Jak rozchodzi się dźwięk w powietrzu?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Symulacja interaktywna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Źródło: dostępny w internecie: https://www.shutterstock.com/image-illustration/water-drop-163928648 [dostęp 14.05.2022].

Czy to nie ciekawe?

W westernach często można spotkać postać Indianina, który przykładając ucho do ziemi jest w stanie określić, jak daleko znajdują się jego przeciwnicy. Słyszy on drgania ziemi wywołane uderzeniami kopyt koni. W podobny sposób wytwarzamy i odbieramy dźwięki, wywołując i odbierając drgania cząsteczek powietrza. Szczegółów na temat tego zjawiska dowiesz się w tym e-materiale.

Rys. a. Dzięki drganiom cząsteczek powietrza jesteśmy w stanie słyszeć dźwięki.

Źródło: dostępny w internecie: https://pixabay.com/photos/guitar-player-music-guitarist-5043613/ [dostęp 14.05.2022].

Twoje cele

- dowiesz się, jak temperatura wpływa na prędkość dźwięku,
- poznasz sposób poruszania się cząsteczek gazu,
- zrozumiesz, w jaki sposób rozchodzi się dźwięk w powietrzu,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz powody tłumienia dźwięku wraz z przebytą przez niego odległością,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązania problemów i zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Dźwięki w naszym otoczeniu

Słuch stanowi dla człowieka jeden z najważniejszych zmysłów. Wrażenia dźwiękowe odbieramy właściwie stale: mowę ludzką, muzykę, uderzenia młotkiem czy szum uliczny. Z ich niezmiernego bogactwa możemy wyróżnić dwa szczególne przypadki:

1. krótkotrwałe impulsy dźwiękowe, które nazywamy hukami lub stukami,
2. dźwięki tonalne – to zaburzenia harmoniczne, którym odpowiada ściśle określona częstotliwość. Przyjmuje się, że dźwięki słyszalne tego rodzaju odpowiadają zakresowi od 20 Hz do 20000 Hz.

Wszystkie dźwięki, w tym także impulsy dźwiękowe, mogą być przedstawione jako złożenie wielu – często nieskończenie wielu – dźwięków tonalnych.

Fale dźwiękowe

Rejestrowane przez nas dźwięki są falami powietrza, które rozchodzą się ze skończoną prędkością. Obserwujemy to na przykład przy uderzeniu pioruna:

- światło porusza się z prędkością bliską 300000 km/s, dzięki czemu błyskawicę obserwujemy niemal natychmiast,
- grzmot słyszymy zwykle dopiero po pewnym czasie, bo dźwięk w powietrzu o temperaturze zbliżonej do pokojowej porusza się z prędkością około 340 m/s.

Badając rozchodzenie się dźwięków w powietrzu możemy zaobserwować typowe zjawiska falowe. Falom harmonicznym o określonej częstotliwości f możemy przypisać określoną długość fali λ, zgodnie z ogólnym wzorem $\lambda = v/f$, gdzie v oznacza prędkość dźwięku.

Powiedzieliśmy wyżej, że dźwiękom słyszalnym odpowiada zakres od 20 Hz do 20000 Hz. Długość fali w powietrzu zawarta jest więc w zakresie odpowiednio od około 18 m do około 1,8 mm.

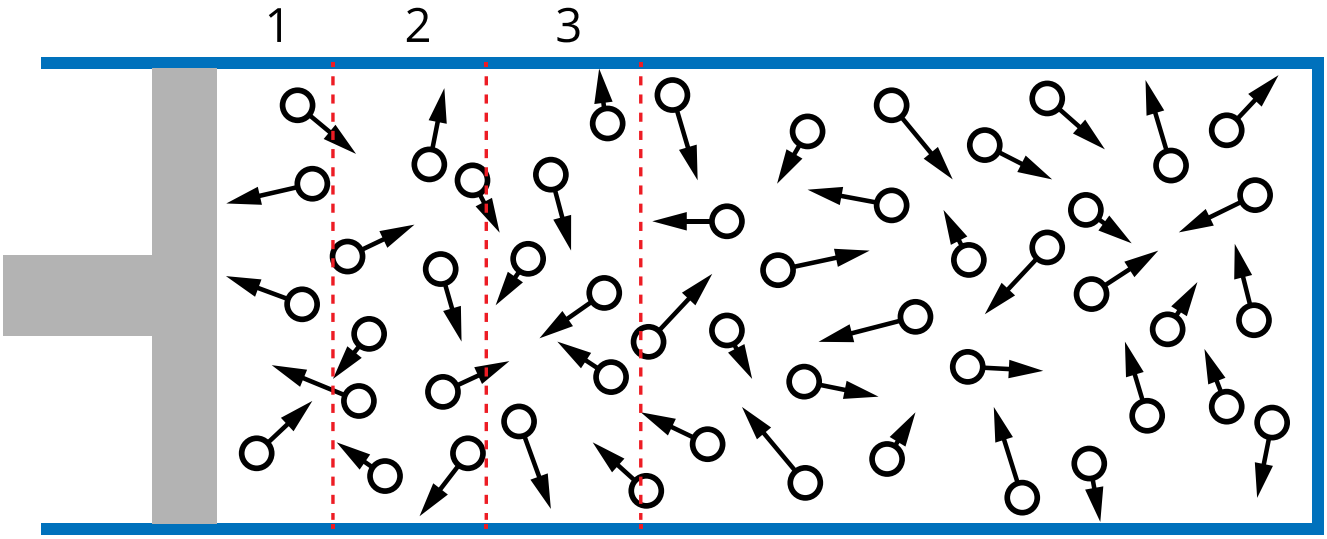
Dla fal akustycznych obserwujemy interferencję i dyfrakcję. Efekty te omawiane są w oddzielnych e-materiałach.

Impuls falowy w gazie

Istnieją istotne różnice pomiędzy mikroskopową budową ciała stałego i gazu.

1. Atomy ciała stałego silnie oddziałują między sobą i dzięki temu tworzą dość sztywną strukturę przestrzenną. Można ją sobie w przybliżeniu wyobrażać jako układ mas połączonych sprężynkami.
2. W gazie oddziaływania między cząsteczkami są bardzo słabe. Cząsteczki poruszają się chaotycznie po odcinkach linii prostych, kierunki ruchów zmieniają tylko w wyniku krótkotrwałych zderzeń pomiędzy sobą i – ewentualnie – ze ściankami naczynia, w którym gaz jest zamknięty. Gaz zamknięty w rurze z ruchomym tłokiem (z lewej strony) przedstawia schematycznie Rys. 1. Powietrze jest w rzeczywistości mieszaniną wielu rodzajów cząsteczek, przede wszystkim azotu i tlenu, dla uproszczenia jednak będziemy myśleli o gazie złożonym z cząsteczek jednego rodzaju.

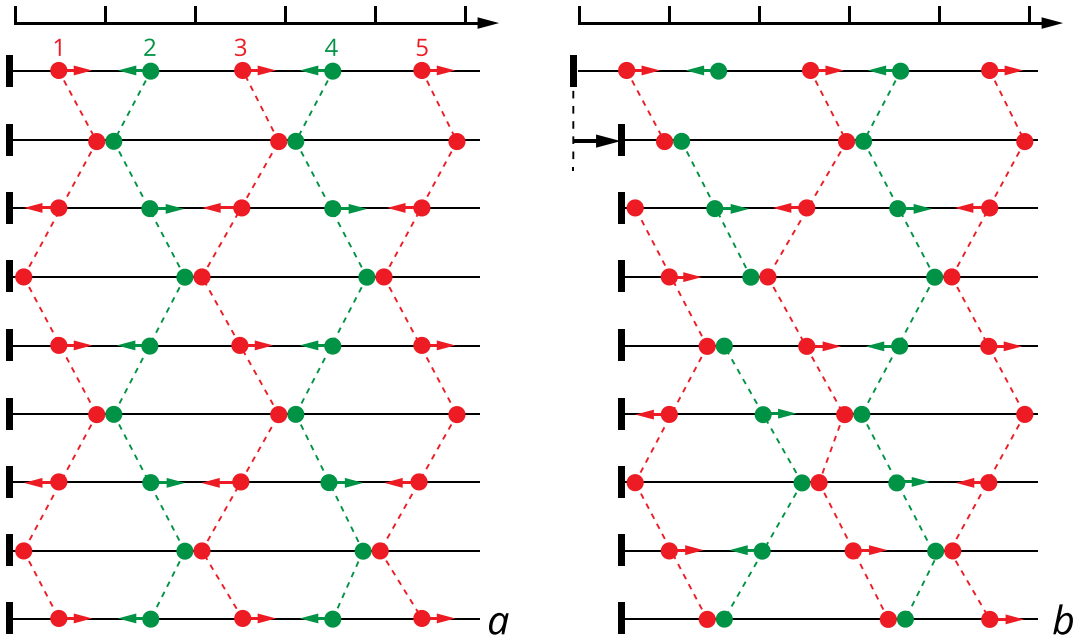
Czerwonymi liniami zaznaczono kilka wybranych warstw gazu.



Rys. 1. Gaz w naczyniu. Po lewej stronie znajduje się ruchomy tłok.

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

Zastanówmy się, co by było, gdyby tłok nieco przesunąć w prawo. Wtedy cząsteczki pierwszej warstwy, które mają poziomą składową prędkości zwróconą w lewo, wcześniej odbiłyby się od tego tłoka i – po zmianie kierunku ruchu – szybciej zderzyłyby się z cząsteczkami warstwy drugiej. Te z kolei prędzej dotarłyby do cząsteczek warstwy trzeciej... itd. W rezultacie informacja o tym, że tłok zmienił położenie przekazywana byłaby w prawo przez swojego rodzaju „sztafetę” zderzających się kolejno ze sobą cząsteczek.



Rys. 2. Interakcje między cząstkami gazu.

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

Rozpatrzmy skrajnie uproszczony, jednowymiarowy model naszego zagadnienia, przedstawiony na Rys. 2. Cząsteczki o jednakowych masach poruszają się wzdłuż prostej w lewo i prawo zderzając się sprężyście między sobą. Poza tym cząsteczka numer 1 zderza się sprężyście z tłokiem po lewej stronie, który reprezentuje czarna, pionowa kreseczka. Cząsteczki – poza chwilami zderzeń – mają jednakowe wartości prędkości v.

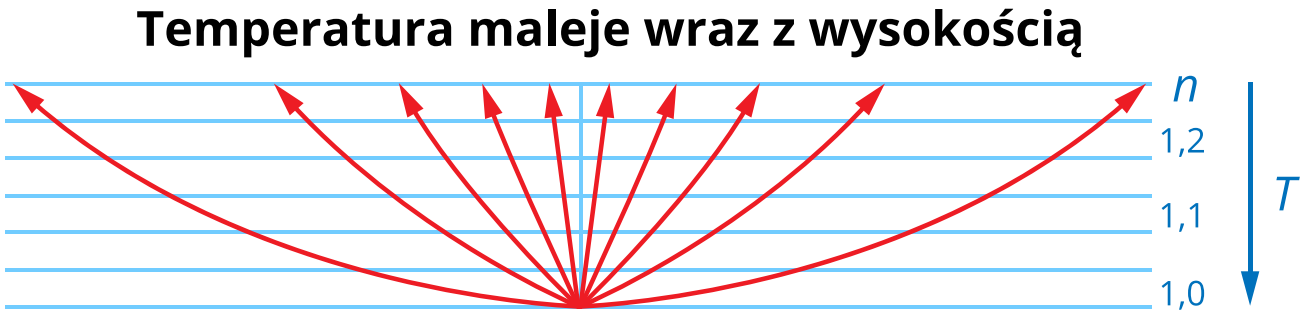
Zestaw rysunków po lewej stronie na Rys. 2., oznaczony jako *a*, przedstawia stan ustalony układu. Przedstawiono na nim dwa pełne cykle drgań, jakie wykonuje cząsteczka. Cząsteczki są rozłożone równomiernie w przestrzeni.

Zestaw rysunków po prawej stronie na Rys. 2., oznaczony jako *b*, przedstawia sytuację inną: w pewnej chwili tłok został przesunięty o pół działki w prawo. Cząsteczka 1 zderzy się teraz z tłokiem wcześniej niż na rysunku *a*. Na skutek tego wcześniej zderzy się z cząsteczką 2. Ta z kolei wcześniej zderzy się z cząsteczką 3, itd. Przez nasz układ wędruje więc zaburzenie polegające na lokalnym zwiększeniu gęstości cząsteczek (i ciśnienia ośrodka) – właśnie o charakterze „sztafety". Wartość prędkości ruchu tego zaburzenia jest po prostu równa wartości prędkości cząsteczek v.

Prędkość cząsteczek gazu doskonałego

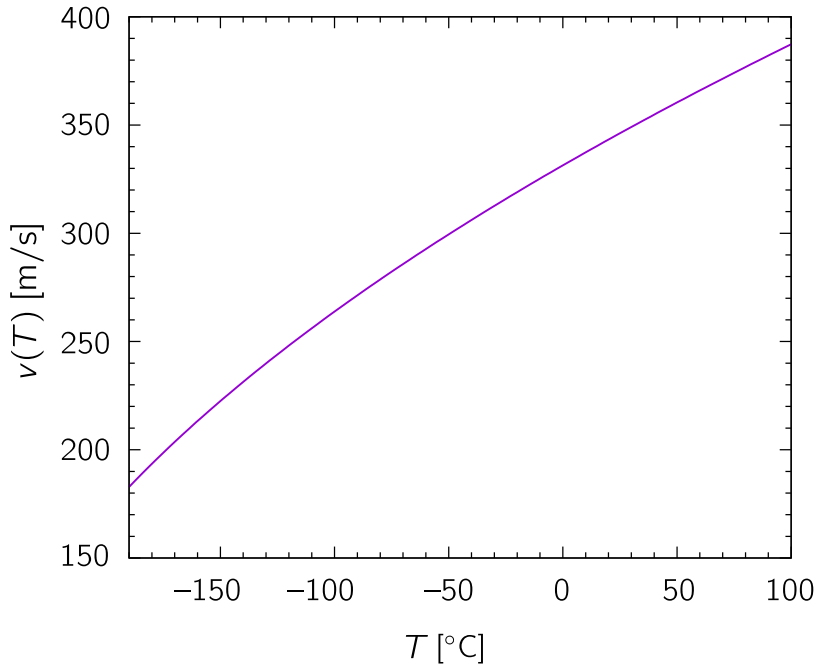
Na podstawie powyższych rozważań można oczekiwać, że prędkość dźwięku w gazie będzie bliska prędkości cząsteczek gazu. W realnym gazie cząsteczki poruszają się oczywiście z różnymi prędkościami, musimy więc myśleć o jakiejś wartości średniej. Dodatkowo prędkość cząsteczek zależy od parametrów cząsteczek i panujących warunków, np. temperatury. Zgodnie z teorią kinetyczno-molekularną gazu doskonałego średnia prędkość cząsteczek, a zatem i prędkość dźwięku, jest wprost proporcjonalna do pierwiastka z temperatury gazu (na Rys. 4. pokazano zależność prędkości dźwięku w powietrzu od temperatury). W przypadku, kiedy temperatura w powietrzu atmosferycznym zmienia się z wysokością, prowadzi to do efektów zbliżonych do zachowania się światła w ośrodku o zmiennym współczynniku załamania n. Często przed burzą panuje cisza – związane jest to z różnicą temperatur

i załamaniem ku górze fali dźwiękowej w powietrzu. Schematycznie rozchodzenie się dźwięku w takiej sytuacji przedstawia Rys. 3.



Rys. 3. Schematyczne przedstawienie rozchodzenia się dźwięku przy uwzględnieniu temperatury zależnej od wysokości.

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



Rys. 3. Przybliżona zależność prędkości dźwięku w powietrzu od temperatury.

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

Prędkość bardzo głośnych dźwięków może zależeć również od lokalnej gęstości cząsteczek. Ma to miejsce na przykład w pobliżu pioruna lub strzelającego działa. W takich obszarach rozkład cząsteczek bardzo różni się od stanu równowagi, a zatem

przekazywanie informacji pomiędzy cząsteczkami odbywa się z prędkościami większymi od średniej wartości równowagowej.

Tłumienie fal dźwiękowych (dla szczególnie zainteresowanych)

Wyobraźmy sobie, że w pewnym obszarze gazu z jakiegoś powodu gęstość cząsteczek stałaby się większa od gęstości równowagowej. Wtedy zjawisko dyfuzji „starałoby się" gęstość wyrównać. Podobne zjawisko towarzyszy rozchodzeniu się fal dźwiękowych. W fali harmonicznej powstają na przemian obszary gęstości zwiększonej i gęstości zmniejszonej. Zjawisko dyfuzji powoduje obniżanie się tych różnic, czyli zmniejszanie amplitudy fali. Można się domyślać, że efekt będzie słabszy dla dużej długości fali, czyli małej częstotliwości, a większy dla małej długości fali, czyli dużej częstotliwości.

Efekt ten jest innym efektem od zjawiska zmniejszania się amplitudy fali wraz z odległością od źródła punktowego, które od częstotliwości fali nie zależy.

Wspomnieliśmy o tym, że wszystkie dźwięki dają się przedstawić jako złożenie harmonicznych dźwięków tonalnych. W takim przypadku, przy oddalaniu się od źródła, szybciej tłumione są składowe o wyższych częstotliwościach, a pozostają składowe o częstotliwościach niższych. Obserwujemy to przy zjawisku grzmotu. Jeżeli piorun uderzył blisko nas, słyszymy ostry syk. Jeżeli uderzył daleko – głębokie dudnienie.

Słowniczek

> **Fala akustyczna**
>
> (ang. *acoustic wave*) – podłużna fala mechaniczna będąca zaburzeniem gęstości cząsteczek i ciśnienia ośrodka.

> **Interferencja**
>
> (ang. *interference*) – zjawisko polegające na nakładaniu się na siebie (superpozycji) dwóch lub więcej fal, w wyniku którego może dojść do ich wzmocnienia lub wygaszenia.

> **Dyfrakcja**

(ang. *diffraction*) – ugięcie fali na brzegu przeszkody, w wyniku którego fala może znaleźć się w obszarze geometrycznego cienia (czyli tam, gdzie znaleźć by się nie mogła zgodnie z geometryczną teorią propagacji fal). To właśnie dzięki dyfrakcji jesteśmy w stanie na przykład usłyszeć dźwięk z drugiego pokoju pomimo tego, że stoimy tuż przy framudze drzwi i pomiędzy nami a źródłem znajduje się ściana.

Kinetyczno-molekularna teoria gazów

(ang. *kinetic theory of gases*) – prosty model gazów zakładający, że gaz składa się z dużej liczby małych cząsteczek (ich rozmiar jest pomijalny w porównaniu z rozmiarem naczynia), które zderzają się ze sobą doskonale sprężyście i nie oddziałują ze sobą w żaden inny sposób.

Symulacja interaktywna

Jak rozchodzi się dźwięk w powietrzu?

Symulacja pokazuje, w sposób schematyczny, propagację fali dźwiękowej w dwóch wymiarach. Na widoku z góry zaznaczono zielonymi okręgami tak zwane powierzchnie falowe, czyli miejsca w przestrzeni, w których fala ma tę samą fazę. Widok z boku przedstawia natomiast przekrój przez falę. Zielone kreski odpowiadają powierzchniom falowym widocznym na widoku z góry, natomiast czerwone punkty to wartości ciśnienia w danym punkcie. Pamiętajmy, że fala dźwiękowa to właśnie podróżujące w przestrzeni zaburzenie ciśnienia, które ludzkie ucho i mózg interpretują jako dźwięki o różnej częstotliwości i głośności. Warto tu podkreślić, że natężenie fali dźwiękowej - proporcjonalne do kwadratu jej amplitudy - i głośność dźwięku nie są sobie jednoznaczne. Ludzki słuch ma nieliniową charakterystykę i dźwięki o tym samym natężeniu odbieramy jako dźwięki o różnej głośności, w zależności od ich częstotliwości.

Poniższa symulacja zawiera również pewne uproszczenie - natężenie dźwięku nie maleje na niej wraz z odległością od źródła. W rzeczywistości natężenie dźwięku jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości od źródła.

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

Jako ciekawostkę, poniżej załączyliśmy próbki dźwięków o różnych częstotliwościach z zakresu, jaki dostępny jest w symulacji.

20 Hz

Nagranie dostępne pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D7tWHsEuI

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

Wysłuchaj uważnie przykładowego dźwięku o częstotliwości 20 herców.

40 Hz

Nagranie dostępne pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D7tWHsEuI

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

Wysłuchaj uważnie przykładowego dźwięku o częstotliwości 40 herców.

---

60 Hz

Nagranie dostępne pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D7tWHsEuI

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

Wysłuchaj uważnie przykładowego dźwięku o częstotliwości 60 herców.

---

100 Hz

Nagranie dostępne pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D7tWHsEuI

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

Wysłuchaj uważnie przykładowego dźwięku o częstotliwości 100 herców.

---

200 Hz

Nagranie dostępne pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D7tWHsEuI

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

Wysłuchaj uważnie przykładowego dźwięku o częstotliwości 200 herców.

---

3 kHz

Takiej częstotliwości wprawdzie nie da się uzyskać na symulacji, ale zamieściliśmy odpowiadającą jej próbkę dla porównania, gdyż ludzki słuch jest najbardziej czuły

w zakresie 2 kHz - 4 kHz.

Nagranie dostępne pod adresem https://zpe.gov.pl/a/D7tWHsEuI

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

Wysłuchaj uważnie przykładowego dźwięku o częstotliwości 3 kiloherców.

Jeżeli nie słyszycie dwóch pierwszych próbek, to nie przejmujcie się tym. Do ich odtworzenia potrzebne są słuchawki lub głośniki o odpowiedniej charakterystyce i dobry słuch!

Polecenie 1

Długość fali to, kolokwialnie mówiąc, jej przestrzenny okres - czyli odległość, po jakiej fala zaczyna się powtarzać. Sprawdź na symulacji, jak długość fali wpływa na powierzchnie falowe i kształt funkcji opisującej wartość ciśnienia w danym miejscu.

Polecenie 2

Sprawdź na symulacji, jak temperatura wpływa na czas, po jakim fala dociera ze źródła do ucha.

Polecenie 3

Wyszukaj w Internecie informacje na temat zakresu częstotliwości dźwięku słyszalnego przez człowieka i tego, jak nazywamy dźwięki należące do różnych zakresów częstotliwości. Jak nazwalibyśmy zakres przedstawiony na symulacji (20 Hz - 200 Hz)?

Polecenie 4

Czy dźwięki na wszystkich próbkach wydawały ci się tak samo głośne?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Określ prawdziwość zdań.

A) Wraz z przebytą odległością dźwięk nie traci swojej głośności. Prawdziwe ☐ / Fałszywe ☐

B) Dźwięk nie może rozchodzić się w próżni. Prawdziwe ☐ / Fałszywe ☐

C) Prędkość dźwięku w powietrzu jest stała i wynosi 350 m/s. Prawdziwe ☐ / Fałszywe ☐

Ćwiczenie 2

Wskaż prawidłowe dokończenie zdania.

Aby zwiększyć prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu, należy

- ○ zwiększyć temperaturę gazu.
- ○ obniżyć temperaturę gazu.
- ○ zmniejszyć częstotliwość dźwięku.
- ○ zwiększyć częstotliwość dźwięku.

Ćwiczenie 3

Zgodnie z teorią kinetyczno-molekularną gazu doskonałego, prędkość cząsteczek, a więc i również prędkość dźwięku, jest proporcjonalna do pierwiastka z temperatury. Jak zmieni się prędkość dźwięku, jeśli temperatura wzrośnie czterokrotnie? Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Odpowiedź: Prędkość dźwięku wzrośnie _____ razy.

Ćwiczenie 4

W powietrzu rozchodzi się fala o częstotliwości 435 Hz. Oblicz długość tej fali dźwiękowej. Przyjmij, że prędkość dźwięku wynosi 340 m/s. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: Długość fali dźwiękowej wynosi _____ cm.

Ćwiczenie 5

Wypełnij luki w tekście wyrażeniami z ramki. Jedno wyrażenie nie pasuje do żadnej luki.

Drgająca membrana głośnika wytwarzającego dźwięk powoduje wytworzenie _____, które rozchodzi się w powietrzu z prędkością _____. Kolejne cząstki powietrza _____ przekazując dalej falę dźwiękową. Podniesienie temperatury powietrza spowoduje _____ rozchodzenia się dźwięku.

- poruszania się cząsteczek
- uderzają o siebie
- zwiększenie prędkości
- załamanie fali dźwiękowej
- zagęszczenia cząsteczek powietrza

Ćwiczenie 6

Głośnik wytwarza falę dźwiękową o długości fali 2,5 metra. Z jaką częstotliwością drga jego membrana? Przyjmij prędkość dźwięku równą 340 m/s. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Odpowiedź: Membrana głośnika drga z częstotliwością _____ Hz.

Ćwiczenie 7

Źródło: dostępny w internecie: https://pixabay.com/photos/indian-western-horse-indian-chief-557261/ [dostęp 14.05.2022].

Wróćmy do podanego we wprowadzeniu przykładu Indian, którzy, przykładając ucho do ziemi, nasłuchują wrogów. Dźwięk w glebie rozchodzi się, jak podaje literatura, z prędkością od 100 do 600 m/s. Przyjmijmy najbardziej korzystną dla Indian wartość, czyli 600 m/s. Jeżeli wrogowie znajdują się w odległości 1 kilometra, to o ile sekund wcześniej Indianie usłyszą ich wsłuchując się w dźwięki rozchodzące się w glebie w porównaniu z dźwiękami rozchodzącymi się w powietrzu? Przyjmij prędkość dźwięku w powietrzu równą 340 m/s. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: _____ s.

Ćwiczenie 8

Wyjaśnij, dlaczego grzmot pioruna uderzającego daleko od nas słyszymy jako niższy, niż grzmot pioruna, który uderzył bliżej.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Michał Kurek
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Fala dźwiękowa**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. **Zakres podstawowy** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 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; 15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. IX. Fale i optyka. Uczeń: 1) opisuje rozchodzenie się fal na powierzchni wody i dźwięku w powietrzu na podstawie obrazu powierzchni falowych. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. X. Fale i optyka. Uczeń: 1) analizuje rozchodzenie się fal na powierzchni wody i dźwięku w powietrzu na podstawie obrazu powierzchni falowych.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	**Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.** • 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:	Uczeń: 1. wyjaśnia wpływ temperatury na prędkość rozchodzenia się dźwięku, 2. objaśnia sposób poruszania się cząsteczek gazu, 3. tłumaczy, w jaki sposób rozchodzi się dźwięk w powietrzu.
Strategie nauczania:	formative feedback
Metody nauczania:	pogadanka, wykład informacyjny
Formy zajęć:	praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	głośnik z zdjętą osłoną, generator niskich dźwięków lub komputer z odpowiednim oprogramowaniem, komputery dla uczniów
Materiały pomocnicze:	niniejszy e-materiał “Jak rozchodzi się dźwięk w powietrzu”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel pyta uczniów o to, czy wiedzą, czym jest dźwięk. Otwiera dyskusję na forum klasy i pozwala uczniom swobodnie wymieniać myśli. Nie poprawia ewentualnych błędów, tylko pozwala uczniom formułować różne hipotezy.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel demonstruje zasadę działania głośnika. Pokazuje głośnik wytwarzający dźwięki o różnej częstotliwości, zwracając uwagę uczniów na drgającą membranę. Wyjaśnia schematycznie budowę głośnika. Po demonstracji nauczyciel jeszcze raz rozpoczyna dyskusję i nakierowuje uczniów w razie potrzeby na właściwe wnioski - głośnik to urządzenie, które zamienia energię elektryczną na mechaniczną (drgania membrany), a dźwięk to fala - rozchodzące się w powietrzu zaburzenie ciśnienia i gęstości. Nauczyciel przedstawia uczniom model gazu i rozchodzenia się w nim dźwięku zgodny z rozdziałem Przeczytaj. Pyta uczniów o to, czym jest temperatura i, w razie potrzeby, wyjaśnia jej związek z energią kinetyczną cząsteczek gazu. Otwiera kolejną dyskusję - tym razem na temat tego, jak temperatura wpływa na prędkość dźwięku. W razie potrzeby nakierowuje uczniów na właściwe wnioski. Uczniowie zapoznają się w parach z symulacją. W razie potrzeby nauczyciel objaśnia związane z nią pojęcia (powierzchnia falowa, długość fali) i rozwiewa wszystkie wątpliwości uczniów. Następnie nauczyciel odtwarza próbki dźwiękowe dołączone do symulacji i dyskutuje z uczniami na temat ludzkiego słuchu i dźwięku w podobny sposób, jak przedstawiono to w Poleceniu 3. i Poleceniu 4.	
Faza podsumowująca:	
W ramach utrwalenia zdobytych wiadomości uczniowie rozwiązują zadania 1, 3, 6 i 8 z zestawu ćwiczeń e-materiału.	
Praca domowa:	
W ramach pracy domowej uczniowie rozwiązują zadania 2, 4 i 5 z zestawu ćwiczeń e-materiału.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium	Multimedium może zostać wykorzystane na każdej lekcji, na której poruszany jest temat propagacji fali.