

Wydział	Dzień poniedziałek 17 ¹⁵ – 19 ³⁰		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.

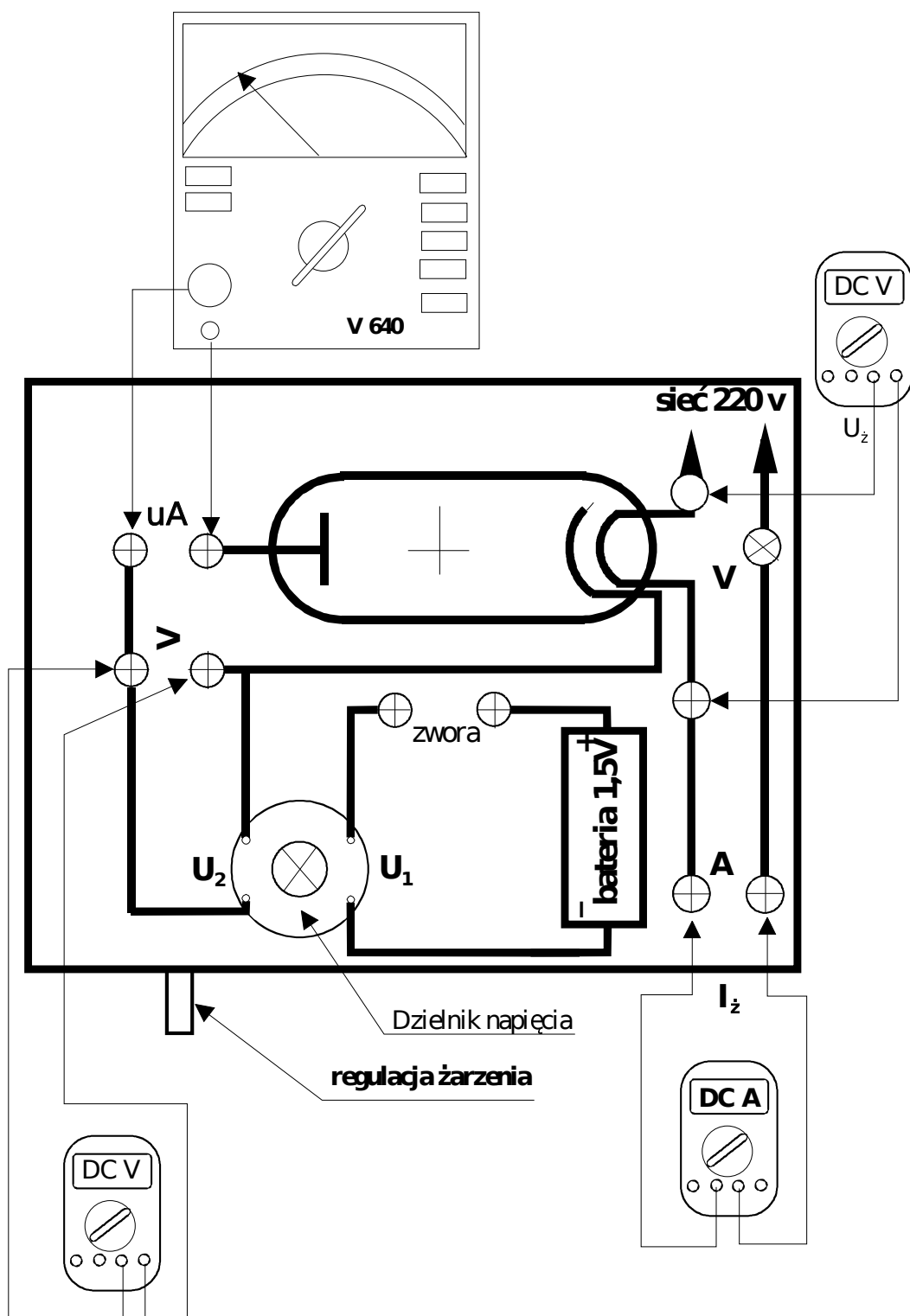
Układ został przygotowany w taki sposób, aby napięcie przyłożone do lampy elektronowej hamowało ruch elektronów opuszczających katodę (biegun dodatni baterii połączony został z katodą, a ujemny z anodą). Budowa układu pozwalała jedynie na regulowanie wartości napięcia *w jedną stronę*. Z powodu braku 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.

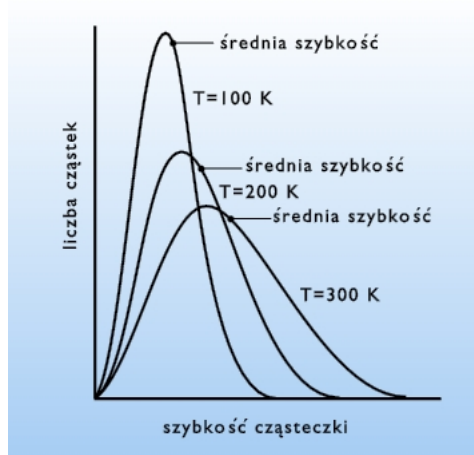
Rozkład Maxwella opisuje rozkład prędkości cząstek gazu doskonałego. Określa on liczbę cząstek, które w jednostce objętości mają prędkości z przedziału $< v, v + dv >$. kk dzięki temu nie oddziałują ze sobą.

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

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 rosł wraz z rozgrzewaniem lampy elektro-nowej.

Po zwarceniu 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
- ΔI - niepewność amperomierza
- ΔI_E - niepewność eksperymentatora

W naszym przypadku amperomierz był wychyłowy i posiadał pierwszą klasę czyli by wyznaczyć ΔI 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 [μ A]	U_{I_a} [μ 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

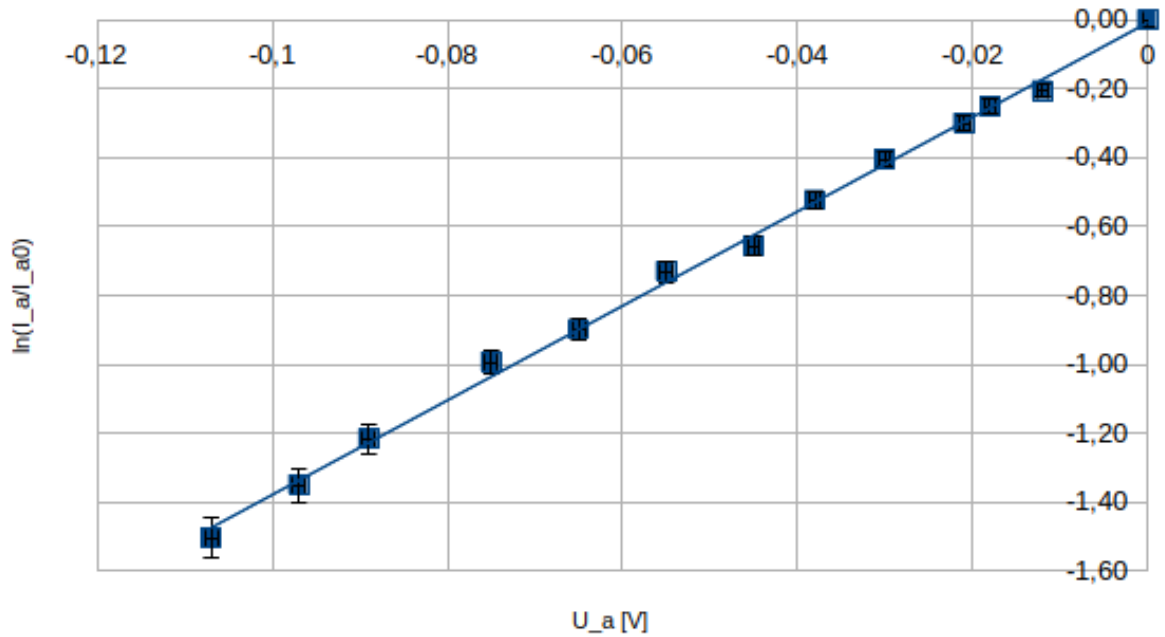
Używając metody najmniejszych kwadratów policzyliśmy temperaturę katody wysyłającej elektrony. Współczynnik kierunkowy prostej wynosi:

$$a \approx 13.81(0.11)$$

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 tabelicy 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:

$$T \approx 906.31K$$

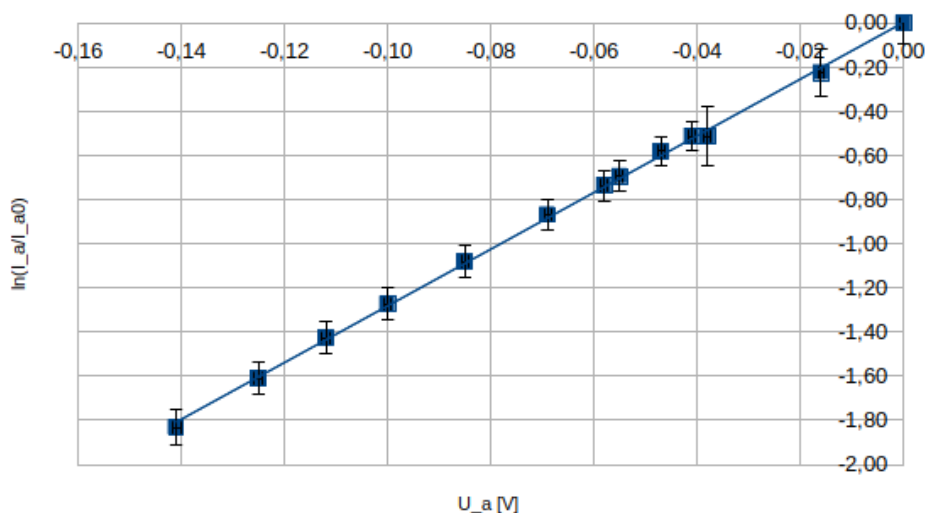
$$u_T = 3.96K$$

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 [μ A]	U_{I_a} [μ 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 niepwności 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).

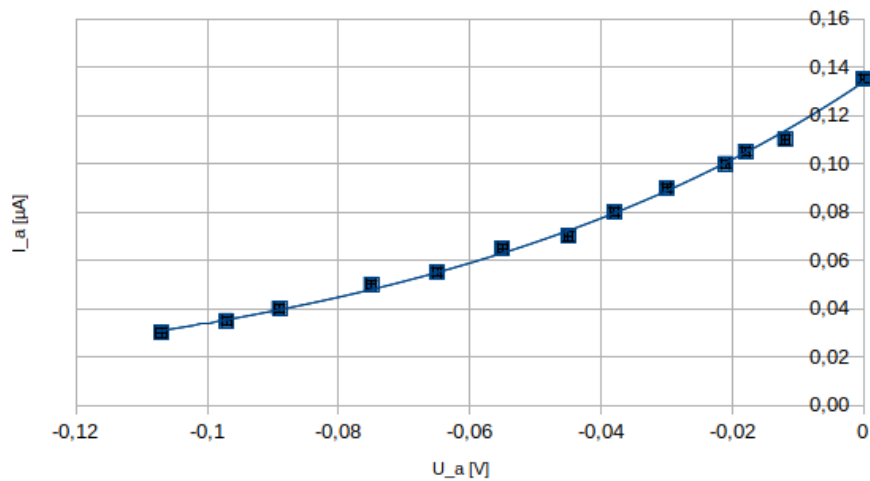
Z tej zależności wyznaczone zostały temperatury katody przy pierwszym i drugim pomiarze, wynoszące odpowiednio:

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

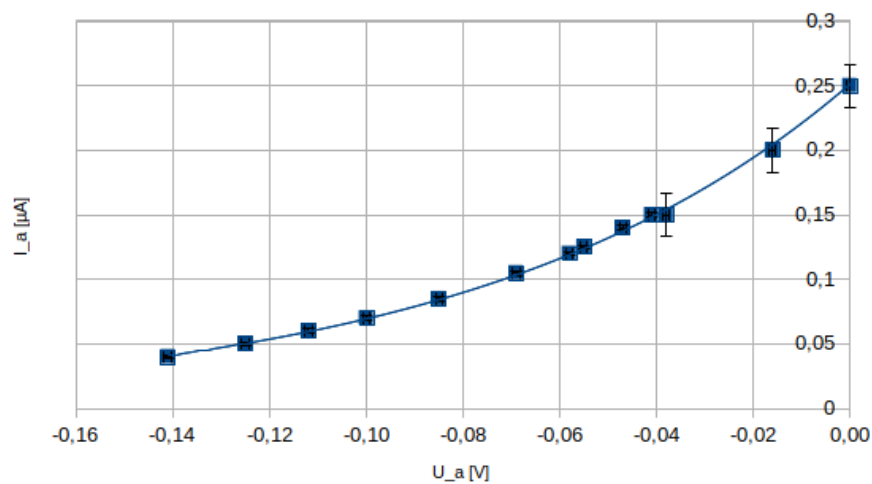
$$T_2 = 906.31(3.96)K \quad \text{dla } I_{zarnik} = 0.385 \text{ A}$$

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