

## 1 Pracovní úkoly

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 – 2,5 A.
2. Pro každou naměřenou charakteristiku (při daném magnetickém poli) určete hodnotu kritického napětí (např. numerickou derivací). Získané hodnoty zpracujte graficky a určete z nich 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.

## 2 Teoretický úvod

Magnetron je elektronka, která má dvě sousedí elektrody válcového tvaru. Poloměry elektrod jsou dle [1]  $r_K = 0,19$  mm (katoda) a  $r_A = 5,00$  mm (anoda). Vložíme-li magnetron do magnetického pole, pak se trajektorie elektronů zakříví, což při dosažení kritické úrovně hodnoty magnetické indukce (která je závislá na elektrodách) vede k tomu, že jsou zakřiveny do takové míry, že elektrony nedorazí k anodě a vrací se zpět a elektrický proud neprotéká.

Z pohybových rovnic pak jde odvodit vztah pro měrný náboj elektronu  $\frac{e}{m_e}$  v závislosti na kritických hodnotách napětí  $U_K$  a magnetické indukce  $B_k$ :

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8U_k}{B_k^2 r_A^2} \left(1 - \frac{r_K^2}{r_A^2}\right)^{-2}. \quad (1)$$

Magnetické pole vytváříme pomocí páru dvou stejných Helmholtzových cívek. Pro magnetické pole v oblasti elektronky pak přibližně platí

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

kde  $b = 15$  mm je polovina tloušťky vinutí,  $\rho_0 = 75$  mm je střední poloměr cívky,  $N = 630$  je počet závitů cívky a  $I_m$  je magnetizační proud protékající cívkami.

## 3 Měření

Naměřil jsem data pro 13 různých magnetizačních proudů, přičemž pak data pro 2500 mA nebyly do zpracování zahrnuta, protože v oblasti do 200 V není znatelný jasný přechod. Grafy  $V - A$  charakteristik z měření jsou na podepsaných papírech z praktika přiložených ke zpracování. Měřena byla vždy nejprve větší oblast a podle odhadnutého místa, kde nastal skok pak byla proměřena podrobněji oblast skoku. Pro proudy mezi 350 mA a 500 mA jsem určoval oblast skoku z grafu rozdílu naměřené hodnoty pro tento proud a pro nulový magnetizační proud.

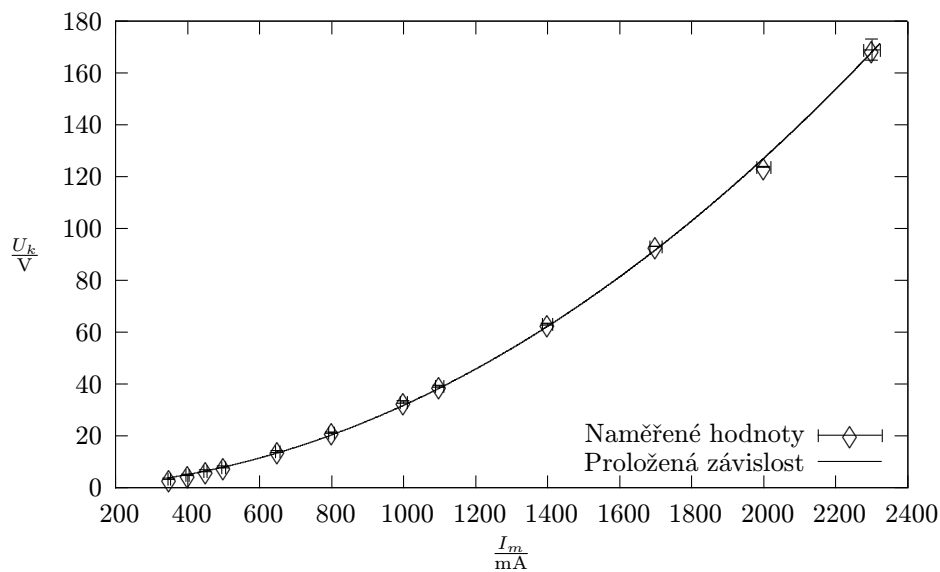
Zpracování naměřených dat bylo provedeno pomocí programu Origin, kde bylo určeno pomocí první numerické derivace v jaké oblasti se nachází inflexní bod. Jako chybu určení jsem bral odhad šířky peaku. Jako chybu u určení proudu беру 1% z jeho celkové hodnoty, protože přístroj na měření proudu byl sice relativně přesný, ale v průběhu měření se proud mírně měnil.

Hodnoty magnetické pole  $B$  určení pomocí rovnice (2) беру s přesností na 3%, protože veličiny z nichž je počítána jsou udány na dvě platné cifry a každá může být určena s nějakou chybou na poslední cifře.

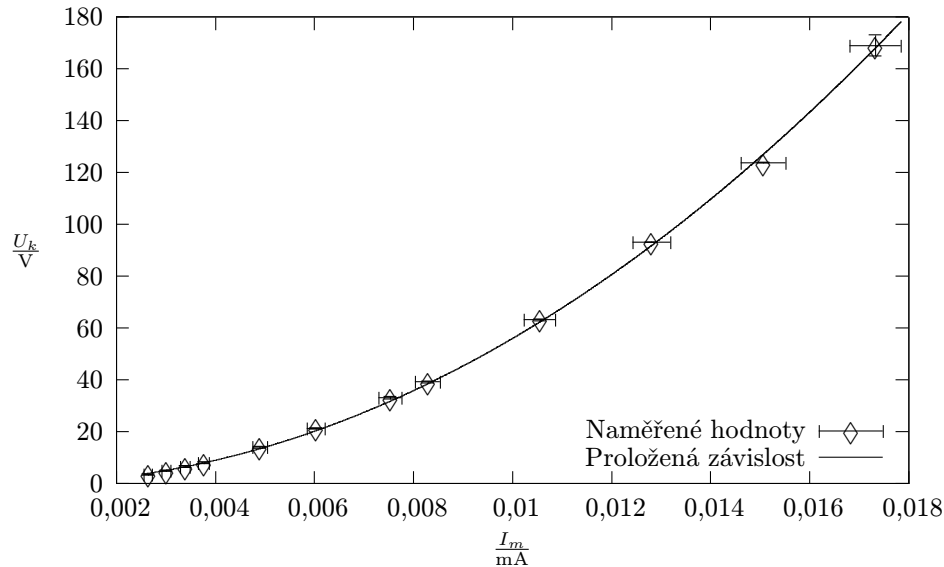
V tabulce č. 1 jsou pak uvedené hodnoty použité při měření jako  $I_m$  a odpovídající napětí  $U_k$  určené výše zmíněnou numerickou derivací. V grafu na obr. č. 1 jsou pak hodnoty proloženy parabolou.

Tabulka 1: Magnetizační proudy, odpovídající magnetická indukce a odpovídající napětí, kde došlo ke skoku

$I_m/\text{mA}$	B/T	$U_k/\text{V}$
$350 \pm 3,5$	$0,00264 \pm 0,00008$	$3,5 \pm 0,2$
$400 \pm 4$	$0,00301 \pm 0,00009$	$4,9 \pm 0,3$
$450 \pm 4,5$	$0,00339 \pm 0,00010$	$6,5 \pm 0,4$
$500 \pm 5$	$0,00377 \pm 0,00011$	$8 \pm 0,3$
$650 \pm 6,5$	$0,00490 \pm 0,00015$	$14 \pm 0,3$
$800 \pm 8$	$0,00603 \pm 0,00018$	$21,3 \pm 0,3$
$1000 \pm 10$	$0,00753 \pm 0,00023$	$33 \pm 0,5$
$1100 \pm 11$	$0,00829 \pm 0,00025$	$39,2 \pm 0,4$
$1400 \pm 14$	$0,01055 \pm 0,00032$	$63,1 \pm 0,4$
$1700 \pm 17$	$0,01281 \pm 0,00038$	$93,1 \pm 0,1$
$2000 \pm 20$	$0,01507 \pm 0,00045$	$123,8 \pm 0,2$
$2300 \pm 23$	$0,01733 \pm 0,00052$	$169 \pm 4$
$2500 \pm 25$		neurčeno



Obrázek 1: Závislost kritického napětí na magnetizačním proudy



Obrázek 2: Závislost kritického napětí na magnetické indukci

Na grafu na obr. č. 2 můžeme je závislost kritického napětí na magnetické indukci a tato závislost je proložená parabolou (kvadratickou závislostí) s vrcholem v bodě  $[0,0]$ . Z proložení v programu gnuplot pak vychází

$$\frac{U_k}{B_k^2} = (560 \pm 20) \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{T}^{-2}$$

A z toho pak i

$$\frac{e}{m_e} = (180 \pm 7) \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$$

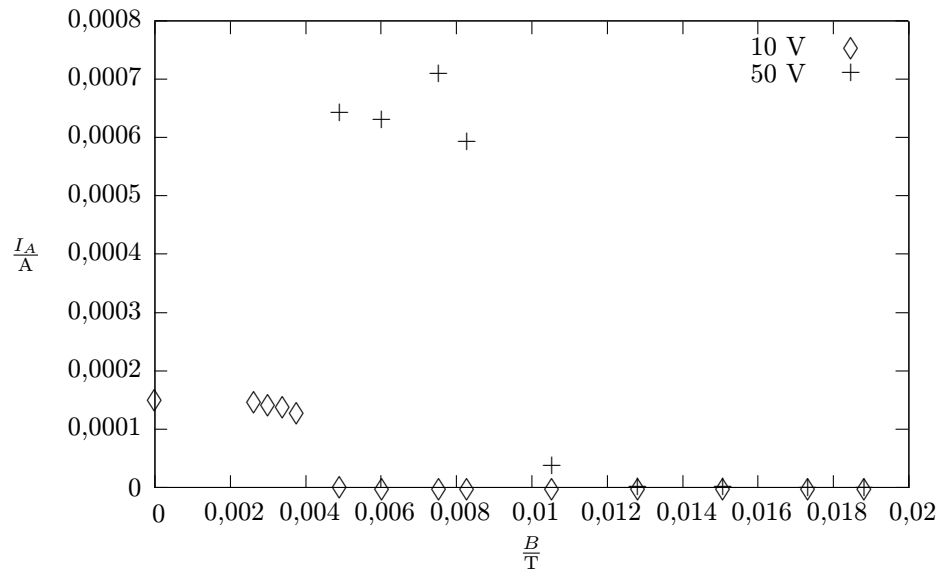
Vzhledem k tomu, že dle [2] je hodnota podle nejaktuálnějších fyzikálních měření  $1,7588 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$ , tak v rámci chyby měření je hodnota určena správně.

Pro vytvoření opačného grafu - tj. závislosti anodového proudu  $I_A$  na magnetické indukci  $B$  při konstantním napětí  $U$  jsem si vybral napětí 10 V, kdy jsem měl proměřené všechny hodnoty a ještě pro srovnání jsem vybral 50 V, kdy jsem měl hodnoty pro magnetizační proudu 650 mA a vyšší. Výsledný graf je na obr. č. 3.

## 4 Diskuse

Při zpracování měření jsme vycházeli z toho, že cívky vytvářejí v oblasti elektrod homogenní magnetické pole, což není úplně pravda. Také jsme předpokládali, že magnetron funguje ideálně - je v něm vyčerpaný vzduch - což již také není zcela pravda, protože je na měření používán již delší dobu a během této doby dochází k odprašování elektrod do baňky.

V rámci chyby měření vyšla hodnota správně, i když je pravdou, že by se určitě dalo dosáhnout vyšší přesnosti použitím co nejpřesněji naměřených jednotlivých veličin. Při určování chyby jsem totiž chybu odhadoval podle toho, na kolik platných cifer byly určeny rozměry elektrod atd.



Obrázek 3: Závislost anodového proudu na magnetické indukci

## 5 Závěr

Hodnotě měrného náboje elektronu mi vyšla jako

$$\frac{e}{m_e} = (180 \pm 7) \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1},$$

což v rámci chyby měření odpovídá skutečné hodnotě měrného náboje elektronu.

## 6 Literatura

- [1] **Studijní text k fyzikálnímu praktiku**  
Určení měrného náboje elektronu z charakteristik magnetronu  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_413.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_413.pdf)
- [2] **Review of Particle Physics**  
Physical constants  
<http://pdg.lbl.gov/2010/reviews/rpp2010-rev-phys-constants.pdf>