

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 11. března 2018

Obor: UF

Skupina: F4210/04

Testováno:

Úloha . 3: Pohyb nábojů v elektrickém a magnetickém poli

1. Úkoly

- Ověřte vzorec (2) pro ohniskovou vzdálenost krátké magnetické čočky. Sestrojte graf závislosti $U_a = f(I_f^2)$ a ze směrnice určete ohniskovou vzdálenost f .
- Ověřte platnost vztahu (3) pro magnetické vychylování elektronového paprsku. Sestrojte grafy, které prokáží, jestli závislosti výchylky y na veličinách I_a a U_a odpovídají vztahu 3.

2. Teorie

V některých přístrojích se využívá svazku elektronů, který můžeme fokusovat nebo vychylovat. Fokusaci svazku elektronů provádíme krátkou magnetickou čočkou, což je cívka, jejíž rotačně symetrické magnetické pole působící na krátkou část dráhy elektronů a zaostří původně divergentní svazek do bodové stopy na stínítku. Pro její ohniskovou vzdálenost f platí vztah

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

kde r je poloměr fokusační cívky, n je počet závitů cívky, U_a urychlující napětí a I_f proud tekoucí fokusační cívkou. Pro snazší určení ohniskové vzdálenosti převedeme do lineární podoby vůči námi měřeným veličinám

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

a f určíme ze směrnice závislosti $U_a = f(I_f^2)$. Pokud se poloha cívky nemění, je grafem funkce přímka.

Vychylování elektronového paprsku magnetickým polem je možné díky Lorentzově síle. Vektor magnetické indukce je kolmý na směr pohybu elektronů a výchylka stopy je tedy dána vztahem:

$$y = \sqrt{\frac{e}{2m}} L_1 L_2 \frac{B}{\sqrt{U_a}}, \quad (3)$$

kde e je elementární náboj a m hmotnost elektronu, B magnetická indukce a délka vychylovacího pole a vzdálenost mezi koncem vychylovacího pole a stínítkem. Protože indukce B je přímo úměrná proudu I_ν tekoucího vychylovací cívkou, stačí pro ověření tohoto vztahu naměřit závislosti $y = f(I_\nu)$ a $y = f(U_a^{-1/2})$, přičemž obě tyto závislosti by měli být lineární.

3. Postup měření

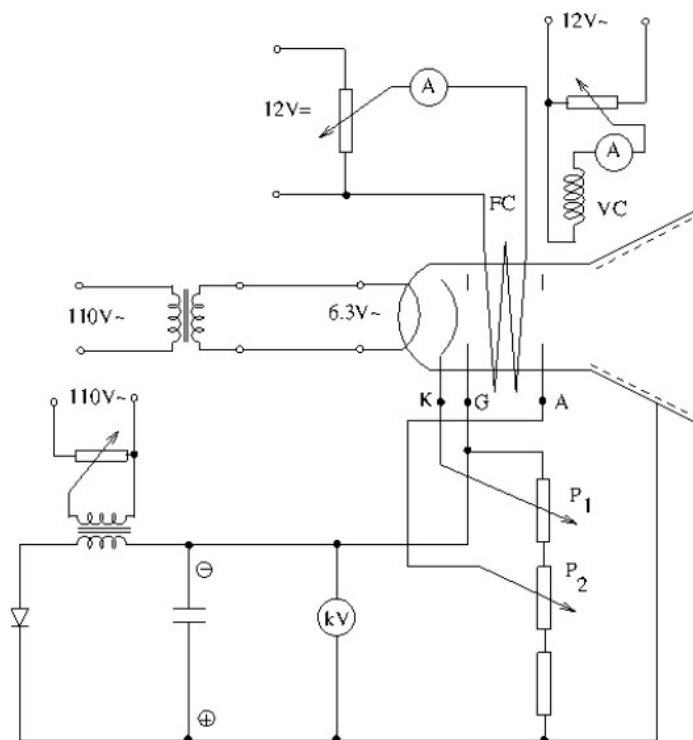
Zapojil jsem obvod podle schématu na obrázku 1.

Pro několik hodnot urychlujícího napětí U_a jsem změřil hodnoty fokusačního proudu I_f , který zaostří paprsek elektronů na stínítko a vytvoří tak ostrý obraz. Následně jsem určil závislost $U_a = f(I_f^2)$. Ze směrnice S funkce jsem pomocí rovnice

$$f = \frac{98r}{n^2} S \quad (4)$$

určil ohniskovou vzdálenost.

Dále jsem měřil závislost výchylky paprsku na vychylovacím proudu I_v . Měření jsem provedl pro dvě hodnoty urychlovacího napětí U_a . Dále jsem měřil závislost na onom urychlovacím napětí, kde jsem nastavil dvě různé hodnoty vychylovacího proudu. Z těchto měření s konstantním urychlovacím napětím jsem sestavil závislosti na velikost magnetické indukce B (závislost $y = f(I_v)$). V měření s konstantním vychylovacím proudem jsem ověřoval závislost na vychylujícím napětí U_a (závislost $y = f(U_a^{-1/2})$).



Obrázek 1: Elektrická schéma zapojení obvodů pro měření na obrazovce.

4. Naměřené hodnoty a zpracování měření

Parametry fokusační cívky jsou

$$n = 1000$$

$$r = 2 \text{ cm}$$

U_a [kV]	I_f [mA]	I_f^2 [mA ²]
1,6	83,4	6955,6
1,7	85,3	7276,1
1,7	88,9	7903,2
1,8	90,6	8208,4
1,8	91,5	8372,3
1,9	94,2	8873,6

Tabulka 1: Naměřené hodnoty U_a , I_f pro výpočet ohniskové vzdálenosti.

$U_a = 1,6$ [kV]		$U_a = 1,7$ [kV]	
I_v [mA]	y [cm]	I_v [mA]	y [cm]
43,6	9,9	33,7	7,5
52,1	12,0	41,0	9,2
60,9	14,1	48,5	11,0
73,6	17,3	59,7	13,5
76,7	18,2	69,2	15,3

Tabulka 2: Naměřené hodnoty pro ověření závislosti velikosti výchylky na velikosti magnetické indukce.

$I_v = 40$ [mA]			$I_v = 59,0$ [mA]		
U_a [kV]	$U_a^{-1/2}$ [kV ^{-1/2}]	y [cm]	U_a [kV]	$U_a^{-1/2}$ [kV ^{-1/2}]	y [cm]
1,6	0,8	9,2	1,6	0,8	13,7
1,7	0,8	9,0	1,7	0,8	13,3
1,8	0,7	8,6	1,8	0,7	13,0
1,9	0,7	8,3	1,9	0,7	12,5
2,0	0,7	8,0	2,0	0,7	12,3

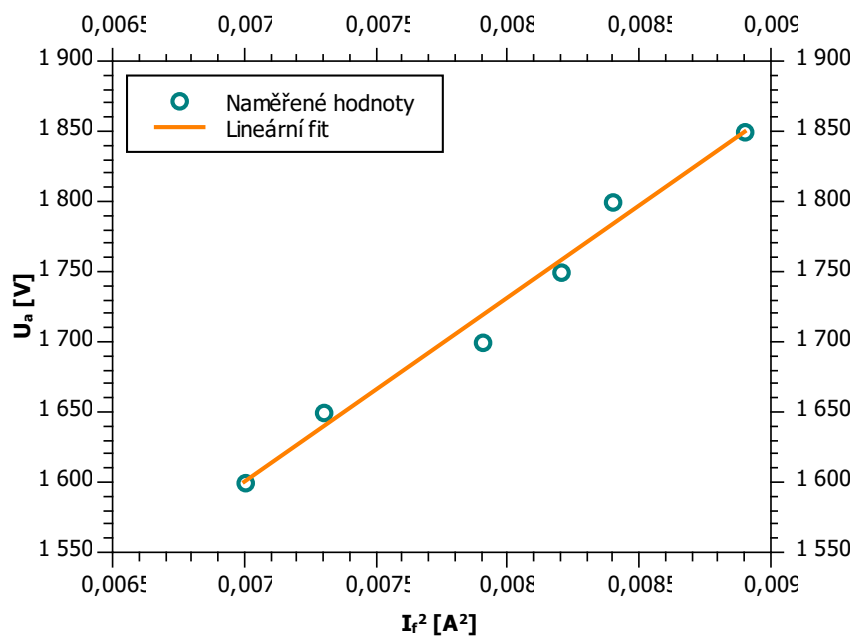
Tabulka 3: Naměřené hodnoty pro ověření závislosti velikosti výchylky na urychlujícím napětí.

Směrnice S a ohnisková vzdálenost f jsem vypočítal jako:

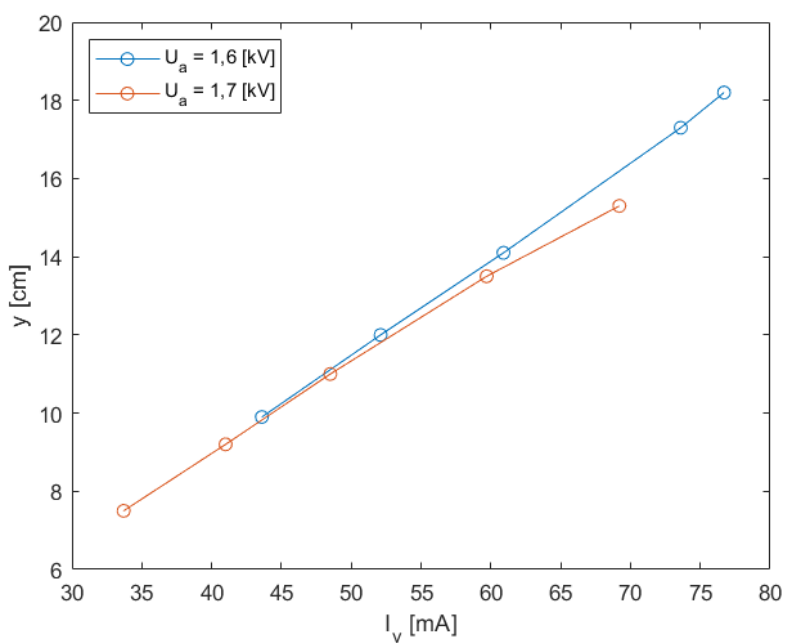
$$S = (1,31 \cdot 10^5 \pm 8,7 \cdot 10^3) \quad (5)$$

$$f = (25 \pm 2) \text{ cm} \quad (6)$$

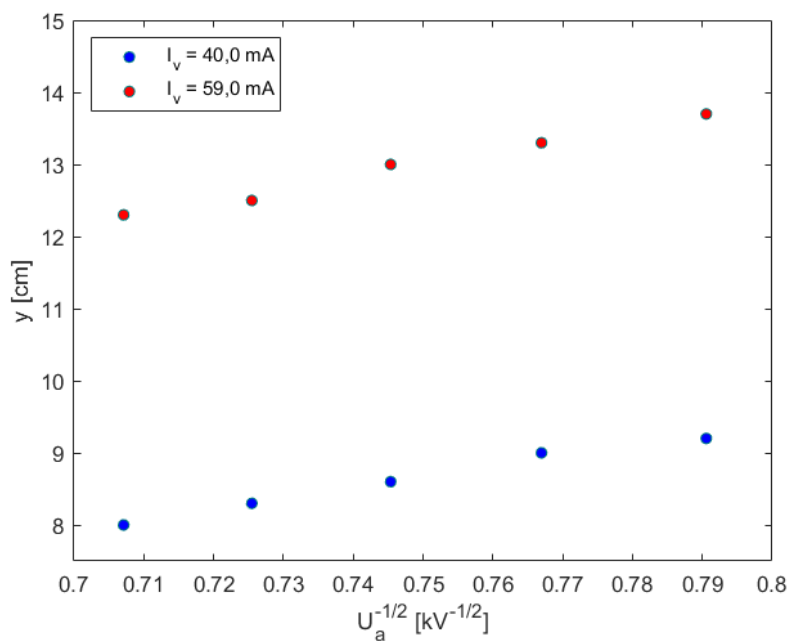
Ohnisková vzdálenost se zdá být rozumná protože hodnota odpovídá velikosti obrazovky. Relativní odchylka je 6 %, čímž je možné považovat měření za přesné.



Obrázek 2: Závislost urychlujícího napětí na kvadrátu fokusačního proudu. Graf je proložen přímkou.



Obrázek 3: Závislost délky stopy na urychlujícím proudu.



Obrázek 4: Závislost délky stopy na urychlujícím napětí.

5. Závěr

Pomocí fokusace elektronů jsem změřil ohniskovou vzdálenost magnetické čočky. Ohnisková vzdálenost mi vyšla jako $f = (25 \pm 2) \text{ cm}$ s relativní odchylkou 6 %. Dále jsem měřil závislost výchylky paprsku na napětí i proudu. Obě závislosti jsem proměřil pro dvě hodnoty konstantního napětí a proudu a ve všech případech jsem dostal lineární závislost, jak ukazují grafy na obrázcích 3 4, což se mělo potvrdit.