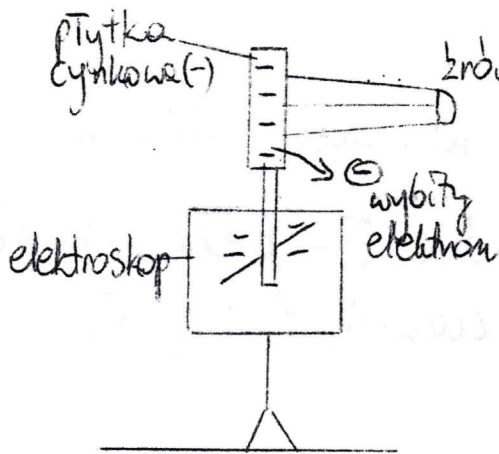


Światło wykazuje dwoistą naturę: jest falą i materią. Falowy charakter światła potwierdza zjawiska: dyfrakcji, interferencji i polaryzacji. Natomiast korpuskularną (cząsteczkową) naturę potwierdza zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne - fotofekt.

### Doświadczenie



Płytkę cynkową połączono z elektroskopem i układ naelektryzowano (-). Po oświetleniu płytki cynkowej promieniowaniem UV elektroskop po pewnym czasie się rozelektryzuje. Spowodowane to zostało wybiciem elektronów z płytki.

Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne - fotofekt - polega na emisji elektronów z powierzchni metalu pod wpływem padającego na metal promieniowania elektromagnetycznego.

Zjawiska tego nie można było wyjaśnić w oparciu o falową naturę światła ponieważ:

1) energia kinetyczna wybitych elektronów (fotoelektronów) nie zależy od natężenia promieniowania.

Natężenie światła padającego na metal decyduje o liczbie fotoelektronów, ale energia kinetyczna nie zmienia się.

2) energia kinetyczna fotoelektronów zależy od częstotliwości promieniowania.

W 1905 roku A. Einstein podał wyjaśnienie tego zjawiska w oparciu o korpuskularną naturę światła:

\* światło jest wiązką cząstek, które nazywamy fotonami.

Foton - cząstka elementarna o masie spoczynkowej równej zero, poruszająca się z prędkością światła  $c$ . Jest to kwant ("porcja") energii.

Energia fotonu obliczamy ze wzoru Plancka: (2)

$$E = h \cdot f$$

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

$f$  - częstotliwość promieniowania  $[\text{Hz}]$

Częstotliwość promieniowania można obliczyć ze wzoru:

$$|c = \lambda \cdot f| \Rightarrow |f = \frac{c}{\lambda}|$$

a więc energię fotonu można również obliczyć ze wzoru:

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

$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  - prędkość światła  
 $\lambda$  - długość fali  $[\text{m}]$

\* Zgodnie z zasadą energii:

$$E = W + E_{k\text{max}}$$

$E$  - energia fotonu

$W$  - praca wyjścia - energia potrzebna do "wyrwania" elektronu z metalu, zależy od rodzaju metalu

$E_{k\text{max}}$  - maksymalna energia kinetyczna wybitego elektronu

$$|E_{k\text{max}} = \frac{m_e \cdot v_{\text{max}}^2}{2}|$$

$m_e$  - masa elektronu  $[\text{kg}]$   
 $v_{\text{max}}$  - maksymalna prędkość wybitego elektronu

1 foton wybija 1 elektron

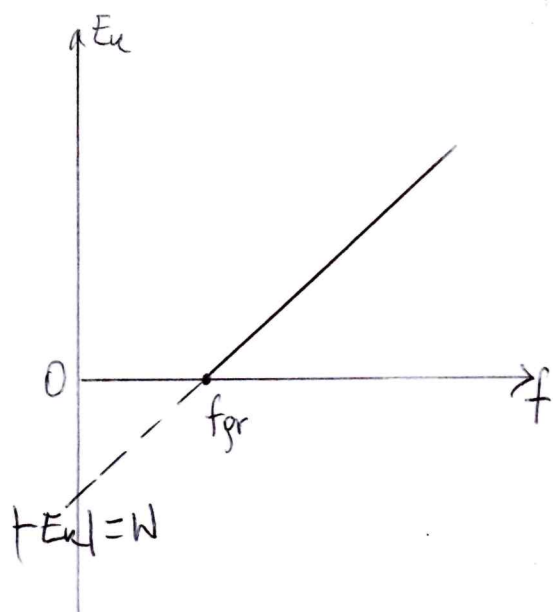
Zależność energii kinetycznej wybitego elektronu od częstotliwości promieniowania

$$E = W + E_k$$

$$E_k = E - W \quad E = h \cdot f$$

$$|E_k = h \cdot f - W|$$





$f_{pr}$  - częstotliwość graniczna  
jest to najmniejsza częstotliwość,  
dla której zachodzi fotoefekt

$f < f_{pr}$  - fotoefekt nie występuje,  
foton ma za mało energii

$f = f_{pr}$  - następuje wybicie elektronu,  
ale jego  $E_k = 0$

$E = W$  |  $W = h \cdot f_{pr}$  | - praca  
wyjściowa

$f > f_{pr}$  - następuje wybicie elektronów,  
które posiadają  $E_k$

Fotoefekt zachodzi więc dla częstotliwości:

$$f \geq f_{pr}$$

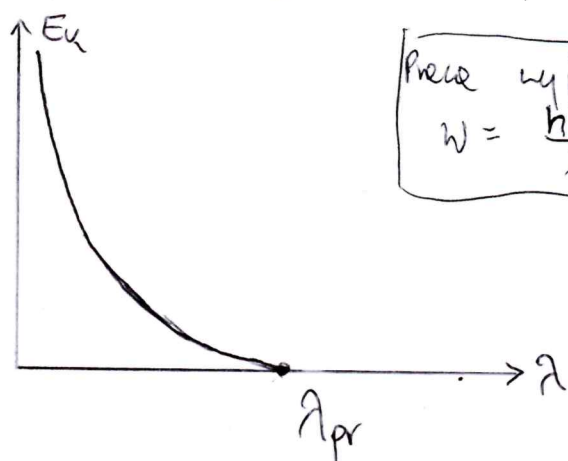
Z wykresu można odczytać pracę wyjściową: dla  $f = 0$   
 $|E_k| = W$

Zależność energii kinetycznej wybitego fotoelektronu  
od długości fali  $\lambda$ :

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

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

Energia kinetyczna jest odwrotnie proporcjonalna do  $\lambda$ .



Praca wyjściowa:  
 $W = \frac{h \cdot c}{\lambda_{pr}}$

$\lambda_{pr}$  - graniczna długość fali  
jest to największa  
długość fali, dla której  
zachodzi fotoefekt

$$\lambda_{pr} = \lambda_{max}$$

$\lambda \leq \lambda_{pr}$  - zachodzi zjawisko fotoefektu

$\lambda > \lambda_{pr}$  - fotoefekt nie zachodzi, foton ma  
za mało energii

Pęd fotonu: fotony posiadają pęd, który obliczamy ze wzoru:  $p = m \cdot v$ ,  $m = 0$ ,  $v = c$

Energia fotonu można obliczyć ze wzoru:

$E = mc^2$  - energia spoczynkowa,  $E = h \cdot f$  - energia fotonu

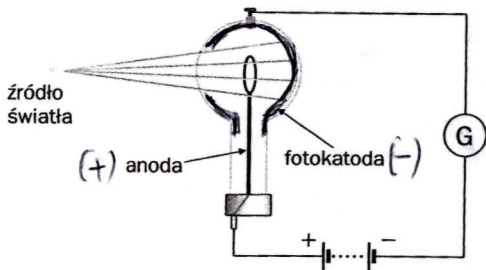
$$h \cdot f = mc^2 / c$$

$$\frac{h \cdot f}{c} = m \cdot c - \text{pęd}$$

$$p = \frac{h \cdot f}{c} \quad \text{lub} \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

## Fotokomórka

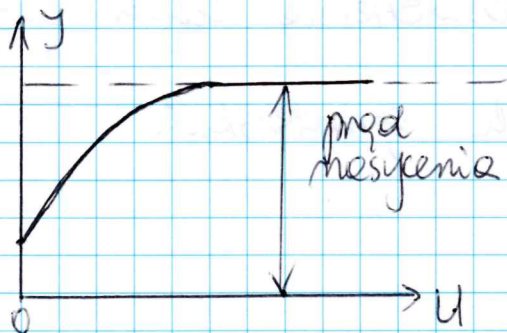
Jest to próżniowa banka szklana, pokryta wewnątrz warstwą metalu - fotokatoda i wtopionym drutem, który stanowi anodę.



Przyłożenie napięcia między katodą i anodą nie powoduje przepływu prądu, ponieważ obwód jest otwarty.

Po oświetleniu fotokatody następuje z niej emisja elektronów, które dzięki polu elektrycznemu dobiegają do anody, zamykając obwód, co powoduje przepływ prądu. Gdy przestaniemy oświetlać fotokatodę prąd przestaje płynąć.

Zależność natężenia prądu  $I$  płynącego przez fotokomórkę od napięcia  $U$  między katodą i anodą.



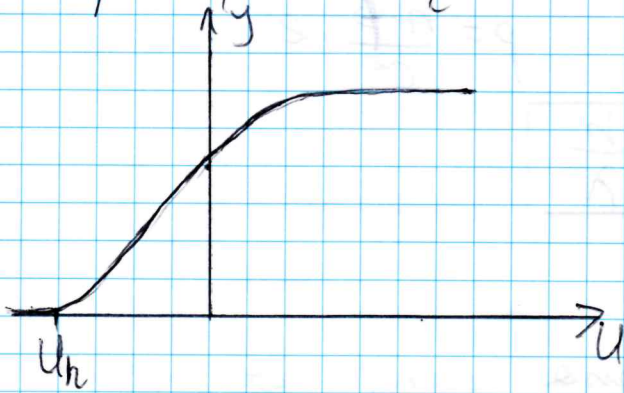
Prąd o bardzo małym natężeniu można zaobserwować nawet wówczas, gdy w obwodzie nie ma źródła napięcia. Świadczy to o tym, że elektrony opuszczające fotokatodę mają energię kinetyczną i dobiegają do anody.

Prąd nasycenia - prąd o maksymalnej wartości natężenia prądu. Wszystkie wybite elektrony dotarły do anody. Dalsze zwiększanie napięcia nie powoduje wzrostu  $I$ .

Do fotokomórki nie stosuje się prawa Ohma, ponieważ zależność  $I(U)$  nie jest rosnącą funkcją liniową.



5  
 Jeśli do fotokatody przyłożymy (+) bieżący zmienny napięcie, a do anody (-) nastąpi wyhamowanie strumienia elektronów. Emitowane z fotokatody elektrony są odpychane przez ujemną anodę.



$U_h$  - napięcie hamowania!  
 ujemne napięcie, któremu odpowiada  $I=0$ ,  
 elektrony wylatujące z katody tracą całą energię kinetyczną i pole hamujące im nie pozwala do anody

Znając  $U_h$  można obliczyć energię kinetyczną największych elektronów.

$$W = \Delta E_k$$

$$|U_h| \cdot e = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$W = U \cdot q = U \cdot e$$

Napięcie hamowania  $U_h$  zależy od częstotliwości promieniowania oświetlającego fotokatodę, a  $U_{sc}$   $E_k$  zależy od częstotliwości tego promieniowania.

Wykorzystanie fotokomórek:

- termistory (do utrzymywania stałej temperatury)
- włączanie i wyłączenie oświetlenia ulicznego
- otwieranie drzwi
- pomiar czasu o biegu sprinterskich

## Falowa natura cząstek

W myśl hipotezy francuskiego fizyka L. de Broglie'a:  
Każdej poruszającej się cząstce można przypisać  
fale o pewnej długości, którą obliczamy ze wzoru:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Fale te nazywamy falami materii.

Dla cząstki materialnej  $p = m \cdot v$

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

$m$  - masa cząstki [kg]  
 $v$  - prędkość cząstki [ $\frac{m}{s}$ ]

## Przejawy falowej natury cząstek:

- 1) Strumień elektronów przechodzący w pobliżu krawędzi przedmiotu daje małe ekranowe obrazy zbudowany z pręg.
- 2) Wiązka przyspieszonych elektronów po oddziaływaniu z kryształem ulega dyfrakcji.
- 3) Wiązka elektronów po przejściu przez folię cienką krystalicznego daje małe ekranowe obrazy interferencyjne. Sieć krystaliczna pełni rolę siatki dyfrakcyjnej.
- 4) W mikroskopie elektronowym strumień przyspieszonych elektronów przechodząc przez preparat daje obraz o zdolności rozdzielczej wielokrotnie większej niż w mikroskopach optycznych.