

Fyzikální praktikum 3

Úloha č. 2: Studium termoelektronové emise

Ondřej Mikulaščík, měřeno 16. dubna 2009

1. Zadání

- Změřte výstupní práci w wolframu pomocí Richardsonovy-Dushmanovy přímky.
- Vypočítejte pro použitou diodu intenzitu elektrického pole u povrchu katody.
- Změřte závislost $I_{nas} = f(U_a)$ pro $U_a < 150$ V, zpracujte ji do souřadnic $\ln(I_{nas}) = \sqrt{U_a}$ a určete přírůstek proudu díky přítomnosti elektrického pole pro $U_a = 150$ V. Porovnejte experimentálně získanou hodnotu s hodnotou určenou teoreticky.
- Pro dvě hodnoty žhavicího proudu I_f změřte oblast náběhového proudu I a vynesete do grafu. Zpracujte rovněž v souřadnicích $\ln I = \sqrt{U_a}$ a z přímkové části v náběhové oblasti určete teplotu elektronů.

2. Teorie

Kovy zahřáté na určitou teplotu emitují elektrony, ale pouze ty, které mají energii vyšší než takzvaná výstupní práce w . Počet všech elektronů uvolněných katodou při určité teplotě dává takzvaný nasycený emisní proud. Jeho závislost na teplotě T a výstupní práci w popisuje Richardsonova-Dushmanova rovnice:

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

kde B je konstanta závislá na parametrech katody a k je Boltzmannova konstanta. Zlogaritmováním a zavedením substitute:

$$(2) \quad y = \ln\left(\frac{I_{nas}}{T^2}\right),$$

$$(3) \quad x = \frac{1}{T},$$

lze dostat přímkovou závislost:

$$(4) \quad y = \frac{-w}{k}x + \ln B,$$

z jejíž směrnice je možné určit výstupní práci w . K určení teploty katody T se používá závislost odporu na teplotě. Odpor se dá zjistit z Ohmova zákona z hodnoty naměřeného žhavicího proudu I_f a úbytku napětí na katodě U_f . Platí, že

$$(5) \quad R_t = \frac{U_f}{I_f} = \frac{\rho d}{S}(1 + \alpha t),$$

kde S je průřez vlákna a d je délka katody. Další konstanty jsou uvedeny níže. Ze vztahu (5) pak vyplývá vztah pro teplotu ve stupních Celsia:

$$(6) \quad t = \frac{\pi r^2 U_f}{I_f \rho d \alpha} - \frac{1}{\alpha}.$$

Teplota elektronů se pak určuje ze směrnice přímkové závislosti:

$$(7) \quad \ln I = \frac{e}{kT} U_a \quad .$$

Pokud je katoda vystavena silnému elektrickému poli o intenzitě E , sníží se výstupní práce. Tento jev se nazývá Schottkyho efekt. Intenzita elektrického pole u válcové katody o poloměru r s válcovou anodou o poloměru R je:

$$(8) \quad E = \frac{U_a}{r \ln(r/R)} \quad .$$

Pro nasycený emisní proud platí:

$$(9) \quad \ln I'_{nas} = \ln I_{nas} + \sqrt{\frac{E e^3}{4 \pi \epsilon_0 k^2 T^2}} \quad .$$

Použité materiálové konstanty:

rezistivita $\rho = 4,89 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ při 0°C ,

teplotní součinitel odporu $\alpha = 4,83 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$,

tabulková hodnota výstupní práce pro wolfram $\varphi_w = 4,5 \text{eV}$,

poloměr katody $r = 5 \cdot 10^{-5} \text{m}$, délka katody $d = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{m}$,

poloměr anody $R = 7 \cdot 10^{-4} \text{m}$, délka anody $D = 10^{-2} \text{m}$.

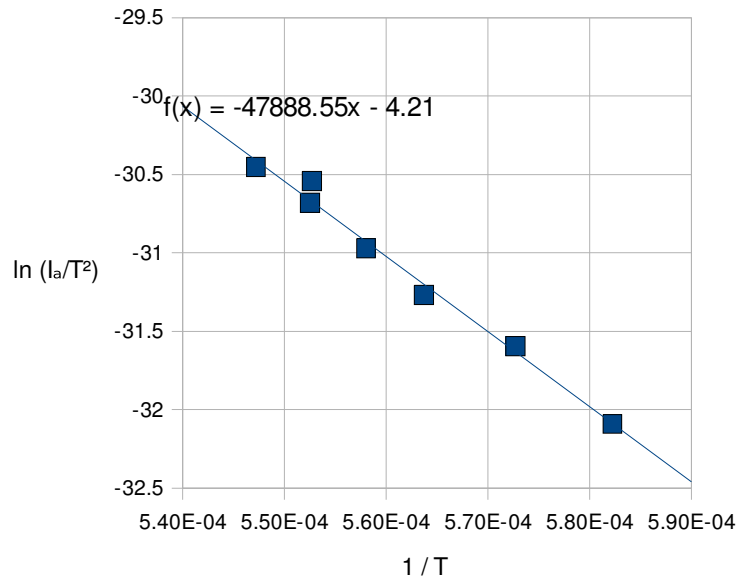
3. Zpracování

V tabulce 1 je shrnuto první měření k určení výstupní práce. V grafu 1 je pak vynesena závislost podle vztahů (1) až (4). Výstupní práce mi tedy vyšla jako $w = 4,13 \text{eV}$.

U_f [V]	I_f [A]	I_a [mm]	I_a [nA]	T [K]
1.27	1.22	9.6	199	1827.55
1.26	1.22	8.6	178	1809.38
1.25	1.21	7.5	155	1809.98
1.23	1.20	5.5	114	1792.12
1.21	1.19	4.0	83	1773.95
1.19	1.18	2.8	58	1746.09
1.15	1.16	1.7	34	1717.58

Tabulka 1: Měření k určení výstupní práce s konstantním anodovým napětím $U_a = 20,4 \text{V}$. Hodnota I_a byla přepočítána podle konstanty $C_i = 20,7 \cdot 10^{-9} \text{Amm}^{-1}$. Teplota katody byla určena ze vztahů (5) a (6).

Graf 1 - Určení výstupní práce

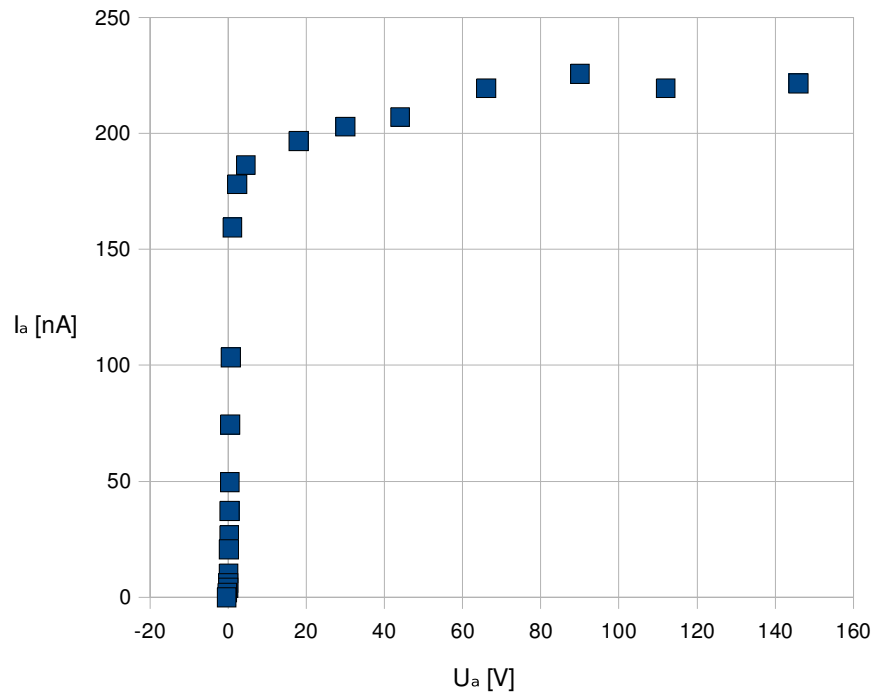


U_a [V]	I_a [mm]	I_a [nA]	E [V.m ⁻¹]
146.00	10.7	221	1106455.69
112.00	10.6	219	848787.93
90.00	10.9	226	682061.73
66.00	10.6	219	500178.60
44.00	10.0	207	333452.40
30.00	9.8	203	227353.91
18.00	9.5	197	136412.35
4.50	9.0	186	34103.09
2.30	8.6	178	17430.47
1.10	7.7	159	8336.31
0.63	5.0	104	4774.43
0.50	3.6	75	3789.23
0.40	2.4	50	3031.39
0.34	1.8	37	2576.68
0.27	1.3	27	2046.19
0.20	1.0	21	1515.69
0.08	0.5	10	606.28
0.00	0.3	6	0.00
-0.01	0.2	4	75.78
-0.19	0.1	2	1439.91
-0.38	0.0	0	2879.82

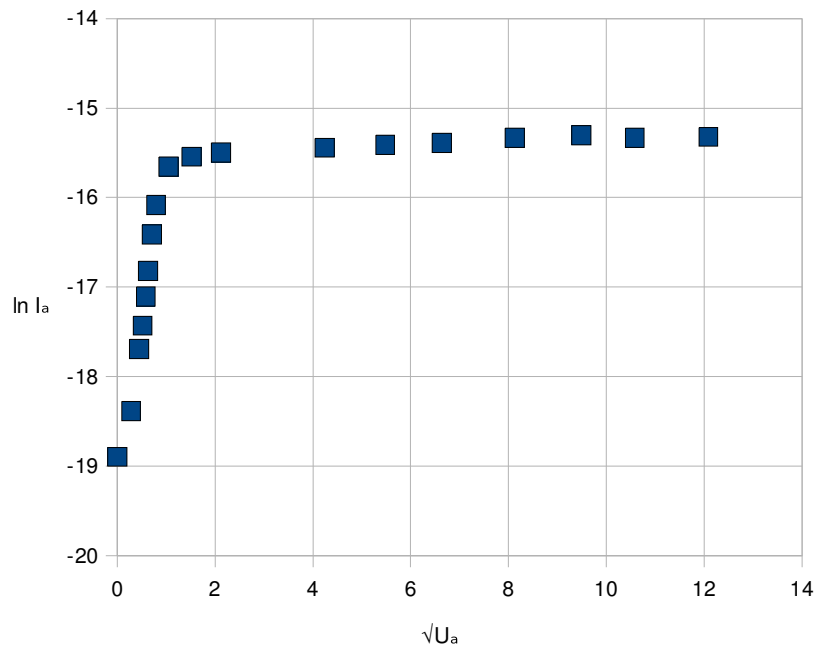
Tabulka 2: Měření závislosti nasyceného proudu na anodovém napětí s konstantní hodnotou žhavicího proudu $I_f = 1,22$ A.

V tabulce 2 je shrnuto měření závislosti nasyceného proudu na anodovém napětí s určením intenzity elektrického pole podle vztahu (8). Tato závislost je vynesena do grafů 2 a 3.

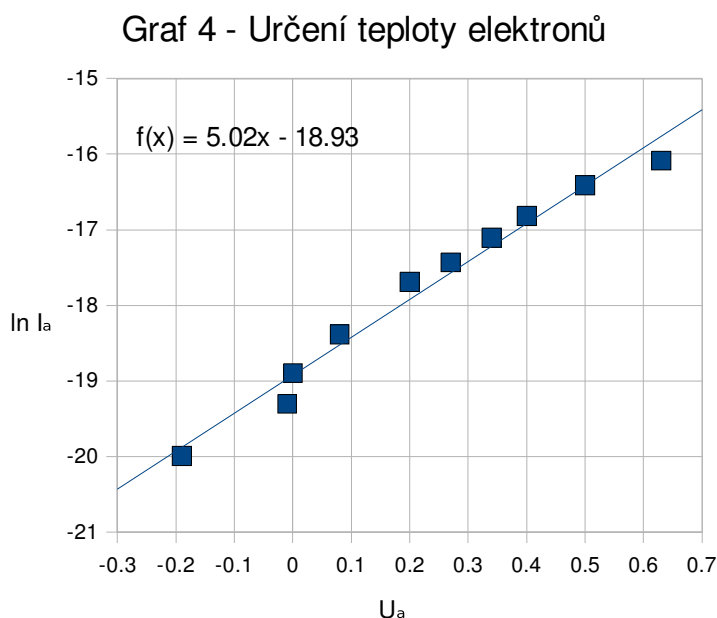
Graf 2 - Závislost nasyceného proudu na anodovém napětí



Graf 3 - Závislost nasyceného proudu na anodovém napětí



V grafu 4 je pak vynesení závislosti pro určení teploty elektronů podle vztahu (7). Teplota elektronů mi vyšla jako $T = 3703,27$ K.



Protože jsem při druhém měření nezaznamenával hodnotu žhavicího napětí U_f , nemohl jsem pak určit teplotu katody a tudíž ani přírůstek nasyceného proudu daný Schottkyho jevem. Určil jsem pouze pokles výstupní práce ze vztahu:

$$(10) \quad w_p = \sqrt{\frac{E e^3}{4 \pi \epsilon_0}} .$$

Pokles této výstupní práce mi pak vyšel jako $w_p = 0,03$ eV. Pro tento výpočet jsem intenzitu $E = 154600,66 \text{ Vm}^{-1}$ určil z prvního měření a ze vztahu (8), kde platila konstantní hodnota anodového napětí $U_a = 20,4$ V.

4. Závěr

Určená výstupní práce elektronů $w = 4,13$ eV se s tabulkovou hodnotou $\varphi_w = 4,5$ eV shoduje pouze přibližně. Předpokládám, že to bylo způsobeno nepřesnostmi při měření, kdy se odečítané hodnoty měnily rychleji, než jsem je stihl zapsat.

Z důvodů uvedených výše jsem neurčil přírůstek nasyceného proudu způsobený přítomností elektrického pole. Toto opomenutí bylo opět způsobeno spěchem při měření.

V příloze jsou tři grafy získané počítačovým provedením tohoto experimentu. Jak už jsem uvedl, mé hodnoty se shodují ne příliš přesně.

Domnívám se, že v zadání úlohy je chyba v poloměru katody, kde místo uvedené hodnoty $r = 0,005$ mm by mělo být $r = 0,05$ mm. S uvedenou hodnotou by teplota katody vycházela v řádu pouze několika desítek Kelvinů.