

Zewnętrzny efekt fotoelektryczny i jego zastosowanie

Zasób zawiera:

1. Starter: ogólny wstęp do tematu, fotografię, odwołanie do wcześniejszej wiedzy ucznia oraz cele lekcji sformułowane w języku ucznia.
2. Zawartość tekstowa: krótki wstęp historyczny dotyczący zbudowania pierwszego rezonatora przez Heinricha Hertza w 1887 r. i skonstruowania pierwszej fotokomórki przez Aleksandra Stoletowa; opis doświadczenia, którego celem jest pokazanie, że oświetlenie płytki cynkowej światłem nadfioletowym prowadzi do emisji elektronów; film animowany obrazujący fotoemisję z powierzchni blaszki cynkowej osadzonej na elektroskopie (czas: 0:37s); opis i instrukcję doświadczenia do pobrania jako plik .doc; określenie fotoelektronu; rysunek przedstawiający schemat układu doświadczalnego do badania zjawiska fotoelektrycznego wraz wyjaśnieniem; zestawienie wyników doświadczalnych związanych z efektem fotoelektrycznym; określenie kłopotów w wyjaśnieniu zjawiska fotoelektrycznego w oparciu o fizykę klasyczną; wprowadzenie pojęcia częstotliwości granicznej; krótkie omówienie fotonowej teorii światła Einsteina; określenie pracy wyjścia; zapis wzorem zasady zachowania energii w zjawisku fotoelektrycznym; przykłady trzech zadań obliczeniowych wraz z rozwiązaniami; informacje dotyczące budowy i zastosowania fotokomórki zilustrowane filmem animowanym, w którym wprowadzono pojęcie prądu fotoelektrycznego (czas: 0:55s); wykres zależności natężenia prądu fotoelektrycznego od przyłożonego napięcia wraz z wyjaśnieniem; polecenie dla ucznia (pytanie problemowe).
3. Posumowanie zawierające sześć sformułowań podsumowujących i trzy polecenia dla ucznia związane z analizą charakterystyki prądowo-napięciowej fotokomórki.
4. Słowniczek zawierający wyjaśnienia pojęć: praca wyjścia, prąd fotoelektryczny.
5. Biogramy: Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs, Philipp Lenard, Robert Andrews Millikan, Aleksandr Grigorjewicz Stoletow
6. Zadanie interaktywne podsumowujące rozdział typu prawda/fałsz zawierające trzy sformułowania.

Zewnętrzny efekt fotoelektryczny i jego zastosowanie

Odkrycie zjawiska fotoelektrycznego (przy okazji badań nad falami elektromagnetycznymi) stało się wyzwaniem dla fizyki klasycznej. Na tej lekcji dowiesz się, kto je wyjaśnił, jak do tego doszło i dlaczego było to takie ważne.



Efekt fotoelektryczny zewnętrzny ma w dzisiejszym świecie szerokie spektrum zastosowań, a jednym z nich jest konstrukcja fotokomórki, którą po raz pierwszy zastosowano już w 1931 roku w mechanizmie automatycznie otwieranych drzwi.

Źródło: Paul, dostępny w internecie: <https://www.flickr.com/> [dostęp 18.04.2022], licencja: CC BY-NC 2.0.

Przed przystąpieniem do zapoznania się z tematem, należy znać poniższe zagadnienia

- definicja kwantu energii fali elektromagnetycznej;
- obliczanie energii kwantu promieniowania elektromagnetycznego o danej długości fali;
- obliczanie wartości energii kinetycznej ciała;
- zastosowanie zasady zachowania energii.

Ich opracowanie znajdziesz materiałach:

- [Foton – najmniejsza porcja energii fali elektromagnetycznej,](#)
- [Energia kinetyczna. Rozwiązywanie zadań,](#)
- [Zasada zachowania energii mechanicznej i jej zastosowanie.](#)

Nauczysz się

- opisywać zjawisko fotoelektryczne za pomocą takich pojęć, jak: praca wyjścia, energia fotonu, energia kinetyczna fotoelektronu;

- wyjaśniać zjawisko fotoelektryczne jako emisję elektronów z powierzchni metalu pod wpływem strumienia fotonów;
- wykorzystywać zasadę zachowania energii do wyznaczania energii kinetycznej i prędkości fotoelektronów oraz pracy wyjścia elektronu z metalu;
- opisywać budowę i działanie fotokomórki.

W 1887 r. Heinrich Hertz do badania zjawiska rozchodzenia się fal magnetycznych używał drutu wygiętego w kształt okręgu i zakończonego dwiema kuleczkami – taki przyrząd nazywamy rezonatorem. Gdy fala elektromagnetyczna docierała do takiego rezonatora, pomiędzy kuleczkami przeskakiwała iskra. Hertz stwierdził, że gdy obszar między kuleczkami jest oświetlony światłem, to iskra jest intensywniejsza. Ogłosił krótką wzmiankę o wpływie światła na zjawisko rozchodzenia się fal elektromagnetycznych, ale nie zajmował się nim więcej. Dalsze badania prowadzili inni naukowcy. [Wilhelm Hallwachs](#) stwierdził, że oświetlona metalowa płytka ładuje się dodatnio. [Aleksandr Stoletow](#), skonstruował pierwszą fotokomórkę i zauważył, że światło o zbyt małej częstotliwości (zbyt dużej długości) fali nie powoduje, że płytka metalowa ładuje się dodatnio. [Philipp Lenard](#) wykazał, że wyniki naświetlania powierzchni metalu zależą od rodzaju użytej lampy oraz że zwiększenie natężenia światła powoduje szybsze rozładowanie się płytki połączonej z elektroskopem.

Doświadczenie 1

Pokazać, że oświetlanie płytki cynkowej światłem nadfioletowym prowadzi do emisji elektronów.

Podczas pracy lampy kwarcowej wszyscy powinni mieć założone okulary chroniące przed promieniowaniem ultrafioletowym. Mogą to być okulary przeciwsłoneczne, ale nie takie, jakie można kupić w supermarkecie. Najlepszą gwarancję ochrony wzroku stanowią okulary używane przez spawaczy (okulary spawalnicze).

Co będzie potrzebne

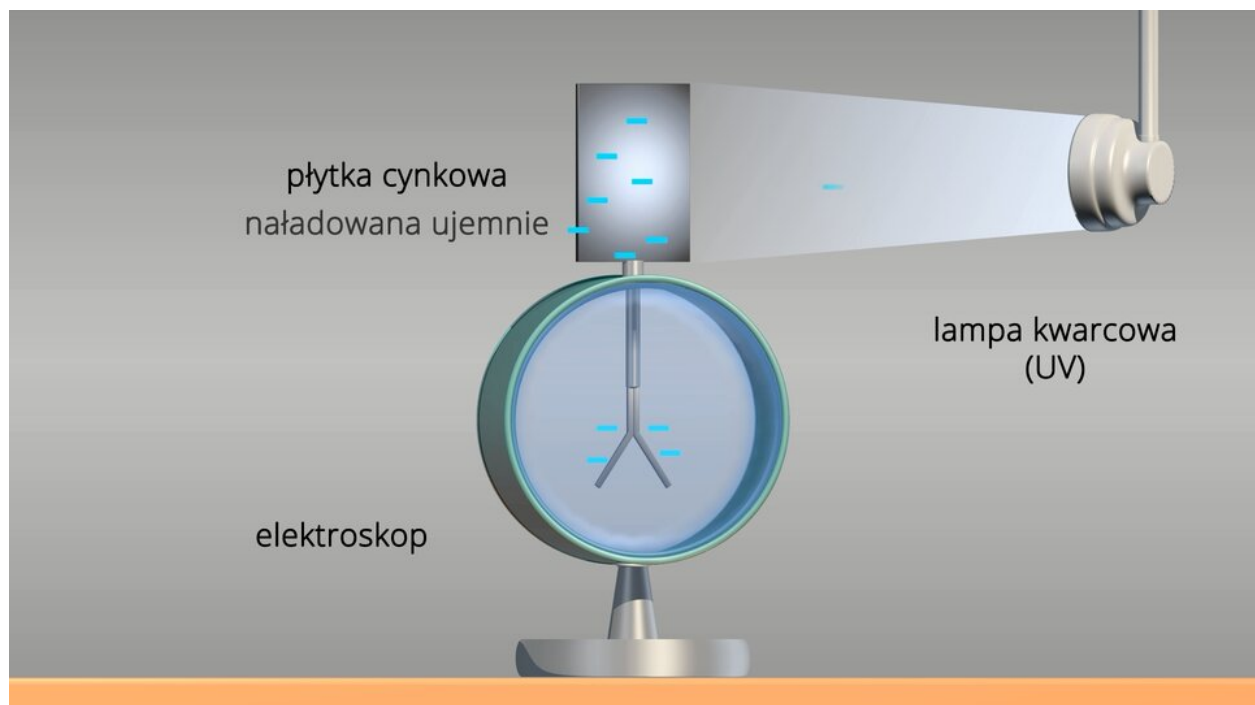
- elektroskop;
- pałeczka ebonitowa i sukno;
- płytka cynkowa;
- rzutnik;
- lampa kwarcowa.

1. Oczyszczyć płytkę cynkową i jej krawędzie drobnoziarnistym papierem ściernym.
2. Zamontować płytkę na uziemionym elektroskopie.
3. Naładować ujemnie pałeczkę ebonitową, pocierając ją suknem.
4. Dotknij pałeczką krawędzi płytki cynkowej i przeciągnij bokiem pałeczki po krawędzi płytki, aby przekazać jej jak największy ładunek.
5. Obserwuj, czy listki elektroskopu się rozchyliły. Jeśli nie, powtórz czynności opisane w punktach 3. i 4.
6. Oświetl płytkę światłem rzutnika.

7. Obserwuj listki elektroskopu – nie powinny zmienić swojego położenia.
8. Oświetl płytkę elektroskopu światłem pochodzącym z lampy kwarcowej.
9. Obserwuj listki elektroskopu. Co udało ci się zauważyć?

Instrukcja

Rozwiązanie 1



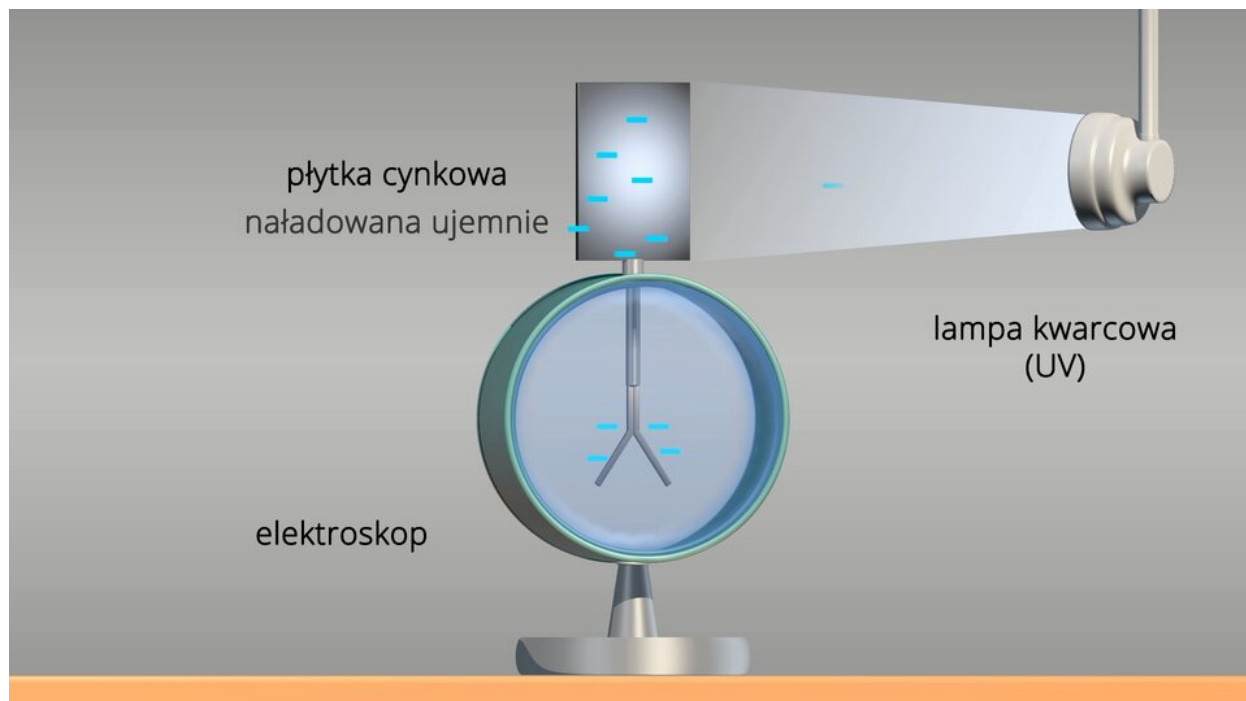
Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R9BnX2f93Mfoj](http://preview/resource/R9BnX2f93Mfoj)

Fotoemisja z powierzchni blaszki cynkowej.

Źródło: Marcin Sadowski, Kevin MacLeod (<http://incompetech.com>), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Materiał filmowy dotyczący fotoemisji z powierzchni blaszki cynkowej.

Rozwiązanie 2



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R9BnX2f93Mfoj](http://preview/resource/R9BnX2f93Mfoj)

Fotoemisja z powierzchni blaszki cynkowej.

Źródło: Marcin Sadowski, Kevin MacLeod (<http://incompetech.com>), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Materiał filmowy dotyczący fotoemisji z powierzchni blaszki cynkowej.

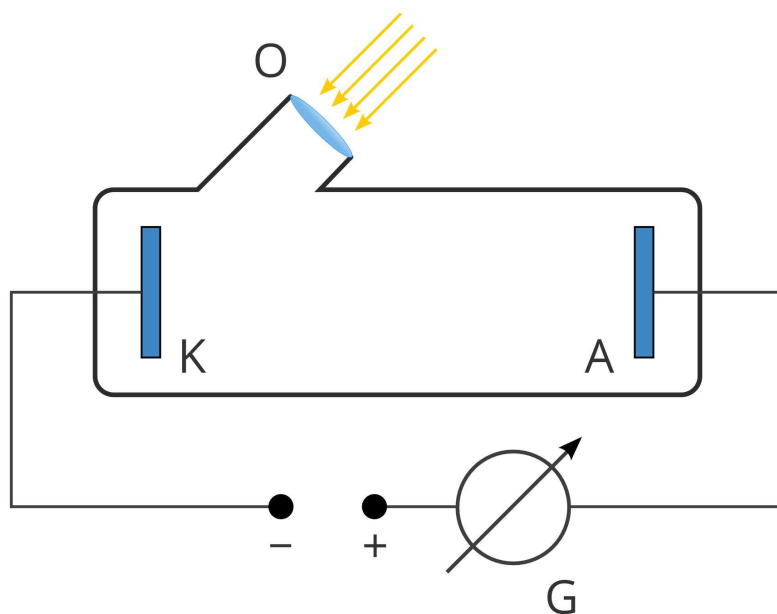
Podsumowanie

Pod wpływem światła emitowanego przez lampę kwarcową listki elektroskoku opadły. Światło lampy rzutnika nie spowodowało żadnej zmiany w ich wychyleniu. Lampa kwarcowa emituje fale elektromagnetyczne także w zakresie nadfioletu (fale krótsze od zakresu światła widzialnego). Ponieważ padały one na płytkę cynkową naładowaną ładunkami ujemnymi, powodowały emisję zgromadzonych tam elektronów i doprowadzały do opadnięcia listków elektroskoku.

Zapamiętaj!

W zewnętrznym zjawisku fotoelektrycznym – fotoemisji – pochłanianie światła powoduje emisję elektronów poza obręb oświetlanej substancji. Takie elektrony nazywamy fotoelektronami.

Dokładniejsze badania były prowadzone za pomocą układu, którego schemat zamieszczamy poniżej.



Schemat układu doświadczalnego do badania zjawiska fotoelektrycznego

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Przez okienko O, znajdujące się w górnej części bańki próżniowej, wpada promieniowanie elektromagnetyczne. Pada ono na katodę K, znajdującą się z lewej strony. Pomiedzy katodą a drugą elektrodą – anodą A – płynie prąd elektryczny. Możemy sprawdzić to za pomocą galwanometru G, czyli czułego amperomierza, włączonego w obwód. Okienko wykonane jest ze szkła kwarcowego, przepuszczającego duży zakres długości fal padającego promieniowania – od ultrafioletu do podczerwieni. Zmieniając długość fali, można badać wpływ parametrów promieniowania na przebieg zjawiska.

Efekty badań można przedstawić następująco:

- zjawisko fotoelektryczne zachodzi natychmiast po włączeniu oświetlenia lub też nie zachodzi wcale;
- nie ma żadnego opóźnienia między rozpoczęciem naświetlania a przepływem prądu;
- im większe natężenie oświetlenia, tym silniejsze natężenie prądu;
- dla każdego metalu, z którego wykonana jest katoda, istnieje graniczna częstotliwość (długość fali) promieniowania, poniżej której zjawisko w ogóle nie zachodzi;
- wyznaczenie energii kinetycznej emitowanych elektronów pokazało, że nie jest ona związana z natężeniem padającego światła, ale zależy od jego częstotliwości – jest większa dla ultrafioletu, a mniejsza dla światła żółtego.

Kłopoty w wyjaśnieniu fotoefektu spowodowane były m.in tym, że zjawisko fotoelektryczne zachodzi natychmiast po włączeniu oświetlenia (czas potrzebny na jego zainicjowanie nie zależy ani od jasności, ani od częstotliwości promieniowania).

W ujęciu fizyki klasycznej elektrony powinny „wyparowywać” z powierzchni metalu, tak jak

dzieje się to podczas odparowywania cząsteczek z powierzchni gorącej wody. Wymagałoby to jednak pewnego czasu, a obserwowany efekt był natychmiastowy.

Liczba emitowanych elektronów zależy tylko od natężenia światła. Natomiast ich energia jest uwarunkowana częstotliwością promieniowania, którym oświetlamy metal. W ujęciu fizyki klasycznej energia fali elektromagnetycznej jest proporcjonalna do jej natężenia, a więc im większe jest natężenie promieniowania, tym większą energię powinno ono przekazać elektronom. Fizyka klasyczna niepoprawnie opisywała także to zjawisko.

Istotne okazało się istnienie częstotliwości granicznej. W myśl teorii falowej zjawisko fotoelektryczne powinno zachodzić w każdym rodzaju promieniowania, gdy tylko elektrony w metalu nabiorą odpowiedniej energii. Musiałoby wystąpić jednak opóźnienie tego zjawiska.

Trudno było więc zrozumieć zjawisko fotoelektryczne na podstawie założeń fizyki klasycznej. W 1905 r. efekt ten w prosty sposób wytłumaczył Albert Einstein, który w 1921 r. otrzymał za to Nagrodę Nobla. Przyjął, że światło należy traktować nie jako falę, a jako strumień fotonów (kwantów energii promieniowania). Zgodnie z postulatem Plancka mają one energię kinetyczną równą:

$$E_k = h\nu$$

gdzie:

h – stała Plancka, wynosząca około $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;

ν – częstotliwość promieniowania elektromagnetycznego.

Teraz wszystko staje się jasne – im więcej fotonów pada na powierzchnię metalu, tym większa jest liczba zderzeń z elektronami i tym więcej elektronów zostaje wybitych z powierzchni. Jeden foton może oddziaływać tylko z jednym elektronem. Im większa częstotliwość światła, tym większa energia fotonów, którą mogą one przekazać elektronom. Tym samym elektrony będą miały większą energię kinetyczną po opuszczeniu metalu.

Zauważono także, że istnieje pewna częstotliwość progowa, poniżej której elektrony nie mogą opuścić powierzchni metalu. Jest to całkiem logiczne, jeżeli weźmiemy pod uwagę oddziaływania elektryczne elektronów we wnętrzu metalu. Elektrony w metalu są stosunkowo swobodne – tworzą tzw. gaz elektronowy. Nie mogą jednak opuścić metalu, ponieważ są przyciągane przez dodatnie jony metalu. Jeżeli energia dostarczona przez foton będzie za mała, elektron nie uwolni się od oddziaływań elektrostatycznych, przeciwko którym musi zostać wykonana pewna praca. Pracę tę nazywać będziemy [pracą wyjścia](#).

Zgodnie z wyjaśnieniem Alberta Einsteina zjawisko fotoelektryczne polega na wybijaniu elektronów z metalu pod wpływem kwantów światła (fotonów). Energia każdego fotonu (zgodnie z hipotezą Plancka) jest równa iloczynowi tzw. stałej Plancka oraz częstotliwości

fali elektromagnetycznej (światłej) odpowiadającej strumieniowi fotonów. Część pochłoniętej energii fotonu zostaje zużyta na wykonanie pracy przeciwko siłom przyciągającym (jony metalu są dodatnie). Reszta zaś stanowi energię kinetyczną elektronu. Otrzymujemy więc zależność:

$$h\nu = W + E_k$$

gdzie:

W – praca wyjścia elektronu z metalu;

E_k – energia kinetyczna elektronów.

Po dokonaniu przekształceń otrzymujemy:

$$W = h\nu_0$$

gdzie ν_0 to częstotliwość minimalna promieniowania elektromagnetycznego, przy którym zachodzi zewnętrzny efekt fotoelektryczny; częstotliwość ta ma inną wartość dla każdego metalu.

Przykład 1

Praca wyjścia elektronów z powierzchni magnezu wynosi $5,85 \cdot 10^{-19}$ J.

1. Oblicz częstotliwość graniczną zachodzenia zjawiska fotoelektrycznego dla magnezu.
2. Oblicz długość fali odpowiadającą tej częstotliwości.
3. Czy światło o tej długości fali jest przez nas widziane? Dlaczego?

Rozwiązanie:

Analiza zadania:

Zadanie dotyczy emisji elektronów z powierzchni magnezu. Jeśli energia padających kwantów fali elektromagnetycznej jest równa pracy wyjścia, to elektrony pochłonięte przez kwanty powinny znaleźć się na powierzchni oświetlanego materiału. Wówczas częstotliwość padającego światła będzie równa tzw. częstotliwości granicznej. Na podstawie zależności między częstotliwością a długością fali obliczymy długość fali odpowiadającą częstotliwości granicznej. Wiemy, że zakres fal widzialnych zawiera się w przedziale od 380 do 770 nm, więc na końcu ustalimy, czy obliczona przez nas długość fali należy do tego przedziału.

Energia kwantu promieniowania fali elektromagnetycznej:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Praca wyjścia:

$$W = E = h \cdot \nu_0$$

Wymagane wielkości:

ν_0 – częstotliwość graniczna

$$W = h \cdot \nu_0 \quad | : h$$

$$\nu_0 = \frac{W}{h}$$

λ – długość fali odpowiadająca częstotliwości granicznej

$$h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad | : h$$

$$\nu_0 = \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu_0}$$

Dane:

$$c = 300000000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$W = 5,85 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Szukane:

$$W = ?$$

Obliczenia:

$$\nu_0 = \frac{W}{h} = \frac{5,85 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = \frac{5,85}{6,63} \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{s}} = 882 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu_0} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{882 \cdot 10^{12}} \text{ s} = \frac{3}{882} \cdot 10^{-4} \text{ m} = 340 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 340 \text{ nm}$$

Odpowiedź:

Częstotliwość graniczna zewnętrznego zjawiska fotoelektrycznego dla materiału wykonanego z magnezu wynosi $882 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$, co odpowiada długości fali padającego światła wynoszącej 340 nm. Jest to wartość poza dolną granicą długości dla światła widzialnego, która zawiera się w przedziale od 380 do 770 nm.

Przykład 2

Graniczna długość fali dla cynku wynosi 290 nm.

1. Oblicz pracę wyjścia elektronów dla cynku.
2. Czy światło o długości fali większej niż 290 nm spowoduje zjawisko fotoelektryczne w przypadku cynku? Dlaczego?

Rozwiązanie:**Analiza zadania:**

Zadanie dotyczy emisji elektronów z powierzchni cynku. Aby elektrony mogły opuścić powierzchnię metalu, muszą wykonać pracę – jest to tzw. praca wyjścia. Jest ona wykonywana kosztem energii kwantów padającej fali elektromagnetycznej i zależy od jej częstotliwości. Częstotliwość padającego światła jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali. Im częstotliwość (a tym samym energia) jest większa, tym krótsza musi być fala.

Energia kwantu promieniowania fali elektromagnetycznej:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Praca wyjścia:

$$W = E = h \cdot \nu_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Wymagane wielkości:

W – praca wyjścia

$$W = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Dane:

$$c = 300000000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\lambda = 290 \text{ nm}$$

Szukane:

$$W = ?$$

Obliczenia:

$$W = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{290 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6,9 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Odpowiedź:

Praca wyjścia elektronów dla cynku wynosi $6,9 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Fala o długości większej niż 290 nm nie może spowodować zewnętrznego zjawiska fotoelektrycznego, ponieważ jej kwanty mają zbyt małą energię. Zwiększenie długości fali powoduje, że zmniejsza się energia jej kwantów. Wynika to z zależności $E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$.

Przykład 3

Elektrony wybite z powierzchni złota mają energię kinetyczną $4,55 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Praca wyjścia dla złota wynosi $8,45 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

1. Wykaż, że światło o długości fali wynoszącej 150 nm sprawi, że elektrony zostaną wybite z powierzchni złota.
2. Oblicz prędkość elektronów wybijanych z tej powierzchni.
Potrzebne dane wyszukaj w tablicach fizycznych lub w internecie.

Rozwiązanie:**Analiza zadania:**

Zgodnie z zasadą zachowania energii elektron opuszczający powierzchnię przewodnika zużywa część energii na wykonanie pracy wyjścia, a pozostała energia jest zamieniana na energię kinetyczną. Kiedy obliczymy sumę pracy wyjścia i energii kinetycznej, możemy obliczyć energię fotonu i częstotliwość promieniowania, i tym samym określić długość

padającej fali. Następnie porównujemy tak wyznaczoną wartość ze 150 nm. Jeśli okaże się, że jest ona większa od długości fali wynoszącej 150 nm (bądź jej równa), to ta ostatnia wywoła zjawisko fotoelektryczne, gdy pada na powierzchnię przewodnika. Jeśli znamy energię kinetyczną elektronów, możemy wyznaczyć ich prędkość (wcześniej musimy odczytać masę elektronu z tablic fizycznych).

Energia kwantu promieniowania fali elektromagnetycznej:

$$E = W + E_k = h \cdot \nu$$

Długość fali padającego światła:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

Energia kinetyczna:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Wymagane wielkości:

E – energia kwantu

$$E = W + E_k$$

ν – częstotliwość fali padającego światła

$$W + E_k = h \cdot \nu \quad | : h$$

$$\nu = \frac{W + E_k}{h} >$$

v – prędkość elektronu

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad | \cdot 2$$

$$2 \cdot E_k = m \cdot v^2 \quad | : m$$

$$\frac{2 \cdot E_k}{m} = v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{m}}$$

m – masa spoczynkowa elektronu odczytana z tablic

Dane:

$$c = 300000000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\lambda = 150 \text{ nm}$$

$$m = 9,12 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$W = 8,48 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_k = 4,55 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Szukane:

$$\nu = ?$$

$$\lambda = ?$$

$$v = ?$$

Obliczenia:

$$E = W + E_k = 8,48 \cdot 10^{-19} \text{ J} + 4,55 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 13,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\nu = \frac{W + E_k}{h} = \frac{13,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = \frac{13,03}{6,63} \cdot 10^{15} \text{ Hz} = 196,53 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{196,53 \cdot 10^{13} \text{ Hz}} = \frac{3}{196,53} \cdot 10^4 \text{ nm} = 152,6 \text{ nm}$$

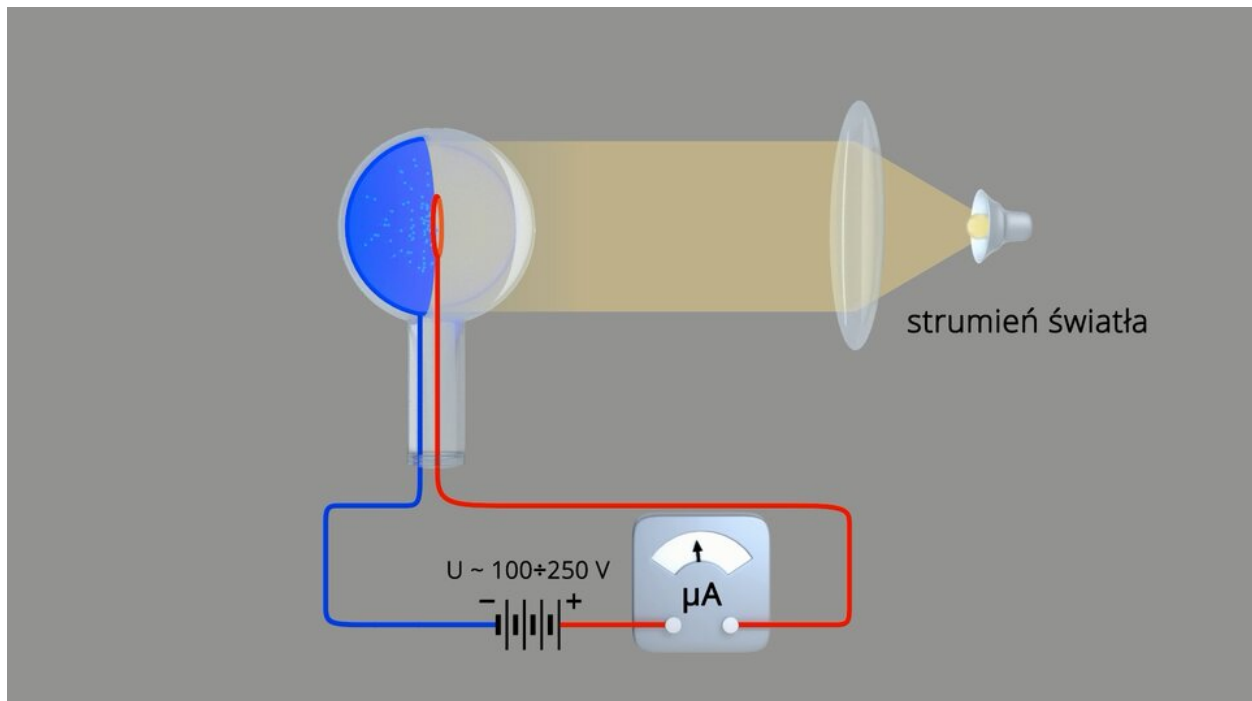
$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,55 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,12 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = \sqrt{\frac{9,10}{9,12} \cdot 10^{12} \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź:

Długość fali padającego promieniowania jest nieznacznie mniejsza od długości fali wymaganej do tego, aby wykonać pracę wyjścia i nadać elektronom odpowiednią energię kinetyczną. Fala elektromagnetyczna o długości 150 nm spowoduje zatem emisję elektronów z powierzchni metalu. Prędkość elektronów wyniesie $10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Wzór $h\nu = W + E_k$ nazywany jest często wzorem Einsteina-Millikana. [Millikan](#) początkowo był przeciwnikiem teorii Einsteina. Prowadził jednak badania, które ostatecznie potwierdziły wzór Einsteina. W 1923 r. otrzymał Nagrodę Nobla za wyznaczenie ładunku elektronu oraz za badania nad zjawiskiem fotoelektrycznym.

Zjawisko to jest podstawą działania fotokomórek wykorzystywanych często w nauce, technice, a także w życiu codziennym (włączanie i wyłączanie oświetlenia ulicznego czy latarni morskich). Czym jest fotokomórka?



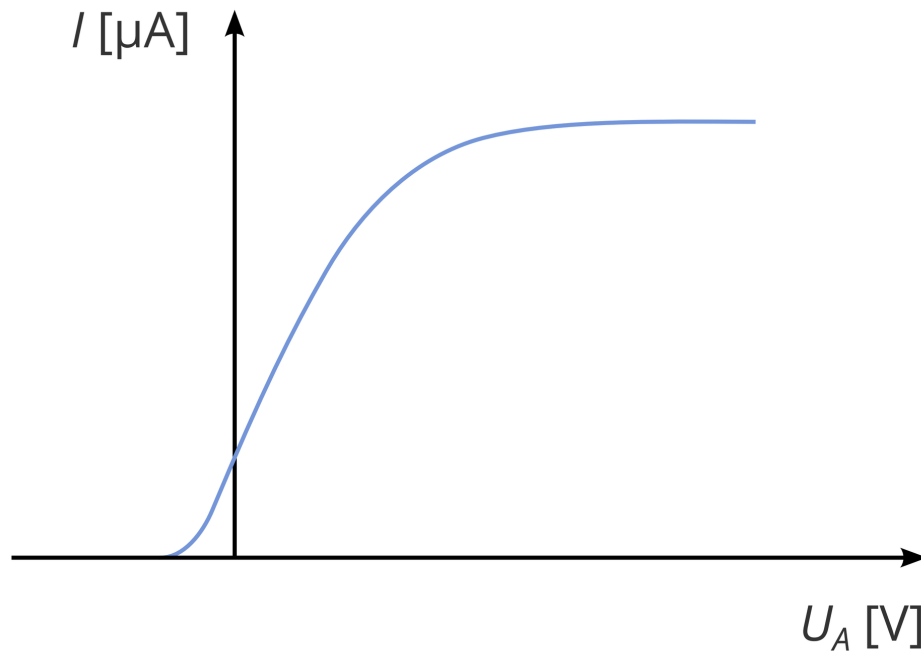
Film dostępny pod adresem </preview/resource/RhCQLsMcirvti>

Fotokomórka

Źródło: Marcin Sadowski, Kevin MacLeod (<http://incompetech.com>), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Materiał filmowy dotyczący fotokomórki.

Przeanalizujmy wykres zależności natężenia **prądu fotoelektrycznego** od przyłożonego napięcia.



Charakterystyka prądowo-napięciowa fotokomórki

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Natężenie prądu fotoelektrycznego wzrasta wraz ze wzrostem napięcia, dopóki nie osiągnie maksymalnej wartości, nazwanej prądem nasycenia (dalsze zwiększanie napięcia nie powoduje wzrostu natężenia prądu). Dzieje się tak, ponieważ przy pewnym napięciu do anody docierają wszystkie uwolnione elektrony, jakie w tym czasie opuszczają fotokatodę.

Ćwiczenie 1

Z przebiegu charakterystyki prądowo – napięciowej fotokomórki wynika, że słaby prąd płynie nawet wtedy, gdy między katodą a anodą nie jest przyłożone żadne napięcie. Dlaczego tak się dzieje? Odpowiedź wpisz w polu poniżej.

Ćwiczenie 2

Z przebiegu charakterystyki prądowo – napięciowej fotokomórki wynika, że gdy przyłożymy niewielkie napięcie między anodą a katodą, tj. do katody podłączymy biegun dodatni, a do anody – biegun ujemny (oświetlana jest dalej katoda), to prąd jednak płynie. Dlaczego natężenie tego prądu jest mniejsze niż przy całkowitym braku napięcia? Odpowiedź wpisz w polu poniżej.

Ćwiczenie 3

Przedstawiona charakterystyka prądowo – napięciowa została sporządzona przy stałym natężeniu padającego promieniowania. Jak przebiegałaby ta charakterystyka, jeżeli zwiększylibyśmy dwukrotnie natężenie oświetlenia?

Podsumowanie

- Zewnętrzne zjawisko fotoelektryczne – fotoemisja – polega na emisji elektronów z powierzchni metalu pod wpływem padającego na metal odpowiedniego promieniowania elektromagnetycznego. Elektrony wybite w ten sposób nazywamy fotoelektronami.
- Energia wybitych w wyniku fotoefektu elektronów nie zależy od natężenia promieniowania, a jedynie od długości jego fali.
- Większe natężenie światła oznacza większą liczbę padających fotonów, dlatego liczba fotoelektronów jest proporcjonalna do natężenia padającego promieniowania.
- Zewnętrzne zjawisko fotoelektryczne jest dowodem na to, że falę elektromagnetyczną można traktować jako strumień cząsteczek – fotonów.
- Fotoefekt jest zjawiskiem kwantowym i stał się podstawą kwantowej teorii światła.
- Fotokomórki to urządzenia wykorzystywane do pomiaru natężenia padającego światła; służą jako światłoczułe wyłączniki. Gdy na fotokomórkę pada światło, przepływa przez nią prąd, a gdy światło nie pada – prąd w obwodzie nie płynie. Fotokomórki znalazły

szerokie zastosowanie w życiu codziennym (włączanie i wyłączanie oświetlenia ulicznego czy latarni morskich).

Słownik

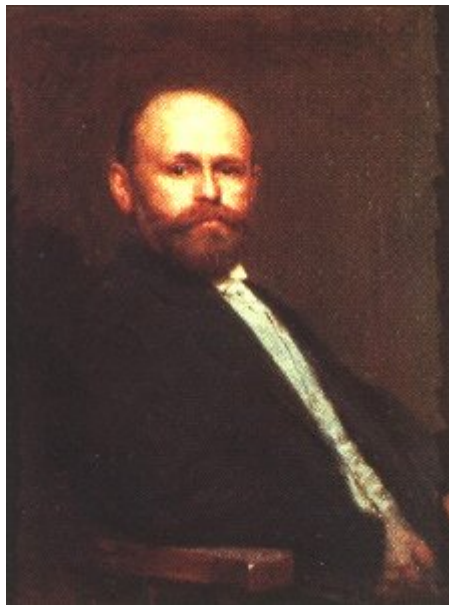
praca wyjścia

minimalna energia, której elektron potrzebuje do pokonania siły elektrostatycznej, aby móc opuścić powierzchnię metalu.

prąd fotoelektryczny

prąd płynący między katodą a anodą fotokomórki, będący skutkiem zewnętrznego efektu fotoelektrycznego.

Biogramy



Wilhelm Ludwlg Franz Hallwachs, współodkrywca zjawiska fotoelektrycznego

Źródło: Robert Sterl, edycja: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org> [dostęp 18.04.2022], domena publiczna.

Wilhelm Ludwlg Franz Hallwachs

1859.07.9 Darmstadt – 1922.06.20 Drezno

[wilhelm lidwiś franc halwaks] Niemiecki fizyk, asystent Rudolfa Hertza. W 1888 r. zauważył, że kiedy światło nadfioletowe padać na ujemnie naładowane płyty metalowe, sprawia, że tracą one swój ładunek elektryczny. Zjawisko to nazwano najpierw efektem Hallwachsa, a nieco później zjawiskiem fotoelektrycznym.



Philipp Lenard – laureat Nagrody Nobla z fizyki (1905 r.)

Źródło: N.N., dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org> [dostęp 18.04.2022], domena publiczna.

Philipp Lenard

1862.06.7 Bratysława – 1947.05.20 Messelhausen

[filip lenaat] Niemiecki fizyk, profesor uniwersytetu we Wrocławiu. Za badania promieniowania katodowego otrzymał Nagrodę Nobla. Podczas obserwacji zjawiska fotoelektrycznego zauważył, że prąd emisyjny zależy od częstotliwości padającego światła, a nie od jego natężenia.



Robert Andrews Millikan, laureat Nagrody Nobla (1923 r.), potwierdził doświadczalnie prawa rządzące zjawiskiem fotoelektrycznym (1916 r.)

Źródło: Nobel foundation, dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org> [dostęp 18.04.2022], domena publiczna.

Robert Andrews Millikan

1868.03.22 Morrison, Illinois – 1953.12.19 San Marino, Kalifornia

[robert andrus myliken] Amerykański fizyk, genialny eksperymentator, profesor uniwersytetu w Chicago. Wyznaczył doświadczalnie ładunek elektryczny (1911 r.), a w wyniku prac nad zewnętrznym zjawiskiem fotoelektrycznym wyliczył stałą Plancka.



Aleksandr Grigorjewicz Stoletow, rosyjski fizyk, który sformułował pierwsze prawo zjawiska fotoelektrycznego

Źródło: N.N., dostępny w internecie: <http://commons.wikimedia.org> [dostęp 18.04.2022].

Aleksandr Grigorjewicz Stoletow

1839.08.10 Włodzimierz – 1896.05.27 Moskwa

[aljeksandr grjigorjewić staljetaf] Rosyjski fizyk, prowadził badania samoistnych wyładowań w gazach (zjawisko Stoletowa, zjawisko fotoefektu). Wykazał, że natężenie prądu fotoelektrycznego zależy od intensywności padającego światła (prawo Stoletowa). Badania tego uczonego stały się podstawą fotometrii i przyczyniły się do skonstruowania pierwszego fotoelementu.

Zadanie podsumowujące moduł

Ćwiczenie 4



Oceń prawdziwość poniższych zdań. Przy każdym zdaniu w tabeli zaznacz **Prawda** albo **Fałsz**.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Efekt fotoelektryczny jest dowodem na falową naturę światła.	☐	☐
Energia elektronów będąca wynikiem fotoefektu nie zależy od natężenia promieniowania.	☐	☐
Elektron musi wykonać pewną pracę przeciwko oddziaływaniom elektrostatycznym, by móc opuścić powierzchnię metalu.	☐	☐

