

Úkol

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 $\frac{e}{m_e}$ s přihlédnutím k nejistotě jejího určení.

Teorie

Měrným nábojem elektronu je myšlen podíl $\frac{e}{m_e}$ náboje elektronu a jeho hmotnosti. V tomto praktiku je měření pomocí zakřivení dráhy elektronu působením Lorentzovy síly.

Aparatura sestává ze skleněné baňky vyplněné argonem pod tlakem cca 0,1 Pa obklopené dvěma cívkami v Helmholtzově uspořádání. V baňce je umístěn zdroj elektronů a příčky umístěné od něj ve vzdálenosti dvojnásobku poloměru křivosti dráhy elektronu, která nás zajímá.

Protože se elektrony pohybují v rovině kolmé na osu cívek, působí na ně síla

$$F = evB, \quad (1)$$

kde B je magnetická indukce cívek a v rychlost elektronu. Ta se dá vyjádřit jako

$$v = \sqrt{\frac{2eU_c}{m_e}}, \quad (2)$$

kde $U_c = U_1 + U_2$ je celkové urychlovací napětí, U_1 a U_2 jsou nezávisle nastavitelná napětí užívaná k nastavení fokusace elektronového svazku.

Síla F zakřivuje dráhu elektronů na kružnici o poloměru r :

$$F = m_e \frac{v^2}{r}. \quad (3)$$

Pro magnetickou indukci B platí

$$B = \frac{8\mu_0}{5\sqrt{5}} \frac{NI_{mag}}{\rho_0} \quad (4)$$

Ze vztahů uvedených výše dostáváme

$$\frac{e}{m_e} = \frac{125U_c}{32r^2} \frac{\rho_0^2}{\mu_0^2 N^2 I_{mag}^2}. \quad (5)$$

V tomto případě je výhodnější získat měrný náboj elektronu lineárním fitem podle rovnice

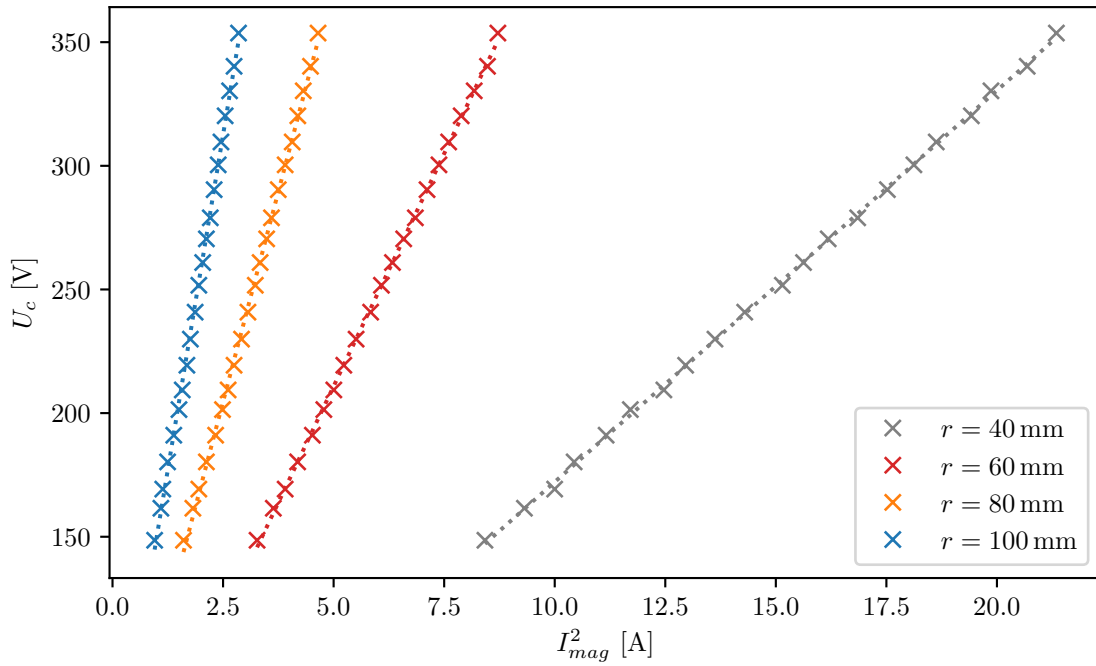
$$U_c = kI_{mag}^2 + c, \quad (6)$$

kde

$$k = \frac{32r^2}{125} \frac{\mu_0^2 N^2}{\rho_0^2} \frac{e}{m_e}. \quad (7)$$

Výsledky

Po pečlivém natočení baňky do správné pozice bylo pro každý ze zadaných poloměrů naměřeno 21 dvojic hodnot urychlovacího napětí U_c a magnetizačního proudu I_{mag} . Graf na obrázku zobrazuje naměřené závislosti $U_c(I_{mag})$ pro zadané poloměry. Pro každou ze závislostí byl proveden fit podle (6).



Obrázek 1: Závislost $U_c(I_{mag})$ pro čtyři poloměry zakřivení dráhy elektronů

Parametry k fitů jsou

$$k_{r=20\text{ mm}} = (15,83 \pm 0,08) \text{ V A}^{-2},$$

$$k_{r=30\text{ mm}} = (37,63 \pm 0,19) \text{ V A}^{-2},$$

$$k_{r=40\text{ mm}} = (68,0 \pm 0,6) \text{ V A}^{-2},$$

$$k_{r=50\text{ mm}} = (108,4 \pm 1,1) \text{ V A}^{-2}.$$

Podle rovnice (7) jsme získali hodnoty měrného náboje

$$\begin{aligned}\left(\frac{e}{m_e}\right)_{r=20\text{ mm}} &= (1,65 \pm 0,17) \text{ C kg}^{-1}, \\ \left(\frac{e}{m_e}\right)_{r=30\text{ mm}} &= (1,74 \pm 0,12) \text{ C kg}^{-1}, \\ \left(\frac{e}{m_e}\right)_{r=40\text{ mm}} &= (1,77 \pm 0,09) \text{ C kg}^{-1}, \\ \left(\frac{e}{m_e}\right)_{r=50\text{ mm}} &= (1,81 \pm 0,07) \text{ C kg}^{-1}.\end{aligned}$$

Chybu hodnot poloměrů jsme určili na 1 mm.

Diskuse

Všechny získané hodnoty měrného náboje v rámci uvedené chyby odpovídají tabulkové hodnotě. Je zřejmé, že hodnoty určené pomocí dráhy elektronů s větším poloměrem křivosti jsou přesnější, především díky menší relativní chybě tohoto poloměru. Je dále zřejmé, že měření trpí jistou systematickou chybou, protože hodnoty s vyšším poloměrem již hodnotu měrného náboje nadhodnocují. Tato systematická chyba se též projevila v grafu 1, kde jsme ve fitovací funkci museli přidat aditivní konstantu, protože naměřené závislosti neprocházely nulou.

Závěr

Hodnoty měrného náboje určené v tomto praktiku jsou

$$\begin{aligned}\left(\frac{e}{m_e}\right)_{r=20\text{ mm}} &= (1,65 \pm 0,17) \text{ C kg}^{-1}, \\ \left(\frac{e}{m_e}\right)_{r=30\text{ mm}} &= (1,74 \pm 0,12) \text{ C kg}^{-1}, \\ \left(\frac{e}{m_e}\right)_{r=40\text{ mm}} &= (1,77 \pm 0,09) \text{ C kg}^{-1}, \\ \left(\frac{e}{m_e}\right)_{r=50\text{ mm}} &= (1,81 \pm 0,07) \text{ C kg}^{-1}.\end{aligned}$$

Reference

- [1] Pokyny k měření “Určení měrného náboje elektronu z trajektorie ve zkřížených polích”, dostupné z https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_423.pdf, 23. 10. 2018