

Pracovní úkoly

1. Změřte V-A charakteristiky magnetronu při konstantním magnetickém poli. Rozsah napětí na magnetronu volte 0-200V (s minimálním krokem **0,1-0,3V** v oblasti skoku). Proměřte 10-15 charakteristik v rozsahu magnetizačních proudů **0 - 2A**.
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 U_K 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} .

Teoretická část

Magnetron je složený ze dvou válcových elektrod. Vnitřní elektroda, katoda, má poloměr $r_k = (0.19 \pm 0.01)$ mm, vnější elektroda, anoda, má poloměr $r_a = (5.00 \pm 0.05)$ mm [1]. Pokud mezi anodu a katodu přiložíme napětí U , začnou z katody vylétávat elektrony. Tyto elektrony budou směřovat k anodě. Pokud magnetron vložíme do magnetického pole s velikostí magnetické indukce B tak, aby vektor magnetické indukce byl rovnoběžný s osou válcových elektrod, dráha elektronů se zakříví a pro dostatečně velké B k anodě nedoletí (magnetronem nepoteče proud). Poloměr dráhy elektronů závisí na B a U . Pokud za stálé velikosti magnetické indukce budeme zvyšovat urychlující napětí U , poloměr dráhy elektronů se začne zvyšovat. V momentě, kdy elektrony začnou dopadat na povrch anody tečně, začne magnetronem téct proud, napětí při, kterém se tak stane, se označuje jako kritické napětí U_{kr} .

Z Lagrangeových rovnic 2. Druhu můžeme odvodit výraz pro měrný náboj elektronu v závislosti na hodnotách U_{kr} a příslušné velikosti magnetické indukce B [1]:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8U_{kr}}{B^2 r_a^2} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{r_k^2}{r_a^2}\right)^2} \quad (1)$$

Kde podíl $\frac{e}{m_e}$ je měrný náboj elektronu.

Magnetické pole je v našem případě tvořeno Helmholtzovými cívkami. Vztah mezi velikostí proudu I_m , který protéká cívkami a velikostí magnetické indukce je podle [1]:

$$B = \frac{8\mu_0 N I_m}{5\sqrt{5} \rho_0} \left(1 - \frac{b^2}{15\rho_0^2}\right) \quad (2)$$

Kde ρ_0 je střední poloměr cívky, b je polovina tloušťky vinutí cívky, μ_0 je permeabilita vakua a N je počet závitů cívky. V našem případě jsme použili tyto parametry: $\rho_0 = 75$ mm, $b = 15$ mm a $N = 630$.

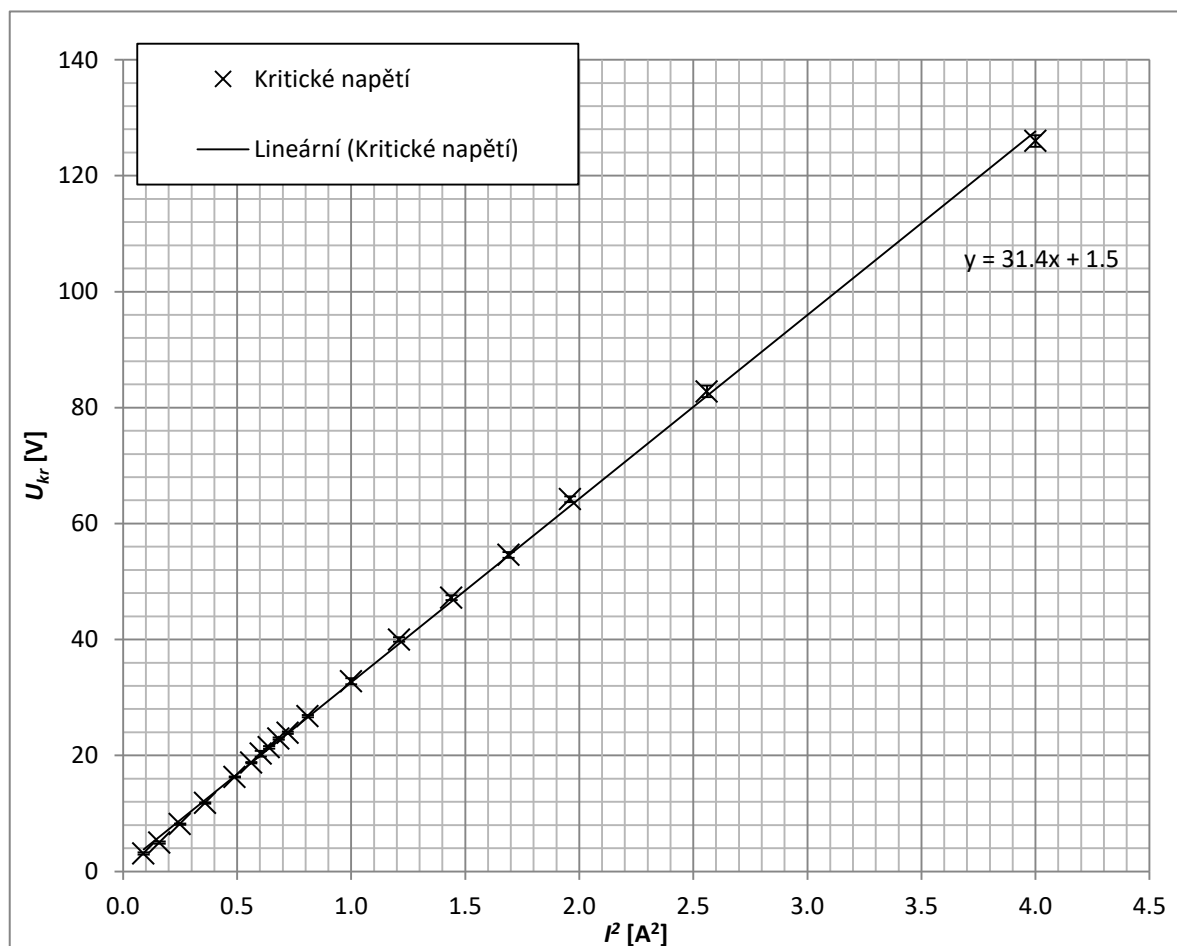
Pokud změříme závislost kritického napětí na druhé mocnině magnetizačního proudu a určíme směrnici této závislosti, můžeme ze vzorců (1) a (2) získat vztah pro určení měrného náboje elektronů:

$$\frac{e}{m_e} = a \cdot \frac{125 \rho_0^2}{8\mu_0^2 N^2 r_a^2 \left(1 - \frac{b^2}{15\rho_0^2}\right)^2 \left(1 - \frac{r_k^2}{r_a^2}\right)^2} \quad (3)$$

Kde a je směrnice závislosti $U_{kr}(I_m^2)$.

Výsledky měření

Hodnoty kritického napětí jsme určili za pomoci numerické derivace, jako hodnotu napětí, při kterém byla největší hodnota derivace velikosti proudu $\frac{dI_a}{dU}$. Graf č. 1 znázorňuje závislost kritického napětí na druhé mocnině magnetizačního proudu. V grafu jsou vyznačeny chyby určení kritického napětí. Tyto chyby jsme odhadli z šířky peaku derivace. V grafu je vyznačen lineární fit, při určování parametrů fitu jsme naměřené hodnoty vážili jejich chybou.



Graf 1: Závislost kritického napětí na druhé mocnině magnetizačního proudu.

Tabulka 1 obsahuje parametry lineárního fitu: směrnici a , absolutní člen b a koeficient determinace R^2 . Absolutní člen b je kontaktní potenciál mezi materiálem anody a katody (jedná se o rozdíl výstupních prací).

Tabulka 1: Parametry lineárního fitu.

$a \left[\frac{\text{V}}{\text{A}^2} \right]$	$b \text{ [V]}$	R^2
(31.4 ± 0.2)	(1.5 ± 0.3)	0.99954

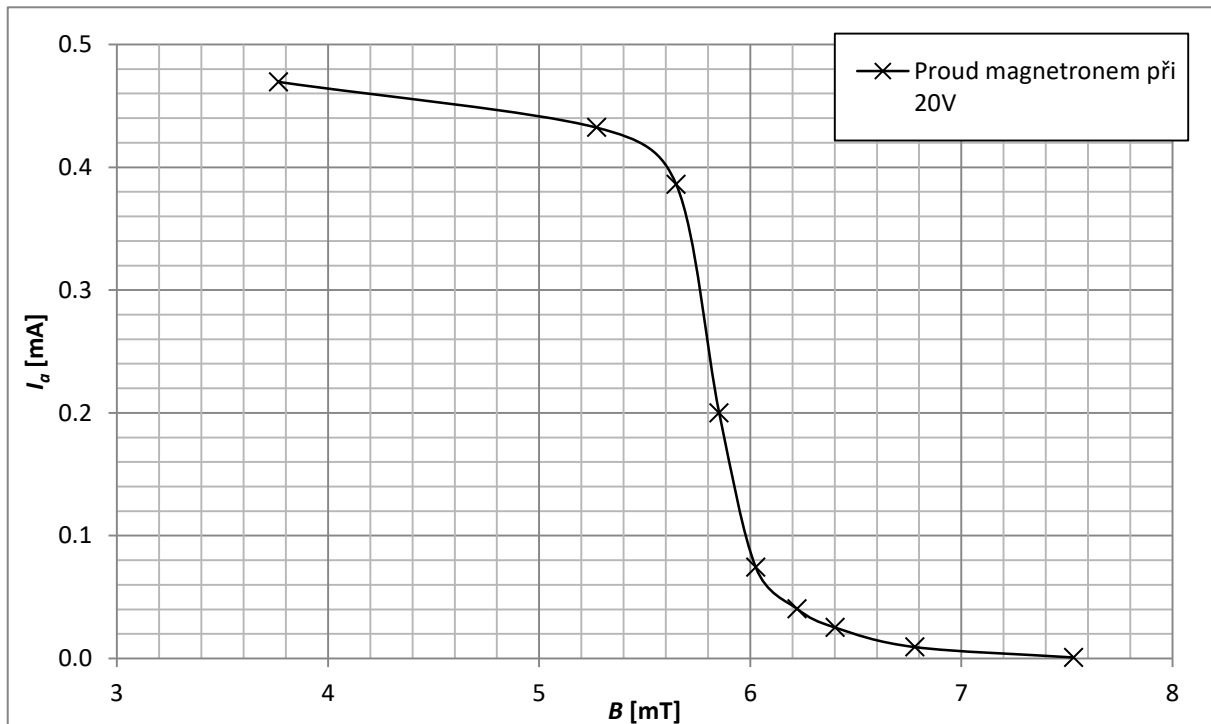
V tabulce 2 je uvedena hodnota měrného náboje elektronu $\frac{e}{m_e}$ spočtená ze vzorce (3). Chyba určení měrného náboje je dána chybou určení směrnice a chybou určení r_a , celkovou chybu jsme určili metodou přenosu chyby při nepřímém měření. V tabulce je také uvedena tabulková hodnota $\left(\frac{e}{m_e}\right)_{tab}$ zjištěná z [2].

Tabulka 2: Měrný náboj elektronu.

$\frac{e}{m_e} \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}} \right]$	$\left(\frac{e}{m_e}\right)_{tab} \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}} \right]$
$(1.77 \pm 0.03) \cdot 10^{11}$	1.759

Graf č. 2 zachycuje závislost velikosti proudu magnetronem I_a na velikosti magnetické indukce B při konstantním urychlujícím napětí, které bylo: $U = 20 \text{ V}$. Velikost B jsme určili ze vzorce (2). Naměřené hodnoty jsou proloženy

hladkou čarou.



Graf 2: Proud magnetronem v závislosti na velikosti magnetické indukce při napětí 20V.

Diskuse

Největší vliv na chybu měření měla nejistota určení kritického napětí. Přesnost tohoto určení nebyla ovlivněna přesností měřicího přístroje (přesnost přístroje byla v nejhorším případě menší než 55 mV). Jako kritické napětí jsme určili tu hodnotu, pro kterou byla maximální hodnota numerické derivace $\frac{dI_a}{dU}$. Pro zjištění numerické derivace jsme využili program Origin, „šířka“ tohoto maxima nám poskytla informaci o přesnosti našeho určení.

U větších urychlujících napětí začalo docházet k tomu, že se ionizoval zbytkový plyn v magnetronu a magnetronem začal procházet proud mnohem dříve, než by odpovídalo naší teorii. Zejména tento jev mohl způsobit případnou systematickou chybu.

Další nepřesnosti měření mohou být způsobeny nehomogenitou magnetického pole. Vzorec (2) platí pouze přesně v bodě uprostřed mezi Helmholtzovými cívkami. Další nepřesnost může plynout z nesplnění předpokladů, za kterých byl odvozen vzorec (1) viz [1].

Graf 2 odpovídá teoretickým předpokladům, se zvyšující se velikostí magnetického pole se snižuje počet elektronů, které doletí až na anodu a tudíž se snižuje velikost proudu.

Naše měření se shoduje v rámci chyby měření s tabulkovou hodnotou měrného náboje elektronu.

Závěr

Zjištěné závislosti odpovídají teoretickým předpokladům. Změřili jsme měrný náboj elektronu: $\frac{e}{m_e} = (1.77 \pm 0.03) \cdot 10^{11} \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}} \right]$.

Literatura

- [1] Určení měrného náboje elektronu z charakteristik magnetronu. *Fyzikální Praktikum* [online].
[cit. 12. 1. 2018]. Dostupné z:
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_413.pdf
- [2] Electron charge to mass quotient. *National Institute of Standards and Technology* [online].
[cit. 17. 1. 2018]. Dostupné z:
<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?esme>