

Datum: 3.3.2005

Vypracoval: Tomáš Henych

Název: Studium termoelektronové emise

Úkoly:

1. Změřte výstupní práci w wolframu pomocí Richardsonovy – Dushmanovy přímky.
2. Vypočítejte pro použitou diodu intenzitu elektrického pole u povrchu katody.
3. 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 zjištěnou hodnotu s hodnotou vypočtenou.
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 T_e .

Teorie úlohy:

Kovy zahřáté na určitou teplotu emitují elektrony, ovšem jen ty které mají energii vyšší než tzv. výstupní práce w . Součet všech elektronů uvolněných katodou při určité teplotě dává tzv. nasycený emisní proud. Jeho závislost na teplotě T a výstupní práci w popisuje Richardsonova - Dushmanova

rovnice $I_{nas} = BT^2 e^{\frac{-w}{kT}}$. Po malých úpravách a když položíme $y = \ln\left(\frac{I_{nas}}{T^2}\right)$ a $x = \frac{1}{T}$ dostaneme

přímku $y = \frac{-w}{k}x + \ln B$, z jejíž směrnice určíme výstupní práci w . K tomu však potřebujeme znát

teplotu katody T . Tu vypočteme ze známé závislosti odporu na teplotě. Odpor zjistíme z Ohmova zákona z hodnoty naměřeného žhavicího proudu I_f a úbytku napětí na katodě U_f . Platí, že

$$R_t = \frac{U_f}{I_f} = \frac{\rho d}{S}(1 + \alpha t) \text{ a odtud } t = \frac{\pi r^2 U_f}{I_f \rho d \alpha} - \frac{1}{\alpha}, \rho = 4,89 \cdot 10^{-8} \Omega m \text{ při } 0^\circ\text{C}, \alpha = 4,83 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

a t je ve $^\circ\text{C}$. Teplotu elektronů určíme ze směrnice přímkové závislosti $\ln I = \frac{e}{kT} U_a$.

Schottkyho efekt

Pokud je katoda vystavena silnému elektrickému poli o intenzitě E , sníží se výstupní práce. Intenzita

elektrického pole u válcové katody o poloměru r s válcovou anodou o poloměru R je $E = \frac{U_a}{r \ln(r/R)}$.

Pro nasycený emisní proud platí $\ln I'_{nas} = \ln I_{nas} + \sqrt{\frac{e^3}{4\pi\epsilon_0 k^2 T^2}} \times \sqrt{E}$.

Použité hodnoty:

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

poloměr katody: $r = 0,05 \text{ mm}$, délka katody: $d = 15 \text{ mm}$

poloměr anody: $R = 0,7 \text{ mm}$, délka anody: $D = 10 \text{ mm}$

Výsledky:

ad 2. Intenzita elektrického pole u povrchu katody

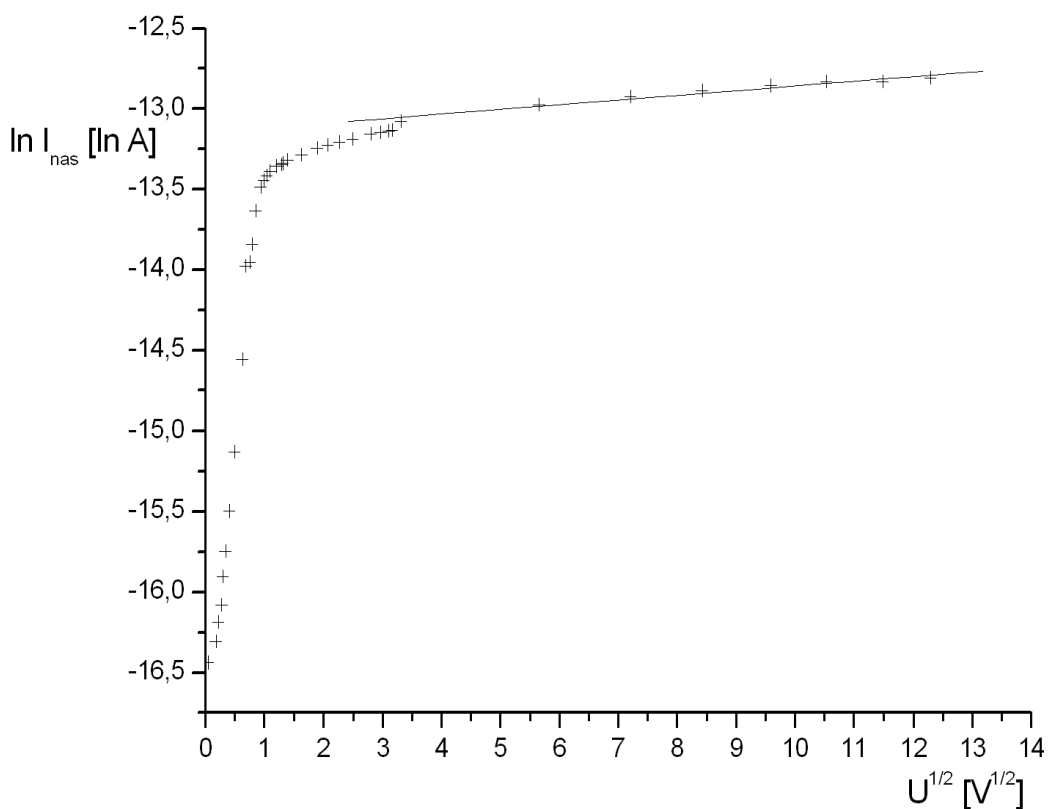
$\frac{U_a}{V}$	I_{nas}	$\frac{I_{nas}}{A}$	$\frac{ E }{V.m^{-1}}$
151	132,5	2,74E-06	1144348
132	129,0	2,67E-06	1000357
111	129,0	2,67E-06	841209
92	126,0	2,61E-06	697219
71	122,0	2,53E-06	538071
52	118,0	2,44E-06	394080
32	112,0	2,32E-06	242511
11	101,0	2,09E-06	83363
10	95,5	1,98E-06	75785
9,65	95,0	1,97E-06	73132
8,82	94,0	1,95E-06	66842
7,84	93,0	1,93E-06	59415
6,21	90,5	1,87E-06	47062
5,14	89,0	1,84E-06	38953
4,28	87,0	1,80E-06	32436
3,58	85,5	1,77E-06	27131
2,65	82,0	1,70E-06	20083
1,94	79,0	1,64E-06	14702

Tabulka 1a: Intenzita elektrického pole u povrchu katody, přírůstek nasyceného proudu

1,75	78,0	1,61E-06	13262
1,68	77,5	1,60E-06	12732
1,48	76,5	1,58E-06	11216
1,22	74,0	1,53E-06	9246
1,10	72,0	1,49E-06	8336
1,00	70,0	1,45E-06	7578
0,893	67,0	1,39E-06	6768
0,738	58,0	1,20E-06	5593
0,635	47,0	9,73E-07	4812
0,583	42,0	8,69E-07	4418
0,479	41,0	8,49E-07	3630
0,402	23,0	4,76E-07	3047
0,251	13,0	2,69E-07	1902
0,170	9,0	1,86E-07	1288
0,122	7,0	1,45E-07	925
0,092	6,0	1,24E-07	697
0,079	5,0	1,04E-07	599
0,050	4,5	9,32E-08	379
0,034	4,0	8,28E-08	258
0,003	3,5	7,25E-08	23

Tabulka 1b: Intenzita elektrického pole u povrchu katody, přírůstek nasyceného proudu

ad 3. Přírůstek proudu díky přítomnosti elektrického pole



Graf 1: Závislost nasyceného proudu na anodovém napětí

$$\Delta I_{nas} = (1,3 \pm 1,0) \mu A$$

$$\text{vypočtená hodnota } \Delta I_{nas} = 1,29 \mu A$$

$$w_{p1} = \sqrt{\frac{e^3 E}{4\pi\epsilon_0}} \quad w_{p1} = 0,041 \text{ eV}$$

$$w_{p2} = kT \ln \frac{I'_{nas}}{I_{nas}} \quad w_{p2} = 0,055 \text{ eV}$$

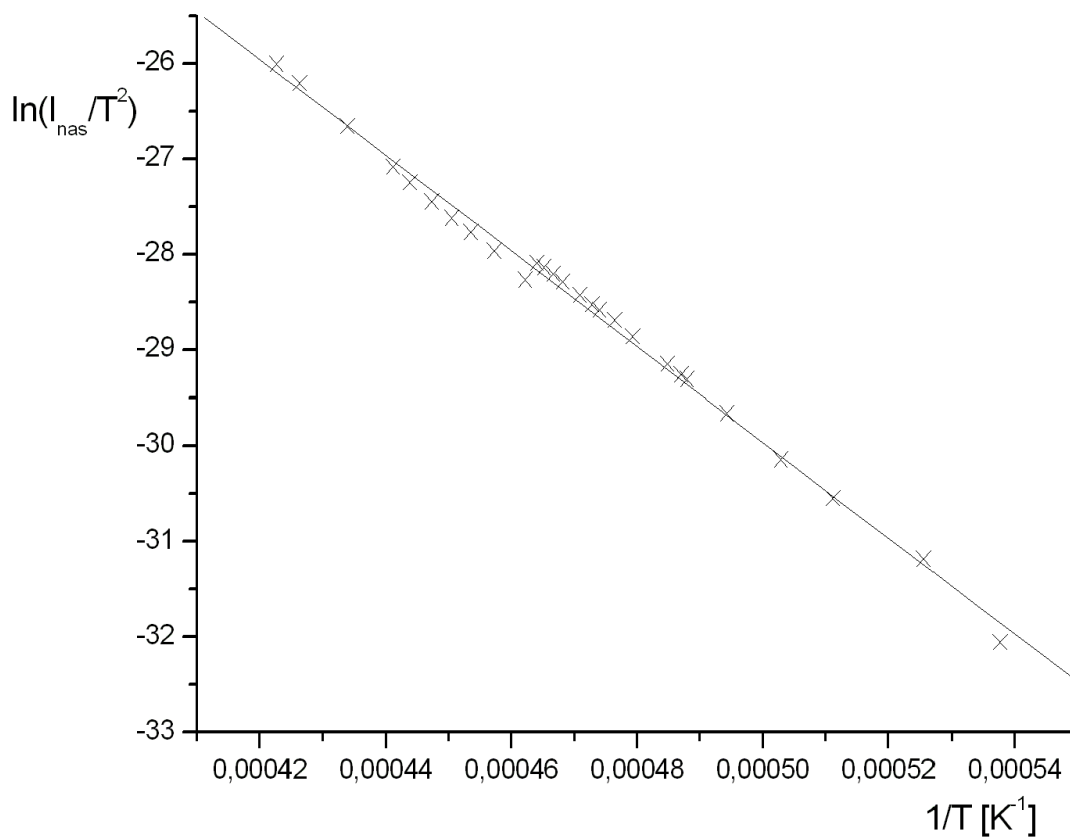
ad 1. Výstupní práce w wolframu

$\frac{I_f}{A}$	I_{nas}	$\frac{I_{nas}}{A}$	$\frac{U_f}{V}$	t °C
1,181	2,0	4,14E-08	0,956	1586,6
1,201	5,0	1,04E-07	0,995	1629,4
1,227	10,0	2,07E-07	1,046	1683,1
1,243	15,5	3,21E-07	1,078	1715,3
1,261	26,0	5,38E-07	1,113	1749,9
1,275	38,0	7,87E-07	1,141	1776,3
1,277	40,0	8,28E-07	1,145	1780,1
1,282	45,0	9,32E-07	1,154	1789,3
1,295	61,5	1,27E-06	1,180	1813,2
1,302	74,0	1,53E-06	1,194	1825,8
1,308	83,0	1,72E-06	1,206	1836,5
1,311	88,5	1,83E-06	1,212	1841,8
1,316	98,0	2,03E-06	1,221	1850,6

Tabulka 2a: výstupní práce

1,323	114,0	2,36E-06	1,235	1862,8
1,327	125,0	2,59E-06	1,243	1869,8
1,331	135,0	2,79E-06	1,251	1876,6
1,334	141,5	2,93E-06	1,257	1881,8
rozsah=10c				
1,339	12,0	2,48E-06	1,267	1890,3
1,353	16,5	3,42E-06	1,294	1913,8
1,364	20,5	4,24E-06	1,316	1931,9
1,373	24,0	4,97E-06	1,334	1946,5
1,383	29,0	6,00E-06	1,353	1962,5
1,394	36,0	7,45E-06	1,375	1979,9
1,403	43,0	8,90E-06	1,393	1993,8
1,428	68,0	1,41E-05	1,442	2031,8
1,456	110,0	2,28E-05	1,497	2072,7
1,470	137,0	2,84E-05	1,525	2092,6

Tabulka 2b: výstupní práce



Graf 2: Výstupní práce

směrnice $\tilde{k} = -50100 \pm 700$
výstupní práce $w = (4,32 \pm 0,07) \text{ eV}$

$\tilde{k}' = -52755 \pm 532$
 $w' = (4,55 \pm 0,05) \text{ eV}$

Pozn.: 1) Nápadný skok v grafu je způsoben změnou rozsahu galvanoměru a tedy změnou citlivosti a přesnosti měřícího přístroje. To se následně projeví změnou hodnoty směrnice proložené závislosti, její větší chybou a také posunutou hodnotou výstupní práce.

2) Pro zajímavost jsem ještě vypočítal hodnotu výstupní práce pro data získaná při největší citlivosti galvanoměru – jsou to ta od skoku v grafu *vpravo*. Výše jsou uvedeny hodnoty směrnice a výstupní práce (očárkované). Tabulková hodnota leží v chybovém intervalu naměřené hodnoty.

3) Protože během měření nebyla zapisována hodnota žhavicího napětí U_f , půjčil jsem si naměřené hodnoty od kolegy, proložil jimi přímkovou závislost a pomocí té jsem potom vypočítal hodnoty žhavicího napětí pro mé hodnoty žhavicího proudu. Zapůjčená data jsou v *tabulce 3*.

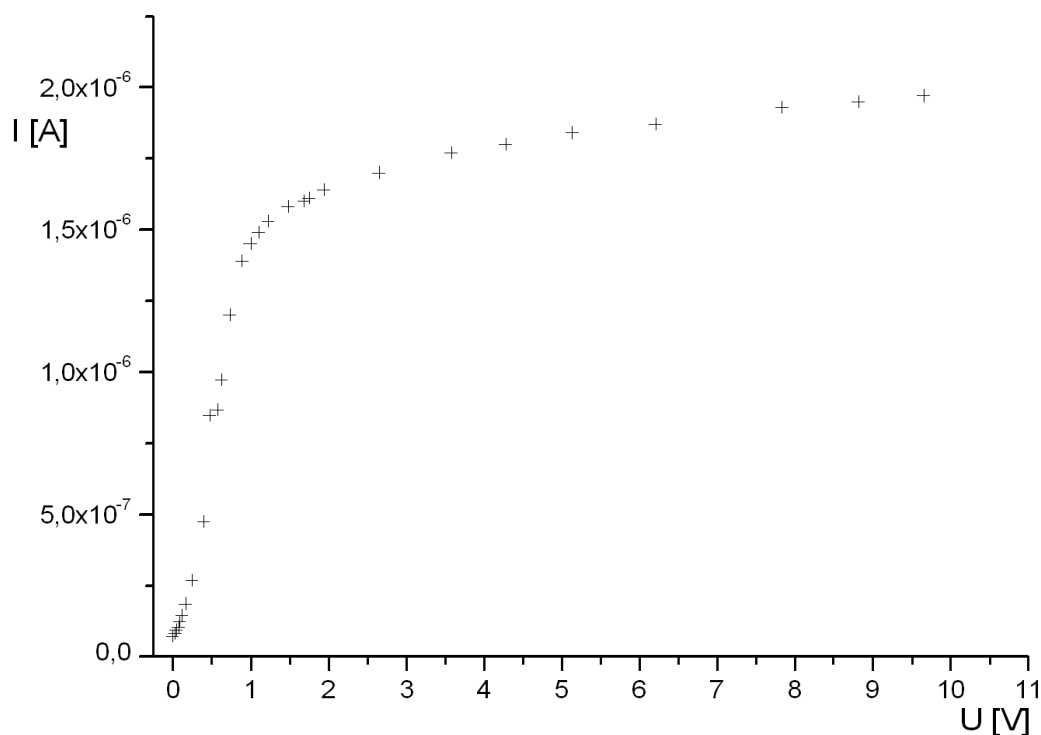
$\frac{I_f}{A}$	1,443	1,429	1,426	1,414	1,408	1,399	1,383	1,376	1,362	1,351	1,331	1,293
$\frac{U_f}{V}$	1,490	1,442	1,434	1,411	1,399	1,380	1,350	1,336	1,311	1,292	1,253	1,181

Tabulka 3: Žhavicí proud a napětí

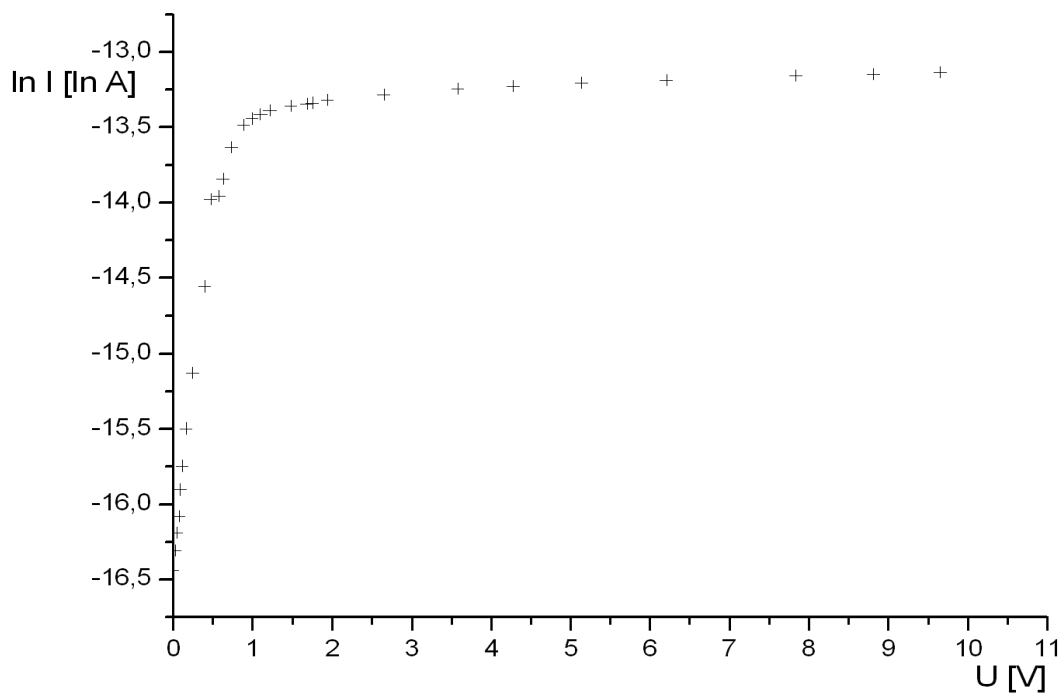
ad 4. Určení teploty elektronů

$$I_f = 1,456 \text{ A}$$

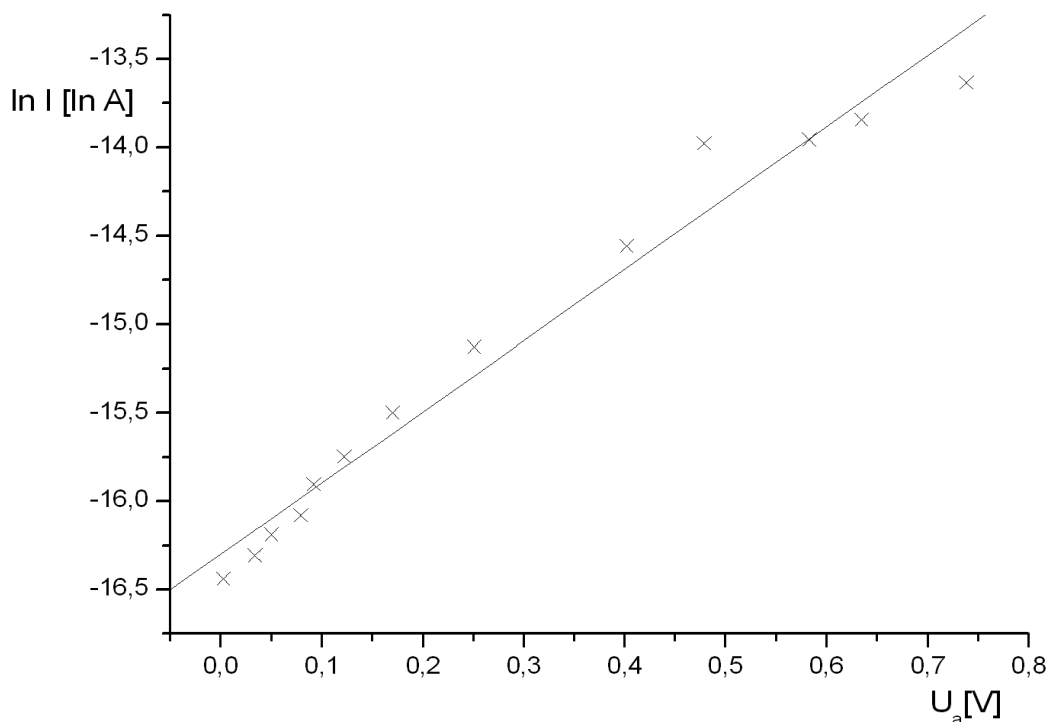
Pozn.: Žhavicí proud se během měření mírně zvyšoval, jedná se o průměr ze čtyř hodnot



Graf 3: Oblast náběhového proudu



Graf 4: Oblast náběhového proudu – logaritmická osa



Graf 5: Oblast náběhového proudu - určení teploty elektronů

směrnice $\tilde{k} = 4,03 \pm 0,21$
 teplota elektronů $T_e = (2880 \pm 150) K$

Závěr: Výstupní práce vyšla poměrně přesně, po vyřazení méně přesných hodnot dokonce ležela tabulková hodnota v chybovém intervalu změřené hodnoty. Teplota elektronů zřejmě odpovídá realitě, je blízká teplotě katody. Naměřená hodnota přírůstku nasyceného proudu odpovídá vypočtené hodnotě především kvůli velké chybě jejího určení.