

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 3

**Zpracoval:** Tomáš Plšek

**Naměřeno:** 6. dubna 2018

**Obor:** Astrofyzika    **Ročník:** II    **Semestr:** IV

**Testováno:**

### Úloha č. 2: Studium termoelektrické emise

Úkoly:

1. Změřte výstupní práci  $w$  wolframu pomocí Richardsonovy - Dushmanovy přímky.
2. Odhadněte pro použitou diodu intenzitu elektrického pole u povrchu katody.
3. Změřte závislost  $I_{nas} = f(U_a)$  pro  $U_a < 500$  V, zpracujte ji do souřadnic  $\ln I_{nas} = \sqrt{U_a}$  a určete přírůstek proudu díky přítomnosti elektrického pole pro  $U_a = 500$  V. Porovnejte experimentálně získanou hodnotu s hodnotou určenou dle vztahu (7).
4. Pro dvě hodnoty žhavicího proudu  $I_f$  změřte oblast náběhového proudu  $I$  a vynesete do grafu. Zpracujte rovněž v souřadnicích  $\ln I = f(U_a)$  a z přímkové části v náběhové oblasti určete teplotu elektronů.

## 1. Úvod

Při emisi dochází k uvolnění elektronů z povrchu kovu. V našem případě k ní dochází kvůli vysoké teplotě kovu. Termoemise nám může poskytnout např. informaci o silách, kterými jsou elektrony vázány v kovu.

Kovy vyžhavené na vysokou teplotu tedy emitují elektrony. Povrch kovu však dokážou opustit pouze elektrony, jejichž energie je větší než výstupní práce kovu  $w$ . Součet všech elektronů uvolněných z kovu o výstupní práci  $w$  a teplotě  $T$  se označuje nasycený emisní proud:

$$I_{nas} = B T^2 \exp(-w/kT), \quad (1)$$

kde  $B$  je konstanta zahrnující plochu katody a termoemisní konstantu a  $k$  je Boltzmannova konstanta. Zlogaritmováním a úpravou rovnice (1) získáme vztah pro Richardsonovu-Dushmanovu přímku:

$$y = -\frac{w}{k} x + \ln B, \quad (2)$$

kde  $y = \ln(I_{nas}/T^2)$  a  $x = T^{-1}$ . Teplotu vlákna určíme z měření žhavicího proudu a napětí, protože odpor vlákna se mění s teplotou dle vztahu:

$$R_t = \frac{\rho d}{S} (1 + \alpha t), \quad (3)$$

kde  $t$  je teplota ve stupních Celsia,  $\rho$  je hustota materiálu, z něž je vlákno vyrobeno,  $\frac{d}{S}$  je poměr délky katody a její plochy a  $\alpha$  je teplotní součinitel odporu.

Snížíme-li anodové napětí z kladných hodnot do záporných, jsou elektrony stále více brzděny elektrickým polem. Pro tuto náběhovou oblast anodového proudu platí vztah:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eU_a}{kT_e}\right), \quad (4)$$

kde  $T_e$  je teplota elektronů.

Nachází-li se katoda v silném elektrickém poli dochází ke snížení výstupní práce katody o hodnotu:

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

Pro novou hodnotu nasyceného proudu tedy platí:

$$\ln I'_{nas} = \ln I_{nas} + w_p/kT \quad (6)$$

a po dosazení za  $w_p$  získáváme vztah:

$$\ln I'_{nas} = \ln I_{nas} + \sqrt{\frac{e^3}{4\pi\epsilon_0 k^2 T^2}} \cdot \sqrt{E}, \quad (7)$$

kde  $E$  je intenzita elektrického pole u povrchu katody. Intenzitu el. pole u žhavené katody lze v případě elektronky určit ze vztahu:

$$E = U_a \frac{L - D}{D} \frac{1}{r \ln(D/r)}. \quad (8)$$

Konstanty  $L$ ,  $D$  a  $r$  jsou parametry užitých katody a anody, kde  $L$  je vzdálenost anody a studené katody,  $D$  je vzdálenost anody a žhavené katody a  $r$  je poloměr katody.

## 2. Měření

Měření této úlohy je polo-automatizováno, oba zdroje napětí i všechny měřicí přístroje jsou připojeny k počítači. Data se ihned po naměření vykreslují do příslušného grafu, z něž můžeme na začátku určit oblast nasyceného proudu.

Parametry soustavy:

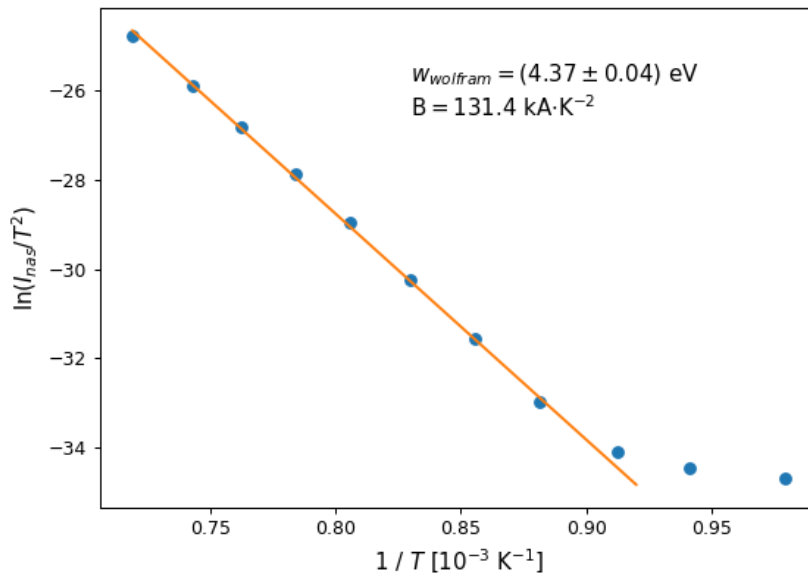
maximální žhavicí proud	$I_f = 2 \text{ A}$
maximální anodové napětí	$U_a = 500 \text{ V}$
poloměr katody	$r = 0.045 \text{ mm}$
délka katody	$d = 50 \text{ mm}$
poloměr anody	$R = 17 \text{ mm}$
vzdálenost anody a žhavené katody	$D = 15 \text{ mm}$
vzdálenost anody a studené katody	$L = 25 \text{ mm}$
hustota odporu	$\rho = 4.89 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$
teplotní součinitel odporu	$\alpha = 4.83 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
výstupní práce wolframu	$w = 4.5 \text{ eV}$

Nejdříve budeme měnit napětí na anodě  $U_a$  a sledovat jak se nám mění hodnota anodového proudu  $I_a$ . Vyneseme-li tuto závislost graficky, můžeme určit oblast nasyceného proudu a tedy i odpovídající oblast anodového napětí, ve které je proud nasycený.

V nasycené oblasti tedy vybereme určitou hodnotu anodového napětí a provedeme pro ni měření závislosti anodového proudu na proudu žhavicím. Získanou závislost převedeme podle vztahu (2) a pomocí Richardsonovy-Dushmanovy přímky určíme hodnotu výstupní práce wolframu  $w$ .

Tabulka 1: Teploty katody a hodnoty pro R-D přímku.

$I_f$ [A]	$I_a$ [ $\mu$ A]	$T$ [K]	$x$ [ $10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ]	$y$
1.935	34.260	1391	0.719	-24.76
1.806	10.194	1346	0.743	-25.90
1.711	3.870	1311	0.763	-26.82
1.610	1.300	1276	0.784	-27.86
1.511	0.407	1241	0.806	-28.96
1.406	0.106	1205	0.830	-30.24
1.306	0.026	1169	0.855	-31.58
1.211	0.006	1134	0.882	-33.00
1.106	0.002	1096	0.913	-34.09
1.015	0.001	1063	0.941	-34.48
0.911	0.001	1021	0.979	-34.71



Graf 1: Určení výstupní práce wolframu pomocí R-D přímky.

Výstupní práce wolframu  $w = (4.37 \pm 0.04) \text{ eV}$ .

Nyní proměříme závislost nasyceného proudu na anodovém napětí, vyjádříme závislost  $\ln(I_{nas})$  na  $\sqrt{U_a}$  a ze směrnice přímky určíme přírůstek proudu díky přítomnosti elektrického pole při anodovém napětí  $U_a = 500 \text{ V}$ . Tuto hodnotu srovnáme s teoretickou hodnotou podle vztahu (7).

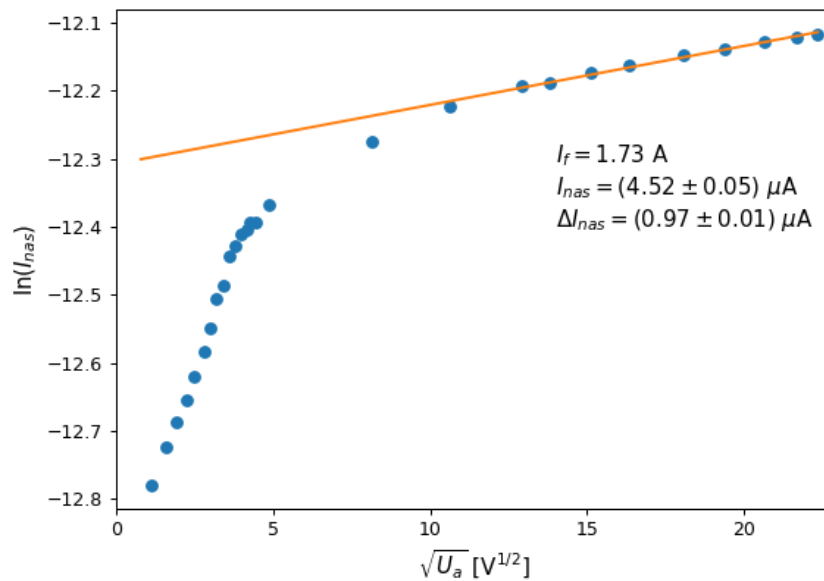
Teoretická hodnota intenzity elektrického pole u povrchu katody  $E = 12.8 \cdot 10^6 \text{ V m}^{-1}$ .

Tabulka 2a: Závislost nasyceného proudu na anodovém napětí při  $I_f = 1.73$  A.

$U_a$ [V]	$I_a$ [ $\mu$ A]	$\sqrt{U_a}$ [ $V^{1/2}$ ]	$\ln(I_{nas})$
112	4.92	10.61	-12.22
167	5.07	12.91	-12.19
190	5.09	13.80	-12.19
229	5.17	15.13	-12.17
267	5.22	16.35	-12.16
327	5.30	18.07	-12.15
375	5.35	19.36	-12.14
426	5.40	20.63	-12.13
470	5.44	21.68	-12.12
499	5.47	22.34	-12.12

Tabulka 2b: Závislost nasyceného proudu na anodovém napětí při  $I_f = 1.86$  A.

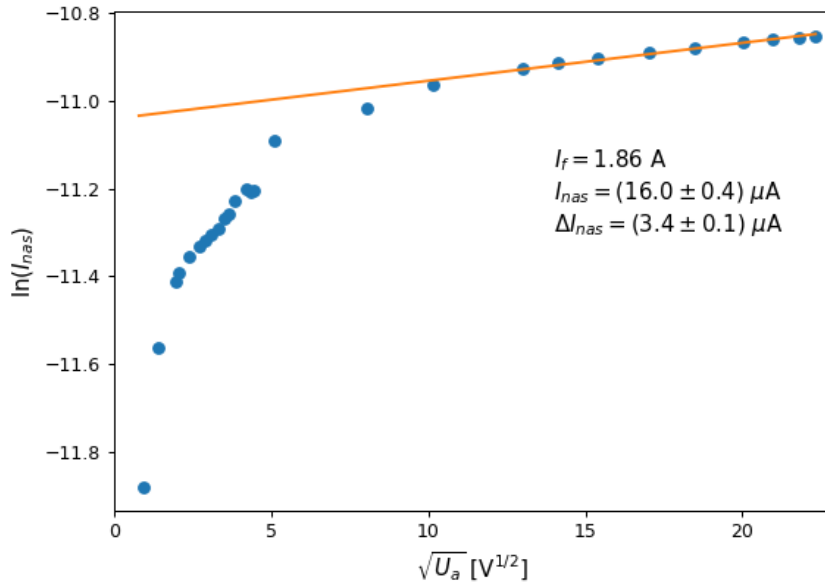
$U_a$ [V]	$I_a$ [ $\mu$ A]	$\sqrt{U_a}$ [ $V^{1/2}$ ]	$\ln(I_{nas})$
103	17.32	10.15	-10.96
170	17.99	13.03	-10.93
200	18.22	14.14	-10.91
236	18.41	15.38	-10.90
290	18.65	17.03	-10.89
342	18.86	18.50	-10.88
401	19.06	20.02	-10.87
440	19.20	20.98	-10.86
475	19.30	21.79	-10.86
499	19.36	22.33	-10.85



Graf 2a: Závislost logaritmu nasyceného proudu na anodovém napětí při  $I_f = 1.73$  A.

Naměřená hodnota rozdílu nasyceného proudu  $\Delta I_{nas} = (0.97 \pm 0.01) \mu\text{A}$ .

Teoreticky určená hodnota rozdílu nasyceného proudu  $\Delta I_{nas} = 2.16 \mu\text{A}$ .



Graf 2b: Závislost logaritmu nasyceného proudu na anodovém napětí při  $I_f = 1.86$  A.

Naměřená hodnota rozdílu nasyceného proudu  $\Delta I_{nas} = (3.4 \pm 0.1) \mu\text{A}$ .

Teoreticky určená hodnota rozdílu nasyceného proudu  $\Delta I_{nas} = 7.4 \mu\text{A}$ .

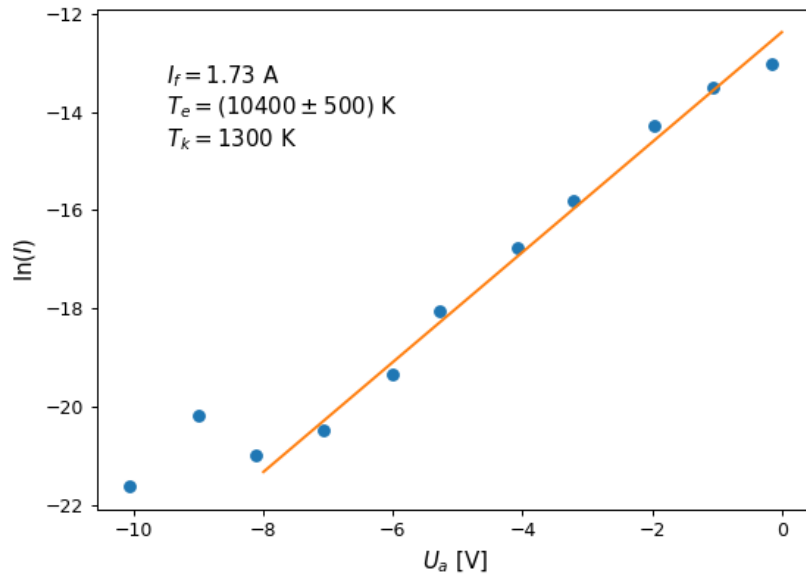
Pro dvě hodnoty žhavicího proudu nyní proměříme oblast náběhového proudu (na anodě bude záporné napětí). Když vyjádříme závislost  $\ln(I) = f(U_a)$  a proložíme ji přímkou, ze směrnice přímky můžeme zjistit teplotu elektronů  $T_e$ . Tuto hodnotu porovnáme s teplotou katody  $T_k$ .

Tabulka 3a: Závislost náběhového proudu na anodovém napětí při  $I_f = 1.73$  A.

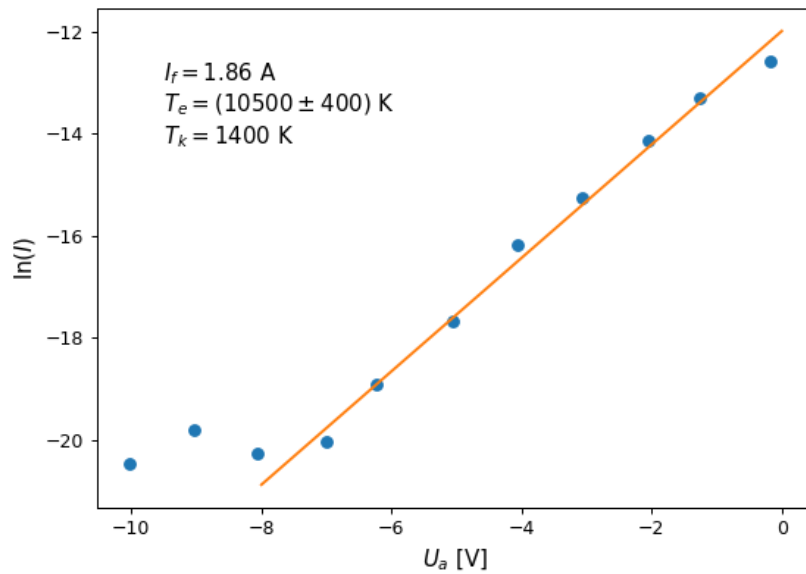
$U_a$ [V]	$I_a$ [ $\mu\text{A}$ ]	$\ln(I_{nas})$
-10.07	0.0004	-21.63
-9.00	0.0017	-20.18
-8.12	0.0008	-20.99
-7.07	0.0013	-20.49
-6.00	0.0040	-19.34
-5.27	0.0143	-18.06
-4.07	0.0520	-16.77
-3.21	0.1349	-15.82
-1.97	0.6269	-14.28
-1.07	1.3772	-13.50
-0.16	2.1898	-13.03

Tabulka 3a: Závislost náběhového proudu na anodovém napětí při  $I_f = 1.86$  A.

$U_a$ [V]	$I_a$ [ $\mu$ A]	$\ln(I_{nas})$
-10.03	0.0013	-20.46
-9.04	0.0025	-19.79
-8.06	0.0016	-20.28
-6.99	0.0020	-20.02
-6.23	0.0061	-18.91
-5.06	0.0211	-17.67
-4.07	0.0947	-16.17
-3.08	0.2340	-15.27
-2.05	0.7264	-14.14
-1.26	1.6682	-13.30
-0.17	3.4306	-12.58



Graf 3a: Závislost logaritmu náběhového proudu na anodovém napětí při  $I_f = 1.73$  A.



Graf 3b: Závislost logaritmu náběhového proudu na anodovém napětí při  $I_f = 1.86$  A.

Při žhavicím proudu  $I_f = 1.73$  A jsem stanovil teplotu emitovaných elektronů  $T_e = (10400 \pm 500)$  K a teplotu katody  $T_k = 1300$  K.

Při žhavicím proudu  $I_f = 1.86$  A jsem stanovil teplotu emitovaných elektronů  $T_e = (10500 \pm 400)$  K a teplotu katody  $T_k = 1400$  K.

### 3. Závěr

V oblasti nasyceného proudu jsem proměřil závislost anodového proudu na proudu žhavicím a určil jsem hodnotu výstupní práce wolframu  $w = (4.37 \pm 0.04)$  eV. Tabulková hodnota pro wolfram je  $w = 4.5$  eV.

Ze závislosti nasyceného proudu na anodovém napětí jsem určil rozdíl nasyceného proudu, když je katoda v přítomnosti silného elektrického pole při anodovém napětí  $U_a = 500$  V, a tuto hodnotu jsem porovnal s teoretickou hodnotou. Při žhavicím proudu  $I_f = 1.73$  A je naměřený rozdíl nasyceného proudu  $\Delta I_{nas} = (0.97 \pm 0.01)$   $\mu$ A a teoretická hodnota  $\Delta I_{nas} = 2.16$   $\mu$ A. Při žhavicím proudu  $I_f = 1.86$  A je naměřený rozdíl nasyceného proudu  $\Delta I_{nas} = (3.4 \pm 0.1)$   $\mu$ A a teoretická hodnota  $\Delta I_{nas} = 7.4$   $\mu$ A. V obou případech je teoretická hodnota více než dvakrát větší než měřená.

Ze závislosti anodového proudu na anodovém napětí v náběhové oblasti jsem odhadl teplotu elektronů. Pro žhavicí proud  $I_f = 1.73$  A je odhadovaná teplota elektronů  $T_e = (10400 \pm 500)$  K a teplota katody  $T_k = 1300$  K. Pro žhavicí proud  $I_f = 1.86$  A je to  $T_e = (10500 \pm 400)$  K a  $T_k = 1400$  K. Teplota elektronů se tedy se změnou žhavicího proudu prakticky nemění.