko sestaviš vezje, ne da bi gledal na shemo! (Pripiši uporabljene napetosti za gretje katode, anodno napetost in napetost na kondenzatorju za uklanjanje. Zakaj moramo uporabiti približno tolikšne vrednosti?)
- Zakaj pri računih ni treba upoštevati sile teže na elektron?
- Od kod prihajajo elektroni, ki jih nato pospešimo v curek elektronov?
- Kaj se dogaja na katodi, ko jo segrejemo? Kaj pa, ko vklopimo anodno napetost?
- Kaj bi bilo, če bi anodno napetost obrnili?
- Curek elektronov preleti pospeševalno napetost 3 kV. Nato:
  - prileti v kondenzator z razmikom med ploščama 5 cm in  $U = 2$  kV;
  - prileti v  $\underline{B}$  polje, ki je ustvarjeno s Helmholtzovo tuljavo (enako kot pri vaji) s tokom  $I = 5$  A.
 Kako se curek ukrivi? (smer, tir)
- Elektroni preletijo pospeševalno anodno napetost 2 kV. Nato priletijo v električno polje, katerega smer je pravokotna na hitrost elektronov. Jakost električnega polja je 10 kV/m. Razmik med ploščama kondenzatorja je 5 cm. Kolikšna mora biti gostota in smer magnetnega polja, ki hkrati deluje na elektrone, da bo njihov tir gibanja premica? DODATNO: kako se spremeni tir gibanja, če povečamo jakost električnega polja za 1%, oziroma gostoto magnetnega polja za 1%?
- Curek elektronov preleti pospeševalno napetost 3 kV. Nato prileti v kondenzator z razmikom med ploščama 5 cm in  $U = 2$  kV, dolžino 10 cm. Ko izstopi iz kondenzatorja, prileti v prečno  $\underline{B}$  polje, ki je ustvarjeno s Helmholtzovo tuljavo s tokom  $I = 5$  A.
  - Nariši potek curka elektronov!
  - S kolikšnim radijem zakrožijo elektroni v magnetnem polju?