

## Badanie załamania fal na granicy ośrodków

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



## Badanie załamania fal na granicy ośrodków

### Czy to nie ciekawe ?

Jeśli częściowo zanurzymy w wodzie jakiś przedmiot, np. łyżkę (jak na Rys. a.), na granicy ośrodków – wody i powietrza – możemy zauważyć ciekawe zjawisko: wydaje się, że część łyżki zanurzona w wodzie nie jest połączona z częścią łyżki wystającej nad jej powierzchnię. Może Ci się to nawet wydawać śmieszne, ale obserwowany efekt wynika z tego, że **prędkość światła w wodzie jest mniejsza od prędkości światła w powietrzu**. Z tej różnicy w rozchodzeniu się fal w różnych ośrodkach wynika prawo załamania.



Rys. a. łyżka zanurzona w wodzie.

### Twoje cele

- dowiesz się, czym jest załamanie fali,
- poznasz prawo załamania,
- zastosujesz prawo załamania w prostych doświadczeniach,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz opis zachowania się fali na granicy dwóch ośrodków.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

### Załamanie fali

Bardzo często mamy do czynienia z sytuacją, że płaska fala harmoniczna o okresie  $T$  może rozchodzić się w dwóch różnych, ale zetkniętych ze sobą ośrodkach. W pierwszym ośrodku prędkość fali jest równa  $v_1$ , a więc długość fali wynosi

$$\lambda_1 = v_1 T .$$

Jeśli w drugim ośrodku prędkość fali wynosi  $v_2$ , to długość fali - analogicznie jak powyżej - ma wartość

$$\lambda_2 = v_2 T .$$

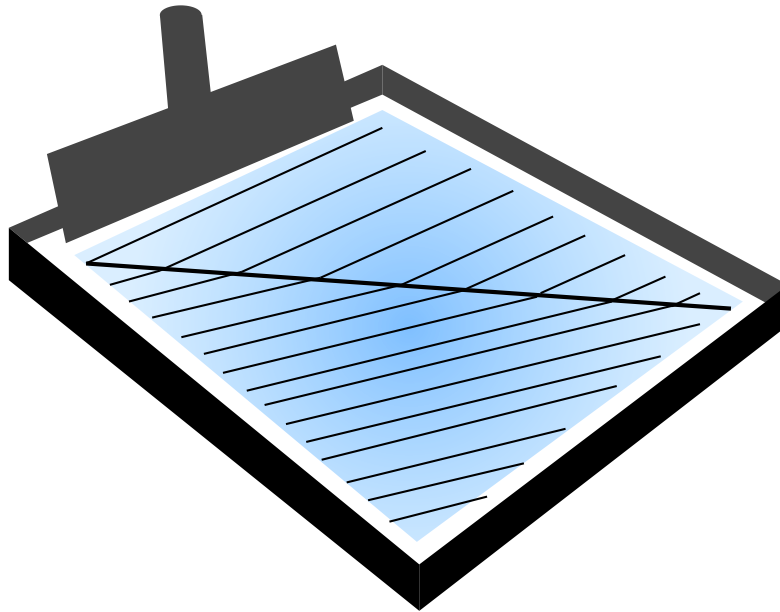
Jeżeli fala przechodzi przez granicę ośrodków, zmienia się kierunek jej biegu; zjawisko to nazywamy **załamaniem fali**.

### Fale na powierzchni wody

Prędkość fal na powierzchni wody zależy od jej głębokości. Jest większa dla wody głębszej i mniejsza dla wody płytszej. Pozwala to na prostą obserwację zjawiska załamania fal - jest sens traktować wodę płytką i głęboką jak dwa różne ośrodki, mimo że np. chemicznie od siebie się nie różnią.

### Doświadczenie 1

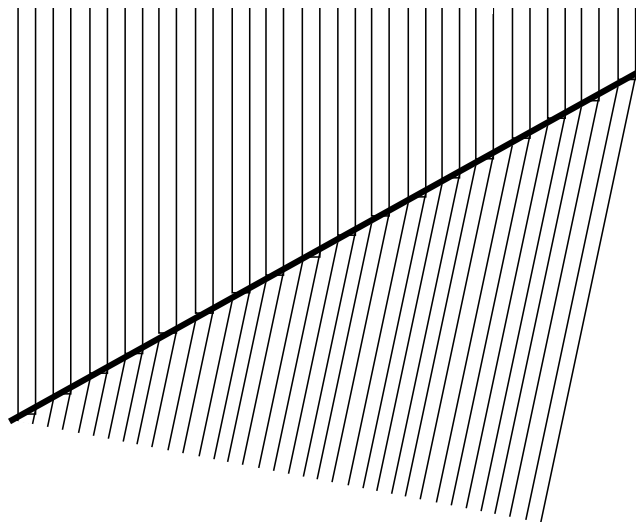
Do doświadczenia potrzebne jest płaskie naczynie, oświetlone lampą od góry. Podzielone jest ono na dwie części o różnej głębokości wody (Rys. 1.).



Rys. 1. Naczynie użyte w doświadczeniu.

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

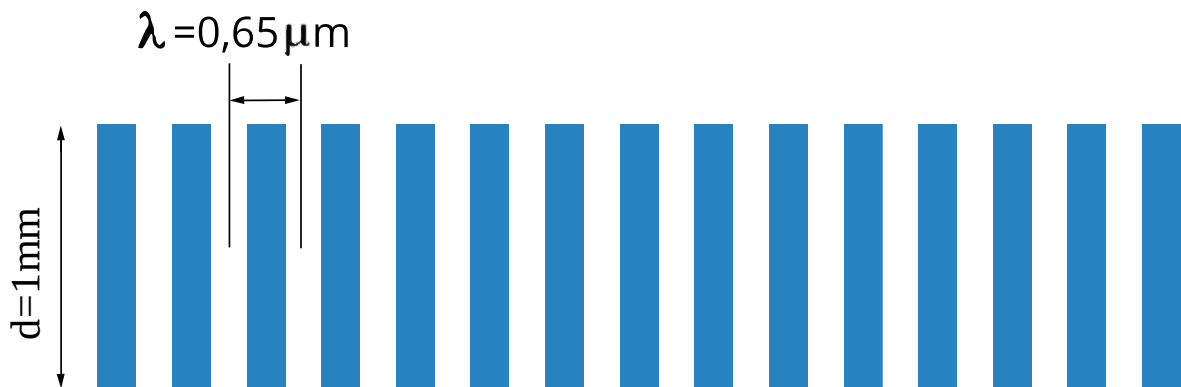
Głębokość w lewej części można zmniejszyć za pomocą trójkątnej szyby lub płytki ze sztywnego przezroczystego plastiku, ewentualnie podwyższonego „nóżkami” z plasteliny. Falę płaską w wodzie generujemy, odpowiednio poruszając listewką. Załamanie takich fal na wodzie widać wprost. Przedstawia to Rys. 2.:



Rys. 2. Załamanie fal obserwowane w wodzie.

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

Promień światła jednobarwnego jest wiązka fal o szerokości znacznie większej od długości fali. Na przykład: długość fali dla typowego czerwonego wskaźnika laserowego w powietrzu jest równa  $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$ , a szerokość wiązki  $d = 1 \text{ mm}$ . Schematycznie (i bez zachowania proporcji) przedstawia to Rys. 3.:



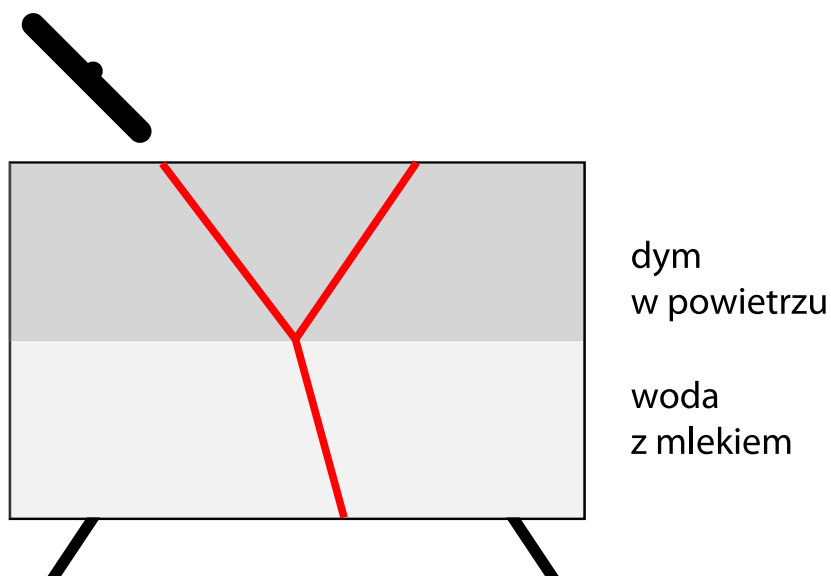
Rys. 3. Schemat jednobarwnego promienia światła.

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

Dla światła widzialnego nie widzimy wprost jego struktury falowej, ale załamanie światła na granicy powietrza i wody możemy łatwo zademonstrować.

## Doświadczenie 2

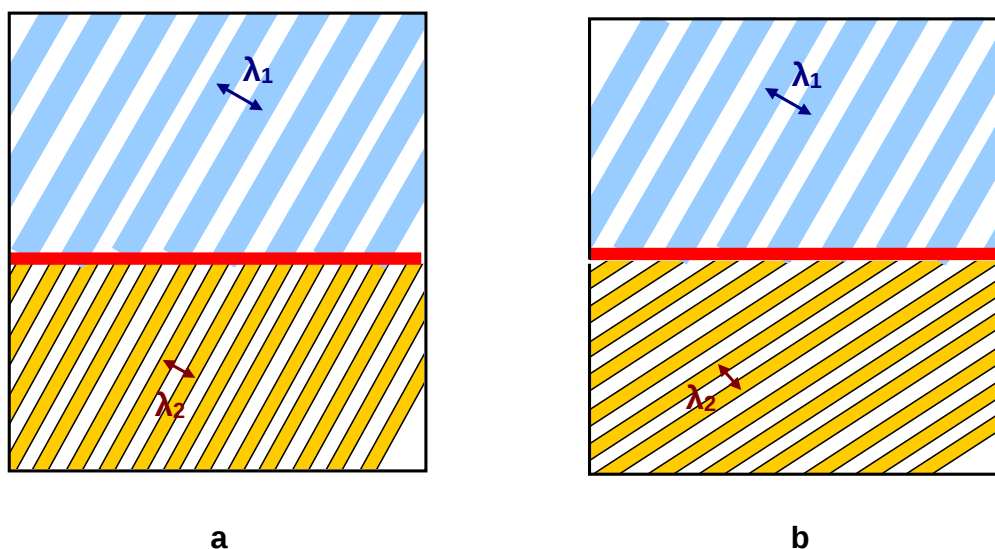
Rys. 4. przedstawia schematycznie proste doświadczenie tego rodzaju, wykonane dla światła pochodzącego ze wskaźnika laserowego. Potrzebne jest do niego naczynie o przezroczystych ściankach. Dolna część naczynia wypełniona jest wodą z dodatkiem niewielkiej ilości mleka. W górnej znajduje się powietrze z pewną ilością dymu (na przykład z kadzidełka). Na skutek rozpraszania światła widoczny jest bieg promieni: padającego na górze i załamanego na dole. W górnej części widoczny jest także promień odbity, którym na razie nie będziemy się zajmować.



Rys. 4. Schemat doświadczenia nr 2.

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

## Dlaczego fala się załamuje?



Rys. 5. Załamanie fali na granicy dwóch ośrodków (a) fikcyjne, (b) rzeczywiste.

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

Wyobraźmy sobie najpierw sytuację fikcyjną (Rys. 5a.). W ośrodku górnym biegnie fala 1 o długości  $\lambda_1$ , a w ośrodku dolnym fala 2 o długości  $\lambda_2 < \lambda_1$  i w tym samym kierunku, co fala 1. Gdyby tak było, to na granicy ośrodków (czerwona linia) fale by do siebie zupełnie nie pasowały. Wystarczy jednak przekrócić falę 2 trochę w prawo, a wtedy na granicy ośrodków

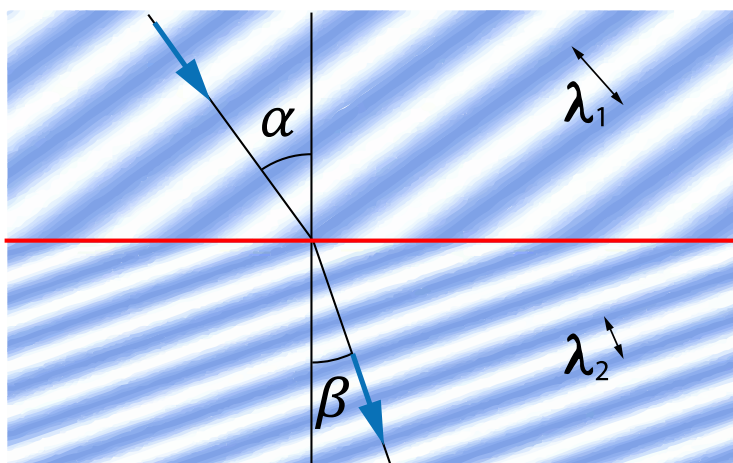
maksima fali dolnej dopasują się do maksimów fali górnej; podobnie - minima fali dolnej dopasują się do minimów fali górnej. Uzyskamy sytuację taką, jak na Rys. 2.

## Prawo załamania

Do matematycznego opisu zjawiska załamania fali służy **prawo załamania**. Aby je zrozumieć, musimy najpierw zdefiniować kilka wielkości.

- kąt  $\alpha$  pomiędzy kierunkiem biegu fali padającej (górna niebieska strzałka na Rys. 6a. oraz 6b.) a kierunkiem prostopadłym do granicy ośrodków (czarna linia zwana **normalną**) nazywamy **kątem padania**.
- kąt  $\beta$  pomiędzy kierunkiem biegu fali załamanej (dolna niebieska strzałka na Rys. 6a. oraz 6b.) a kierunkiem prostopadłym do granicy ośrodków nazywamy **kątem załamania**.

Rys. 6a. przedstawia sytuację, w której fala załamana jest krótsza od fali padającej. Kąt załamania jest wtedy mniejszy od kąta padania; żargonowo mówimy wtedy o „załamaniu ku normalnej”.

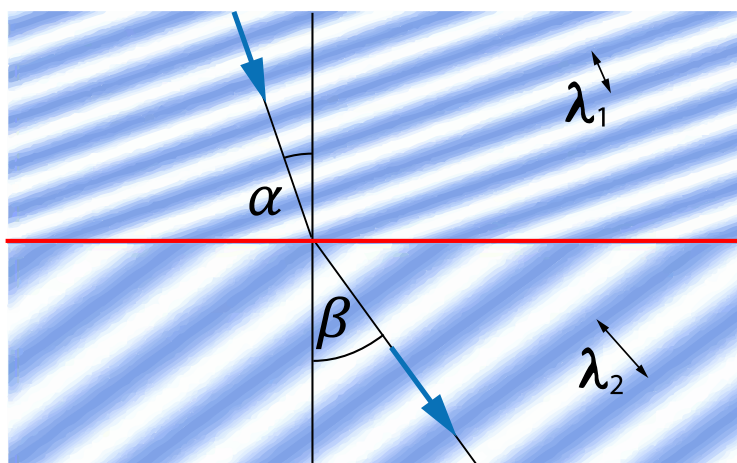


Rys. 6a. Załamanie fali na granicy dwóch ośrodków gdy  $\lambda_2 < \lambda_1$  (tzw. załamanie "ku normalnej").

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

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

Rys. 6b. przedstawia sytuację odwrotną: fala załamana jest dłuższa od fali padającej. Kąt załamania jest wtedy większy od kąta padania, mówimy wtedy o „załamaniu od normalnej”.



Rys. 6b. Załamanie fali na granicy dwóch ośrodków gdy  $\lambda_2 > \lambda_1$  (tzw. załamanie "od normalnej").

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

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

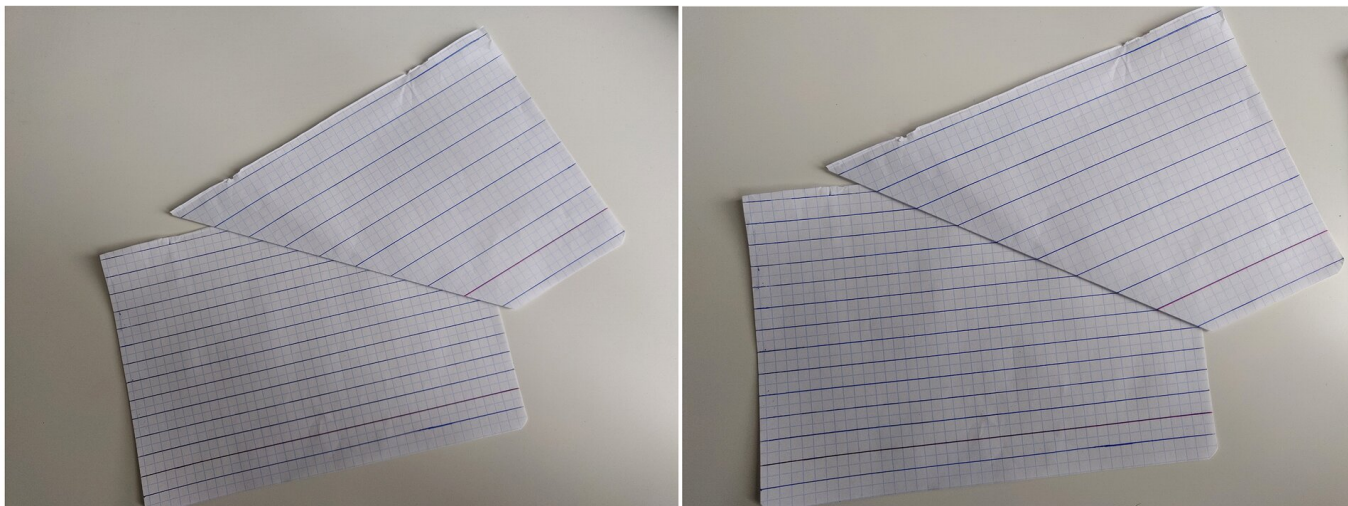
Prawo załamania mówi, że stosunek sinusa kąta padania  $\alpha$  do sinusa kąta załamania  $\beta$  równy jest stosunkowi prędkości fali w odpowiednich ośrodkach, co zwykle zapisujemy w postaci

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n .$$

Jak widać,  $n$  to stosunek prędkości fali w dwóch ośrodkach. Wielkość tę nazywamy **współczynnikiem załamania** dla tych dwóch ośrodków.

### Doświadczenie 3

Proponuję Ci prostą zabawę. Przygotuj dwie nieduże kartki papieru w kratkę. Na pierwszej narysuj flamastrem linie co 1, 5 cm (tj. co trzy kratki). To będą szczyty fali padającej. Na drugiej narysuj linie co 1 cm (co 2 kratki). To będą szczyty fali załamanej. Kartkę pierwszą zegnij, żeby dostać obraz fali padającej pod kątem ostrym na granicę „ośrodków” (Rys. 7). A teraz postaraj się tak podłożyć pod spód kartki pierwszej kartkę drugą, aby narysowane linie łączyły się ze sobą na „granicy ośrodków” (jaśniejsza niebieska linia).



Rys. 7. Schemat doświadczenia nr 3.

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

### Polecenie 1

Podaj interpretację kąta pomiędzy liniami obrazującymi szczyty fali padającej a linią zgięcia pierwszej kartki.

### Polecenie 2

Za pomocą swojego „modelu papierowego” i kątomierza spróbuj ustalić:

- Ile wynosi kąt załamania, jeżeli kąt padania jest równy  $45^\circ$ .
- Wartość kąta padania, dla którego kąt załamania jest największy?

## Słowniczek

### normalna

(ang. *normal*) - prosta prostopadła do powierzchni styku dwóch ośrodków, przechodząca przez punkt, w którym fala przebija tę powierzchnię.

### kąt padania

(ang. *angle of incidence*) - kąt pomiędzy kierunkiem biegu fali padającej a normalną.

### kąt załamania

(ang. *angle of refraction*) - kąt pomiędzy kierunkiem biegu fali załamanej a normalną

### prawo załamania

(ang. *law of refraction*) - prawo mówiące o zależności między kątami padania i załamania a prędkościami fali w poszczególnych ośrodkach. Znane także jako prawo Snella.

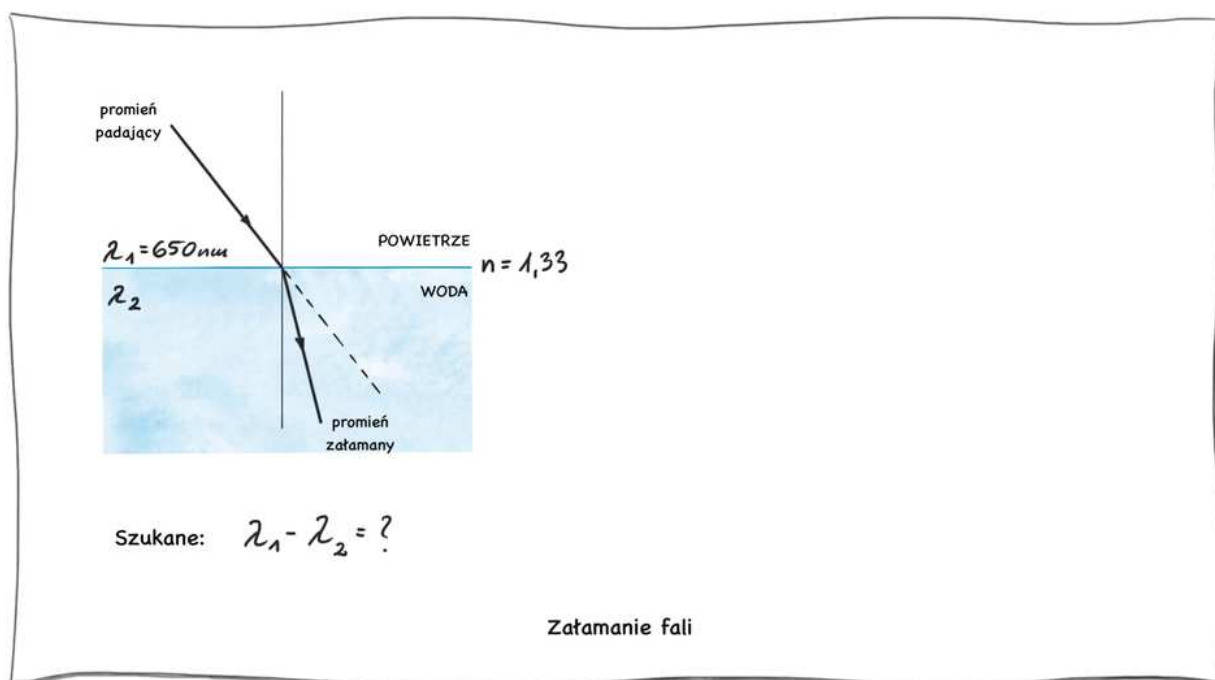
# Film samouczek

---

## Badanie załamania fal na granicy różnych ośrodków

W filmie zostanie rozwiązane przykładowe zadanie dotyczące załamania fali na granicy dwóch ośrodków.

Trwa wczytywanie danych ..



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/ROc9DKOvNsClu](#)

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

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

---

## **Polecenie 1**

## **Polecenie 2**

Rozstrzygnij, czy podczas przejścia fali świetlnej z pierwszego ośrodka do drugiego zmieni się jej kolor.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ośrodek	Prędkość światła w tym ośrodku [m/s]
powietrze	$3 \cdot 10^8$
olej	$2,05 \cdot 10^8$
woda	$2,25 \cdot 10^8$

Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Józef Ginter
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Prawo załamania</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
<b>Podstawa programowa</b>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych.</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>
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li><li>• kompetencje cyfrowe,</li><li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li><li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li></ul>

<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. pozna prawo załamania;</li> <li>2. zastosuje prawo załamania w prostych doświadczeniach;</li> <li>3. przeanalizuje i zinterpretuje opis zachowania się fali na granicy dwóch ośrodków.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania</b>	strategia eksperymentalno-obszewacyjna - dostrzeganie i definiowanie problemów oraz odkrywanie rzeczywistości poprzez eksperymenty
<b>Metody nauczania</b>	wykład informacyjny
<b>Formy zajęć:</b>	praca indywidualna
<b>Środki dydaktyczne:</b>	naczynie o dwóch poziomach głębokości napełnione wodą, deseczka służąca do wytwarzania fal w naczyniu
<b>Materiały pomocnicze:</b>	niniejszy e-materiał
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Nauczyciel, uderzając deseczką o powierzchnię wody w naczyniu, wytwarza falę płaską harmoniczną. Zwraca uwagę uczniom na zmianę, jakiej podlega fala na granicy ośrodków o różnej głębokości.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	
<p>Nauczyciel pyta uczniów, które z wielkości fizycznych opisujących falę ulegają zmianie na granicy ośrodków. Następnie przedstawia prawo załamania oraz pokazuje uczniom, w jaki sposób opisuje ono zmianę tych wielkości fizycznych.</p>	
<b>Faza podsumowująca:</b>	
<p>W ramach utrwalenia zdobytych wiadomości i zrozumienia prawa załamania uczniowie rozwiązują zadania 1, 3, 5 i 7 z zestawu ćwiczeń e-materiału.</p>	
<b>Praca domowa:</b>	
<p>W ramach pracy domowej uczniowie rozwiązują zadania 2 i 8 z zestawu ćwiczeń e-materiału.</p>	
<b>Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium</b>	Multimedium może posłużyć jako materiał do powtórzenia wiadomości.