

# Měrný náboj elektronu

Borovec O.

o.borovec@gmail.com

Jarosil L.

jarosil@seznam.cz

Stejskal J.

stejskal.honza@gmail.com

## Abstrakt

Cílem této práce bylo experimentální stanovení hodnoty měrného náboje elektronu, což je velice důležitá fyzikální konstanta. Měření bylo provedeno v kolmém i podélném magnetickém poli, přičemž v obou případech bylo dosaženo poměrně vysoké přesnosti. Pro podélné mg. pole nám vyšlo  $1,786 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$  s odchylkou 4,1%, pro příčné  $1,789 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$  s odchylkou 3,3%, tudíž odchylka od tabulkové hodnoty  $1,760 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$  ani v jednom z případů nepřesáhla 1,6%.

## 1 Úvod

V rámci fyzikálního týdne jsme se zúčastnili miniprojektu měření měrného náboje elektronu, který je vyjádřen poměrem jeho náboje a hmotnosti. Měřili jsme dvěma metodami, a to v podélném a příčném magnetickém poli. Obě metody jsou založeny na chování elektronů v magnetické poli.

## 2 Metody měření

### 2.1 Příčné magnetické pole

Na částici s nenulovým elektrickým nábojem působí v magnetickém poli síla. Pro elektron je daná vztahem:

$$\vec{F}_L = e \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

kde  $e$  vyjadřuje elementární náboj elektronu,  $\vec{v}$  vektor rychlosti elektronu a  $\vec{B}$  vektor magnetické indukce. Tuto sílu nazýváme Lorentzova. Maximální hodnoty nabývá jsou-li oba vektory vzájemně kolmé, nulové pak jsou-li rovnoběžné. Jestliže jsou kolmé můžeme vztah (1) zjednodušit na:

$$F_L = e \cdot v \cdot B \quad (2)$$

Dráha elektronu s vektorem rychlosti kolmým k indukčním čarám je pak touto silou zakřívována a výsledná trajektorie je tedy kružnicí. Zároveň je při tomto pohybu Lorentzova síla rovna síle odstředivé vyjádřené vztahem:

$$F_o = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (3)$$

Z rovností (2) a (3) (odstředivé a Lorentzovy síly) plyne:

$$r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B} \quad (4)$$

Uvažujeme-li, že je elektron urychlen napětím  $U$  je jeho kinetická energie rovna součinu tohoto napětí a jeho náboje:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = U \cdot e \quad (5)$$

My jsme používali aparaturu s variabilním urychlovacím napětím a se dvěma Helmholtzovými cívkami, které vytváří magnetické pole o indukci:

$$B = k \cdot I \quad (6)$$

Kde  $k$  je konstanta určená vlastnostmi cívek (počet závitů, poloměr, vzájemná vzdálenost) a  $I$  proud.

Dosadíme-li rychlost  $v$  vyjádřenou ze vztahu (5) a magnetickou indukci  $B$  (6) do rovnosti (4) dostaneme po jednoduchých úpravách:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 \cdot k^2 \cdot I^2} \quad (7)$$

Při známých parametrech cívek, dané velikosti proudu  $I$  jimi procházejícího a známé hodnotě urychlovacího napětí  $U$  lze pak snadno změřením poloměru  $r$  kruhové dráhy elektronu spočítat hodnotu konstanty  $e/m$ .

### 2.1.1 Měření

Elektrony byly na naší aparatuře emitovány katodou (při napětích 100-300 V) uzavřenou v baňce ve které ionizací plynu zanechávaly optickou stopu. Měření byla prováděna při různých vstupních napětích a proudech.

**Tabulka výsledků 1: Měření v příčném magnetickém poli**

	1	2	3	4	5	6	7
$U$ [V]	100	120	140	160	180	200	210
$I$ [A]	1,35	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
$r$ [m]	0,032	0,0285	0,0315	0,0325	0,0345	0,036	0,037
$e/m$ [ $C \cdot kg^{-1} \cdot 10^{11}$ ]	1,76	1,78	1,70	1,83	1,83	1,86	1,85

	8	9	10	11	12	13	14
$U$ [V]	220	240	260	260	280	280	300
$I$ [A]	1,65	1,65	1,5	1,65	1,5	1,65	1,65
$r$ [m]	0,0385	0,04	0,0455	0,0425	0,04725	0,045	0,04725
$e/m$ [ $C \cdot kg^{-1} \cdot 10^{11}$ ]	1,79	1,81	1,83	1,74	1,83	1,67	1,62

průměr:	1,78 $C \cdot kg^{-1} \cdot 10^{11}$
odchylka měření:	4,06 %

## 2.2 Podélné magnetické pole

Druhá metoda, kterou jsme měřili využívala podélného magnetického pole. Metoda opět využívá vlastností pohybu elektronu vlivem magnetického pole. Rozžhavená cívka emituje elektrony ve směru veskrze různém od vektoru magnetické indukce solenoidu. Poté co je elektron emitován je urychlen vysokým napětím  $U$  ve směru siločáry čímž se jeho původní rychlost v tomto směru stává zanedbatelnou, ale složka rychlosti kolmá k vektoru magnetické indukce způsobuje rotaci kolem indukční čáry o konstantní úhlové rychlosti  $\omega$ . Na obrazovce je patrný vycházející proud elektronů. Změnami vstupního proudu cívky vytvářející magnetické pole můžeme obraz fokusovat. V momentu nejostřejšího obrazu probíhá rotace mezi emitující cívkou a stínítkem jednu periodu. Obdobným způsobem jako v předešlém případě můžeme odvodit vztah:

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 \cdot U \cdot l^2}{\mu_0^2 \cdot N^2 \cdot I^2 \cdot l^2} \quad (8)$$

$U$  je urychlovací napětí,  $l$  redukovaná délka (0,381 m),  $N$  počet závitů cívky,  $I$  proud procházející cívkou a  $l$  délka pohybu elektronu bez urychlení v magnetickém poli.

### 2.2.1 Měření

Elektrony byly na aparatuře opět emitovány katodou a urychlovány napětím od 900 do 1100 V čímž získali rychlost přes  $600 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  a dopadali na stínítko, kde zanechávaly optickou stopu. Měření byla prováděna při různých vstupních napětích a proudech.

#### Tabulka výsledků 2: Měření v podélném magnetickém poli

	1	2	3	4	5	6
$U$ [V]	1000	1050	1100	900	950	1000
$I$ [A]	4,65	4,75	4,75	4,5	4,6	4,65
$e/m$ [ $\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot 10^{11}$ ]	1,78	1,79	1,88	1,71	1,73	1,78

průměr	$1,78 \text{ C}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot 10^{11}$
odchylka	3,27%

## 3 Závěr

Měrný náboj elektronu jsme změřili dvěma metodami lišícími se směrem magnetického pole:

- 1) v příčném magnetickém poli s výsledkem  $1,7846\cdot 10^{11} \text{ C}\cdot\text{kg}^{-1}$
- 2) v podélném magnetickém poli s výsledkem  $1,7792\cdot 10^{11} \text{ C}\cdot\text{kg}^{-1}$

Odchylka od tabulkové hodnoty je způsobena nepřesností přístrojů, měření a rozbíháním elektronů ve svazcích.

## 4 Poděkování

Děkujeme všem organizátorům fyzikálního týdne, že nám umožnili vyzkoušení prostředí i práce na FJFI, jakožto i našemu supervizorovi Ondřeji Kudláčkovi za ochotnou a trpělivou pomoc při našem bádání.

## 5 Reference

[1] *Měrný náboj elektronu* [online]. 2007 [cit. 2008-04-28]. Dostupný z WWW: <<http://praktika.fjfi.cvut.cz/edm/.pdf>>.