

Hipoteza de Broglie'a

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Czy to nie ciekawe?

Stwór na tym zdjęciu wygląda, jak groźny przybysz z kosmosu. Ale widzimy te stworzenia często, jak całymi stadami latają nad miską z owocami. To mała muszka owocowa, sfotografowana za pomocą mikroskopu elektronowego. W mikroskopie tym zamiast światłem, badany obiekt „oświetla” się elektronami. Jakie właściwości elektronów pozwalają na takie zastosowanie, dowiesz się z tego e-materiału.



Twoje cele

- poznasz hipotezę de Broglie'a,
- poznasz wzór na długość fali materii,
- dowiesz się, jak hipoteza de Broglie'a została potwierdzona doświadczalnie,
- zrozumiesz, że dualizm korpuskularno-falowy dotyczy zarówno promieniowania, jak i materii,
- przeanalizujesz możliwość zaobserwowania falowych własności ciał makroskopowych.

Przeczytaj

Warto przeczytać

W pierwszej połowie XX wieku stało się jasne, że promieniowanie elektromagnetyczne, w tym światło, ma dwoistą falowo-cząsteczkową naturę. W jednych zjawiskach zachowuje się jak fala, na przykład ulega [dyfrakcji](#). W innych, jak na przykład w [zjawisku fotoelektrycznym](#), jest cząstką – fotonem o określonej energii.

Francuski fizyk Louis de Broglie w 1924 roku wpadł na pomysł, że dualizm korpuskularno – falowy jest cechą nie tylko promieniowania, ale całej materii. Uzasadnieniem tej hipotezy była obserwacja, że Wszechświat składa się wyłącznie z promieniowania i materii, a przyroda pod wieloma względami jest symetryczna.

Według de Broglie'a poruszająca się cząstka jest też falą, której częstotliwość f jest związana z energią E takim samym wzorem jak energia fotonu:

$$E = hf,$$

gdzie $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s jest stałą Plancka.

Pęd fotonu to:

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda},$$

gdzie λ jest długością fali promieniowania, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s – prędkością światła.

Pęd cząstki związany jest z długością fali materii analogicznym wzorem jak dla fotonu. Wobec tego długość fali materii λ związanej z poruszającą się cząstką wynosi:

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

gdzie p jest pędem cząstki.

Obliczmy długość fali elektronu, przyspieszonego napięciem $U = 100$ V. Masa elektronu wynosi $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, a jego ładunek $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Elektron uzyskuje energię kinetyczną:

$$E_k = eU = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 100 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

Jego prędkość obliczymy ze wzoru na energię kinetyczną $E_k = \frac{mv^2}{2}$. Mamy więc:

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-17} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 5,9 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

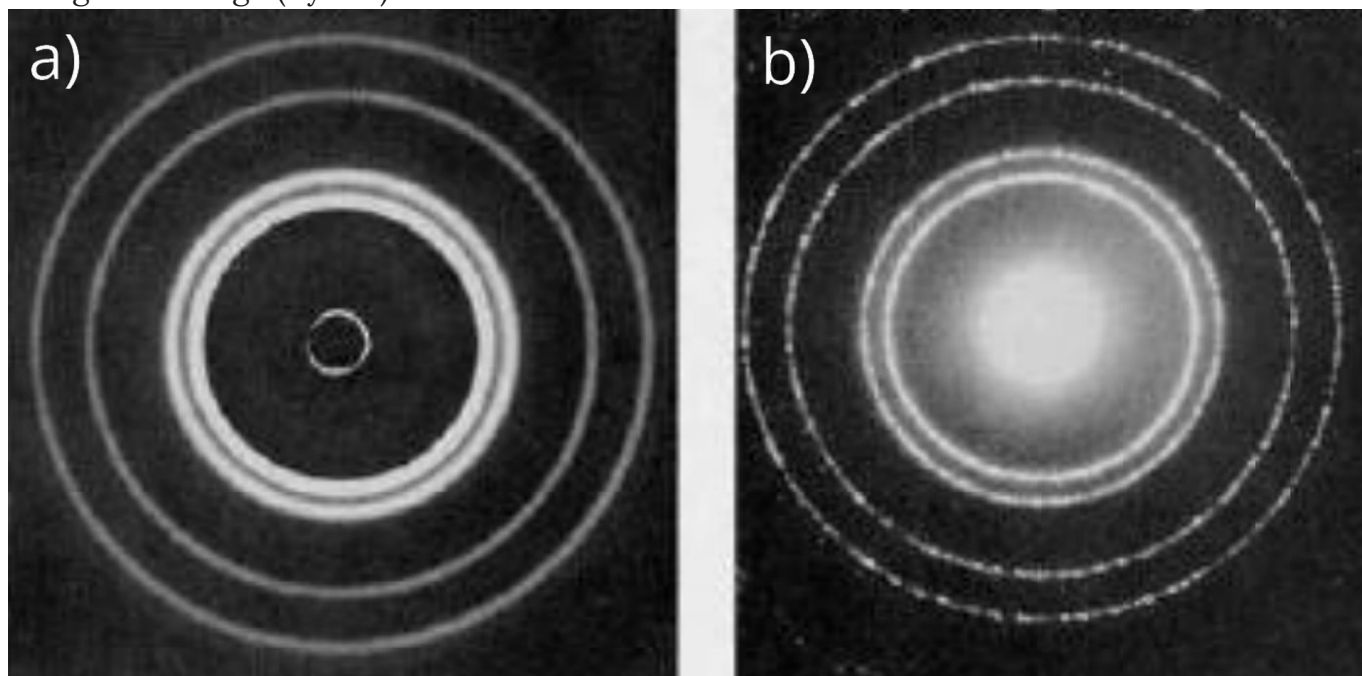
Pęd elektronu to iloczyn masy i prędkości $p = mv$. Długość fali elektronu wynosi więc:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 5,9 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,12 \text{ nm}$$

Otrzymana długość fali elektronu jest tego rzędu co odległości między atomami w ciałach stałych. Jeśli więc hipoteza de Broglie'a jest prawdziwa, możliwe jest uzyskanie obrazu dyfrakcyjnego, gdy skierujemy wiązkę elektronów na kryształ.

Takie doświadczenie wykonali w 1927 roku amerykańscy fizycy Davisson i Germer. Zaobserwowali dyfrakcję elektronów na kryształach niklu, co potwierdziło falowe własności cząstek przewidywane przez de Broglie'a.

Obraz uzyskany podczas przechodzenia wiązki elektronów przez folię aluminiową pokazany jest na Rys. 1b. Jest on bardzo podobny do obrazu dyfrakcyjnego promieniowania rentgenowskiego (Rys. 1a).



Rys. 1. a) Obraz dyfrakcyjny promieniowania rentgenowskiego przepuszczanego przez folię aluminiową, b) Obraz dyfrakcyjny wiązki elektronów przechodzących przez folię aluminiową

Źródło: dostępny w internecie: http://courses.washington.edu/phys431/electron_diffraction/Electron_Diffraction.pdf [dostęp 21.04.2022 r.], Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

Hipoteza de Broglie'a została potwierdzona doświadczalnie.

Fale materii nazywane są często **falami de Broglie'a**, a długość fali cząstki o określonym pędzie i zdefiniowanej wzorem $\lambda = \frac{h}{p}$ nazywa się długością fali de Broglie'a.

Jeśli falowe własności materii są faktem poświadczonym eksperymentalnie, to dlaczego nie obserwujemy tego zjawiska w życiu codziennym? Obraz dyfrakcyjny powstaje, gdy długość fali jest zbliżona do rozmiarów obiektu, na którym następuje ugięcie fali. Jaka jest długość fali de Broglie'a obiektu makroskopowego, na przykład piłki o masie 0,5 kg, lecącej

z prędkością 4 m/s? Po wstawieniu tych danych do wzoru na długość fali de Broglie'a, otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}}{0,5 \text{ kg} \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3,3 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

Rozmiar najmniejszego jądra atomowego, rzędu 10^{-15} m, jest 10^{19} razy większy niż długość fali materii związana z lecącą piłką. Nie istnieje obiekt tak mały, na którym mogłaby zajść dyfrakcja tej fali i dlatego nie obserwujemy zjawisk falowych w makroświecie.

Odkrycie fal de Broglie'a stało się podstawą współczesnego opisu mikroświata – mechaniki kwantowej. Falowe własności cząstek wykorzystujemy, między innymi, w mikroskopie elektronowym, który pozwala osiągać powiększenia niedostępne mikroskopom optycznym.

Podstawowym parametrem mikroskopu jest zdolność rozdzielcza, która określa rozmiary najmniejszych szczegółów, jakie można dostrzec w obrazie obserwowanej próbki. Zdolność rozdzielcza mikroskopu optycznego ograniczona jest przez dyfrakcję promieni tworzących obraz. Im mniejsza jest długość fali, tym mniejszy obiekt można obserwować. Maksymalna zdolność rozdzielcza mikroskopu optycznego wynosi około 200 nm. Natomiast techniki mikroskopii elektronowej pozwalają na uzyskiwanie obrazów z rozdzielczością rzędu 0,1 nm, czyli 2000 razy lepszą niż w mikroskopie optycznym. Za pomocą mikroskopu elektronowego możliwe są obserwacje szczegółów budowy komórek roślinnych i zwierzęcych, a nawet ułożenia atomów w kryształach metali i minerałów. Tak wysoka rozdzielczość w mikroskopii elektronowej możliwa jest dzięki bardzo małej długości fali de Broglie'a wiązki. Długość fali de Broglie'a jest tym mniejsza, im większy jest pęd elektronu, który można zwiększać, przyspieszając wiązkę elektronów polem elektrycznym o napięciu od kilkudziesięciu do kilkuset kilowoltów.

Słowniczek

Zjawisko fotoelektryczne

(ang. *photoelectric effect*) – zjawisko fizyczne polegające na emisji elektronów z powierzchni przedmiotu, zwane również precyzyjniej zjawiskiem fotoelektrycznym zewnętrznym – dla odróżnienia od wewnętrznego. W zjawisku fotoelektrycznym wewnętrznym nośniki ładunku są przenoszone pomiędzy pasmami energetycznymi, na skutek naświetlania promieniowaniem elektromagnetycznym (na przykład światłem widzialnym) o odpowiedniej częstotliwości, zależnej od rodzaju przedmiotu. Emitowane w zjawisku fotoelektrycznym elektrony nazywa się czasem fotoelektronami. Energia kinetyczna fotoelektronów nie zależy od natężenia światła, a jedynie od jego częstotliwości.

Dyfrakcja

(ang. *diffraction*) – ugięcie fali na krawędzi otworu. Gdy rozmiary otworu są porównywalne z długością fali, nakładanie się ugiętych fal powoduje naprzemienne

| wzmocnienia i wygaszenia fali.

Film samouczek

Film samouczek

Na poniższym filmie przedstawiono sposób obliczania długości fali de Broglie'a dla rozpędzonego protonu.

Trwa wczytywanie danych ..

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

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

Postępując się wzorem na długość fali de Broglie'a protonu, przyspieszonego napięciem U , oblicz stosunek długości fali de Broglie'a dwóch cząstek o masach m_1 i m_2 oraz ładunkach q_1 i q_2 .

Polecenie 2

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Hipoteza de Broglie'a
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</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> <p>9) opisuje zjawiska dyfrakcji oraz interferencji elektronów i innych cząstek; oblicza długość fali de Broglie'a poruszających się cząstek.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <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. stosuje hipotezę de Broglie'a; 2. posługuje się wzorem na długość fali materii; 3. wskazuje, jak hipoteza de Broglie'a została potwierdzona doświadczalnie; 4. wyjaśnia, że dualizm korpuskularno-falowy dotyczy zarówno promieniowania, jak i materii; 5. analizuje możliwość zaobserwowania falowych własności ciał makroskopowych.
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: „Natura korpuskularna promieniowania elektromagnetycznego”, „Na czym polega stan podstawowy atomu?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”.</p> <p>Odwołanie do wiedzy uczniów o korpuskularno-falowej naturze promieniowania elektromagnetycznego.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Nauczyciel opowiada o hipotezie de Broglie'a, wskazując na analogie związku między pędem i długością fali de Broglie'a cząstki i fotonu. Uczniowie w grupach obliczają długość fali dla przykładowego ciała makroskopowego i w dyskusji dochodzą do wniosku, dlaczego w świecie makroskopowym nie obserwujemy zjawisk falowych poruszających się ciał. Nauczyciel opowiada o doświadczeniu Davissona i Germera, które potwierdziło hipotezę de Broglie'a i wyświetla obrazy dyfrakcyjne promieniowania rentgenowskiego i elektronów (Rys. 1), zwracając uwagę na podobne wartości długości fal de Broglie'a i rentgenowskich. Uczniowie oglądają film-samouczek i w grupach rozwiązują zadanie z filmu. Nauczyciel omawia zastosowanie fal de Broglie'a w mikroskopie elektronowym. Uczniowie w dyskusji odpowiadają na pytanie, jak można zmniejszyć długość fali de Broglie'a elektronów w mikroskopie elektronowym.</p>	

Faza podsumowująca:

Aby sprawdzić przyswojone wiadomości, uczniowie rozwiązują zadanie 4 z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Uczniowie utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań: 1 – 3 z zestawu ćwiczeń obowiązkowo i jedno z pozostałych zadań do wyboru.

**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.