

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI ČVUT V PRAZE

Datum měření: 8.4.2011	Jméno: Jakub Kákona
Pracovní skupina: 4	Ročník a kroužek: Pa 9:30
Spolupracovníci: Jana Navrátilová	Hodnocení:

## Úloha 11: Termická emise elektronů

### Abstrakt

Před více jak stoletím byla objevena vakuová dioda. 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  $\varphi_v$  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

Speciální dioda s wolframovou žhavnou 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,  $\varphi_x$  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  $10^{-4} \text{ Pa}$  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 obrázek 1, obrázek 2. Následně jsme daty proložili přímkou a vyfitovali hodnoty  $A = (7.5 \pm 2.8) \cdot 10^4 \text{ Am}^{-2} \text{K}^{-2}$  a  $\varphi_v = (5.1 \pm 0.9) \text{ V}$  obrázek 3.

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

2061 [K]	
U[V]	I [mA]
100	1,04
150	1,12
200	1,16
250	1,18
300	1,22
350	1,24
400	1,26
450	1,30
500	1,32
550	1,35
600	1,36

**Tabulka 2:** Naměřené hodnoty emisního proudu v závislosti na napětí.

2233 [K]	
U[V]	I [mA]
100	2,80
150	2,78
200	2,81
250	2,90
300	2,98
350	3,05
400	3,14
450	3,18
500	3,15
550	3,20
600	3,23

**Tabulka 3:** Naměřené hodnoty emisního proudu v závislosti na napětí.

2343 [K]	
U[V]	I [mA]
100	4,23
150	4,5
200	4,68
250	4,84
300	4,95
350	5,04
400	5,07
450	5,19
500	5,26
550	5,33
600	5,47

**Tabulka 4:** Naměřené hodnoty emisního proudu v závislosti na napětí.

2449 [K]	
U[V]	I [mA]
100	7,39
150	7,91
200	8,3
250	8,7
300	8,93
350	9,12
400	9,35
450	9,52
500	9,63
550	9,8
575	10,2

**Tabulka 5:** Naměřené hodnoty emisního proudu v závislosti na napětí.

1992 [K]	
U[V]	I [mA]
100	0,56
150	0,59
200	0,62
250	0,64
300	0,66
350	0,67
400	0,68
450	0,68
500	0,69
550	0,7
600	0,71

### 3.2 Měření emisního proudu pro záporné anodové napětí

Pro měření při záporném anodovém napětí jsme otočili polarizaci zdroje vysokého napětí a přešli na nižší rozsah 0-30V, místo miliampérmetru jsme také zapojili galvanometr. Opět jsme měnili teplotu katody a tentokrát zapisovali i žhavicí proud, z charakteristiky jsme se snažili měřit exponenciální oblast. (Jiná část není v této konfiguraci měření dostupná a je zatížena silnými nelinearitami a parazitními jevy). Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

## 4 Diskuse

- Naměřené hodnoty emisního proudu při kladném anodovém napětí jsou uvedeny v tabulce 1. S miliampérmetrem se nám podařilo dosáhnout měřitelné emise při teplotě 2142K na nejnižším rozsahu miliampérmetru 0.06mA. Náběhový proud měl při dané teplotě a zvyšujícím se anodovém napětí exponenciální charakter, kde vždy poslední hodnota v tabulce pro danou teplotu, je již nasycený proud (dále se nezvyšoval).
- Grafy emisních proudů při daných teplotách jsou na obrázku 1, 2. Hodnoty nasyceného emisního proudu jsou uvedeny v tabulce 1, vždy největší hodnota pro danou teplotu. Richardsonova přímka je na obrázku 3.
- Richardsonovu konstantu jsme určili fitováním grafu (obrázek 3)  $A = (7.5 \pm 2.8) 10^4 \text{ Am}^{-2} \text{ K}^{-2}$  a od skutečné hodnoty pro wolfram  $A \approx 80 \cdot 10^4 \text{ Am}^{-2} \text{ K}^{-2}$  se liší o řád, přesněji o 91%, což je na první pohled dosti mizerné, ale uvědomíme-li si, že jsme s miliampérmetrem měřili i setiny miliampér (desítky mikroampér), pak už počítáme s jistou chybou. Navíc bylo i mírně problémové zjišťování teploty katody radiačním pyrometrem a některé hodnoty v tabulce to přímo potvrzují. Tyto chyby by mohly být způsobeny i naší chybou, kdy jsme nečekali než se teplota katody ustálí, ovšem vezmeme-li v úvahu rozměry katody a přírodní kontakty dalo by se o tom polemizovat. Výstupní práci jsme opět zjistili fitováním ze stejného grafu  $\varphi_v = (5.1 \pm 0.9) \text{ V}$ , která se od skutečné hodnoty  $\varphi_v \approx 4.5 \text{ V}$  liší o 14%.

- Závislost náběhového proudu pro záporné anodové napětí jsme změřili a uvedli v tabulce 2, ale pro nedostatek času jsme nepořili příliš hodnot což se projevilo nepříznivě při fitování průběhů a zjišťování teplot katody ze vzorce 5.
- Při proměřování jsme zapsali i hodnoty žhavicího proudu a uvedli ve výše zmíněné tabulce.
- Jak jsem již uvedl v před-předchozím bodě teplotu katody jsme určovali radiačním pyrometrem a dále podle vzorce 4, kde jsme místo zlomku za konstantou 5040 použil směrnice grafu, hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2. Toto měření bylo opět dosti zajímavé z hlediska měření proudu, kdy jsme měřili v nejméně desítkách nanoampérů, což i přes dosti sofistikovaně použitý galvanometr se zrcátkem je docela zátěž. Vůbec obecné měření takto malé veličiny proudu je problém.

## 5 Závěr

Při měření jsme si prakticky vyzkoušely práci s vysoce sofistikovanou sestavou vakuové techniky a prací s elektronkovou diodou. Richardsonovu konstantu jsme určili fitováním grafu (obrázek 3)  $A = (7.5 \pm 2.8)10^4 Am^{-2}K^{-2}$  a od skutečné hodnoty pro wolfram  $A \approx 80 \cdot 10^4 Am^{-2}K^{-2}$  se liší o 91%. Výstupní práci elektronů pro wolfram jsme opět určili fitováním z grafu (obrázek 3)  $\varphi_v = (5.1 \pm 0.9)V$ , která se od skutečné hodnoty  $\varphi_v \approx 4.5V$  liší o 14%.

## Reference