

Wydział	Dzień                      poniedziałek 17 <sup>15</sup> – 19 <sup>30</sup>		Nr zespołu
Matematyki i Nauk Informatycznych	Data		18
Nazwisko i Imię: 1. Jasiński Bartosz 2. Sadłocha Adrian 3. Wódkiewicz Andrzej	Ocena z przygotowania	Ocena ze sprawozdania	Ocena Końcowa
Prowadzący dr hab. Jacek Gosk		Podpis prowadzącego	

## Sprawozdanie nr 8

### 1. Opis ćwiczenia i wstęp teoretyczny

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z działaniem lampy elektronowej, wykazanie zależności natężenia prądu anodowego diody od napięcia przyłożonego na diodę oraz wyznaczenie temperatury katody na podstawie wykonanych pomiarów.

Przed rozpoczęciem ćwiczenia, w sali laboratoryjnej przygotowany został uprzednio układ pomiarowy, którego schemat przedstawiono na rysunku 1.

Działanie lampy elektronowej wykorzystuje zjawisko jakim jest **termoemisja**. Wraz ze zwiększaniem temperatury materiału, z jego powierzchni emitowanych jest coraz więcej elektronów.

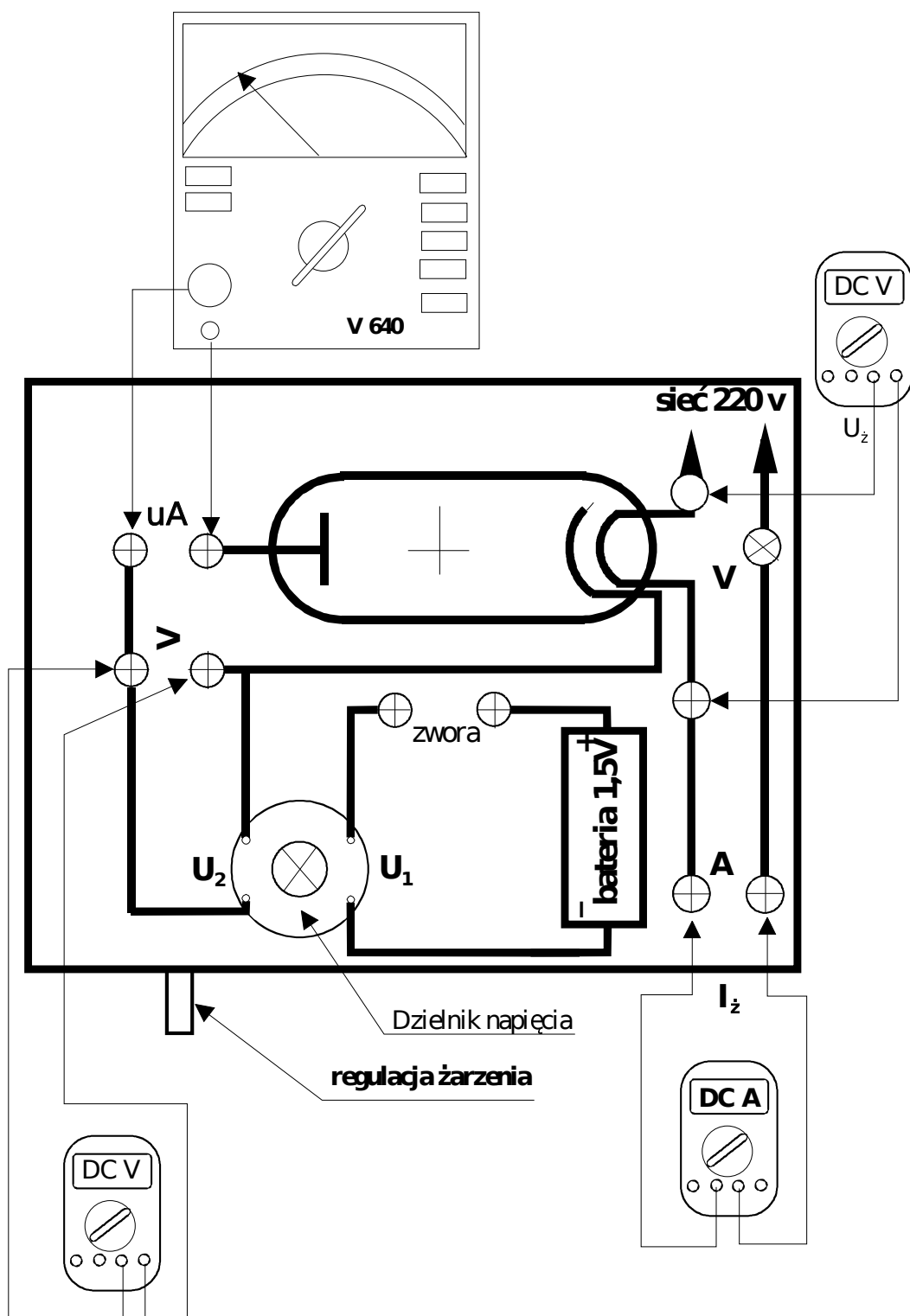
Układ został przygotowany w taki sposób, aby napięcie przyłożone do lampy elektronowej hamowało ruch elektronów opuszczających katodę (biegun dodatni baterii połączony został z katodą, a ujemny z anodą). Budowa układu pozwalała jedynie na regulowanie wartości napięcia *w jedną stronę*. Z powodu braku możliwości zamiany polaryzacji przykładanego napięcia, nie można było wyznaczyć w ćwiczeniu wartości napięcia kontaktowego między okładkami.

Korzystaliśmy z przybliżenia, że elektrony wewnątrz lampy można opisać jako gaz elektronów. W naszym doświadczeniu wyemitowane elektrony znajdują się w próżni oraz emitowane są one z gęstością o 10-15 rzędów mniejszą niż w metalu. Zakładamy więc, że z powodu pomijalnych oddziaływań między elektronami, są one *gazem doskonałym*. Były to podstawy do założenia, że prędkości elektronów przemieszczających się w kierunku anody mają rozkład Maxwella.

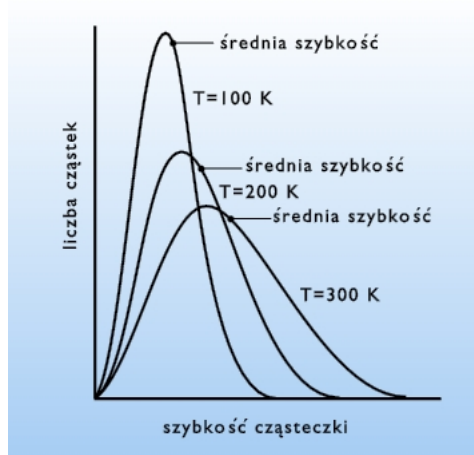
**Rozkład Maxwella** opisuje rozkład prędkości cząstek gazu doskonałego. Określa on liczbę cząstek, które w jednostce objętości mają prędkości z przedziału  $< v, v + dv >$ . kk dzięki temu nie oddziałują ze sobą.

Wzór, który uwzględnia ten rozkład i posłużył w ćwiczeniu za podstawę opracowywania wyników pomiarów, opisuje zależność między natężeniem prądu anodowego a napięciem przyłożonym do lampy.

$$I_a(U_a; T) = I_{a_0} \exp \left( -\frac{eU_a}{kT} \right) \quad (1)$$



Rysunek 1: Schemat układu pomiarowego dołączony do instrukcji ćwiczenia



Rysunek 2: Rozkład Maxwella

Źródło: [zasoby1.open.agh.edu.pl/dydaktyka/2\\_stany\\_skupienia/02\\_02\\_46.jpg](https://zasoby1.open.agh.edu.pl/dydaktyka/2_stany_skupienia/02_02_46.jpg)

gdzie  $I_a$  to natężenie prądu anodowego,  $U_a$  to zmienna niezależna będąca napięciem przyłożonym do lampy,  $T$  to parametr równania, będący temperaturą katody, zaś pozostałe czynniki to następujące stałe:

- $I_a$  – prąd *początkowy*
- $e$  – ładunek elementarny z minusem
- $k$  – stała Boltzmanna

Analizując równanie, można stwierdzić, że  $I_{a0}$  to *zerowe* natężenie prądu anodowego przy braku przyłożonego dodatkowego napięcia ( $U_a = 0V$ ). Ponieważ napięcie  $U_a$  jest hamujące, dlatego przyjmuje w naszych rozważaniach wyłącznie wartości ujemne, stąd (pamiętając o ujemnej wartości ładunku  $e$ ) argument funkcji wykładniczej ma wartość ujemną. Zatem mierzona wartość  $I_a$  powinna znajdować się w przedziale  $(0; I_{a0}]$  i maleć wraz ze zwiększaniem wartości bezwzględnej napięcia hamującego. Dodatkowo, wraz ze zwiększaniem temperatury  $T$  wykres funkcji wykładniczej *oddala* się w przedziale  $(-\infty; 0)$  od osi  $OX$ , co wpływa na zwiększenie wartości funkcji  $I_a$  dla ustalonego  $x$ .

Do dalszego opracowywania wyników wyprowadzono drugi wzór ze wzoru 1, logarytmując równanie stronami:

$$\ln \frac{I_a}{I_{a0}} = -\frac{eU_a}{kT} \quad (2)$$

Poszukiwana była zależność liniowa, gdzie:

- $X = U_a$  – zmienna niezależna
- $Y = \ln \frac{I_a}{I_{a0}}$  – zmienna zależna
- $a = -\frac{e}{kT}$  – współczynnik kierunkowy

## 2. Pomiary i opracowanie wyników

W naszym doświadczeniu dostaliśmy gotową diodę próżniową oraz mierniki natężenia oraz napięcia, na początku ćwiczenia zmontowaliśmy obwód w sposób widoczny na rysunku 1. Ustawiliśmy prąd żarzenia na  $0.375A$  przy pierwszym pomiarze oraz  $0.385A$  przy drugim. Połączyliśmy katodę z anodą przez mikroamperomierz. Zanim włączyliśmy żarnik prąd wskazywany na mikroamperomierzu wynosił  $0A$ . Po ogrzaniu katody po pewnym czasie prąd ustabilizował się na  $0.383\mu A$ . Zauważyliśmy następującą prawidłowość: wraz ze wzrostem temperatury żarnika prąd w obwodzie żarnika maleł. Spowodowane było to wzrostem oporu w obwodzie wraz ze wzrostem temperatury. W tym samym czasie prąd anodowy rósł wraz z rozgrzewaniem lampy elektronowej.

Po zwarciu oporu na baterii dołączyliśmy woltomierz do obwodu mierzący napięcie na anodzie. Podawaliśmy ujemne napięcie na anodę za pomocą dzielnika napięcia, wtedy prąd anodowy zaczął maleć.

### 2.1. Pierwszy pomiar

Wyniki pomiarów wykonanych i niepewności dla pierwszego prądu żarzenia są zawarte w tabeli 1. Niepewność pomiarowa natężenia prądu wyraża się wzorem:

$$u_{I_a} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_E}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

gdzie:

- $u_{I_a}$  - niepewność pomiaru wartości natężenia
- $\Delta I$  - niepewność amperomierza
- $\Delta I_E$  - niepewność eksperymentatora

W naszym przypadku amperomierz był analogowy i posiadał pierwszą klasę czyli by wyznaczyć  $\Delta I$  posłużyliśmy się wzorem:

$$\Delta I = \text{klasa urz\ddot{a}dzenia} * \frac{\text{zakres}}{100} = 0.0015$$

podanym na wykładzie wstępnym. Przyjeliśmy że niepewność eksperymentatora jest równa  $\frac{1}{2}$  najmniejszej podziałki.

Wyniki znajdujące się w kolumnie  $u_U$  są niepewnościami pomiarowymi napięcia prądu. Wartość niepewności zależy zarówno od jakości urządzenia pomiarowego jak i samego odczytu, w naszym przypadku wyraża się wzorem:

$$u_U = \frac{0,3\% \cdot rdg + 1 \cdot dgt}{\sqrt{3}}$$

gdzie:

- $rdg$  - zmierzona wartość

- $dgt$  - dokładność pomiaru

Wyniki dla niepewności wyznaczenia logarytmu stosunku prądu zmierzonego do prądu początkowego obliczyliśmy z następującego wzoru:

$$u_{ln} = \sqrt{\left(\frac{1}{I_a}\right)^2 \cdot U_{I_a}^2 + \left(-\frac{1}{I_{a0}}\right)^2 \cdot U_{I_{a0}}^2}$$

gdzie:

- $u_{ln}$  - niepewność logarytmu stosunku wartości natężenia zmierzonego do prądu początkowego
- $I_a$  - wartość zmierzonego prądu
- $I_{a0}$  - wartość prądu początkowego
- $u_{I_a}$  - niepewność pomiaru wartości natężenia
- $u_{I_{a0}}$  - niepewność pomiaru wartości natężenia początkowego

W większości punktów na wykresie nie jest widoczna niepewność, ponieważ są one mniejsze od punktów którymi są zaznaczone pomiary.

L.p	U[V]	$I_a$ [ $\mu$ A]	$U_{I_a}$ [ $\mu$ A]	$U_U$ [V]	$ln(I_a/I_{a0})$	$U_{ln}$	$\sqrt{(U)}$
1	0.000	0.135	0.0017	0.00058	0.0000	0.0178	0.0000
2	-0.012	0.110	0.0017	0.0006	-0.2048	0.0199	0.1095
3	-0.018	0.105	0.0017	0.00061	-0.2513	0.0205	0.1342
4	-0.021	0.100	0.0017	0.00061	-0.3001	0.0212	0.1449
5	-0.030	0.090	0.0017	0.00063	-0.4055	0.0227	0.1732
6	-0.038	0.080	0.0017	0.00064	-0.5232	0.0247	0.1949
7	-0.045	0.070	0.0017	0.00066	-0.6568	0.0274	0.2121
8	-0.055	0.065	0.0017	0.00067	-0.7309	0.0290	0.2345
9	-0.065	0.055	0.0017	0.00069	-0.8979	0.0334	0.2550
10	-0.075	0.050	0.0017	0.00071	-0.9933	0.0363	0.2739
11	-0.089	0.040	0.0017	0.00073	-1.2164	0.0443	0.2983
12	-0.097	0.035	0.0017	0.00075	-1.3499	0.0502	0.3114
13	-0.107	0.030	0.0017	0.00076	-1.5041	0.0580	0.3271

Tablica 1: Wyniki wielokrotnych pomiarów i niepewności dla pomiaru pierwszego

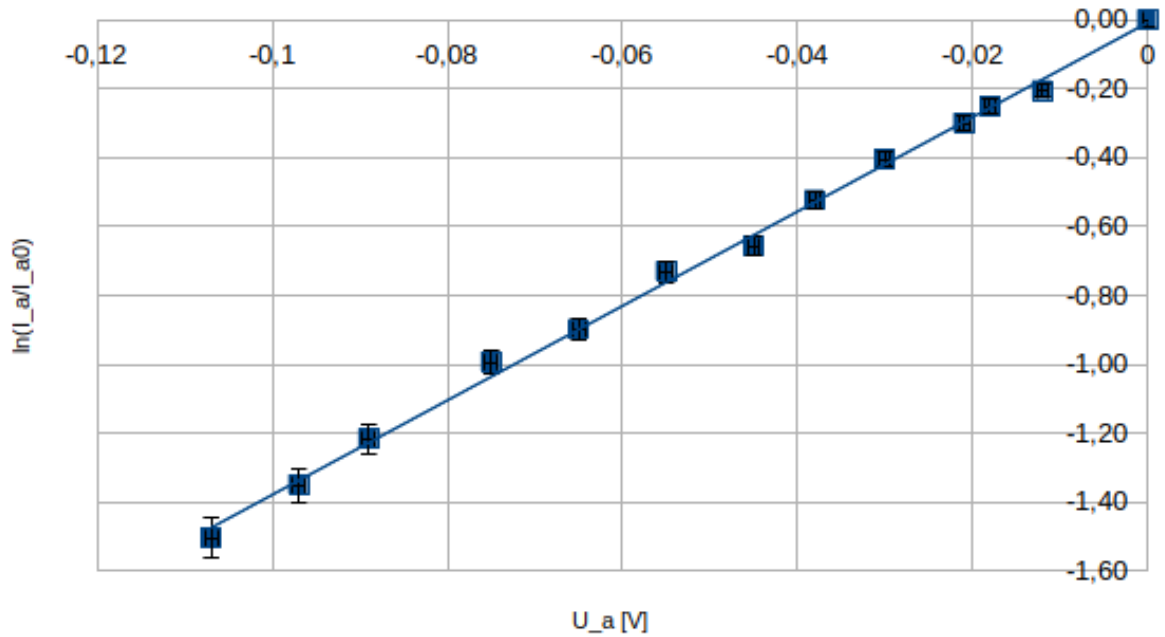
Używając metody najmniejszych kwadratów policzyliśmy temperaturę katody wysyłającej elektrony. Współczynnik kierunkowy prostej wynosi:

$$a \approx 13.81(0.11)$$

Z tego otrzymujemy temperaturę katody oraz niepewność:

$$T = \frac{e}{k \cdot a} \approx 840.36K$$

$$u_T = \sqrt{\left(\frac{e}{k \cdot a^2}\right) \cdot u_a^2} \approx 6.57K$$



Rysunek 3: Wykres zależności logarytmu stosunku zmierzonego natężenia do natężenia początkowego od napięcia. Pomiar pierwszy

## 2.2. Drugi pomiar

W drugim pomiarze w przeciwieństwie do pierwszego zmienialiśmy zakres pomiarów na amperomierzu (z tego wynikają większe niepewności pomiarowe dla 3 pierwszych pomiarów). Wartości pomiarów znajdują się w tablicy 2 a odpowiedni wykres na rysunku 4. Analogicznie do poprzedniego pomiaru wyznaczyliśmy temperaturę metodą najmniejszych kwadratów. Współczynnik kierunkowy prostej wynosi:

$$a \approx 12.80(0.06)$$

Z tego otrzymujemy temperaturę katody oraz niepewność:

$$T \approx 906.31K$$

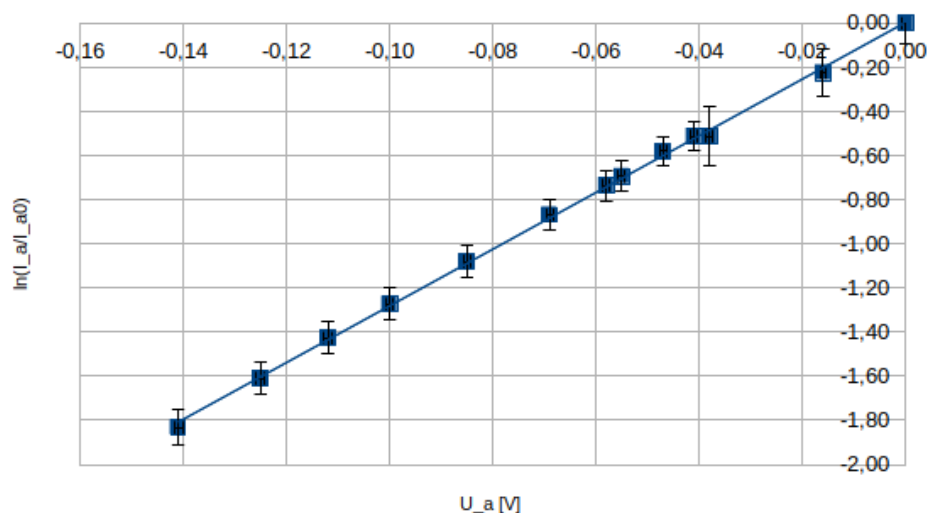
$$u_T = 3.96K$$

## 3. Wnioski

Obserwacje oraz opracowanie wyników przeprowadzonego ćwiczenia potwierdziły istnienie zależności wykładniczej między napięciem hamującym, przyłożonym do lampy, a prądem anodowym, przepływającym przez lampę. Zależność ta jest opisana wzorem (2). Dodatkowo na rysunkach 5, 6 zostały przedstawione odczyty natężenia względem przyłożonego napięcia wraz z dopasowaniem pewnej funkcji wykładniczej, uzyskanej za pomocą oprogramowania z pakietu

L.p	U[V]	$I_a$ [ $\mu$ A]	$U_{I_a}$ [ $\mu$ A]	$U_U$ [V]	$\ln(I_a/I_{a0})$	$U_{\ln}$	$\sqrt{(U)}$
1	0.000	0.250	0.0168	0.00058	0.00000	0.09522	0.00000
2	-0.016	0.200	0.0168	0.00061	-0.22314	0.10778	0.12649
3	-0.038	0.150	0.0168	0.00064	-0.51083	0.13087	0.19494
4	-0.041	0.150	0.0017	0.00065	-0.51083	0.06826	0.20248
5	-0.047	0.140	0.0017	0.00066	-0.57982	0.0684	0.21679
6	-0.055	0.125	0.0017	0.00067	-0.69315	0.06866	0.23452
7	-0.058	0.120	0.0017	0.00068	-0.73397	0.06878	0.24083
8	-0.069	0.105	0.0017	0.00070	-0.8675	0.06921	0.26268
9	-0.085	0.085	0.0017	0.00072	-1.07881	0.07018	0.29155
10	-0.100	0.070	0.0017	0.00075	-1.27297	0.0715	0.31623
11	-0.112	0.060	0.0017	0.00077	-1.42712	0.07294	0.33466
12	-0.125	0.050	0.0017	0.00079	-1.60944	0.07528	0.35355
13	-0.141	0.040	0.0017	0.00082	-1.83258	0.07940	0.37550

Tablica 2: Wyniki wielokrotnych pomiarów i niepewności dla pomiaru drugiego



Rysunek 4: Wykres zależności logarytmu stosunku zmierzonego natężenia do natężenia początkowego od napięcia. Pomiar drugi

*Libre Office*. Analizując wykresy nie znajdujemy podstaw do odrzucenia hipotezy o zależności (2).

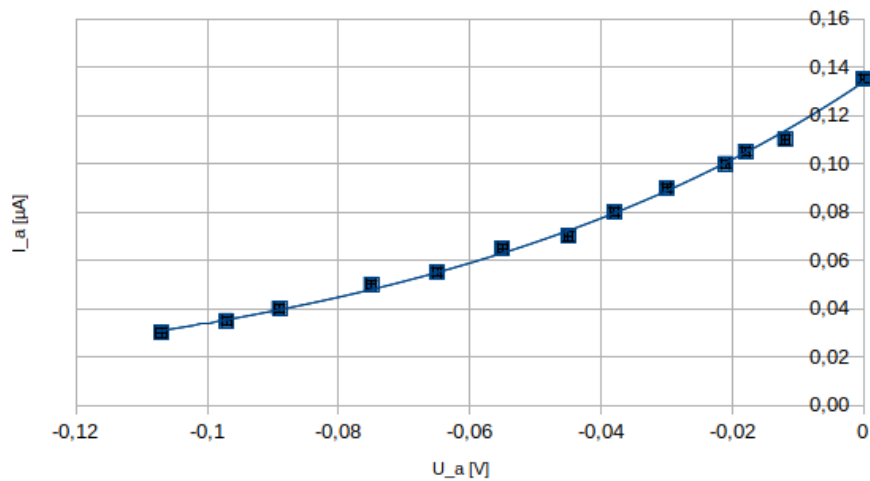
Z tej zależności wyznaczone zostały temperatury katody przy pierwszym i drugim pomiarze, wynoszące odpowiednio:

$$T_1 = 840.36(6.57)K \quad \text{dla } I_{zarnik} = 0.375 \text{ A}$$

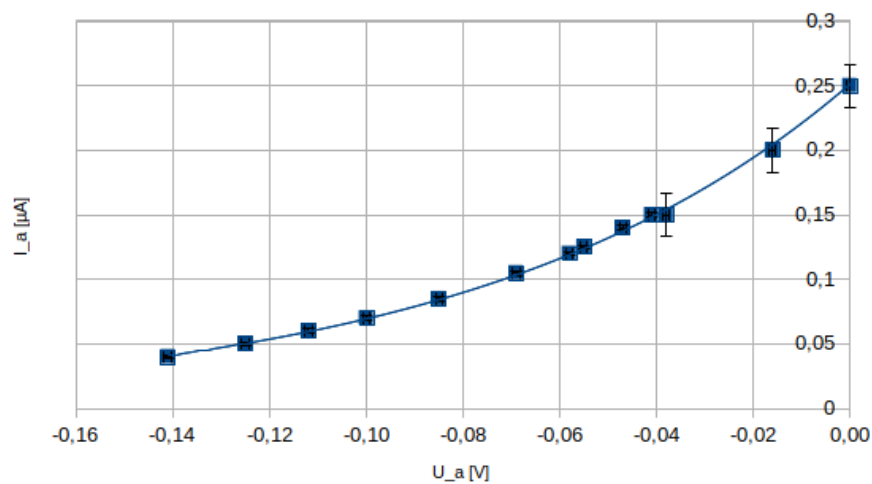
$$T_2 = 906.31(3.96)K \quad \text{dla } I_{zarnik} = 0.385 \text{ A}$$

co (porównując z tablicami odczytów jak i wykresami) zgadza się z naszym wcześniejszym

przypuszczeniem, że dla większej temperatury katody prąd będzie wzrastał (przy tym samym napięciu).



Rysunek 5: Wykres zależności natężenia od napięcia. Pomiar pierwszy



Rysunek 6: Wykres zależności natężenia od napięcia. Pomiar drugi