

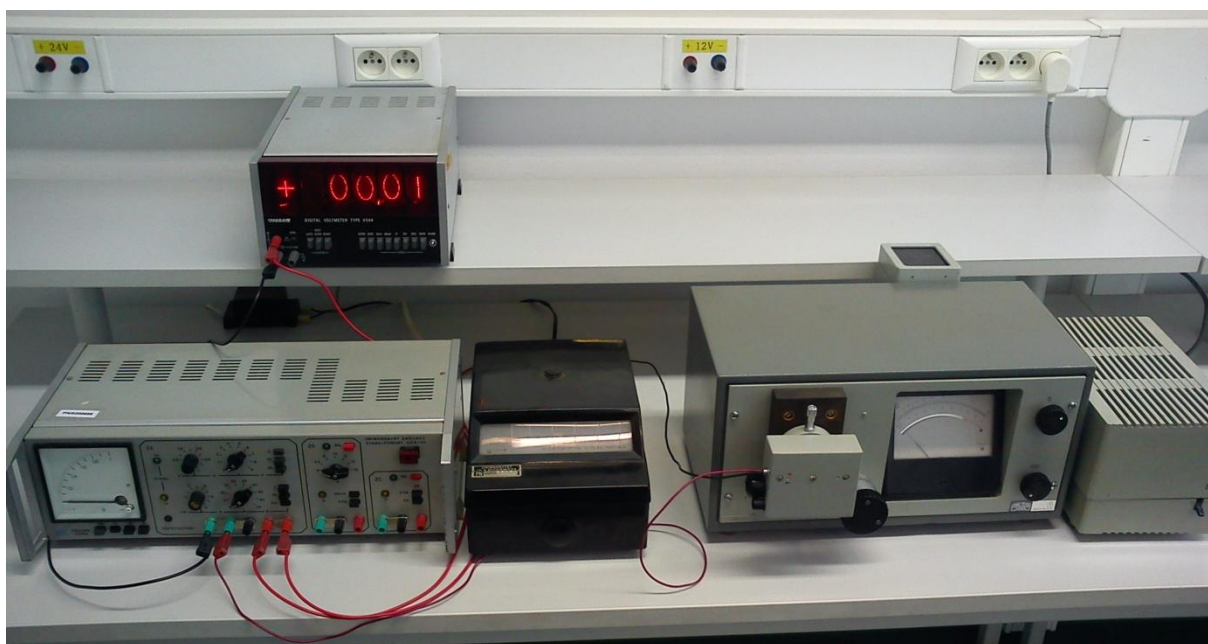
Wyznaczanie Stałej Plancka za pomocą fotokomórki

Zagadnienia:

Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne, fotokomórka i jej zastosowanie, fotonowa teoria Einsteina, dualizm korpuskularno-falowy, zasada wyznaczania stałej Plancka i pracy wyjścia elektronów z fotokatody poprzez pomiar napięcia hamowania, metoda regresji liniowej.

Zestaw przyrządów:

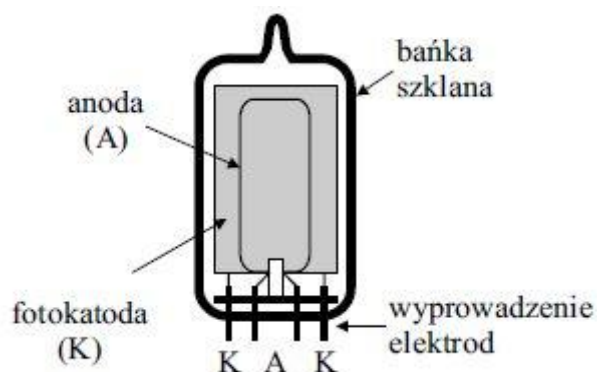
Fotokomórka, fotospektrometr SPEKOL, galwanometr, woltomierz, multimetr cyfrowy.



Rysunek 1. Układ pomiarowy do wyznaczania Stałej Plancka

Podstawy fizyczne:

Efekt fotoelektryczny zewnętrzny polega na emisji elektronów wywołanej światłem padającym na powierzchnię metalu. Do badania tego efektu używa się fotokomórki próżniowej której schemat przedstawiono poniżej:



Rysunek 2. Schemat budowy fotokomórki

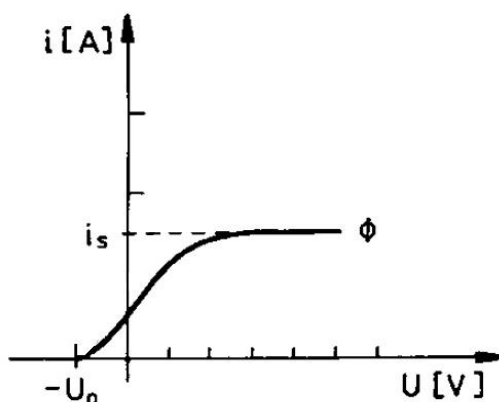
Katoda fotokomórki wykonana jest z materiału emitującego elektrony pod wpływem promieniowania świetlnego i najczęściej stanowi warstwę naniesioną bezpośrednio na wewnętrzną stronę bańki szklanej stanowiącej obudowę. Bańka posiada okienko, które umożliwia wnikanie do wnętrza lampy promieniowania.

Elektrony wybijane z fotokatody przez strumień światła zbierane są przez anodę. Natężenie prądu płynącego w obwodzie zależy od :

- wartości strumienia Φ promieniowania padającego na fotokatodę
- długości fali promieniowania
- napięcia między anodą a katodą

Jeśli na katodę fotokomórki pada promieniowanie monochromatyczne, to przy określonym stałym strumieniu promieniowania z katody wyzwala się w jednostce czasu określona stała liczba elektronów. Przy niskim napięciu przyspieszającym nie wszystkie elektrony, które opuściły katodę w jednostce czasu zostały odprowadzone do anody. W otoczeniu katody istnieje chmura elektronowa i ustala się stan równowagi dynamicznej, polegający na tym że część elektronów, które opuściły katodę a nie zostały przyjęte przez anodę powraca do katody.

Zwiększenie napięcia przyspieszającego powoduje szybki przyrost natężenia prądu, aż do osiągnięcia wartości zwanej prądem nasycenia i_s . Odpowiada to sytuacji, gdy wszystkie elektrony wyemitowane z katody są wychwytywane przez anodę. Zwiększenie napięcia przyspieszającego nie może już zwiększyć natężenia prądu.



Rysunek 3. Charakterystyka prądowo-napięciowa fotokomórki

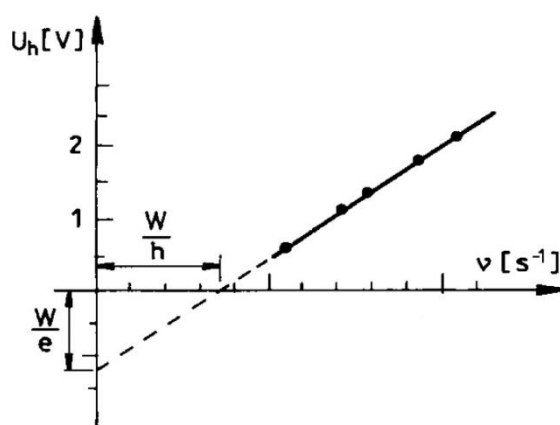
Prąd w obwodzie płynie nawet wtedy, gdy napięcia są ujemne (potencjał anody jest niższy niż potencjał katody). Oznacza to że część elektronów ma energie kinetyczną wystarczającą na wykonanie pracy przeciwko siłom hamującego pola elektrycznego. Przy pewnej wartości napięcia hamującego nawet elektrony o największej energii nie osiągają anody i prąd w obwodzie przestaje płynąć.

Tę wartość napięcia hamującego U_h nazywamy napięciem hamowania. Znajomość wartości napięcia hamowania pozwala nam wyznaczyć maksymalne prędkości v i energie kinetyczną E_k fotoelektronów z zależności:

$$eU_h = \frac{1}{2}mv^2 = E_k \quad \text{wzór 1}$$

Wartości napięcia hamowania nie zależy od wartości strumienia promieniowania padającego na fotokatodę.

Zależności napięcia hamowania od częstotliwości ν padającego na katodę światła jest linowa.



Rysunek 4. Zależność napięcia hamowania od częstotliwości padającego światła

Wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego zaproponowane przez Einsteina opiera się na założeniu, że energia wiązki świetlnej jest pochłaniana i rozchodzi się w przestrzeni w postaci skończonych porcji energii zwanych fotonami:

$$E = h\nu \quad \text{wzór 2}$$

Koncepcję fotonowa Einsteina dla efektu fotoelektrycznego można zapisać posługując się wzorem:

$$h\nu = W + E_k \quad \text{wzór 3}$$

gdzie W to praca wyjścia

Fotoelektron o energii $h\nu$ znajdujący się na powierzchni metalu może opuścić metal tracąc przy tym część energii na wykonanie pracy wyjścia. Jeżeli elektron nie traci energii przy zderzeniach wewnętrznych opuszczając metal to jego maksymalna energia kinetyczna dana jest wzorem:

$$E_k = h\nu - W \quad \text{wzór 4}$$

$$eU_h = h\nu - W \quad \text{wzór 5}$$

Jeśli energia padającego fotonu jest mniejsza niż praca wyjścia ($h\nu < W$) to zjawisko fotoelektryczne nie zachodzi. Częstotliwość graniczną ν_0 poniżej której efekt nie występuje wyznaczamy z zależności:

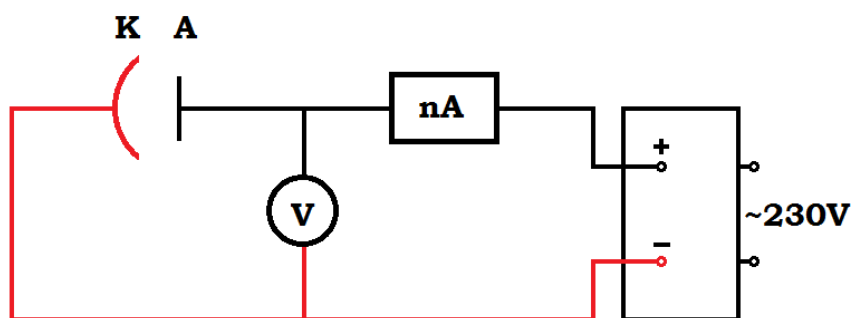
$$h\nu_0 = W \quad \text{wzór 6}$$

Przekształcając wzór 5 otrzymujemy zależność na napięcie hamowania potrzebne w doświadczeniu do wyznaczenia stałej Plancka:

$$U_h = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e} \quad \text{wzór 7}$$

Przebieg doświadczenia:

1. Należy sprawdzić czy układ pomiarowy jest podłączony według schematu:



Rysunek 4. Schemat układu pomiarowego

2. Przed przystąpieniem do pomiarów można przeprowadzić obserwację działania monochromatora SPEKOL. W tym celu trzeba odsunąć fotokomórkę od układu a następnie przystawić matówkę do szczeliny wyjściowej, włączyć zasilanie lampy oraz otworzyć przełącznik przesłony w pozycję „1”. Za pomocą bębna monochromatora można zmieniać długość fali świetlnej. Po zakończonej obserwacji należy zamocować fotokomórkę oraz ustawić przełącznik przesłony w pozycję „0.”

3. Wyzerować galwanometr zwierciadłowy. W tym celu należy zewrzeć blaszką metalową wyjścia galwanometru „+” i „-” (z tyłu galwanometru). Pokrętkiem na głównej płycie galwanometru ustawiamy plamkę świetlną na zerze. UWAGA Czynność zerowania galwanometru należy wykonać bardzo delikatnie i powoli tak aby zapobiec nadmiernemu ruchowi plamki świetlnej.

4. Ustawić na bębnie monochromatora fotospektrometru długość fali wynoszącą 480nm

5. Włączyć zasilacz fotokomórki.

6. Przy użyciu potencjometrów ustawić wartość zerową napięcia.

7. Zmienić położenie przełącznika przesłony w pozycję „1”. Zaobserwować wychylenie plamki na galwanometrze.

8. Przy użyciu potencjometru płynnej zmiany napięcia bardzo powoli zwiększać napięcie w fotokomórce aż do uzyskania zerowego natężenia prądu na galwanometrze. Odczytać potencjał hamowania i zanotować wynik w tabeli.

9. Zakmnąć szczelinę wyjściową SPEKOLA (pozycja „0”) oraz ustawić zerowe napięcie na zasilaczu.

10. Przy użyciu bębna monochromatora zmieniać długość fali w zakresie 480–620 nm zmieniając wartość długości fali co 10 nm. Dla każdego pomiaru powtórzyć czynności z punktów 6-9.

λ [nm]	ν [Hz]	U_h [V]

11. Dla dwóch wybranych długości fali wyznaczyć charakterystykę prądowo-napięciową (od napięcia hamowania aż do maksymalnego napięcia dodatniego-wymaga to zmiany polaryzacji napięcia). W trakcie pomiarów gdy natężenie prądu przekroczy zakres galwanometru należy zastąpić go multimetrem cyfrowym.

Opracowanie wyników pomiarów:

1. Korzystając z programów komputerowych obliczyć nachylenie prostej przedstawiającej zależność U_h od ν . Ze współczynnika kierunkowego prostej oraz jego niepewności obliczyć Stałą Placka oraz niepewność tej stałej. Ze współczynnika przecięcia osi rzędnych b obliczyć pracę wyjścia.

2. Wykreślić charakterystykę prądowo-napięciową fotokomórki.

3. Obliczyć niepewności wyznaczonych wartości.

4. Porównać otrzymaną wartość stałej h z wielkością tablicową.

Wzór Einsteina można zapisać w postaci:

$$U_h = \frac{h}{e} \nu - \frac{W}{e}$$

Jest to zależność liniowa typu $y = ax + b$.

Można w tym celu skorzystać z komputerów znajdujących się w sali 7 PPEF.

Tablicowe wartości stałych fizycznych:

$$c = 2,99793 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

$$e = 1,60218 \times 10^{-19} C$$

$$h = 6,62608 \times 10^{-34} Js$$

Literatura:

R. Resnick, D. Halliday; „Fizyka”

H. Szydłowski; „Pracownia Fizyczna”

R. Eisberg, R. Resnick „Fizyka Kwantowa”