Fyzikální praktika 3
Studium termoelektronové emise

Petr Šafařík

Měřeno: 20. března 2007
Zkompilováno: 22. března 2007 v systému LaTeX 2_ε

Obsah

1 Výstupní práce W **2**

2 Intenzita elektrického pole na povrchu katody **3**

3 Vykreslení oblasti náběhového proudu **5**

4 Závěr **6**

5 Poznámky **7**
5.1 Datový soubor naměřených hodnot 7

Zadání

- Změřte výstupní práci w wolframu pomocí Richardsonovy-Dushmanovy přímky
- Spočítat intenzitu elektrického pole na povrchu katody
- Závislost $I_{nas} = f(U_a)$ pro $U_a < 150$ V
- Změřit a vykreslit oblast náběhového proudu

1 Výstupní práce W

Výstupní práci získáme z Richardsonovy-Dushmanovy rovnice (1), přičemž teplotu určíme ze vztahu (2).

$$I_{nas} = BT^2 e^{-\frac{w}{kT}} \tag{1}$$

$$\ln \frac{I_{nas}}{T^2} = -\frac{w}{k}\frac{1}{T} + \ln B \tag{2}$$

Výstupní práce je tedy směrnicí této funkce, neboť hodnoty I_{nas}, T, k a B jsou konstanty (jejich význam je snadno k dohledání v [2]). Teplotu T je třeba ovšem spočítat ze závislosti odporu katodového vlákna na teplotě (viz vztah 3)

$$R_t = \frac{\rho d}{S}(1 + \alpha T) \tag{3}$$

Teplota vyšla $T = 1834$ K. Po úpravě vztahu 2 do následujícího tvaru:

$$y = \frac{w}{k} \cdot x + \ln B$$

kde je význam y a x myslím jasný, získáme graf 1.

Výstup z logu lineárního fitu programu Origin [1]

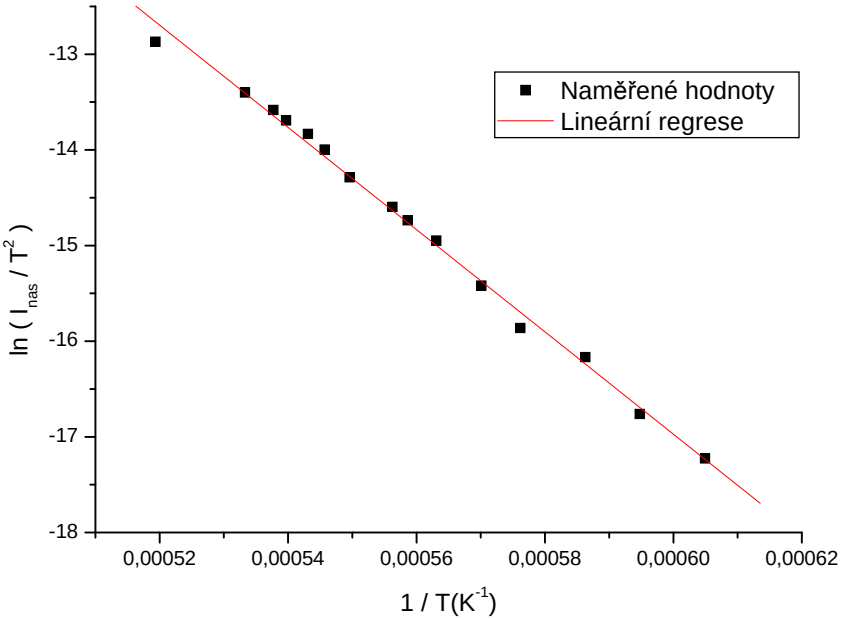
```
Linear Regression for wd_B:
Y = A + B * X

Parameter Value Error
------------------------------
A 15,10024 0,56514
B -53454,00251 1010,85545
------------------------------
```

Odtud plyne, že $\ln B = (15,1 \pm 0,6)$ a $\frac{w}{k} = (-53000 \pm 1000)$. Výstupní práce w je tedy rovna $w = (7,3 \pm 0,1) \cdot 10^{-19}$ J

$$w = (4,5 \pm 0,1)\,\text{eV}$$

Obrázek 1: Závislost $y = \frac{w}{k} \cdot x + \ln B$



2 Intenzita elektrického pole na povrchu katody

Díky Schottkyho efektu (4) získá rovnice (1) tvar (5).

$$w_p = \sqrt{\frac{e^3 \cdot E}{4\pi\varepsilon_0}} \tag{4}$$

$$I'_{nas} = I_{nas} \cdot e^{\left(\frac{\omega_p}{kT}\right)} \tag{5}$$

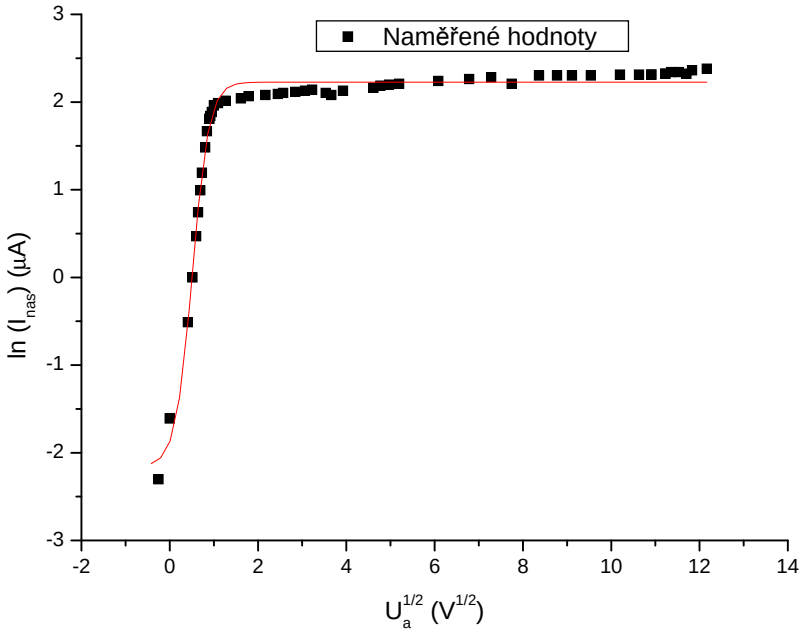
Logaritmizací obou stran rovnice (5) získáme

$$\ln I'_{nas} = \ln I_{nas} + \sqrt{\frac{e^3}{4\pi\varepsilon_0 k^2 T^2}} \sqrt{E}$$

Pro intenzitu elektrického pole kolem katody platí (r je poloměr průřezu katody, R je poloměr anody, U_a je anodové napětí):

$$E = U_a \frac{1}{r \ln \frac{R}{r}} \tag{6}$$

Obrázek 2: Závislost $\ln I_{nas} = \sqrt{U_a}$



Naměřené hodnoty jsou části (5.1) na straně (7) ve formě datového souboru.

$$\Delta I_{nas} = I_{nas}\left(e^{\frac{w_p}{kT}} - 1\right) = BT^2 e^{\frac{w_p}{kT}}\left(e^{\frac{w_p}{kT}} - 1\right)$$

Kde $I_K = 1.237\mu A$, což odpovídá teplotě $T = 2015$ K.

Tomu odpovídá $I_{nas} = (0,62 \pm 0,12)\mu A$. Na základě vztahu $\Delta I_{nas} = I'_{nas} - I_{nas}$ vychází:

$$\Delta I_{nas} = I_{nas}\left(e^{\frac{w_p}{kT}} - 1\right) = BT^2 e^{\frac{w_p}{kT}}\left(e^{\frac{w_p}{kT}} - 1\right) \quad (7)$$

Intenzita elektrického pole se spočte tedy podle vztahu (6) získáme hodnotu intenzity elektrického pole $E = (1097 \pm 3)kVm^{-1}$. Nyní lze spočítat úbytek výstupní práce w_p.

$$w_p = (0,040 \pm 0,007) \text{ eV}$$

Pokud toto dosazení do (7) získáme

$$\Delta I_{nas} = (2,9 \pm 0,6) \ \mu\text{A}$$

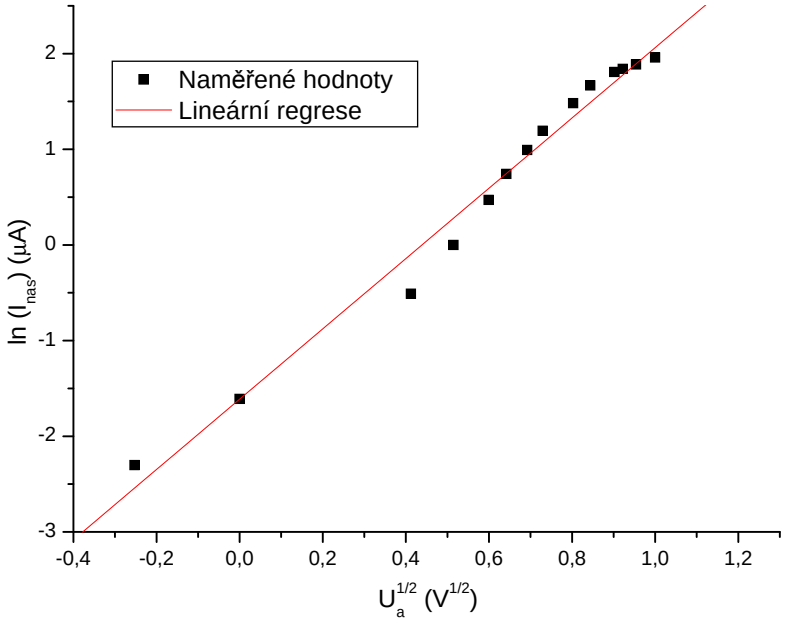
3 Vykreslení oblasti náběhového proudu

Jsme-li části grafu od -0,175 do 1,2 V, tak se dá fitovat obecnou přímkou: $y = A \cdot x + B$.

Výstupní práce se následně dá přepsat do

$$w_p = \left(A\sqrt{U_a} - B \right) kT \tag{8}$$

Obrázek 3: Závislost $\ln I_{nas} = \sqrt{U_a}$



Výstup z logu lineárního fitu programu Origin [1]

```
Linear Regression for Data1_B:
Y = A * X + B

Parameter Value Error
------------------------------
A 0,0367483 0,00142
B -1,61241 0,10206
------------------------------
```

Nyní můžeme dopsat rovnici (8) hodnotami z logu fitování. Výsledná hodnota výstupní práce pro teplotu $T = 2134\,\mathrm{K}$ a pro katodové napětí $U_a = 150\,\mathrm{V}$, $A = (0,038 \pm 0,002)\ \mathrm{K}^{-1}$ a $B = (-1,6 \pm 0,1)\ \mathrm{K}$.

Z (8) a hodnot z grafu jsem získal hodnotu

$$w_p = (0,021 \pm 0,007)\ \mathrm{eV}$$

4 Závěr

Prvním úkolem bylo určení výstupní práce. Toto měření bylo dle mého velice úspěšné, neboť tabulová hodnota je $4,5\,\mathrm{eV}$ a mnou určená hodnota byla $w = (4,5 \pm 0,1)\,\mathrm{eV}$.

Dále měla být spočtena intenzita elektrického pole na povrchu katody. Tato byla spočtena na hodnotu $E = (1097 \pm 3)kVm^{-1}$

Také jsem zjistil přírůstek nasyceného proudu způsobený přítomností elektrického pole jako $\Delta I_{nas} = (2,9 \pm 0,6)\,\mu\mathrm{A}$

Jako poslední jsem určil úbytek výstupní práce w_p na $w_p = (0,021 \pm 0,007)\ \mathrm{eV}$.

5 Poznámky

Reference

[1] Origin 7.0 SR0 v7.0220(B220) — http://www.OriginLab.com

[2] C.Tesař, D.Trunec, Z.Ondráček: Fyzikální praktikum III., KFE PřF MU, Brno, 2002
ftp://ftp.muni.cz/pub/muni.cz/physics/education/textbook/praktikum3.pdf

[3] GNU Octave, version 2.1.72 (i486-pc-linux-gnu)

5.1 Datový soubor naměřených hodnot

```
IK = 1.237
Uf Výchylka
148 10.8
140 10.6
137 10.2
133 10.4
129 10.4
126 10.2
119 10.1
126 10.2
119 10.1
113 10.1
104 10.1
91  10.0
83  10.0
77  10.0
70  10.0
60  9.1
53  9.8
46  9.6
37  9.4
27  9.1
24.7    90
22.8    8.9
21.3    8.7
15.4    8.4
13.4    8.0
12.5    8.2
10.4    8.5
```

```
9.4 8.4
8.1 8.3
6.6 8.2
6.0 8.1
4.7 8.0
3.2 7.9
2.6 7.7
1.6 7.5
1.2 7.3
1.0 7.1
0.910   6.6
0.850   6.3
0.814   6.1
0.712   5.3
0.644   4.4
0.532   3.3
0.479   2.7
0.412   2.1
0.359   1.6
0.265   1.0
0.170   0.6
0.000   0.2
-0.064  0.1
-0.175  0.0
```