

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM Ústav fyziky FEKT VUT BRNO		Jméno Matyáš Peroutík			Kód 256371
		Ročník 1	Obor AMT	Skupina Lab. skup. B	
Spolupracoval Štěpán Pavlica		Měřeno dne 10. 04. 2024		Odevzdáno dne 07. 04. 2024	
Příprava	Opravy	Učitel		Hodnocení	
Název úlohy Měrný náboj elektronu				Č. úlohy 25	

Úkol měření

Stanovte měrný náboj elektronu $\frac{e}{m}$ a výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou.

Teoretický rozbor

Magnetron je vakuová dioda s katodou a anodou ve tvaru souosých válců, která je umístěna v homogenním magnetickém poli. Magnetické pole způsobí zakřivení dráhy elektronů. To se projeví snížením proudu diodou. Mezi elektrodami je napětí U_a . Velikost homogenního magnetického pole vypočteme podle vztahu:

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I_c \quad (1)$$

I_c Magnetizační proud procházející cívkou
 N Počet závitů cívky
 L Délka cívky
 μ_0 Absolutní permeabilita vakua ($4\pi 10^{-7}$)

Pokud zanedbáme deformaci mag. pole na koncích cívky a deformaci elektrického pole na konci koaxiálního uspořádání elektrod, můžeme pro elektrickou a magnetickou sílu působící na elektron použít následující vztahy:

$$F_e = eE \quad (2)$$

$$F_m = eBv \quad (3)$$

Jelikož je elektron záporně nabitá částice, tak síla \vec{F}_e má radiální směr od katody k anodě. Směr působení magnetického pole, který je dán následujícím vztahem, je v každém okamžiku kolmý na rychlost \vec{v} , což má za důsledek zakřivení dráhy.

$$\vec{F}_m = e\vec{v} \times \vec{B} \quad (4)$$

Pokud budeme uvažovat, že elektrony mají při výstupu z katody nulovou počáteční rychlost, že válcové plochy jsou nekonečně dlouhé, a označíme-li poloměr anody R_a , její potenciál U_a a obdobné označení pro katodu, budou síly, kterými na ně pole působí, ležet v rovině kolmé k ose válcových elektrod.

Dráhu elektronu v magnetickém a elektrickém poli popisuje následující pohybová rovnice:

$$m\vec{a} = \sum \vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m \quad (5)$$

Po dosazení za veličiny dostaneme následující vztah:

$$m \frac{d^2 \vec{r}(t)}{dt^2} = e\vec{E} + e(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (6)$$

m Hmotnost elektronu
e Náboj elektronu
 $\vec{r}(t)$ Polohový vektor elektronu v čase t
 \vec{v} Vektor okamžité rychlosti elektronu
 \vec{E} Vektor intenzity elektrického pole
 \vec{B} Vektor magnetické indukce

Pokud chceme zjistit kritickou velikost magnetické indukce, při které dochází změně řešení pohybové rovnice (6) z cykloidy na krmužnici, budeme předpokládat, že se takto bude většina elektronů pohybovat. Pro pohyb částice v uzavřené soustavě po kruhové dráze poté platí, že její moment hybnosti b je konstantní. V tomto uspořádání se dá vypočítat následovně:

$$b = mr^2 \frac{d\varphi}{dt} + \frac{1}{2} er^2 B = konst. \quad (7)$$

$\frac{d\varphi}{dt} = \omega$ Úhlová rychlost elektronu
r Poloměr dráhy elektronu

Pro dva velmi blízké kruhové dráty dostaneme pro úhlovou rychlost následující vztah:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{2} \frac{e}{m} B \quad (8)$$

Energetickou bilanci pro elektron, který vyletěl z katody velice malou počáteční rychlostí do elektrického pole, které mu přidává kinetickou energii určenou napětím U_a můžeme vyjádřit následující rovnicí

$$\frac{1}{2} m (R_a^2 - R_k^2)^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = eU_a \quad (9)$$

Po dosazení (8) do (9) dostaneme následující vztah:

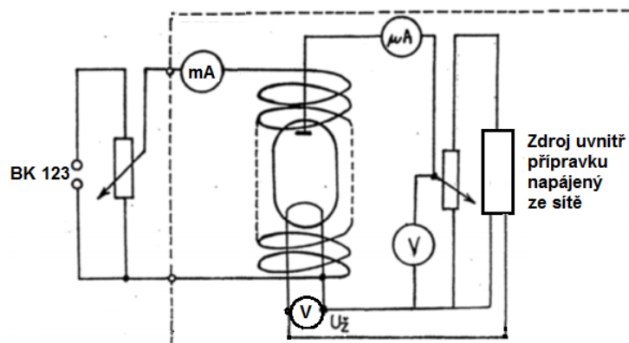
$$\frac{1}{2} m (R_a^2 - R_k^2)^2 \left(\frac{1}{2} \frac{eB_0}{m} \right)^2 = eU_a \quad (10)$$

Z této rovnice můžeme vyjádřit vztah pro měrný náboj elektronu

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a R_a^2}{(R_a^2 - R_k^2)^2 B_0^2} \quad (11)$$

Schéma zapojení

Obrázek 1: Schéma zapojení úlohy



Zpracování naměřených hodnot

$U_a = 8V$		$U_a = 10V$		$U_a = 12V$	
I_c	I_a	I_c	I_a	I_c	I_a
(mA)	(μA)	(mA)	(μA)	(mA)	(μA)
0	35	0	40	0	46
30	36	30	40	30	46
60	36	60	40	60	46
90	36	90	40	90	45
120	36	120	39	120	43
150	35	150	38	150	42
180	34	180	37	180	42
210	33	210	36	210	41
240	32	240	34	240	40
270	31	270	31	270	39
300	30	300	30	300	38
330	30	330	28	330	36
360	28	360	25	360	33
390	26	390	20	390	32
420	23	420	16	420	29
450	20	450	13	450	26
480	16	480	10	480	22
510	15	510	7	510	20
540	12	540	-	540	16
570	9	570	-	570	13
600	7	600	-	600	12
630	6	630	-	630	10
660	5	660	-	660	8

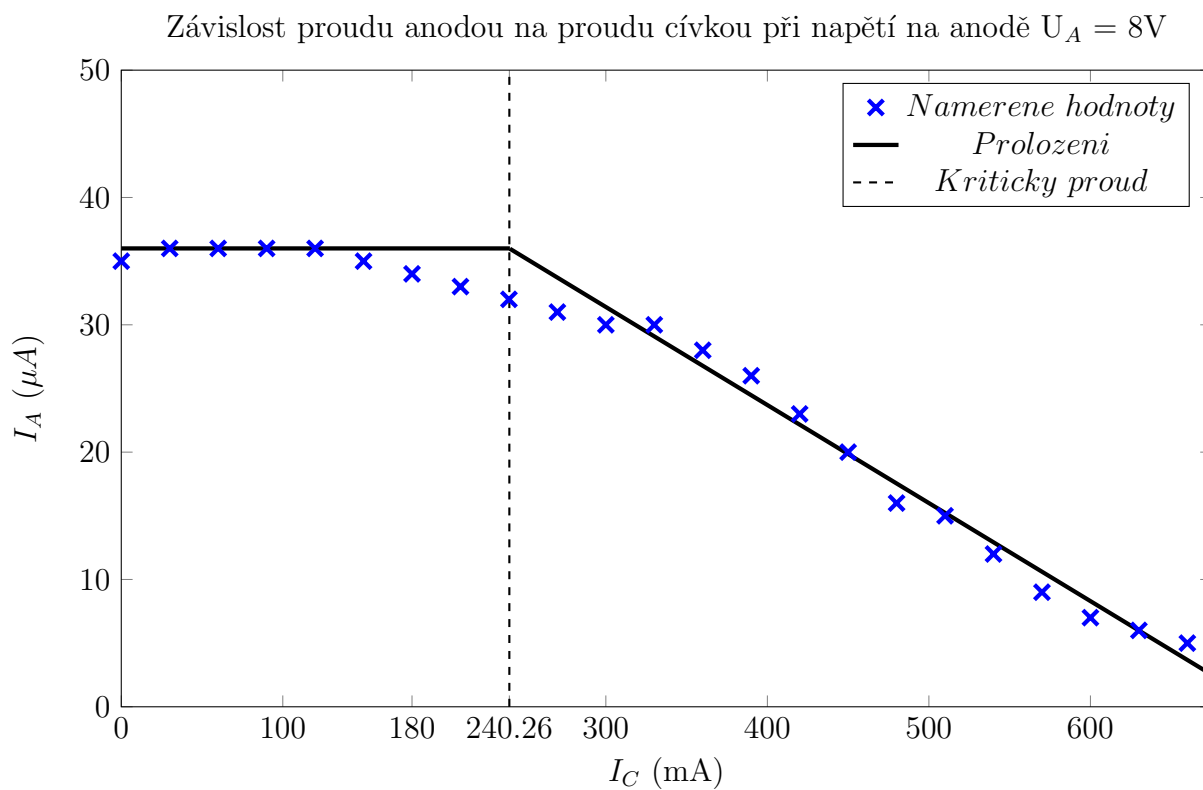
Tabulka 1: Naměřené hodnoty

Parametry cívky		Parametry elektronky	
délka / mm	325	poloměr katody / mm	3
počet závitů	5580	poloměr anody / mm	5
průměr vodiče / mm	0.6	žhavicí napětí / V	6.04
počet vrstev	9		

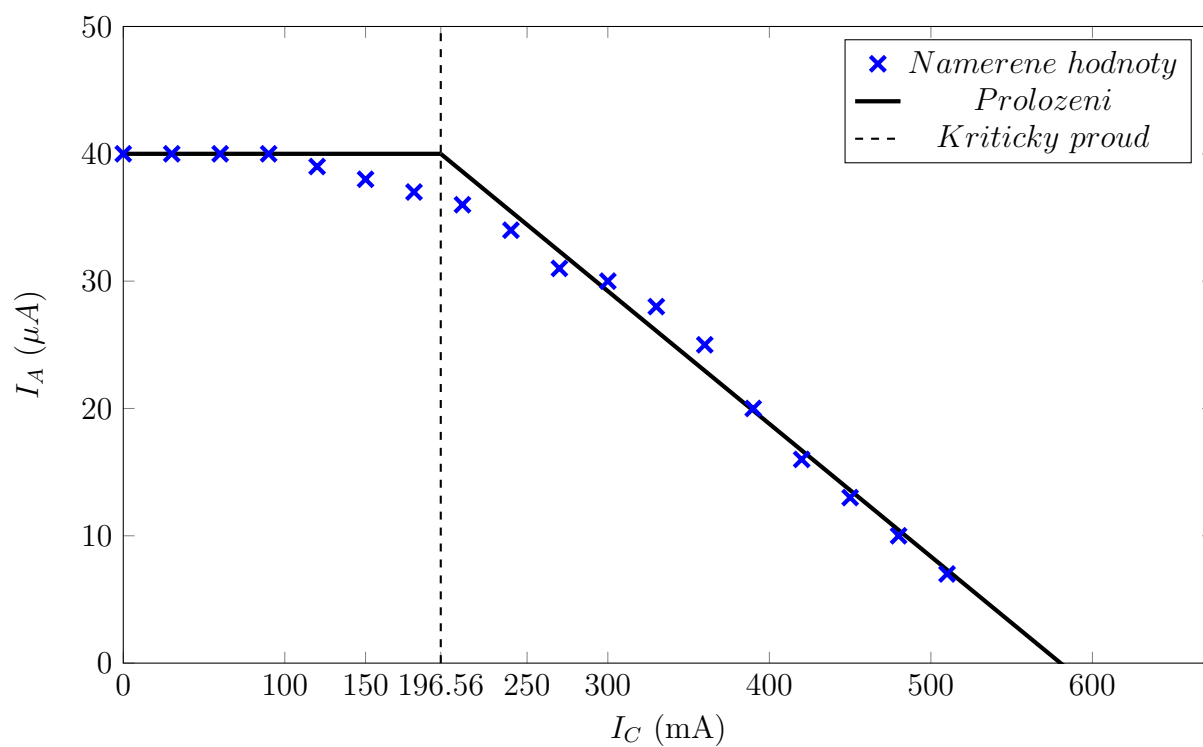
Tabulka 2: Parametry měřených prvků

Hodnoty z této tabulky poté převedeme do grafů. Pokud grafy proložíme přímkou, kterou vytvoříme pomocí metody nejmenších čtverců z lineární části měření, dostaneme v průsečíku s maximem hodnotu kritického proudu.

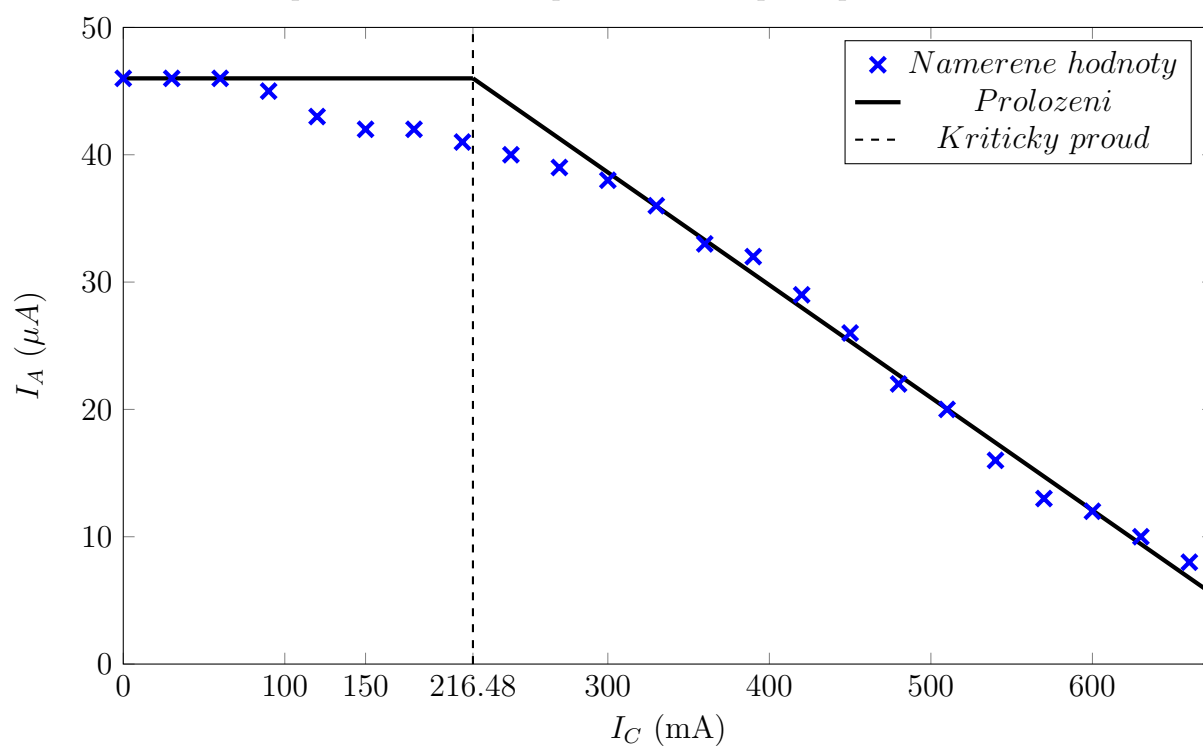
Grafy



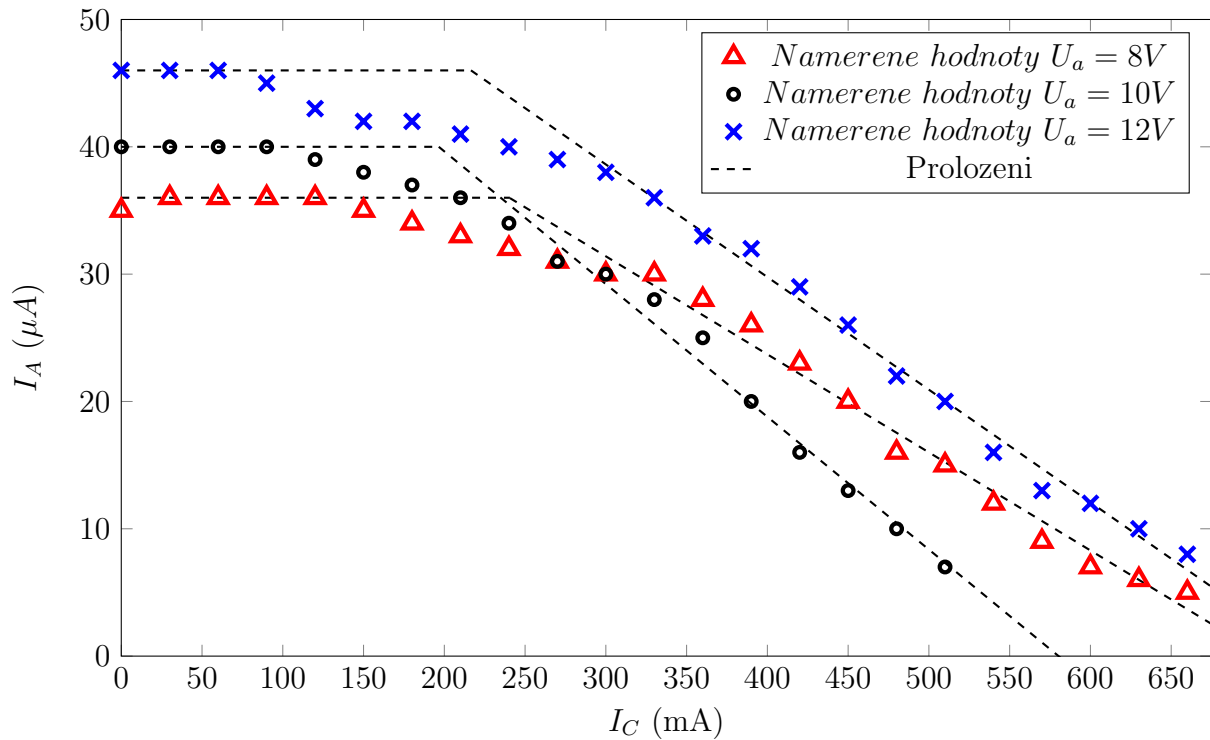
Závislost proudu anodou na proudu cívkou při napětí na anodě $U_A = 10\text{V}$



Závislost proudu anodou na proudu cívkou při napětí na anodě $U_A = 12\text{V}$



Přehled průběhů závislostí proudu anodou na proudu cívkou při všech použitých napětích



Z těchto grafů jsme extrapolací zjistili kritické proudy. Z těchto proudů lze pomocí vztahu (1) spočítat kritickou magnetickou indukci B_0 . Zde je výpočet pro $U_A = 8V$:

$$B_0 = \mu_0 \cdot \frac{5580}{0.325} \cdot 0.24026 = 5.184mT$$

Z této hodnoty, a z hodnot obsažené v tabulce (2) jsme schopni spočítat podle vztahu (11) spočítat velikost měrného náboje.

$$\frac{e}{m} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 0.005^2}{(0.005^2 - 0.003^2)^2 \cdot 0.005184^2} = 2.3259 \cdot 10^{11} Ckg^{-1}$$

Obdobně spočteme velikosti měrných nábojů pro všechny použité napětí. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce:

Napětí	Kritický proud cívkou	Kritická mag. indukce	Měrný náboj elektronu	Chyba od tabulkové hodnoty
U_A	I_C	B_0	$\frac{e}{m}$	$\frac{e}{m_{tab}} = 1.7588Ckg^{-1}$
(V)	(mA)	(mT)	(Ckg^{-1})	(%)
8	240.26	5.184	2.3259	32.24
10	196.56	4.241	4.3439	146.9
12	216.48	4.671	4.2976	144.2

Tabulka 3: Tabulka vypočtených hodnot

Použité přístroje

Název	Výrobce	Typ	Identifikace	Další údaje
Laboratorní zdroj	UNI-T	UTP3313TFL	81900468	
Měřidlo I_C			24026501	900mA
Měřidlo U_A			24026602	20V
Měřidlo I_A			24026402	240μA
Připravek na stanovení měrného náboje elektronu			Magnetron č. 3	

Tabulka 4: Použité měřicí přístroje

Závěr

V tomto měření jsme se pomocí magnetronu tvořeným diodou z dvou souosých válců pokusili změřit měrný náboj elektronu. Měření jsme prováděli pro 3 různá napětí na anodě (8V, 10V, 12V). Ve grafech sestavených z naměřených hodnot jsem následně z rovnice proložení zjistil hodnoty proudu, při kterém je magnetická indukce kritická. Při těchto proudech jsem následně spočetl hodnoty měrného náboje elektronu. Nej přesněji vyšla hodnota pro napětí 8V, při kterém byl změřen měrný náboj elektronu $e/m = 2.3259 \text{ Ckg}^{-1}$. Chyba této hodnoty vůči teoretické tabulkové hodnotě (1.7588 Ckg^{-1}) byla 33.24%. U zbylých měření chyba přesahovala 100%.

Chyby měření mohly být způsobeny zejména opotřebením měřícího přístroje. Jelikož jsou přístroje využívány pravděpodobně déle než 3 roky, mohla se na katodě vytvořit vrstva oxidu, což by změnilo počáteční rychlost elektronu. Dále je pravděpodobné, že mohly být špatně změřeny průměry katody a anody. Možné jsou také chyby měřících přístrojů napětí a proudů. Chyba mohla také vzniknout při prokládání grafu přímkou kvůli špatnému výběru bodů.