

Měření měrného náboje elektronu

R. Galabov – Gymnázium Česká Lípa, radekgalabov@seznam.cz
R. Sgallová – Gymnázium Ch. Dopplera, rachel.sgallova@centrum.cz
V. Fišer – Gymnázium Elišky Krásnohorské, tydlitele@gmail.com

Abstrakt:

Za cíl jsme si zvolili experimentální změření měrného náboje elektronu (poměr náboje ku hmotnosti). Pro větší přesnost jsme použili dvě různé metody. Obě vycházejí z chování nabitých částic v magnetickém poli.

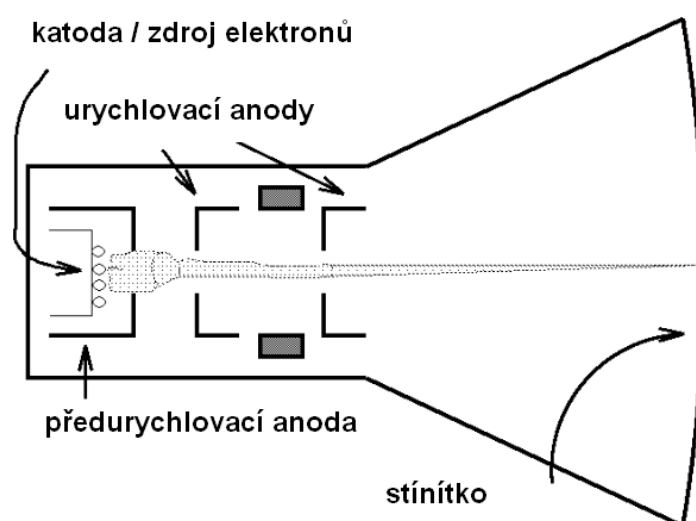
1 Úvod

V roce 1897 objevil elektron J. J. Thomson za použití obrazovky vynalezené K. F. Braunem a zároveň při tom změřil měrný náboj elektronu.

My jsme se rozhodli přeměřit tuto fundamentální konstantu za pomoci metod využívajících interakci elektronu s magnetickým polem. A to v podélném a příčném magnetickém poli. Obě metody využívají zakřivení trajektorie elektronu v závislosti na vzájemném směru rychlosti částice a indukce pole zapříčiněném Lorentzovou silou.

2 Teorie

Měření v podélném magnetickém poli



K tomuto pokusu byla použita osciloskopická obrazovka (viz schéma). Její součástí je rozžhavený drátek, který emituje elektrony směrem do magnetického pole uvnitř cívky. Působí na ně Lorentzova síla, pro níž platí vztah

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

kde e je náboj elektronu, \vec{v} je rychlost elektronu a \vec{B} je indukce magnetického pole. Lorentzova síla vyvolává rotační pohyb elektronu v příčné rovině. Dále na elektron působí elektrická síla, která způsobuje rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb kolmý na rovinu rotace. Složením obou pohybů vzniká pohyb po spirále.

Protože Lorentzova síla působí jako síla dostředivá, můžeme napsat

$$ev_{\perp}B = \frac{mv_{\perp}^2}{r}$$

a pro periodu pohybu potom platí

$$T = \frac{2\pi r}{v_{\perp}} = \frac{2\pi}{\frac{e}{m}B},$$

kde e/m je měrný náboj elektronu. Z toho plyne že perioda je pro všechny elektrony stejná, protože závisí pouze na síle magnetického pole.

Elektron získá kinetickou energii z potenciálového rozdílu mezi anodou a katodou. Proto můžeme psát

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}},$$

kde U je rozdíl potenciálů. S touto rychlostí vstupuje do magnetického pole uvnitř cívky.

Protože jsou paprsky málo rozbíhavé, můžeme vektor rychlosti považovat za rovnoběžný se směrem elektrické síly. Pak

$$l = vT = \frac{2\pi v}{\frac{e}{m}B}$$

Dosazením za rychlost jsme dostali vzorec pro měrný náboj elektronu.

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2}$$

Pro 20 hodnot urychlovacího napětí jsme hledali odpovídající hodnoty proudu indukující magnetické pole tak, aby všechny elektrony dopadaly do jednoho bodu na stínítku. Tedy kdy je magnetické pole tak silné, že elektrony opíší právě jednu otočku.

Měření v kolmém magnetickém poli.

Zařízení se skládá z nádoby se zředěným plynem, uvnitř jsou elektrody emitující elektrony. Magnetické pole zajišťují dvě Helmholtzovy cívky. Elektrony jsme urychlili napětím 226 V a vylétávají otvorem v anodě. Elektrody jsme nastavili tak, aby vektor rychlosti částic byl kolmý na vektor magnetické indukce. Elektrony tudíž vlivem Lorentzovy síly opisovaly kružnici, jejíž poloměr je závislý na síle magnetického pole.

Rychlost, se kterou elektrony vylétávají otvorem v anodě, je dána potenciálním rozdílem mezi elektrodami. Pro velikost i směr Lorentzovy síly platí stejný vztah jako v předchozím případě, působí také jako dostředivá síla. Získali jsme proto vzorec pro měrný náboj elektronu:

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

Provedli jsme celkem 10 měření průměru opsané kružnice pro různé síly magnetického pole.

3 Výsledky

Měřením v podélném magnetickém poli jsme došli k výsledku $(1,95 \pm 0,05) \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

A při měření v kolmém magnetickém poli jsme naměřili hodnotu $(1,94 \pm 0,10) \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Tabulková hodnota je $1,76 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$, tudíž relativní odchylka při použití první metody činí 10,80%, při použití druhé 10,23%. Měření pomocí podélného magnetického pole považujeme za přesnější, protože bylo méně závislé na pozorovateli.

Poděkování

Děkujeme:

- Supervizorovi miniprojektu Ing. Petru Gallusovi za cenné rady
- Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské za poskytnutí zázemí
- Organizátorům Týdne vědy

Reference:

[1] <http://praktika.fjfi.cvut.cz/edm/> [cit. 21. 6. 2011]

[2] <http://www.cs.helsinki.fi/group/goa/hardware/output/lect2a1.html> [cit. 21. 6. 2011]

[3] KOŠTÁL, K.: *Sbírka fyzikálních vzorců a pouček* SNTL, 1970