

Měření měrného náboje elektronu

F. Slovák, Gymnázium Jeseník, flos@centrum.cz

M. Zeman, Gymn Vídeňská, Brno, martin.abe@quick.cz

O. Sehnal, Gymnázium Boskovice, 0.Sehnal@seznam.cz

R. Gracla, gymn Nad Štolou, Praha, GraclaR@seznam.cz

Supervisor: M. Svobodová

Abstrakt

Měrným nábojem elektronu nazýváme poměr náboje elektronu k jeho hmotnosti. V soustavě SI má rozměr C/kg. Lze získat například měřením v magnetickém poli.

1 Motivace

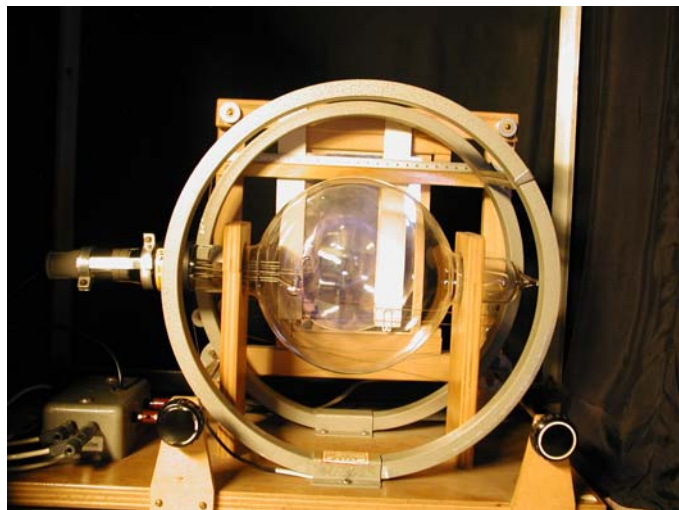
Cílem tohoto miniprojektu bylo prakticky si vyzkoušet měření měrného náboje elektronu. Navíc jsme si hráli s magnety a donutili tak elektronové paprsky „tančit“. Ověřili jsme si, zda fyzik Thomson nelhal a zároveň jsme si vyzkoušeli podobná zařízení a aparatury, které vedly k jeho závěrům. Naše měření probíhala jak v poli příčném, což bylo zábavné, tak v poli podélném, což už tak zábavné nebylo.

2 Aparatura

Naše aparatura vypadala poměrně složitě, avšak ve skutečnosti zapojení bylo jednoduché. Celá se skládala ze dvou zdrojů napětí, z nichž první byl napájecí a druhý žhavl katodu, z které vylétával svazek elektronů.

Použité přístroje pro příčné magnetické pole

- Zdroje napětí
- Spojovací vodiče
- Ampérmetr, voltmetr
- Helmholtzovy cívky a katodová trubice
- Měřící zařízení se zrcátkem a stupnicí
- 4 tyčové magnety
- Fotoaparát



Použité přístroje pro podélné magnet. pole

- Zdroje napětí
- Spojovací vodiče
- Ampérmetr, voltmetr
- Wehlerova trubice
- Fotoaparát



3 Teorie

Aby došlo k zakřivení elektronů do tvaru kružnice, muselo být přítomno homogenní magnetické příčné pole. Helmholtzovy cívky vytvářely poměrně slabé pole, ale protože hmotnost elektronu je velmi malá, byl svazek elektronů okamžitě zakřiven do tvaru kružnice. Ionizací zředěného plynu ve skleněné baňce došlo k vytvoření viditelného namodralého paprsku. Pohybem tyčových magnetů kolem skleněné baňky bylo narušováno homogenní pole. Tím se vytvářely různé křivky paprsků. Obdobných křivek jsme dosáhli i pootočením katody v magnetickém poli.

Elektrony jsou urychlovány elektrickým polem a proto získají energii

$$E = eU$$

A tato energie je zároveň rovna jejich kinetické energii

$$E = \frac{1}{2} \cdot mv^2$$

Po sloučení obou vzorců dostaneme výsledný vztah pro rychlost

$$v = \sqrt{2U \frac{e}{m}} \quad (1)$$

Příčné magnetické pole:

Na elektron, který vstupuje kolmo do magnetického pole, působí Lorentzova síla (v našem případě je dostředivá), která jeho dráhu zakřivuje. Její velikost vypočítáme podle

vztahu $F_L = e \cdot v \cdot B$, což je rovno síle $F_d = a_d m = \frac{v^2}{r} \cdot m$.

Po sloučení obou rovnic dostaneme vztah: $e \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r}$ (2)

Ze vztahů (1) a (2) potom plyne: $\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$

Abychom vypočítali hodnotu měrného náboje, potřebujeme znát velikost magnetické indukce, poloměr trajektorie elektronů a napětí. Napětí a poloměr lze změřit, ale velikost magnetické indukce přímo neznáme, a proto jsme ji odvodili ze vztahu $B = k \cdot I$, kde k je konstanta daná geometrií cívek a I je měřený protékající proud.

$$k = 7,81 \cdot 10^{-4} T \cdot A^{-1}$$

Výsledná rovnice pro výpočet měrného náboje elektronu

$$\frac{e}{m} = \frac{2}{k^2} \cdot \frac{U}{I^2 r^2}$$

Nastavováním proudu na cívkách a změnou urychlovacího napětí se mění velikost poloměru kružnice. Naměřené hodnoty jsme si zapsali a po dosazení všech hodnot do vzorce jsme vypočítali měrný náboj elektronu.

Podélné magnetické pole:

Termoemisi jsou z katody uvolňovány elektrony. Jejich rychlost má kolmou a podélnou složku. Do Lorentzovy síly přispívá jen kolmá. Elektron tak opisuje kružnici a za určitou dobu doletí na stínítko. Nás pak zajímá taková kombinace napětí a proudu, aby dopadající elektronový paprsek byl na stínítku v uzlu.

$$F_L = e \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \frac{e}{m} B r$$

Doba, za kterou elektron opíše celou kružnici $T = \frac{2r\pi}{v}$

Vzdálenost katody od stínítka je konstantní $l = vT = 24,9 \text{ cm}$

$$\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2}, \text{ kde } B = k \cdot I, k = 4,897 \cdot 10^7 \text{ WbA}^{-2} \text{m}^{-4}$$

Při tomto zapojení fokusujeme proud elektronů, nastavováním proudu na cívce a změnou urychlovacího napětí se mění ostrost bodu na stínítku. Naměřené hodnoty jsme si zapsali a po dosazení všech hodnot do vzorce jsme vypočítali měrný náboj elektronu.

Měření v příčném magnetickém poli

Martin Zeman						Filip Slovák					
U(V)	I(A)	D1(cm)	D2(cm)	r(cm)	e/m	U(V)	I(A)	d1(cm)	d2(cm)	r(cm)	e/m
140	2	8,7	13,4	2,35	2,07807E+11	180	1,5	8,2	16,5	4,15	1,52308E+11
200	2	8,8	14,4	2,8	2,09113E+11	140	1	8,6	19,5	5,45	1,54548E+11
200	1,5	8,6	16,4	3,9	1,91622E+11	220	2	8,8	15,2	3,2	1,76113E+11
100	1	8,7	16,8	4,05	1,99902E+11	160	2	8,7	14,4	2,85	1,61472E+11
Průměr					2,02111E+11	Průměr					1,6111E+11

Richard Gracla						Ondřej Sehnal					
U(V)	I(A)	D1(cm)	D2(cm)	r(cm)	e/m	U(V)	I(A)	d1(cm)	d2(cm)	r(cm)	e/m
250	1,5	8,8	18,15	4,675	1,66695E+11	200	1,75	8,8	16,05	3,625	1,62954E+11
150	1	8,8	19,7	5,45	1,65587E+11	100	1,5	8,7	14,3	2,8	1,85879E+11
500	2,5	8,9	16,75	3,925	1,7027E+11	220	1,5	8,7	17,55	4,425	1,63735E+11
240	2,25	8,75	14,85	3,05	1,67099E+11	300	2	8,6	16,4	3,9	1,61681E+11
Průměr					1,67413E+11	Průměr					1,68562E+11

Celková průměrná hodnota: $1,748 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$

Měření v podélném magnetickém poli

Martin Zeman			Filip Slovák		
U[V]	I[A]	e/m	U[V]	I[A]	e/m
1250	5	1,93327E+11	1230	5	1,90234E+11
1000	4,7	1,75036E+11	970	4,5	1,85212E+11
900	4,5	1,71846E+11	1050	4,75	1,79939E+11
1110	4,75	1,90221E+11	1100	4,85	1,80814E+11
Průměr		1,82608E+11	Průměr		1,8405E+11

Ondřej Sehnal			Richard Gracla		
U[V]	I[A]	e/m	U[V]	I[A]	e/m
1350	5,2	1,93041E+11	950	4,5	1,81393E+11
1500	5,45	1,95263E+11	1050	4,73	1,81464E+11
800	4,25	1,71252E+11	1150	4,8	1,92991E+11
1030	4,65	1,84185E+11	1240	5	1,9178E+11
Průměr		1,85935E+11	Průměr		1,86907E+11

Celková průměrná hodnota: $1,849 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$

4 Závěr

Měrný náboj elektronu je $1,7588047 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$. Naše měření bylo relativně přesné, zábavné, poučné a zajímavé. Zjistili jsme, že v příčném magnetickém poli jsme naměřili hodnoty přesnější než v magnetickém poli podélném. Nepřesnosti v měření byly způsobeny hlavně nepřesnostmi způsobeny nedokonalostí lidského zraku.

5 Poděkování

Všem organizátorům fyzikálního týdne, supervisoru Marii Svobodové za trpělivost a Prof. Ing. Zdeňkovi Janoutovi, CSc. za poutavou přednášku.

6 Reference

- [1] Jaromír Brož-Vladimír Roskovec.: Základní fyzikální konstanty, 1988, str. 102-106
- [2] http://rumcajs.fjfi.cvut.cz/fyzport/FundKonst/edm/edm_FSL02.pdf