

FYZIKÁLNE PRAKTIKUM

Spracoval: Vladimír Domček

Namerané: 25.2.2013

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semester:** IV

Testované:

Úloha č. 2: Štúdium termoelektrónovej emisie

1. Zadanie

- Zmerajte výstupnú prácu w wolframu pomocou R-D priamky
- Odhadnite pre použitú diódu intenzitu el. poľa na povrchu katódy
- Zmerajte závislosť $I_{nas} = f(U_a)$
- Pre dve hodnoty žhaviaceho prúdu I_f zmerajte oblasť nábehového prúdu I a vyneste do grafu. Zpracujte aj v súradniciach $\ln I = f(U_a)$ a z priamkovej časti v nábehovej oblasti určíte teplotu elektrónov

2. Teória

2.1. Výstupná práca

Termoemisija je uvoľňovanie elektrónov pri zvýšenej teplote kovu. Využíva sa na získanie elektrónového zväzku v mnohých prístrojoch (elektrónové mikroskopy) a podáva nám informácie o silách, ktorými sú elektróny viazané. Kovy zahriate na dostatočne vysokú teplotu teda vyžarujú elektróny, pričom povrch kovu sa podarí opustiť len tým elektrónom, ktoré majú energiu vyššiu ako určitú hodnotu. Táto hodnota sa nazýva výstupná práca (w) a je to energia potrebná na prekonanie príťažlivých síl v kove. Súčet všetkých vyžiarených elektrónov sa nazýva nasýtený prúd I_{nas} a vypočítame ho z Richardsonovo - Dushmanovej rovnice:

$$I_{nas} = BT^2 e^{-\frac{w}{kT}} \quad (1)$$

úpravou tohto vzťahu sa dostaneme k rovnici:

$$\ln \frac{I_{nas}}{T^2} = -\frac{w}{k} \frac{1}{T} + \ln B \quad (2)$$

V tejto rovnici sú k , B a w konštanty a preto si môžeme dovoliť prepísať ju do nasledujúceho tvaru:

$$y = -\frac{w}{k}x + \ln B \quad (3)$$

čo je tzv. Richardsonova priamka. k je Boltzmanova konštanta a B je konštanta zahrňujúca mimo iné plochu katody a termoemisnú konštantu A . Zo smernice tejto priamky môžeme určiť výstupnú prácu kovu w .

Teplotu v tejto úlohe získame zo závislosti katódového odporu na teplote:

$$T = \frac{U_f \pi r^2}{I_f \rho d \alpha} - \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

2.2. Schottkyho efekt

Prítomnosť silného elektrického poľa má za následok zníženie výstupnej práce katódy. Táto hodnota sa dá vypočítať pomocou vzťahu:

$$w_p = \sqrt{\frac{e^3 E}{4\pi\epsilon_0}} \quad (5)$$

Intenzitu elektrického poľa získame vďaka zjednodušujúcemu predpokladu, že E sa tesne nad povrchom katódy správa rovnako ako nad valcovým kondenzátorom.

$$E = U_a \frac{1}{r \ln \frac{D}{r}} \quad (6)$$

Dosadením w_p do R-D rovnice sa postupnými úpravami dostaneme k rovnici na výpočet prírastku prúdu vďaka prítomnosti elektrického poľa:

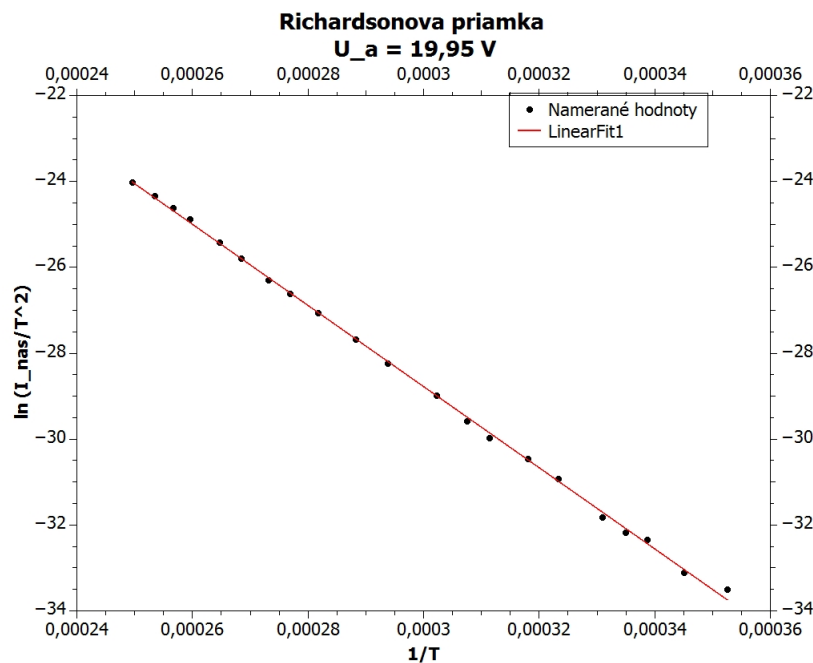
$$\Delta I_{nas} = I_{nas} \left(e^{\frac{w_p}{kT}} - 1 \right) = BT^2 e^{\frac{-w}{kT}} \left(e^{\frac{w_p}{kT}} - 1 \right) \quad (7)$$

3. Meranie

3.1. R-D Priamka

Hodnoty použité pri výpočtoch:

Polomer katódy:	$r = 0,08 \text{ mm}$
Dĺžka katódy:	$l = 50 \text{ mm}$
Polomer anódy:	$R = 17 \text{ mm}$
Vzdialenosť anódy a rozžeravenej katódy:	$D = 15 \text{ mm}$
Vzdialenosť anódy a studenej katódy:	$L = 25 \text{ mm}$



$$\begin{aligned} \frac{w}{k} &= (945 \pm 6) 10^2 \text{ K} \\ \ln B &= (-4 \pm 2) 10^{-1} \\ \hline w &= (127 \pm 8) 10^{-20} \text{ J} = (7,91 \pm 0,5) \text{ eV} \\ B &= (0,43 \pm 0,22) \mu\text{A} \cdot \text{K}^{-2} \\ U_a &= 19,95 \text{ V} \rightarrow E = 47,6 \text{ kV m}^{-1} \end{aligned}$$

3.2. Schottkyho efekt - Teoretické hodnoty

Intenzita ($U_a = 500$ V): $E = 1,19 \cdot 10^6$ Vm⁻¹

Výstupná práca ($U_a = 500$ V): $w_p = 6,63 \cdot 10^{-21}$ J = 0,041 eV

$$U_f = 4,269 \text{ V}, I_f = 1,933 \text{ A}$$

Teplota katódy: $T_1 = 3\,820$ K

Nárast: $\Delta I_{nas1} = BT^2 e^{-\frac{w}{kT}} \left(e^{\frac{w_p}{kT}} - 1 \right) = 28,97 \mu\text{A}$

$$U_f = 3,872 \text{ V}, I_f = 1,819 \text{ A}$$

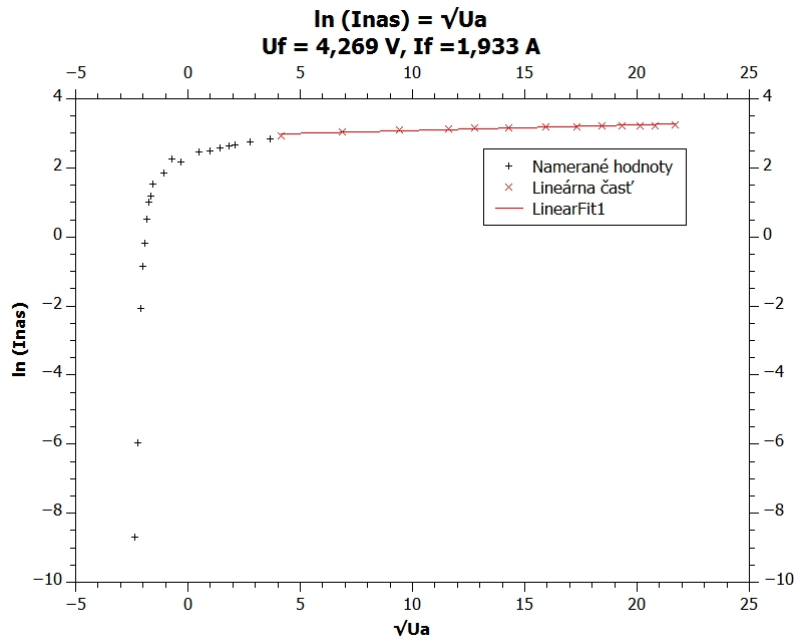
Nárast: $\Delta I_{nas2} = BT^2 e^{-\frac{w}{kT}} \left(e^{\frac{w_p}{kT}} - 1 \right) = 12,01 \mu\text{A}$

Teplota katódy: $T_2 = 3\,690$ K

3.3. Meranie závislosti $I_{nas} = f(U_a)$ č.1

3.3.1 Schottkyho efekt

Použité napätie a prúd: $U_f = 4,269$ V, $I_f = 1,933$ A, $P_1 = U_f I_f = 8,25$ W



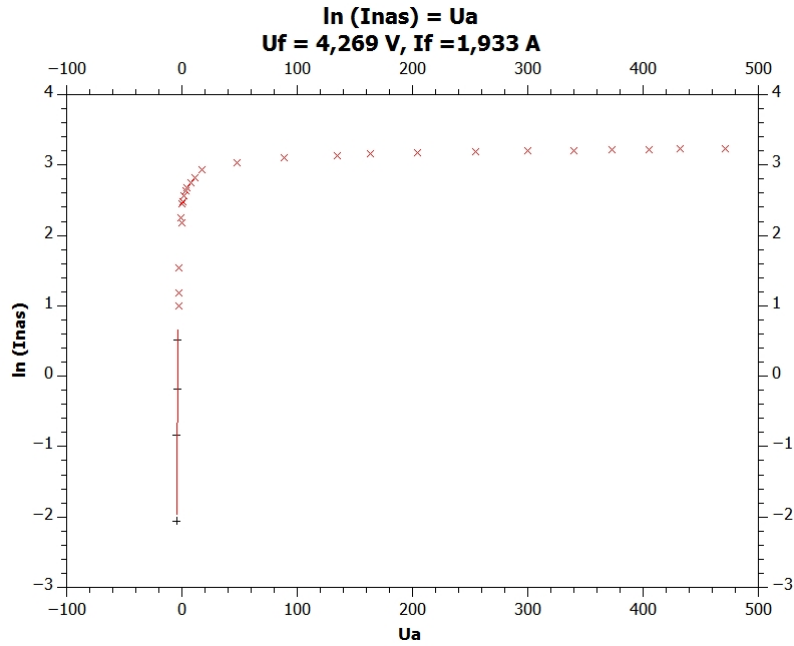
$$a = (1,5 \pm 0,2) 10^{-2} \text{ V}^{-1/2} \quad b = (2,93 \pm 0,02) \ln(\mu\text{A})$$

$$U_a = 500 \text{ V}$$

$$w_{p1} = a\sqrt{U_a}kT = (1,77 \pm 0,24) 10^{-20} \text{ J} = (0,11 \pm 0,01) \text{ eV}$$

$$\Delta I_{nas1} = e^b (e^{a\sqrt{U_a}} - 1) = (7,46 \pm 0,05) \mu\text{A}$$

3.3..2 Teplota elektrónov



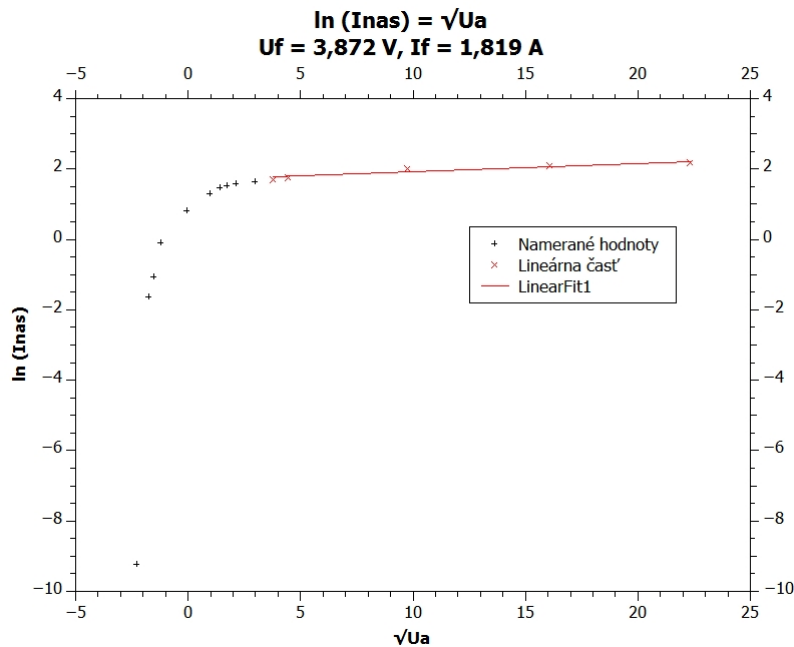
$$a = (3 \pm 0,3) \text{ V} \quad b = (10,8 \pm 1,1) \ln(\mu\text{A})$$

$$T_1 = \frac{e}{ka} = (3,9 \pm 0,3)10^3 \text{ K}$$

3.4. Meranie závislosti $I_{nas} = f(U_a)$ č.2

3.4..1 Schottkyho efekt

Použitá napätie a prúd: $U_f = 3,872 \text{ V}, I_f = 1,819 \text{ A}, P_2 = U_f I_f = 7,04 \text{ W}$



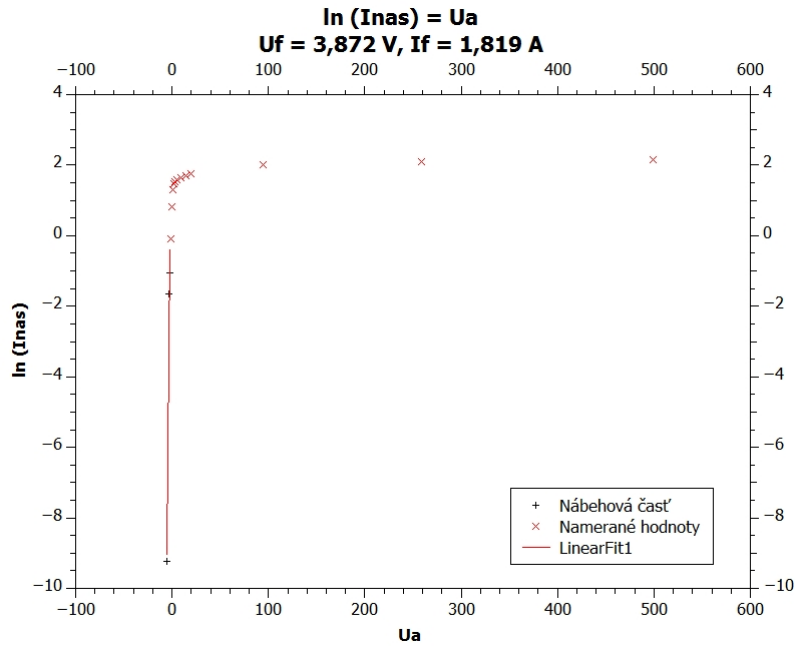
$$a = (2,4 \pm 0,5)10^{-2} \text{ V}^{-1/2} \quad b = (1,68 \pm 0,07) \ln(\mu\text{A})$$

$$U_a = 500 \text{ V}$$

$$w_{p2} = a\sqrt{U_a}kT = (2,73 \pm 0,6)10^{-20} \text{ J} = (0,17 \pm 0,03) \text{ eV}$$

$$\Delta I_{nas2} = e^b(e^{a\sqrt{U_a}} - 1) = (3,8 \pm 1,3) \mu\text{A}$$

3.4..2 Teplota elektrónov



$$a = (3,1 \pm 0,5) \text{ V} \quad b = (7 \pm 2) \ln(\mu\text{A})$$

$$T_2 = \frac{e}{ka} = (3,7 \pm 0,2)10^3 \text{ K}$$

4. Záver

V prvej časti úlohy sme pomocou R-D priamky zmerali výstupnú prácu $w = 7,91 \text{ eV}$ zatiaľ čo tabuľková hodnota je $w_T = 4,5 \text{ eV}$. Spočítali sme intenzitu elektrického poľa pri napätí 500 V :

$$E = 1192 \text{ kVm}^{-1}.$$

Taktiež sme zistili úbytok výstupnej práce w_p vplyvom elektrického poľa meraním smernice grafu v nasýtenej časti grafu. Výsledky nám vyšli pre napätie 500 V nasledovne:

$$I_f = 1,933 \text{ A} \rightarrow w_{p1} = (1,77 \pm 0,24)10^{-20} \text{ J} = (0,11 \pm 0,01) \text{ eV},$$

$$I_f = 1,819 \text{ A} \rightarrow w_{p2} = (2,73 \pm 0,6)10^{-20} \text{ J} = (0,17 \pm 0,03) \text{ eV}$$

pričom sa nám objavil aj prírastok nasýteného prúdu, opäť pri napätí 500 V :

$$\Delta I_{nas1} = (7,46 \pm 0,05) \mu\text{A}, \quad \Delta I_{nas2} = (3,8 \pm 1,3) \mu\text{A}.$$

Hodnoty nám tak vychádzajú tretinové až štvrtinové oproti teoretickým.

V poslednej časti sme merali teplotu elektrónov pri rôznom dodávanom výkone:

$$P_1 = 8,25 \text{ W} \Rightarrow T_1 = (3,9 \pm 0,3)10^3 \text{ K}$$

$$P_2 = 7,04 \text{ W} \Rightarrow T_2 = (3,7 \pm 0,2)10^3 \text{ K}$$

Teploty elektrónov sú podobné tým na katóde.