

Wprowadzenie teoretyczne

Doświadczenie „MILLIKAN”

Zjawiska fotoelektryczne to zjawiska spowodowane oddziaływaniem substancji z promieniowaniem świetlnym. Związane są z przekazywaniem energii fotonów pojedynczym elektronom. Zjawiska fotoelektryczne wykorzystywane są w fotoelementach.

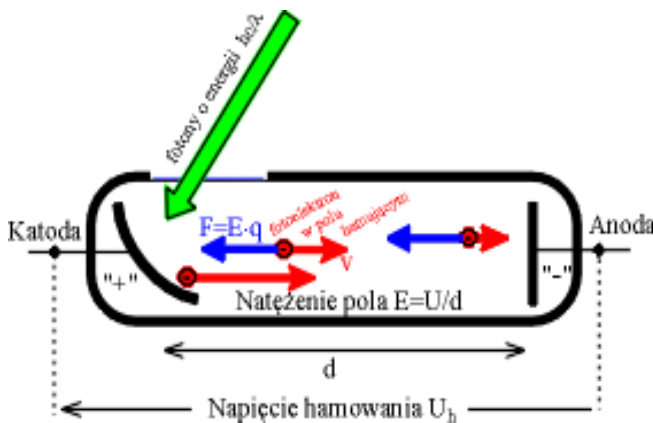
Rozróżnia się zjawiska fotoelektryczne:

- **zewnętrzne** (emisja elektronów z metalu pod wpływem światła)

Elektrony opuszczające powierzchnię metalu na skutek zjawiska fotoelektrycznego nazywa się fotoelektronami, a powstały przy ich uporządkowanym ruchu w zewnętrznym polu elektrycznym prąd - prądem fotoelektrycznym

- **wewnętrzne** (zmiana energetycznego rozkładu elektronów w stałych i ciekłych półprzewodnikach i dielektrykach spowodowana oddziaływaniem światła z substancją)

Przejawia się ono w zmianie koncentracji nośników prądu w ośrodku i w efekcie doprowadza do fotoprzewodnictwa lub zjawiska fotoelektrycznego w warstwie zaporowej.



Badania **fotoelektrycznego zjawiska zewnętrznego**, którego wyjaśnienie wymagało wysunięcia postulatów kwantowej natury światła (Planck, Einstein, Millikan) miało duże znaczenie dla rozwoju fizyki. Zgodnie z zaproponowanym modelem energia padającego fotonu jest przekazywana elektronowi zgodnie z równaniem:

$$h\nu = W + E$$

Jest to tzw. równanie Einsteina – Millikana, w którym:

$h\nu$ - energia padającego fotonu,

h - stała Plancka,

ν (grecka litera *ni*) - częstotliwość fali światła lub oscylatora będącego źródłem fali świetlnej,

W - tzw. praca wyjścia (energia potrzebna do wydostania się elektronu z powierzchni metalu),

E - energia kinetyczna wybitego elektronu.

W optyce, w miejsce częstotliwości ν (grecka litera *ni*) stosuje się długość fali λ , jaką fala miałaby w próżni (z dobrym przybliżeniem również w powietrzu) $\lambda = c/\nu$, gdzie c to prędkość światła wynosząca około $3 \cdot 10^8$ m/s.

Dlatego energia fotonu $h\nu$ podawana jest zwykle jako $h \frac{c}{\lambda}$.

Energię kinetyczną fotoelektronów wybijanych z fotokatody z prędkością początkową V , i zmierzających do anody można wyrazić przez określenie wartości napięcia hamowania zwanej napięciem odcięcia U_0 :

$$\frac{mV^2}{2} = U_0 e,$$

gdzie e to ładunek elementarny równy $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

„MILLIKAN”

Pytania do przygotowania:

1. Na czym polega zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne.
2. Czy różnią się elektrony od fotoelektronów?
3. Omów równanie opisujące zjawisko fotoelektryczne.
4. Co to jest praca wyjścia?
5. W jakich jednostkach mierzymy pracę wyjścia?
6. Co to jest elektronowolt (definicja)?
7. Ile wynosi wartość pracy wyjścia dla typowych materiałów (w elektronowoltach)?
8. W jaki sposób można wyznaczyć maksymalną energię kinetyczną fotoelektronów?
9. Jaki jest związek pomiędzy maksymalną energią elektronów w zjawisku fotoelektrycznym a napięciem hamowania?
10. Jaka jest jednostka i wartość stałej Plancka?
11. Od czego zależy liczba wybitych fotoelektronów?
12. Co to jest częstotliwość graniczna (długość graniczna) fali świetlnej?
13. Praca wyjścia elektronów dla płytki wykonanej z platyny jest 6.35 eV ($1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Ile wynosi minimalna częstotliwość fotonu wywołującego fotoefekt zewnętrzny? (stała Plancka $6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)
14. Energia fotonu padającego na katodę jest cztery razy większa od pracy wyjścia elektronu z tego metalu. Jaką część energii fotonu stanowi energia kinetyczna fotoelektronu?
15. Od czego zależy energia fotonu?

Przebieg czynności:

1. Za zgodą prowadzącego: włączyć woltomierze, włączyć lampę, otworzyć przesłonę fotokomórki i włączyć zasilacz.
2. Odczekać kilka minut do nagrzania się lampy, w tym czasie jej charakterystyka spektralna może się zmieniać.
3. Ustawić za pomocą pokrętła długość fali światła λ na uzgodnioną wielkość z zakresu 380-400 nm.
4. Za pomocą pokrętła zasilacza zmienić wartość napięcia hamowania U_0 , do uzyskania wartości fotoprądu równej zero.
5. Odczytać i zanotować w tabeli wyników wartość długości fali światła λ oraz napięcia odcięcia U_0 .
6. Zwiększyć długość fali światła o uzgodniony krok z zakresu 5-10 nm.
7. Powtarzać kroki od 4 do 6, aż do uzyskania dziesięciu wartości długości fal światła λ oraz dziesięciu wartości napięć odcięcia U_0 .
8. Po zakończonych pomiarach uporządkować stanowisko.
9. Wykonać obliczenia zgodnie z instrukcją i sporządzić wykres próbny w arkuszu kalkulacyjnym. W obliczeniach pamiętać o używaniu jednostek podstawowych układu SI dla długości fal światła i napięć odcięcia.
10. Sporządzić protokół z pomiarów i niepewności pomiarowych.

UWAGA:

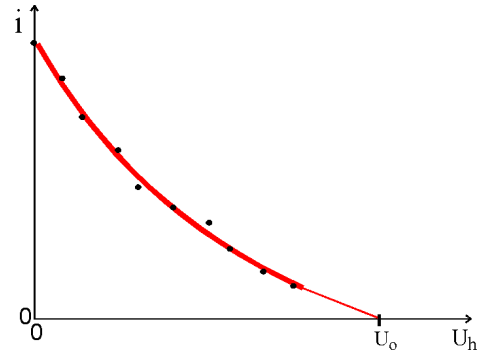
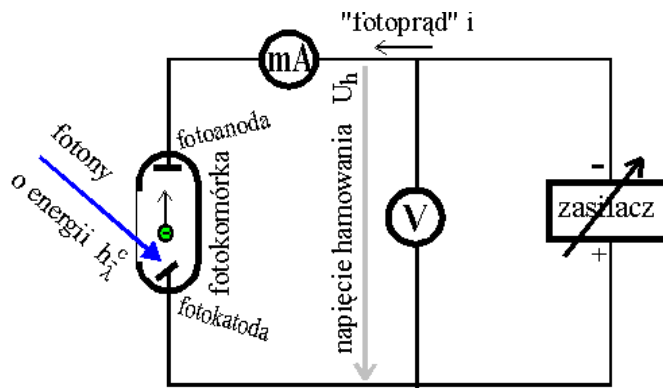
- Ze względu na bardzo wysoką czułość układu, może wystąpić indukowanie się prądów w układzie pomiarowym przez bliskość urządzeń elektrycznych oraz szybko przemieszczających się obiektów. Zaleca się zatem, aby na czas pomiarów usunąć z otoczenia układu pomiarowego działające urządzenia elektroniczne (laptopy, zegarki) oraz ograniczyć wszelkie ruchy do niezbędnego minimum.
- Niepewność pomiaru napięcia odcięcia należy ustalić na podstawie określenia zakresu wartości napięć hamowania, przy których uzyskuje się wyzerowanie fotoprądu.

„MILLIKAN”

Student 1: Wyznaczanie stałej Planck'a za pomocą fotokomórki

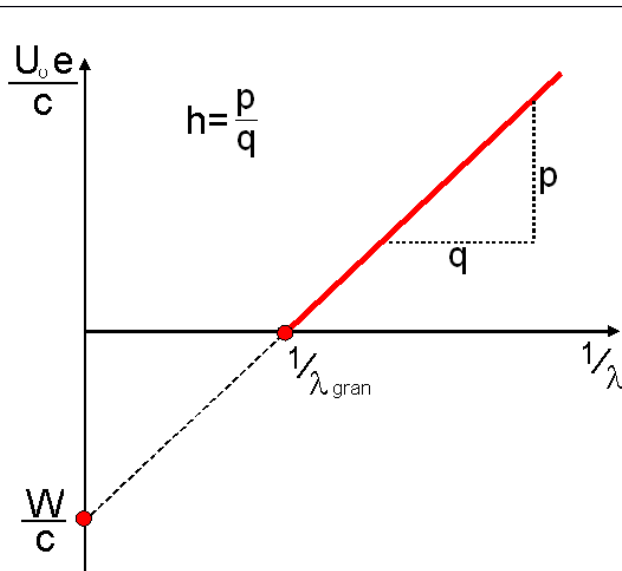
Student 2: Sprawdzanie równania Einsteina - Millikana

Baza teoretyczna:



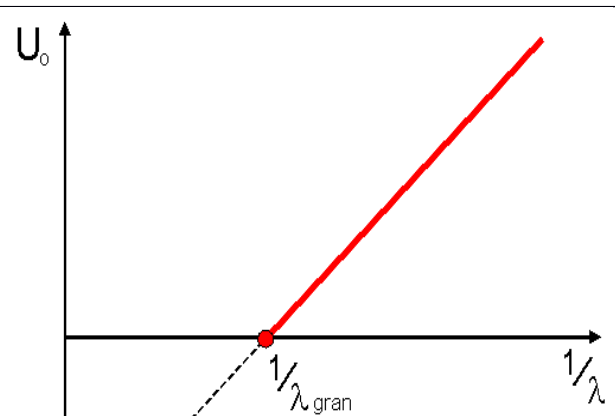
$$h \frac{c}{\lambda} = W + U_0 e$$

$$\frac{U_0 e}{c} = -\frac{W}{c} + h \frac{1}{\lambda}$$



Zatem w celu wyznaczenia **stałej Planck'a** należy:

- wykonać pomiary zależności napięcia odcięcia
- U_0 od długości fali światła,
- sporządzić wykres zależności $U_0 e/c$ od $1/\lambda$,
- odczytać z niego wartość stałej Planck'a.



Zatem w celu sprawdzenia **równania Einsteina-Millikana** należy:

- wykonać pomiary zależności napięcia odcięcia U_0 od długości fali światła,
- sporządzić wykres zależności U_0 od $(1/\lambda)$,
- zanalizować jego liniowość.

„MILLIKAN”

Student 1: Wyznaczanie stałej Planck'a za pomocą fotokomórki

1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ	[nm]										
U_0	[V]										

$$\Delta\lambda = \dots$$

$$\Delta U_0 = \dots$$

2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 6)

$$\frac{U_0 e}{c} = \frac{e}{c} \cdot U_0 = \dots$$

$$\frac{1}{\lambda} = \dots$$

$$\Delta \frac{U_0 e}{c} = \frac{e}{c} \cdot \Delta U_0 = \dots$$

$$\Delta \frac{1}{\lambda} = \left| \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda + \Delta\lambda} \right| = \dots$$

3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{U_0 e}{c}$	[...]										
$\frac{1}{\lambda}$	[...]										
$\Delta \frac{1}{\lambda}$	[...]										

$$\Delta \frac{U_0 e}{c} = \dots$$

4. Wykres

+ obliczenie h (nachylenia prostej „najlepszego dopasowania”)

+ obliczenie h' (nachylenia prostej odchylonej)

+ obliczenie $\Delta h = |h - h'|$

5. Podsumowanie

Wyznaczona wartość stałej Plancka wynosi ...

Dokładność metody: ...

W granicach wynik \pm dokładność metody mieści / nie mieści* się tablicowa wartość stałej Plancka wynosząca ...

(*wybierz właściwe)

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

„MILLIKAN”

Student 2: Sprawdzanie równania Einsteina - Millikana

1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ	[nm]										
U_0	[V]										

$$\Delta\lambda = \dots$$

$$\Delta U_0 = \dots$$

2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 6)

$$\frac{1}{\lambda} = \dots$$

$$\Delta \frac{1}{\lambda} = \left| \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda + \Delta\lambda} \right| = \dots$$

3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_0	[...]										
$\frac{1}{\lambda}$	[...]										
$\Delta \frac{1}{\lambda}$	[...]										

$$\Delta U_0 = \dots$$

4. Wykres

5. Podsumowanie

Ponieważ na wykresie ... można poprowadzić prostą przechodzącą przez wszystkie prostokąty niepewności pomiarowej, nie ma podstaw do stwierdzenia odstępstwa od teorii w zakresie długości fal od ... do....

Ewentualnie: Odstępstwo od liniowości w zakresie ... może wynikać z

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.