

Úkol

1. Změřte V-A charakteristiky magnetronu při konstantním magnetickém poli. Rozsah napětí na magnetronu volte $0 - 200$ V (s minimálním krokem $0,1 - 0,3$ V v oblasti skoku). Proměřte $10 - 15$ charakteristik v rozsahu magnetizačních proudů $0 - 2$ A.
2. Pro každou naměřenou charakteristiku (při daném magnetickém poli) určete hodnotu kritického napětí (např. numerickou derivací). Získané hodnoty zpracujte graficky (použijte závislost kritického napětí na druhé mocnině magnetizačního proudu, absolutní člen získané lineární závislosti interpretujte jako kontaktní rozdíl potenciálů UK mezi materiály katody a anody) a ze směrnice určete měrný náboj elektronu. Diskutujte přesnost výsledku.
3. Z naměřeného souboru dat vytvořte jeden graf závislosti anodového proudu magnetronem I_A na magnetické indukci B při konstantním anodovém napětí U_A a popište jej. Rozmyslete si předem, jak musí být zvolené magnetizační proudy při měření anodových charakteristik, aby bylo možné určit sklon této charakteristiky v okolí kritické magnetické indukce B_{kr} .

Teorie

V tomto praktiku pracujeme s magnetronem, který se skládá ze dvou soustředných válců tvořících elektrody usazených v magnetickém poli dvou cívek napájených proudem I_{mag} . Schéma a bližší popis lze nalézt v [1].

Měrným nábojem elektronu myslíme jeho elektrický náboj dělený hmotností. Dle [1] lze měrný náboj vypočítat ze vztahu

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8U_{kr}}{B_{kr}^2 r_A^2} \frac{1}{\left(1 - \frac{r_K^2}{r_A^2}\right)^2}, \quad (1)$$

kde U_{kr} je kritické napětí, při kterém dopadají elektrony na anodu tečně, B_{kr} kritická magnetická indukce, r_A poloměr anody a r_K poloměr katody. Při měření používáme konstantní magnetické pole dané vztahem

$$B = \frac{8\mu_0}{5\sqrt{5}} \frac{NI_{mag}}{\rho_0}, \quad (2)$$

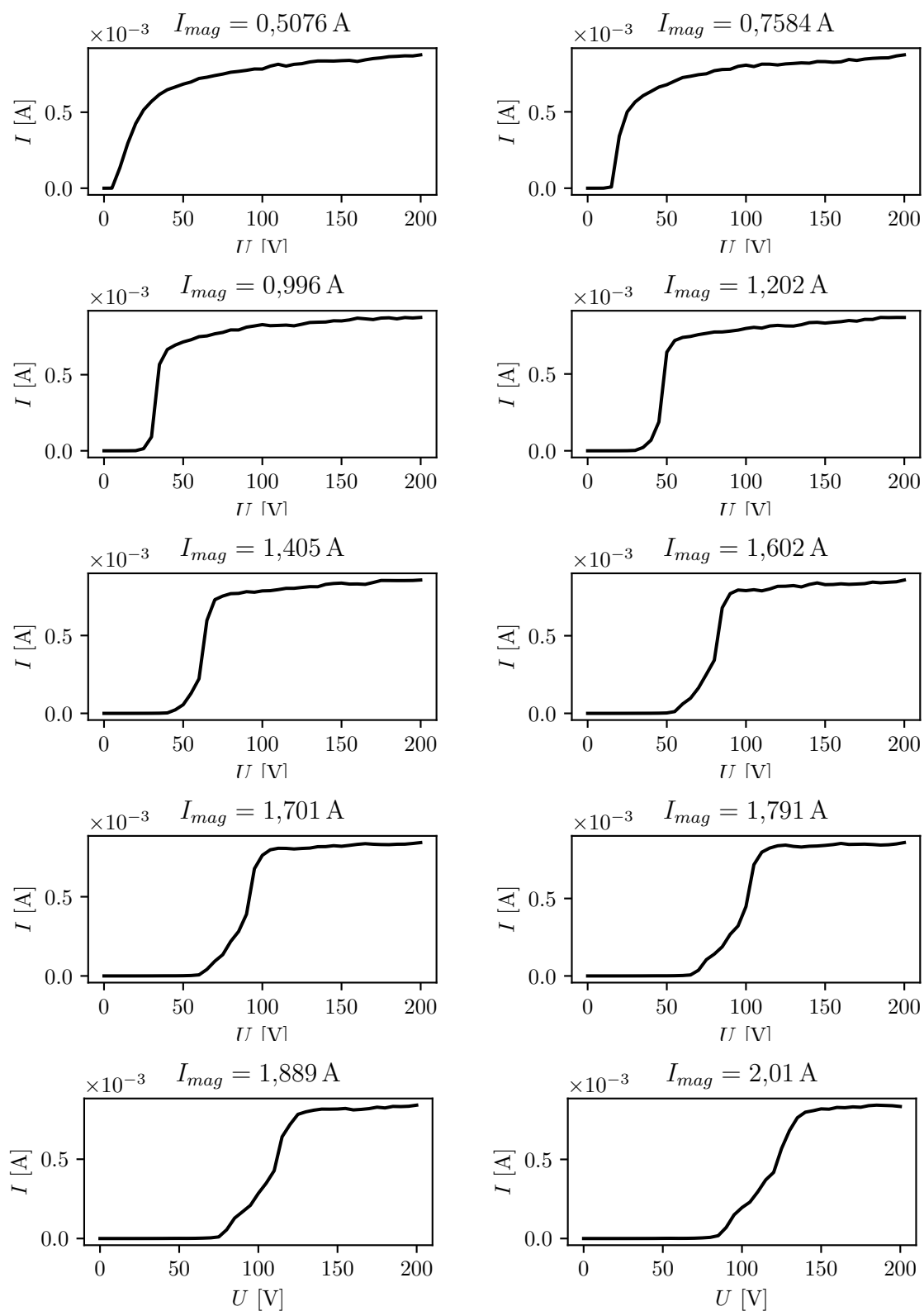
kde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ je permeabilita vakua, N počet závitů každé cívky a ρ_0 jejich střední poloměr.

Podle těchto vztahů se dá tedy měrný náboj určit lineární regresí vztahu

$$U_{kr} = aI_{mag}^2 + U_k, \quad (3)$$

kde U_k je konstantní kontaktní rozdíl potenciálů mezi materiály katody a anody a a je dáno vztahem

$$a = \frac{e}{m_e} \frac{8\mu_0^2 N^2 r_A^2}{125\rho_0^2} \left(1 - \frac{r_K^2}{r_A^2}\right)^2. \quad (4)$$



Obrázek 1: Grafy voltampérových charakteristik pro úkol 1

Výsledky

Použitá sestava měla parametry $r_A = (5,00 \pm 0,05)$ mm, $r_K = (0,19 \pm 0,01)$ mm, $N = 630$ a $\rho_0 = 75$ mm.

Úkol 1

Bylo naměřeno 10 voltampérových charakteristik s napětím v rozsahu 0 – 200 V s krokem 5 V a s magnetizačním proudem v intervalu 0,5 – 2 A. Výsledné charakteristiky jsou vyneseny v grafech na obrázku 1.

Úkol 2

Pomocí numerické derivace v programu Origin v praktiku byla určena kritická napětí pro závislosti naměřené v úkolu 1. Pro jejich přesnější určení byla okolí inflexního bodu proměřena podrobněji s krokem 0,2 V. Za hodnoty kritických napětí byly vzaty maxima grafů derivací, chyby byly určeny jako polovina šířky píku v jeho polovině, přičemž polovina píku byla určena odhadem. Výsledky jsou shrnuty v tabulce

I_{mag} [A]	U_{kr} [V]	$\sigma_{U_{kr}}$ [V]
0,508	8,4	0,5
0,758	19,4	0,8
0,996	32,8	1,0
1,202	47,0	0,7
1,405	64,0	0,7
1,602	82,6	0,7
1,701	92,4	0,8
1,791	101,8	0,7
1,889	112,0	1,0
2,010	124,3	1,1

Tabulka 1: Tabulka kritických napětí pro různé magnetizační proudy

V grafu na obrázku 2 je zobrazena závislost kritického napětí na druhé mocnině magnetizačního proudu, proložená lineárním fitem (3). Níže jsou uvedeny fitové konstanty. K chybě fitu obou konstant byla přičtena chyba určení kritického napětí aproximovaná hodnotou 1 V.

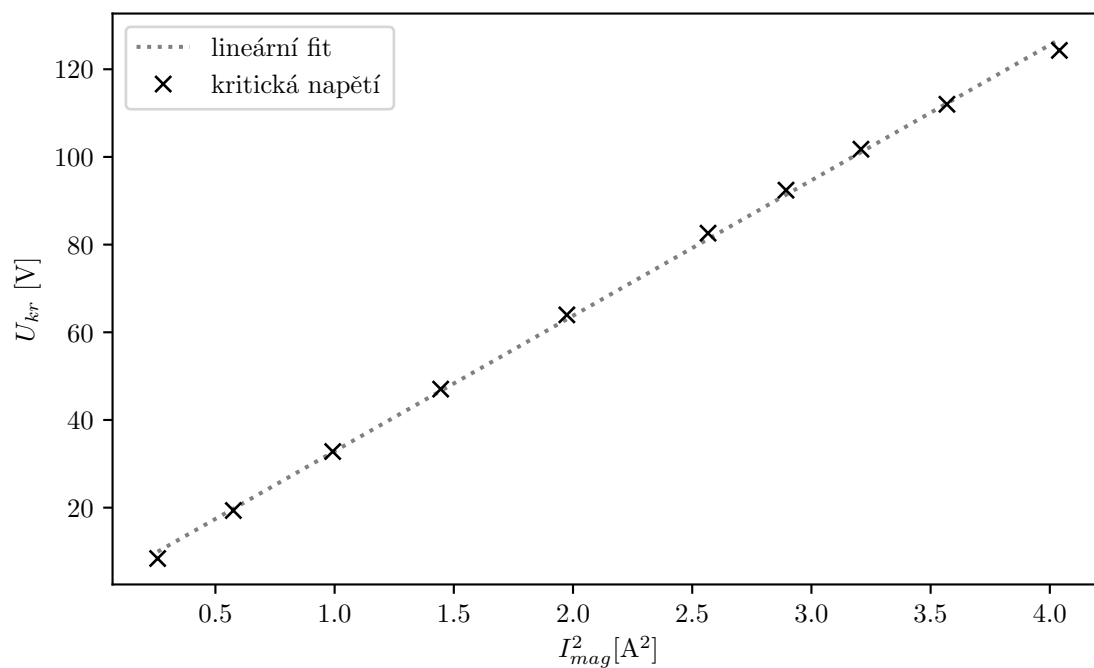
$$a = (30,9 \pm 1,3) \text{ V A}^{-2},$$

$$U_k = (2,0 \pm 1,8) \text{ V}.$$

Pomocí vztahu (4) a hodnot konstant uvedených v úvodu sekce výsledků byl určen měrný náboj elektronu

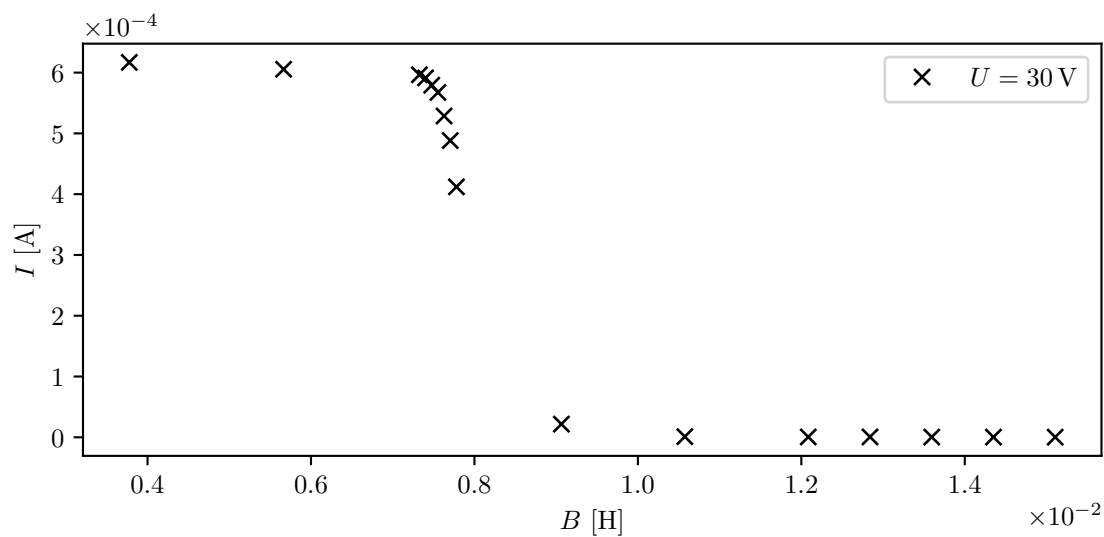
$$\frac{e}{m_e} = (1,74 \pm 0,08) \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}.$$

Tato hodnota se shoduje v rámci chyby s hodnotou uvedenou v [1].

Obrázek 2: Závislost $U_{kr} = U_{kr}(I_{mag}^2)$

Úkol 3

Graf 3 zobrazuje hodnoty závislosti proudu magnetronem na magnetické indukci při konstantním napětí.

Obrázek 3: Závislost proudu magnetronem na magnetické indukci při $U = 30$ V

Diskuse

Výsledná hodnota měrného náboje se v rámci chyby shoduje s hodnotou uvedenou v [1]. Uvedená chyba je však poměrně vysoká. To je způsobeno především nepřesným určením kritických napětí pomocí numerické derivace, respektive způsobem určování chyby těchto hodnot.

V chybě výsledku se skryly faktory ztěžující přesné měření měrného náboje, například skutečnost, že magnetická indukce zde byla vyjádřena aproximativním vzorcem, či vliv nedokonalosti vakua v magnetronu.

Závěr

Naměřené charakteristiky odpovídají teoretickým předpovědím. Pomocí nich byla určena hodnota měrného náboje elektronu

$$\frac{e}{m_e} = (1,74 \pm 0,08) \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}.$$

Tato hodnota odpovídá v rámci chyby hodnotě tabulkové.

Reference

- [1] Pokyny k měření “Určení měrného náboje elektronu z charakteristik magnetronu”, dostupné z https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_413.pdf, 16.10.2018