

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI ČVUT V PRAZE

Datum měření: 23.4.2012	Jméno: Jakub Kákona
Pracovní skupina: 2	Hodina: Po 7:30
Spolupracovníci: Viktor Polák	Hodnocení:

Úloha 11: Termická emise elektronů

Abstrakt

Cílem našeho měření bylo změření VA charakteristiky a zjištění význačných bodů u laboratorní diody s přímo žhavenou katodou.

1 Úvod

1.1 Zadání

1. Změřte závislost emisního proudu katody na kladném anodovém napětí v rozmezí (100 - 600) V při konstantní teplotě katody. Měření proveďte pro 5 - 8 teplot v rozmezí 1800 až 2500 K. Teplotu měřte pyrometrem.
2. Výsledky měření podle bodu 1 vynesete do grafu, určete hodnoty nasyceného emisního proudu a nakreslete Richardsonovu přímkou.
3. Vypočtete výstupní práci φ_v a určete hodnotu Richardsonovy konstanty A .
4. Změřte závislost náběhového proudu $I_a = f(U_{KA})$ pro deset hodnot záporného anodového napětí U_{KA} při konstantním žhavicím proudu I_{zh} . Měřte v rozsahu -10 až 0V.
5. Měření podle bodu 4) proveďte pro šest různých hodnot žhavicího proudu I_{zh} . Pro každou hodnotu žhavicího proudu změřte teplotu středu katody radiačním pyrometrem.
6. Z průběhů náběhového proudu určete příslušné teploty katody a porovnejte je s teplotami změřenými pyrometrem.
7. Z napětí a proudů žhavením katody odhadněte její teplotu.

2 Experimentální uspořádání a metody

2.1 Pomůcky

Vakuová dioda s wolframovou přímo žhavenou katodou trvale čerpaná vakuovým systémem, regulovatelný zdroj 20 V, žhavicí transformátor, regulovatelný zdroj 600 V, voltmetr, ampérmetr, miliampérmetr, nanoampérmetr, regulační transformátor 0 - 220 V.

2.2 Teoretický úvod

Kov si zjednodušeně představujeme, jako krystalovou mřížku z kladných iontů, ve které se volně pohybují elektrony. Aby elektron opustil tuto krystalovou mřížku, potřebuje dosáhnout jisté míry kinetické energie, která je funkcí teploty, tuto energii budeme nazývat výstupní prací a je charakteristická pro každý kov. Elektrony vyletují z materiálu obecně s různými rychlostmi, které se ovšem řídí Maxwellovým-Boltzmannovým rozdělením. Při určité teplotě se kolem zahříváné elektrody (katody) začne vytvářet tzv. elektronový oblak, který nepříznivě působí na emitování dalších elektronů. Abychom tomuto zabránili a mohli měřit opravdovou emisi při dané teplotě, použijeme další elektrodu (anodu) na kterou budeme přivádět kladné napětí nebo ve speciálním případě mírně záporné. Pro proud potom můžeme napsat vztah

$$I_a = I_0 e^{\left(\frac{e\varphi_a}{kT}\right)}, \quad (1)$$

kde I_0 je ideální nasycený proud, e náboj elektronu ($e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C), T absolutní teplotu, φ_x potenciál ve vzdálenosti x od katody ($\varphi_x \leq 0$) a k představuje Boltzmannovu konstanta ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ W.s.K}^{-1}$).

Pro hustotu termoemisního nasyceného proudu platí

$$i_0 = AT^2 \exp\left(-\frac{e\varphi_v}{kT}\right), \quad (2)$$

kde A je tzv. Richardsonova konstanta (teoretická hodnota $A = 120 \cdot 10^4 \text{ A.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$, pro wolfram je praktická hodnota asi $80 \cdot 10^4 \text{ A.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$). Po zlogaritmování dostáváme

$$\ln i_0 - 2 \ln T = \ln A - \frac{e\varphi_v}{kT}, \quad (3)$$

což můžeme přepsat do tvaru přímky $y = a - bx$, kde $y = \ln i_0 - 2 \ln T$; $a = \ln A$; $b = e\varphi_v/k$; $x = 1/T$. Z grafu pak můžeme fitováním získat patřičné konstanty. Dále se ještě využije vztah

$$a = \ln I_0 - 2 \ln T = \ln SA, \quad (4)$$

kde $I_0 = i_0 S$. Pro výpočet teploty při mírně záporném anodovém napětí použijeme vztah

$$T = 5040 \frac{U_1 - U_2}{\log(I_1/I_2)}. \quad (5)$$

3 Výsledky a postup měření

3.1 Měření emisního proudu pro kladné anodové napětí

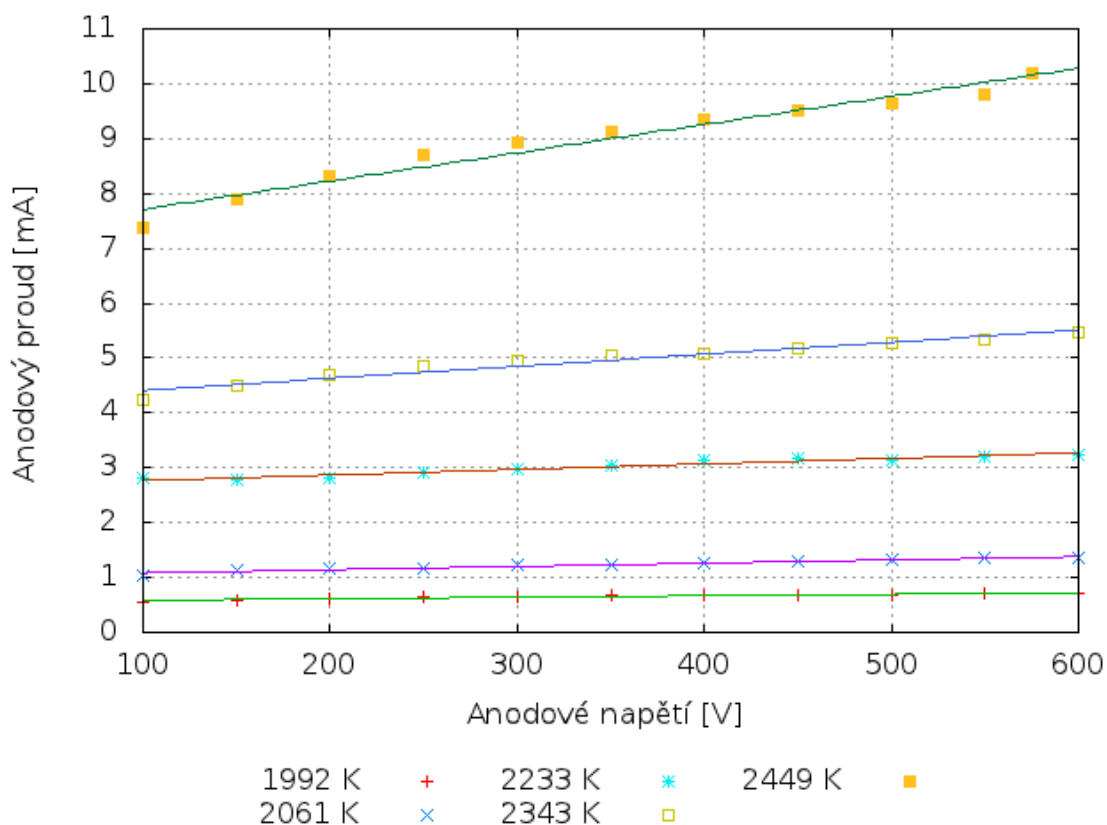
Nejdříve jsme prozkoumali konstrukci vakuové aparatury a začali čerpat rotační vývěvou, po dosažení mezního tlaku této vývěvy, jsme byla zapnuta ještě turbomolekulární vývěva. Mezitím jsme zapojili měřící sestavu dle přiloženého schématu. Po dosažení mezního tlaku skoro 10^{-4} Pa jsme vyzkoušeli funkčnost celé aparatury, nejdříve žhavení, tedy zvýšením žhavicího proudu a následně i tok náboje k anodám. Nakonec jsme otestovali radiační pyrometr.

Zvyšovali jsme postupně tuto teplotu katody a vždy změřili emisní charakteristiku až do oblasti nasycení, všechny hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1. Pro každou teplotu jsme sestavili graf. Po extrapolaci hodnot I_0 jsme následně jsme daty proložili přímkou a vyfitovali hodnoty $A = (4,7 \pm 1,6) 10^4 \text{ A.m}^{-2} \text{ K}^{-2}$ a $\varphi_v = (4,7 \pm 0,6) \text{ V}$.

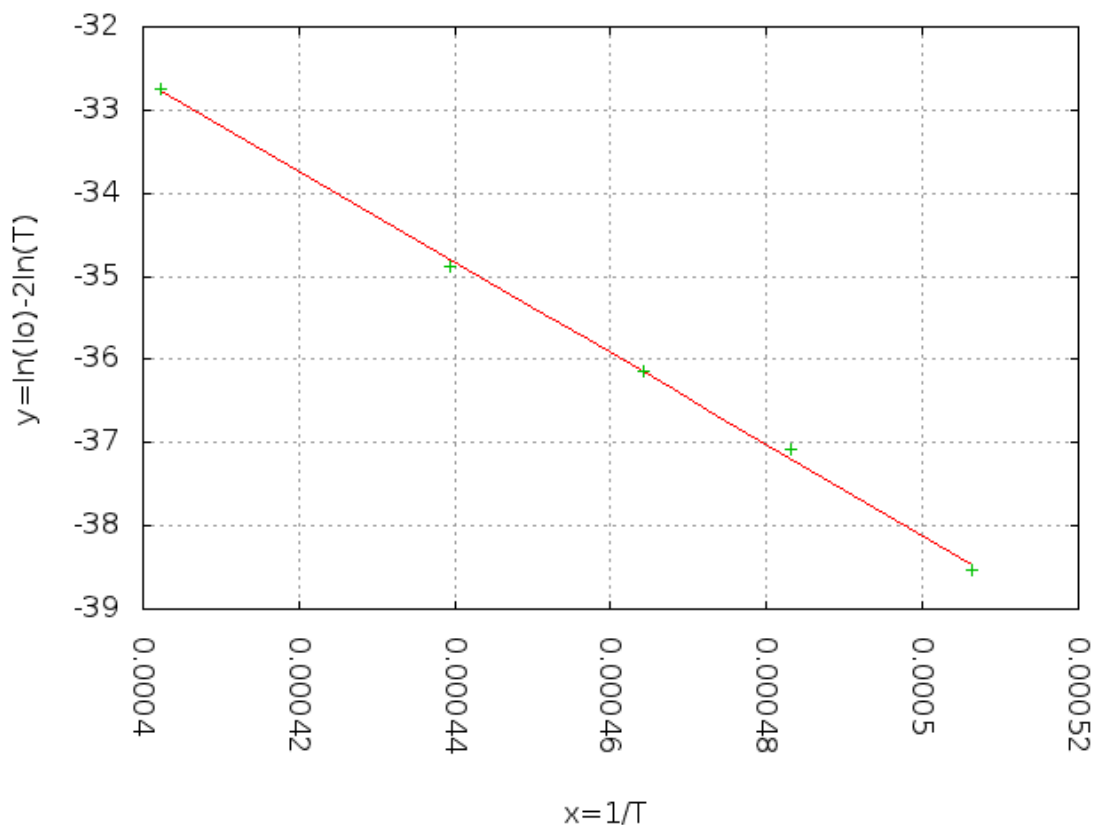
Pokusili jsme se také ještě odhadnout teplotu žhaveného vlákna podle příkonu.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty emisního proudu v závislosti na napětí.

U [V]	I [mA]				
	2276 [K]	2486 [K]	2153 [K]	2071 [K]	1975 [K]
100	0,15	1,52	0,04	0,0140	0,0030
200	0,16	1,58	0,04	0,0145	0,0035
300	0,16	1,64	0,04	0,0150	0,0035
400	0,17	1,68	0,04	0,0155	0,0038
500	0,17	1,72	0,04	0,0160	0,0040
555	0,18	1,72	0,05	0,0160	



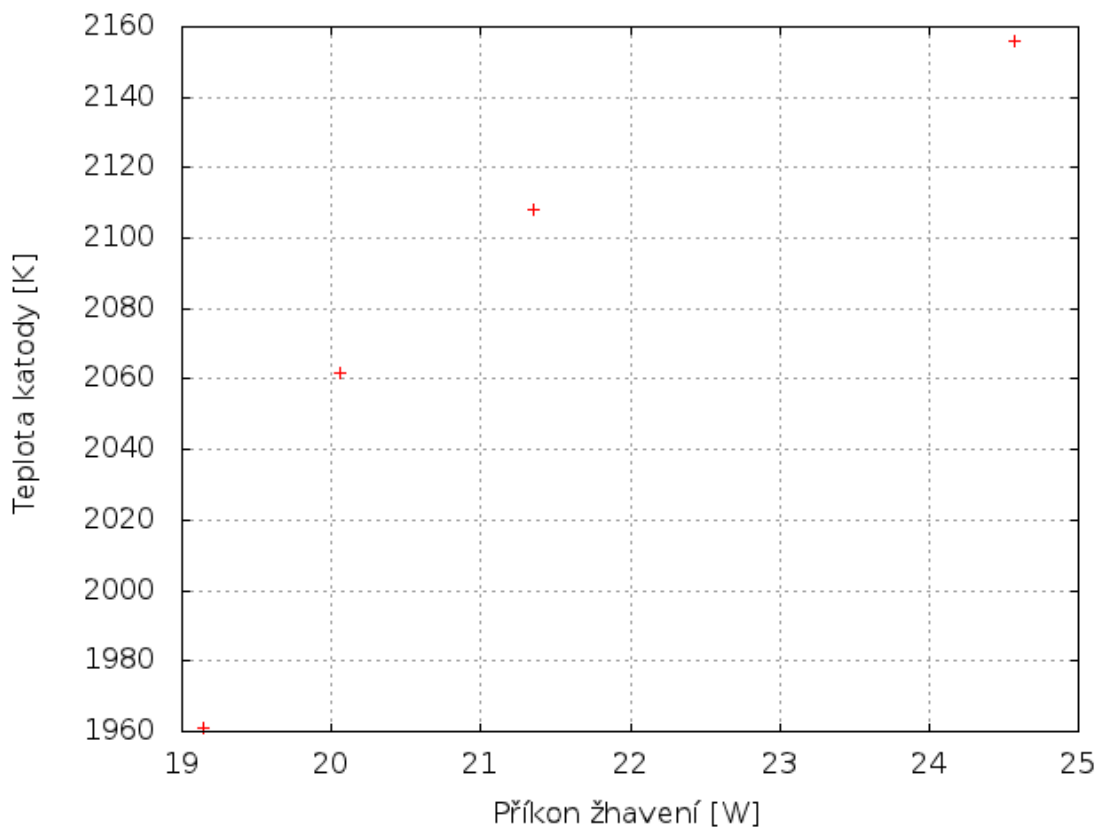
Obrázek 1: Naměřené hodnoty emisního proudu v nasycené oblasti



Obrázek 2: Rychardsonova přímka

4 Diskuse

- Změřili jsme závislost nasyceného proudu na teplotě. Měřený rozsah vyšel dobře do nasycené oblasti a naměřené hodnoty jsou proto téměř lineární.
- Naměřené hodnoty jsme pro porovnání zobrazili do jednoho grafu. Lineární extrapolací jsme určili hodnoty proudu pro nulové napětí. Hodnotami jsme následně proložili přímku a vypočetli Richardsonovu konstantu $A = (4,7 \pm 1,6)10^4 Am^{-2}K^{-2}$ která se ovšem řádově liší od předpokládané hodnoty $A = (80)10^4 Am^{-2}K^{-2}$ výstupní práce pak vyšla $\varphi_v = (4,7 \pm 0,6)V$.
- Chyby při určování konstant z fitu naměřených hodnot budou pravděpodobně způsobeny nějakou systematickou chybou.
- V důsledku poruchy aparatury se nepodařilo získat hodnoty pro záporná anodová napětí.
- Z naměřených hodnot jsme se pokusili spočítat předpokládanou teplotu katody, kterou jsme v tabulce porovnali s teplotou změřenou Pyrometrem.
- Naměřenou teplotu a žhavicí výkon jsme uvedli v grafu. Je patrné, že tato závislost je nelineární a při vyšších teplotách vzrůstá podíl vyzářené tepelné energie.



Obrázek 3: Závislost teploty katody na žhavicím příkonu

5 Závěr

Při měření jsme si prakticky vyzkoušeli práci se sestavou vakuové techniky a zjistili komplikace při měření malých proudů v obvodu vakuové diody. Richardsonovu konstantu jsme určili fitováním grafu $A = (4,7 \pm 1,6)10^4 Am^{-2}K^{-2}$. Výstupní práci elektronů pro wolfram jsme určili $\varphi_v = (4,7 \pm 0,6)V$, která se od skutečné hodnoty $\varphi_v \approx 4.5V$ příliš výrazně neliší.

Reference