

Wyznaczanie wartości wielkości złożonej i ocena niedokładności

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest pomiar ilorazu e/m ładunku i masy elektronu oraz wyznaczenie błędu granicznego pomiaru e/m oraz niepewności standardowej.

Zjawisko termoemisji elektronowej, które polega na emisji elektronów z rozgrzanej powierzchni emitera, zostało po raz pierwszy zaobserwowane i udokumentowane w 1883r przez Thomasa Edisona. Analityczną zależność natężenia prądu termoemisji elektronowej w funkcji temperatury emitera (katody) podał Richardson:

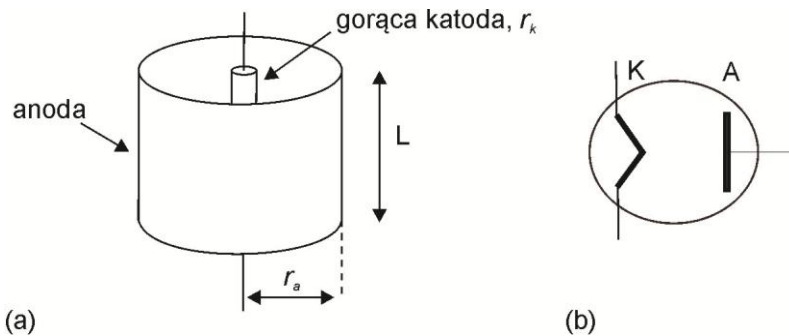
$$J_0 = AT_K^2 \exp\left(-\frac{\phi_K}{k T_K}\right), \quad (1)$$

gdzie: $A=120 \cdot 10^6 \text{ A/(m}^2\text{K}^2)$ jest stałą Richardsons, T - temperatura emitera, ϕ - praca wyjścia elektronu z materiału emitera do próżni, k – stała Boltzmanna.

Dla układu anoda – katoda, w którym anoda ma postać cylindra (Rys. 1), zaś w jej osi symetrii jest umieszczona, w postaci metalowego drutu, katoda, zależność natężenia prądu termoemisji elektronowej w funkcji napięcia przyspieszającego katoda – anoda ma postać:

$$I = \frac{8\pi\epsilon_0}{9r_a} \left(\frac{2e}{m}\right)^{\frac{1}{2}} U^{\frac{3}{2}} L, \quad (2)$$

gdzie: ϵ_0 – stała dielektryczna próżni, r_a – promień anody, e – ładunek elektronu, m – masa elektronu, U – napięcie między katodą i anodą. Zależność obowiązuje dla promienia katody pomijalnie małego w stosunku do promienia cylindrycznej anody.



Rys. 1. Schemat konstrukcji cylindrycznej diody próżniowej (a), symbol diody próżniowej (b)

Dla skończonych rozmiarów promieni anody i katody równanie (2) przyjmuje postać:

$$I = \frac{8\pi\epsilon_0}{9r_a} \left(\frac{2e}{m}\right)^{\frac{1}{2}} U^{\frac{3}{2}} L \frac{1}{\beta^2}, \quad (3)$$

gdzie:

$$\beta = \ln \frac{r_a}{r_k} - \frac{2}{5} \left(\ln \frac{r_a}{r_k} \right)^2 + \frac{11}{120} \left(\ln \frac{r_a}{r_k} \right)^3 - \frac{47}{3300} \left(\ln \frac{r_a}{r_k} \right)^4 + \dots, \quad (4)$$

Na podstawie zależności (3), (4), po odpowiednim przekształceniu, można wyznaczyć iloraz e/m ładunku i masy elektronu [1].

W ćwiczeniu, do realizacji układu katoda-anoda, została wykorzystana dioda próżniowa 1V2 (RCA Corporation), dla której parametry geometryczne są przedstawione poniżej:

promień katody $r_k = 0,000318\text{m}$,

promień anody $r_a = 0,00592\text{m}$,

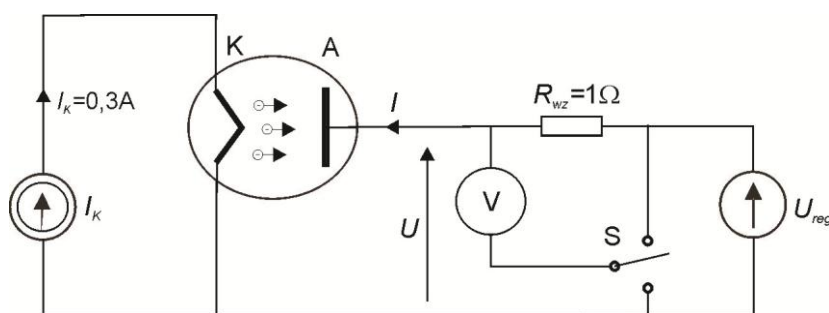
efektywna długość katody $L = 0,00534\text{m}$,

$r_a/r_k = 18,64$,

$\beta = 1,081$.

Przebieg ćwiczenia

Schemat układu pomiarowego jest przedstawiony na Rys. 2. Katoda K jest zasilana ze źródła prądowego o wydajności I_K , obwód anodowy ze źródła napięciowego regulowanego U_{reg} . Przełącznik S umożliwia pomiary woltomierzem napięcia U przyspieszającego elektrony lub napięcia na zaciska rezystora wzorcowego R_{wz} (w celu wyznaczenia natężenia I prądu termoemisji elektronowej, natężenie prądu pobieranego przez woltomierz przyjmuje się jako pomijalnie małe).



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do wyznaczania ilorazu m/e .

1. Utworzyć w środowisku LabVIEW program, który zautomatyzuje wykonanie pomiarów prądu i napięcia diody. (**Wykonanie ćwiczenia**)
2. Wykonać pomiary natężenia I_a prądu termoemisji elektronowej w funkcji napięcia U_a przyspieszającego elektrony w zakresie $<3\text{V}, 26\text{V}>$. Wyniki zapisać do pliku arkusza kalkulacyjnego Excel. Na podstawie wyrażenia (3) wyznaczyć wartość ilorazu e/m ładunku i masy elektronu dla każdej pary (U_a, I_a).

Dla przyjętych błędów granicznych pomiaru natężenia I_a prądu termoemisji i napięcia U_a przyspieszającego elektrony obliczyć błąd graniczny wielkości złożonej e/m .

3. W oparciu o prawo propagacji niepewności standardowych wyznaczyć niepewność standardową typu B wielkości złożonej e/m .

Niepewność wielkości złożonej

Gdy mamy do czynienia z funkcją wielu zmiennych niezależnych Y :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

i znamy niepewności cząstkowe wielkości składowych $u(X_i)$ to korzystając z prawa propagacji niepewności możemy określić niepewność całkowitą wielkości złożonej Y :

$$u(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2 \cdot u^2(X_i)}$$

Wartość $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ jest to pochodna cząstkowa funkcji opisującej daną wielkość Y po danej składowej X_i .

Tabela

Lp	U_a [V]	I_a [A]	e/m [C/kg]	$\delta(e/m)$, %	$u(e/m)$ [C/kg]
1					
2					
3					
...

Literatura

1. P. J. Angiolillo, On thermionic emission and the use of vacuum tubes in the advanced physics laboratory, America Journal of Physics 77, 1102 (2009)

Wykonanie ćwiczenia.

1. Sterowanie zasilaczem regulowanym przez port szeregowy.

Pobrać z biblioteki funkcji **Express>>Output** kreator procedury **InstrAssist** i umieścić go na diagramie. Po rozwinięciu się kreatora wybrać w kroku **Select Instrument** port COM1 do obsługi transmisji, czas **Timeout** oraz odpowiedni terminator końca przesyłanego rozkazu (zasilacz musi odbierać rozkazy zakończone znakiem \r - znak CR). Następnie należy dodać krok (**Add step**) o nazwie **Write** i umieścić w polu rozkazu (**ASCII representation**) parametr wybierając opcję **Add parameter**. Zmienić nazwę parametru (w polu **Test value**) na ROZKAZ, a etykiecie **input**, która pojawi się pod krokiem **Write** nadać też nazwę ROZKAZ (prawy klawisz kliknięty na etykiecie **input** umożliwia wybór opcji zmiany jej nazwy). Po wykonaniu tych czynności i zakończeniu pracy kreatora klawiszem OK., nastąpi jego zamknięcie i pojawi się ikona z wejściem typu string (różowy kolor wejścia ROZKAZ). Aby sprawdzić działanie procedury należy na wejściu ROZKAZ utworzyć kontrolkę (zmienną sterującą), wskazując kursorem szpulki na wejście ROZKAZ, klikając prawy klawisz myszki, a następnie wybierając z menu opcję CREATE>CONTROL. Na panelu czołowym (**Front panel**) pojawi się kontrolka typu string, której należy nadać etykietkę Rozkaz i wpisać do niej treść rozkazu: **CONF:CURR**. Następnie należy uruchomić za pomocą pojedynczej strzałki program główny, w którym umieszczono procedurę. W wyniku działania procedury wysyłającej rozkaz do zasilacza, powinno nastąpić dołączenie przez przekaźnik zacisków Hi, Lo do zacisków wzorcowego opornika ($R=50\ \Omega$ 0,1%) włączonego szeregowo z anodą diody. Spadek napięcia na tym oporniku zmierzony przez woltomierz DMM2000, po podzieleniu przez wartość rezystancji pozwoli pośrednio wyznaczyć wartość prądu anodowego I_a diody. Pomiar prądu sygnalizuje zgaszona żółta dioda LED. Analogicznie należy wpisać do kontrolki rozkaz: **CONF:VOLT** i sprawdzić czy w wyniku uruchomienia programu nastąpi zaświecenie się żółtej diody LED sygnalizującej dołączenie zacisków Hi, Lo woltomierza do anody i katody diody, umożliwiając pomiar napięcia anodowego U_a. Trzeci akceptowany przez zasilacz rozkaz: **SOUR:VOLT** nastawa wpisany do kontrolki, spowoduje ustawienie i doprowadzenie do lampy napięcia stałego o jednej z 254 możliwych wartości (uwaga: wpisujemy w rozkazie na polu nastawa stałą 1 do 255, a po treści rozkazu **SOUR:VOLT** przed nastawą musi wystąpić pojedyncza spacja). Wpisany rozkaz może mieć przykładową postać: **SOUR:VOLT 100** i spowoduje on ustawienie napięcia odpowiadającego nastawie 100. Numer nastawy nie jest wartością napięcia, a jedynie 100-tną nastawą pobieraną z pamięci sterownika w zasilaczu. Wartość napięcia U_a zostanie zmierzona za pomocą woltomierza.

2. Pomiar napięcia za pomocą woltomierza DMM2000.

Pobrać z biblioteki funkcji **Express>>Output** kreator procedury **InstrAssist** i umieścić go na diagramie realizowanego programu. Po rozwinięciu się kreatora wybrać obsługę transmisji szeregową (wybrać adres sterownika USB), wybrać czas **Timeout** i odpowiedni terminator końca przesyłanego rozkazu (woltomierz musi mieć rozkaz zakończony znakiem \r - znak CR). Następnie dodać krok (**Add step**) o nazwie **Write** i wpisać treść wysyłanego rozkazu w oknie **ASCII representation**: **MEAS:VOLT:DC?** (po znaku? jest jedna spacja), dołączyć do rozkazu parametr

wybierając opcję **Add parameter** i zakończyć treść rozkazu wyborem rozdzielczości pomiaru: **,DEF (przecinek i DEF)** . Należy zmienić nazwę parametru (w polu **Test value**) na 100 , a etykiecie **input** pod krokiem **Write** nadać nazwę ZAKRES (prawy klawisz kliknięty na **input** umożliwia wybór opcji zmiany nazwy). W wyniku tych operacji rozkaz wpisany w polu **ASCII representation** będzie wyglądał tak: MEAS:VOLT:DC? 100,DEF ,a parametr wejściowy **input**, zmieni nazwę na ZAKRES, co pozwoli na dynamiczne ustawianie zakresu woltomierza w programie głównym korzystającym z tej procedury. Następnie należy dodać kolejny krok **AddStep** i wybrać **Read and Parse**. Nie zamykając kreatora procedury obsługi woltomierza , uruchomić procedurę klawiszem Run (u góry kreatora). Po jej wykonaniu pojawi się odczytany wynik w postaci znaków ASCII w polu **ASCII representation** . Należy kliknąć jeden raz lewym klawiszem myszki na odebrane znaki ASCII wyniku aby nastąpiła automatyczna konwersja odczytanego wyniku pomiaru, (zawsze przesyłanego w postaci ASCII), na postać liczbową. Powyższe czynności spowodują pojawienie się **tokena** po kroku **Read and Parse** za pomocą, którego będzie przekazywany z procedury wynik w postaci liczbowej. Należy zmienić domyślną nazwę **token** na WYNIK i zakończyć pracę kreatora klawiszem OK. Sprawdzenia poprawności procedury można dokonać tworząc na wejściu ZAKRES powstałej ikony, **kontrolkę** o nazwie Zakres (w sposób opisany w punkcie 1), zaś na wyjściu WYNIK należy utworzyć **Indykator** i nazwać go Wynik. Po wpisaniu do kontrolki Zakres 100 i uruchomieniu programu głównego, powinna pojawić się na **indykatorze** Wynik wartość zmierzonego napięcia, podobna do wyświetlanej na fizycznym wyświetlaczu DMM2000 (uwaga: wyniki na fizycznym i wirtualnym wyświetlaczu mogą się różnić ponieważ transmitowany wynik ma pełną rozdzielczość zaś wyświetlany jest ograniczony liczbą cyfr fizycznego wyświetlacza). Podobnie należy przetestować działanie procedury dla zakresu 0.1 .

3.Realizacja programu wykonującego pomiar U_a i I_a diody dla napięć zasilania w zakresie wybranych nastaw.

Korzystając z utworzonych i sprawdzonych wcześniej procedur sterowania zasilaczem i po wykonaniu pomiaru napięcia za pomocą woltomierza DMM2000 dla zakresów 100 i 0.1, należy stworzyć program, który będzie zadawał kolejne wartości napięć od nastawy początkowej (kontrolka wprowadzania nastawy początkowej zakresu), ustawianej przez użytkownika, do nastawy maksymalnej 255 i dla każdej z nich wykona kolejno pomiar napięcia U_a i prądu I_a diody. Pomiar napięcia U_a będzie wykonywany na zakresie 100V zaś napięcie do obliczenia prądu I_a będzie mierzone na zakresie 0.1V (uwaga: parametr ZAKRES musi mieć wpisane 100 do pomiaru U_a i 0.1 do pomiaru I_a). Aby wykorzystać wielokrotnie tę samą procedurę obsługi zasilacza i woltomierza z innymi nastawami , wystarczy kliknąć na ikonę i za pomocą standardowej kombinacji <CTRL+C> oraz <CTRL+V> skopiować ją tyle razy ile razy wymaga jej użycia tworzony program.

Pomiędzy każdą procedurę należy wstawić opóźnienia **Time Delay** pobrane z biblioteki **Express>Execution Control** niezbędne ze względu na opóźnienia występujące w aparaturze. Przydatny okaże się do tego mechanizm łączenia w łańcuch wszystkich ikon za pomocą wejść **error in** i wyjść **error out** .

Po zakończeniu pomiarów w danym zakresie nastaw napięcia lub po wcześniejszym przerwaniu pomiarów na życzenie użytkownika, wyniki U_a i I_a powinny zostać zapisane do dwóch tablic U_a i I_a zaś tablice zostaną zapisane w postaci dwóch kolumn do pliku arkusza kalkulacyjnego z rozszerzeniem _____ .xls (w bibliotece

Array procedura **Build array** i w bibliotece **FileI/O** procedura **Write Spread**). Należy przewidzieć możliwość wcześniejszego zakończenia działania programu klawiszem STOP, wyświetlanie na bieżąco wyników pomiar U_a i I_a , numeru nastawy napięcia wysyłanego do zasilacza oraz wykonanie wykresu $I_a=f(U_a)$ ze zgromadzonych w tablicach wyników pomiarów.