

## Ćwiczenie 82

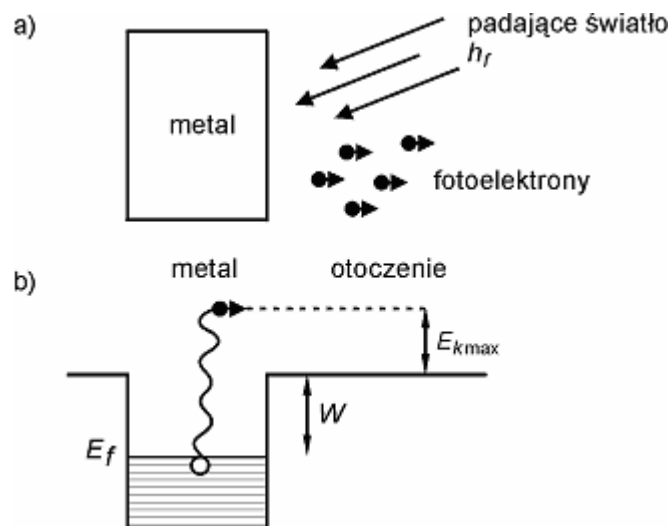
# Efekt fotoelektryczny

### *Cel ćwiczenia*

Celem ćwiczenia jest obserwacja efektu fotoelektrycznego: wybijania elektronów z metalu przez światło o różnej częstotliwości (barwie). Pomiar energii kinetycznej wybitych elektronów umożliwia obliczenie wartości stałej Plancka oraz pracy wyjścia elektronów.

### *Wprowadzenie*

Gdy powierzchnię metalu oświetli się światłem o odpowiednio dużej częstotliwości, to z powierzchni wybijane są elektrony (tzw. „fotoelektrony”) – patrz rysunek 1a.



**Rys. 1.** Zjawisko fotoelektryczne (a) i jego schemat energetyczny (b)

Okazuje się ponadto, że:

- emisja elektronów zależy od częstotliwości, a nie od intensywności padającego światła: dla każdego metalu istnieje graniczna częstotliwość, poniżej której nie obserwuje się „wybijania” fotoelektronów bez względu na to, jak silne jest światło;
- energia kinetyczna emitowanych elektronów zawiera się w przedziale od zera do pewnej wartości  $E_{kmax}$  i nie obserwuje się elektronów o większej energii;
- maksymalna energia kinetyczna  $E_{kmax}$  wybitych elektronów zależy od częstotliwości, a także od rodzaju metalu.

Nie da się wyjaśnić powyższych faktów eksperymentalnych, traktując światło jako falę; stało się to możliwe dopiero na gruncie mechaniki kwantowej dzięki założeniu, że światło rozchodzi się w przestrzeni w postaci porcji energii (kwantów) zwanych fotonami. Każdy foton ma energię  $E$ , która zależy tylko od jego częstotliwości  $f$

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}, \quad (1)$$

gdzie:

$h$  – stała Plancka,

$c$  – prędkość światła,

$\lambda$  – długość fali padającego światła.

Chociaż elektrony w metalu można zazwyczaj uważać za cząstki swobodne, to jednak są one w metalu „związane”: ich energia jest mniejsza niż poza metalem (to właśnie sprawia, że elektrony z metalu nie oświetlanego nie wydostają się samoistnie poza powierzchnię). Minimalna energia, jaką trzeba tym elektronom dostarczyć, aby opuściły metal nazywa się *pracą wyjścia* i jest oznaczana literą  $W$  (rys. 1b).

Jeśli teraz na metal pada światło, to fotony mogą się zderzyć z elektronami metalu i przekazać im swoją energię. (Dlatego też światło nie wnika w głąb metalu.) Jeśli energia  $E$  fotonu zderzającego się z elektronem będzie mniejsza od  $W$ , to elektron nie opuści metalu. Dopiero światło o energii większej od  $W$ , czyli o częstotliwości przekraczającej „częstotliwość obcięcia”  $f_0 = W/h$ , może wybić elektron z metalu.

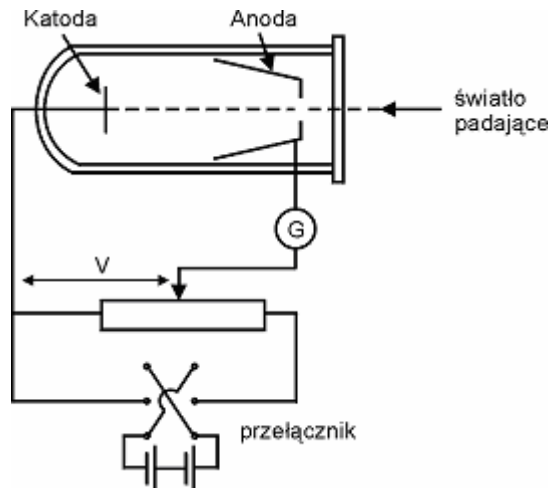
Energia kinetyczna *najszybszych* elektronów  $E_{k_{\max}}$  równa jest różnicy energii kwantu  $hf$  i pracy wyjścia  $W$

$$E_{k_{\max}} = hf - W. \quad (2)$$

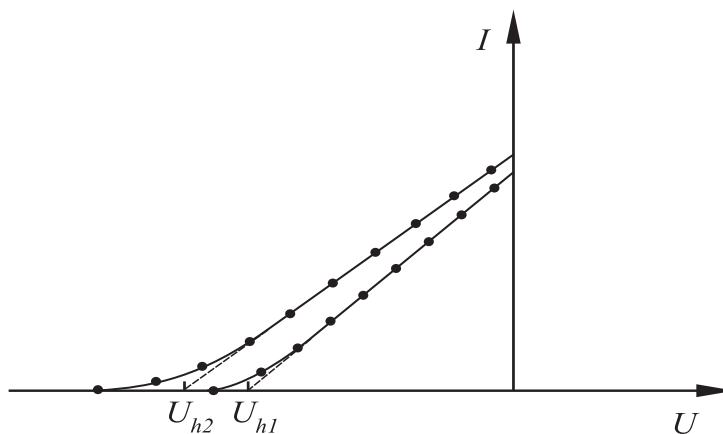
Wzór (2) po raz pierwszy wprowadził w 1905 r. Albert Einstein, a za wytłumaczenie zjawiska fotoelektrycznego uzyskał Nagrodę Nobla z fizyki. Teoria Einsteina była jednocześnie dowodem istnienia fotonów jako kwantów promieniowania elektromagnetycznego, ze względu na kluczowe założenie, że jeden foton może przekazać energię tylko jednemu elektronowi.

Znajomość poziomów energii elektronów walencyjnych w metalu pozwala na pełniejsze zrozumienie zjawiska fotoelektrycznego. Elektrony te nie mają jednej energii, lecz zapełniają przedział energii (o szerokości od kilku do kilkunastu eV) od dna pasma do energii Fermiego  $E_F$  (rys. 1b). Właśnie elektrony wybite z poziomu Fermiego mogą uzyskać maksymalną energię kinetyczną  $E_{k_{\max}}$ , natomiast elektrony wybite z poziomów głębiej położonych uzyskują mniejszą energię. Pomiar widma energii fotoelektronów jest obecnie najważniejszą metodą badania struktury poziomów energetycznych w ciele stałym.

Zasadę działania układu do badania efektu fotoelektrycznego pokazuje rysunek 2. Wykres prądu fotoelektrycznego  $I$  w funkcji napięcia  $U$  przyłożonego tak, że hamuje ono wybite elektrony przedstawiony jest na rysunku 3. Maksymalną energię kinetyczną  $E_{k_{\max}}$  można zmierzyć, dobierając takie napięcie zewnętrzne  $U = U_h$  (napięcie hamowania), że mierzony prąd  $I$  zmaleje do zera; to napięcie mierzy się w ćwiczeniu. W takiej sytuacji praca  $eU_h$  równa jest  $E_{k_{\max}}$ .



**Rys. 2.** Układ elektryczny do wyznaczania charakterystyki fotokomórki



**Rys. 3.** Przykładowa zależność prądu fotokomórki  $I$  od napięcia hamującego  $U$  dla dwóch różnych częstotliwości  $f = c/\lambda$  światła

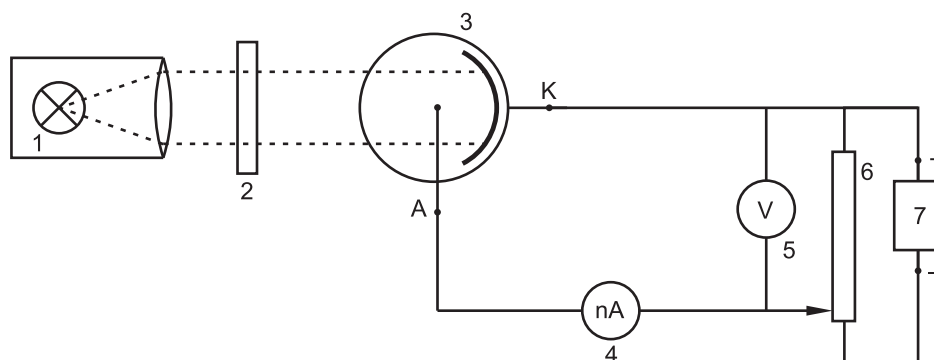
W ten sposób mierzymy wartości napięcia hamowania  $U_h$  dla kilku częstotliwości światła  $f$ . Zależność  $U_h$  w funkcji  $f$  winna być prostą daną równaniem

$$U_h = \frac{h}{e}f - \frac{W}{e}. \quad (3)$$

Nachylenie prostej dopasowanej do punktów eksperymentalnych  $U_h(f)$  wynosi  $h/e$ , co daje możliwość wyznaczenia stałej Plancka  $h$ . Przecięcie prostej z osią pionową stanowi miarę pracy wyjścia (liczbowo odpowiada jej wartości w eV).

## Aparatura

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 6. Fotokomórka z zasilaczem, żarówka oraz kasetka na filtry stanowią wspólny zestaw z pleksiglasową płytą czołową z gniazdami, do których podłącza się nanoamperomierz i woltomierz cyfrowy.



**Rys. 6.** Schemat aparatury do wyznaczenia stałej Plancka: 1 – żarówka, 2 – filtry barwne, 3 – fotokomórka, A – anoda, K – katoda, 4 – nanoamperomierz, 5 – woltomierz, 6 – potencjometr, 7 – stabilizowany zasilacz napięcia stałego

## Wykonanie ćwiczenia

1. Połączyć zestaw według schematu na rysunku 6. Ustawić zakres pomiarowy nanoamperomierza przez wciśnięcie klawiszy:  $A^-$  i  $1 \mu A$  (podczas pomiaru napięcia odcięcia zakres nanoamperomierza należy zmniejszyć do  $100 \text{ nA}$ , a nawet do  $10 \text{ nA}$  dla filtru czerwonego).

2. Zasłonić fotokomórkę przez wysunięcie uchwyty filtra kasetki (2) w przód.

3. Poprosić prowadzącego ćwiczenie o sprawdzenie obwodu pomiarowego i następnie włączyć do sieci nanoamperomierz przyciskiem czerwonym MAINS. Na ustabilizowanie się warunków pracy nanoamperomierza potrzeba około 15 minut.

4. Włączyć układ zasilania fotokomórki i wyzerować nanoamperomierz pokrętkiem  $\downarrow \uparrow$ , a napięcie pokrętkiem potencjometru (6). Podczas zerowania nanoamperomierza napięcia ma być zmniejszone do zera.

5. W kasetce ustawić filtr fioletowy. Wsunąć kasetkę i odczytać wskazanie nanoamperomierza.

6. Pokrętkiem potencjometru (6) (rys. 6) zwiększać wartość napięcia hamującego przyłożonego do elektrod fotokomórki, aż do uzyskania zerowej wartości natężenia prądu fotoelektrycznego. Odczytać wartość napięcia odcięcia  $U_h$  dla światła fioletowego. Pomiar powtórzyć trzy razy.

7. Pomiary opisane w punkcie 6 powtórzyć dla filtrów o innych barwach.

8. Przez użycie filtrów do połowy zasłoniętych czarnym papierem sprawdzić, czy napięcie hamowania zależy od natężenia oświetlenia.

9. Wszystkie pomiary zamieścić w poniższej tabelce.

Rodzaj filtru	$\lambda$ [nm]	$f = \frac{c}{\lambda}$ [Hz]	$I$ [nA] $U_h=0$	$U_h$ [V] $I=0$	średnie $U_h$ [V]

*Opracowanie wyników*

1. Narysować wykres zależności napięcia hamowania od częstotliwości światła.
2. Przez punkty doświadczalne przeprowadzić prostą metodą najmniejszych kwadratów. Na podstawie znalezionych parametrów prostej obliczyć wartości i niepewności stałej Plancka oraz pracy wyjścia.