

Měření měrného náboje elektronu

J. Kolář, SSPŠ Preslova 25, Praha
jakub.kolar@seznam.cz

M. Šesták, SSPŠ Preslova 25, Praha
michal.sest@gmail.com

D. Kučerová, Gymnázium Slovenské náměstí 7, Brno
dekucerova@gmail.com

Abstrakt

Cílem našeho miniprojektu bylo změřit hodnotu měrného náboje elektronu. Prováděli jsme měření dvojího typu - nejprve v podélném magnetickém poli (MP), poté v kolmém MP. Obojí bylo provedeno s průměrnou odchylkou 11%.

1 Úvod

Měrný náboj elektronu je jedna z významných fyzikálních konstant. Poprvé byl změřen americkým fyzikem J. J. Thomsonem v roce 1897 v podélném magnetickém poli. Jedná se o poměr náboje elektronu ku jeho hmotnosti ($\frac{e}{m}$). Jeho očekávaná hodnota je $\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \doteq 1,75882 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$. Kýženým cílem naší práce bylo tuto hodnotu experimentálně ověřit a potvrdit tak správnost této tabulkové hodnoty.

Pomůcky

Zdroj napětí 300 V a 2 kV, zdroj proudu, katodová trubice, Helmholtzovy cívky, ampérmetr, voltmetr, obrazovka s cívkou.

2 Měření v podélném MP

Proud elektronů emitovaných katodovou trubicí a urychlených anodami je při průchodu cívkou s homogenním MP jen mírně rozbíhavý. Směr vektoru magnetické indukce je orientován stejně jako použité elektronové dělo. Elektrony proletí cívkou a dopadnou na stínítko s luminoforem. Místo, kam dopadnou, se rozzáří, neboť dojde k přeměně elektronu na foton. Měření probíhalo následujícím způsobem:

Vycházíme ze vzorce pro Lorentzovu sílu

$$\vec{F} = e (\vec{v} \times \vec{B}), \quad (1)$$

kde \vec{v} je rychlost pohybu elektronu a \vec{B} magnetická indukce. Rozložme rychlost elektronu vůči magnetické indukci na podélnou (\vec{v}_{\parallel}) a kolmou (\vec{v}_{\perp}) složku. Magnetická indukce \vec{B} působí pouze na kolmou složku rychlosti \vec{v}_{\perp} elektronu, který začne opisovat kružnici, přičemž tuto kružnici oběhne za čas T . Podélná složka rychlosti v_{\parallel} způsobuje pohyb elektronu ke stínítku. Složením těchto dvou složek dostáváme šroubový pohyb. Za dobu T se všechny elektrony setkají na jednom místě. Změnou velikosti proudu procházejícího cívkou jsme nastavili magnetickou indukci B tak, aby se trajektorie elektronů protly na stínítku. V tom případě byl pozorován jediný ostrý bod.

Pomocí vzorce

$$B = \mu_0 \frac{N}{l'} I, \quad (2)$$

kde l' je délka cívky, jsme vypočítali magnetickou indukci B , kterou jsme dosadili do vzorce

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l'^2}, \quad (3)$$

kde U je urychlovací napětí, a tím jsme zjistili hodnotu měrného náboje elektronu.

U [kV]	I [A]	B [T]	e/m [C · kg ⁻¹]
0,95	4,500	0,00258	$1,81393 \cdot 10^{11}$
1,00	4,550	0,00261	$1,867671 \cdot 10^{11}$
1,05	4,675	0,00268	$1,85759 \cdot 10^{11}$
1,10	4,675	0,00268	$1,94604 \cdot 10^{11}$
1,15	4,725	0,00271	$1,99167 \cdot 10^{11}$
1,20	4,775	0,00274	$2,03497 \cdot 10^{11}$
1,25	4,825	0,00277	$2,07605 \cdot 10^{11}$

Tabulka 1: Měření v podélném MP

Výsledek měření

Naměřený měrný náboj elektronu: $(194,1 \pm 3,721) \cdot 10^9 \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Námi naměřená hodnota se neshoduje s udávanou hodnotou[2] $1,75882 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

3 Měření v kolmém MP

V tomto uspořádání experimentu jsou elektrony emitovány z rozžhavené katody do nádoby naplněné zředěným vodíkem. Srážkami excitované molekuly vodíku přechází na nižší energetický stav a přebytečnou energii uvolňují ve formě fotonů. Proto můžeme sledovat dráhu letících elektronů.

Rychlost elektronu můžeme vyjádřit z rovnosti kinetické a elektrické energie

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \quad (4)$$

Nádoba je umístěna v homogenním MP vytvořeném sestavou Helmholtzových cívek. Mag. indukce tohoto MP je kolmá ke směru pohybu elektronu, tudíž Lorentzova síla \vec{F}_L je rovna dostředivé síle \vec{F}_D a elektron začne opisovat kružnici. Pro tuto rovnost platí vztah

$$\frac{mv^2}{r} = evB. \quad (5)$$

Spojením rovnic (1) a (2) dostaneme vztah, ze kterého lze vypočítat měrný náboj elektronu

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2}, \quad (6)$$

kde r je poloměr kružnice, kterou elektrony opisují a můžeme jej změřit pravítkem, urychlovací napětí U známe. Zbývá nám zjistit mag. indukci B . Ta je ovlivněna parametrem geometrie Helmholtzových cívek k a protékajícím proudem I .

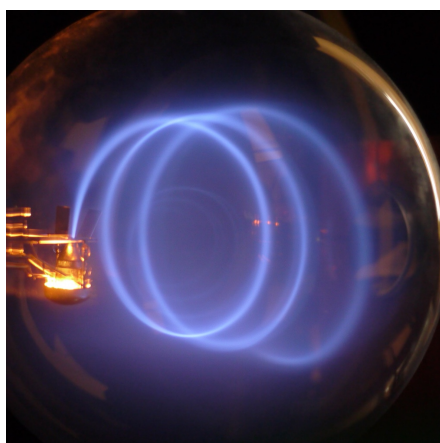
Výsledný vztah pro výpočet je

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{k^2 I^2 r^2}, \quad (7)$$

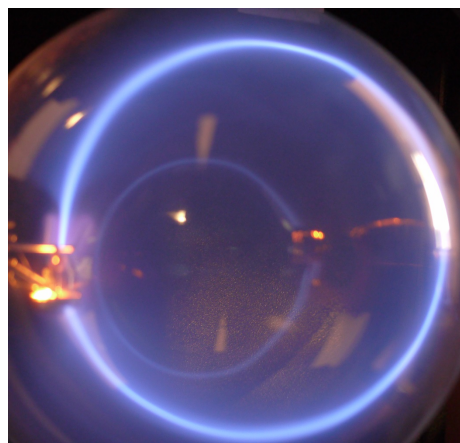
$$k = 0,781 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot \text{A}^{-1}$$

$U[\text{V}]$	$I[\text{A}]$	$r[\text{m}]$	$e/m[\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}]$
120	1,5	0,0325	1,65562
140	1,5	0,0350	1,66547
160	2,0	0,0310	1,36479
180	2,0	0,0325	1,39693
200	2,0	0,0320	1,60102

Tabulka 2: Měření v kolmém MP



(a)



(b)

Obrázek 1: Dráha elektronu

Výsledek

Naměřený měrný náboj elektronu: $(153,6 \pm 6,479) \cdot 10^9 \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Námi naměřená hodnota se neshoduje s udávanou hodnotou $1,758 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

4 Závěr

Naše měření se mírně odlišuje od tabulkové hodnoty. Prvním způsobem jsme naměřili větší měrný náboj elektronu, druhým způsobem naopak menší. Průměrná chyba obou měření je 11,35%. Chyba měření byla patrně způsobena nedokonalým odečítáním z měřících přístrojů a zastaralým vybavením.

5 Poděkování

Rádi bychom poděkovali naší supervizorce Kataríně Gajdošové a FJFI za to, že nám umožnily měření této úlohy.

Reference

- [1] I. Štoll: Elektřina a magnetismus, Skriptum FJFI, Vydavatelství ČVUT, Praha, 1994, str.171 až 177.
- [2] REMION: Laboratorní průvodce, 20. května 2014, dostupné z URL: www.labo.cz/mft/zkonst.htm
- [3] Wikipedia: J. J. Thomson, 20. května 2014, dostupné z URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/J.J.Thomson>