

# Zjawisko fotoelektryczne

Programy użytkowe

---

Natalia Serwin    Tomasz Targiel    Kacper Mordarski

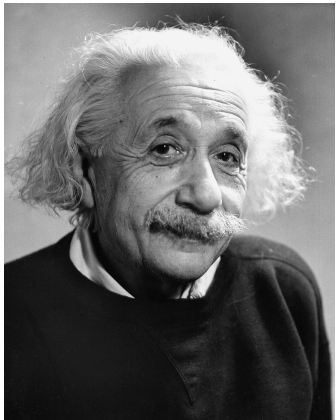
Styczeń 2021

Fizyka komputerowa, Wydział Fizyki i Astronomii, Uniwersytet Wrocławski

1. Fotony
2. Cechy efektu fotoelektrycznego
3. Kwantowa teoria Einsteina zjawiska fotoelektrycznego

# Fotony

---



Albert Einstein

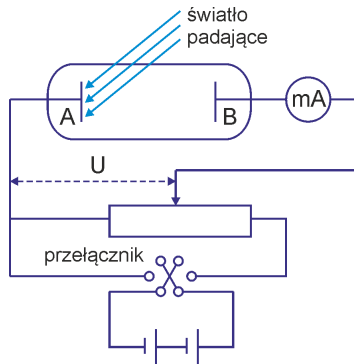
Albert Einstein wykazał, że światło nie tylko jest emitowane porcjami, ale rozchodzi się w przestrzeni jako zbiór cząstek – fotonów – i jest pochłaniane również porcjami.

Było to niezwykle odkrycie, gdyż do tej pory uważano, że światło to fala elektromagnetyczna, a wszystkie zjawiska optyczne doskonale wyjaśniała falowa teoria światła.

# Doświadczalne przedstawienie zjawiska fotoelektrycznego

W szklanej bańce, w której panuje wysoka próżnia, znajdują się dwie metalowe elektrody A i B. Światło pada na metalową płytkę A i uwalnia z niej elektrony, które nazywamy fotoelektronami.

Fotoelektrony są rejestrowane jako prąd elektryczny płynący między płytką A oraz elektrodą zbierającą B przy przyłożonym napięciu  $U$ .



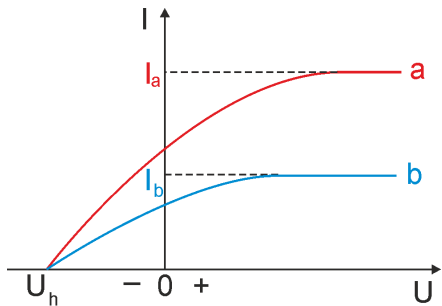
Schemat układu doświadczalnego do badania tego zjawiska

# Cechy efektu fotoelektrycznego

---

Gdy promieniowanie pada na metalową płytkę elektrody, elektrony emitowane są natychmiast, nawet przy bardzo niewielkim natężeniu promieniowania. Brak opóźnienia stoi w sprzeczności z fizyką klasyczną, w ramach której przewiduje się, że zwłaszcza przy niskim natężeniu padającego światła powinno minąć nieco czasu, zanim elektrony pobiorą wystarczającą ilość energii, aby uwolnić się z powierzchni metalu. Takie opóźnienie nie jest jednak obserwowane.

# Natężenie padającego promieniowania, a energia kinetyczna elektronów



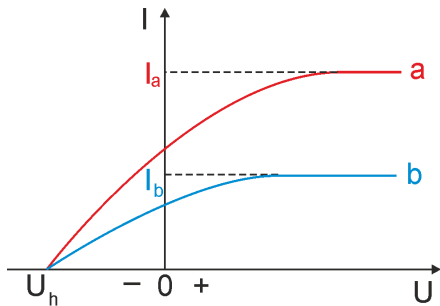
Zależność prądu fotoelektrycznego od przyłożonego napięcia  $U$

Opuszczający powierzchnię płytki fotoelektron ma energię kinetyczną  $E_{k0}$ , którą uzyskał od padającego promieniowania. Jego energia potencjalna zmienia się o  $q\Delta V$ , gdzie  $\Delta V$  jest różnicą potencjałów, a  $q=-e$ .

Z zasady zachowania energii wynika więc, że  $\Delta E_k - e\Delta V = 0$  ( $\Delta E_k$  - zmiana energii kinetycznej fotoelektronu). Gdy przyłożymy napięcie hamowania  $-\Delta V_h$ , fotoelektron traci całą swoją energię kinetyczną  $E_{ki}$  i zatrzymuje się.



# Natężenie padającego promieniowania, a energia kinetyczna elektronów



Zależność prądu fotoelektrycznego od przyłożonego napięcia  $U$

Bilans energetyczny wyraża się wtedy następująco:  $(0I - E_{k0}) - e(-\Delta V_h) = 0I$ , z czego wynika, że  $E_{k0} = e\Delta V_h$ . Napięcie hamowania pozwala nam więc wyznaczyć maksymalną energię kinetyczną  $E_{kmax}$  emitowanych elektronów

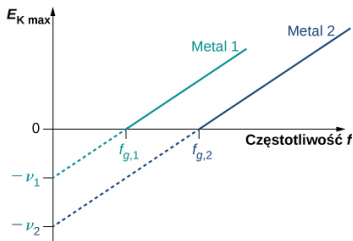
$$E_{kmax} = e\Delta V_h$$

Napięcie hamowania, a więc i maksymalna wartość energii kinetycznej fotoelektronów nie zależą od natężenia światła.

Dla każdej metalowej powierzchni, na którą pada promieniowanie, istnieje pewna częstotliwość tego promieniowania, poniżej której nie rejestruje się fotoprądu – innymi słowy zjawisko fotoelektryczne nie zachodzi. Wielkość taką nazywamy częstotliwością progową i jest ona charakterystyczna dla danego metalu.

Dane eksperymentalne pokazują liniową zależność – maksymalna energia kinetyczna fotoelektronów rośnie liniowo ze zwiększającą się częstotliwością padającego promieniowania.

# Częstotliwość progowa



Liniowy wzrost energii kinetycznej ze zwiększającą się częstotliwością podającego promieniowania

Pomiary dokonywane dla różnych metali dają liniową zależność z tym samym nachyleniem wykresu. Żadna z tych obserwacji nie daje się pogodzić z fizyką klasyczną (energia kinetyczna fotoelektronów powinna zależeć od natężenia padającego światła). Fizyka klasyczna nie przewiduje istnienia częstotliwości progowej. W klasycznym obrazie elektrony pobierają energię od promieniowania w sposób ciągły, ich energia kinetyczna powinna zależeć tylko od natężenia padającego światła, a efekt powinien zachodzić zawsze, niezależnie od częstotliwości.

# Kwantowa teoria Einsteina zjawiska fotoelektrycznego

---

Efekt fotoelektryczny został wyjaśniony w 1905 roku przez Alberta Einsteina. Założył on, że skoro hipoteza Plancka o kwantach energii poprawnie opisywała wymianę energii między promieniowaniem elektromagnetycznym i ścianami wnęki, to powinna być ona także zastosowana do opisu absorpcji promieniowania przez fotoelektrodę. Zapostulował on tezę, że fala elektromagnetyczna niesie energię w dyskretnych porcjach. Einstein rozszerzył hipotezę Plancka, postulując, że samo światło składa się z kwantów promieniowania (fotonów). Innymi słowy, że fale elektromagnetyczne są skwantowane.

# Energia pojedynczego fotonu

W podejściu Einsteina wiązka monochromatycznego światła o częstotliwości  $\nu$  złożona jest z fotonów, czyli foton jest cząstką światła. Każdy foton porusza się z prędkością światła i niesie kwant energii  $E_f$ . Energia fotonów zależy tylko od częstotliwości  $\nu$  i dana jest wzorem:

$$E_f = h\nu \quad (1)$$

gdzie  $h$  jest stałą Plancka.

Jeżeli do wyrwania elektronu z metalu potrzebna jest energia  $\mathcal{W}$ , to wówczas:

$$h\nu = \mathcal{W} + E_{kmax} \quad (2)$$

Wielkość  $\mathcal{W}$  charakterystyczna dla danego metalu nazywana jest pracą wyjścia.

Zgodnie z powyższą zależnością energia  $h\nu$  fotonu, w części ( $\mathcal{W}$ ) zostaje zużyta na wyrwanie elektronu z materiału (jego przejście przez powierzchnię), a ewentualny nadmiar energii ( $h\nu - \mathcal{W}$ ) elektron otrzymuje w postaci energii kinetycznej, przy czym część z niej może być stracona w zderzeniach wewnętrznych (przed opuszczeniem materiału).

# DZIĘKUJEMY ZA UWAGĘ

## CZY MACIE JAKIEŚ PYTANIA?