

Pracovní úkoly

1. Pootáčením baňky nastavte elektronový paprsek kolmo k magnetickému poli. Přitom si všimněte, že pokud není elektronový paprsek přesně kolmý k magnetickému poli, tvoří jeho dráha v experimentálním prostoru šroubovici s konstantním stoupáním.
2. Pro celkové urychlovací napětí U_c elektronového svazku v rozmezí od 150 do 350 V určete magnetizační proudy I_m potřebné k tomu, aby byl průměr kruhové dráhy svazku 40, 60, 80 a 100 mm. Vhodnou volbou dílčích urychlujících napětí U_1 a U_2 docilujte co nejlepší fokusaci pozorovaného elektronového svazku. Pro každý průměr dráhy naměřte alespoň 10 hodnot.
3. Sestrojte graf závislosti U_c na druhé mocnině I_m pro jednotlivé průměry dráhy svazku. Regresí určete měrný náboj elektronu pro každý průměr dráhy. Diskutujte vliv průměru dráhy svazku na chybu určení e/m_e s přihlédnutím k nejistotě jejího určení.

Teoretická část

Měrný náboj elektronu je definován následujícím vztahem [1]:

$$\frac{e}{m_e} \quad (1)$$

Kde e je elektrický náboj elektronu a m_e je hmotnost elektronu. Podle [2] je $\frac{e}{m_e} = (1.758820024 \pm 0.000000011) \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Pokud se elektron pohybuje v magnetickém poli rychlostí v , působí na něj Lorentzova síla. Tato síla je kolmá k vektoru rychlosti i k vektoru magnetické indukce. To způsobí, že se elektron začne pohybovat po kružnici o poloměru r . Rychlost elektronu je určena urychlujícím napětím U . Velikost magnetické indukce je určena proudem I , který protéká cívkou. Při našem experimentu jsme použili cívky v Helmholtzově uspořádání. Cívky měly průměr $\rho_0 = 200 \text{ mm}$ a počet závitů byl $N = 154$. Vztah mezi jednotlivými veličinami je podle [1] (předpokládáme, že vektor magnetické indukce je kolmý k vektoru rychlosti):

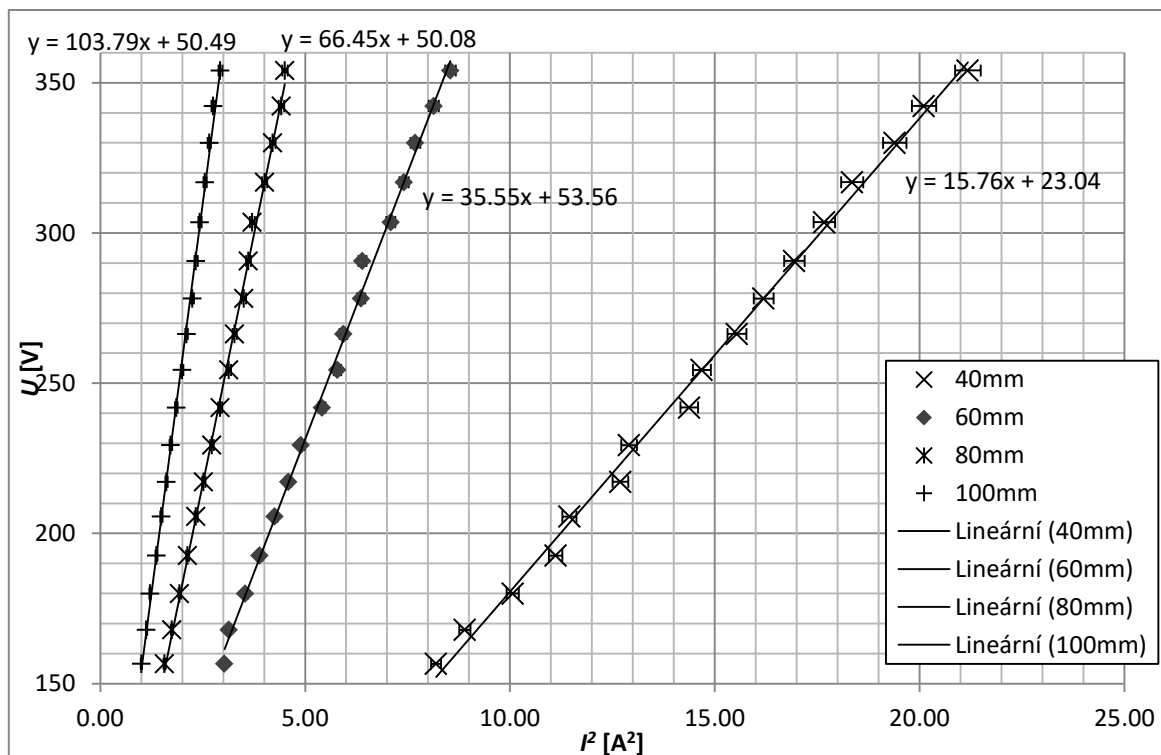
$$U = \frac{e}{m_e} \cdot \frac{32 \mu_0^2}{125} \cdot \frac{r^2 N^2}{\rho_0^2} \cdot I^2 \quad (2)$$

Kde μ_0 je permeabilita vakua. Pokud změříme závislost $U(I^2)$ pro pevně danou hodnotu poloměru dráhy elektronu r , můžeme ze směrnice a určit velikost měrného náboje $\frac{e}{m_e}$ podle následujícího vzorečku:

$$\frac{e}{m_e} = a \cdot \frac{125}{32 \mu_0^2} \frac{\rho_0^2}{r^2 N^2} \quad (3)$$

Výsledky měření

Graf 1 zobrazuje závislosti $U(I^2)$ pro různé průměry dráhy elektronů. V grafu jsou zakreslené chybové úsečky pro I^2 , ale jsou patrné pouze pro průměr 40 mm. Chyby určení napětí jsme zanedbali, jelikož se od chyb měření proudu lišili o několik řádů.



Graf 1: Závislosti $U(I^2)$ pro různé průměry dráhy elektronů

Tabulka 1 obsahuje měrné náboje elektronu spočtené pro jednotlivé poloměry r ze vzorce (3). Uvedené chyby jsou spočteny z nejistot směrnice fitu. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty námi naměřeného měrného náboje $\frac{e}{m_e}$ a tabulkové hodnoty $\left(\frac{e}{m_e}\right)_{tab}$ podle [2]. Experimentální hodnotu $\frac{e}{m_e}$ jsme určili jako průměr hodnot z tabulky 1. Uvedená chyba je směrodatná odchylka aritmetického průměru.

Tabulka 1: Hodnoty $\frac{e}{m_e}$ pro jednotlivé poloměry r

r [mm]	$\frac{e}{m_e} \cdot 10^{11}$ [C kg ⁻¹]
20	1.64 ± 0.03
30	1.65 ± 0.02
40	1.73 ± 0.02
50	1.73 ± 0.02

Tabulka 2: Experimentální a tabulková hodnota $\frac{e}{m_e}$

$\frac{e}{m_e} \cdot 10^{11}$ [C kg ⁻¹]	$\left(\frac{e}{m_e}\right)_{tab} \cdot 10^{11}$ [C kg ⁻¹]
1.69 ± 0.05	1.76

Diskuse

Z grafu 1 je patrné, že závislost $U(I^2)$ je lineární, což odpovídá teoretickým předpokladům. Na rozdíl od vzorce (2) máme ale v nafitované závislosti konstantní člen nezanedbatelné velikosti (okolo 50 V). Tento člen můžeme částečně vysvětlit tím, že elektron v baňce ztrácí energii interakcí se zředěným plynem. Naše hodnota měrného náboje se liší od tabulkové o 4%, což je uspokojivý výsledek.

Chybu měření voltmetru jsme oprávněně zanedbali, protože je o několik řádů nižší než chyba ampérmetru. Velmi nepřesné bylo určení poloměru dráhy, protože proud elektronů měl nenulovou šířku. Tuto chybu je možné považovat za statistickou. Chybu určení poloměru můžeme chápat také jako chybu určení proudu, protože jsme pro dané napětí a daný poloměr hledali hodnotu magnetizačního proudu.

Z tabulky 1 je patrné, že čím menší poloměr, tím více se výsledek liší od tabulkové hodnoty. Zároveň z grafu 1 je vidět, že pro nejmenší poloměr se dopouštíme největší chyby určení proudu.

Závěr

Naměřené závislosti odpovídají teoretickým předpokladům. Určili jsme měrný náboj elektronu $\frac{e}{m_e}$ jako: $\frac{e}{m_e} = (1.69 \pm 0.05) \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$.

Literatura

- [1] Určení měrného náboje elektronu z trajektorie ve zkřížených polích. *Fyzikální praktikum* [online].
[cit. 10. 12. 2017]. Dostupné z:
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_423.pdf
- [2] Fundamental Physical Constants. *National Institute of Standards and Technology* [online]
[cit. 13. 12. 2017]. Dostupné z:
<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?esme>