



J. Cabrnoch, SGaGy Kladno, Jancabrnoch@seznam.cz
M. Holeček, Jiráskovo Gymnázium, Holecek.Martin@seznam.cz
J. Jílek, Gymnázium Čelákovice, Julek.Jakub@seznam.cz
R. Řezníček, Gymnázium Český Brod, Richardzbrodu@seznam.cz
Supervisor: M. Svobodová

Abstrakt:

Měrným nábojem elektronu e/m_e rozumíme poměr absolutní hodnoty jeho náboje e a hmotnosti m_e . Jde o důležitou veličinu, kromě jiného například i pro určení hmotnosti elektronu. V soustavě SI má rozměr $[e/m_e] = C/kg$. K jeho měření jsme využili změny pohybu elektronu v magnetickém poli (na jaderce to jinak neumí).

1 Úvod

Trocha historie

Roku 1896 Joseph John Thomson objevil první subatomární částici – elektron. A již 30. dubna L.P. 1897 provedl na něčem, co se podobalo dnešní televizní obrazovce, jeden z nejdůležitějších experimentů tohoto období. Tímto pokusem určil měrný náboj elektronu. O 108 let, 1 měsíc a 21 dnů později jsme se pokusili tento experiment zopakovat.

Motivace aneb proč to vůbec děláme?

Až na jednoho jsme se všichni k tomuto projektu dostali jaksi nedobrovolně, přes náhradní volby prvního, popř. druhého řádu. Přesto nemůžeme říci, že by tento projekt nebyl zajímavý. Kdo jiný si například může vytvořit vlastní logo Fyzikálního týdne nebo se pokusit opravdu vysokým proudem vyhodit polovinu jističů aparatury.

Přesná hodnota měrného náboje elektronu je důležitá z důvodu jejího dalšího použití. Např. při Millikanově pokusu je změřen náboj elektronu, což nám umožňuje určit také jeho hmotnost. Zároveň se jedná o velmi zajímavý a vizuálně poutavý pokus.

2 Měření pomocí příčného magnetického pole

První měřicí aparatura, použitá při našem experimentu, se skládala ze zdroje napětí regulovatelného do 300V, regulovatelného zdroje proudu, dvou Helmholtzových cívek, katodové trubice opatřené zrcátkem a měřidlem, ampérmetru a voltmetru.



Trajektorie napětím urychlovaných elektronů emitovaných ze žhavené katody se v magnetickém poli Helmholtzových cívek zakřivuje až do kružnice. Z velikosti poloměru této kružnice je možno při znalosti velikosti použitého urychlovacího napětí a magnetické indukce určit velikost měrného náboje elektronu:

Urychlením elektrickým polem získají elektrony energii

$$E = eU,$$

které odpovídá kinetická energie elektronu

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

Z toho lze odvodit vztah pro rychlost elektronu

$$v = \sqrt{2U \frac{e}{m}}.$$

Zakřivení trajektorie elektronu vstupujícího kolmo do magnetického pole je způsobeno Lorentzovou silou o velikosti $F_L = e \cdot v \cdot B$, což odpovídá dostředivé síle $F_d = a_d m = \frac{v^2}{r} \cdot m$.

Sloučením obou rovnic obdržíme výraz $e \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r}$, ze kterého po dosazení za rychlost

elektronu vyplývá vztah $\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$. Velikost magnetické indukce je úměrná velikosti

protékajícího proudu, tedy $\frac{e}{m} = \frac{2}{k^2} \cdot \frac{U}{I^2 r^2}$. V našem případě je pak konstanta úměrnosti $k = 7,81 \cdot 10^{-4} T \cdot A^{-1}$.

Tabulka naměřených hodnot:

	U [V]	I [A]	r [cm]	e/m [C/kg]		U [V]	I [A]	r [cm]	e/m [C/kg]
J. Jílek	104	1,1	3,95	1,80627E+11	R. Řezníček	120	2	2,35	1,7812E+11
	120	1,25	3,875	1,67705E+11		130	1,8	2,7	1,80467E+11
	140	1,4	3,525	1,88487E+11		140	2,45	2,2	1,58008E+11
	150	1,35	4,05	1,64529E+11		150	1,8	2,95	1,74434E+11
	130	1,8	2,7	1,80467E+11		129	1,85	2,675	1,72714E+11
	110	1,7	2,675	1,74412E+11		110	1,6	2,85	1,73457E+11
	127	2	2,475	1,6995E+11		160	2	2,8	1,67291E+11

	U [V]	I [A]	r [cm]	e/m [C/kg]		U [V]	I [A]	r [cm]	e/m [C/kg]
J. Cabrnach	100	1,85	2,3	1,81104E+11	M. Holeček	120	1,25	3,75	1,79072E+11
	110	1,825	2,45	1,80411E+11		140	1,25	4,05	1,79112E+11
	150	1,925	2,75	1,75506E+11		160	1,3	4,25	1,71863E+11
	120	2	2,35	1,7812E+11		150	1,75	3,05	1,72641E+11
	130	2	2,45	1,77533E+11		130	1,2	4,05	1,80467E+11
	100	1,825	2,35	1,78265E+11		150	1	5,25	1,78443E+11
	120	1,9	2,45	1,81581E+11		100	1,15	3,75	1,76307E+11

V průběhu měření byla zjištěna drobná odchylka měřidla, kterou jsme odstranili a u předchozích měření jsme provedli korekci. Přesto však je námi změřená průměrná hodnota měrného náboje elektronu $1,75753 \cdot 10^{11}$ C/kg velice blízká skutečné hodnotě $1,75882 \cdot 10^{11}$ C/kg.

3 Měření pomocí podélného magnetického pole

Druhé uspořádání použité při měření pomocí podélného magnetického pole sestávalo z Wehlerovy trubice, zdrojů napětí regulovatelných do 300V a 1,5kV, ampérmetru a voltmetru.



Rychlost elektronů emitovaných z katody má kolmou a podélnou složku. Do Lorentzovy síly přispívá jen kolmá. Elektron se tak pohybuje po spirále a za určitou dobu doletí na stínítko. Nás pak zajímá taková kombinace urychlovacího napětí a proudu procházejícího cívkou vytvářející podélné magnetické pole, aby dopadající elektronový paprsek byl na stínítku fokusován.

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

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

Vzdálenost katody od stínítka je konstantní $l = vT = 24,9 \text{ cm}$. Spolu se vztahem $v = \sqrt{2U \frac{e}{m}}$

potom $\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2}$, kde $B = \mu_0 NI / l'$

μ_0 -permeabilita vakua: $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

N-počet závitů: 183

I-proud protékající cívkou

l'-délka cívky: 37cm

Během měření se pak snažíme při různých hodnotách urychlovacího napětí dosáhnout nastavováním proudu tekoucího cívkou největší ostrosti bodu na stínítku.

Tabulka naměřených hodnot:

	U [V]	I [A]	e/m [C/kg]		U [V]	I [A]	e/m [C/kg]
J. Jílek	1000	4	2,06041E+11	R. Řezníček	900	3,8	2,0547E+11
	900	3,75	2,10985E+11		950	3,85	2,11288E+11
	1100	4,2	2,05573E+11		1000	4	2,06041E+11
	1200	4,5	1,95357E+11		1050	4,1	2,05918E+11
	1250	4,5	2,03497E+11		1100	4,2	2,05573E+11
	1150	4,25	2,0989E+11		1150	4,3	2,05038E+11
	1020	4	2,10161E+11		1200	4,4	2,04338E+11
J. Cabrnach	950	3,85	2,11288E+11	M. Holeček	850	3,55	2,22349E+11
	1000	3,95	2,1129E+11		1300	4,65	1,98203E+11
	1050	4,05	2,11034E+11		1000	4	2,06041E+11
	1100	4,15	2,10557E+11		1230	4,475	2,02484E+11
	1150	4,3	2,05038E+11		950	3,85	2,11288E+11
	1200	4,375	2,0668E+11		1120	4,275	2,02031E+11
	1250	4,45	2,08095E+11		1180	4,375	2,03235E+11

Průměrná hodnota měrného náboje elektronu změřená touto metodou je $2,06956 \cdot 10^{11}$ C/kg, což se bohužel od skutečné hodnoty poněkud odlišuje. Odchylka byla pravděpodobně zapříčiněna ne zcela přesným pozorováním a možná i nepřesnostmi konstrukce aparatury.

4 Shrnutí

Námi provedené měření měrného náboje elektronu pomocí příčného magnetického pole se ve srovnání s měřením pomocí podélného magnetického pole jeví jako přesnější. Pravděpodobně se nám podařilo při prvním experimentu vyhnout se vlivu systematických chyb.

Jinak nutno říci-byla to velice zajímavá práce:-)

Poděkování

Všem organizátorům fyzikálního týdne, supervisoru Marii Svobodové za pomoc při realizaci, vysvětlení „jak to vůbec funguje“ a Prof. Ing. Zdeňkovi Janoutovi, CSc. za velice zajímavou a poučnou přednášku.

Reference:

- [1] O. SEHNAL, F. SLOVÁK, R. GRACLA, M. ZEMAN *FT'03 e/m - měření měrného náboje elektronu* <http://fyztyd.fjfi.cvut.cz/2003/web/post/cd/prispevky/sbpdf/edm.pdf> FJFI-ČVUT 2003
- [2] Kolektiv katedry fyziky: *Fyzikální praktikum II*. Ediční středisko ČVUT.1989 <http://rumcajs.fjfi.cvut.cz/fyzport/FundKonst/edm/edm.pdf>
- [3] SEDLÁK BEDŘICH *Určení měrného náboje elektronu z charakteristik magnetronu* MFF
- [4] M. FRANTES, T. HEJDA, L. MACH, O. MARŠÁLEK, M. PETERA *FT'02 e/m - měření měrného náboje elektronu* <http://fyztyd.fjfi.cvut.cz/2002/web/prispevky/sbornikpdfs/sbedm.pdf> FJFI-ČVUT 2003