

Badanie prędkości rozchodzenia się fal w różnych ośrodkach

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Badanie prędkości rozchodzenia się fal w różnych ośrodkach

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.shutterstock.com/image-illustration/water-drop-163928648> [dostęp 24.04.2022], Shutterstock, tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Czy to nie ciekawe?

Burze z piorunami wywołują zachwyt, ale i strach. Często ważne jest określenie, jak daleko znajduje się burza, czy zbliża się, czy też oddala. Popularnym sposobem na obliczanie odległości, w jakiej uderzył piorun, jest liczenie sekund między pojawieniem się błyskawicy, a usłyszeniem grzmotu. Przybliżona odległość w kilometrach od miejsca uderzenia pioruna to liczba wyliczonych sekund podzielona przez 3. Ten prosty sposób określania odległości od burzy oznacza, że przyjmujemy przybliżoną wartość prędkości dźwięku w powietrzu jako $\frac{1}{3}$ km/s. Widzimy, że znajomość prędkości rozchodzenia się dźwięku jest ważna nawet dla osób, które nie mają pojęcia, że dźwięk jest falą rozchodzącą się w ośrodku. W tym e-materiale zmierzmy w Wirtualnym Laboratorium prędkość fal w trzech różnych ośrodkach.



Rys. a. Błyskawica nad miastem

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.pexels.com/pl-pl/zdjecie/fioletowa-blyskawica-w-nocy-1576369/> [dostęp 3.11.2022], domena publiczna.

Twoje cele

- dowiesz się, czym jest dźwięk,
- dowiesz się, od czego zależy prędkość fali dźwiękowej,
- wyznaczysz w Wirtualnym Laboratorium prędkość fal dźwiękowych dla trzech różnych ośrodków,
- przeprowadzisz analizę niepewności pomiarowych wyznaczanych wielkości.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Otoczające nas ze wszystkich stron dźwięki to fale przechodzące przez ośrodek, jakim jest najczęściej powietrze, ale może to być też ciecz lub ciało stałe.

Ruchem falowym nazywamy rozchodzące się zaburzenie ośrodka.

Polega to na tym, że cząsteczki ośrodka, wprowadzone w drgania, przekazują energię drgań sąsiadnym cząsteczkom. W ten sposób ruch drgający przenosi się coraz dalej, ale przekazywana jest tylko energia, a nie materia.

Dźwięk jest falą podłużną, co oznacza, że drgania cząsteczek ośrodka mają kierunek zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali. Prędkość rozchodzenia się fali zależna jest od właściwości ośrodka. Największą prędkość ma dźwięk w ciałach stałych, w których cząsteczki są silnie ze sobą związane. Znacznie wolniej dźwięk rozchodzi się w cieczach, a jeszcze wolniej w gazach.

Fale dźwiękowe w gazach rozchodzą się tym szybciej, im wyższa jest temperatura gazu. Na przykład, prędkość dźwięku w powietrzu wzrasta od 332 m/s w temperaturze 0°C do 355 m/s w temperaturze 40°C.

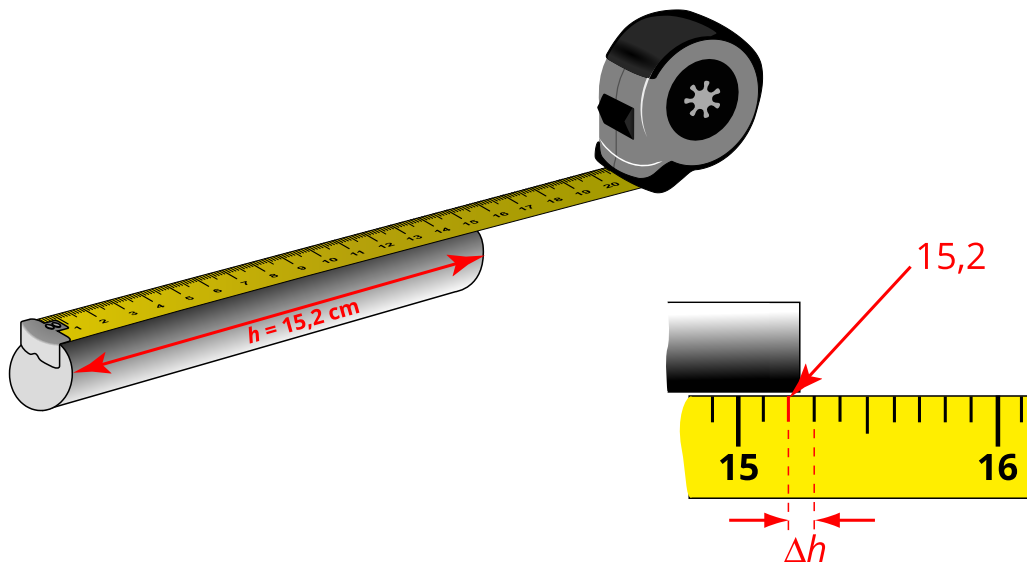
Jeśli warunki są stabilne, fale dźwiękowe rozchodzą się ze stałą prędkością. Aby wyznaczyć prędkość fali, wystarczy więc zmierzyć czas t , w jakim fale dźwiękowe przebędą pewien dystans, oraz długość s tego dystansu.

Prędkość fali dźwiękowej będzie stosunkiem drogi do czasu:

$$v = \frac{s}{t}$$

Każdy pomiar obarczony jest pewną **niepewnością**. Zastanówmy się od czego będzie zależała ta niepewność, oraz jak wykonać pomiar, aby wynik był możliwie najdokładniejszy.

Sposób obliczania niepewności pomiarów zależy od tego, czy zostały one wykonane w sposób bezpośredni (przy użyciu jednego przyrządu) - Rys. 1., czy pośredni, gdy obliczamy wartość szukanej wielkości na podstawie wzoru wiążącego wielkości mierzone bezpośrednio. Zachęcamy do zapoznania się z e-materiałami: „Niepewność pomiarów pośrednich” i „Niepewność całkowita”.



Rys. 1. Pomiar wysokości walca h za pomocą taśmy mierniczej jest przykładem pomiaru bezpośredniego. Niepewność graniczna pomiaru $\Delta h = 0,1 \text{ cm}$.

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

Prędkość fali, wyznaczana w oparciu o pomiar drogi przebytej przez falę i czas przebycia tej drogi, jest wielkością mierzoną pośrednio. **Względna niepewność** pomiaru prędkości fali $\frac{u(v)}{v}$ wyraża się wzorem:

$$\frac{u(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{u(s)}{s}\right)^2 + \left(\frac{u(t)}{t}\right)^2}$$

gdzie $u(s)$ i $u(t)$ to niepewności drogi i czasu.

Droga i czas są wielkościami mierzonymi bezpośrednio, więc ich niepewności wynoszą:

$$u(s) = \frac{\Delta s}{\sqrt{3}}, \quad u(t) = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}}$$

gdzie Δs i Δt to **niepewności graniczne**, które zależą od dokładności przyrządów, nie mamy więc na nie wpływu.

Natomiast dla danej wartości Δs , niepewność względna $\frac{u(s)}{s}$ jest tym mniejsza, im większa jest mierzona odległość s . Jeśli wybierzemy dużą odległość s , na jakiej będziemy mierzyć prędkość fali dźwiękowej, to odpowiednio wydłuży się też czas przebycia przez dźwięk tej odległości i również niepewność względna $\frac{u(t)}{t}$ będzie możliwie najmniejsza.

Zapamiętaj ogólną regułę:

Jeśli chcesz wyznaczyć jakąś wielkość fizyczną przez pomiar innych wielkości i dysponujesz przyrządami pomiarowymi o określonej dokładności, zawsze staraj się wybierać możliwie największe wartości mierzonych wielkości, tak aby niepewności względne mierzonych wielkości były jak najmniejsze.

Słowniczek

niepewność pomiarowa graniczna

zwana dawniej niepewnością maksymalną - niepewność pomiaru wielkości fizycznej x , oznaczana symbolem Δx , związana z rozdzielczością i dokładnością przyrządu pomiarowego.

niepewność pomiarowa standardowa

(ang. *uncertainty of measurement*) zwana również niepewnością standardową - niepewność pomiaru wielkości fizycznej x , oznaczana symbolem $u(x)$, związana z rozrzutem wyników, które można uzyskać w serii niezależnych pomiarów, dokonanych w powtarzalnych warunkach. W przypadku pomiarów bezpośrednich mamy dwa rodzaje niepewności standardowych: **niepewność typu A** (wyznaczoną w oparciu o statystyczne metody opracowania wyników) i **niepewność typu B** (wyznaczoną w oparciu o naukowy osąd badacza wykonującego pomiary i biorącego pod uwagę dostępne informacje nt. rozdzielczości przyrządów pomiarowych, wyniki poprzednich pomiarów itd.).

niepewność standardowa typu A

(ang. *type A measurement uncertainty*) - w sytuacji, gdy wynik pomiaru bezpośredniego jest średnią arytmetyczną z serii pomiarów: \bar{x} , niepewność ta jest wyrażona odchyleniem standardowym wielkości średniej.

niepewność standardowa typu B

(ang. *type B measurement uncertainty*) - w sytuacji, gdy dysponujemy pojedynczym bezpośrednim pomiarem wielkości x z **niepewnością graniczną** Δx , niepewność ta jest równa: $u(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}$.

niepewność względna

(ang.: *relative uncertainty*) - stosunek niepewności $u(x)$ wielkości x do wartości tej wielkości: $\frac{u(x)}{x}$.

Wirtualne laboratorium

Pomiar prędkości dźwięku w trzech ośrodkach

Przeprowadź dwuczęściowy eksperyment w wirtualnym laboratorium. Wykonaj ćwiczenia i polecenia związane z wyposażeniem laboratorium, przeprowadzeniem pomiarów i opracowaniem ich wyników. Aby obliczyć niepewność pomiarową wyniku końcowego, przypomnij sobie e-materiał „Niepewność wielkości mierzonej pośrednio” oraz „Błąd przypadkowy, błąd systematyczny”.

Pomiar prędkości dźwięku w różnych ośrodkach metodą czasu przelotu

Doświadczenie 1

Celem doświadczenia jest pomiar prędkości dźwięku w różnych ośrodkach. Wykonasz jak najdokładniej po jednym pomiarze dla każdego z nich.

Problem badawczy

Czy dokładność pomiaru w naszym doświadczeniu (rozumiana jako względna niepewność wyznaczenia prędkości) jest taka sama dla wszystkich badanych ośrodków?

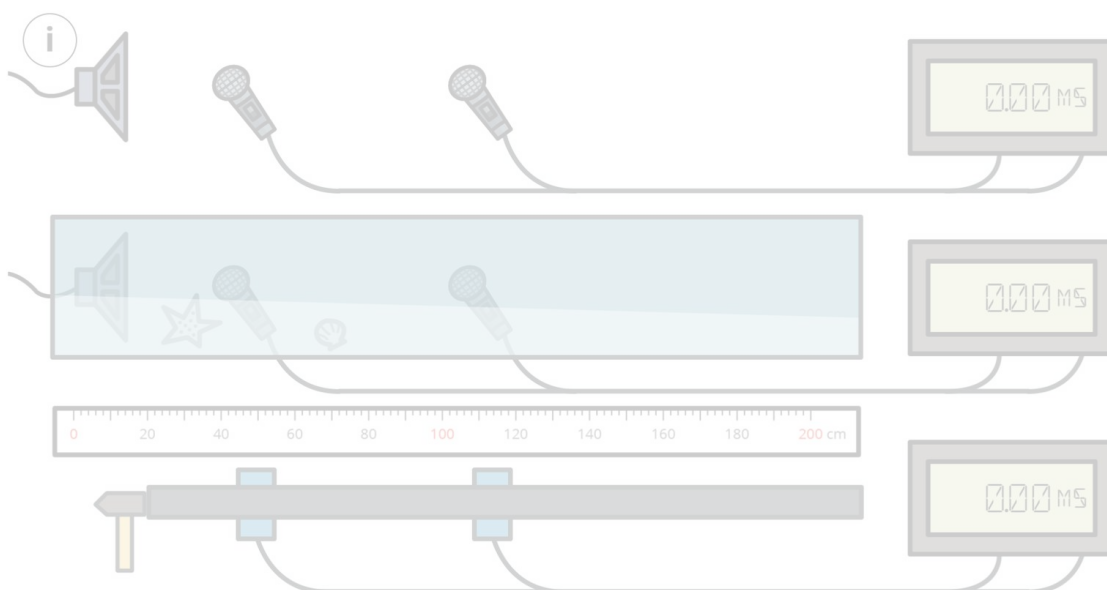
Hipoteza

Co będzie potrzebne

Jak można zwiększyć dokładność pomiaru prędkości dźwięku w naszym doświadczeniu? Zapisz swoje propozycje.

Instrukcja

1. Zapoznaj się z instrukcją zawartą w doświadczeniu.
2. Dokonaj jednokrotnego pomiaru prędkości dźwięku w każdym z trzech ośrodków. Postaraj się, by odległość między mikrofonami lub detektorami drgań zmierzyć przesuwaną linijką jak najdokładniej. Ustaw je także jak najdalej od siebie.
3. Wyniki zapisz w tabeli znajdującej się poniżej.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DfspvYn7e>

4. Uzupełnij tabelę o niepewności pomiarowe wielkości mierzonych bezpośrednio.

Podsumowanie

Wyznacz względne niepewności zmierzonych wartości prędkości dźwięku.

Dokonaj podsumowania doświadczenia. Zawrzyj w nim następujące części:

1. Podaj wyznaczone prędkości dźwięku we wszystkich trzech ośrodkach; zapisz je z uwzględnieniem niepewności pomiarowych. Porównaj je z wartościami tablicowymi.
2. Czy Twoja hipoteza badawcza potwierdziła się? Jeśli nie, napisz, dlaczego.
3. Sformułuj krótko własne wnioski wynikające z doświadczenia.

Pomiar prędkości dźwięku w wybranym ośrodku z wykorzystaniem serii powtarzalnych pomiarów

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Wojtek zmierzył za pomocą taśmy mierniczej szerokość furtki i otrzymał wynik $d_1 = 1,5$ m, a następnie długość płotu: $d_2 = 15$ m. Taśma ma podziałkę centymetrową. Wyjaśnij, który z pomiarów można uznać za dokładniejszy, czyli o mniejszej niepewności względnej.

Ćwiczenie 8



Filip zaplanował wyznaczenie prędkości dźwięku w powietrzu, wykorzystując zjawisko echa. Zamierza stanąć w odległości około 80 m od zbocza góry, w miejscu, gdzie występuje echo, i wydać krótki okrzyk, włączając jednocześnie stoper. Gdy usłyszy echo okrzyku, wyłączy stoper. W ten sposób zmierzy czas, w którym dźwięk wędrował do zbocza i z powrotem. Stoper mierzy czas z dokładnością do 0,01 s. Natomiast czas reakcji u większości ludzi zawiera się w zakresie od 0,2 s do 0,4 s. Przeanalizuj możliwe przyczyny niepewności pomiarowych i oceń, czy możliwe jest wyznaczenie prędkości dźwięku w tym doświadczeniu.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska, Krzysztof Lorek
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Badanie prędkości rozchodzenia się fal w różnych ośrodkach
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</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>Zakres podstawowy</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;</p> <p>13) posługuje się pojęciem niepewności pomiaru wielkości prostych; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności.</p> <p>IX. Fale i optyka. Uczeń:</p> <p>6) rozróżnia fale poprzeczne i podłużne; opisuje światło jako falę elektromagnetyczną; opisuje polaryzację światła wynikającą z poprzecznego charakteru fali.</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. objaśni, czym jest dźwięk; 2. poda, od czego zależy prędkość fali dźwiękowej; 3. wyznaczy w Wirtualnym Laboratorium prędkość fal dźwiękowych dla trzech różnych ośrodków; 4. przeprowadzi analizę niepewności pomiarowych wyznaczanych wielkości.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obszerniowa (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: „Jak rozchodzi się dźwięk w powietrzu?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do codziennej wiedzy uczniów o dźwiękach.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Nauczyciel wyjaśnia, że dźwięk jest falą rozchodzącą się w ośrodku. Uczniowie przypominają (z pomocą nauczyciela), na czym polega ruch falowy i czym różni się fala poprzeczna od fali podłużnej. Po ustaleniu, że dźwięk jest falą podłużną, nauczyciel wyjaśnia, od czego zależy prędkość dźwięku: od stanu skupienia ośrodka, a dla gazów od temperatury.</p> <p>Uczniowie zapoznają się z doświadczeniem w Wirtualnym Laboratorium, mającym na celu wyznaczenie prędkości fali w 3 różnych ośrodkach. Nauczyciel omawia analizę niepewności w tym doświadczeniu, wyjaśniając, jak oblicza się niepewność pomiarową wielkości mierzonych pośrednio. Uczniowie w dyskusji proponują, jak wybrać położenie mikrofonów w doświadczeniu, aby wynik był możliwie najbardziej dokładny.</p> <p>Uczniowie w grupach dwuosobowych wykonują pomiary, obliczają wartości prędkości fali w powietrzu, wodzie i żelazie, a następnie szacują niepewność pomiarową każdego pomiaru.</p>	
Faza podsumowująca:	

Uczniowie w dyskusji starają się zinterpretować wyniki doświadczenia i wyjaśnić, dlaczego prędkość fali w stali jest największa. Z pomocą nauczyciela dochodzą do wniosku, że cząsteczki stali są gęsto ułożone i silnie związane, więc przekaz energii sąsiadnym cząsteczkom odbywa się szybciej niż w powietrzu, gdzie cząsteczki są w znacznej odległości od siebie.

Praca domowa:

Zadania z zestawu ćwiczeń: 1 – 5 obowiązkowo i do wyboru jedno z pozostałych zadań.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane przez uczniów jako praca domowa przed lekcją i być wprowadzeniem do tematu.