

FOTOKOMÓRKA

Zadanie 1- fotony

W 1900 r. niemiecki fizyk Max Planck (czyt. plank) wysunął hipotezę, że promieniowanie ciała doskonale czarnego wysyłane jest małymi porcjami tzw. *kwantami promieniowania*. Energia takiej porcji promieniowania jest proporcjonalna do jego częstotliwości. Według Plancka kwant energii wynosi:

$$E = h \nu, \quad \text{gdzie: } h - \text{stała Plancka } h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s (dżul razy sekunda)}$$
$$\nu - \text{częstotliwość fali elektromagnetycznej.}$$

W 1905 roku Albert Einstein, przyjmując za podstawę korpuskularną (cząsteczkową) budowę światła i postulat Plancka, zakłada, że światło jest wiązką **fotonów** (kwantów) - cząstek o masie spoczynkowej równej zero, energii $E = h \nu$ i pędzie

$$p = \frac{h \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad c - \text{szybkość światła w próżni } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Zadania:

Zad.1

Wiedząc, że zbadany zakres długości fal widma elektromagnetycznego rozciąga się od 10^{-16} m do 10^5 m, oblicz, w jakim zakresie są zawarte energie fotonów całego widma Wynik podaj w dżulach i elektronowoltach.

$$\text{(wskazówka: } E = h \nu, \nu = \frac{c}{\lambda} \text{)} \quad \text{odp. Od } 2 \cdot 10^{-9} \text{ J do } 2 \cdot 10^{-30} \text{ J} \quad \text{lub od } 1,2 \cdot 10^{10} \text{ eV do } 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ eV}$$

Zad.2

Oblicz energię fotonu światła zielonego, którego długość fali $\lambda = 550$ nm. odp. $3,6 \cdot 10^{-13}$ J

Zad.3

Oblicz masę fotonu fal radiowych o długości $\lambda = 100$ m.

$$\text{(wskazówka: } p = mc \text{ } p = h / \lambda \text{)} \quad \text{odp. } 2,2 \cdot 10^{-44} \text{ kg}$$

Zadanie 2- zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne: praca wyjścia

Gdy na powierzchnię metalu pada światło, to w pewnych warunkach z metalu mogą być wybijane elektrony. Elektrony te nazywamy fotoelektronami. Oddziaływanie światła z materią to oddziaływanie pojedynczych fotonów (cząstek) z elektronami metalu. Do uwolnienia elektronu („wyrwania”) z powierzchni metalu potrzebna jest energia W , nazywana **pracą wyjścia**. Dostarczyć jej może tylko foton o częstotliwości

$\nu_0 = W/h$ (bo $E = h \nu$) lub większej. Fotony o mniejszej częstotliwości nie spowodują emisji elektronów.

A więc $W = h \nu_0$. Praca wyjścia zależy od rodzaju metalu.

Zad.1

Oblicz największą długość fali wywołującej zjawisko fotoelektryczne w płytce srebra, dla którego praca wyjścia jest równa $7,52 \cdot 10^{-19}$ J.

$$\text{(wskazówka: } W = h \nu_0 = h c / \lambda_{\text{max}} \text{)} \quad \text{odp. } \lambda_{\text{max}} = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Zad.2

Oblicz pracę wyjścia W elektronów z cezu, dla którego graniczna (maksymalna) długość fali zjawiska fotoelektrycznego wynosi $\lambda_g = 660$ nm. Wynik podaj w dżulach i elektronowoltach.

$$\text{odp. } \lambda_g = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,9 \text{ eV}$$

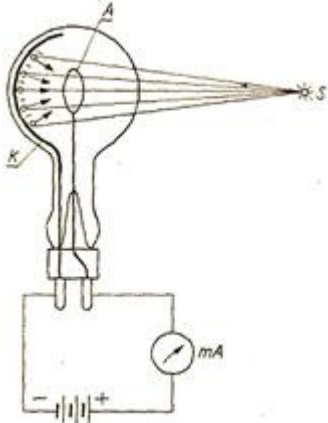
Zadanie 3- zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne: energia kinetyczna fotoelektronu

Jeżeli na powierzchnię metalu padają fotony o energii większej od pracy wyjścia, to zgodnie z zasadą zachowania energii, elektron zyskuje energię kinetyczną równą:

$$E_k = h \nu - W$$

$$\text{stąd: } h \nu = \frac{1}{2} m v^2 + W$$

[Uwaga: część energii fotonu ($h \nu$) zostaje zużyta na wybicie elektronu (praca wyjścia), a reszta na zwiększanie jego prędkości ($\frac{1}{2} m v^2$)]



Równanie: $h \nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$ nosi nazwę równania fotoelektrycznego Einsteina.

Od czego zależy energia kinetyczna fotoelektronów?

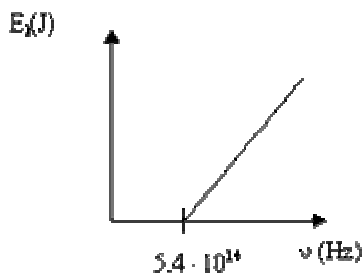
1. Jeżeli częstotliwość fotonu będzie mniejsza od częstotliwości progowej ($h \nu_0 = W$), to mimo zderzenia fotonu (cząsteczki) z swobodnym elektronem, znajdującym się na powierzchni metalu, elektron nie wyjdzie poza strefę przyciągania jonów sieci krystalicznej.
2. Jeżeli częstotliwość fotonu będzie większa od częstotliwości progowej, to nadmiar energii fotonu zostanie zużyty na nadanie elektronowi prędkości v .
 $h \nu = h \nu_0 + \frac{1}{2}mv^2 = W + E_k$

Energia kinetyczna fotoelektronów zależy od częstotliwości promieniowania, powodującego efekt fotoelektryczny!

Zad.1

Na podstawie zależności energii kinetycznej fotoelektronów wybitych z płytki potasu w funkcji częstotliwości, wyznacz pracę wyjścia i częstotliwość graniczną. (wskazówka: $E_k = h \nu - W$ $y = ax - b$)

Odp. $\nu_0 = 5,4 \cdot 10^{14}$ Hz, $W = 3,6 \cdot 10^{-19}$ J = 2,25 eV



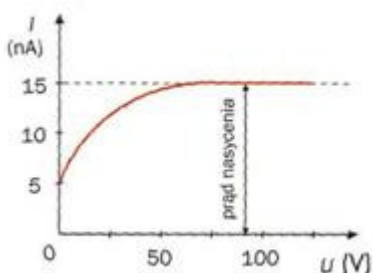
Zad.2

Na podstawie zadania 1 oblicz energię elektronów wyrzuconych w zjawisku fotoelektrycznym dla światła o długości $\lambda = 200$ nm.

Odp. $E_k = 3,95$ eV

Zadanie 4- fotokomórka

Na zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym opiera się działanie komórki fotoelektrycznej. Stanowi ona próżniową bańkę szklaną, której wewnętrzna ścianka jest pokryta warstwą K metalu o niewielkiej pracy wyjścia (np. sodu, potasu lub cezu), stanowiącą katodę (-) i połączoną z ujemnym biegunem źródła napięcia. W środku bańki znajduje się pierścieniowa anoda (+) A połączona z dodatnim biegunem źródła. Promienie świetlne padając na ujemnie naładowaną warstwę metalu wywołują emisję elektronów, które są następnie przyciągane przez dodatnio naładowaną anodę

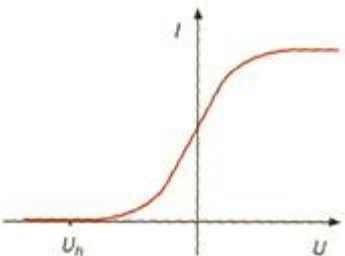


Zad.1

Wypisz, co najmniej 3 zastosowania fotokomórek.

Zadanie 5- fotokomórka: wpływ natężenia promieniowania

Przyłożenie napięcia między katodę i anodę bez oświetlenia fotokomórki nie powoduje przepływu prądu, gdyż obwód jest otwarty (wewnątrz bańki jest próżnia). Po



oświetleniu fotokatody następuje emisja elektronów, które dobiegając do anody zamykają obwód. W obwodzie płynie prąd. (Prąd o małym natężeniu obserwuje się nawet wtedy, gdy w obwodzie nie ma źródła napięcia – na wykresie około 5 nA.) Zależność natężenia prądu I płynącego przez fotokomórkę od napięcia między katodą i anodą, przy stałym oświetleniu fotokatody przedstawia wykres obok.

Z wykresu wynika, że prawo Ohma ($I \sim U$) nie stosuje się do prądu fotokomórki. Gdy napięcie wzrośnie do pewnej wartości (na wykresie około 75 V), natężenie prądu osiąga wartość maksymalną. Dalsze zwiększanie napięcia nie powoduje wzrostu natężenia prądu.

Wyjaśnienie: Natężenie światła jest tym większe, im większa jest liczba fotonów padających na katodę w jednostce czasu. Dla danego źródła światła (o ustalonym natężeniu) określona jest liczba fotonów(n) padających w jednostce czasu na katodę, a więc określona jest maksymalna liczba zderzeń (n). A więc prąd nasycenia ($I = ne/t$) jest maksymalnym prądem w fotokomórce.

Uwaga: w opisanym zjawisku fotony zachowują się jak **cząstki**, ulegające zderzeniom z innymi cząstkami!

Zad.1

Od czego zależy liczba emitowanych elektronów?

Zadanie 6- fotokomórka: napięcie hamowania

W celu zbadania energii kinetycznej fotoelektronów posługujemy się metodą pola hamującego, to znaczy przykładamy dodatni biegun źródła napięcia do fotokatody, ujemny do anody fotokomórki. Emitowane z fotokatody elektrony są odpychane przez ujemną anodę. Jeśli hamujące napięcie jest zbyt małe, to dzięki posiadanej energii kinetycznej elektrony docierają do anody. Istnieje jednak pewne ujemne napięcie o wartości U_h , któremu odpowiada natężenie prądu równe 0. Oznacza to, że elektrony tracą całą energię kinetyczną w polu hamującym i nie docierają do anody.

Ponieważ pracę pola elektrycznego możemy wyrazić wzorem $W = qU$, zatem $eU_h = \frac{1}{2}mv^2$.

Równanie Einsteina przyjmie więc postać:

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W = eU_h + W$$

Zadania:

Zadanie maturalne poziom rozszerzony - informator

Zad.26 Fotokomórka (9pkt)

Natężenie prądu elektrycznego płynącego w obwodzie fotokomórki wynosi 0,1 mA, gdy na pokrytą litem fotokatodę pada fala elektromagnetyczna o długości $\lambda = 337,1$ nm emitowana przez laser azotowy. Praca wyjścia elektronów z litu wynosi 2,4 eV.

- Oblicz maksymalną wartość prędkości elektronów po wyjściu z fotokatody. Wynik podaj w m/s.
- Oblicz wartość napięcia hamowania, przy którym ustaje przepływ elektronów wybijanych z fotokatody.
- Oblicz moc wiązki laserowej opisaną w zadaniu. Przyjmij, że wszystkie wyemitowane z fotokatody elektrony docierają do anody, oraz każdy foton wybija jeden elektron. Wynik podaj w watach.

Odpowiedzi i wskazówki:

a) Skorzystaj z równania Einsteina $h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$; $v = c/\lambda$ odp. $6,8 \cdot 10^5$ m/s

b) $eU_h = \frac{1}{2}mv^2$ odp. 1,31 V

c) $P = E/t$, $E_1 = h\nu$, ilość wybitych elektronów ($I = ne/t$ $n = It/e$) równa jest ilości fotonów. odp. $3,7 \cdot 10^{-4}$ W

Zadanie 6 – dualizm korpuskularno-falowy

1. Energia kinetyczna fotoelektronów **nie zależy** od natężenia światła! Zależy od częstotliwości fali wywołującej fotoemisję.

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W = E_k + W \quad (\text{równanie Einsteina})$$

stąd: $E_k = h\nu - W$ (W stałe dla danego metalu)

Gdyby światło zachowywało się jak fala, to energia kinetyczna elektronów powinna zależeć od natężenia fali. Miarą energii niesionej przez falę jest jej natężenie.

