

Odbicie i załamanie fal w zadaniach

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



Odbicie i załamanie fal w zadaniach

Czy to nie ciekawe ?

W lustrze przeglądamy się tak często, że dawno zapomnieliśmy, jakie zaskakujące może być pierwsze spotkanie z własnym odbiciem. Realistyczny obraz powstający w zwierciadle zawdzięczamy prawu odbicia fal świetlnych. Warto dobrze zrozumieć prawa odbicia i załamania fal, aby prawidłowo interpretować rozmaite zjawiska w życiu codziennym.



Twoje cele

- przeanalizujesz naturę różnych rodzajów fal;
- poznasz prawa odbicia i załamania fali;
- przeanalizujesz zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia;
- zastosujesz prawa odbicia i załamania fali do rozwiązywania różnych problemów.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Fala to rozchodzące się zaburzenie ośrodka, podczas którego drgające cząsteczki ośrodka przekazują energię drgań kolejnym cząsteczkom.

Fale czasem możemy po prostu zobaczyć, jak na przykład **fale na powierzchni wody**. Ale często o rozchodzeniu się fali wnioskujemy ze skutków, jakie ta fala wywołuje.

Falą jest **dźwięk**. Źródło dźwięku, na przykład drgająca struna gitary, powoduje periodyczne zagęszczenia i rozrzedzenia powietrza. Wprawione w drgania cząsteczki przekazują ten ruch drgający coraz dalej i w ten sposób rozchodzi się fala dźwiękowa. Gdy fala ta dotrze do nas, wprawi w drgania błonę bębenkową ucha, w wyniku czego usłyszymy dźwięk.

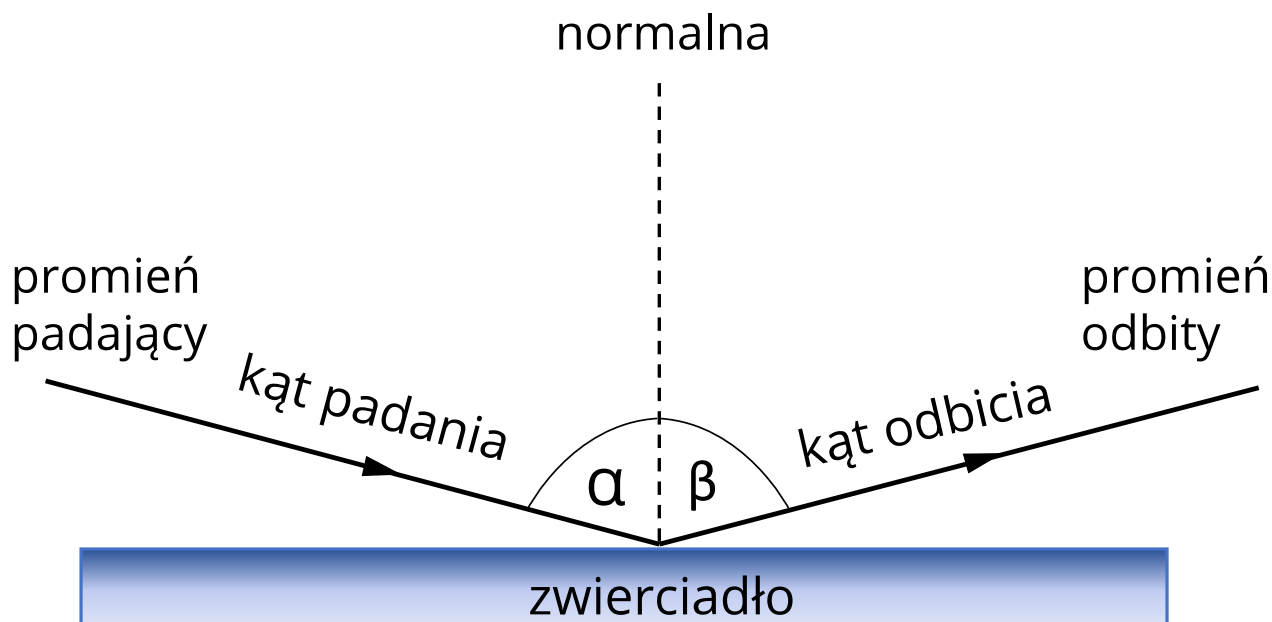
Światło ma również charakter falowy - jest falą elektromagnetyczną. Fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni, więc nie ma mowy o drganiach cząsteczek ośrodka. W tym przypadku w przestrzeni rozchodzą się drgania wektorów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego.

Choć natura wymienionych fal jest różna, wszystkie one podlegają tym samym prawom odbicia i załamania.

Prawo odbicia fali ma proste brzmienie:

Kąt odbicia równy jest kątowi padania.

Rys. 1. pokazuje odbicie fali świetlnej od zwierciadła płaskiego. Kąt padania α definiujemy, jako kąt między promieniem padającym i normalną (prostopadłą) do płaszczyzny odbijającej falę. Analogicznie, kąt odbicia β jest kątem między promieniem odbitym a normalną.



Rys. 1. Prawo odbicia fali: kąt odbicia równy jest kątowi padania.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

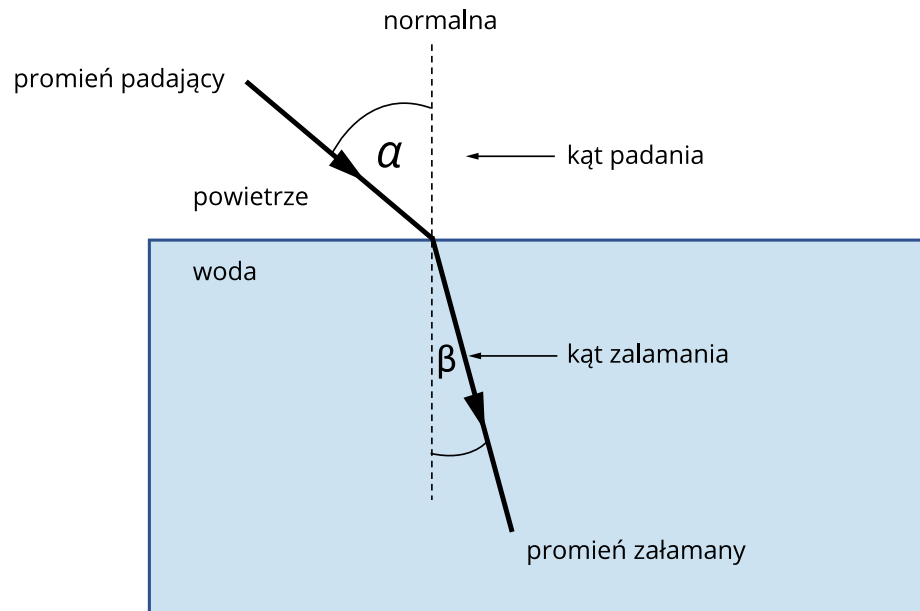
Załamanie fali następuje wtedy, gdy fala przechodzi przez granicę dwóch ośrodków, w których rozchodzi się z różną prędkością, przy czym kierunek propagacji fali nie jest prostopadły do powierzchni rozgraniczającej ośrodki. Fala padająca prostopadle do powierzchni nie załamuje się i przechodzi do drugiego ośrodka, zachowując swój kierunek propagacji.

Prawo załamania fali mówi, że iloraz sinusów kąta padania i kąta załamania równy jest stosunkowi prędkości fali w pierwszym i drugim ośrodku:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

gdzie α jest kątem padania (kątem między promieniem padającym i normalną do powierzchni rozgraniczającej ośrodki), β – kątem załamania (między promieniem załamanym i normalną), v_1 to prędkość fali w pierwszym ośrodku, a v_2 – w drugim.

Przykładem może być przejście fali świetlnej z powietrza do wody. Prędkość światła w powietrzu jest minimalnie mniejsza niż w próżni, możemy więc przyjąć przybliżoną jej wartość $v_1 = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Natomiast w wodzie światło porusza się znacznie wolniej – jego prędkość wynosi tam $v_2 = 2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Dlatego, gdy światło przechodzi z powietrza do wody, stosunek $\frac{v_1}{v_2}$ jest większy od 1 i kąt załamania β jest mniejszy niż kąt padania α . Oznacza to, że promień światła załamuje się w kierunku do normalnej (Rys. 2.).



Rys. 2. Gdy promień świetlny przechodzi z powietrza do wody załamuje się w kierunku do normalnej.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Stosunek prędkości światła w obu ośrodkach oznaczamy literą n_{21} i nazywamy współczynnikiem załamania światła w drugim ośrodku względem pierwszego:

$$\frac{v_1}{v_2} = n_{21} \quad (2)$$

Przykładowo, współczynnik załamania światła dla wody względem powietrza wynosi:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2,25 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} = 1,33$$

Prawo załamania fali możemy więc zapisać:

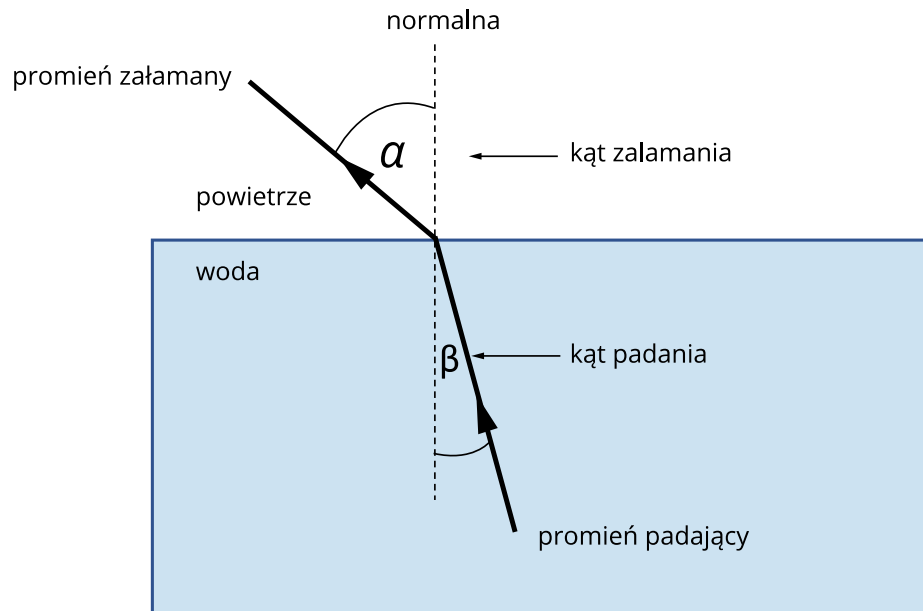
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} \quad (3)$$

A jak wygląda przejście promienia świetlnego z wody do powietrza? Pokazuje to Rys.3. Teraz prędkość w pierwszym ośrodku (wodzie) wynosi v_2 , a w drugim (powietrze) v_1 .

Przekształćmy wzór (1) do postaci:

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{n_{21}} \quad (4)$$

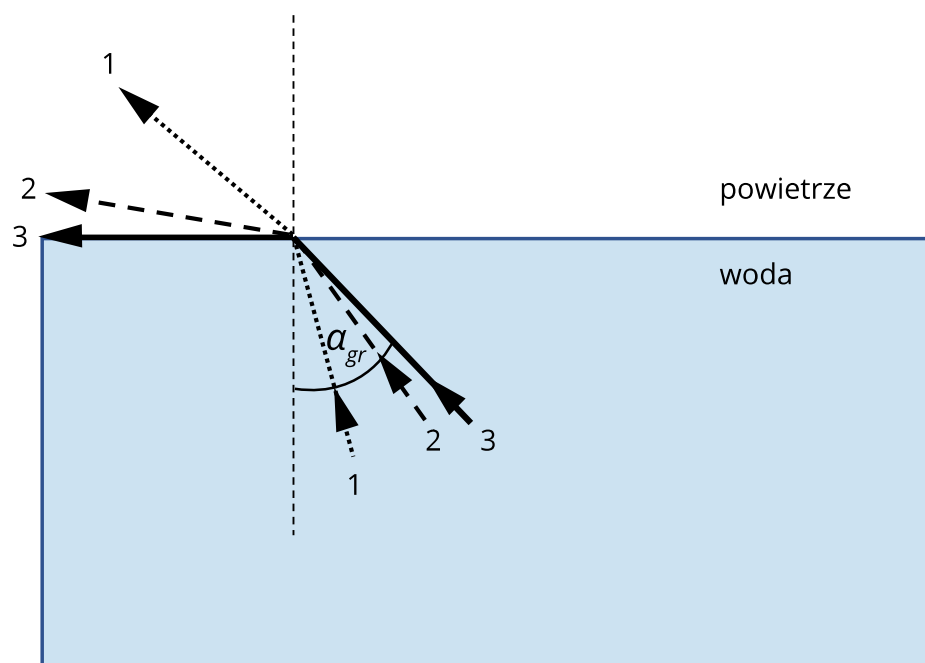
Jak widać, kąty α i β zamieniły się miejscami. Teraz α jest kątem załamania, a β kątem padania. Oznacza to, że bieg promieni świetlnych jest odwrócony. Rysunek przedstawiający przejście promienia świetlnego z wody do powietrza jest identyczny z Rys. 2., tylko odwrócone są kierunki biegu promieni świetlnych (Rys. 3.). Promień załamany odchyła się w kierunku **od** normalnej.



Rys. 3. Gdy promień świetlny przechodzi z wody do powietrza załamuje się w kierunku od normalnej.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Zastanówmy się, jak będzie zmieniała się sytuacja, w miarę zwiększania kąta padania (Rys. 4.). Kąt załamania jest zawsze większy od kąta padania, więc gdy zwiększamy kąt padania, w pewnym momencie kąt załamania stanie się równy 90° (promień 3 na Rys.4.). Taki kąt padania nazywamy kątem granicznym α_{gr} .



Rys. 4. Kąt graniczny to kąt padania, któremu odpowiada kąt załamania równy 90° .

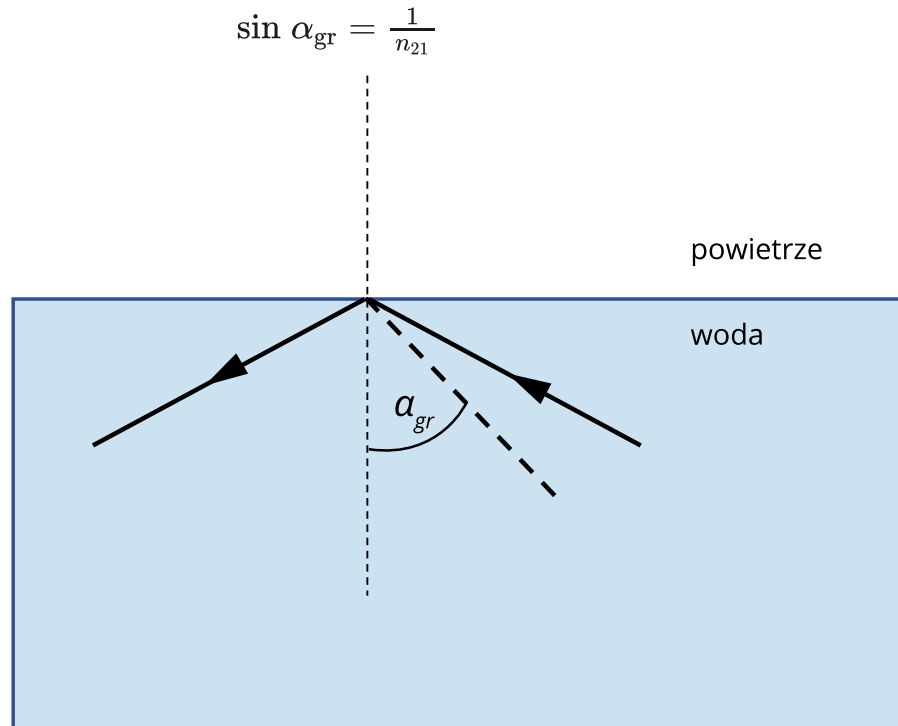
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Dla kątów większych od granicznego załamanie fali jest niemożliwe i fala odbija się od granicy ośrodków. Zjawisko to nazywamy **całkowitym wewnętrznym odbiciem** (Rys. 5.).

Kąt graniczny możemy wyznaczyć z prawa załamania światła, z równania (4), wstawiając wartość kąta załamania równą 90° .

$$\frac{\sin \alpha_{gr}}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n_{21}}$$

więc:

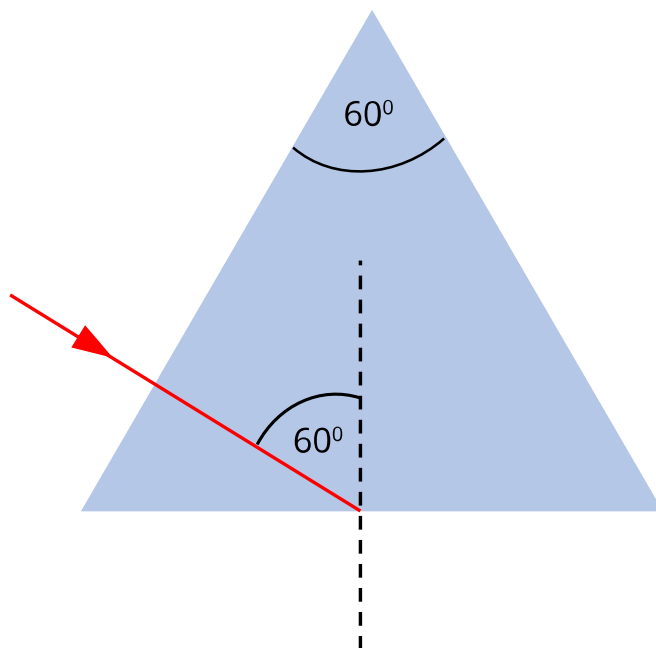


Rys. 5. Gdy kąt padania jest większy od kąta granicznego, następuje całkowite wewnętrzne odbicie.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Zastosujmy powyższe wiadomości do rozwiązania zadania:

Pryzmat szklany o współczynniku załamania $n = 1,5$ ma w przekroju kształt trójkąta równobocznego (Rys. 6.). Promień świetlny pada prostopadłe na jedną ze ścian. Wyznacz kąt, o jaki odchyli się promień po wyjściu z pryzmatu.



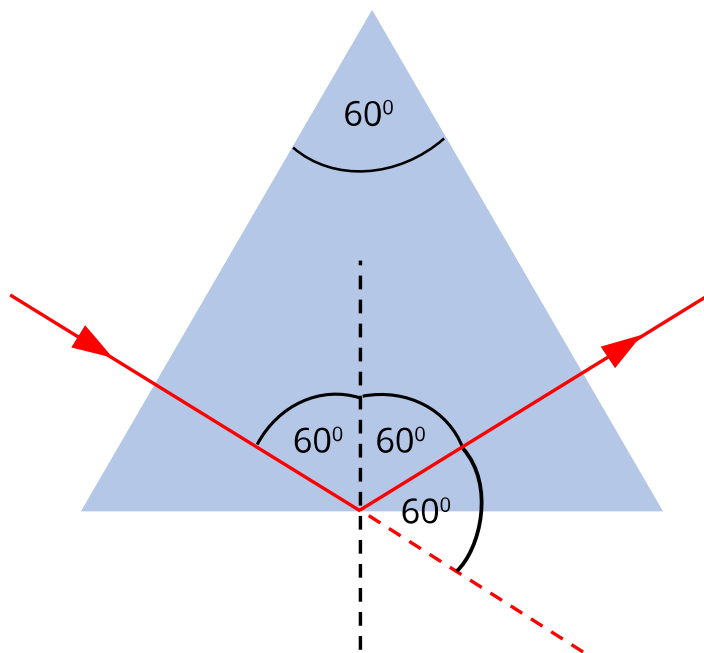
Rys. 6. Promień świetlny pada prostopadłe na ściankę pryzmatu o przekroju w kształcie trójkąta równobocznego.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Promień padający prostopadłe, czyli pod kątem padania 0° na ściankę pryzmatu, nie załamuje się w szkle i dociera do podstawy pryzmatu. Kąt padania wynosi 60° . Musimy teraz rozważyć dwie możliwości. Jeśli kąt padania jest mniejszy od kąta granicznego, promień załamie się, przechodząc do powietrza, a jeśli większy – nastąpi całkowite wewnętrzne odbicie. Obliczmy więc kąt graniczny:

$$\sin \alpha_{\text{gr}} = \frac{1}{1,5} = 0,667 \rightarrow \alpha_{\text{gr}} = 41,8^\circ$$

Kąt padania jest większy od kąta granicznego ($60^\circ > 41,8^\circ$), nastąpi więc całkowite wewnętrzne odbicie (Rys. 7.). Promień pada na przeciwległą ściankę pryzmatu pod kątem 0° i przechodzi do powietrza bez załamania. Kąt między pierwotnym kierunkiem promienia i promienia wychodzącego z pryzmatu wynosi 60° .



Rys. 7. Kąt odchylenia promienia po przejściu przez pryzmat wynosi 60° .

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Na koniec – praktyczna rada. Jak stosować w obliczeniach wzory opisujące prawo załamania fali, żeby nie pomylił nam się licznik z mianownikiem, v_1 z v_2 itp.? Jeśli zapiszemy ten wzór w postaci:

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

to musimy tylko pamiętać, że kąt α_1 i prędkość fali v_1 dotyczą jednego ośrodka, a kąt α_2 i prędkość fali v_2 – drugiego ośrodka. Który z kątów jest kątem padania, a który załamania, wynika jedynie z kierunku biegu fali.

Fala

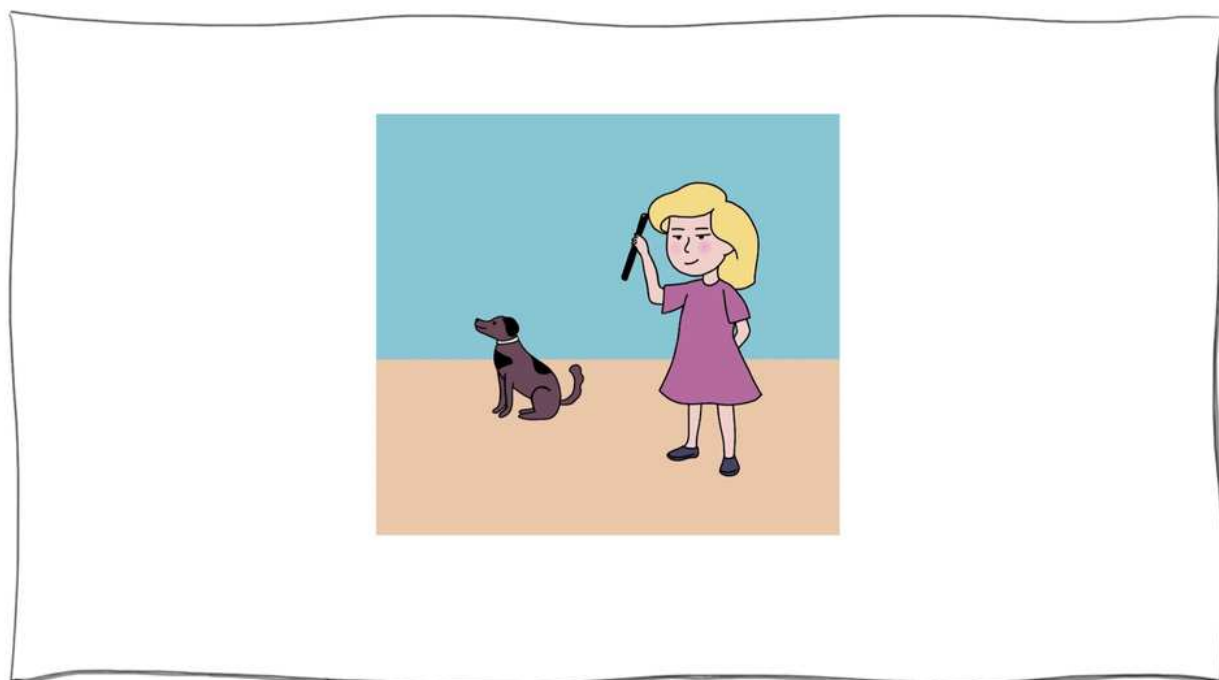
(ang.: wave) - rozchodzące się zaburzenie ośrodka, podczas którego drgające cząsteczki ośrodka przekazują energię drgań kolejnym cząsteczkom.

Film samouczek

Odbicie i załamanie fal w zadaniach

Obejrzyj zabawny film samouczek, który rozpatruje prawo załamania na granicy ośrodków, ale nie w przypadku fali, tylko innego zjawiska mechanicznego. Tak, jak w przypadku fal, prędkości poruszania się w obu ośrodkach są różne.

Trwa wczytywanie danych ..



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/RI0uYZX34gaK8](https://preview/resource/RI0uYZX34gaK8)

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

Zapoznaj się z treścią samouczka.

Polecenie 1

Analogia, która jest treścią filmu pokazuje, że prawo załamania nie jest regułą charakterystyczną tylko dla fal, ale dla każdego zjawiska fizycznego, w którym obiekt powinien pokonać dystans między dwoma punktami w najkrótszym możliwym czasie. Prawo załamania jest po prostu „rozwiązaniem zadania optymalizacyjnego”. Wyraża to *zasada Fermata*, która w optyce jest szczególnym przypadkiem *zasady najmniejszego działania*. W pierwotnym sformułowaniu ***zasada Fermata*** brzmiała:

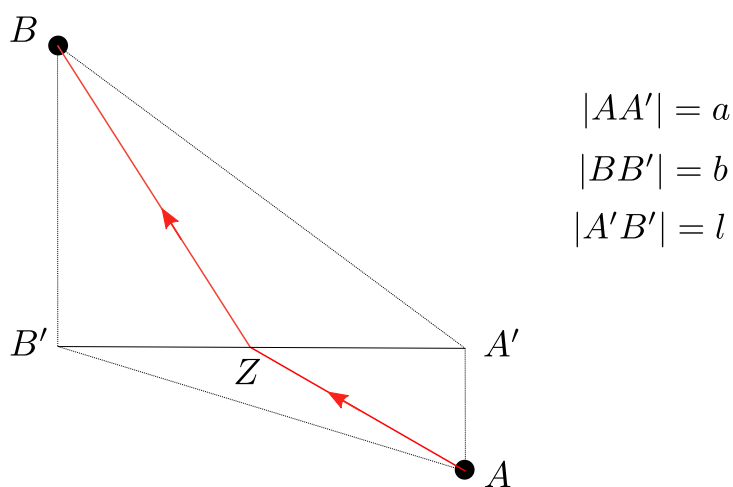
Promień świetlny poruszający się w dowolnym ośrodku od punktu A do punktu B przebywa możliwie najkrótszą drogę optyczną, czyli taką, na której przebycie potrzebuje minimalnego czasu.

Obecnie wiadomo, że sformułowanie to nie jest najogólniejsze, ale dalsza analiza tego zagadnienia wykracza poza ramy naszego e-materiału.

Polecenie 2

Wyprowadź wzór wyrażający czas ruchu Burka od Ali do boi w zależności od tego, w którym punkcie Burek wchodzi do wody. Przyjmij oznaczenia, jak na rysunku poniżej. Prędkość Burka na łądzie ma wartość v , a w wodzie u .

Wskazówka: argumentem poszukiwanej funkcji czasu od toru $t(x)$ niech będzie ułamek $x = |A'Z|/|A'B'|$. Oznacza to w szczególności, że $x = 0$ odpowiada łamanu $AA'B$, a $x = 1$ - łamanu $AB'B$.



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

Wykonaj (np. przy użyciu arkusza kalkulacyjnego ew. programu do rysowania wykresów, np. gnuplota) wykres funkcji $t(x)$ dla jakkolwiek dobranych (dodatnich) wartości v, u, l, a, b .

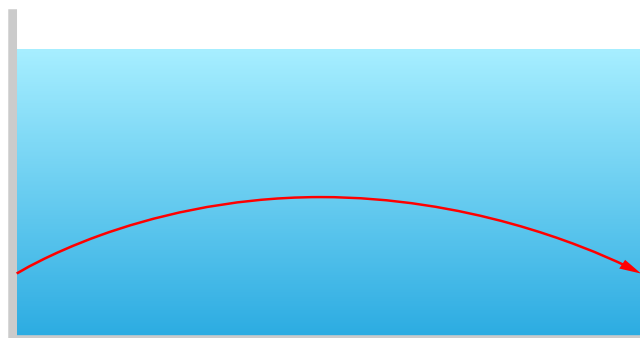
Polecenie 3

Wyznacz czas ruchu Burka dla „skrajnych” torów $AB'B$ oraz $AA'B$ i dla toru prostoliniowego AB .

Dla zainteresowanych

Uwaga 1

Czy światło porusza się zawsze po linii prostej? W ośrodku jednorodnym – tak (względnie po łamanej, jak w naszym przykładzie, jeśli raz zmienia ośrodek). Ale czy może ono zmieniać ośrodek wiele razy? Tak – wystarczy zestawić obok siebie powietrze, wodę, szkło i inne ośrodki. O ile nie wybierzemy kąta padania tak, że w którymś z ośrodków nastąpi całkowite wewnętrzne odbicie lub promień padnie prostopadłe do granicy powierzchni, będziemy mogli powiedzieć, że następuje tyle załamań, ile ośrodków wybierzemy, minus jeden. A czy ośrodek może zmieniać współczynnik załamania w sposób ciągły? Tak. Pokazuje to znane doświadczenie z wodą, solą, mlekiem i akwariem. Do akwarium nalewamy wody, dodajemy odrobinę mleka, mieszamy i po uspokojeniu się wody dosypujemy ostrożnie, na całe dno, sól. Czekamy kilka-kilkanaście godzin i świecimy laserem w ściankę akwarium, uważając, żeby nie uszkodzić sobie wzroku (dlatego najlepiej wykonywać to doświadczenie pod kierunkiem nauczyciela). Dzięki obecności niewielkiej ilości mleka jesteśmy w stanie zobaczyć tor promienia świetlnego. Stężenie soli przy dnie jest największe i maleje wraz z oddalaniem się od dna. Promień lasera, jeśli świecimy na ściankę blisko dna, jest wyraźnie zakrzywiony. Ciekawe efekty daje też patrzenie na ściankę boczną (poziomo, równoległe do dna!) – im niżej jesteśmy, tym lepiej widać właśnie dno akwarium.



Schemat wyniku doświadczenia, w którym promień lasera biegnie przez ośrodek o współczynniku załamania zmiennym w sposób ciągły.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:




<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Dla zainteresowanych

Uwaga 2

Pokazaliśmy matematyczną analogię między prawem załamania fali a przypadkiem kinematycznym (ruch jednostajny prostoliniowy), połączonym z optymalizacją czasu ruchu względem wszystkich możliwych torów. Czy oznacza to, że światło przechodząc z powietrza do szkła „wie”, jaką drogą się poruszać, a jego „intencją” jest tu minimalizacja czasu ruchu? Odpowiedź może Ci się wydać zaskakująca, ale brzmi ona – nie. Tu wkraczamy w obszar rozważań o przyczynowości zjawisk w fizyce i innych naukach, których nie będziemy w naszym materiale kontynuować. Zachęcamy Cię jednak do samodzielnych poszukiwań.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



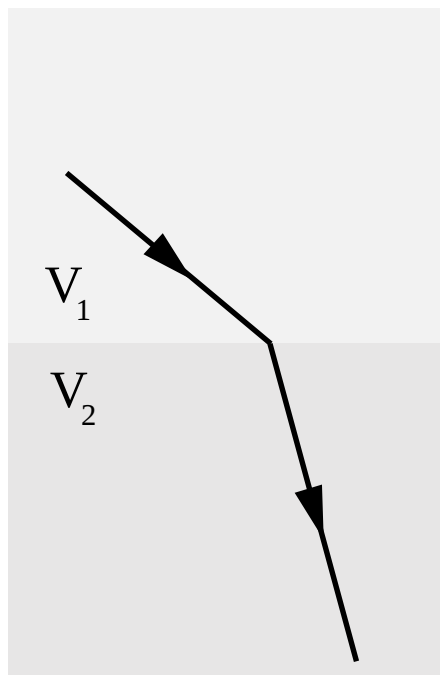
Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Na rysunku pokazane jest przejście fali przez granicę dwóch ośrodków. Prędkość rozchodzenia się fali w pierwszym ośrodku wynosi v_1 , w drugim v_2 .



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

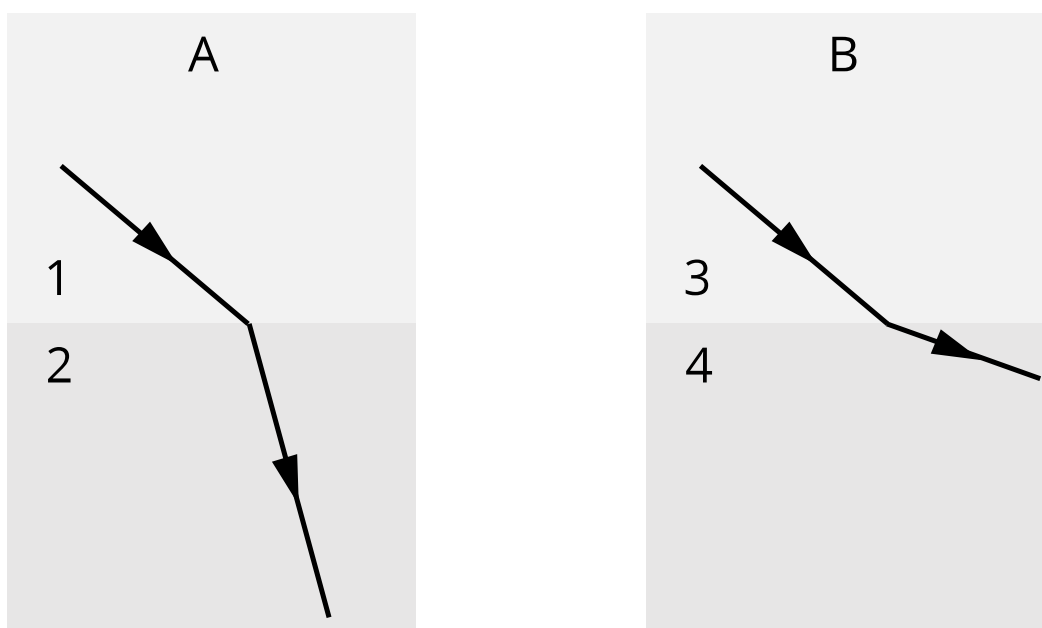
Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Jeden z rysunków, A lub B, przedstawia przejście promienia świetlnego z ośrodka o współczynniku załamania względem powietrza równym 1,6 do powietrza, a drugi przejście z powietrza do ośrodka o współczynniku załamania względem powietrza równym 1,4. Który z ośrodków, 1, 2, 3 lub 4, ma współczynnik załamania równy 1,6, a który 1,4? Jakimi numerami oznaczono powietrze?



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

Ćwiczenie 6



Na jakiej wysokości nad podłogą powinna znajdować się dolna krawędź lustra, aby osoba, której oczy znajdują się na wysokości $h = 160$ cm, mogła zobaczyć w lustrze całą swoją postać?

Ćwiczenie 7



Puste pomieszczenie nie nadaje się do słuchania muzyki, bo występuje w nim nieprzyjemny dla ucha pogłos. Wyjaśnij, jakim zjawiskiem fizycznym jest to spowodowane.

Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Odbicie i załamanie fal w zadaniach
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>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>X. Fale i optyka. Uczeń:</p> <p>6) stosuje prawo odbicia i prawo załamania fal na granicy dwóch ośrodków; posługuje się pojęciem współczynnika załamania ośrodka; oblicza kąt graniczny.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia 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. opisuje naturę różnych rodzajów fal; 2. zapisuje prawo odbicia fali od powierzchni; 3. zapisuje prawo załamania fali przy przejściu przez granicę dwóch ośrodków; 4. analizuje zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia; 5. stosuje prawa odbicia i załamania fal do rozwiązywania różnych problemów.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszernyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	monitor interaktywny lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Prawo odbicia”, „Prawo załamania fal”, „Co to jest całkowite wewnętrzne odbicie?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Wprowadzenie, zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”.</p> <p>Odwołanie do wiedzy uczniów o prawach odbicia i załamania fali.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Uczniowie przypominają, czym jest fala oraz prawa odbicia i załamania fali. Nauczyciel wyświetla Rys. 4, ilustrujący pojęcie kąta granicznego, a uczniowie wyprowadzają wzór na kąt graniczny.</p> <p>Uczniowie w grupach rozwiązują zadanie 5, 6 i 8 z zestawu ćwiczeń.</p> <p>Następnie wspólnie lub indywidualnie oglądają film samouczek, poświęcony analogii pomiędzy prawem załamania a zadaniem optymalizacyjnym z kinematyki. Potem rozwiązują polecenia zamieszczone pod filmem i dyskutują o problemach, na które wskazują komentarze do zadań i filmu.</p>	
Faza podsumowująca:	
<p>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.</p>	
Praca domowa:	
<p>Zadania z zestawu ćwiczeń: 1-4 obowiązkowo i do wyboru jedno z pozostałych zadań.</p>	

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Film samouczek może być także wykorzystany, jako materiał rozszerzający wiedzę uczniów. Można go użyć przy lekcjach odwróconych, do dyskusji na temat przyczynowości w fizyce, biologii, filozofii.