

Petr Novotný

Úloha č. 2

Studium termoelektronové emise

Měření výstupní práce w wolframu pomocí Richardsonovy přímky

Kovy při vyžhavení na dostatečně vysokou teplotu emitují elektrony, jejichž energie je větší než tzv. výstupní práce w , potřebná k překonání přitažlivých sil mezi elektronem a kovem. Součet všech uvolněných elektronů při určité teplotě dává tzv. nasycený emisní proud, pro jehož závislost na teplotě T kovu platí tzv. Richardsonova – Dushmanova rovnice

$$I_{nas} = BT^2 \exp(-w/kT)$$

kde B je konstanta charakterizující katodu, k je Boltzmannova konstanta

Po upravení dostaneme rovnici Richardsonovy přímky

$$\ln(I_{nas}/T^2) = \ln B - w/kT$$

$$y = (-w/k)x + \ln B$$

kde $x=1/T$, $y = \ln(I_{nas}/T^2)$

Při měření pracujeme v nasycené oblasti anodového proudu. Nastavíme největší žhavicí proud, při jakém budeme pracovat, a zvětšujeme anodové napětí, dokud nedosáhneme oblasti nasyceného proudu. Poté proměříme závislost anodového proudu I_{nas} na žhavicím proudu I_f .

Z hodnot U_f a I_f zjistíme odpor R_t vlákna katody, pro který navíc platí závislost na teplotě

$$\frac{U_f}{I_f} = R_t = \frac{\rho d}{S}(1 + \alpha t)$$

kde $\rho=4,89 \cdot 10^{-8} \Omega m$ je měrný odpor wolframu, $\alpha=4,83 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ je teplotní součinitel odporu, $d=0,015m$ je délka vlákna, $S=\pi r^2$ je průřez vlákna ($r=5 \cdot 10^{-5}m$) a t je teplota ve stupních Celsia ($t+273,15K=T$)

odtud upravením získáme vztah pro teplotu katody T

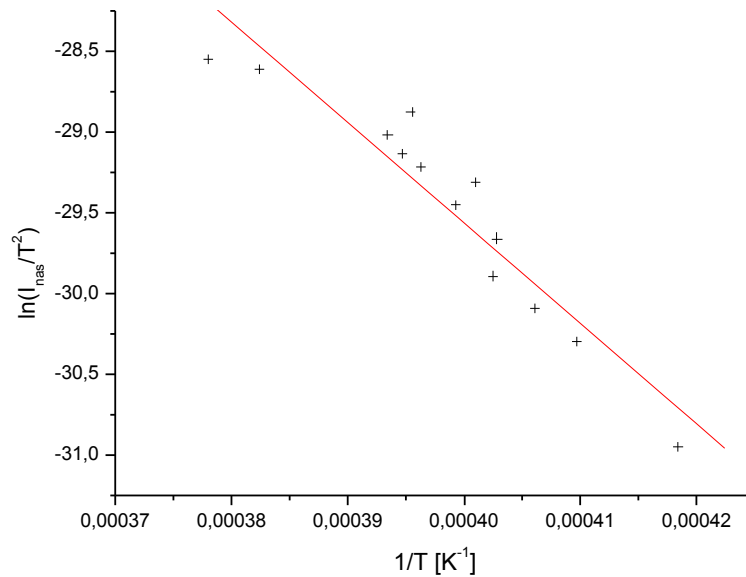
$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{U_f S}{I_f \rho d} - 1 \right)$$
$$T = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{U_f S}{I_f \rho d} - 1 \right) + 273,15K$$

$U_{nas}=21,0V$

I_{nas} [20,7·10 ⁻⁹ A]	U_f/V	I_f/A	T/K	$I_{nas}/\mu A$	$x=1/T$ [10 ⁻⁴ K ⁻¹]	$y=\ln(I_{nas}/T^2)$
135	1,41	1,212	2645,16	2,7945	3,780	-28,549
124	1,39	1,209	2614,88	2,5668	3,824	-28,611
89	1,33	1,197	2529,31	1,8423	3,954	-28,876
78	1,33	1,191	2541,72	1,6146	3,934	-29,018
69	1,32	1,186	2533,47	1,4283	3,947	-29,134
63	1,31	1,182	2523,06	1,3041	3,963	-29,216
56	1,29	1,178	2493,77	1,1592	4,010	-29,311

I_{nas} [20,7·10 ⁻⁹ A]	U_f/V	I_f/A	T/K	$I_{nas}/\mu A$	$x=1/T$ [10 ⁻⁴ K ⁻¹]	$y=\ln(I_{nas}/T^2)$
49	1,29	1,173	2504,11	1,0143	3,993	-29,453
39	1,27	1,165	2482,80	0,8073	4,028	-29,664
31	1,26	1,155	2484,53	0,6417	4,025	-29,895
25	1,24	1,147	2462,74	0,5175	4,061	-30,092
20	1,22	1,139	2440,65	0,4140	4,097	-30,297
10	1,17	1,116	2390,26	0,2070	4,184	-30,949

Závislost $\ln(I_{nas}/T^2)=f(1/T)$ vyneseme do grafu



Směrnice Richardsonovy přímky má hodnotu $-62169,72198=-w/k$
Odtud $w=8,579 \cdot 10^{-9} \text{J}=5,355 \text{eV}$

Intenzita E elektrického pole u povrchu válcové katody o poloměru r s válcovou anodou o poloměru R je dána vztahem

$$E = U_a \frac{1}{r \ln(R/r)}$$

$R=0,7 \text{mm}$, $r=0,05 \text{mm}$

Po dosazení pro $U_a=150 \text{V}$ získáme $E=1136,77 \cdot 10^3 \text{Vm}^{-1}$

Úbytek výstupní práce w_p získáme ze vzorce

$$w_p = \sqrt{\frac{e^3 E}{4\pi \epsilon_0}}$$

Odtud $w_p=6,4811 \cdot 10^{-21} \text{J}=0,040 \text{eV}$

Richardsonova – Dushmanova rovnice pak má tvar

$$I'_{nas} = BT^2 \exp(-w'/kT) = BT^2 \exp(-w/kT) \exp(w_p/kT) = I_{nas} \exp(w_p/kT)$$

Odtud

$$\ln I'_{nas} = \ln I_{nas} + w_p/kT$$

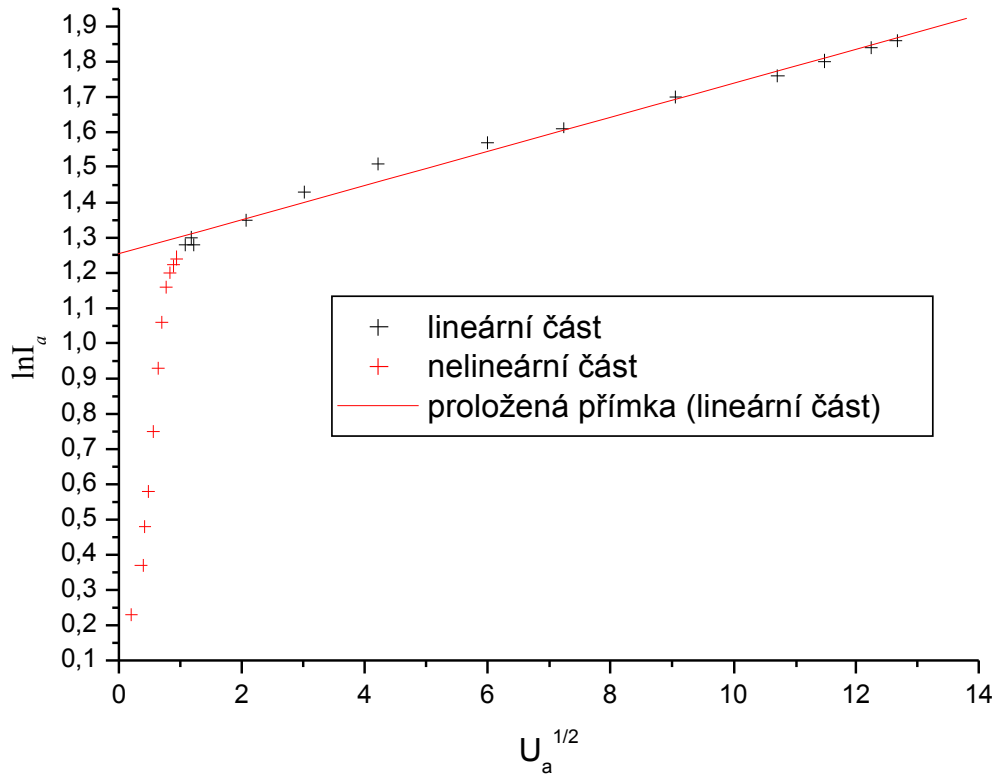
$\Delta I_{nas}=1,25 \mu \text{A}$ pro teplotu katody $T_k=2131,71 \text{K}$

Voltampérová charakteristika

Do grafu vyneseme závislost $\ln I_{\text{nas}}$ na $\sqrt{U_a}$

$I_f = 1,187 \text{ A}$

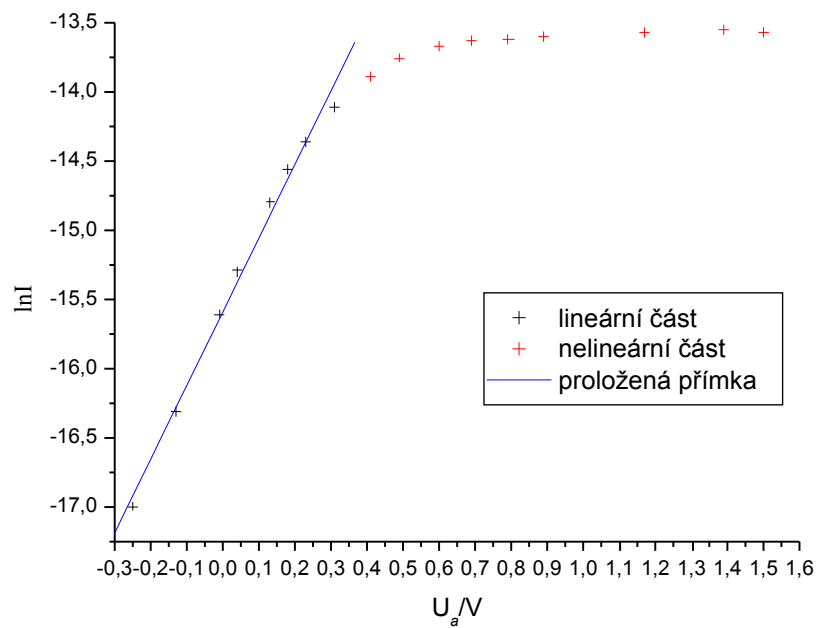
U_a/V	I_a/mm	$I_a/\mu A$	$\sqrt{U_a}$	$\ln I_a$
-0,38	0	0		
-0,25	2	0,04		-17,00
-0,13	4	0,08		-16,31
-0,01	8	0,17		-15,61
0,04	11	0,23	0,20	-15,30
0,13	18	0,37	0,36	-14,80
0,18	23	0,48	0,42	-14,56
0,23	28	0,58	0,48	-14,36
0,31	36	0,75	0,56	-14,11
0,41	45	0,93	0,64	-13,89
0,49	51	1,06	0,70	-13,76
0,60	56	1,16	0,77	-13,67
0,69	58	1,20	0,83	-13,63
0,79	59	1,22	0,89	-13,62
0,89	60	1,24	0,94	-13,60
1,17	62	1,28	1,08	-13,57
1,39	63	1,30	1,18	-13,55
1,5	62	1,28	1,22	-13,57
4,3	65	1,35	2,07	-13,52
9,1	69	1,43	3,02	-13,46
17,8	73	1,51	4,22	-13,40
36,0	76	1,57	6,00	-13,36
52,2	78	1,61	7,22	-13,34
82	82	1,70	9,06	-13,29
115	85	1,76	10,72	-13,25
132	87	1,80	11,49	-13,23
150	89	1,84	12,25	-13,20
160	90	1,86	12,65	-13,19



Směrnice lineární části má hodnotu 0,04841
 Přírůstek nasyceného proudu je $\Delta I_{\text{nas}} = 1,85 \mu\text{A}$

Určení teploty elektronů z náběhové oblasti

Do grafu vyneseme závislost $\ln I$ na U_a



Směrnice přímky má hodnotu $5,32269 \text{K}^{-1}$.

Pro anodový proud v náběhové části platí

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eU_a}{kT}\right)$$

Odtud

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{e}{kT} U_a$$

kde $e/(kT)$ je směrnice přímky.

Po dosazení získáme $T_e = 2180,98\text{K}$

Pro tuto teplotu dostaneme $\Delta I_{\text{nas}} = 1,24\mu\text{A}$

Pro teplotu katody a teplotu elektronů získáme snížení výstupní práce

$$w_{p,k} = 0,08\text{eV}$$

$$w_{p,e} = 0,05\text{eV}$$