

Stanovení měrného náboje elektronu

Martin Šimák

Úkol

Cíl laboratorní úlohy je stanovit měrný náboj elektronu.

Pomůcky

- Zdroj pro napájení Helmholtzových cívek
- Regulátor napětí
- Omezovač proudu
- Ampérmetr pro měření proudu Helmholtzovými cívkami; $\Delta I = 0,001 \text{ A}$
- Helmholtzovy cívky
- Baňka naplněná argonem s elektronovou tryskou
- Zdroj nízkého napětí pro napájení elektronové trysky
- Potenciometr pro nastavení mřížkového napětí $0 - 50 \text{ V}$; $\Delta U = 0,1 \text{ V}$
- Potenciometr pro nastavení anodového napětí $0 - 300 \text{ V}$; $\Delta U = 0,1 \text{ V}$
- Výstup $6,3 \text{ V}$ pro žhavení katody
- Voltmetr pro určení urychlovacího napětí

Postup měření

1. Před zapnutím napájecího zdroje elektronové trysky musí být potenciometry nastaveny na minimální (nulovou) hodnotu.
2. Po zapnutí napájecího zdroje je třeba nechat katodu elektronové trysky cca 2 minuty žhavit, než začneme zvyšovat urychlovací napětí. Tím se šetří životnost katody elektronové trysky.
3. Pro různá urychlovací napětí U (experiment dobře funguje pro napětí větší než cca 100 V) najdeme takové proudy Helmholtzovými cívkami (a tedy magnetickou indukci), kdy elektrony dopadají na luminiscenční příčky, tj., kdy lze určit cyklotronový poloměr jejich trajektorií.
4. Pro jednotlivé kombinace nastavených a naměřených hodnot vypočteme měrný náboj elektronu. Z vypočtených hodnot určíme aritmetický průměr a nejistotu měření metodou redukce.
5. Poté, co doměříme, nastavíme potenciometry zdroje anodového a mřížkového napětí na minimum – šetříme tím životnost katody elektronové trysky.

Záznam měření a výpočet

#	U [V]	2R _c [cm]	I [A]	B [mT]	e/me [C/kg]
1	191	4	3.54	2.45	1.591 · 10 ¹¹
2	191	6	2.31	1.6	1.658 · 10 ¹¹
3	191	8	1.7	1.18	1.715 · 10 ¹¹
4	191	10	1.36	0.94	1.729 · 10 ¹¹
5	153	4	3.12	2.16	1.64 · 10 ¹¹
6	153	6	2	1.38	1.785 · 10 ¹¹
7	153	8	1.5	1.04	1.768 · 10 ¹¹
8	153	10	1.18	0.82	1.82 · 10 ¹¹
9	230	4	3.87	2.68	1.601 · 10 ¹¹
10	230	6	2.54	1.76	1.65 · 10 ¹¹
11	230	8	1.9	1.32	1.65 · 10 ¹¹
12	230	10	1.5	1.04	1.701 · 10 ¹¹

Magnetickou indukci B jsme zde zjistili na základě naměřeného proudu I procházejícího Helmholtzovými cívkami dle vztahu

$$B \approx B_0 = \frac{8}{5\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N I}{a},$$

kde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$ je permeabilita vakua, N je počet závitů každé z cívek (v tomto případě N = 154), I je velikost proudu protékajícího cívkami a a je jejich poloměr (v tomto případě a = 200 mm).

Hodnotu měrného náboje elektronu (jak jsme zjistili v teoretickém úvodu) lze vyjádřit jako

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2U}{B^2 R_c^2}.$$

Nejpravděpodobnější hodnotu měření získáme pomocí aritmetického průměru naměřených hodnot

$$\overline{\left(\frac{e}{m_e}\right)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{e}{m_e}\right)_i \approx 1.6923 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

Dále nejistotu měření určíme metodou redukce jako

$$u\left(\overline{\left(\frac{e}{m_e}\right)}\right) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{e}{m_e}\right)_i - \overline{\left(\frac{e}{m_e}\right)}\right)^2}{n(n-1)}} \approx 0.2108 \frac{\text{C}}{\text{kg}},$$

kde (stejně jako u aritmetického průměru hodnot) označujeme jako $(e/m_e)_i$ hodnotu měrného náboje elektronu v i-tém měření.

Výsledek měření

Měřením jsme zjistili hodnotu měrného náboje elektronu

$$\frac{e}{m_e} = (1.7 \pm 0.21) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}},$$

kde hodnota za znakem \pm udává nejistotu měření určenou metodou redukce.

Tabulková hodnota měrného náboje elektronu je

$$\frac{e}{m_e} = (1.75882012 \pm 0.00000015) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}},$$

odchylka naměřených hodnot od hodnot tabulkových tak činí 3,78 %. Nesrovnalosti s tabulkovými hodnotami byly nejspíše způsobeny nepřesnostmi námi provedeného měření.

Seznam použité literatury

- B. Sedlák, I. Štoll: Elektřina a magnetismus, Academia, Praha, 2002
- Milan Červenka: Zpracování fyzikálních měření, FEL ČVUT 2013
- laboratorní server Herodes: <http://herodes.feld.cvut.cz>