

# 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 magnetickým 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

### 2.1 Měření měrného náboje elektronu

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

## 3 Základní pojmy a vztahy

### 3.1 Měření měrného náboje elektronu

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.

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

### 3.1.1 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.

### 3.1.2 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

### 4.1 Měření měrného náboje elektronu

#### 4.1.1 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

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

#### 4.1.2 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 vylétujících 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 <sup>-1</sup> ]
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.