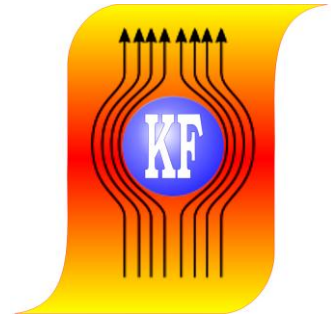
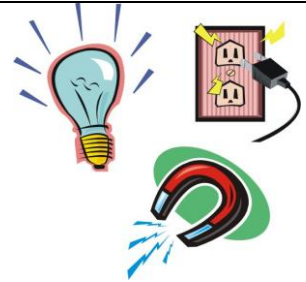


***KATEDRA FIZYKI***

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW  
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA  
ELEKTRYCZNOŚCI I MAGNETYZMU***



***ĆWICZENIE NR E-14***

***WYZNACZANIE SZYBKOŚCI WYJŚCIOWEJ  
ELEKTRONÓW***

## I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Teoria przewodnictwa elektrycznego metali.
2. Praca wyjścia elektronu z metalu.
3. Rodzaje emisji elektronowej.
4. Prawo Richardsona dla termoemisji.
5. Prędkość oraz energia elektronów i jonów w polu elektrycznym.
6. Budowa i działanie lampy elektronowej - diody.
7. Metoda wyznaczania prędkości wyjściowej elektronów.

## II. Wprowadzenie teoretyczne

Według klasycznej teorii przewodnictwo elektryczne metali tłumaczy się występowaniem w nich dużej liczby nośników ładunku elektrycznego - elektronów swobodnych. Ze względu na ich bardzo dużą liczbę w jednostce objętości oraz nie-wielkie rozmiary używane jest pojęcie tzw. gazu elektronowego.

Podobnie jak cząsteczki w gazie rzeczywistym, tak i elektrony w gazie elektronowym poruszają się z pewnymi prędkościami zależnymi od temperatury. Podczas ruchu elektrony swobodne zderzają się z jonami sieci krystalicznej metalu. Metal jako całość jest elektrycznie obojętny, ponieważ ładunek swobodnych elektronów jest kompensowany dodatnim ładunkiem jonów tworzących sieć krystaliczną. Obecność jonów dodatnich powoduje, że elektrony należące do gazu elektronowego nie mogą swobodnie opuścić metalu. Energia, jaką te elektrony posiadają wskutek ruchu cieplnego, jest niewystarczająca, by mogły się wydostać na zewnątrz metalu. Aby wyrwać elektron z pola sił oddziaływania dodatnich jonów, trzeba wykonać pewną pracę, zw. pracą wyjścia elektronu z metalu. Praca wyjścia jest wielkością charakterystyczną, która zależy od rodzaju substancji oraz stanu jej powierzchni. Jej wartość jest rzędu kilku elektronowoltów. Tak więc emisja elektronów z powierzchni przewodnika możliwa jest jedynie wówczas, gdy ich energia jest wyższa od pracy wyjścia elektronu z metalu. W temperaturze pokojowej jedynie znikoma część elektronów posiada wystarczającą energię do wykonania tej pracy i wydostania się na zewnątrz.

Istnieją różne sposoby przekazywania elektronom żądanej energii. Elektrony mogą ją uzyskać w wyniku działania czynników zewnętrznych, takich jak: silne pole elektryczne (emisja polowa lub zimna), ogrzewanie przewodnika (termoemisja), naświetlanie jego powierzchni (fotoemisja) oraz bombardowanie powierzchni przez inne cząstki (emisja wtórna).

W zjawisku termoemisji energia potrzebna elektronom do opuszczenia metalu jest dostarczana w postaci ciepła. W miarę podwyższania temperatury rośnie liczba szybkich elektronów i dzięki temu wzrasta liczba elektronów opuszczających metal. Liczbę elektronów emitowanych z metalu pod wpływem ciepła w jednostce czasu, przypadających na jednostkową powierzchnię, nazywamy gęstością prądu termoemisji.

Gęstość tego prądu określa równanie Richardsona

$$j_s = aT^2 \exp\left(-\frac{A}{kT}\right) \quad (1)$$

gdzie:  $A$  - praca wyjścia,  $k$  - stała Boltzmanna,  $T$  - temperatura metalu,  $a$  - stała charakteryzująca metal.

Równanie to wskazuje na nadzwyczaj szybki wzrost gęstości prądu termoemisji ze wzrostem temperatury.

Energia cieplna dostarczona do przewodnika zostaje zużyta na wykonanie pracy wyjścia, pozostałą jej część w postaci energii kinetycznej posiada elektron opuszczający metal

$$E = A + E_k \quad (2)$$

gdzie:  $A$  - praca wyjścia elektronu z metalu,  $E_k = mv^2/2$  - energia kinetyczna elektronu.

Tak więc elektrony, opuszczając powierzchnię ogrzewanego przewodnika, posiadają pewną prędkość, którą nazywać będziemy prędkością wyjściową. Prędkości wyjściowe elektronów nie są dokładnie równe, lecz wykazują pewien rozrzut zgodny z maxwellovskim rozkładem prędkości.

## ***Metoda pomiaru***

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie prędkości wyjściowej elektronów wyemitowanych z powierzchni metalu. Metoda zastosowana w tym ćwiczeniu polega na hamowaniu elektronów w zewnętrznym polu elektrycznym odpowiednio skierowanym. Można to zrealizować za pomocą lampy elektronowej - diody. Źródłem elektronów w lampie jest żarzona elektrycznie katoda. Jeżeli anodę połączymy z dodatnim biegunem źródła, a katodę z ujemnym, to elektrony będą przyciągane przez anodę i w obwodzie popłynie prąd elektryczny. W celu zahamowania wyemitowanych z katody elektronów należy połączyć anodę z ujemnym biegunem źródła, natomiast katodę z dodatnim. Takie połączenie powoduje wytworzenie między katodą i anodą pola elektrycznego, hamującego ruch elektronów w kierunku anody. Elektrony przebywające różnicę potencjałów  $U$  muszą wtedy wykonać pracę  $W = eU$ . Pracę tę wykonują kosztem swej energii kinetycznej  $E_k = mv^2/2$ .

Spośród elektronów wyemitowanych przez katodę z różnymi prędkościami początkowymi, do anody dotrą tylko te, których początkowa energia kinetyczna jest większa lub równa pracy koniecznej na pokonanie pola hamującego. Możemy więc zapisać

$$\frac{mv^2}{2} \geq eU \quad (3)$$

gdzie:  $e$  - ładunek elektronu,  $U$  - napięcie pola hamującego.

Ze wzrostem ujemnego potencjału anody liczba elektronów o energii wystarczającej do przewycięzania pola hamującego jest coraz mniejsza i prąd anodowy w obwodzie maleje. Przy pewnej wartości napięcia

## Ćwiczenie E-14: Wyznaczanie szybkości wyjściowej elektronów

$U = U_a$  (napięcie odcięcia) żaden z elektronów nie dochodzi do anody, a więc prąd maleje do zera  $I = 0$ . Wówczas spełniony jest warunek

$$\frac{mv^2}{2} = eU_a$$

A stąd maksymalna prędkość elektronów wyrazi się zależnością

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}} \quad (4)$$

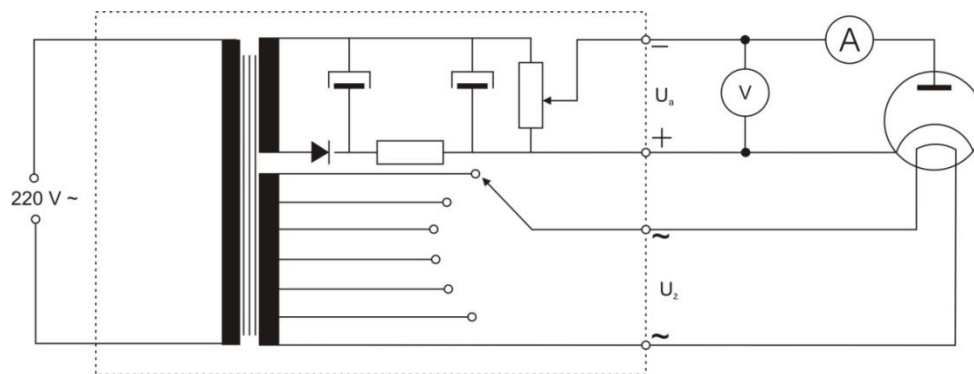
Pomiar najmniejszego napięcia  $U_a$ , dla którego natężenie prądu anodowego jest równe zero, pozwala z równania (4) obliczyć prędkość najszybszych elektronów. W ten sposób wyznaczamy prędkości elektronów dla różnych temperatur, tzn. dla różnych wartości napięcia żarzenia katody.

Należy zauważyć, że metoda zastosowana w tym ćwiczeniu pozwala wyznaczyć prędkości tylko najszybszych elektronów opuszczających metal w zjawisku termoemisji.

### III. Zestaw pomiarowy

Zasilacz, mikroamperomierz, woltomierz, lampa elektronowa - dioda.

### IV. Schemat układu pomiarowego



### V. Przebieg ćwiczenia

1. Połączyć obwód według schematu.
2. Przełącznik napięcia żarzenia  $U_z$  ustawić w pozycji 4,0 V.
3. Potencjometrem zwiększać ujemne napięcie anodowe do momentu aż miliamperomierz wskaże 0.
4. Odczytać napięcie odcięcia (dla  $I_a = 0$ ). Dla każdej wartości napięcia żarzenia wykonać trzy pomiary.
5. Dokonać pomiarów dla pozostałych napięć żarzenia  $> 4$  V.

**UWAGA! Należy odczytać najmniejsze napięcie, przy którym  $I_a = 0$ .**

6. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli.

## VI. Tabela pomiarowa

$U_z$ [V]	$U_a$ [V]	$V_e$ [m/s]	$ \Delta V_e $ [m/s]	$\left  \frac{\Delta V_e}{V_e} \right  \cdot 100\%$

	Woltomierz	$ \Delta U_a $
Klasa miernika		
Zakres pomiarowy		
Wartość najmniejszej działki		

## VII. Opracowanie ćwiczenia

1. Dla każdej wartości napięcia odcięcia  $U_a$  obliczyć prędkość wyjściową elektronu ze wzoru

$$V_e = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}}$$

przyjmując dla elektronu  $e/m = 1,77 \cdot 10^{11}$  C/kg.

2. Obliczone wartości  $V_e$  wpisać do tabeli.

## VIII. Rachunek błędu

1. Błąd bezwzględny  $|\Delta V_e|$  obliczamy metodą różniczki zupełnej:

$$|\Delta V_e| = \left| \frac{\partial V_e}{\partial U_a} \right| |\Delta U_a|$$

$$|\Delta V_e| = \left| \sqrt{\frac{e}{2mU_a}} \right| |\Delta U_a| = \left| \frac{e}{mV_e} \right| |\Delta U_a|$$

gdzie  $|\Delta U_a|$  - niepewność pomiarowa napięcia odcięcia  $U_a$

$$|\Delta U_a| = \frac{\text{klasa} \times \text{zakres}}{100} + \frac{1}{2} dz$$

Obliczenia błędu względnego  $\left| \frac{\Delta V_e}{V_e} \right|$  prowadzą do prostego wyrażenia

$$\left| \frac{\Delta V_e}{V_e} \right| = \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta U_a}{U_a} \right|$$

## Literatura

1. Ćwiczenia laboratoryjne w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja, PWN, Warszawa 1985.
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, praca zbiorowa pod red. M. Nowaka, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1994.
3. Jaworski B., Dietlaf A., Kurs fizyki, T. II, Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1979.
4. Lech J., Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej PCz, Częstochowa 2005.
5. Szczeniowski S., Fizyka doświadczalna, cz. III, Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1972.