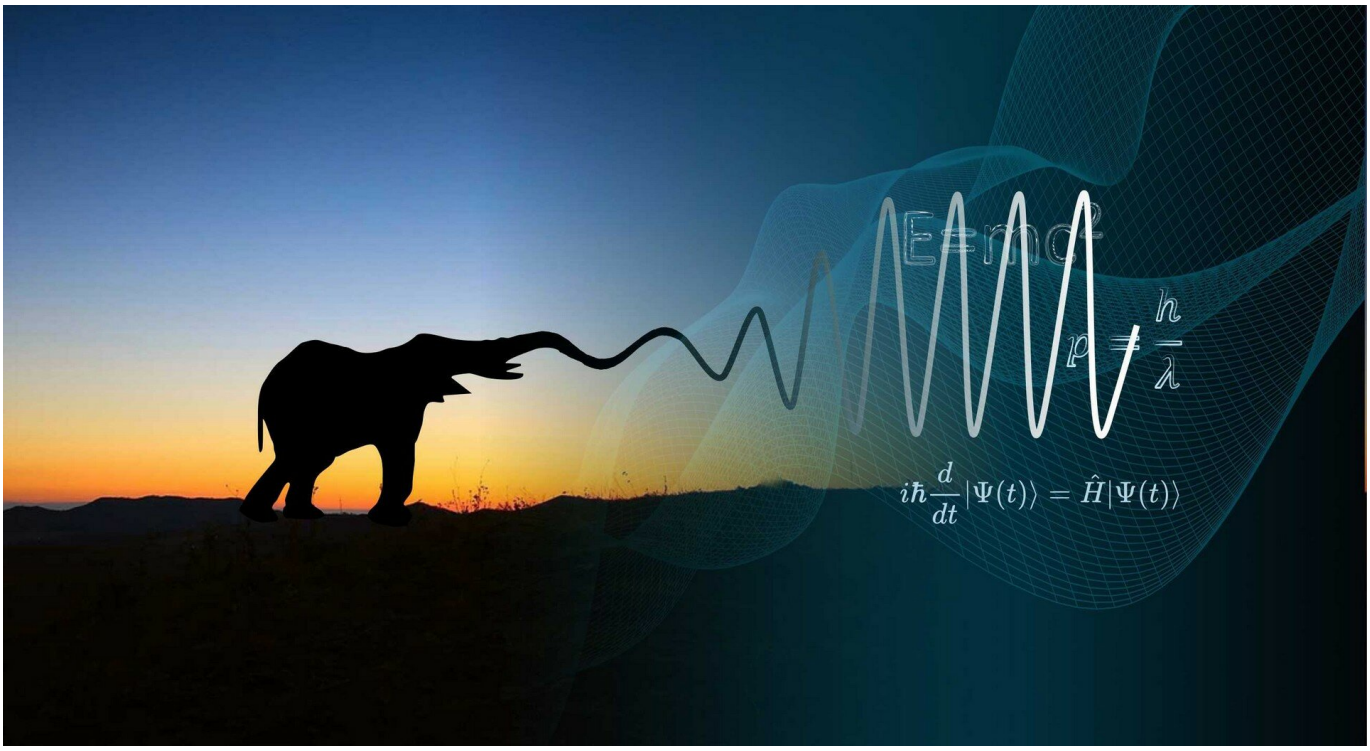
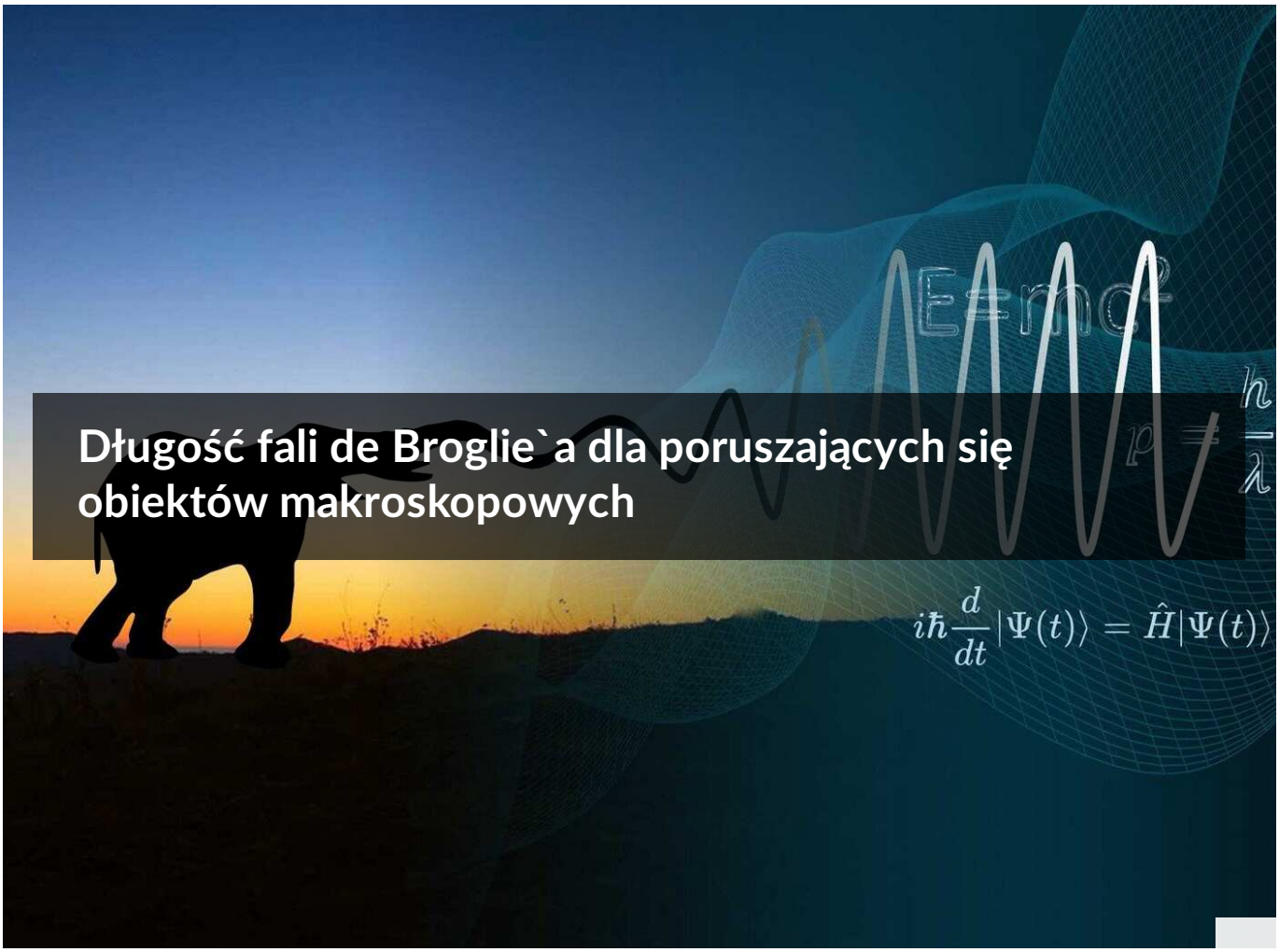


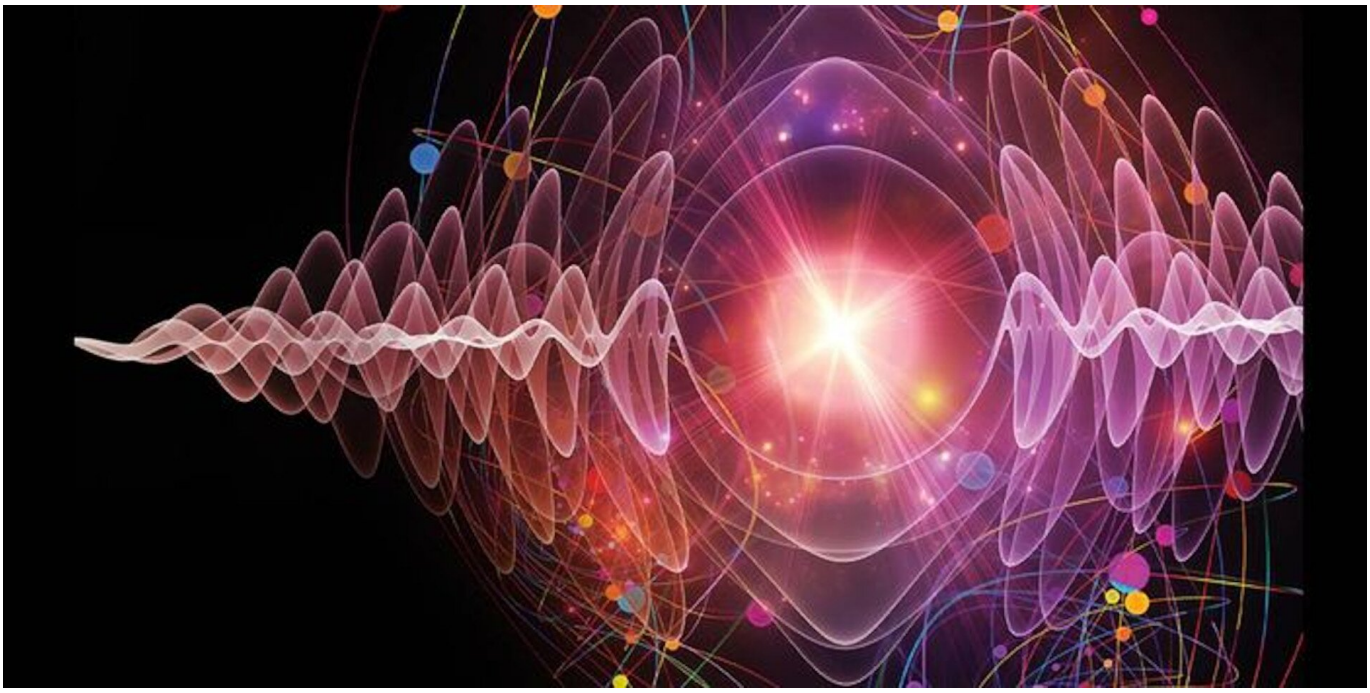

# Długość fali de Broglie`a dla poruszających się obiektów makroskopowych


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




## Czy to nie ciekawe?

Fale de Broglie'a, zwane też falami materii, związane są z jedną z głębokich teorii współczesnej fizyki – dualizmem korpuskularno-falowym. Według tej teorii, każdemu poruszającemu się obiektowi materialnemu można przypisać falę o odpowiedniej długości. Czy takie fale realnie istnieją? Czy można je wykorzystać w praktyczny sposób? Dlaczego nie obserwujemy fal materii związanych z otaczającymi nas obiektami, np. poruszającą się piłką? W tym e-materiale odpowiemy na te pytania.



Rys. a. Obiekty materialne wykazują zarówno naturę falową jak i cząstkową (korpuskularną). Fizyka kwantowa mówi nam o właściwościach i zachowaniu cząstek atomowych i subatomowych. Naukowcy od dawna są przekonani, że reguły rządzące mikroskopijnym światem powinny mieć również zastosowanie do sfery makroskopowej. Kluczem jest wiedzieć, gdzie i jak patrzeć.

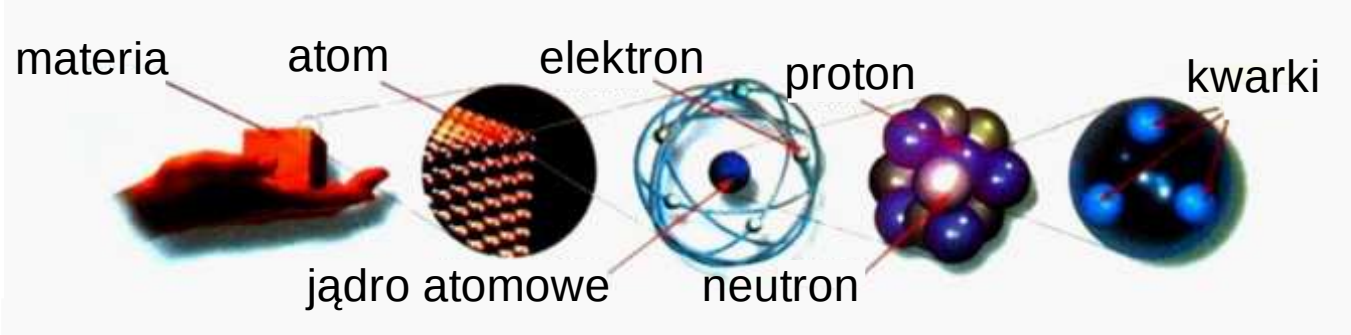
**Twoje cele**

- dowiesz się, czym są fale de Broglie'a (fale materii),
- poznasz wzór opisujący długość fali de Broglie'a dla danego obiektu,
- zastosujesz poznany wzór, by wyznaczyć długość fali dla obiektów makroskopowych,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz otrzymane wyniki,
- uzasadnisz, dlaczego falowa natura obiektów makroskopowych nie ujawnia się.

# Przeczytaj

## Warto przeczytać

Fala jest jednym z mechanizmów rozchodzenia się informacji w przyrodzie – wyróżniamy między innymi fale dźwiękowe, za pomocą których komunikujemy się lub fale elektromagnetyczne, za pomocą których można przesyłać sygnał radiowy, telewizyjny czy Wi-Fi. Fala jest zaburzeniem rozciągłym, które istnieje w wielu miejscach jednocześnie. Z drugiej strony, w przyrodzie istnieją obiekty materialne – mogą one być bardzo małe, jak protony, elektrony czy atomy (Rys. 1.) lub duże, jak piłki, drzewa i gwiazdy.

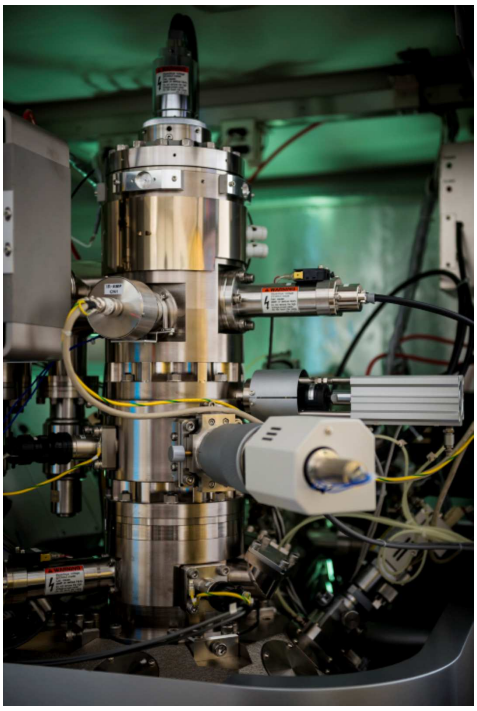



Rys. 1. Skala wielkości obiektów: makroskopowych, atomowych, jądrowych i subjądrowych

Obiekty materialne, w przeciwieństwie do fal, zajmują określone miejsce w przestrzeni. Wydawałoby się zatem, że cząstki i większe obiekty będą zupełnym przeciwieństwem fal. Czy tak jest naprawdę? Współczesna fizyka daje na to pytanie odpowiedź negatywną. W 1924 roku, francuski fizyk Louis de Broglie sformułował postulaty dotyczące tak zwanego dualizmu korpuskularno-falowego. Teoria ta mówi, że każdej cząstce (korpuskule, z łac. *corpuscŭlum*, zdrobniale od „ciało") można przypisać związaną z nią falę. W przypadku cząstek materialnych są to tak zwane fale materii, zwane też falami de Broglie'a. Aby wyznaczyć długość takiej fali, posługujemy się zależnością:

$$\lambda_B = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv},$$

gdzie $h$ = 6,63 · $10^{-34}$ J·s jest stałą fizyczną zwaną stałą Plancka, a $p$ wyraża wartość pędu cząstki, czyli iloczyn jej masy $m$ i wartość prędkości $v$. Jak widzisz, fale materii możemy przypisać tylko poruszającym się cząstkom. Zasada dualizmu nie mówi, że dany obiekt jest cząstką i falą jednocześnie – a jedynie, że w niektórych zjawiskach może ujawnić się natura falowa obiektu, w innych – korpuskularna.



Rys. 2. Mikroskopia elektronowa na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej

Fale materii nie są tylko „teoretycznym pomysłem”, lecz istnieją naprawdę. Możemy obserwować zjawiska związane z dyfrakcją i interferencją tych fal – więcej informacji na ten temat znajdziesz w e-materiale „Dyfrakcja i interferencja elektronów i innych cząstek”. Zbudowaliśmy też urządzenia, które wykorzystują fale materii do obserwacji obiektów w olbrzymich powiększeniach, pozwalających oglądać pojedyncze atomy. Urządzeniem takim jest transmisyjny mikroskop elektronowy (Rys. 2.). W e-materiale „Długość fali de Broglie’a dla poruszających się elektronów” omówiliśmy właściwości fal dla elektronów i innych małych obiektów. W tym e-materiale skupimy się na falach materii związanych z obiektami makroskopowymi, czyli dużymi.

Rys. 3. Piłkarz kopie piłkę

Rozważmy piłkę do gry w piłkę nożną (Rys. 3.), o masie $m$ = 425 g. Bezpośrednio po kopnięciu przez piłkarza, piłka porusza się z prędkością $v$ = 20 m/s. Jaka jest długość fali materii związanej z piłką? Podstawmy wszystkie dane do wzoru:

$$\lambda_B = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}}{0{,}425\ \text{kg}\cdot 20\ \text{m/s}} = 0,78 \cdot 10^{-34}\ \text{m}.$$

Otrzymana długość fali jest rzędu $10^{-34}$ m. Jest to wielkość dużo mniejsza niż rozmiary atomu (ok. $10^{-10}$ m), jądra atomowego (ok. $10^{-14}$ m) czy nawet pojedynczego protonu lub neutronu (ok. $0{,}8 \cdot 10^{-15}$ m). Jak widzisz, nie istnieje obiekt o rozmiarach chociażby zbliżonych do wyliczonej długości fali. Oznacza to, że fali takiej nie da się zaobserwować. Dlaczego? Istnienie fali wykrywamy, poszukując zjawisk typowych dla fal, takich jak dyfrakcja. Aby móc zaobserwować dyfrakcję, przeszkoda, na której dochodzi do ugięcia musi mieć wymiar zbliżony do długości fali. Powyżej pokazaliśmy, że takie przeszkody nie istnieją, gdyż długość fali jest wiele rzędów wielkości mniejsza od średnicy pojedynczego protonu.

## Słowniczek

**fala de Broglie'a**

(*ang.: de Broglie's wave*) alternatywny w stosunku do klasycznego (czyli korpuskularnego) sposób opisu obiektów materialnych. Według hipotezy de Broglie'a dualizmu korpuskularno-falowego każdy obiekt materialny może być opisywany na dwa sposoby: jako zbiór cząstek albo jako fala. Obserwuje się efekty potwierdzające falową naturę materii w postaci dyfrakcji cząstek elementarnych, a nawet całych jąder atomowych.

**fala materii**

(*ang.: matter wave*) fale materii, fale de Broglie'a, przez autora nazwane początkowo falami fazy.

**dualizm korpuskularno-falowy**

(*ang.: wave–particle duality*) cecha obiektów kwantowych (np. fotonów czy elektronów) polegająca na przejawianiu, w zależności od sytuacji, właściwości falowych (dyfrakcja, interferencja) lub korpuskularnych (dobrze określona lokalizacja, pęd).

# Film samouczek

## Długość fali de Broglie'a dla poruszających się obiektów makroskopowych

Film prezentuje obliczenia i porównanie długości fali materii dla trzech różnych obiektów makroskopowych.

Film dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D10spw4nd

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

---

**Polecenie 1**

Wyznacz długość fali materii dla człowieka o masie 75 kg idącego z prędkością 3 m/s. Wynik podaj w nanometrach i zaokrąglij do trzech miejsc znaczących.

**Polecenie 2**

Iloczyn mv występujący we wzorze de Broglie'a wyraża wartość pędu danego ciała. Wykorzystując znany wzór na energię kinetyczną $E_k = \frac{mv^2}{2}$, wyznacz zależność długości fali od energii kinetycznej ciała. Jak zmienia się długość fali materii, gdy rośnie energia kinetyczna obiektu? Masę ciała potraktuj jako daną.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

## Ćwiczenie 1

Fale de Broglie'a to inaczej:

- fale na wodzie
- fale materii
- fale elektromagnetyczne
- fale dźwiękowe

## Ćwiczenie 2

Fale materii:

- mogą ulegać dyfrakcji i interferencji
- mogą ulegać dyfrakcji, lecz nie interferencji
- mogą ulegać interferencji, lecz nie dyfrakcji
- nie mogą ulegać ani dyfrakcji ani interferencji

### Ćwiczenie 3

Wskaż poprawny wzór, które pozwalają obliczyć długość fali materii dla cząstki o masie $m$ i prędkości $v$. W poniższych wzorach $m$ wyraża masę cząstki, a $h$ jest stałą Plancka.

- $\lambda = \frac{m}{hv}$
- $\lambda = hmv$
- $\lambda = \frac{mv}{h}$
- $\lambda = \frac{h}{mv}$

**Informacja do zadań 4–8:**

Piłka koszykowa ma masę $m$ = 525 g.

### Ćwiczenie 4

Oblicz długość fali de Broglie'a dla piłki koszykowej rzuconej z prędkością $v$ = 10 m/s. Wynik podaj w metrach i zaokrąglij go do trzech miejsc znaczących.

Odpowiedź: $\lambda_B$ = [ ] · 10 [ ] m.

## Ćwiczenie 5

Zinterpretuj wyniki otrzymane w zadaniu 4 w kontekście zachodzenia zjawisk falowych, takich jak dyfrakcja czy interferencja.

Rys. 2. Czy możemy zaobserwować falową naturę piłki koszykowej?

## Ćwiczenie 6

Oblicz, z jaką prędkością musiałaby poruszać się piłka, by jej fala materii miała długość $\lambda_B$ = 0,3 nm. Fala o takiej długości może ulegać dyfrakcji na krysztale, w którym odległość między atomami jest tego samego rzędu. Wynik wyraź w metrach na sekundę i podaj z dokładnością do trzech miejsc znaczących.

Odpowiedź: $v$ = _____ · 10 _____ m/s.

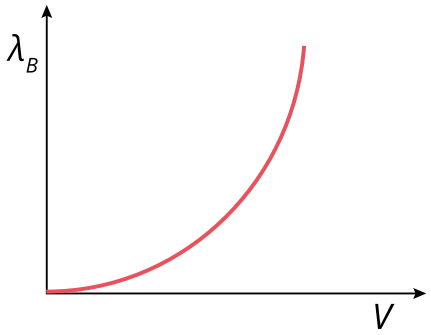
## Ćwiczenie 7

Skomentuj wynik otrzymany w zadaniu 6. Czy na podstawie tego wyniku, możesz powiedzieć, że możliwa jest obserwacja fal materii związanych z piłką, w przypadku gdy piłka porusza się bardzo wolno?

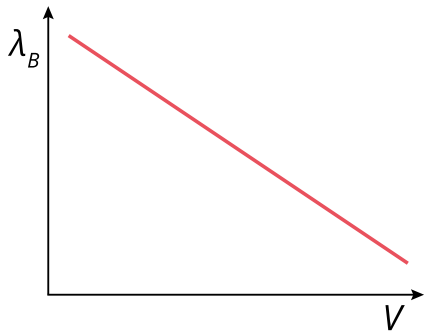
## Ćwiczenie 8

Wskaż poprawny wykres przedstawiający zależność długości fali materii od prędkości piłki.

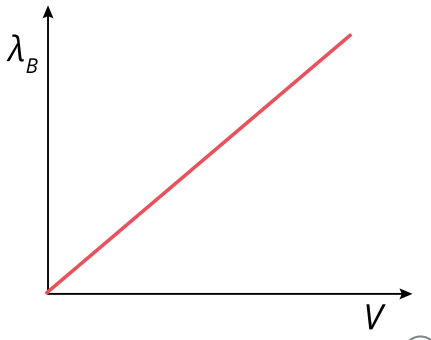
c)



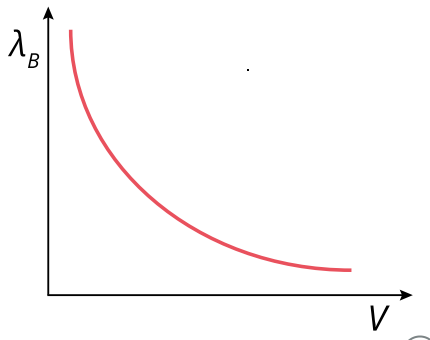

a)




d)




b)



# Dla nauczyciela

| | |
|---|---|
| **Imię i nazwisko autora:** | Przemysław Michalski |
| **Przedmiot:** | fizyka |
| **Temat zajęć:** | **Fale materii dla obiektów makroskopowych** |
| **Grupa docelowa:** | III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony |
| **Podstawa programowa:** | **Cele kształcenia – wymagania ogólne**<br>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.<br><br>**Zakres rozszerzony**<br>**Treści nauczania – wymagania szczegółowe**<br>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:<br>16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych;<br>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.<br>XI. Fizyka atomowa. Uczeń:<br>9) opisuje zjawiska dyfrakcji oraz interferencji elektronów i innych cząstek; oblicza długość fali de Broglie'a poruszających się cząstek. |
| **Kształtowane kompetencje kluczowe:** | **Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:**<br><br>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,<br>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,<br>• kompetencje cyfrowe;<br>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się. |

| | |
|---|---|
| **Cele operacyjne:** | Uczeń<br><br>1. wymienia tezy dualizmu korpuskularno-falowego;<br>2. podaje wzór określający długość fali materii;<br>3. tłumaczy, że dualizm korpuskularno-falowy dotyczy każdego obiektu materialnego;<br>4. wyjaśnia, dlaczego nie obserwuje się dyfrakcji obiektów makroskopowych. |
| **Strategie nauczania:** | blended learning |
| **Metody nauczania:** | pogadanka |
| **Formy zajęć:** | praca grupowa |
| **Środki dydaktyczne:** | tablica, komputer |
| **Materiały pomocnicze:** | - |
| **PRZEBIEG LEKCJI** | |
| **Faza wprowadzająca:** | |
| Nauczyciel prosi uczniów o przypomnienie podstawowych informacji dotyczących fal (czym jest długość fali) oraz zjawisk, którym ulegają fale (dyfrakcja, interferencja). Nauczyciel następnie omawia różnice między falami i obiektami materialnymi (zwłaszcza pod kątem, że fala jest rozciągła w przestrzeni, obiekt ma skończone wymiary) i wzbudza ciekawość uczniów wprowadzając teorię dualizmu korpuskularno-falowego, mówiącego, że te dwie różne koncepcje fali i cząstki mogą współistnieć razem. | |
| **Faza realizacyjna:** | |
| Nauczyciel wprowadza pojęcie fali materii i podaje oraz omawia wzór opisujący długość fali. Nauczyciel rysuje na tablicy dwuwymiarową oś liczbową, obszar ujemnych wartości x opisuje jako „lekkie” (zapałka, ziarnko piasku), dodatnie x „ciężkie” (góra lodowa, wrak statku), ujemne y „wolne” (żółw, ślimak), dodatnie y „szybkie” (samolot odrzutowy, gepard) i prosi uczniów o podanie przykładów ciał, które można wpisać w różne miejsca powstałego układu. Nauczyciel wpisuje punkty w układ (zachowując – orientacyjnie porządek, tzn. np. słoń nie powinien leżeć na lewo od krokodyla) i podpisuje je. Nauczyciel dzieli uczniów na 4 grupy i prosi o wyznaczenie długości fal dla różnych obiektów z każdej ćwiartki układu. Uczniowie mogą wyszukiwać potrzebne dane w Internecie, wykorzystując telefony komórkowe lub komputery. Uczniowie nanoszą wyniki długości fali przy punktach na tablicy. | |
| **Faza podsumowująca:** | |

| | |
|---|---|
| Nauczyciel prosi uczniów o porównanie długości fal uzyskanych dla różnych rodzajów obiektów. Uczniowie pod kierunkiem nauczyciela wyciągają odpowiednie wnioski. Uczniowie oceniają, czy fale materii związane z makroskopowymi obiektami mogą być w jakikolwiek sposób wykryte. | |
| **Praca domowa:** | |
| W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości uczniowie rozwiązują zadania z zestawu ćwiczeń. | |
| **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium** | Multimedium może zostać wykorzystane przez uczniów do utrwalenia swojej wiedzy po zajęciach lub jako możliwość jej zdobycia, przy wykorzystaniu metody flipped classroom. |