

Co to jest dualizm korpuskularno-falowy elektronu?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Co to jest dualizm korpuskularno-falowy elektronu?

Fale tworzone na tafli jeziora są łatwe do zaobserwowania, podczas gdy falowa natura światła była dla nas przez długi czas zagadką.

Źródło: dostępny w internecie: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com), domena publiczna.

Jaka jest prawdziwa natura elektronu? A jaka światła? Czy jest to fala ciągła, czy może źródło bardzo małych cząstek? Te pytania od dawna zajmowały naukowców i na przestrzeni wieków wielu fizycy prowadzili debatę w tej sprawie. Proponowane teorie uzupełniały się i wykluczały zarazem. Dopiero po latach, rozwój mechaniki kwantowej, eksperymenty i obliczenia matematyczne ujawniły istotną, a zarazem zadziwiającą cechę materii: dualizm korpuskularno-falowy.

### Twoje cele

- Uporzędkujesz swoją wiedzę na temat rodzajów promieniowania elektromagnetycznego.
- Zdefiniujesz pojęcia: kwant, częstotliwość graniczna, praca wyjścia.
- Zastosujesz wzór na energię kwantu do wyznaczenia częstotliwości granicznej promieniowania.
- Zdecydujesz, które zjawiska zachodzą zgodnie z naturą falową, a które w oparciu o teorię korpuskularną.

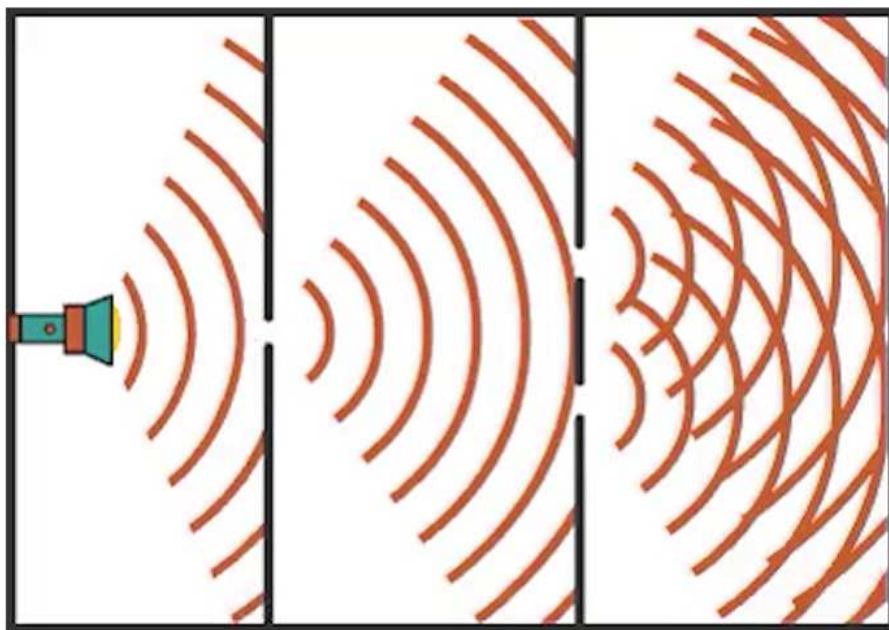
# Przeczytaj

---

## Światło jest falą

Teoria określona jako dualizm korpuskularno-falowy elektronu (dualizm = **dwoistość**, korpuskuła = **cząstka**) nie mogłaby powstać, gdyby nie pytania związane z naturą światła. Pierwszą próbę matematycznego opisu światła podjął **Christiaan Huygens** (czyt. høichəns). Twierdził, że światło jest falą kolistą, podobną do tej obserwowanej na powierzchni wody. W tym samym czasie **Izaak Newton** (czyt. nju:tn) założył z kolei, że światło jest strumieniem cząstek (korpuskuł), emitowanych przez źródło promieniowania. Cząstki te miały rozchodzić się liniowo w przestrzeni. „Wygrała” w końcu teoria zaproponowana przez Newtona i obowiązywała do momentu, aż francuz **Augustin-Jean Fresnel** (czyt. frenel) oraz Anglik **Thomas Young** (czyt. jaŋ) wykazali eksperymentalnie, że to właśnie Huygens miał rację i światło jednak jest falą.

Thomas Young badał zachowanie światła w eksperymencie z podwójną szczeliną (**interferencji**). W trakcie eksperymentu spodziewał się, że jeśli światło skrywa naturę korpuskularną, to na ekranie ujrzy dwa paski, leżące naprzeciwko szczelin. Jeśli jednak światło zachowuje się jak fala, to zobaczy wzór interferencyjny. Wynik eksperymentu pokazał na ekranie pojawienie się licznych prążków, co oznaczało, że – podobnie jak nakładające się fale na wodzie – światło ulega wzmocnieniu lub osłabieniu.

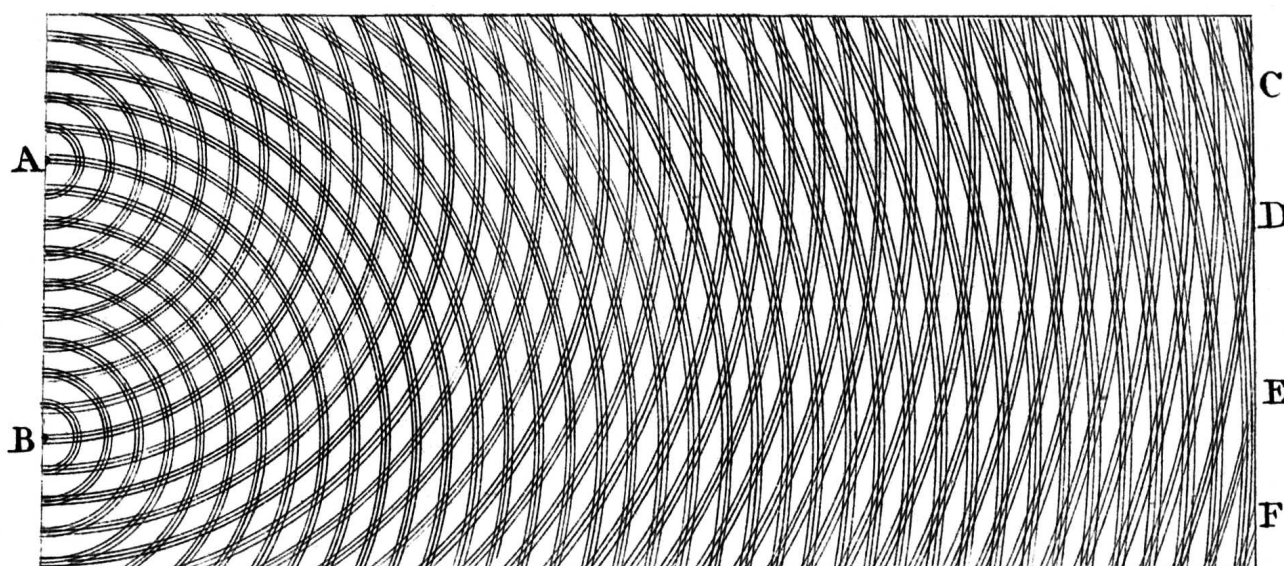


Film dostępny pod adresem </preview/resource/R16xmiNa6CtDD>

Eksperyment z podwójną szczeliną polega na przepuszczeniu światła przez dwie blisko siebie położone szczeliny, następnie obserwuje się obraz powstający na ekranie. Wskutek interferencji na ekranie powstają jasne i ciemne prążki w obszarach, w których światło jest wygaszane lub wzmacniane.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

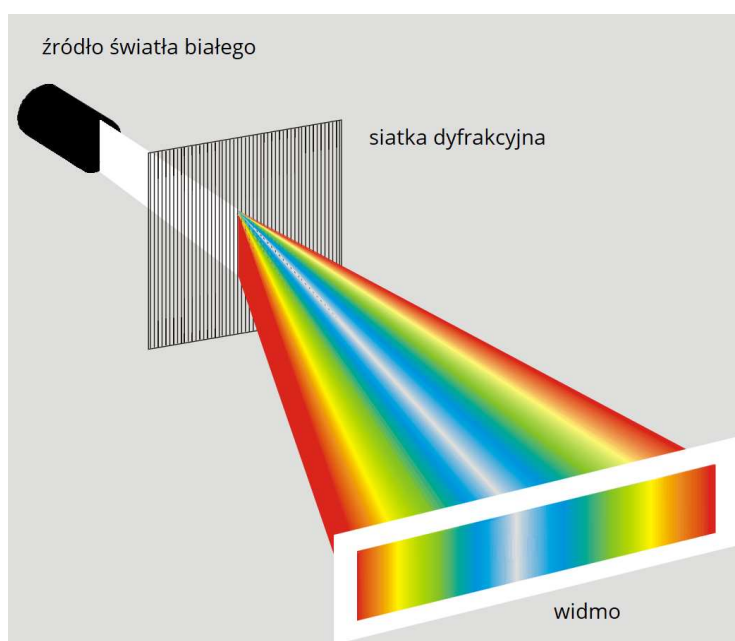
Na filmie przedstawiona jest animacja w której na jasnym tle po lewej stronie umieszczona jest zapalona latarka. Światło bijące od świeczki pada na pierwszą barierę z pojedynczą, wąską szczeliną. Część promieni przechodzi przez szczelinę i natrafia na drugą barierę zawierającą dwie, wąskie szczeliny. Kolejna część promieni przechodzi przez szczeliny, dając efekt nakładania się na siebie wiązek światła, które rozchodzą się promieniście.



Szkic Thomasa Younga, dotyczący interferencji na podstawie obserwacji fal wodnych

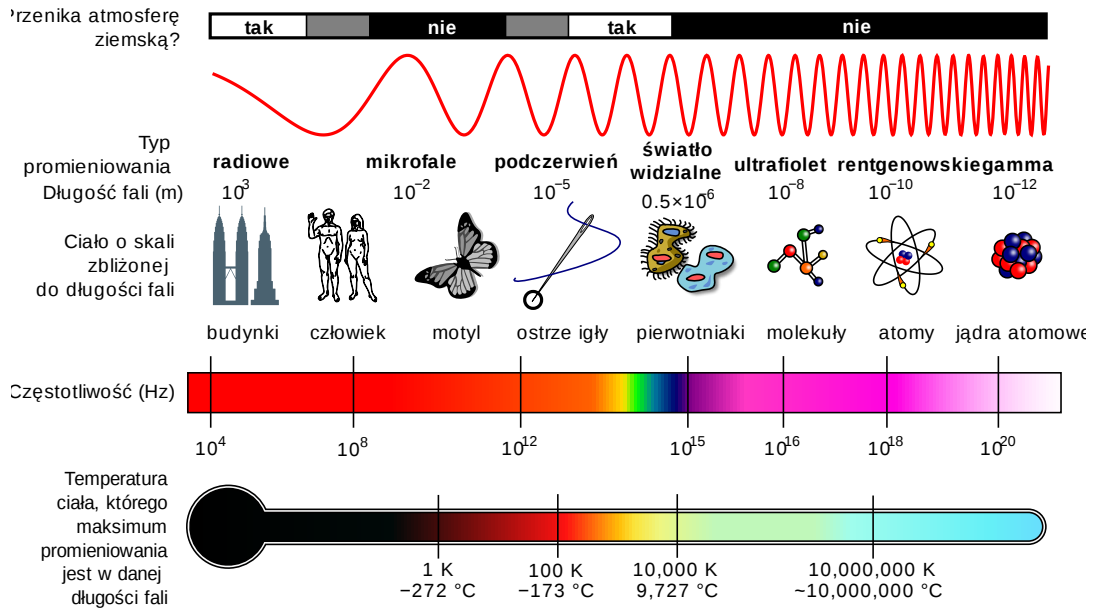
Ostateczne ugruntowanie teorii falowej przyniosły prace **Maxwella** (czyt. mąksuela) i **Hertza** (czyt. herca), którzy odkryli istnienie fal elektromagnetycznych oraz określili ich podstawowe właściwości. Wówczas przyjęto, że dwie niezależne grupy zjawisk (korpuskularne i falowe) mogą być opisane przez dwie niezależne teorie – odpowiednio teorię Newtona oraz teorię Maxwella.

Wprowadzone przez Maxwella równania (określone w oparciu o teorię falową), opisujące **fale elektromagnetyczne**, przyczyniły się do wyjaśnienia wielu zjawisk, związanych nie tylko ze światłem, ale i elektrycznością czy polem magnetycznym.



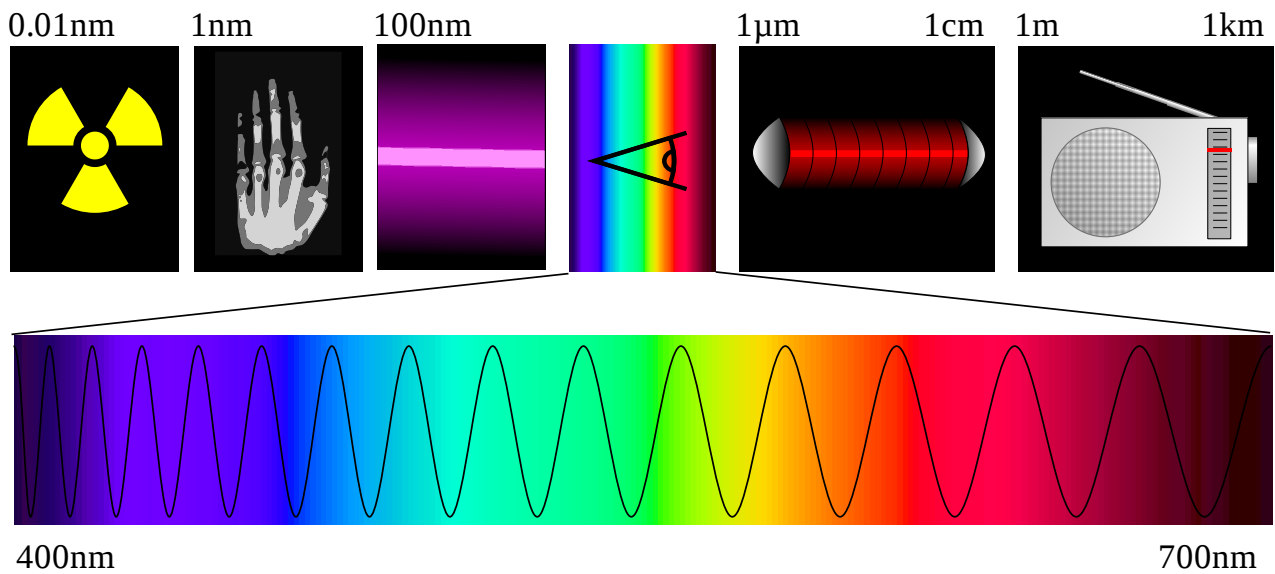
Fragment widma ciągłego, uzyskiwanego po przepuszczeniu przez siatkę dyfrakcyjną światła białego. Fala płaska padająca na siatkę dyfrakcyjną zostaje rozłożona na fale składowe, które widoczne są na ekranie w postaci widma.

Źródło: MPasternak, zmienione, [pl.wikipedia.org](http://pl.wikipedia.org), licencja: CC BY-SA 3.0.



## Widmo (spektrum) fal elektromagnetycznych

Źródło: dostępny w internecie: [www.wikiwand.com/pl/Promieniowanie\\_elektromagnetyczne](http://www.wikiwand.com/pl/Promieniowanie_elektromagnetyczne), licencja: CC BY-SA 3.0.



Światło widzialne na tle całego spektrum fal elektromagnetycznych. W pustej przestrzeni fale świetlne poruszają się z prędkością  $2,998 \cdot 10^8$  m/s. Szeroki zakres długości fal tworzy widmo fal elektromagnetycznych.

Źródło: Phrood, Tatoute, Wikipedia, licencja: CC BY-SA 3.0.

Światło składa się z cząstek

Niesamowity okazał się fakt, że światło składa się z cząstek, a energia kwantu może być wyrażona wzorem:

$$\varepsilon = h \cdot f$$

gdzie:

- $\varepsilon$  – energia **fotonu** (cząstki światła) [J];
- $f$  – **częstotliwość** fali świetlnej [Hz];
- $h$  – stała Plancka równa  $6,625 \cdot 10^{-34}$  [J · s].

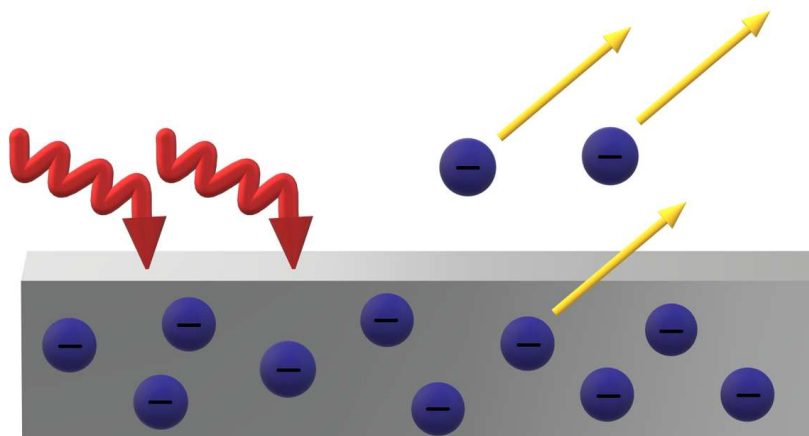
**Albert Einstein** (czyt. ąinsztain) (najsławniejszy fizyk na świecie) wykazał, że światło nie tylko jest emitowane porcjami (w postaci kwantów), ale również rozchodzi się w przestrzeni jako zbiór cząstek (fotonów) i jest pochłaniane porcjami. Było to niezwykle odkrycie, ponieważ do tej pory uważano, że światło to fala elektromagnetyczna, a wszystkie zjawiska optyczne doskonale wyjaśniała falowa teoria światła. To właśnie Einstein założył, że światłem są cząstki (nazwane później fotonami), co opisał w publikacji w 1905 roku. Odkrycie to było głównym powodem przyznania mu Nagrody Nobla w 1921 roku.

Pojęcie kwantu posłużyło Einsteinowi do wyjaśnienia **zjawiska fotoelektrycznego**, a tym samym potwierdzenia korpuskularnej natury fali elektromagnetycznej. Podczas zachodzenia tego zjawiska, energię promieniowania wyrażono za pomocą równania:

$$\varepsilon = h \cdot f = W + E_{\text{kin}}$$

gdzie:

- $W$  – **praca wyjścia** elektronu z powierzchni metalu [J];
- $E_{\text{kin}}$  – maksymalna energia kinetyczna emitowanych elektronów [J].



Zjawisko fotoelektryczne. Padające na metalową płytkę fotony (oznaczone symbolicznie czerwonymi strzałkami) wybijają znajdujące się w niej elektrony (żółte wektory symbolizują ruch elektronów).

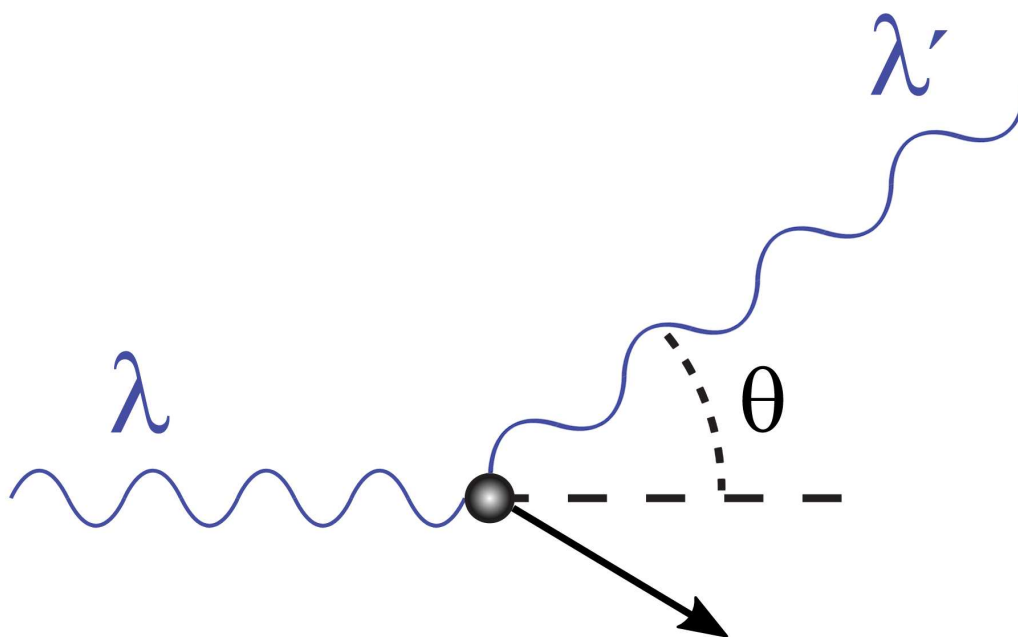
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Po dokonaniach Einsteina pojawiło się w fizyce pojęcie **dualizmu korpuskularno-falowego**. Tym samym udało się wyjaśnić, dlaczego np. światło niebieskie niesie ze sobą więcej energii niż światło czerwone. Wynika to z faktu, że energia fotonu jest wprost proporcjonalna do jego częstotliwości.

$$\varepsilon = h \cdot f$$

Im wyższa częstotliwość fali świetlnej, tym wyższa energia kwantu. Jeśli spojrzymy na widmo fal elektromagnetycznych, zauważymy, że światło niebieskie ma wyższą częstotliwość niż światło czerwone. Tym samym światło niebieskie niesie więcej energii niż światło czerwone.

Przy omawianiu dualizmu korpuskularno-falowego, za jeden z najistotniejszych przykładów podaje się **zjawisko Comptona** (czyt. kɔmptɔna), interpretowane jako sprężyste zderzenie fotonu z początkowo nieruchomym elektronem (rysunek poniżej). Podczas tego zjawiska zachowane są pęd i energia fali elektromagnetycznej. Zachowanie fali świetlnej wobec elektronu można tu porównać do zderzenia piłki ze ścianą. Po odbiciu fali elektromagnetycznej od elektronu następuje zwiększenie długości fali rozproszonego fotonu (tzw. przesunięcie Comptona), co jest zależne od kąta rozproszenia fotonu.



Schemat zjawiska Comptona:

$\lambda$  – długość fali padającej;

$\lambda'$  – długość fali rozproszonej;

$\theta$  – kąt rozproszenia fotonu.

Źródło: JabberWok, zmienione, Wikipedia, licencja: CC BY 3.0.

Z eksperymentu Comptona jasno wynika, że fala wykazuje naturę korpuskularną, czyli jest strumieniem cząstek zwanych fotonami. Jednocześnie, w tym samym doświadczeniu, pomiar energii (długości fali) rozproszonego promieniowania wykorzystuje falową naturę światła, a dokładnie – zjawisko [dyfrakcji](#).

## A co z elektronem?

Zaskakujący był fakt, że dualizm korpuskularno-falowy nie dotyczy tylko promieniowania elektromagnetycznego (bo tym w istocie jest światło), lecz wszystkiego (np. atomów, elektronów, protonów)! Louis de Broglie (czyt. bröj) wykazał, że ruch fotonów oraz cząstek, takich jak elektrony, protony, neutrony, ma charakter falowy podobnie jak światło, a ich energia jest opisana również relacją:

$$\varepsilon = h \cdot f$$

Tym samym uczony zasugerował, że pęd  $p$  obiektu związany jest z długością przypisaną mu fali następującą równością:

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

Połączenie cech korpuskularnych i falowych dało równanie opisujące długość fali (fali materii):

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

Równanie to oznacza, że w pewnych warunkach, poruszającą się cząstkę można traktować jak falę, którą nazywamy falą materii lub **falą de Broglie'a**, gdzie:

- $h$  – stała Plancka równa  $6,625 \cdot 10^{-34}$  [J · s]
- $p = mv$  – pęd cząstki  $\left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right]$ .

Uzyskane w kolejnych latach wyniki doświadczalne stanowiły dowód na to, że cząstki materialne poruszają się zgodnie z prawami ruchu falowego. Po latach powtórzono eksperyment Younga z podwójną szczeliną, ale tym razem dla elektronów. Jako wynik otrzymano jaśniejsze i ciemniejsze prążki na ekranie.



Obraz interferencyjny elektronów

Źródło: dostępny w internecie: [pl.wikipedia.org](http://pl.wikipedia.org), domena publiczna.

**Interferencja** elektronów (a w innym doświadczeniu **dyfrakcja**) potwierdziły, że nie tylko promieniowanie wykazuje podwójny charakter, ale również cząstki w niektórych sytuacjach ujawniają swój charakter falowy i należy je traktować jak fale materii.

### Co wynika z dualizmu? Czy jest to tylko teoria?

Powyższe rozważania skłaniają do wniosku, że zjawisk, które wyjaśnia teoria falowa (takich jak emisja czy pochłanianie światła), nie można zrozumieć na gruncie teorii kwantowej. I odwrotnie. Każda z tych teorii wyjaśnia innego rodzaju zjawiska. Gdyby twórcy obu teorii mogli się spotkać w tym samym miejscu i czasie, to na pewno mogliby wymienić uścisk dłoni i pogratulować sobie wspólnego dzieła, jakim jest dualizm korpuskularno-falowy. Prowadzona przez lata batalia o naturę światła i materii nie była zbyteczna, pozwoliła bowiem na rozwój nauki i techniki, m.in. fotografii cyfrowej, która bez pojęcia dualizmu nie mogłaby powstać.



Zastosowanie dualizmu korpuskularno-falowego w aparatach cyfrowych. Światło ugina się po przejściu przez soczewkę aparatu (natura falowa), a następnie, z uwagi na korpuskularny charakter, jest rejestrowane przez matrycę aparatu.

Źródło: dostępny w internecie: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com), domena publiczna.

## Słownik

### **interferencja fal**

zjawisko wzmocnienia lub osłabienia dwóch lub więcej fal w zależności od sposobu ich nakładania się

### **kwant**

(łac. *quantum* „ile”) najmniejsza porcja, o jaką może się zmienić dana wielkość fizyczna określonego układu fizycznego

### **siatka dyfrakcyjna**

przyrząd do przeprowadzania analizy widmowej światła; tworzy ją układ równych, równoległych i jednakowo rozmieszczonych szczelin

### **zjawisko fotoelektryczne**

zjawisko zachodzące w ciałach pod wpływem padającego na nie promieniowania elektromagnetycznego (z zakresu opt.); zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne odkryli, niezależnie od siebie, fizycy niem.: H. Hertz (1887) i W. Hallwachs (1888); jego wyjaśnienie na podstawie teorii kwantów podał 1905 r. A. Einstein

### **praca wyjścia**

praca, jaką trzeba wykonać, aby wyprowadzić elektron przewodnictwa z wnętrza ciała stałego (metal lub półprzewodnika) do miejsca, znajdującego się na zewnątrz ciała, tuż nad jego powierzchnią (ale w odległości dużej w skali atomowej)

## dyfrakcja fal

ugięcie fal; zmiana kierunku rozchodzenia się fali po przejściu przez wąską szczelinę na brzegach nieprzezroczystych przesłon, a także na niejednorodnościach ośrodka, i to tym wyraźniej, im bardziej rozmiary przeszkód (otworów) są zbliżone do długości fali

### częstotliwość

wielkość fizyczna określająca liczbę cykli zjawiska okresowego występującego w jednostce czasu; w układzie SI jednostką częstotliwości jest herc [Hz]

## Bibliografia

Atkins P., Jones L., *Chemia ogólna. Cząsteczki, materia, reakcje*, Warszawa 2004.

Bieleński A., *Podstawy Chemii nieorganicznej*, t. 1, Warszawa 2010.

Czerwiński A., Czerwińska A., Jeziorna M., Kańska M., *Chemia 3. Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego, liceum profilowanego, technikum*, Warszawa 2004.

Encyklopedia PWN

Compton A. H., *A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements*, „*Physical Review*” 1923, 21, s. 483.

Hassa R., Mrzigod A., Mrzigod J., Sułkowski W., *Chemia 1. Podręcznik i zbiór zadań w jednym*, Warszawa 2003.

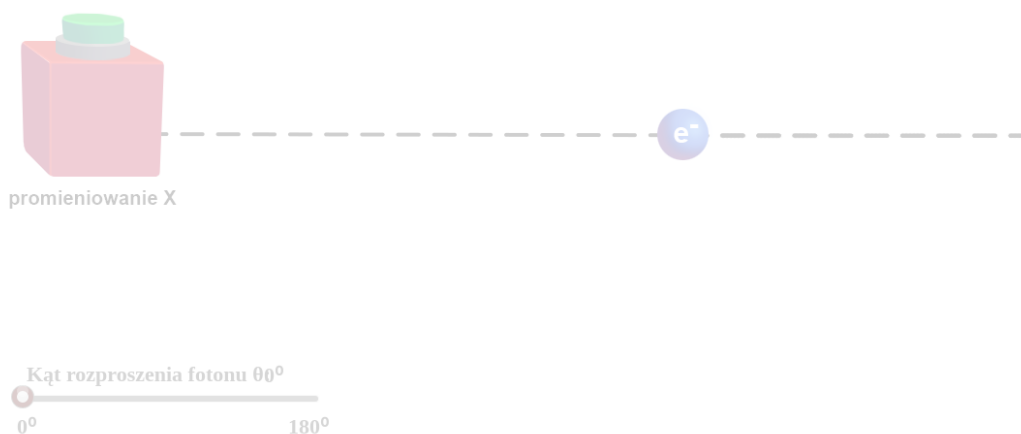
Wróblewski A. K., *Historia fizyki. Od czasów najdawniejszych do współczesności*, Warszawa 2007, s. 463–466.

Usnalski W., *Chemia w szkole średniej*, Warszawa 1998.

# Symulacja interaktywna

## Symulacja 1

Zapoznaj się z poniższą symulacją. Przy pomocy zielonego przycisku generuj fale promieniowania. Manipulując wartością kąta rozproszenia fotonu, przeanalizuj jakościowo wpływ kąta rozproszenia fotonu na długość fali rozproszonej fotonu, prędkość elektronu oraz kąt jego wybicia.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DtidT0f3J>

Symulacja interaktywna pt. „Efekt Comptona”

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 1

## Ćwiczenie 2

Znając wzór na energię fotonu ( $E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ ), gdzie:

- $h$  – stała Plancka;
- $c$  – prędkość światła w próżni;
- $\lambda$  – długość fali;

Wyjaśnij, co dzieje się z energią fotonu, gdy rośnie kąt jego rozproszenia.

## Ćwiczenie 3

Odpowiedz, jaki efekt obserwujemy, gdy kąt rozproszenia fotonu ( $\theta$ ) przyjmuje wartość  $180^\circ$ .

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Połącz w pary pojęcia z ich definicjami.

interferencja fal

porcja energii, jaką może pochłonąć lub przekazać układ (np. atom) podczas przejścia z jednego stanu do innego.

częstotliwość

zjawisko nakładania się dwóch lub więcej fal.

kwant energii

wielkość fizyczna charakteryzująca zjawiska powtarzające się w po upływie stałego odstępu czasu, zw. okresem  $T$ . W układzie SI jednostką tej wielkości jest herc [Hz].

efekt fotoelektryczny

zjawisko polegające na pochłanianiu promieniowania optycznego przez ciało stałe, ciecz lub gaz; procesowi temu towarzyszą zjawiska elektryczne, np. emisja elektronów z metalu.

## Ćwiczenie 2



Zaznacz prawidłową odpowiedź.



Foton padający na powierzchnię metalu o odpowiedniej częstotliwości może wybić z jego powierzchni zawsze dwa elektrony.



Efekt fotoelektryczny zależy od długości fali padającego promieniowania.



Praca wyjścia elektronu w zjawisku fotoelektrycznym jest dla każdego metalu taka sama.

### Ćwiczenie 3



Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Zjawiska interferencji nie można zaobserwować:

po przepuszczeniu światła lasera przez dwie, blisko siebie położone szczeliny.

po wrzuceniu do wody w tym samym momencie dwóch kamieni.

po naświetleniu metalu światłem z zakresu widzialnego.

po dodaniu drugiego źródła fal na fale akustyczne.

## Ćwiczenie 4



Wstaw w tekst odpowiednie wyrażenia.

W 1905 r. Albert Einstein zaproponował, że światło ma także pewne właściwości [ ]. Jego teoria wyjaśniałaby zjawisko znane jako [ ]. Zjawisko to, obok efektu [ ], stało się kluczowym dowodem na kwantową naturę światła. Według Einsteina światło można opisać jako strumień cząstek, którego energia zależy od [ ] światła. Teoria ta została określona jako dualizm korpuskularno-falowy (dualizm = dwoistość, korpuskuła = cząstka). Zaproponowane przez Alberta Einsteina wyjaśnienie zjawiska i jego opis matematyczny oparte są na założeniu, że energia wiązki światła pochłaniana jest w postaci porcji ([ ]) równych ( $\varepsilon = hf$ ), gdzie  $h$  jest [ ], natomiast  $f$  oznacza [ ] fali. Kwant promieniowania pochłaniany jest przy tym w całości. Einstein założył dalej, że usunięcie [ ] z powierzchni metalu (substancji) wymaga pewnej pracy zwanej [ ], która jest wielkością charakteryzującą daną substancję. Pozostała [ ] unoszona jest przez emitowany elektron w postaci energii kinetycznej.

efekt Tyndalla

stałą Plancka

ugięcie

stałą Faradaya

interferencja

Comptona

częstotliwości

światła

kwarków

kwantów

masa

pęd

protonu

pracą całkowitą

pracą wyjścia

częstotliwość

długość fali

elektronu

dyfrakcja

doświadczenia Thomasa Younga

efekt fotoelektryczny

cząstek

energia

## Ćwiczenie 5



Zdecyduj, które zdanie jest prawdziwe a które fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Występowanie efektu fotoelektrycznego zależy od intensywności światła.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falowe własności materii obserwujemy jedynie w świecie makroskopowym.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
W zjawisku fotoelektrycznym musi być spełnione prawo zachowania energii.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Foton możemy traktować jako cząstkę, która nie ma masy spoczynkowej (istnieje tylko w ruchu) ani ładunku.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kwanty światła czerwonego mają większą energię niż kwanty światła niebieskiego.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Ćwiczenie 6



Uzupełnij tabelę, umieszczając podane niżej zjawiska, które potwierdzają falowy oraz korpuskularny charakter światła. Pojęcia w kolumnach umieszczaj w kolejności alfabetycznej.

charakter falowy światła	charakter korpuskularny światła
<div style="border: 1px dashed gray; height: 30px;"></div>	<div style="border: 1px dashed gray; height: 30px;"></div>
<div style="border: 1px dashed gray; height: 30px;"></div>	<div style="border: 1px dashed gray; height: 30px;"></div>
<div style="border: 1px dashed gray; height: 30px;"></div>	<div style="border: 1px dashed gray; height: 30px;"></div>

załamanie

efekt Comptona

efekt fotoelektryczny

dyfrakcja

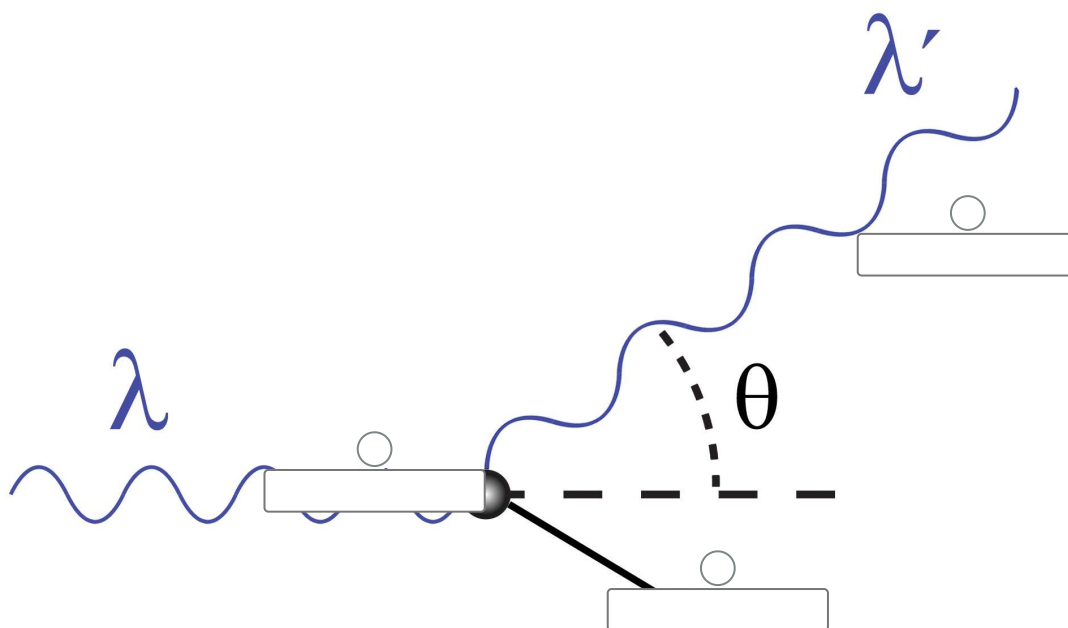
interferencja

## Ćwiczenie 7



Jednym z ciekawszych zjawisk, dotyczących dualizmu korpuskularno-falowego, jest to opisane przez Comptona. Polega ono na rozpraszaniu promieniowania X (rentgenowskiego) i promieniowania gamma, czyli promieniowania elektromagnetycznego o dużej częstotliwości, na swobodnych lub słabo związanych elektronach, w wyniku czego następuje zwiększenie długości fali promieniowania.

Umieść podane niżej definicje w odpowiednim miejscu.



foton rozproszony

elektron

foton padający

Zródło: JabberWok, zmienione, en.wikipedia.org, licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 8



Oblicz częstotliwość graniczną promieniowania, które może wywołać zjawisko fotoelektryczne dla metalu o pracy wyjścia  $4 \cdot 10^{-19}$  J. Na podstawie obliczonej wartości i znajomości spektrum fal elektromagnetycznych wskaż typ promieniowania.

Rozwiązanie oraz odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 9



Wyjaśnij mechanizm zjawiska fotoelektrycznego.

Odpowiedź:

## Ćwiczenie 10



Napisz, jakie jest zastosowanie efektu fotoelektrycznego?

Odpowiedź:

# Dla nauczyciela

---

## Scenariusz zajęć

**Autor:** Agata Jarszak-Tyl, Krzysztof Błaszczak

**Przedmiot:** chemia

**Temat:** Co to jest dualizm korpuskularno-falowy elektronu?

**Grupa docelowa:** uczniowie III etapu edukacyjnego, liceum, technikum, zakres rozszerzony

## Podstawa programowa

Poziom rozszerzony

II. Budowa atomu. Uczeń:

1) na podstawie dualnej natury elektronu wyjaśnia kwantowo-mechaniczny model budowy atomu;

## Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

## Cele operacyjne:

Uczeń:

- uporządkuje swoją wiedzę dotyczącą rodzajów promieniowania elektromagnetycznego;
- zdefiniuje pojęcia: kwant, częstotliwość graniczna, praca wyjścia;
- zastosuje wzór na energię kwantu do wyznaczenia częstotliwości granicznej promieniowania;
- zadecyduje, które zjawiska zachodzą zgodnie z naturą falową, a które w oparciu o teorię korpuskularną.

## Strategie:

- asocjacyjna.

## **Metody i techniki nauczania:**

- burza mózgów;
- pogadanka;
- ćwiczenia uczniowskie;
- analiza materiału źródłowego;
- JIGSAW;
- technika zdań podsumowujących.

## **Forma pracy:**

- praca zbiorowa;
- praca w grupach;
- praca indywidualna.

## **Środki dydaktyczne**

- komputery z dostępem do Internetu;
- podręczniki;
- zasoby multimedialne zawarte w e-podręczniku;
- rzutnik multimedialny.

## **Przebieg zajęć**

### **Faza wstępna**

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wykorzystuje pytania zawarte we wprowadzeniu do e-materiału, np.: jaka jest prawdziwa natura elektronu? Jaka jest prawdziwa natura światła? Czy jest to fala ciągła, czy może źródło bardzo małych cząstek? Co to jest dualizm korpuskularno-falowy elektronu?
2. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele.
3. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół pojęcia dualizmu korpuskularno-falowego.

### **Faza realizacyjna:**

1. Pogadanka jako przypomnienie z poprzednich lekcji informacji dotyczących rodzajów promieniowania elektromagnetycznego.
2. Praca metodą JIGSAW. Nauczyciel dzieli klasę na grupy. Są to tzw. grupy eksperckie. Każdy uczestnik zostaje ekspertem, który w istotny sposób przyczyni się do sukcesu całej grupy. Każdy uczeń występuje w roli uczącego się i nauczającego. Nauczyciel przydziela im różne zagadnienia do opracowania w ciągu 10 minut:
  - I grupa: zjawisko interferencji światła i materii;
  - II grupa: zjawisko dyfrakcji światła i materii;

- III grupa: efekt fotoelektryczny;
  - IV grupa: zjawisko Comptona.
3. Każda grupa zapoznaje się z informacjami w ramach swojego zagadnienia, korzystając z e-podręcznika, podręcznika tradycyjnego oraz internetu. W opracowaniach grupy zwracają uwagę na wzory, rysunki, warunki zachodzenia danego zjawiska. Efektem pracy powinno być wspólne opracowanie na podstawie dyskusji oraz uczenia się nawzajem.
  4. Na umówiony znak uczniowie tworzą nowe grupy tak, aby w każdej nowej grupie znaleźli się eksperci z wszystkich pozostałych grup.
  5. Eksperci kolejno relacjonują to, czego nauczyli się w swoich pierwotnych grupach, czyli ekspert grupy I uczy pozostałych tego, czego się nauczył sam przed chwilą itd. Uczący uczestnicy przekazują wiedzę pozostałym uczniom. Każda z grup w ten sposób zapoznaje się z całym materiałem przewidzianym do realizacji na danej jednostce lekcyjnej (czas ok. 10 min).
  6. Eksperci wracają do swoich pierwotnych grup, konfrontują zdobytą wiedzę, uzupełniają, sprawdzają, czy wszyscy posiadają zbieżne informacje w omawianych kwestiach.
  7. Uczestnicy zajęć, na podstawie dostępnych źródeł, w tym treści e-materiału, przygotowują notatkę na temat dualizmu korpuskularno-falowego światła i materii. Na podstawie zdobytych informacji klasyfikują omówione w poprzednim kroku zjawiska do falowych bądź o naturze korpuskularnej. Chętni lub wskazani uczniowie odczytują swoje notatki. W razie ewentualnej potrzeby nauczyciel wyjaśnia niezrozumiałe kwestie, jednocześnie oceniając pracę uczniów na lekcji.
  8. Uczniowie samodzielnie analizują medium bazowe - efekt fotoelektryczny. Poznają zjawisko efektu fotoelektrycznego. Sprawdzają zdobytą wiedzę, wykonując ćwiczenia załączone do medium.

### **Faza podsumowująca**

Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów, wykorzystując pytania z e-materiału, np. polecenia do multimedium. Podaje polecenia:

- Wyjaśnij mechanizm zjawiska fotoelektrycznego.
- Jak rozumiesz dualizm korpuskularno-falowy elektronu?
- Od czego zależy efekt fotoelektryczny?

2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia:

- Przypomniałem sobie, że...
- Co było dla mnie łatwe...
- Czego się nauczyłam/łem...
- Co sprawiało mi trudność...

**Praca domowa:**

Nauczyciel prosi uczniów o wykonanie ćwiczeń w e-materiale.

**Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:**

Symulacja może być wykorzystana przez uczniów podczas wykonywania pracy domowej oraz podczas przygotowywania się do lekcji.

**Materiały pomocnicze:**

Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- mazaki;
- arkusze papieru.