

Jak elektron k náboji přišel

M. Kofroňová*, P. Veselá**, L. Kuneš***

Gymnázium Příbram Legionářů*, GOB Telč**, Gymnázium Prachatice***
marketa.kofronova@seznam.cz, pavlavesela1@seznam.cz, kunamars@seznam.cz

Abstrakt

Náš projekt se zabýval způsoby měření měrného náboje elektronu. Nejprve jsme využili účinku přímého magnetického pole a následně pole nepřímého. K tabulkové hodnotě se nám podařilo velice dobře přiblížit.

1 Úvod

Měrný náboj elektronu je fyzikální konstantou určenou podílem elektrického náboje a hmotnosti. To jsou rovněž fyzikální konstanty, ovšem za reálných podmínek nezměřitelné. Možnost experimentálního měření měrného náboje byla proto zásadní pro bližší určení vlastností elektronu. Poprvé toto měření provedl J. J. Thomson, který využíval ohybu dráhy elektronu v magnetickém poli. Za tento ohyb je zodpovědná Lorentzova síla. Naše skupina se pokusila tento experiment zopakovat a z naměřených hodnot určit měrný náboj elektronu.

2 Teoretický úvod

Během měření jsme využívali Lorentzovu sílu, která působí na částice letící magnetickým polem. Tato síla je určena vztahem

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

Velikosti této síly jde pak vyjádřit jako

$$|\vec{F}| = evB \sin \alpha. \quad (2)$$

Jelikož jsme ale pracovali pouze s částicemi pohybujícími se kolmo k magnetickému poli, rovnal se ve všech případech $\sin \alpha$ jedné, a nemuseli jsme ho tedy brát v potaz. Dále jsme využili toho, že Lorentzova síla v každém okamžiku směřuje do středu kružnice, odpovídající dráze částice. Je tedy rovna síle dostředivé. Pokud tyto dvě síly dosadíme do rovnosti, získáme

$$evB = \frac{mv^2}{r}. \quad (3)$$

Úpravou této rovnosti se během pár kroků dostaneme k vyjádření úhlové rychlosti pomocí magnetické indukce a měrného náboje:

$$\omega = B \frac{e}{m}. \quad (4)$$

Ze zákona zachování energie platí:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}, \quad (5)$$

čehož využijeme k dosažení do předešlé rovnosti. Několika úpravami posléze získáme vyjádření měrného náboje v příčném magnetickém poli, kterého využijeme při zpracování naměřených hodnot:

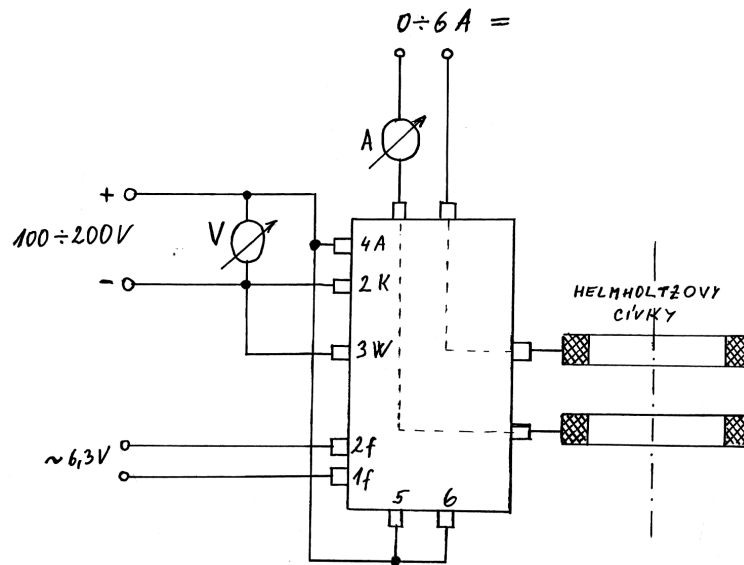
$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2}. \quad (6)$$

Při měření měrného náboje v podélném magnetickém poli musíme brát v úvahu, že elektrony musí urazit vzdálenost $l = vT = \frac{2\pi v}{\omega}$. Lorentzova síla působí pouze na kolmý průmět rychlosti elektronů. Poté pro měrný náboj platí:

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{B^2 l^2}. \quad (7)$$

3 Experimentální uspořádání

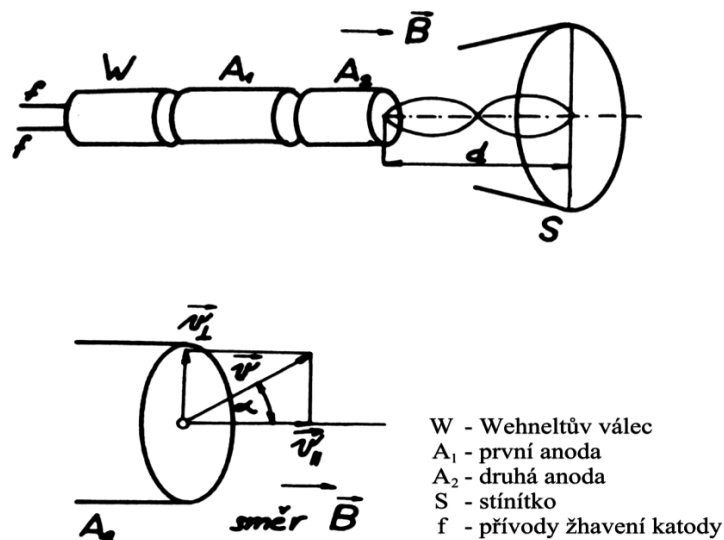
3.1 Měření v příčném poli



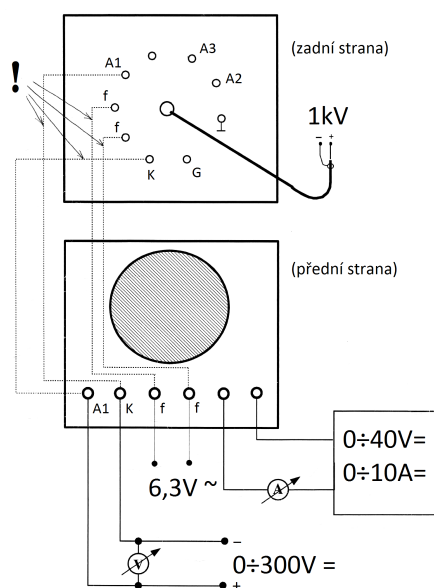
Obrázek 1: Schéma zapojení aparatury pro úlohu 2, pohled shora.

Použili jsme již sestavenou aparaturu a zapojili ji dle schématu na obrázku 1. Aparatura sestávala z Helmholtzových cívek, katodové trubice uzavřené v baňce, která byla naplněná zředěným vodíkem. Po zapojení bylo možné v baňce pozorovat trajektorii elektronů, která byla podle otočení katodové trubice kružnicová, šroubovicová nebo přímková. Během experimentu jsme hodnoty veličin U a I libovolně volili a průměr $d = 2r$ trajektorie elektronů odečetli na zrcadlovém měřítku umístěném těsně za katodovou trubicí.

3.2 Měření v podélném poli



Obrázek 2: Uspořádání elektronové optické soustavy obrazovky a trajektorie elektronů při zaostření podélným magnetickým polem.



Obrázek 3: Schéma zapojení aparatury pro úlohu 1.

V této části jsme již sestavenou aparaturu zapojili podle obrázku 3. Tato aparatura sestávala z katodové trubice, zaostřovací soustavy, solenoidu a osciloskopické obrazovky (obrázek 2). Při měření jsme nejprve nastavili pomocné napětí na A_1 na hodnotu okolo 150 V. Poté jsme si na zdroji vysokého napětí nastavili hodnotu urychlovacího napětí U . Následně jsme sledovali obraz na obrazovce a otáčeli regulátorem proudu. V momentě zaostření svazku elektronů do malého bodu jsme odečetli hodnotu proudu I na ampérmetru A.

4 Vypracování

U [kV]	I [A]	e/m [C/kg*10 ⁹]
0,90	4,70	157,53
1,20	5,05	181,94
0,75	4,50	143,21
1,00	4,75	171,37
0,70	4,60	127,91
0,83	4,60	151,66
0,95	4,60	173,59
1,50	5,50	191,73
0,80	4,60	146,18
1,11	4,90	178,75
1,40	5,35	189,12
1,07	4,90	172,31
1,02	4,80	171,18

Obrázek 4: Naměřené hodnoty - Měření v podélném poli. U - napětí; I - proud; $\frac{e}{m}$ - měrný náboj. Pátou hodnotu v tabulce jsme do zpracování dat nezahrnuli, jelikož oproti ostatním hodnotám jde o hrubou chybu

Naměřená hodnota měrného náboje z měření v podélném poli je $\frac{e}{m} = (175 \pm 27 \pm 7) \cdot 10^9$ C/kg, kde první chyba je statistická a druhá chyba je systematická.

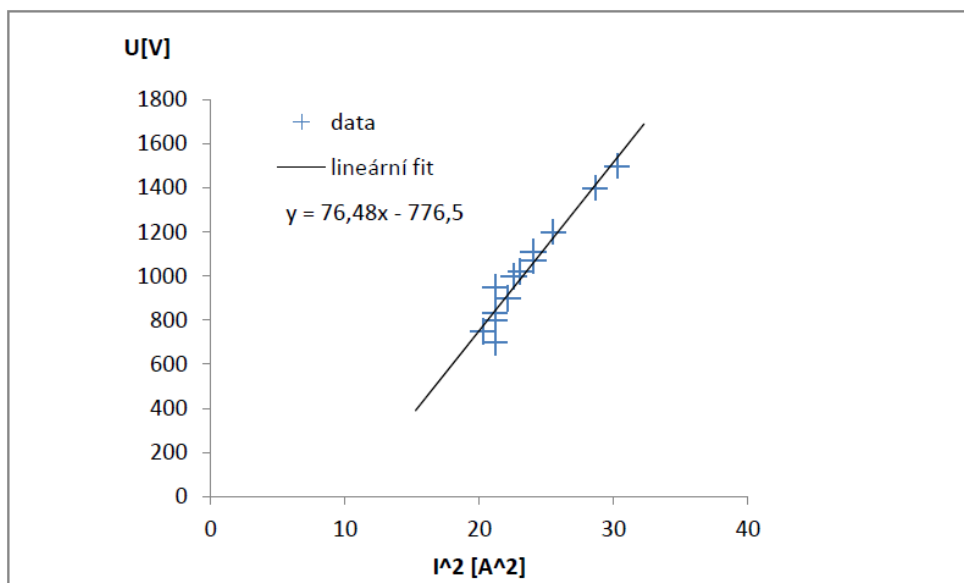
I [A]	U [V]	d [cm]	e/m [C/kg*10 ⁹]
1,00	100	8,20	195,06
0,80	180	14,10	185,54
0,80	120	11,60	182,76
0,75	150	13,45	193,34
0,85	100	9,50	201,14
0,95	85	6,40	301,58
1,10	90	8,20	145,08
1,19	77	7,10	141,47
0,92	180	14,30	136,40
0,55	110	15,50	198,51

Obrázek 5: Naměřené hodnoty - Měření v příčném poli. I - proud; U - napětí; d - průměr kružnice; $\frac{e}{m}$ - měrný náboj. Z důvodu velké odchylky v porovnání s ostatními získanými daty jsme vynechali šestou hodnotu

Z tohoto měření je naměřená hodnota měrného náboje $\frac{e}{m} = (166 \pm 19 \pm 2) \cdot 10^9$ C/kg, kde první chyba je statistická a druhá chyba je systematická.

Pro zajímavost jsme vyzkoušeli nalézt hodnotu měrného náboje pomocí lineární regrese. K tomu jsme využili rovnici (7), z níž jsme vyjádřili závislost napětí na kvadrátu proudu. Tato závislost by měla být lineární. Ze směrnice přímky je možné určit měrný náboj.

Touto metodou vyšla hodnota $\frac{e}{m} = 261 \cdot 10^9$ C/kg.



Obrázek 6: Závislost U na I^2 , určení $\frac{e}{m}$ pomocí lineární regrese.

5 Shrnutí

Tabulková hodnota měrného náboje elektronu je $175,88 \cdot 10^9$ C/kg. První metodou nám vyšla hodnota $\frac{e}{m} = (175 \pm 27 \pm 7) \cdot 10^9$ C/kg, druhou metodou vyšla hodnota $\frac{e}{m} = (166 \pm 19 \pm 2) \cdot 10^9$ C/kg. První výsledek se hodnotě z tabulek těsně blíží, na druhou stranu při pohledu na odchylky zjistíme, že u něj dochází k velkému rozptylu hodnot. Pořád je ale v porovnání s ním druhé měření velmi nepřesné. Chybovost by se dala přičítat zastaralé technice a subjektivnímu vnímání momentu, kdy dojde k zaostření. Z lineární regrese vyšla hodnota $\frac{e}{m} = 261 \cdot 10^9$ C/kg, která vychází pouze řádově.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali našemu supervizorovi Zbyňku Nguyenovi za nedocenitelnou pomoc při měření a zpracování dat, dále pak FJFI ČVUT za přístup k přístrojům, které byly pro uskutečnění experimentu nezbytné. V neposlední řadě děkujeme i celému organizačnímu týmu Týdne vědy.

Reference

- [1] Z. Horová *Demonstrace základních vlastností šíření vln na datech umělých družic*. http://fyzweb.cz/materialy/hvizdy/hvizdy_cele.pdf. 2007, online, cit. 16.6.2015.
- [2] Kolektiv KF FJFI ČVUT *Měrný náboj elektronu*. <http://praktikum.fjfi.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=201>, online, cit. 16.6.2015.