

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum IV

Úloha č. A13 Určení měrného náboje elektronu z charakteristik magnetronu

Název: Pracoval: Martin Dlask. stud. sk.: 11 dne: 12.11.2010

Odevzdal dne: 16.11.2010

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkol:

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 0-2.5A.
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.

Teorie:

Měrný elektrický náboj e/me je poměr absolutní hodnoty náboje elektronu e ku jeho hmotnosti m_e . Jeho význam je zvláště důležitý při určování elektronové hmotnosti, která se měří nepřímo pomocí znalosti náboje elektronu.

Magnetron:

Magnetronem se nazývá vakuová elektronka, jež je umístěna v homogenním magnetickém poli.

Mezi katodou a anodou je elektrické pole, které urychluje volné nosiče náboje na něž působí vnější magnetické pole. Důsledkem čehož je trajektorie volných nosičů vychylována Lorentzovou silou.

Dnes se využívá převážně ke generování elektromagnetických polí větších výkonů v mikrovlnné oblasti.

Při nulovém magnetickém poli by se nám tedy měla magnetron chovat zhruba jako vakuová elektronka a splňovat Langemainův zákon (tzv. třipolovinový zákon). Zapneme-li magnetické pole, pak budou volné elektrony vychylovány magnetickým a pro to, aby tekli mezi anodou a katodou proud bude třeba elektrony urychlit elektrickým polem.

Při kritické hodnotě magnetické indukce B_{kr} se trajektorie elektronů natolik stočí, že již žádný elektron k anodě nedoletí a proud přestane skokové téci (v reálném případě jde o velice rychlý pokles).

U měřené charakteristiky $I_a = I_a(U_a)$ je anodový proud I_a při malých hodnotách urychlujícího napětí U_a téměř nulový, až po dosažení kritické hodnoty U_a při, které mají volné elektrony dostatečnou kinetickou energii k překonání magnetického pole a začnou dopadat na anodu. Tím dojde k prudkému zvýšení anodového proudu a z grafu lze určit kritické napětí U_{kr}

V charakteristice $I_A = I_A(B)$ v okamžiku dosažení kritické hodnoty B_{kr} dojde k rychlému poklesu proudu I_A k 0. Z grafu této závislosti lze určit B_{kr} .

Magnetické pole je generováno cívkami v tzv. Helmholtzově uspořádání. V tomto případě však nemůžeme zanedbat rozměry vnutí cívky. Proto velikost magnetické indukce B platí:

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

N je počet závitů cívky, I_m je magnetizační proud, ρ_0 je střední poloměr cívky a b je polovina tloušťky vnutí.

Měrný náboj elektronu lze zjistit ze zkoumání jeho pohybu, tedy ze řešení Lagrangeových rovnic 2. druhu.

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

r_A , r_K jsou poloměry anody a katody magnetronu, U_{kr} je kritické anodové napětí a B_{kr} kritická magnetická indukce.

Vypracování :

Magnetron : $r_K = 0,19$ mm, $r_A = 5,00$ mm

Magnetizační cívky : $N = 630$, $\rho_o = 75$ mm , $a = 11$ mm, $b = 15$ mm rozměry vinutí.

Ampérmetr měřil po celou dobu na rozsahu 0-1mA při chybě 0,03% +200 nA

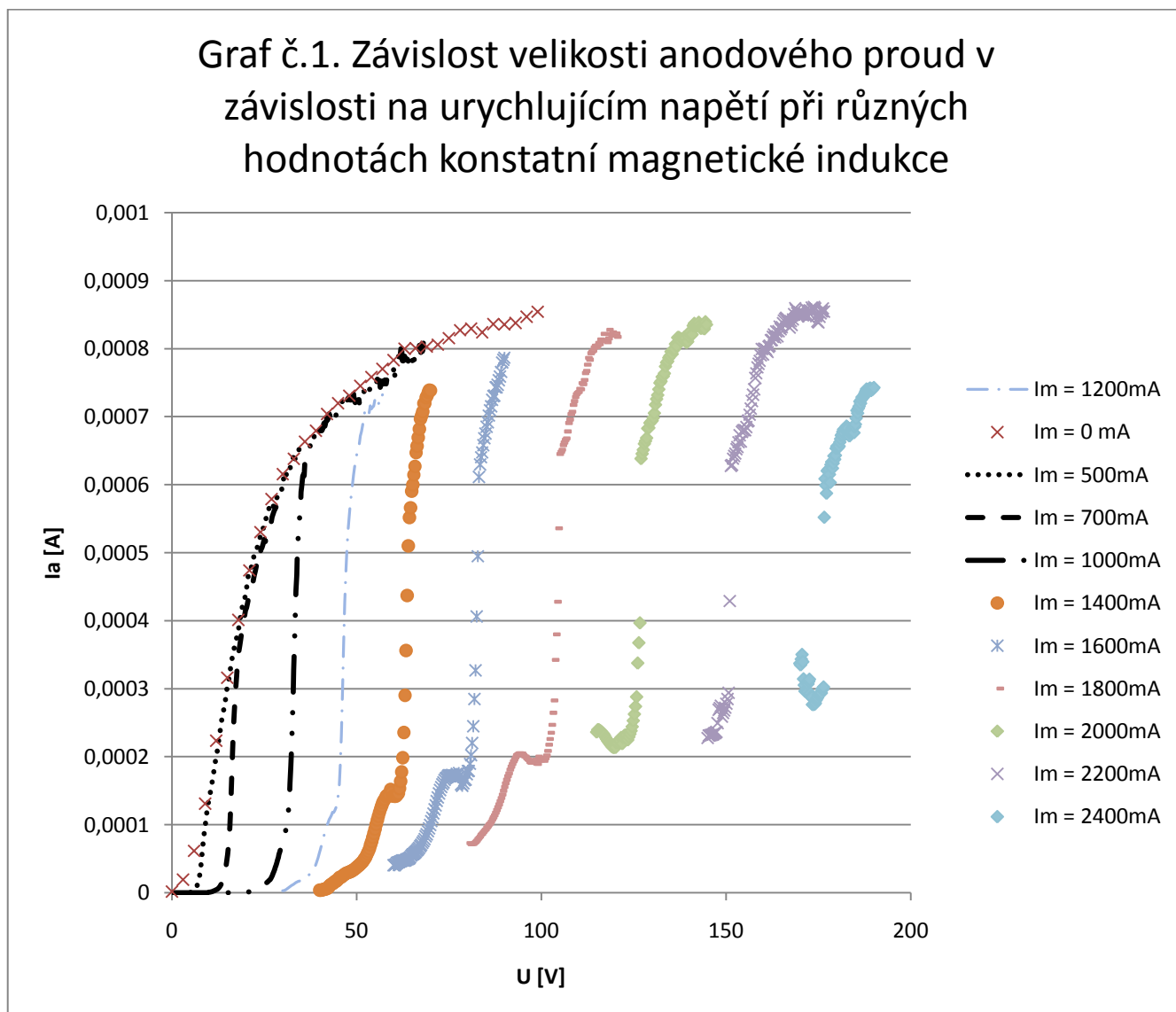
Voltmetr při rozsahu 0-20V měl chybu 0,02% +2,4 mV

20-200V měl chybu 0,02% + 24 mV

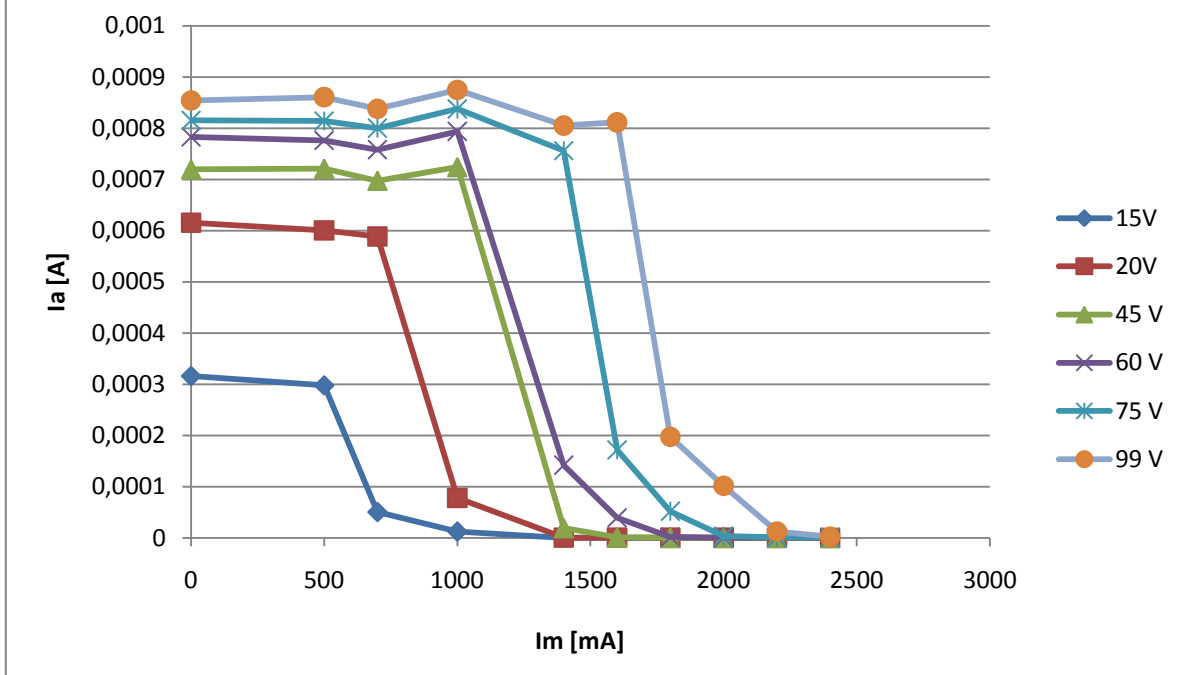
Během měření jsem měřil anodový proud v závislosti na zvyšujícím se urychlujícím napětí při různých hodnotách konstantní magnetické indukce.

Magnetickou indukci jsem dopočetl ze znalosti známého magnetizačního proudu pomocí (1). Chybu jsem neurčoval jelikož určení magnetizačního proudu jsem považoval za přesné.

Při měření jsem pro každou hodnotu magnetické nejdříve proměřil celou charakteristiku závislosti velikosti anodového proudu na urychlujícím napětí hrubě, z čehož jsem určil kritické intervaly (intervaly hodnot urychlujícího napětí při, kterých prudce vzrůstal anodový proud) a ty jsem poté změřil jemněji. Kritické napětí jsem poté určoval pomocí proložení naměřené charakteristiky polynomem pátého stupně a hledal jsem inflexní body. Do grafu kvůli přehlednosti poté proložení křivkami nepřidávám.



Graf č.2. Závislost anodového proudu na magnetizačním proudu



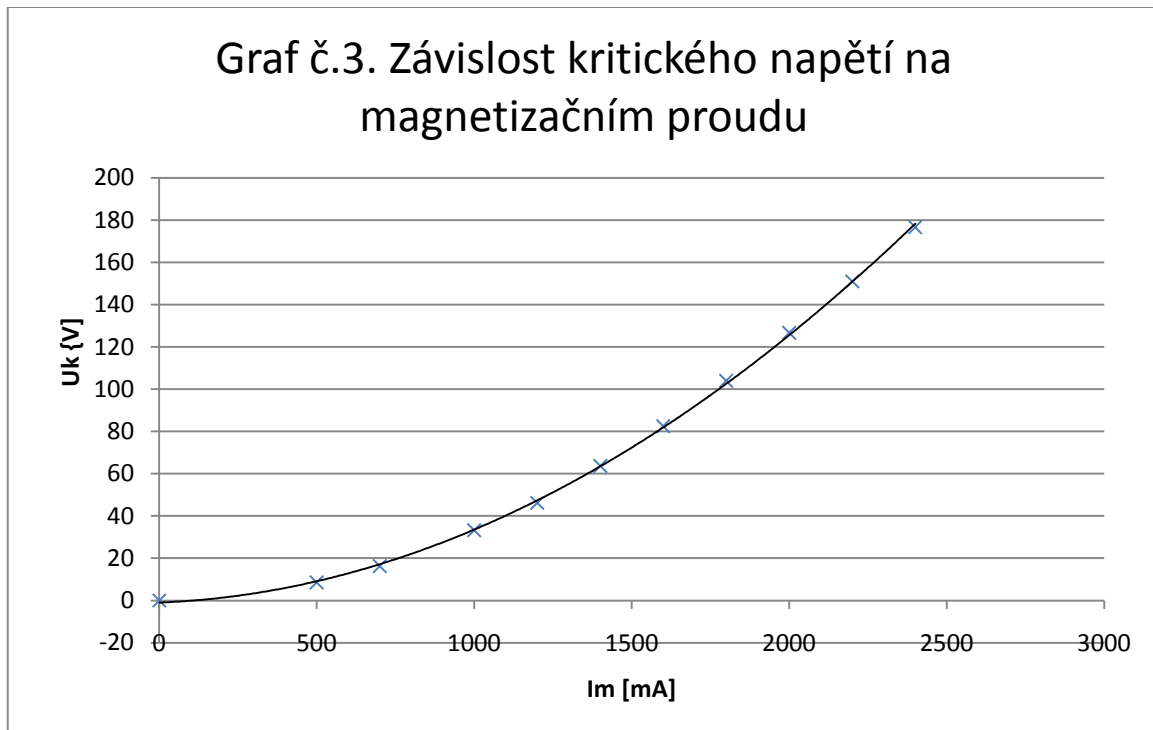
V grafu č.2. jsem body spojil záměrně úsečkami abych přibližně demonstroval průběh dané charakteristiky.

Spočtené kritické hodnoty U_{kr} při hodnotách B_{kr} jsem poté vynesl do tabulky:

Tabulka č.1. Kritické potenciály

Ukr [V]	Bkr [mT]	Im
0	0	0
8,6	3,77	500
16,3	5,27	700
33,2	7,53	1000
46,2	9,04	1200
63,7	10,54	1400
82,5	12,05	1600
104	13,55	1800
126,7	15,06	2000
151	16,57	2200
176,6	18,07	2400

Graf č.3. Závislost kritického napětí na magnetizačním proudu



Naměřenou závislost jsem proložil polynomem druhého řádu a pomocí (2) jsem dopočetl hodnotu měrného elektrického náboje elektronu. Výslednou hodnotu poté беру jako aritmetický průměr spočtených hodnot pro různé kritické potenciály.

$$\frac{e}{me} = (1,82 \pm 0,12)10^{11} Ckg^{-1}$$

Diskuze:

Během měření se potvrdil chování magnetronu zhruba dle předpokladů v teoretické části. Pokud magnetron není v magnetickém poli pak se chová jako vakuová dioda.

Při samotném měření jsem uvažoval magnetizační zdroj za absolutně přesný a výsledná chyba je způsobena neostrotí charakteristiky při dosažení hodnoty kritického potenciálu, kdy by v ideálním případě měla být derivace křivky v daný moment nekonečná. Jak je však vidět z naměřených dat přechod do ustálené hodnoty anodového proudu je v rozmezí hodnot urychlovacího napětí poměrně pozvolný ač k samotnému skoku dochází poměrně rychle. Dále je možné, že byla chyba způsobena nedokonalostí vakua v magnetronu, kdy je možné, že zvláště při větších napětích docházelo k častějším srážkám mezi elektrony a zbytkovými atomy plynu, po kterých elektrony mohly být vychýleny na tolik, že dolétly k anodě. Díky tomu při vyšších napětích vzniká více hrbů. Během měření jsem zkoušel charakteristiky pro vyšší napětí proměřovat vícekrát a bylo zjevné, že pokaždé naměřený průběh vypadal malinko jinak.

Další zanesená chyba pak bylo dáno prostorovým nábojem, kdy skutečné elektrické pole bylo superpozicí mezi urychlovacím napětím a jednotlivými bodovými náboji jednotlivých elektronů. Je tedy zřejmé, že výsledné pole bylo odlišné od předpokládaného pole v teoretickém základu.

Závěr:

Proměřil jsem charakteristiky magnetronu v rozmezích hodnot urychlovacího napětí 0-200 V při hodnotách magnetizačního proudu 0-2,4A. Hrubé charakteristiky závislosti anodového proudu na urychlovacím napětí při konstantních hodnotách magnetické indukce přikládám na papíře záznamu z měření. Charakteristiky pro jednotlivé kritické potenciály jsem pak vynesl do grafu č.1. a z nich vypočtené hodnoty kritických potenciálů do tabulky č.1. a grafu č.3.

Naměřená hodnota měrného elektrického náboje činí:

$$\frac{e}{me} = (1,82 \pm 0,12)10^{11} Ckg^{-1}$$

Literatura:

- [1] studijní text k úloze A13 (http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_413.pdf)
 [2] Brož,J. a kol.: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980