



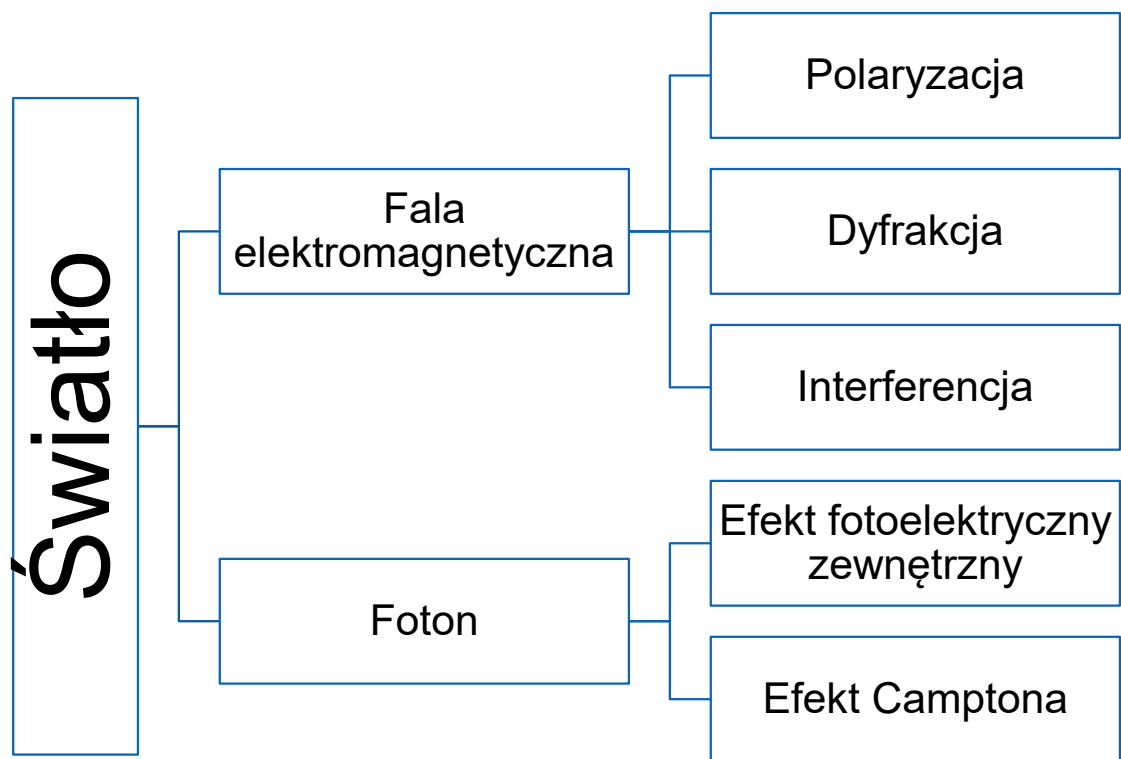
FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ II | WYKŁAD 5

Fotony i fale materii

dr inż. Katarzyna Gwóźdź

Natura światła

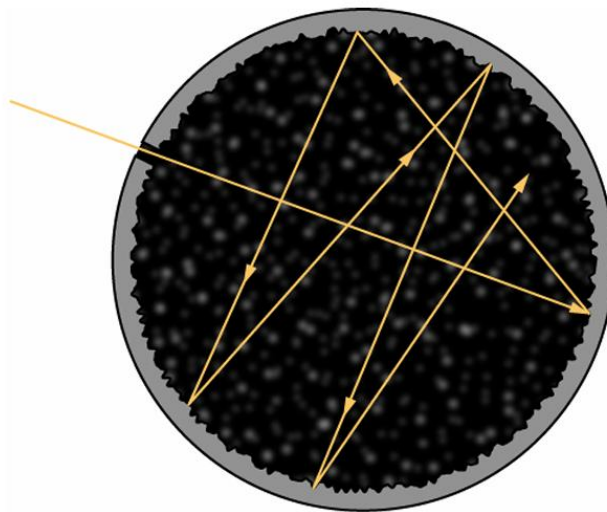
Światło może wykazywać własności falowe, ale również zachowywać się jak cząstka – foton.



Po co kolejny model światła?

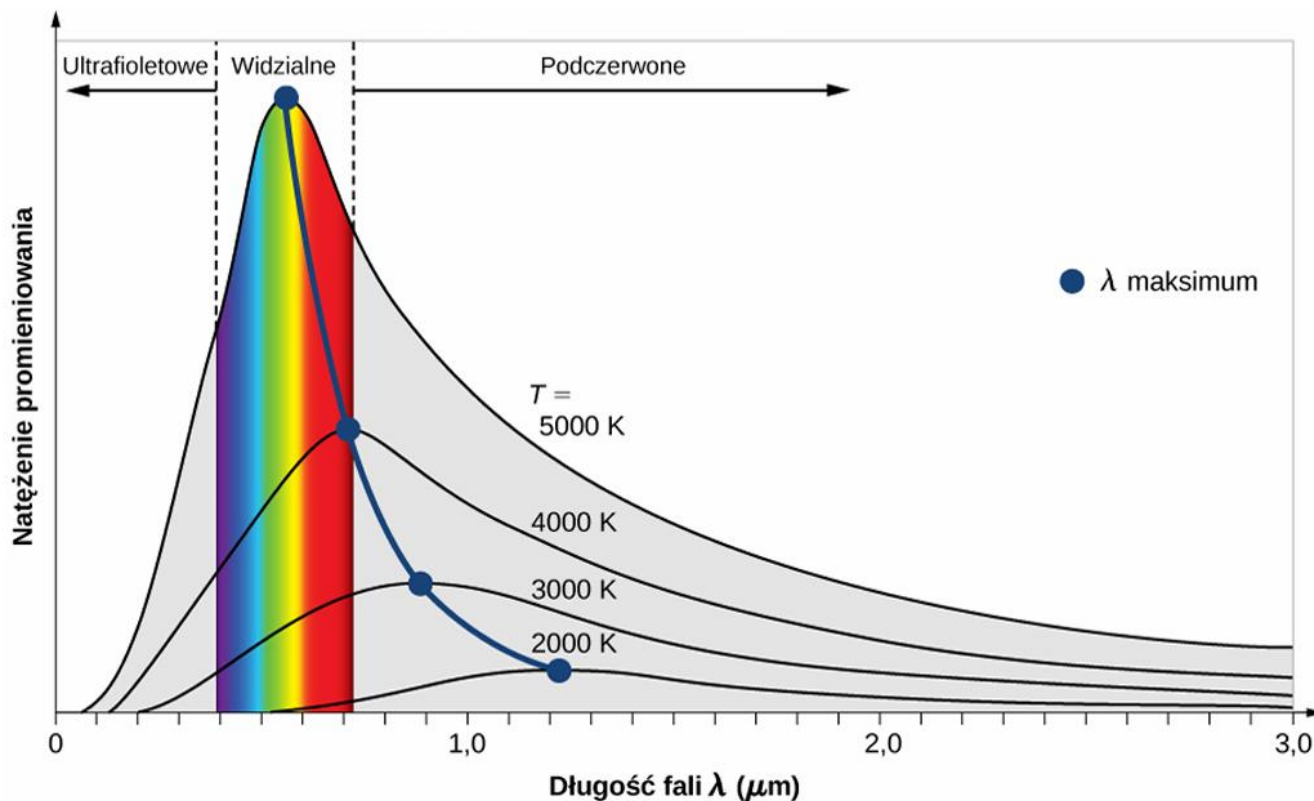
Problem z opisaniem promieniowania ciała doskonale czarnego.

Ciało doskonale czarne (CDC) – ciało pochłania całe promieniowanie padające, natomiast emisja wynika tylko z jego temperatury.



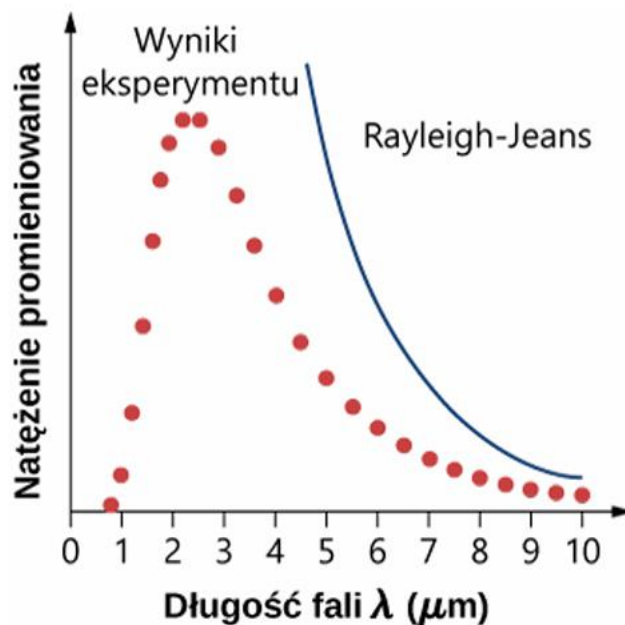
Ciało doskonale czarne

Ciało doskonale czarne (CDC) – ciało pochłania całe promieniowanie padające, natomiast emisja wynika tylko z jego temperatury.



Emisja z CDC

Opis wykorzystujący fale świetlne zakładał nieskończoną emisję dla krótkich fal – model Reyleigha-Jeansa

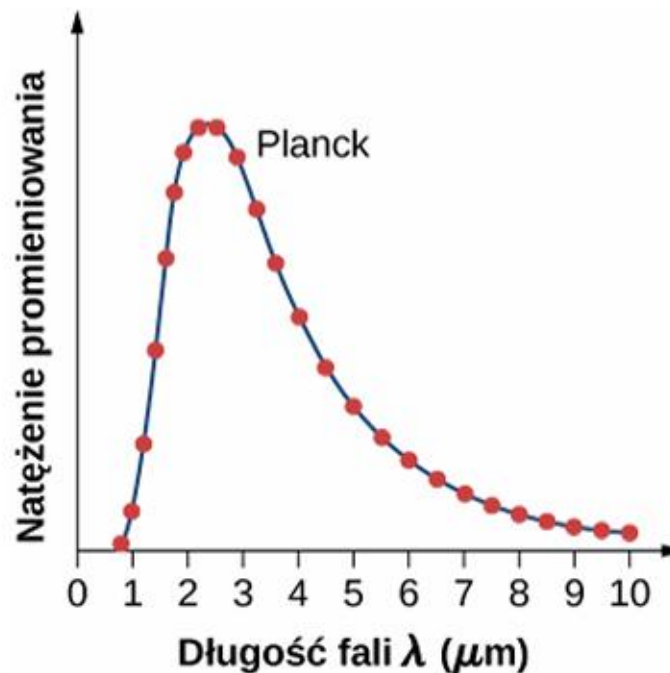


Model Plancka

Model Plancka zakładający kwantyzację energii pozwolił na wytłumaczenie danych eksperymentalnych.

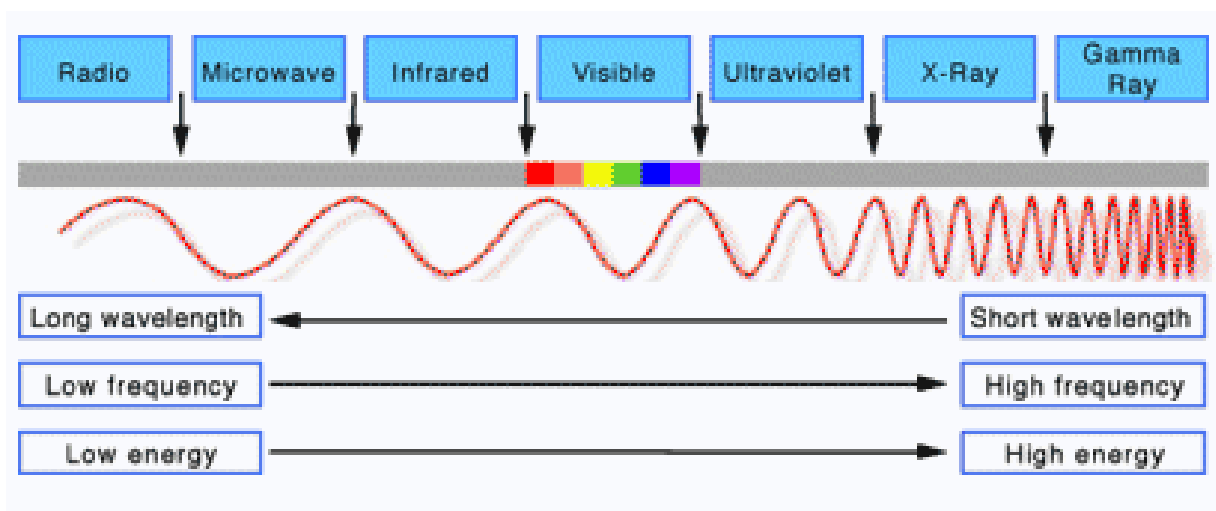
$$E_n = nh\nu \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

$$E_n = \frac{nhc}{\lambda} \quad n = 1, 2, 3 \dots$$



Foton

Cząstka elementarna, będąca kwantem pola elektromagnetycznego. Jest to najmniejsza, niepodzielna porcja (kwant) energii promieniowania elektromagnetycznego.

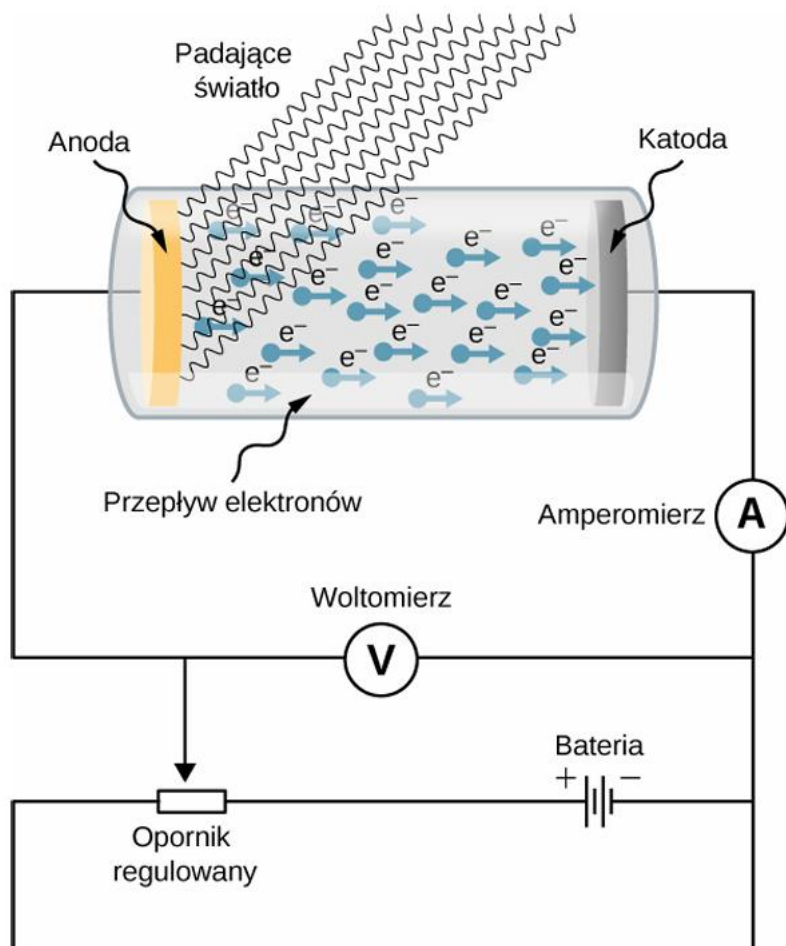


$$E_f = h\nu$$

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

<https://www.solpass.org/science4-5/light/light-standards.html>

Efekt fotoelektryczny zewnętrzny



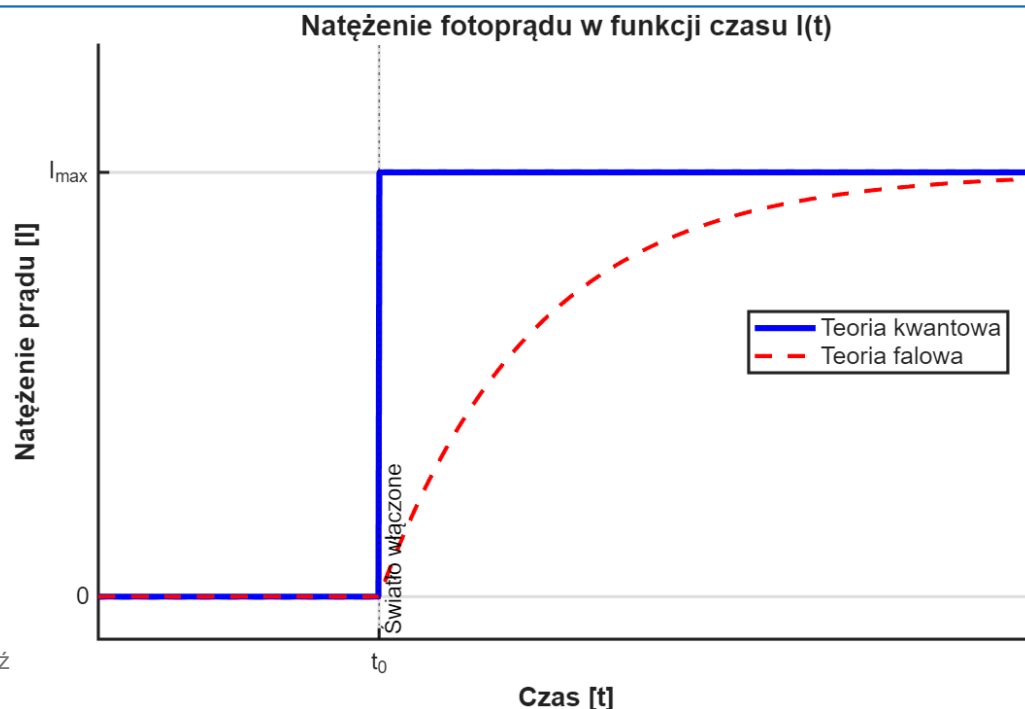
Zjawisko polegające na emisji elektronów z powierzchni ciała stałego (zazwyczaj metalu) pod wpływem padającego promieniowania elektromagnetycznego.

Udowadnia kwantową naturę światła.

Efekt fotoelektryczny zewnętrzny

Brak opóźnienia

Elektrony emitowane są natychmiast, nawet przy bardzo niewielkim natężeniu promieniowania. Nie ma efektu „ładowania” energii, które było przewidziane w podejściu klasycznym.

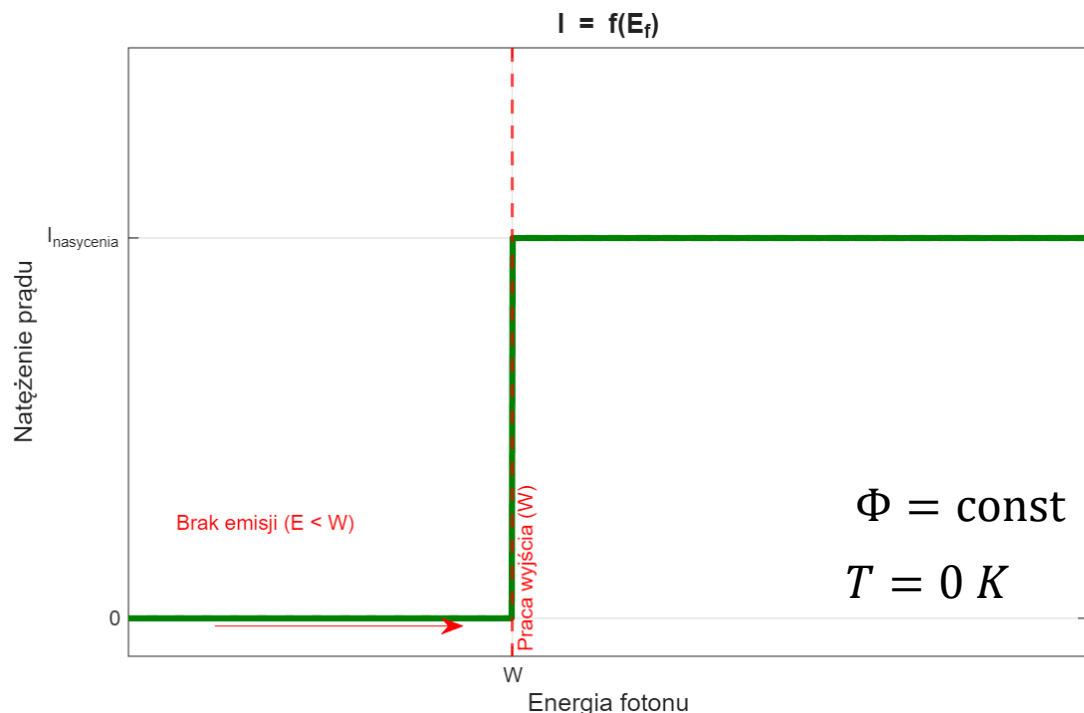


Efekt fotoelektryczny zewnętrzny

Energia progowa

Emisja zachodzi tylko wtedy, gdy energia pojedynczego fotonu jest większa lub równa pracy wyjścia (W) danego materiału.

$$E_f \geq W$$

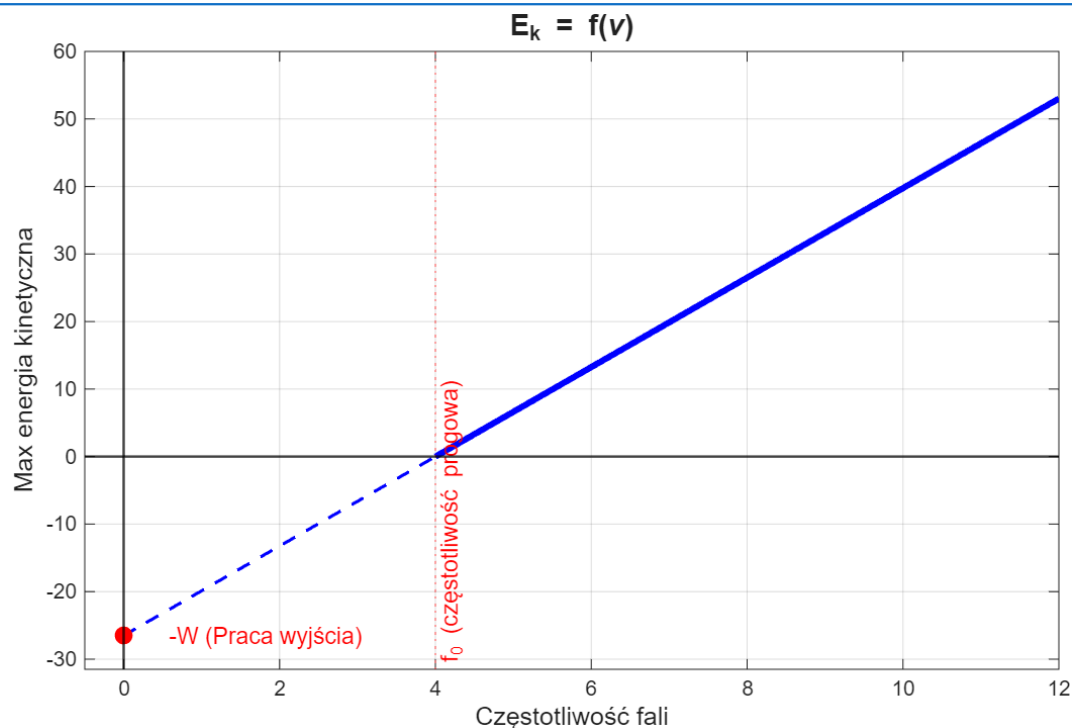


Efekt fotoelektryczny zewnętrzny

Energia kinetyczna elektronu

Nadmiar energii fotonu zostaje przekazany elektronowi w postaci energii kinetycznej.

$$E_{k \max} = h\nu - W$$



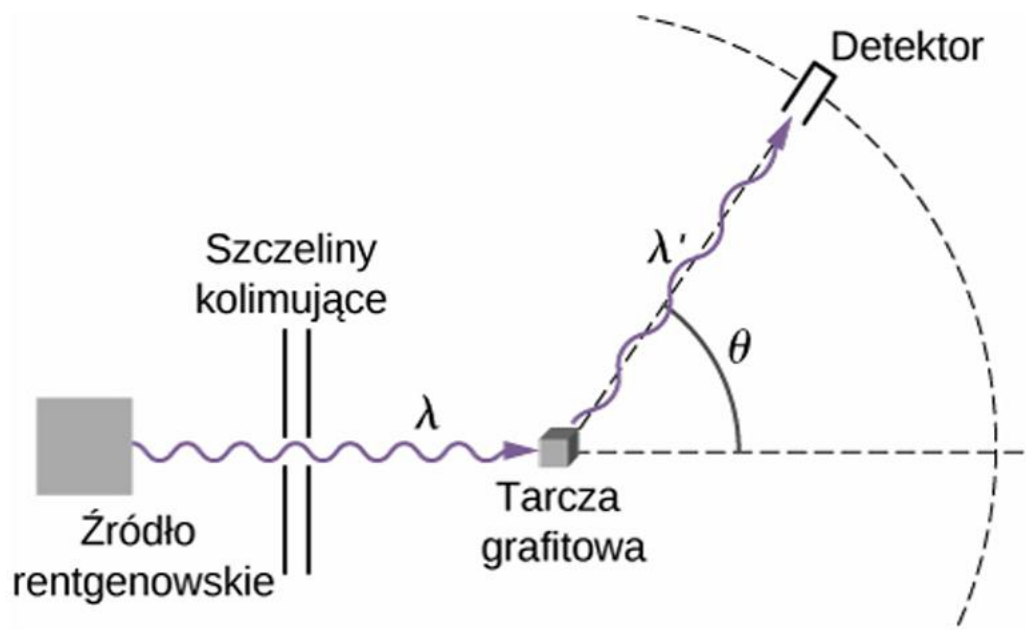
Efekt fotoelektryczny zewnętrzny

Wnioski

- Oddziaływania zachodzą pomiędzy pojedynczymi elektronami i fotonami.
- Brak opóźnienia świadczy o tym, że to oddziaływanie zachodzi natychmiast.
- Natężenie światła odpowiada liczbie fotonów padających na powierzchnię metalu w jednostce czasu. Nawet przy bardzo małych wartościach natężenia efekt fotoelektryczny wciąż występuje, gdyż oddziaływanie zachodzi pomiędzy jednym elektronem i jednym fotonem.
- Tak długo, jak pada chociaż jeden foton z wystarczająco dużą energią, aby wybić z metalu elektron, tak długo zjawisko elektryczne będzie zachodziło.

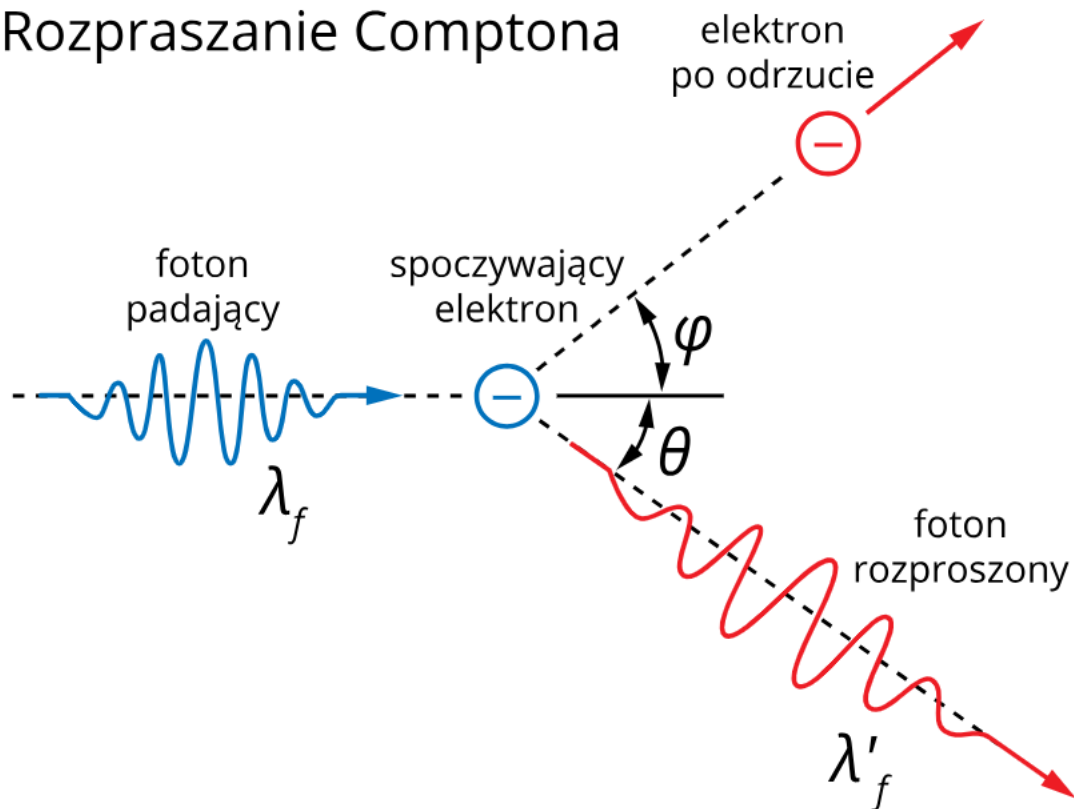
Efekt Comptona

Zjawisko sprężystego rozpraszania promieniowania rentgenowskiego lub gamma na swobodnych elektronach. W wyniku tego procesu foton traci część energii na rzecz elektronu, co objawia się zwiększeniem długości fali rozproszonego promieniowania.



Efekt Comptona

Rozpraszanie Comptona



Fotony posiadają pęd:

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

Fale materii – hipoteza de Broglie'a

Dualizm korpuskularno-falowy jest uniwersalną cechą materii. Każdemu obiektowi materialnemu o pędzie można przypisać falę o określonej długości.

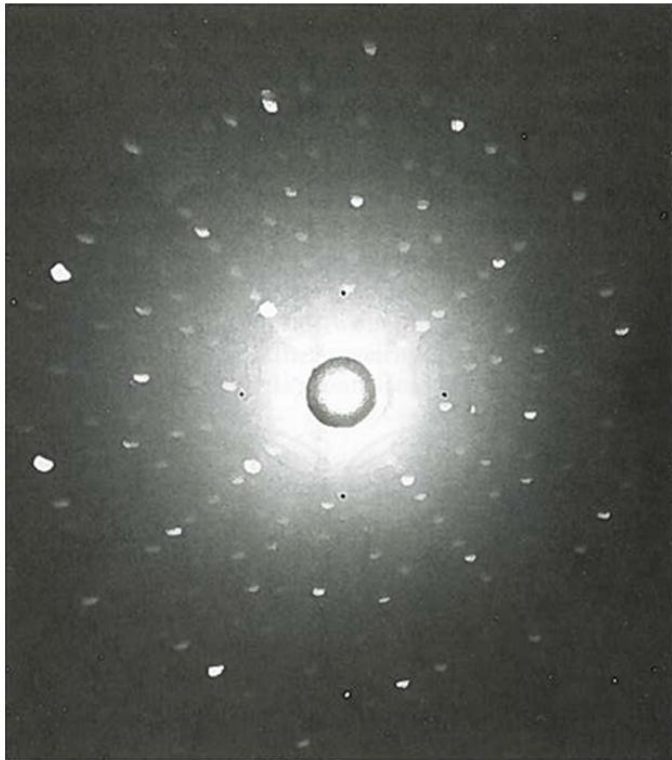
$$E = h\nu$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

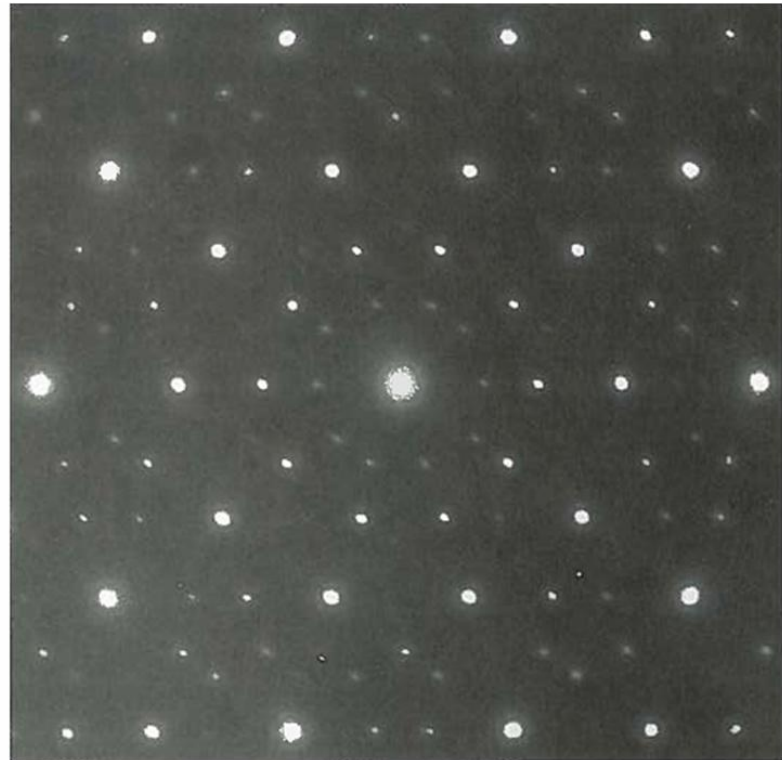
$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Fale materii – hipoteza de Broglie'a

Obraz dyfrakcyjny uzyskany z rozpraszania z promieni rentgenowskich (a) oraz elektronów (b) na kryształach



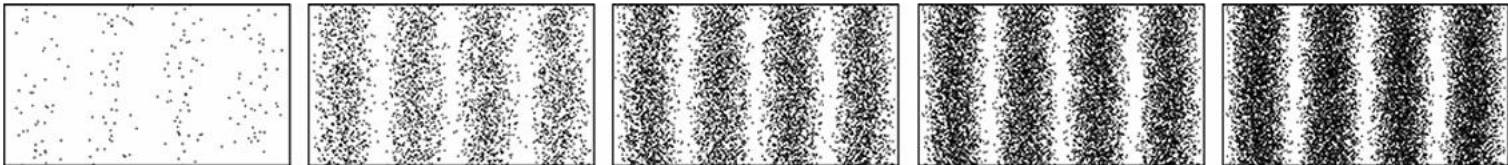
(a)



(b)

Fale materii – hipoteza de Broglie'a

Prążki tworzą się niezależnie od tego, czy elektrony przechodzą pojedynczo, czy też jako wiązka.



Zasada nieoznaczoności Heisenberga

Fundamentalne prawo przyrody, które stwierdza, że nie jest możliwe jednoczesne, dowolnie dokładne wyznaczenie pewnych par wielkości fizycznych (tzw. wielkości sprzężonych), takich jak położenie i pęd cząstki.

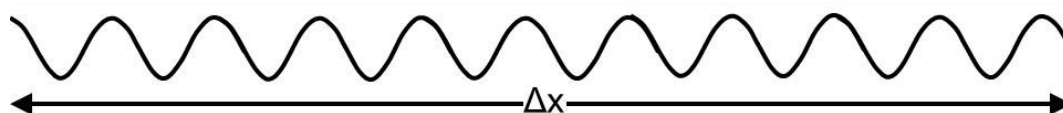
To nie jest błąd pomiarowy! Nieoznaczoność nie wynika z niedoskonałości naszych przyrządów. To immanentna cecha natury wynikająca z faktu, że cząstka jest jednocześnie falą.

Aby "zobaczyć" cząstkę (wyznaczyć jej położenie), musimy w nią czymś uderzyć (np. fotonem). To uderzenie nieuchronnie zmienia jej pęd.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Zasada nieoznaczoności Heisenberga

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$



small Δp – only one wavelength

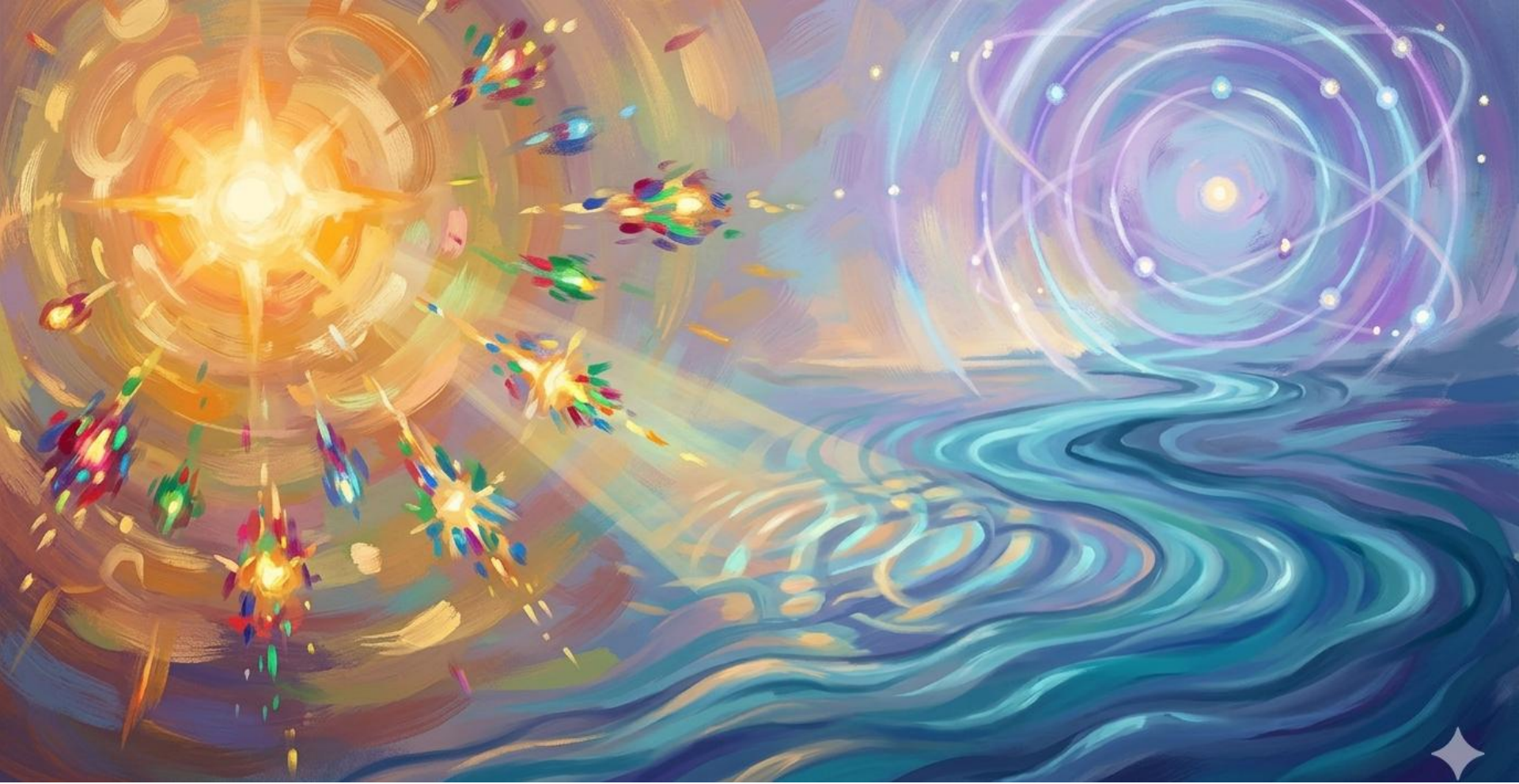


medium Δp – wave packet made of several waves



large Δp – wave packet made of lots of waves

<https://kaiserscience.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/12/heisenberg-uncertainty-principle.jpg>



FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ II | WYKŁAD 5

Dziękuję za uwagę!

dr inż. Katarzyna Gwóźdź