

Natura korpuskularna promieniowania elektromagnetycznego

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja 3D](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Natura korpuskularna promieniowania elektromagnetycznego

Czy to nie ciekawe?

Co to znaczy, że promieniowanie elektromagnetyczne ma korpuskularną naturę? Oznacza to, że promieniowanie składa się z niepodzielnych cząstek, fotonów, które poruszają się z prędkością światła. Energia fotonu wynosi $E = hf$, gdzie f jest częstotliwością fali. Przyjrzyjmy się temu wzorowi. Po lewej stronie mamy energię fotonu – cząstki promieniowania elektromagnetycznego. Natomiast po prawej stronie – częstotliwość fali elektromagnetycznej. Czym więc jest foton? Cząstką czy falą? Odpowiedź jest zaskakująca. Foton to jednocześnie cząstka i fala. Promieniowanie elektromagnetyczne w niektórych zjawiskach ukazuje swą naturę falową, w innych przypadkach zachowuje się jak zbiór cząstek. Zajmiemy się tu zjawiskami, które można wyjaśnić tylko korpuskularną naturą promieniowania elektromagnetycznego.

$$E = h \cdot f$$

???

Energia cząstki

Częstotliwość fali

Rys. a. Wzór na energię fotonu.

Twoje cele

- wskażesz zjawiska, w których przejawia się korpuskularna natura promieniowania elektromagnetycznego,
- wykorzystasz wzór na energię fotonu,
- dowiesz się, czym jest dualizm korpuskularno-falowy.

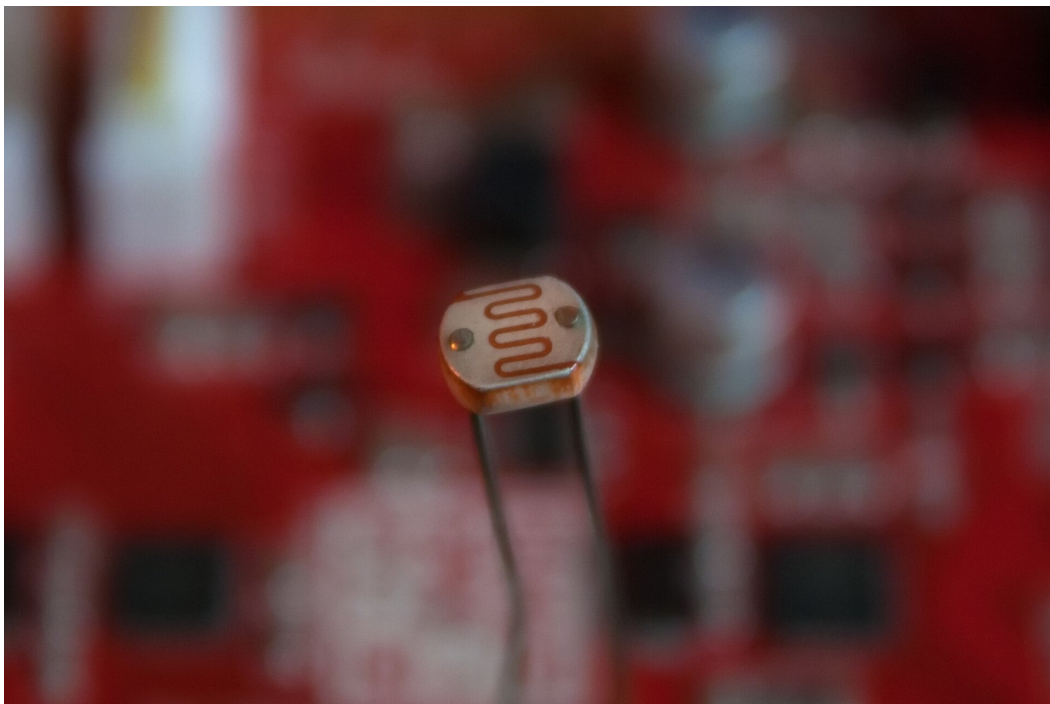
Przeczytaj

Warto przeczytać

W wieku XIX fizycy byli przekonani, że promieniowanie elektromagnetyczne jest falą, czyli rozchodzącym się w przestrzeni zaburzeniem pola elektromagnetycznego. Rzeczywiście, również obecnie, falowym charakterem promieniowania elektromagnetycznego tłumaczymy wiele zjawisk, takich jak dyfrakcja, interferencja, czy załamanie światła. Jednak pod koniec XIX wieku pojawiły się kłopoty, gdy badano zjawisko promieniowania termicznego. Promieniowanie termiczne to fale elektromagnetyczne emitowane przez wszystkie ciała. Przyczyną powstawania tego promieniowania jest ruch termiczny cząstek obdarzonych ładunkiem elektrycznym, które są składnikami materii.

Problem polegał na całkowitej niezgodności przewidywań falowej teorii promieniowania z otrzymanym eksperymentalnie widmem promieniowania termicznego.

Zagadkę tę rozwiązał Max Planck, proponując w 1900 roku inny opis emisji promieniowania termicznego. Przyjął on rewolucyjną hipotezę, że **promieniowanie emitowane jest pewnymi porcjami**. Takie założenie pozwoliło otrzymać doskonałą zgodność z doświadczeniem.



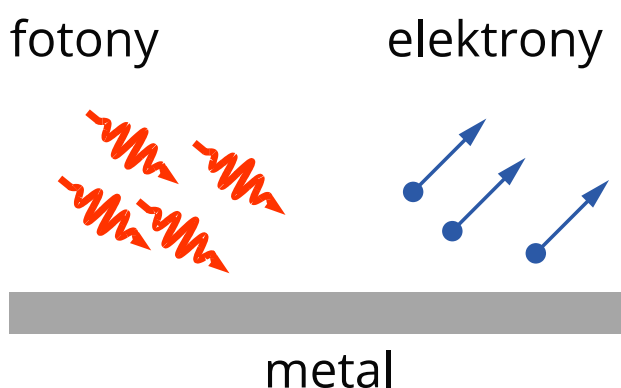
Rys. 1. Fotorezystor - element elektroniczny, którego opór zależy od natężenia padającego światła.
Źródło: Maciej J. Mrowiński, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Kolejny krok w zrozumieniu natury promieniowania elektromagnetycznego zrobił Albert Einstein, wyjaśniając **zjawisko fotoelektryczne**. Zjawisko fotoelektryczne polega na wybijaniu elektronów z metalu oświetlonego światłem. Pewnych własności tego zjawiska, na przykład niezależności energii wybitych elektronów od natężenia światła, nie da się

wy tłumaczyć na gruncie falowej teorii światła. Einstein założył, że promieniowanie nie tylko emitowane jest porcjami, ale **rozchodzi się jako zbiór cząstek, fotonów**, o energii wprost proporcjonalnej do częstotliwości fali, a odwrotnie proporcjonalnej do długości fali elektromagnetycznej

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

gdzie f jest częstotliwością fali, λ – długością fali, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ – prędkością światła, h – stałą Plancka ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ lub $4,14 \cdot 10^{-15} eV \cdot s$, gdzie eV oznacza **elektronowolt**).



Rys. 2. W zjawisku fotoelektrycznym światło przejawia naturę korpuskularną - foton wybija z metalu pojedynczy elektron.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Gdy foton pada na metal, jego energia jest przekazana **jednemu** elektronowi, który zostaje wybity z metalu (Rys. 2.). Energia wybitego elektronu zależy tylko od energii fotonu, a więc od częstotliwości promieniowania. Nie może natomiast zależeć od natężenia światła, czyli liczby fotonów padających na metal. Zwiększenie natężenia światła spowoduje tylko zwiększenie liczby wybitych elektronów.

Jednak jeszcze długo fizycy podejrzliwie traktowali korpuskularną teorię światła – bardziej jako pewien sposób matematycznego opisu zjawiska, niż rzeczywistość. Sądzieli, całkiem niesłusznie, że przyjęcie tej teorii wymaga odrzucenia opisu promieniowania elektromagnetycznego jako fali. Prof. Andrzej K. Wróblewski w „Historii fizyki” przytacza powiedzenie słynnego duńskiego fizyka, Nielsa Bohra, że „nawet jak Einstein prześle mi telegram, zawiadamiając o udowodnieniu istnienia kwantów światła, to ta wiadomość może dotrzeć do mnie tylko za pośrednictwem fal elektromagnetycznych”.

Podsumowując, **promieniowanie elektromagnetyczne ma podwójną naturę** – jest jednocześnie falą i zbiorem cząstek, fotonów, poruszających się w próżni z prędkością

światła. Gdy foton w zjawisku fotoelektrycznym oddaje całą energię elektronowi, wówczas po prostu znika – nie istnieje foton w spoczynku.

Korpuskularna natura promieniowania elektromagnetycznego przejawia się tym wyraźniej, im mniejsza jest długość fali promieniowania, a większa częstotliwość. Największą częstotliwość spośród wszystkich rodzajów promieniowania elektromagnetycznego ma promieniowanie gamma. We wszystkich obserwowanych zjawiskach fotony gamma zachowują się jak cząstki. Choć promieniowanie gamma to fala elektromagnetyczna, nie obserwuje się dla tego promieniowania zjawisk falowych, takich jak dyfrakcja. Z drugiej strony fale radiowe, czyli promieniowanie elektromagnetyczne o największej długości fali i najmniejszej częstotliwości, nie przejawiają swojej korpuskularnej natury – wszystkie zjawiska ich dotyczące są typowe dla fal.

Jeśli trudno ci zrozumieć podwójną naturę promieniowania elektromagnetycznego – korpuskularną i falową – to pocieszyć cię może fakt, że jesteś w dobrym towarzystwie. Wielu znakomitych fizyków, laureatów Nagrody Nobla, również miało z tym trudności. Dopiero, gdy wyjaśniono [efekt Comptona](#) i gdy odkryto, że poruszający się elektron ulega dyfrakcji (co jest typowe dla fal), powszechnie zaakceptowano **dualizm korpuskularno-falowy** oznaczający, że obiekty takie, jak fotony czy elektrony, przejawiają, w zależności od sytuacji, właściwości falowe (dyfrakcja, interferencja) lub korpuskularne (czyli zachowują się jak cząstki).

Słowniczek

Elektronowolt (eV)

(ang. *electronvolt*) – jednostka energii spoza układu SI, używana w fizyce mikroświata. 1 eV to energia, jaką uzyskuje elektron przyspieszany w polu elektrycznym o różnicy potencjałów równej 1 wolt. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Efekt Comptona

(ang. *Compton scattering*) – rozpraszanie fali elektromagnetycznej na swobodnych elektronach, w wyniku którego dochodzi do zwiększenia długości fali. Zjawisko to można wyjaśnić zakładając, że fala elektromagnetyczna jest skwantowana (składa się z fotonów). Doświadczenia związane z efektem Comptona były historycznie pierwszym potwierdzeniem dualizmu korpuskularno-falowego.

Animacja 3D

Natura korpuskularna promieniowania elektromagnetycznego

Metalowa płytką oświetlana jest światłem. Fotony wybijają z metalu elektrony. Nie wszystkie fotony powodują zjawisko fotoelektryczne. Niektóre są pochłaniane przez metal. Zawsze jednak zjawisko przebiega w taki sposób, że jeden foton wybija jeden elektron.

Trwa wczytywanie danych..

[Film dostępny na portalu epodreczniki.pl](#)

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji.


Polecenie 1

Czy elektrony z metalu mogą zostać wybite przez fotony o dowolnej energii?

Polecenie 2

Od czego zależy liczba wybitych elektronów? Uzasadnij odpowiedź.

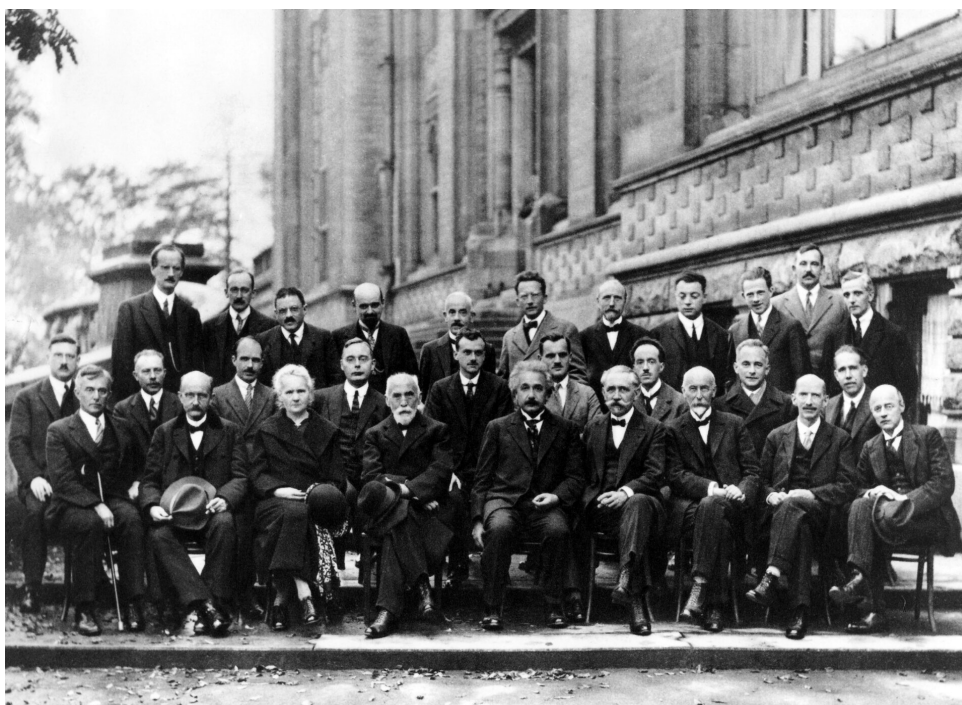
Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



W 1927 roku w Brukseli odbyła się konferencja (Kongresy Solvaya), na której spotkali się naukowcy będący twórcami współczesnej teorii kwantów. Wielu z nich zostało laureatami Nagrody Nobla. Poniżej znajduje się zrobione podczas tej konferencji zdjęcie, jedno z najbardziej rozpoznawalnych w historii fizyki zdjęć.



Korzystając z Internetu wyszukaj nazwiska naukowców, którzy wzięli udział w tej konferencji, odpowiadające hasłom poniższej krzyżówki. Wpisując je używaj jedynie polskich znaków.

Ćwiczenie 2

Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Metalowa płytka oświetlona jest światłem o długości fali λ . Wyprowadź wzór na maksymalną energię kinetyczną, jaką może uzyskać elektron wybity z metalu przez foton, jeśli energia potrzebna na opuszczenie przez elektron metalu (tzw. praca wyjścia) wynosi W .

Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Natura korpuskularna promieniowania elektromagnetycznego
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne:</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres podstawowy</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>X. Fizyka atomowa. Uczeń:</p> <p>2) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; stosuje pojęcie fotonu oraz jego energii.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>XI. Fizyka atomowa. Uczeń:</p> <p>2) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; stosuje pojęcie fotonu oraz jego energii.</p>

Kształowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r. <ul style="list-style-type: none"> • 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. wskazuje zjawiska, w których przejawia się korpuskularna natura promieniowania elektromagnetycznego. 2. wykorzystuje wzór na energię fotonu. 3. opisuje dualizm korpuskularno-falowy.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszawacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiał: „Promieniowanie rentgenowskie – charakterystyka”, „Promieniowanie gamma – charakterystyka”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej - „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do wiedzy uczniów o fotonach.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wyjaśnia, że promieniowanie elektromagnetyczne ma podwójną naturę – jest zarazem falą i zbiorem cząstek. Opowiada, jak trudności wyjaśnienia własności promieniowania termicznego rozwiązał Planck, proponując opis emisji promieniowania porcjami. Następnie opisuje zjawisko fotoelektryczne, podkreślając, że jeden foton wybija jeden elektron.

Uczniowie oglądają animację i w grupach szukają odpowiedzi na pytania w niej zawarte. Nauczyciel podaje wzór na energię fotonu.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w grupach z pomocą nauczyciela rozwiązują zadanie 7 i 8 z zestawu ćwiczeń.

Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają, które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy (jakiej i kiedy). W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.

Praca domowa:

W celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości o korpuskularnej naturze promieniowania elektromagnetycznego, uczniowie rozwiązują zadania z zestawu ćwiczeń: 1- 4 obowiązkowo, oraz do wyboru jedno z pozostałych zadań.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Multimedium bazowe może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.
Zadania z zestawu ćwiczeń można potraktować jako zadania domowe lub niektóre z nich rozwiązać na lekcji.