

**FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM**

## Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Artem Gorodilov

Naměřeno: 11. března 2024

Obor: Astrofyzika

Skupina: Po 14:00

Testováno:

**Úloha č. A: Pohyb nábojů v elektrickém a magnetickém poli****1. Zadání**

1. Ověřit platnost vztahu (2) pro ohniskovou vzdálenost krátké magnetické čočky. Sestrojit graf závislosti  $U_a = f(I_f^2)$  a pomocí směrnice určit ohniskovou vzdálenost  $f$ .
2. Ověřit platnost vztahu (3) pro magnetické vychylování elektronového paprsku. Sestrojte grafy ukazující, zda závislost výchylky  $y$  a  $Y$  na hodnotách  $I_v$  a  $U_a$  resp. splňuje vztah (3).

**2. Teorie****2.1. Magnetická čočka**

Magnetická čočka je zařízení, které se používá k fokusaci elektronového paprsku. Elektrony jsou urychlovány anodovým napětím  $U_a$  a vychylovány magnetickým polem.

Pro krátkou magnetickou čočku platí vztah:

$$f = 98 \frac{r}{n^2} \frac{U_a}{I_f^2} \quad (1)$$

kde  $f$  je ohnisková vzdálenost,  $r$  je poloměr cívky,  $n$  je počet závitů cívky,  $U_a$  je anodové napětí a  $I_f$  je fokusovací proud.

Pro určení ohniskové vzdálenosti  $f$  musíme upravit vztah (1):

$$U_a = \frac{f}{98} \frac{n^2}{r} I_f^2 \quad (2)$$

**2.2. Magnetické vychylování**

Magnetické vychylování je jev, kdy je elektronový paprsek vychylován magnetickým polem. K tomuto jevu dochází působením Lorentzovy síly na elektrony v magnetickém poli.

$$y = \sqrt{\frac{e}{2m}} L_1 L_2 \frac{B}{\sqrt{U_a}} \sim I_v \cdot U_a^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

kde  $y$  je výchylka elektronového paprsku,  $e$  je náboj elektronu,  $m$  je hmotnost elektronu,  $L_1$  a  $L_2$  jsou dráhy elektronů v magnetickém poli (vysvětlení je uvedeno na obrázku (1)),  $B$  je intenzita magnetického pole,  $U_a$  je anodové napětí a  $I_v$  je vychylovací proud.

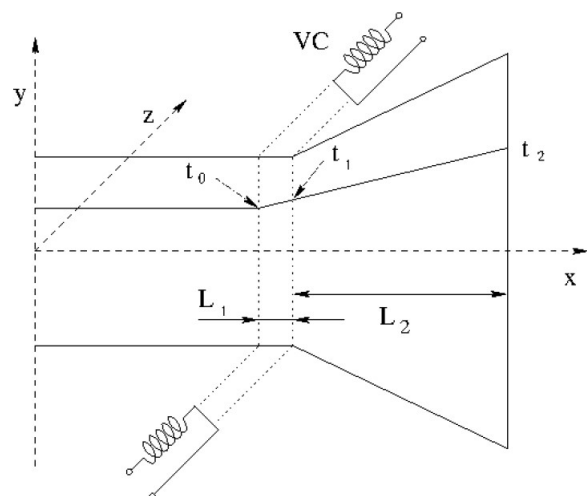


Figure (1) Silové působení magnetického pole na elektronový svazek. Elektrony vstupují do vychylovacího pole  $B$  v čase  $t_0 = 0$  a servávají v něm po dobu  $t_1$  na dráze  $L_1$ . Na dráze  $L_2$  po dobu  $t_2$  již nedochází k vychylování. Lorentzova síla je nulová, dráha elektronu je přímá.

**3. Měření**

Abyho bylo možné ověřit platnost vztahu (2), je třeba sestrojit graf závislosti  $U_a = f(I_f^2)$ .

Lineárním fitováním určíme směrnici  $\alpha$  a vynásobením získané hodnoty konstantou  $\frac{98r}{n^2}$  zjistíme ohniskovou vzdálenost čočky  $f$ . Výsledky jsou uvedeny na obrázku (2).

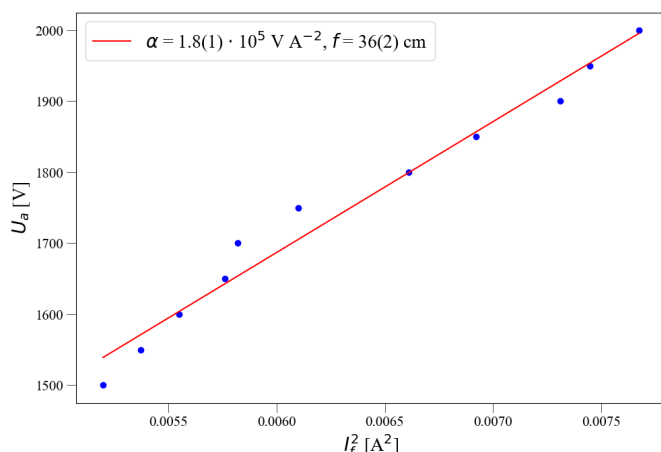


Figure (2) Určení ohniskové vzdálenosti krátké magnetické čočky pomocí závislosti  $U_a = f(I_f^2)$ .

Odtud zjistíme hodnotu  $f$ :

$$f = 36(2) \text{ cm}$$

Pro ověření platnosti vztahu (3) sestojíme grafy závislosti výchylky  $y$  a  $Y$  na hodnotách  $I_v$  a  $U_a$  resp. Výsledky jsou uvedeny na obrázcích (3) a (4).

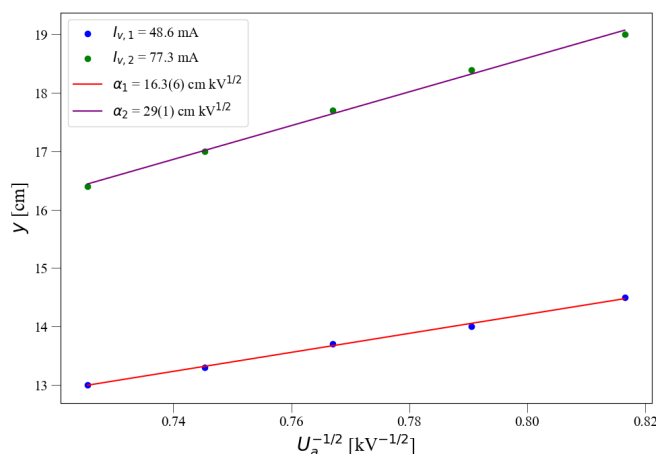


Figure (3) Závislost výchylky  $y$  na urychlovacím napětí  $U_a^{-1/2}$ .

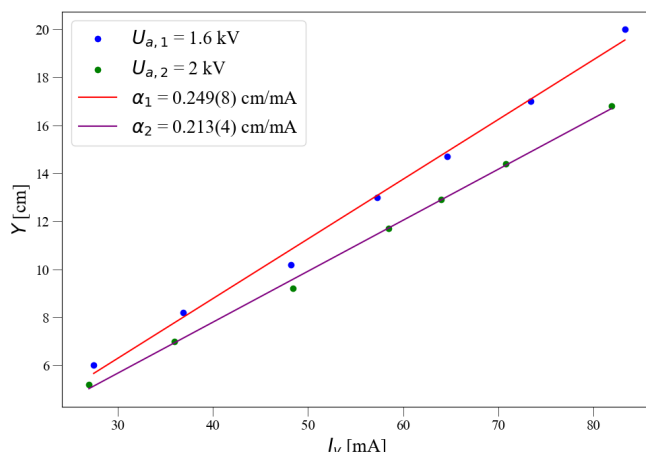


Figure (4) Závislost výchylky  $Y$  na vychylovacím proudu  $I_v$ .

Při určování závislosti výchylky  $y$  na urychlovacím napětí  $U_a^{-1/2}$  jsme použili dvě hodnoty výchylkového proudu:

$$I_{v,1} = 48.6 \text{ mA a } I_{v,2} = 77.3 \text{ mA}$$

Z grafu je patrné, že získaná data skutečně odrážejí spravedlnost vztahu (3). To je patrné z linearit dat. Zejména je vidět, že sklon grafu pro větší hodnotu vychylovacího proudu je větší než pro menší hodnotu.

$$\alpha_1 = 16.3(6) \text{ cm kV}^{1/2} < \alpha_2 = 29(1) \text{ cm kV}^{1/2}$$

Při určování závislosti výchylky  $Y$  na vychylovacím proudu  $I_v$  jsme použili dvě hodnoty urychlovacího napětí:

$$U_{a,1} = 1.6 \text{ kV a } U_{a,2} = 2 \text{ kV}$$

Z grafu je patrné, že získaná data skutečně odrážejí spravedlnost vztahu (3). To je patrné z linearit dat. Zejména je vidět, že sklon grafu pro větší hodnotu urychlovacího napětí je menší než pro větší hodnotu.

Tabulkové hodnoty použité při výpočtu:

$$r = 2 \text{ cm a } n = 1000$$

Výsledky měření jsou v tabulce (1).

K výpočtu veličin a jejich nejistot byla použita knihovna Uncertainties pro Python[1]. Chyby byly rozšířeny o Studentův koeficient (2-Tail Confidence Level) s ohledem na stupně volnosti pro každou hodnotu, pro interval spolehlivosti 68.27%.

## 4. Závěr

Získaná hodnota ohniskové vzdálenosti krátké magnetické čočky  $f = 36(2) \text{ cm}$  pravděpodobně neodpovídá skutečnosti v plném smyslu. To je patrné z fyzických rozměrů zařízení, které jsou menší než získaná ohnisková vzdálenost.

Dále jsme potvrdili platnost vztahu (3). To jsme udělali pomocí sestojení grafů závislosti výchylky  $y$  a  $Y$  na hodnotách  $I_v$  a  $U_a$  resp. Linearit dat a sklon grafů potvrzují spravedlnost vztahu (3).

## Odkazy

[1] Uncertainties, Dostupné online: <https://pypi.org/project/uncertainties>

## 5. Přílohy

### 5.1. Tabulka naměřených hodnot

$I_f[mA]$	$U_a[kV]$	$U_{a,1,2}[kV]^{[1]}$	$y_1[cm]^{[1]}$	$y_2[cm]^{[1]}$	$I_{v,1}[mA]^{[2]}$	$Y_1[cm]^{[2]}$	$I_{v,2}[mA]^{[2]}$	$Y_2[cm]^{[2]}$
72.1	1.5	1.5	14.5	19	83.3	20	81.9	16.8
73.3	1.55	1.6	14	18.4	73.4	17	70.8	14.4
74.5	1.6	1.7	13.7	17.7	64.6	14.7	64	12.9
75.9	1.65	1.8	13.3	17	57.3	13	58.5	11.7
76.3	1.7	1.9	13	16.4	48.2	10.2	48.4	9.2
78.1	1.75	2	12.5	16	36.9	8.2	36	7
81.3	1.8				27.5	6	27	5.2
83.2	1.85				18	3.9	18.1	13.4
85.5	1.9							
86.3	1.95							
87.6	2							

1. Hodnoty  $y_1$  a  $y_2$  byly změřeny pro hodnoty  $I_{v,1} = 48.6$  mA a  $I_{v,2} = 77.3$  mA resp. Pro oba měřené hodnoty napětí bylo stejné  $U_{a,1,2}$ .
2. Hodnoty  $Y_1$  a  $Y_2$  byly změřeny pro hodnoty  $U_{a,1} = 1.6$  kV a  $U_{a,2} = 2$  kV resp.