

Foton – najmniejsza porcja energii fali elektromagnetycznej

Zasób zawiera:

1. Starter: ogólny wstęp do tematu, rysunek będący artystyczną wizją cząstek światła, odwołanie do wcześniejszej wiedzy ucznia oraz cele lekcji sformułowane w języku ucznia.

2. Zawartość tekstowa: informacja o ograniczeniach zastosowania opisu zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego w stałej temperaturze za pomocą dwóch wzorów – Wiena i Reyleigha-Jeansa; wykres przedstawiający zależność natężenia promieniowania od długości fali z zaznaczeniem stosowalności obydwu wzorów; historyczne wprowadzenie dotyczące ogłoszenia przez Plancka teorii opisującej emisję i absorpcję promieniowania elektromagnetycznego przez ciało doskonale czarne, która była zgodna z danymi doświadczalnymi i opierała się na istnieniu fotonów; wzór na energię fotonu w zależności od częstotliwości i długości promieniowania; przykład rozwiązania zadania rachunkowego dotyczącego obliczenia energii fotonu o odpowiedniej długości fali; nawiązanie do zjawiska fotoelektrycznego i równań Maxwella; wyjaśnienie pojęcia foton; polecenie dla ucznia (zadanie obliczeniowe).

3. Podsumowanie: trzy sformułowania podsumowujące oraz polecenie dla ucznia (zadanie obliczeniowe).

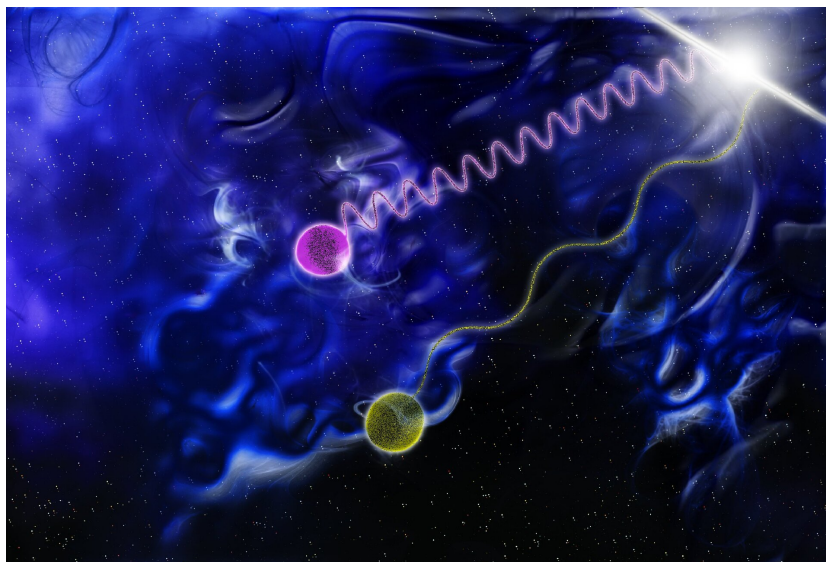
4. Słowniczek: wyjaśnienia pojęć: foton, kwant energii, równania Maxwella, zjawisko fotoelektryczne.

5. Biogramy: Arthur Holly Compton; Gustav Kirchhoff, Gilbert Lewis, Max Planck.

6. Zadanie interaktywne typu prawda/fałsz podsumowujące rozdział składające się z trzech sformułowań.

Foton – najmniejsza porcja energii fali elektromagnetycznej

Koniec XIX wieku był okresem, w którym wielu fizyków próbowało wyjaśnić zależność natężenia promieniowania ciał od długości fali. Próby dopasowania ówczesnej wiedzy fizycznej do wyników obserwacji nie dawały rezultatów. Przełom nastąpił w grudniu 1900 r. Jak to się odbywało i z jakim rezultatem? Jeśli chcesz wiedzieć, czytaj dalej.



Artystyczna wizja – cząstki elementarne światła, nazwane fotonami, wykazują właściwości zarówno falowe, jak i korpuskularne

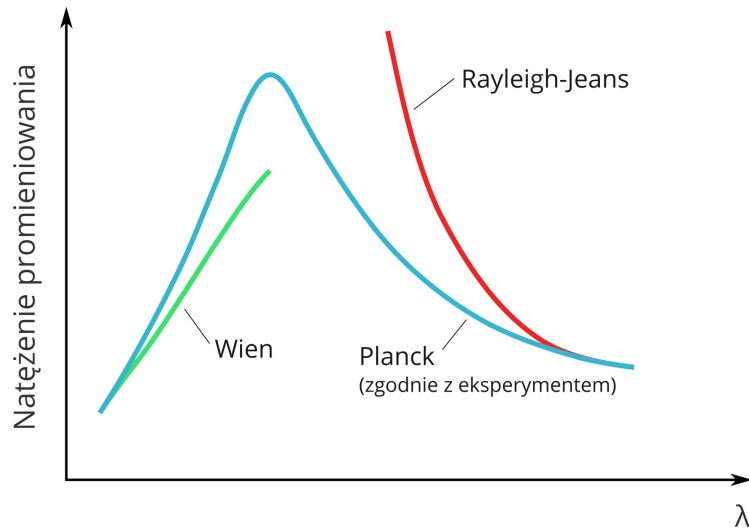
Już potrafisz

- podać zakresy długości fal charakterystyczne dla światła widzialnego;
- podać definicję promieniowania termicznego (cieplnego);
- podać definicję ciała doskonale czarnego;
- stwierdzić, że widmo promieniowania ciała doskonale czarnego ma charakter ciągły.

Nauczysz się

- że kwant jest ściśle określoną porcją energii, którą ciało może wyemitować lub pochłonąć;
- że najmniejsza porcja energii fali elektromagnetycznej nazywana jest kwantem lub fotonem;
- obliczać energię, którą niesie ze sobą foton.

Próba teoretycznego opisu wyników doświadczeń, których celem było zrozumienie praw rządzących promieniowaniem cieplnym ciała doskonale czarnego się nie powiodła. Zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego w stałej temperaturze opisywano za pomocą dwóch wzorów – Wiena i Reyleigha-Jeansa. Niestety, oba zawiodły. Wzór Wiena sprawdzał się dobrze w przypadku fal krótkich, ale bardzo wyraźne odstępstwa pojawiały się w zakresie fal długich. Z kolei wzór Reyleigha-Jeansa sprawdzał się bardzo dobrze w odniesieniu do fal długich, ale źle w przypadku fal krótkich.



Wzory Wiena i Reyleigha-Jeansa a dane doświadczalne

W 1900 r. ogłoszono co najmniej pięć zależności między natężeniem promieniowania a długością emitowanej fali elektromagnetycznej.

Dopiero 14 grudnia 1900 r. **Max Planck** podczas wystąpienia na posiedzeniu Towarzystwa Fizycznego w Berlinie przedstawił teorię opisującą emisję i absorpcję promieniowania elektromagnetycznego przez ciało doskonale czarne. Fizykowi udało się uzyskać zgodność wyników pomiarów z obliczeniami. Planck założył, że energia wypromieniowywana jest z ciała doskonale czarnego i przez nie pochłaniana w postaci ściśle określonych porcji energii, czyli kwantów (fotonów). Ta energia ma zatem charakter nieciągły, a nie – jak dotychczas sądzono – ciągły.

Według Plancka najmniejsza porcja energii fali elektromagnetycznej, czyli fotonu, wyraża się wzorem:

$$E = h \cdot \nu,$$

gdzie:

h – uniwersalna stała, nazwana stałą Plancka; $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$;

ν [Hz] (grecka litera „ni”) – częstotliwość promieniowania emitowanego lub pochłanianego przez ciało doskonale czarne.

Jak widać, energia takiej „porcji” jest zależna od częstotliwości promieniowania, a tym samym od długości fali:

$$\lambda = c \cdot T \text{ i } T = \frac{1}{\nu}$$

gdzie c jest prędkością światła w próżni.

$$\lambda = c \cdot T = c \cdot \frac{1}{\nu} = \frac{c}{\nu}$$

Po przekształceniu wzoru otrzymujemy:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Na tej podstawie możemy wyprowadzić wzór:

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

Przykład 1

Oblicz energię kwantów promieniowania świetlnego o długości fali $\lambda_1 = 656 \text{ nm}$ (czerwona linia w widmie wodoru) i $\lambda_2 = 486 \text{ nm}$ (niebieska linia w widmie wodoru).

Rozwiązanie:

Analiza zadania:

Zadanie wymaga obliczenia energii kwantów promieniowania elektromagnetycznego dla długości fali $\lambda_1 = 656 \text{ nm}$ i $\lambda_2 = 486 \text{ nm}$.

Dane:

$$\lambda_1 = 656 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 486 \text{ nm}$$

$$c = 300000000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

Szukane:

$$E_1, E_2$$

Wzór:

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

Obliczenia:

$$E_1 = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{656 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3 \cdot \frac{6,63}{656} \cdot 10^8 \cdot 10^{-34} \cdot 10^9 \text{ J} = 3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_2 = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{486 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3 \cdot \frac{6,63}{486} \cdot 10^8 \cdot 10^{-34} \cdot 10^9 \text{ J} = 4,09 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Odpowiedź:

Energia kwantu światła odpowiadająca długości fali 486 nm wynosi $4,09 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, a energia kwantu światła odpowiadająca długości fali 656 nm – $3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Do tej pory przyjmowano jako pewnik, że energia emitowana przez ciało ma rozkład ciągły. Swoim wystąpieniem Planck zapoczątkował ciąg wydarzeń, który zrewolucjonizował postrzeganie przez nas świata.

W 1905 r. Albert Einstein studiował przyczyny występowania [zjawiska fotoelektrycznego](#), które szczegółowo omówimy na następnej lekcji. Natrafił jednak, tak samo jak jego poprzednicy, na trudności związane z jego wytłumaczeniem. Za pomocą teorii kwantów Einsteinowi udało się nie tylko wyjaśnić to zjawisko, lecz także skorygować teorię. Na czym polegała jej modyfikacja? Planck twierdził, że emisja i absorpcja promieniowania elektromagnetycznego przez ciała stałe mogą odbywać się wyłącznie w sposób nieciągły, tj. określonymi porcjami. Właściwość tę wiązał jednak z reakcją materii na padające promieniowanie i nie sądził, że ta cecha ma coś wspólnego z naturą promieniowania elektromagnetycznego. Zupełnie inaczej to zjawisko potraktował Einstein, który opisał falę elektromagnetyczną jako cząsteczki (kwanty) o energii zależnej od częstotliwości. Tym samym stanął w jawnej opozycji do klasycznej fizyki, która opisywała zachowanie fal elektromagnetycznych za pomocą

równań Maxwella (czyli z wykorzystaniem wielkości takich jak długość fali, okres, amplituda drgań).

Do opisu zjawiska fotoelektrycznego Einstein korzystał jedynie ze sformułowania „kwant energii promieniowania”. Dopiero w 1926 r. **Gilbert Lewis**, który poszukiwał nośnika energii promienistej, wprowadził pojęcie **fotonu**. Najpierw jednak odkryto, że taka „porcja energii” – kwant – przypomina poruszającą się cząsteczkę (nieistniejącą w spoczynku) obdarzoną masą i mogącą zderzać się z elektronem. Za odkrycie i wyjaśnienie tego zjawiska **A.H. Compton** otrzymał w 1927 r. Nagrodę Nobla.

Zapamiętaj!

Foton jest kwantem promieniowania elektromagnetycznego – poruszającą się cząsteczką, która nie ma masy spoczynkowej (istnieje tylko w ruchu) ani ładunku i odgrywa istotną rolę w każdym procesie elektromagnetycznym. W próżni foton ma prędkość $c = 300000000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Polecenie 1

Oblicz, w jakim przedziale energii mieści się promieniowanie widzialne, któremu odpowiada przedział długości fali między 380 a 780 nm.

Odkrycia Maxa Plancka i Alberta Einsteina dały początek całkiem nowej gałęzi fizyki, odmiennej pojęciowo od tej, którą znano dotychczas. Ta nowa gałąź wiedzy okazała się fundamentalna dla zrozumienia praw rządzących mikroświatem – mechaniki kwantowej.

Podsumowanie

- Emisja i absorpcja promieniowania elektromagnetycznego przez ciało polega na wysyłaniu lub pochłanianiu energii w określonych porcjach (kwantach), zależnych od częstości promieniowania. Porcje te nazywamy fotonami.
- Foton jest kwantem promieniowania elektromagnetycznego. Możemy traktować go jako cząstkę, która nie ma masy spoczynkowej (istnieje tylko w ruchu) ani ładunku. Odgrywa istotną rolę w każdym procesie promienistym i w oddziaływaniach elektromagnetycznych.
- Według Plancka najmniejsza porcja energii elektromagnetycznej, czyli kwantu energii, wyraża się wzorem:

$$E = h \cdot \nu \text{ lub } E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

gdzie: h – uniwersalna stała, nazwana stałą Plancka; $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; ν [Hz] (grecka litera „ni”) – częstość promieniowania emitowanego lub pochłanianego przez ciało czarne; c – wartość prędkości światła w próżni; λ – długość fali promieniowania.

Praca domowa

Polecenie 2.1

Oblicz, ile razy energia kwantu (fotonu) promieniowania widzialnego o długości fali $\lambda = 500 \text{ nm}$ jest większa od energii kwantu fal radiowych o częstości $\nu = 225 \text{ kHz}$ (fale długie, stacja Warszawa I).

Słowniczek

foton

– kwant promieniowania elektromagnetycznego o ściśle określonej energii zależnej od częstości (długości fali) promieniowania.

kwant energii

– najmniejsza, ściśle określona porcja energii, jaką może mieć lub o jaką może się zmienić energia ciała.

równania Maxwella

– równania klasycznej teorii pola elektromagnetycznego, opublikowane w 1862 roku przez J.C. Maxwella. Łączą wszystkie znane prawa opisujące oddziaływania ładunków elektrycznych i zjawiska z nimi związane. Równania Maxwella to kompletny zbiór zasad rządzących własnościami pól elektrycznych i magnetycznych.

zjawisko fotoelektryczne

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

Biogramy

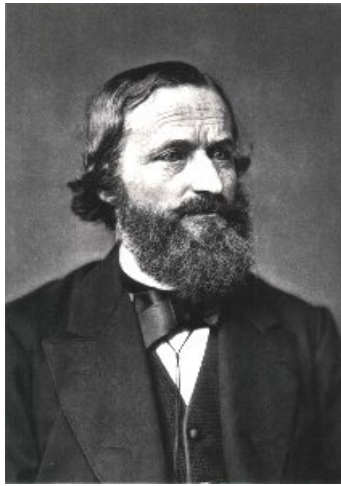


Laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki (1927 r.)

Arthur Holly Compton

10.09.1892–15.03.1962

Odkrywca rozpraszania Comptona – nazwa zjawiska pochodzi od nazwiska uczonego. Zauważył, że kiedy fotony z zakresu fal rentgenowskich padają na elektrony słabo związane z jądrem atomu, powodują ich przemieszczenie ze swoich orbit i tracą przy tym energię; temu procesowi towarzyszy zmiana długości fali padającego promieniowania (przesunięcie comptonowskie). Za to odkrycie w 1927 r. został uhonorowany Nagrodą Nobla. Brał także udział w pracach nad bombą atomową, a jego badania pomogły Enricowi Fermiemu w konstrukcji pierwszego reaktora (1942 r.).

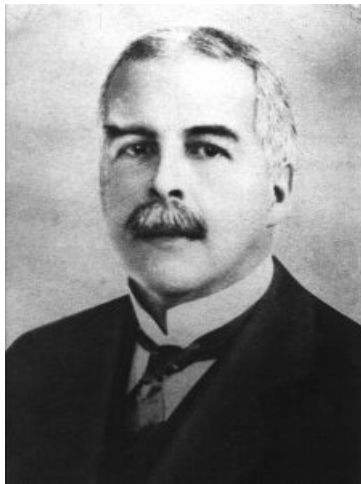


Gustav Kirchhoff zauważył, że stosunek zdolności absorpcji i emisji ciała doskonale czarnego jest stały i zależy tylko od długości fali oraz temperatury ciała

Gustav Kirchhoff

12.03.1824-17.10.1887

Wynalazca spektroskopu i metody analizy spektralnej. Odkrył pierwiastki takie jak cez i rubid. Twórca praw dotyczących elektryczności.



Gilbert Lewis, który jako pierwszy posłużył się pojęciem fotonu

Gilbert Lewis

23.10.1875-23.03.1946

Amerykański fizykochemik, twórca teorii tworzenia się wiązań kowalencyjnych. Jako pierwszy otrzymał ciężką wodę. (D_2O).



Max Planck, twórca teorii kwantów

Max Planck

23.04.1858–4.10.1947

Niemiecki fizyk, jeden z twórców fizyki kwantowej. Zajmował się termodynamiką, optyką oraz teorią względności.

Zadanie podsumowujące moduł

Ćwiczenie 1

Przeczytaj poniższe zdania. Które z nich jest fałszywe, a które prawdziwe?

	Prawda	Falsz
Gdy podwoimy długość fali promieniowania, energia każdego z jego kwantów zwiększy się czterokrotnie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Foton możemy traktować jako cząsteczkę, która nie ma masy spoczynkowej.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kwanty światła czerwonego mają większą energię niż kwanty światła niebieskiego.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Źródło: Dariusz Kajewski <Dariusz.Kajewski@up.wroc.pl>, licencja: CC BY 3.0.

Przetwarzam wzory matematyczne: 100%