

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI ČVUT V PRAZE

Datum měření: 10.5.2011	Jméno: Jakub Kákona
Pracovní skupina: 4	Ročník a kroužek: Pa 9:30
Spolupracovníci: Jana Navrátilová	Hodnocení:

Měření měrného náboje elektronu

Abstrakt

V tomto měření jsme použili dvě metody určení měrného náboje elektronu. Jednak metodou fokusace elektronového svazku v podélném magnetickém poli. A potom i měření zakřivení dráhy elektronů magnetickém poli kolmém k rychlosti elektronů.

1 Úvod

1.1 Zadání

1. Sestavte úlohu pro měření e/m fokusací podélným magnetickým polem a proveďte měření pro čtyři různé hodnoty urychlovacího napětí U v rozmezí 950 - 1250 V. Pomocné napětí volte 140 V.
2. Změřte měrný náboj elektronu e/m ze zakřivení dráhy elektronů v kolmém magnetickém poli. Měření proveďte pro pět dvojic urychlovacího napětí a magnetizačního proudu. Vypočtete příslušné hodnoty měrného náboje a z nich určete střední hodnotu.
Doporučené hodnoty U a I jsou: 120 V/1,5 A; 140 V/1,5 A; 160V/2A; 180 V/2A; 200 V/2A.
3. Několikrát pootočte katodovou trubicí sem a tam vůči magnetickému poli a sledujte změnu trajektorie proudu elektronů. Uvidíte, že z kruhového tvaru ($\vec{v} \perp \vec{B}$) přejde na šroubovitý ($\vec{v} \cdot \vec{B} \neq 0$) a nakonec v přímku ($\vec{v} \parallel \vec{B}$). Nakreslete pozorované trajektorie do protokolu. Použijte napětí $U = 150V$ a proud $I = 1,5A$.

2 Pomůcky

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

3 Základní pojmy a vztahy

Měrný náboj elektronu je poměr mezi nábojem elektronu a jeho hmotností. Je tedy rozměru $[e/m] = C kg^{-1}$. Obě metody, které k měření použijeme, jsou založeny na vychylování nabitě částice pomocí magnetického pole Lorentzovou silou.

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

3.0.1 Měření e/m v podélném magnetickém poli

Popíšeme nyní chování svazku elektronů v rovnoběžném poli. Je vhodné si rozdělit rychlost \vec{v} letícího náboje na $v_{\perp} + v_{\parallel}$; složku kolmou, resp. rovnoběžnou vnějšmu magnetickému poli. Magnetická část Lorentzovy síly pak má tvar

$$\vec{F} = e \cdot (\vec{v}_{\perp} \times \vec{B}). \quad (2)$$

\vec{F} je pak kolmá k \vec{v} , v_{\perp} i k \vec{B} . A velikosti obou složek rychlosti zůstávají konstantní. Elektron se pohybuje po spirále poloměrem r s konstantní dobou „oběhu“

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

která nezávisí na poloměru spirály.

Svazek elektronů není příliš divergentní a proto můžeme aproximovat $v_{\parallel} = v$. Díky tomu se mírně divergentní svazek ve vzdálenosti l od anody opět z fokusuje.

Využitím toho, že

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

můžeme psát vztah pro fokální vzdálenost

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

ze kterého lze vyjádřit

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

kde B je magnetické pole cívky, pro něž platí

$$B = \mu_0 \frac{N}{l'} I.$$

I je proud v ampérech tekoucí cívkou, $l' = 0,381$ m je délka cívky a $N = 174$ je počet závitů cívky.

3.0.2 Měření e/m v příčném magnetickém poli

Jiné uspořádání dostaneme, bude-li převládající složka rychlosti kolmá k magnetickému poli. Zajistíme-li vhodným uspořádáním $v_{\parallel} = 0$, budou se elektrony pohybovat po kružnici o poloměru r . Elektrony vyletují otvorem v anodě; jejich dráha se zviditelní díky ionizaci velmi zředěného plynu.

Pro hledaný měrný náboj bude platit:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2}, \quad (3)$$

kde U je urychlovací napětí.

Magnetické pole je vytvářeno Helmholtzovými cívkami, pro něž platí výrazy

$$B = \mu_0 \frac{NR^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} I = kI,$$

$$k = \mu_0 \frac{NR^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} = 0,781 \cdot 10^{-3} T \cdot A^{-1}.$$

4 Výsledky

4.0.3 Měření e/m v podélném magnetickém poli

Vzdálenost anody od fluorescenčního stínítka je dána konstrukcí přístroje $l = 0,249$ m. Pomocné napětí na A_1 jsme volili 140 V. Výsledné hodnoty měrného náboje elektronu pro různé volby urychlovacího napětí jsou uvedeny v tabulce 1.

Nakonec jsme měrný náboj elektronu v podélném magnetickém poli stanovili na

$$e/m = 1,860.05 \cdot 10^{11} C kg^{-1} \quad (4)$$

4.0.4 Měření e/m v příčném magnetickém poli

Měření jsme provedli pro 7 dvojic urychlovacího napětí U a magnetizačního proudu I podle doporučení ze zadání úlohy. Příslušné hodnoty poloměru r kruhové dráhy elektronů a z nich vypočtené měrné náboje jsou v tabulce 2.

Celkově jsme získali velikost měrného náboje elektronu měřenou v příčném magnetickém poli.

$$e/m = (2.06 \pm 0.05) \cdot 10^{11} C kg^{-1}. \quad (5)$$

Tato hodnota však neodpovídá tabulkové hodnotě $1.76 \cdot 10^{11} C/kg$

Předpokládáme, že systematická chyba vzniká deformací pole Helmholtzových cívek.

Dále jsme pozorovali tvar trajektorie elektronů vyletujících z elektronového děla, pro různá pootočení baňky vůči magnetickému poli. Z počátečního kruhového tvaru přešla trajektorie na šroubovitou ($\vec{v} \perp \vec{B}$) a nakonec v přímku ($\vec{v} \parallel \vec{B}$).

5 Diskuse

Námi změřený údaj $e/m = 1,86 \pm 0.05 \cdot 10^{11} C kg^{-1}$ v podélném magnetickém poli se více blíží tabulkové hodnotě

$$e/m_{tab} = 1.76 \cdot 10^{11} C kg^{-1} \quad (6)$$

Než metoda měření v příčném magnetickém poli. Je to pravděpodobně způsobeno větší kompaktností aparatury a tudíž i menší deformací magnetického pole okolními předměty. Avšak i přes to na stínítku aparatury vzniká ještě i parazitní obraz, který značně komplikuje měření. Neboť každý z obrazů se fokusuje při jiné velikosti urychlovacího napětí.

U měření v příčném poli je zase komplikací fakt, že stopa elektronové dráhy nemá příliš velký kontrast a je tedy problematické určení jejího přesného středu. Navíc skleněná baňka přístroje vytváří čočku, která mírně zkresluje obraz na straně měřidel.

6 Závěr

Podarilo se nám dvěma způsoby změřit měrný náboj elektronu s nejlepším výsledkem, $e/m = 1,86 \pm 0,05 \cdot 10^{11} C kg^{-1}$ který se uspokojivě přibližuje tabulkové hodnotě $e/m_{tab} = 1.76 \cdot 10^{11} C kg^{-1}$

Reference

- [1] <http://praktika.fjfi.cvut.cz/edm> -Zadání úlohy

U [V]	I [A]	e/m [C/kg]
950	4,59	1,74E+11
1250	5,03	1,91E+11
1100	4,77	1,87E+11
1000	4,60	1,83E+11
1200	4,91	1,93E+11

Tabulka 1: Měření měrného náboje elektronu v podélném magnetickém poli.

U [V]	I [A]	r [cm]	e/m [C kg ⁻¹]
120	1,5	29,75	1,98E+011
140	1,5	30,25	2,23E+011
160	2	25,25	2,06E+011
180	2	26,5	2,10E+011
200	2	29	1,95E+011

Tabulka 2: Měření měrného náboje elektronu v příčném magnetickém poli.