

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jakub Juránek

Naměřeno: 24. duben 2013

Obor: UF **Ročník:** II **Semestr:** IV

Testováno:

Úloha č. 2: **Studium termoelektronové emise**

1. Teorie

Termoemise je uvolňování elektronů z povrchu kovu, přičemž elektrony získají potřebnou energii k překonání přitažlivých sil zahřátím kovu.

Teplotu vlákna můžeme určit z jeho odporu, neboť pro něj platí vztah

$$R_t = \frac{U_f}{I_f} = \rho K(1 + \alpha t), \quad (1)$$

kde I_f je žhavicí proud, U_f napětí na katodě, ρ je měrný odpor vlákna pro 0°C , $K = \frac{d}{S}$ poměr délky vlákna a jeho průřezu a t teplota vlákna ve stupních Celsia.

Abychom zjistili hodnotu K , musíme určit odpor při známé, například pokojové, teplotě. Pak

$$K = \frac{R_p}{\rho(1 + \alpha t)}. \quad (2)$$

Ze vztahu 1 můžeme určit teplotu vlákna vzorcem

$$t = \frac{R_t}{\rho K \alpha} - \frac{1}{\alpha}. \quad (3)$$

Povrch vyžhaveného kovu opouštějí jen elektrony, jejichž energie je větší než výstupní práce w . Tyto elektrony dopadají na anodu a tvoří tzv. nasycený emisní proud. Jeho závislost na termodynamické teplotě T katody je dána vztahem

$$I_{nas} = BT^2 e^{-\frac{w}{kT}}. \quad (4)$$

kde B je pro danou katodu konstanta a k je Boltzmannova konstanta.

Po zlogaritmování a označení $y = \ln(I_{nas}/T^2)$ a $x = 1/T$ dostaneme tzv. Richardsonovu - Dushmanovu přímku

$$y = -\frac{w}{k}x + \ln B. \quad (5)$$

z jejíž směrnice můžeme určit výstupní práci daného kovu.

Přítomnost silného elektrického pole u povrchu katody má za následek snížení výstupní práce, tzv. Schottkyho efekt. Velikost toho pole můžeme přibližně odhadnout pomocí vztahu

$$E = U_a \frac{L - D}{D} \frac{1}{r \ln(R/r)}, \quad (6)$$

kde D je vzdálenost anody od žhavené katody, L vzdálenost anody od rovinné, studené části katody, r poloměr katody, R poloměr anody a U_a je anodové napětí.

Pro nasycený emisní proud pak platí vztah

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

kde ϵ_0 je permitivita vakua a I_{nas} je nasycený emisní proud bez přítomnosti pole.

Logaritmus anodového proudu $\ln I'_{nas}$ je tedy přímo úměrný odmocnině anodového napětí $\sqrt{U_a}$. Neboť pro malá napětí se Scottkyho efekt v praxi neprojeví, dostaneme v této závislosti část, kdy proud dosáhne hodnoty I_{nas} a bude přibližně konstantní. Tato část se projeví ve vynášené závislosti též jako konstantní úsek, ze kterého můžeme odečíst hodnotu $\ln I_{nas}$, resp. I_{nas} .

Náběhovou částí anodového proudu rozumíme tu část závislosti I_a na U_a , kdy je anodové napětí záporné, ale ne tak velké, aby žádný emitovaný elektron nepřešel z katody na anodu, a která má exponenciální tvar. Tuto část pak můžeme popsat vztahem

$$I = I_0 e^{\frac{eU_a}{kT_e}}, \quad (8)$$

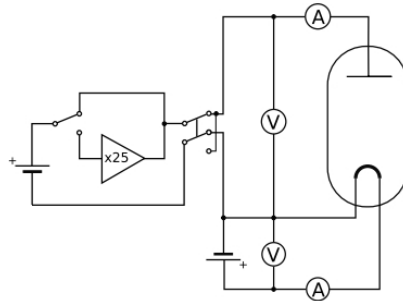
kde T je teplota emitovaných elektronů, kterou odsud můžeme určit ze směrnice zlogaritmované závislosti

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{e}{kT_e} U_a. \quad (9)$$

Teplota těchto elektronů by měla být větší, než je teplota vlákna.

2. Měření

K měření uijeme zapojení dle následujícího schématu:



Obrázek 1: Elektrické schéma zapojení diody pro studium efektu termoemise.

Parametry měření jsou následující:

ρ	=	$4,89 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}^{-1}$	při $0 \text{ }^\circ\text{C}$
α	=	$4,83 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$	
r	=	0,08 mm	
R	=	17 mm	
D	=	15 mm	
L	=	25 mm	

Tabulka 1: Parametry měření.

Nejprve určíme odpor vlákna katody za pokojové teploty a určíme poměr K její délky a průřezu. Měření provedeme pro nízké hodnoty proudu I_f , aby se vlákno příliš nezahřálo.

U_f [V]	I_f [A]	R_p [Ω]
0,07917656	0,1008095	0,79
0,1595129	0,2009339	0,79
0,2444813	0,3011925	0,81
0,3370161	0,4011192	0,84
0,4431415	0,5012719	0,88

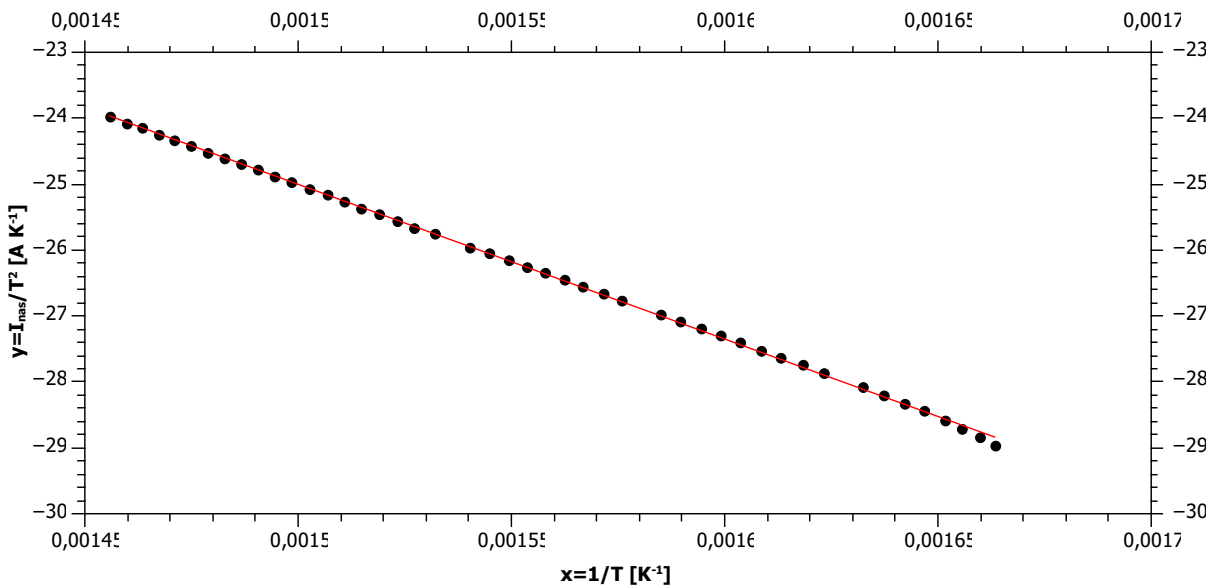
Tabulka 2: Hodnoty žhavicího napětí a proudu a dopočteného odporu katody při pokojové teplotě.

$$R_p = (0,82 \pm 0,02) \Omega$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$K = (14,9 \pm 0,4) \text{ m}^{-1}$$

Dále naměříme výstupní práci pomocí Richardsonovy - Dushmanovy přímky. Naměřené a dopočítané hodnoty v příloze.



Obrázek 2: Naměřená Richardsonova - Dushmanova přímka.

Ze směrnice této přímky pak určíme výstupní práci

$$w = (2,03 \pm 0,01) \text{ eV}$$

Dále budeme měřit Schottkyho efekt.

Měření bude probíhat za konstantního odporu, resp. konstantní teploty katody.

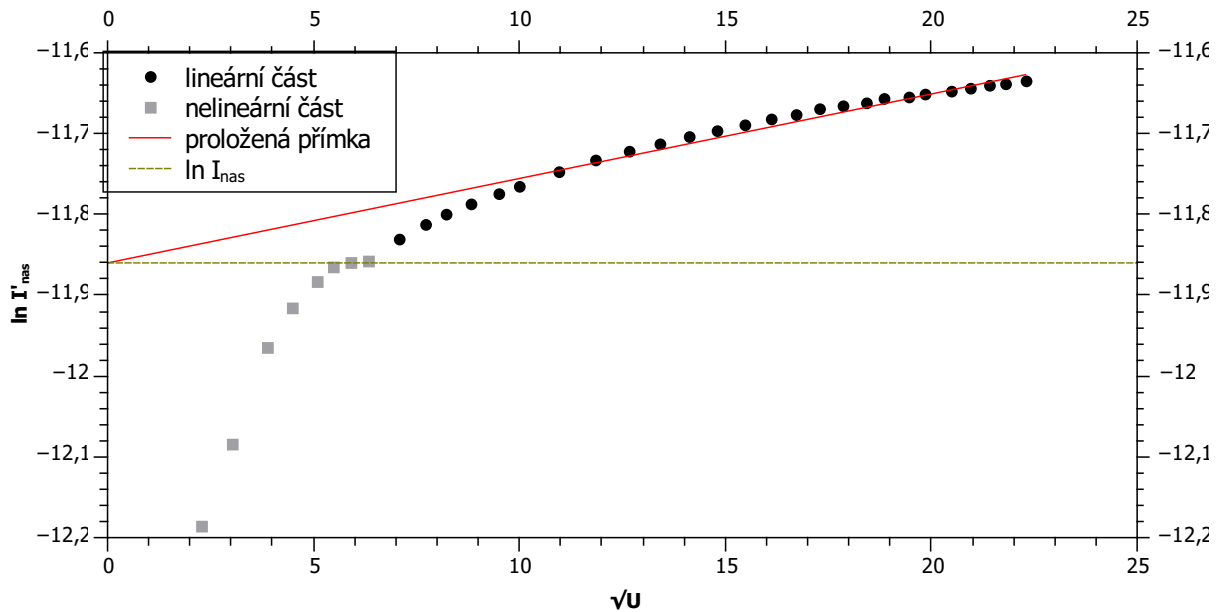
$$U_f = 3,838803 \text{ V}$$

$$I_f = 1,803098 \text{ A}$$

$$R_t = 2,13 \text{ } \Omega$$

$$T = 671 \text{ K}$$

Naměřené a dopočtené hodnoty opět v příloze.



Obrázek 3: Závislost logaritmu proudu na odmocnině anodového napětí při proměrování Schottkyho efektu.

Z grafu

$$\ln I_{nas} = -11,860029$$

$$I_{nas} = 7,07 \text{ } \mu\text{A}$$

Z proložené přímky dostáváme, že rozdíl proudu od nasyceného je pro anodové napětí 500 V roven

$$\Delta I_{nas} = (1,86 \pm 0,01) \text{ } \mu\text{A}$$

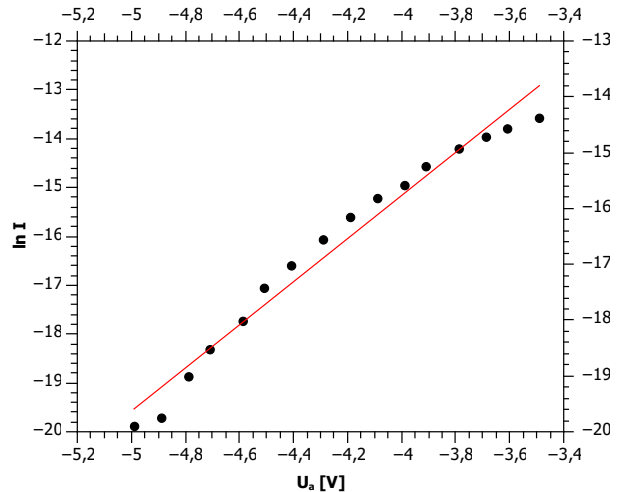
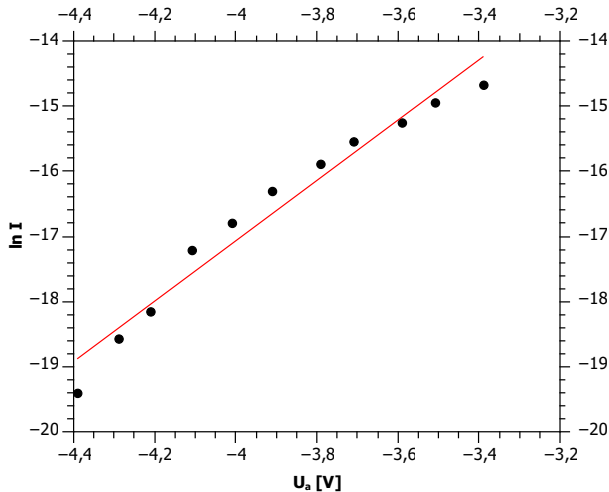
Teoretickým výpočtem dle vztahu 7 by tento rozdíl měl být

$$\Delta I_{nas,t} = 5,52 \text{ } \mu\text{A}$$

Nakonec pro dvě hodnoty žhavicího proudu I_f změříme oblast náběhového proudu a určíme teplotu elektronů.

$$\begin{aligned} I_f &= 1,803 \text{ A} \\ U_f &= 3,836 \text{ V} \\ T &= 671 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_f &= 1,903 \text{ A} \\ U_f &= 4,161 \text{ V} \\ T &= 687 \text{ K} \end{aligned}$$



Obrázek 4: Závislost logaritmu proudu na anodovém napětí v náběhové oblasti pro $I_f = 1,8 \text{ A}$. Obrázek 5: Závislost logaritmu proudu na anodovém napětí v náběhové oblasti pro $I_f = 1,9 \text{ A}$.

Ze směrnic určíme teploty elektronů

$$T_{e1,8} = (2500 \pm 170) \text{ K}$$

$$T_{e1,9} = (2630 \pm 120) \text{ K}$$

3. Závěr

Nejprve jsme určili odpor katody, z čehož jsme vypočetli poměr její délky a průřezu.

Pomocí Richardsonovy - Dushmanovy přímky jsme určili výstupní práci wolframového vlákna katody na $(2,03 \pm 0,01) \text{ eV}$. Udávaná výstupní práce wolframu, je však $4,5 \text{ eV}$, tedy více jak dvojnásobná.

Dále jsme proměřili Schottkyho efekt, tedy vliv přítomnosti elektrického pole na velikost nasyceného proudu. Lineárním proložením jsme určili přírůstek při 500 V na $(1,86 \pm 0,01) \mu\text{A}$, zatímco z teoretické závislosti jsme dostali přírůstek trojnásobný $5,52 \mu\text{A}$.

Nakonec jsme určili teplotu vystupujících elektronů pro dvě různé hodnoty žhavicího proudu. Z těchto hodnot vidíme, že teplota elektronů je opravdu vyšší, než teplota katody. Též bychom mohli tvrdit, že teplota elektronů roste z rostoucím žhavicím proudem, na což ale máme málo měření a navíc námi naměřené teplotní intervaly mají neprázdný průnik, díky čemuž nemůže vyloučit ani možnost konstantní teploty či dokonce teploty klesající.

Přílohy

U_f [V]	I_f [A]	I_{nas} [A]	R_t [Ω]	t [$^{\circ}$ C]	T [K]	x [K^{-1}]	y [A K^{-1}]
2,678728	1,422581	0,095415	1,88	328	601	0,001663	-28,96
2,703944	1,432593	0,108926	1,89	329	602	0,001660	-28,83
2,730695	1,442583	0,125340	1,89	331	604	0,001656	-28,70
2,756901	1,452560	0,142028	1,90	332	605	0,001652	-28,58
2,785545	1,462702	0,165744	1,90	334	607	0,001647	-28,43
2,813504	1,472742	0,184868	1,91	336	609	0,001642	-28,33
2,841807	1,482659	0,209568	1,92	338	611	0,001637	-28,21
2,870708	1,492759	0,241091	1,92	339	613	0,001632	-28,07
2,927772	1,512697	0,300766	1,94	343	616	0,001623	-27,86
2,956857	1,522663	0,341047	1,94	345	618	0,001618	-27,74
2,987434	1,532841	0,384815	1,95	347	620	0,001613	-27,63
3,016522	1,542948	0,431665	1,96	349	622	0,001609	-27,52
3,046443	1,552850	0,486298	1,96	350	624	0,001604	-27,41
3,075997	1,562819	0,545283	1,97	352	625	0,001599	-27,30
3,105519	1,572863	0,612787	1,97	354	627	0,001594	-27,19
3,135592	1,582758	0,683912	1,98	356	629	0,001590	-27,08
3,166326	1,592915	0,767780	1,99	358	631	0,001585	-26,97
3,226360	1,612956	0,957636	2,00	361	635	0,001576	-26,76
3,256496	1,622992	1,067698	2,01	363	636	0,001572	-26,66
3,287591	1,632824	1,193538	2,01	365	638	0,001567	-26,56
3,318016	1,642818	1,328430	2,02	367	640	0,001562	-26,45
3,349125	1,653013	1,482505	2,03	369	642	0,001558	-26,35
3,380140	1,663064	1,649912	2,03	371	644	0,001554	-26,25
3,410933	1,673019	1,831954	2,04	372	645	0,001549	-26,15
3,442125	1,682922	2,033654	2,05	374	647	0,001545	-26,05
3,473727	1,692926	2,255722	2,05	376	649	0,001540	-25,95
3,536239	1,713077	2,773153	2,06	380	653	0,001532	-25,76
3,569463	1,723156	3,082355	2,07	382	655	0,001527	-25,66
3,600440	1,733100	3,416517	2,08	383	656	0,001523	-25,56
3,632253	1,743084	3,793255	2,08	385	658	0,001519	-25,46
3,664779	1,753131	4,211756	2,09	387	660	0,001515	-25,36
3,696110	1,763051	4,672066	2,10	389	662	0,001511	-25,26
3,728833	1,773310	5,191999	2,10	391	664	0,001507	-25,16
3,761144	1,783162	5,753307	2,11	392	666	0,001503	-25,07
3,793725	1,793195	6,371866	2,12	394	667	0,001499	-24,97
3,826136	1,803186	7,051223	2,12	396	669	0,001495	-24,87
3,858974	1,813152	7,792295	2,13	398	671	0,001490	-24,78
3,891242	1,823160	8,580156	2,13	399	673	0,001487	-24,69
3,924942	1,833249	9,452332	2,14	401	675	0,001483	-24,60
3,957828	1,843247	10,342451	2,15	403	676	0,001479	-24,51
3,991177	1,853276	11,326342	2,15	405	678	0,001475	-24,43
4,023713	1,863239	12,598825	2,16	407	680	0,001471	-24,33
4,056873	1,873279	13,714460	2,17	408	682	0,001467	-24,25
4,090514	1,883135	15,283114	2,17	410	683	0,001463	-24,14
4,123630	1,893182	16,507454	2,18	412	685	0,001460	-24,07
4,157940	1,903335	18,287672	2,18	414	687	0,001456	-23,97

Tabulka 3: Naměřené a dopočítané hodnoty pro výpočet výstupní práce.

U_a [V]	I'_{nas} [μ A]	$\sqrt{U_a}$	$\ln I'_{nas}$	E [10^3 Vm $^{-1}$]
5,1	5,106769	2,26	-12,184944	8
9,1	5,653818	3,02	-12,083180	14
15,1	6,362897	3,88	-11,965027	23
20,1	6,690434	4,48	-11,914832	31
25,8	6,913241	5,08	-11,882072	40
30,0	7,037838	5,48	-11,864209	47
35,0	7,073154	5,92	-11,859204	54
39,9	7,091068	6,32	-11,856675	62
49,9	7,281783	7,06	-11,830135	78
59,8	7,414379	7,73	-11,812089	93
67,8	7,511607	8,23	-11,799061	105
77,8	7,608414	8,82	-11,786256	121
89,8	7,698058	9,48	-11,774542	140
99,7	7,779218	9,98	-11,764055	155
120,4	7,916906	10,97	-11,746510	187
140,1	8,023699	11,84	-11,733111	218
160,0	8,116936	12,65	-11,721558	249
179,7	8,193848	13,41	-11,712127	279
199,3	8,268702	14,12	-11,703033	310
219,2	8,332702	14,81	-11,695323	341
239,7	8,391609	15,48	-11,688278	373
259,6	8,449717	16,11	-11,681378	404
279,3	8,493515	16,71	-11,676208	434
298,9	8,563239	17,29	-11,668032	465
318,8	8,579459	17,85	-11,666140	496
339,2	8,620156	18,42	-11,661407	527
355,2	8,668837	18,85	-11,655776	552
378,8	8,680787	19,46	-11,654398	589
394,6	8,712086	19,86	-11,650799	614
419,0	8,743154	20,47	-11,647240	652
439,0	8,772249	20,95	-11,643917	683
459,0	8,802382	21,42	-11,640488	714
475,0	8,826677	21,79	-11,637732	739
497,0	8,852677	22,29	-11,634791	773
500,0	-	22,36	-	778

Tabulka 4: Naměřené a dopočítané hodnoty pro Schottkyho efekt.

U_a [V]	I [μ A]	$\ln I$
-4,39	0,003722	-19,408880
-4,29	0,008592	-18,572384
-4,21	0,013107	-18,150139
-4,11	0,033732	-17,204834
-4,01	0,051141	-16,788673
-3,91	0,083917	-16,293438
-3,79	0,125894	-15,887823
-3,71	0,178203	-15,540342
-3,59	0,239757	-15,243642
-3,51	0,321091	-14,951542
-3,39	0,427191	-14,666035

Tabulka 5: Hodnoty anodového napětí a proudu v náběhové oblasti pro $I_f = 1,8$ A.

U_a [V]	I [μ A]	$\ln I$
-4,99	0,002331	-19,876897
-4,89	0,002756	-19,709526
-4,79	0,006357	-18,873637
-4,71	0,011273	-18,300868
-4,59	0,019787	-17,738256
-4,51	0,039101	-17,057117
-4,41	0,062843	-16,582626
-4,29	0,107024	-16,050214
-4,19	0,168470	-15,596507
-4,09	0,247472	-15,211970
-3,99	0,320476	-14,953458
-3,91	0,477104	-14,555531
-3,79	0,675582	-14,207691
-3,69	0,873631	-13,950608
-3,61	1,029568	-13,786371
-3,49	1,284617	-13,565050

Tabulka 6: Hodnoty anodového napětí a proudu v náběhové oblasti pro $I_f = 1,9$ A.