

Zjawisko fotoelektryczne

Cel ćwiczenia

Celem laboratorium jest badanie zjawiska fotoelektrycznego, które zmieniło poglądy na falową naturę promieniowania utwierdzając pojęcie kwantu światła.

Wstęp

Zjawisko fotoelektryczne polega na wybijaniu elektronów z powierzchni metalu poprzez promieniowanie padające na tę powierzchnię. Żeby elektron mógł opuścić przyciągający go metal trzeba mu dostarczyć pewnej energii.

Zgodnie z opisem klasycznym energia fali świetlnej powinna zależeć od amplitudy drgań czyli intensywności promieniowania, zatem promieniowanie o dowolnej długości fali powinno wywołać fotoemisję, byle tylko było odpowiednio intensywne. Jednak zjawiska tego się nie obserwuje- istnieje pewna graniczna długość fali, powyżej której fotoprąd zanika pomimo bardzo silnego oświetlenia. Próbę wyjaśnienia tego zjawiska podjął Albert

Promieniowanie elektromagnetyczne to przemieszczające się z prędkością światła zaburzenie pola elektrycznego i magnetycznego. Jak każdą falę, promieniowanie elektromagnetyczne charakteryzuje wysokość zaburzenia czyli amplituda fali oraz odległość pomiędzy kolejnymi maksimami czyli długość fali.

Einstein odrzucając klasyczną zależność energii promieniowania od amplitudy fali. Zaproponował on nowe podejście do pojęcia światła przyjmując że w niektórych oddziaływaniach światło zachowuje się tak jak cząsteczka (korpuskuła). Do opisu promieniowania wykorzystał wprowadzone przez Maxa Plancka pojęcie kwantu energii. Planck, do wyjaśnienia widma promieniowania termicznego postulował, że energia jest emitowana i pochłaniana w porcjach, kwantach. Energia takiego kwantu zależy wyłącznie od częstotliwości fali i pewnej stałej, którą dziś nazywamy stałą Plancka.

Teoria Einsteina

Wiemy już że aby elektron mógł opuścić metal, pokonując siły przyciągania elektrostatycznego, musi osiąść pewną energię, nazywamy ją pracą wyjścia W . W zjawisku fotoelektrycznym energię tę dostarcza pochłaniane światło. Jak już wspomniano, Albert Einstein, dla wyjaśnienia zjawiska fotoelektrycznego wprowadził pojęcie kwantu promieniowania. Najmniejszą porcją promieniowania jest kwant, który nazywamy fotonem. Zależność pomiędzy energią kwantu a częstotliwością fali wyraził wzorem:

(1)

$$E=hf$$

gdzie h jest stałą nazywaną stałą Plancka, zaś f częstotliwością promieniowania. Kwant promieniowania oddziałując z materią nie może przekazać części swojej energii – może przekazać całą, anihilując, albo wcale. To ujęcie wyjaśnia dlaczego pomimo dużej intensywności światło o małej częstotliwości, czyli o długiej fali, nie powoduje wybicia

elektronu z metalu. W ujęciu korpuskularnym energia fali to energia fotonu pomnożona przez ich liczbę i choć fotonów tych może być bardzo dużo to żaden nie ma wystarczającej energii by wyzwolić elektron. Wyjaśnia także dlaczego fotoprąd nie wykazuje opóźnienia względem chwili absorpcji kwantu – elektron od razu otrzymuje potrzebną do opuszczenia metalu energię a foton anihiluje.

Jeśli energia fotonu jest większa od pracy wyjścia wówczas elektron opuszczający elektrodę posiada dodatkowo energię kinetyczną. Zatem zgodnie z prawem zachowania energii:

$$E = W + E_{kin}$$

(2)

gdzie W - praca wyjścia z metalu, E_{kin} energia elektronu opuszczającego metal.

Żeby fotoprąd przestał płynąć trzeba pomiędzy elektrodami wytworzyć różnicę potencjałów poprzez przyłożenie napięcia, które nazwalimy napięciem hamowania U_h

$$E_{kin} = eU_h$$

(3)

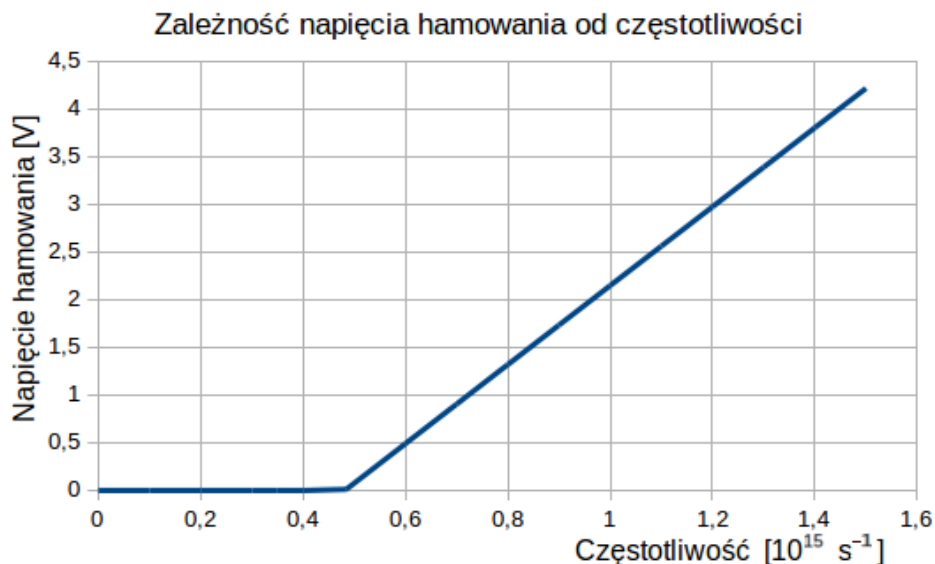
gdzie e - ładunek elektronu.

Łącząc powyższe wzory dostajemy:

$$h\nu = W + eU_h$$

(4)

Powyższy wzór wyrażający zależność pomiędzy napięciem hamowania i częstotliwością promieniowania umożliwia wyznaczenie zarówno stałej Plancka, jak też pracy wyjścia elektronu z fotoemitera. Przykładową zależność ilustruje poniższy wykres:



Rys.2.

Przykładowa zależność napięcia hamowania U_h od częstotliwości ν

Wyznaczenie kąta nachylenia wykresu do osi X umożliwia wyznaczenie stałej Plancka:

$$h = \text{tg}\alpha = e\Delta U_h / \Delta \nu$$

(5)

zaś punkt przecięcia się nachylonej prostej z osią X odpowiadający częstotliwości, dla której napięcie hamowania równe jest zeru, wyznacza pracę wyjścia:

$$W = h\nu_0$$

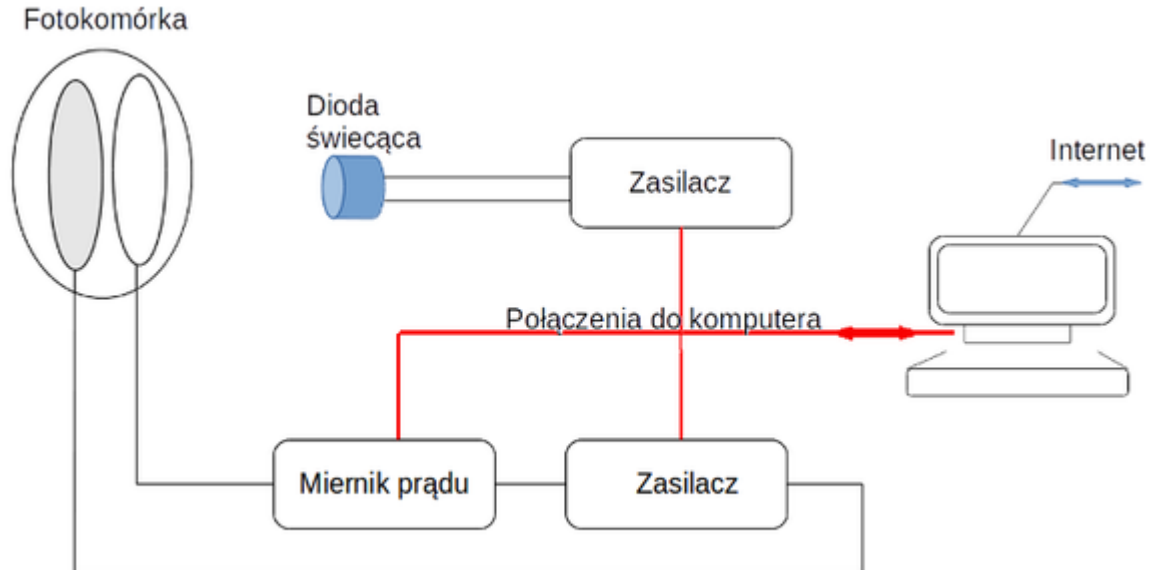
(6)

Opis układu pomiarowego

Zestaw pomiarowy składa się z fotokomórki, układu pomiaru fotoprądu oraz ośmiu diod świecących o różnych barwach (od podczerwonej do niebieskiej). Diody oraz fotokomórka zasilane są napięciami sterowanymi przez komputer. Schemat pomiaru charakterystyk prądowo napięciowych fotokomórki przedstawia poniższy

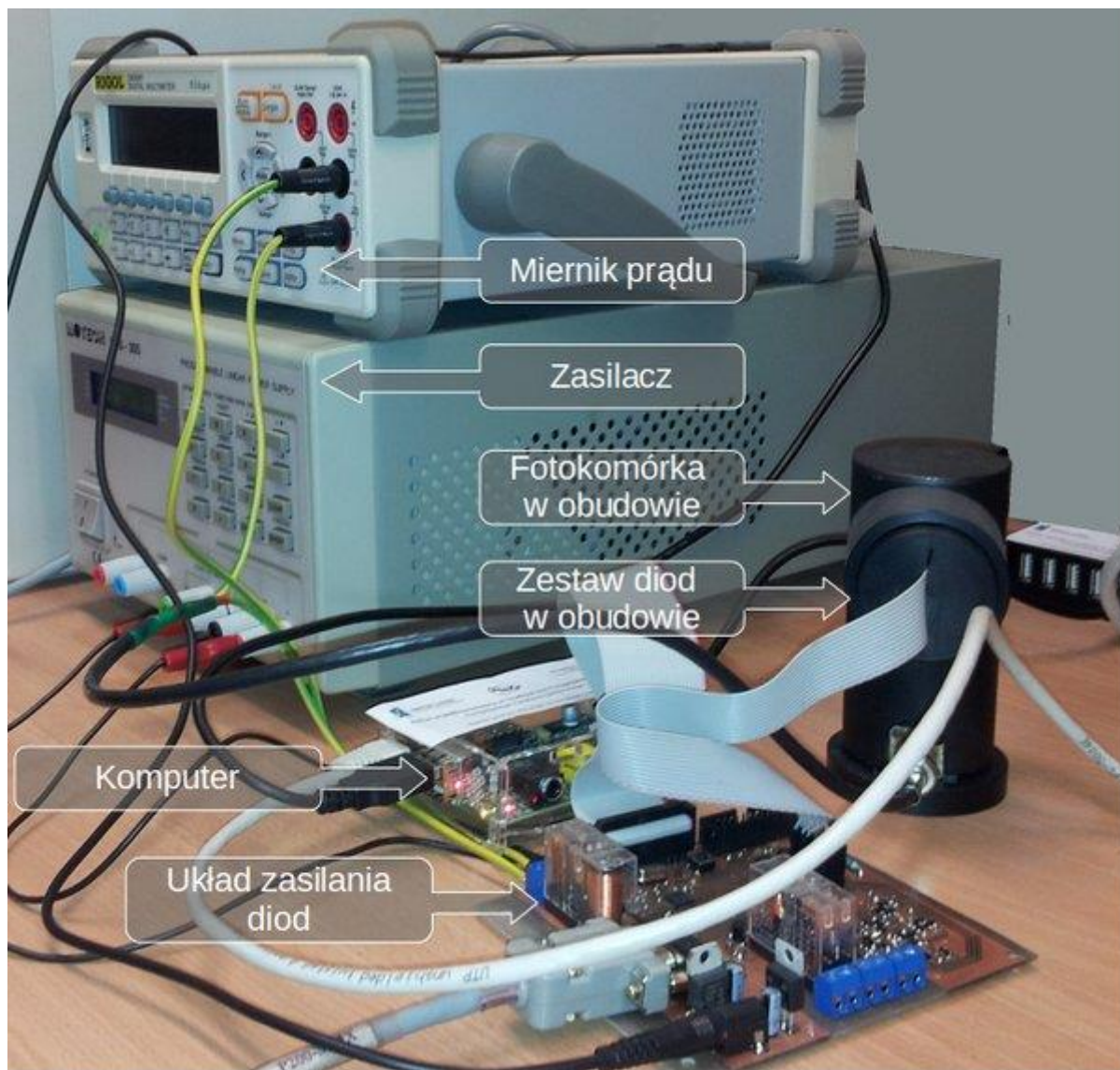
Fotokomórka to bańka próżniowa wykonana najczęściej ze szkła kwarcowego, które przepuszcza promieniowanie widzialne i ultrafioletowe. Umieszczone są w niej dwie metalowe elektrody. Na jedną z nich, katodę nazywaną także fotokatodą, pada promieniowanie. Druga wykonana jest na ogół w postaci cienkiego metalowego pierścienia. Pomiędzy elektrodami przykładane jest napięcie. Elektronów wybite promieniowaniem świetlnym z fotokatody podążają do drugiej elektrody i przepływają przez miernik prądu.

rysunek.



Rys.2 Schemat układu pomiarowego

Zestaw aparatury pomiarowej składa się z fotokomórki, miernika prądu Rigol, zasilacza Motech oraz układu zasilania diod. Fotografie układu przedstawia rys. 3



Rys.3. Układ do badania fotokomórki .

Wykonanie ćwiczenia

Po zalogowaniu się do Laboratorium przyciskiem **Podłącz** wybieramy

- diodę którą chcemy oświetlać fotokomórkę
- prąd który chcemy przepuścić przez tę diodę
- początkowe napięcie polaryzujące fotokomórkę
- końcowe napięcie polaryzujące fotokomórkę
- liczbę pomiarów

Po naciśnięciu przycisku **Start** rozpoczyna się cykl pomiaru. Komputer sterujący polaryzuje wybraną diodę napięciem takim by popłynął przez nią wybrany przez nas prąd. Następnie ustawia początkowe napięcie na fotokomórce i po wykonaniu pomiaru, zmienia napięcie tak by uzyskać wartość wynikającą z podziału różnicy zadanego napięcia końcowego i początkowego przez wybraną liczbę punktów pomiarowych. Pomiar są kontynuowane do osiągnięcia zadanego napięcia końcowego. Poprzez sieć internetową wyniki pomiarów są sukcesywnie przesyłane na komputer użytkownika i wyświetlane na ekranie monitora w

postaci wykresu zależności wielkości prądu płynącego przez fotokomórkę od napięcia polaryzacji. W dowolnej chwili można przerwać pomiar, zapisać dane na dysku, zmienić parametry i ponownie uruchomić pomiary.

Opracowanie wyników

Dla określonej długości fali wynikającej z wybranej diody świecącej wykonujemy wykres zależności fotoprądu od napięcia polaryzacji fotokomórki. Punkty pomiarowe otaczamy prostokątami niepewności pomiarowych ΔX i ΔY . Z wykresu tego wyznaczmy napięcie hamowania U_h , jako napięcie przy którym zanika fotoprąd. Określamy niepewności pomiarowe tak wyznaczonego napięcia hamowania. Podobną procedurę powtarzamy dla różnych długości fali.

Wykonujemy wykres zależności napięcia hamowania (oś Y) od częstotliwości (oś X). Każdy punkt otaczamy prostokątem niepewności pomiarowych ΔU_h oraz $\Delta \nu$. Przez te prostokąty przeprowadzamy prostą, która jest najmniej odchylna od wyznaczonych punktów pomiarowych. Możemy to zrobić metodą graficzną lub analitycznie, metodą najmniejszych kwadratów. Z wykresu wyznaczamy tangens kąta nachylenia prostej do osi X , zaś mnożąc go przez wartość ładunku elektronu e wyznaczamy stałą Plancka h (wzór 5). Przedłużamy prostą na wykresie do przecięcia się jej z osią Y . Wartość napięcia, przy którym prosta przecina oś Y pomnożona przez wartość ładunku elektronu wyznacza pracę wyjścia z metalu fotokatody (wzór 4). Niepewności pomiarowe wyznaczenia zarówno stałej Plancka jak też pracy wyjścia określamy metodą graficzną. Przez pola niepewności na wykresie prowadzimy dwie proste pod kątemi, które skrajnie różnią się od uprzednio wyznaczonej prostej. Wyznaczmy tangensy tych kątów i odpowiadające im wartości h_{max} i h_{min} . Połowa różnicy tych wartości określa nam niepewność pomiaru stałej Plancka $\Delta h = (h_{max} - h_{min})/2$. Podobnie metodą graficzną wyznaczamy maksymalną i minimalną wartość napięć V_{max} i V_{min} , wyliczamy odpowiadające im prace wyjścia W_{max} i W_{min} oraz niepewność jej wyznaczenia $\Delta W = (W_{max} - W_{min})/2$.