

Fale dźwiękowe jako przykład fal harmoniczych. Cechy dźwięków: wysokość i głośność

Wstęp do tematu: Fale dźwiękowe jako przykład fal harmoniczych. Cechy dźwięków: wysokość i głośność. Zasób zawiera: ogólny wstęp do tematu, fotografię, odwołanie do wcześniejszej wiedzy ucznia oraz cele lekcji sformułowane w języku ucznia.

Zasób zawiera: wstęp dotyczący pojęcia dźwięku; opis doświadczenia, którego celem jest sprawdzenie, jak częstotliwość drgań wpływa na słyszalność fali rozchodzącej się w powietrzu; określenie, które dźwięki są słyszalne dla człowieka; wykres obrazujący zakres słyszalności ludzkiego ucha; ciekawostkę dotyczącą słyszalności ucha ludzkiego.

Zasób zawiera: określenie wysokości dźwięku; aplikację do odsłuchania dźwięku w zależności od wysokości dźwięku; rozwiązany przykład zobrazowany wykresami różnych fal dźwiękowych; ciekawostkę związaną z muzyczną skalą wysokości dźwięku zobrazowaną na pięciolinii.

Zasób zawiera: wyjaśnienie słyszalności dźwięku przez pojęcie energii; określenie progu słyszalności; określenie decybel; przykłady różnych dźwięków z podaniem natężenia; polecenia dla ucznia (uzupełnianie tabeli) z wykorzystaniem aplikacji generatora dźwięku; ilustrację przedstawiającą audiogram; przykład rozwiązania zadania opierającego się na wykresach różnych fal dźwiękowych.

Zasób zawiera: określenie barwy dźwięku; ćwiczenie interaktywne "Co tak pięknie brzmi?" pozwalające na odsłuchanie dźwięku o określonej częstotliwości wydawanego przez różne instrumenty.

Zasób zawiera: informację o zależności prędkości dźwięku od własności sprężystych ośrodka; tabelaryczne zestawienie pt. Prędkość dźwięku w różnych ośrodkach.

Zasób zawiera trzy sformułowania podsumowujące oraz trzy polecenia dla ucznia dotyczące fal dźwiękowych.

Zasób zawiera wyjaśnienie pojęć: granica bólu, natężenie dźwięku, poziom natężenia dźwięku, próg słyszalności, wysokość dźwięku

Zasób zawiera fotografię Alexandra Grahama Bella i informacje o wynalazcy.

Fale dźwiękowe jako przykład fal harmoniczných.

Cechy dźwięków: wysokość i głośność

Szmer strumyka, muzyka, huk samolotu, śpiew ptaków, warkot silnika, głos ukochanej osoby, pisk opon, ryk lwa, łopot flagi, świst wiatru – co łączy wymienione zjawiska? Prawie połowa informacji docierających do człowieka ze świata zewnętrznego trafia doń przez zmysł słuchu. Czy to nie jest wystarczający powód, by poznać warunki, jakie muszą spełniać przekazywane informacje, abyśmy mogli odbierać je za pomocą zmysłu słuchu? Jesteś ciekaw, czytaj dalej.



Fala to najczęściej występujący typ zaburzeń, a wrażenie słuchowe określane przez nas mianem dźwięku jest powodowane przez specyficzny rodzaj fal, zwanych akustycznymi. Ich źródłem może być na przykład drgająca struna gitary pobudzona szarpnięciem palca.

Źródło: David Masters, dostępny w internecie: <https://www.flickr.com> [dostęp 31.05.2022], licencja: CC BY 2.0.

Przed przystąpieniem do zapoznania się z tematem, należy znać poniższe zagadnienia

- mechanizm przekazywania drgań między punktami ośrodka;
- definicja fal oraz fal harmoniczných;
- wielkości opisujące fale: amplituda fali, okres i częstotliwość fali, długość i prędkość fali.

Nauczysz się

- podstawowych wielkości fizycznych charakteryzujących dźwięk;
- podawać związek cech dźwięku z wielkościami fizycznymi charakterystycznymi dla drgań i fal.

Dźwiękami w języku potocznym nazywamy to, co może być zarejestrowane przez ludzkie ucho. Ściślej należałoby nazwać to wrażeniami słuchowymi, a dźwięki są jednymi z nich. Ale co to jest? Otóż źródłem dźwięku są ciała drgające, które przekazują swoje drgania ośrodkowi sprężystemu (najczęściej jest to powietrze), inicjując w tym ośrodku falę dźwiękową, a ta rejestrowana jest przez zmysł słuchu. Fala dźwiękowa jest zatem falą mechaniczną, ponieważ rozchodzi się w ośrodku materialnym (np. w powietrzu, w jeziorze, w ścianie budynku).

Wszystkie ciała drgające są źródłami fal, ale czy ludzkie ucho wszystkie te fale rejestruje? Sprawdźmy to doświadczalnie.

Doświadczenie 1

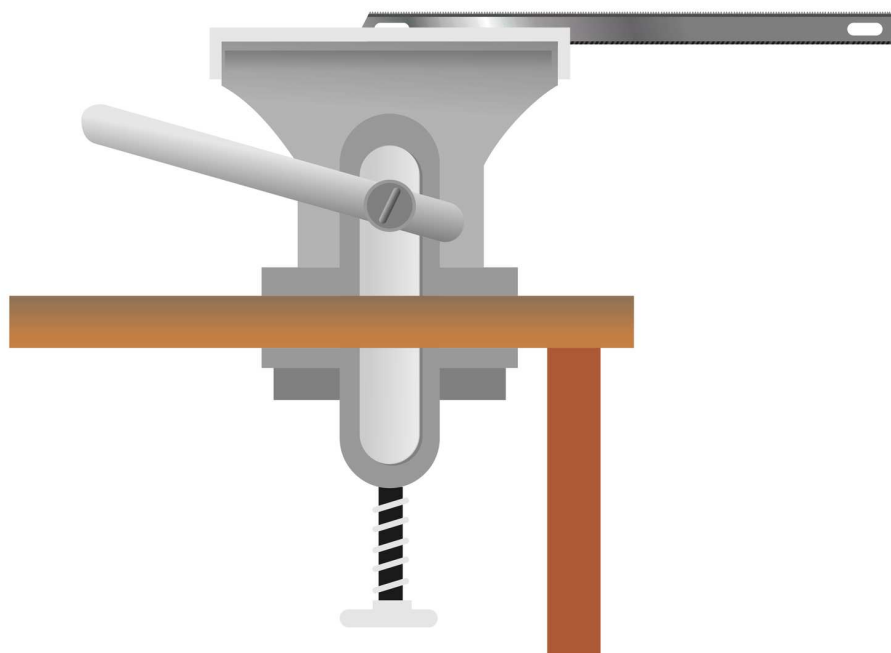
Sprawdzenie, jak częstotliwość drgań wpływa na słyszalność fali rozchodzącej się w powietrzu.

Co będzie potrzebne

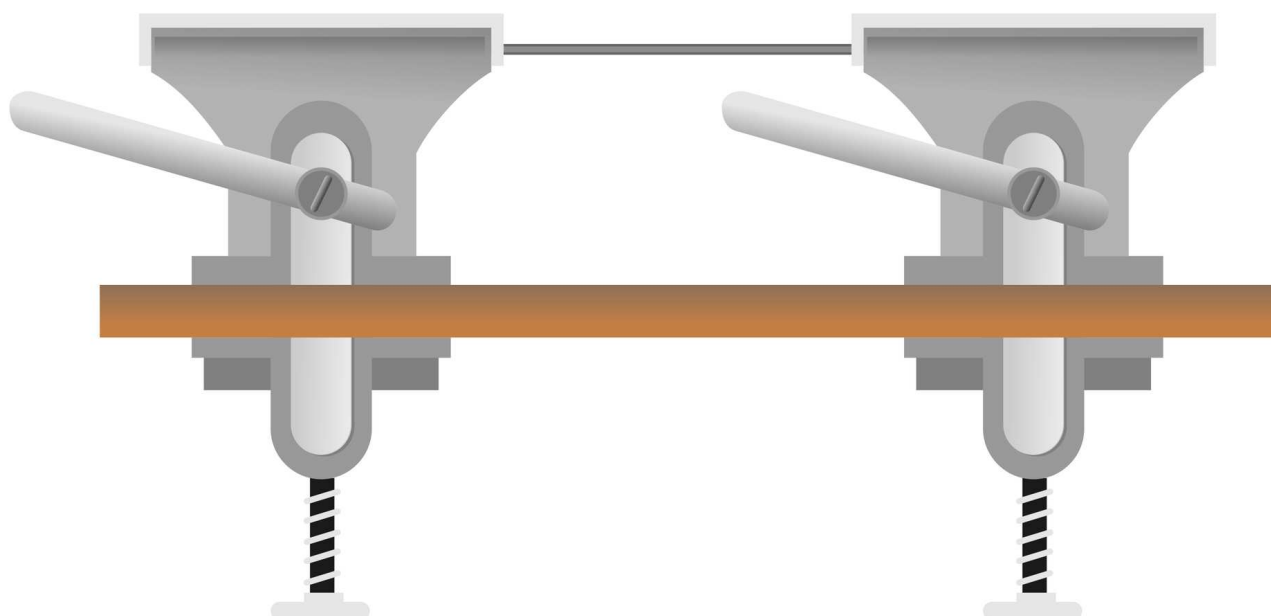
- sprężyna płaska o długości około 30 cm (może to być brzeszczot piły do metalu);
- imadło lub inny przyrząd do zamocowania sprężyny;
- jeżeli masz do dyspozycji dwa imadła, to możesz zamocować rozciągnięty (napięty) drut pomiędzy nimi i użyć go do doświadczenia analogicznie, jak brzeszczot piły. Może w szkole znajduje się tzw. monochord (rozpięta jedna struna na drewnianym pudełku) – też jest to znakomite urządzenie do wykonania doświadczenia.

Instrukcja

1. Zamocuj jeden koniec brzeszczotu w imadle, drugi pozostaw swobodny.
2. Wpraw sprężynę w drgania i obserwuj, czy fala wywołana tym drganiem jest słyszalna.
Uwaga: zadbaj, aby drgająca sprężyna nie uderzała o stół lub inne przedmioty, a zamocowany koniec był nieruchomy.
3. Skróć swobodną część sprężyny do około 25 cm i ponownie wpraw ją w drgania. Zwróć uwagę na zmianę częstotliwości drgań. Czy słyszysz dźwięk wywołany drganiami sprężyny?
4. Powtarzaj skracanie swobodnej części sprężyny co około 5 cm. Obserwuj zmiany częstotliwości drgań oraz słyszalność fali wzbudzonej tymi drganiami.



Źródło: Gromar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.



Źródło: Gromar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Podsumowanie

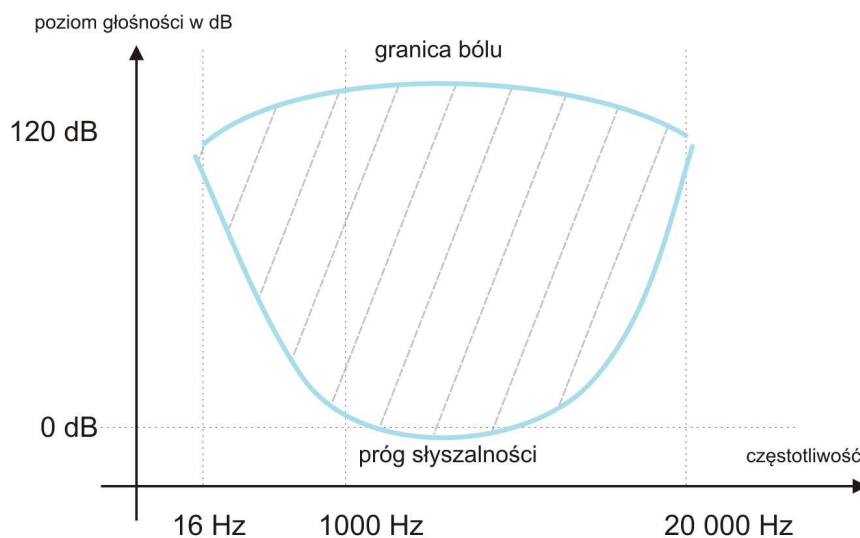
Drgania płaskiej sprężyny wzbudzały w powietrzu falę, ale fala ta nie zawsze była słyszalna. Skracanie drgającej części sprężyny prowadziło do wzrostu częstotliwości jej drgań. Gdy częstotliwość osiągnęła pewną wartość, fala wywołana drganiami sprężyny stała się słyszalna. Dalsze skracanie powodowało, że dźwięk był nadal słyszalny, ale brzmiał inaczej.

Z powyższego doświadczenia wynika, że **nie wszystkie fale rozchodzące się w powietrzu mogą być zarejestrowane przez ludzkie ucho**.

Aby tak się stało, drgania muszą spełniać dwa warunki:

1. Częstotliwość tych drgań musi być większa od 16 Hz, a mniejsza od 20000 Hz;
2. Fale te muszą przenosić energię wystarczającą do pobudzenia narządu słuchu do drgań (jest to tzw. próg słyszalności związany z czułością zmysłu słuchu u danego gatunku; w pewnych sytuacjach może być to granica indywidualna nawet dla danego osobnika lub osoby).

Uwaga: energia drgań nie może być zbyt duża, aby nie doszło do uszkodzenia narządu słuchu (jest to tzw. granica bólu, po przekroczeniu której dźwięk odbierany jest już jako uciążliwy i szkodliwy dla zdrowia hałas).



Zakres słyszalności ludzkiego ucha (przybliżenie)

Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Ciekawostka

Podane wyżej dane są przybliżone, ponieważ zakres słyszalności jest indywidualną cechą każdego człowieka. Zależy on od jego wrodzonych zdolności, wieku (największy zakres słyszalności jest w wieku ok. 12 lat), przebytych chorób itp. Możesz się o tym przekonać, posługując się dzwonekami telefonu komórkowego, dla którego można zmieniać częstotliwość emitowanego sygnału. Dźwięki o jakich częstotliwościach są słyszalne dla twoich kolegów, rodzeństwa, rodziców, dziadków?

Wysokość dźwięku

Z częstotliwością drgań związana jest **wysokość dźwięku**. Dźwięki o małej częstotliwości (ale większej niż 16 Hz) nazywamy niskimi. Dźwięki o dużej częstotliwości to dźwięki wysokie.

Posłuchaj, jak brzmią dźwięki o różnych częstotliwościach.



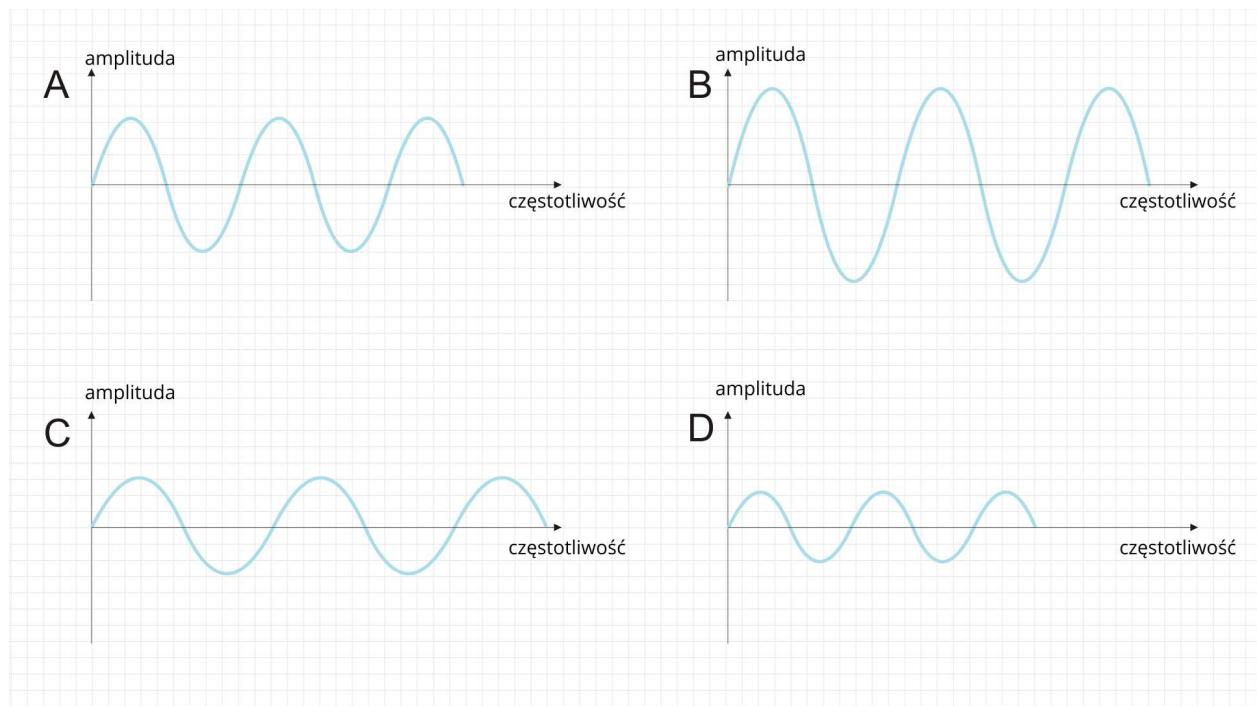
Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/b/P1CwJ1Ypn>

Źródło: Michał Szymczak, Dariusz Adryan, licencja: CC BY 3.0.

Zwróć uwagę, że fala ma charakter sinusoidalny, a zmiana częstotliwości dźwięku oznacza zmianę okresu sinusoidy (zmienia się odległość między grzbietami sinusoidy).

Przykład 1

Poniższe rysunki przedstawiają wykresy fal dźwiękowych (wartości prędkości rozchodzenia się fal są jednakowe). Uporządkuj je zgodnie z rosnącą wysokością dźwięku.



Wykresy różnych fal dźwiękowych
 Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

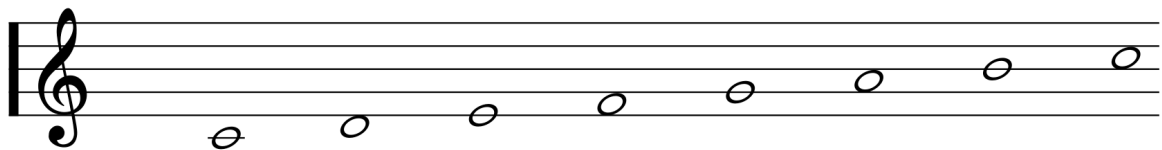
Rozwiązanie:

Aby rozwiązać to zadanie, zwracamy uwagę wyłącznie na okres fali. Największy okres to najmniejsza częstotliwość, czyli dźwięk najniższy. Inne cechy fali (na przykład amplituda) nie mają wpływu na wysokość dźwięku.

Dźwięk o najniższej wysokości przedstawia fala z rysunku C. Kolejno są to: B, A, D.

Ciekawostka

Muzyczna skala wysokości dźwięku. Wysokość to cecha dźwięku bardzo ważna w muzyce. Jednak muzycy nie mierzą jej w hercach tak jak fizycy. W świecie muzyki obowiązuje specjalna, muzyczna skala wysokości. Jest ich zresztą kilka. Poniższy rysunek przedstawia muzyczną skalę wysokości na pięciolinii.



nazwa dźwięku	c ¹	d ¹	e ¹	f ¹	g ¹	a ¹	h ¹	c ²
f [Hz]	264 f ₀	297 $\frac{9}{8} f_0$	330 $\frac{5}{4} f_0$	352 $\frac{4}{3} f_0$	396 $\frac{3}{2} f_0$	440 $\frac{5}{3} f_0$	495 $\frac{15}{8} f_0$	528 2f ₀
nazwa interwału	tonika (prima)	sekunda wielka	tercja wielka	kwarta	kwinta	seksta	septyma wielka	oktawa

Głośno czy cicho – natężenie dźwięku

O tym, czy dźwięk rejestrowany przez człowieka odbierany jest jako głośny czy cichy, decyduje ilość energii docierającej do jego uszu w ciągu sekundy. Wielkość fizyczna opisująca tę cechę nosi nazwę **natężenia dźwięku** i mierzona jest w $\frac{W}{m^2}$. Minimalna wartość natężenia dźwięku, potrzebna do wprowadzenia w ruch błony bębenkowej naszego ucha, nosi nazwę **progu słyszalności**. W literaturze podaje się jej liczbową wartość, ale jest to wartość umowna, gdyż stanowi ona cechę indywidualną każdego człowieka. Ponadto jej wartość zależy od częstotliwości dźwięku. Ucho ludzkie jest najbardziej czułe na dźwięki od 1 do 3 kHz.

Polecenie 1

Wysłuchaj ponownie dźwięku o częstotliwości 1 kHz. Następnie odpowiedz na pytanie: dlaczego różnego rodzaju dźwiękowe sygnały ostrzegawcze (alarmowe) mają dźwięki o zbliżonej częstotliwości?

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Dźwięki, podobnie jak światło, odbieramy za pomocą zmysłów. Zmysł słuchu reaguje na energię drgań fali dźwiękowej, dając wrażenie słyszenia dźwięku. Od czego zależy to wrażenie? Kiedy dźwięk będzie dla nas głośniejszy?

Odpowiedź brzmi: kiedy będzie miał większe natężenie, czyli większą energię odbieraną w jednostce czasu. Okazuje się jednak, że (na szczęście!) dźwięk o energii np. 100 razy większej (w tym samym czasie) nie powoduje wrażenia 100 razy większego. Nasz zmysł słuchu jak gdyby „spłaszcza” wrażenia słuchowe.

Najczęściej spotykaną jednostką wyrażającą głośność dźwięku jest decybel (dB). Jest to jednostka tak zwanego poziomu natężenia dźwięku i w pewnym sensie mówi nam, ile razy słyszany dźwięk ma natężenie większe od progu słyszalności. Zależność tę przedstawia tabela poniżej.

Ćwiczenie 1

Decybel – jednostka związana z natężeniem dźwięku.

Uzupełnij wolne miejsca w tabeli przeciągając do nich odpowiednie kafelki.

Poziom głośności [dB]	Ile razy natężenie jest większe niż próg słyszalności	Przykłady
0	$10^0 \cdot \text{próg słyszalności} (1 = 10^0)$	
10	$10^1 \cdot \text{próg słyszalności} (10 = 10^1)$	szelest liści przy słabym wietrze
20	$10^2 \cdot \text{próg słyszalności} (100 = 10^2)$	szept
30	$10^3 \cdot \text{próg słyszalności} (1000 = 10^3)$	ulica o niewielkim natężeniu ruchu
40	$10^4 \cdot \text{próg słyszalności} (10000 = 10^4)$	
50	$10^5 \cdot \text{próg słyszalności} (100000 = 10^5)$	
60		odkurzacz
90		ulica o dużym natężeniu ruchu
100		motocykl bez tłumika
140		startujący odrzutowiec

ciche odgłosy domowe

$10^{60} \cdot \text{próg słyszalności}$

$10^6 \cdot \text{próg słyszalności}$

próg słyszalności – nic

$10^9 \cdot \text{próg słyszalności}$

$10^{14} \cdot \text{próg słyszalności}$

$10^{10} \cdot \text{próg słyszalności}$

$10^{100} \cdot \text{próg słyszalności}$

$10^{140} \cdot \text{próg słyszalności}$

$10^{90} \cdot \text{próg słyszalności}$

biuro

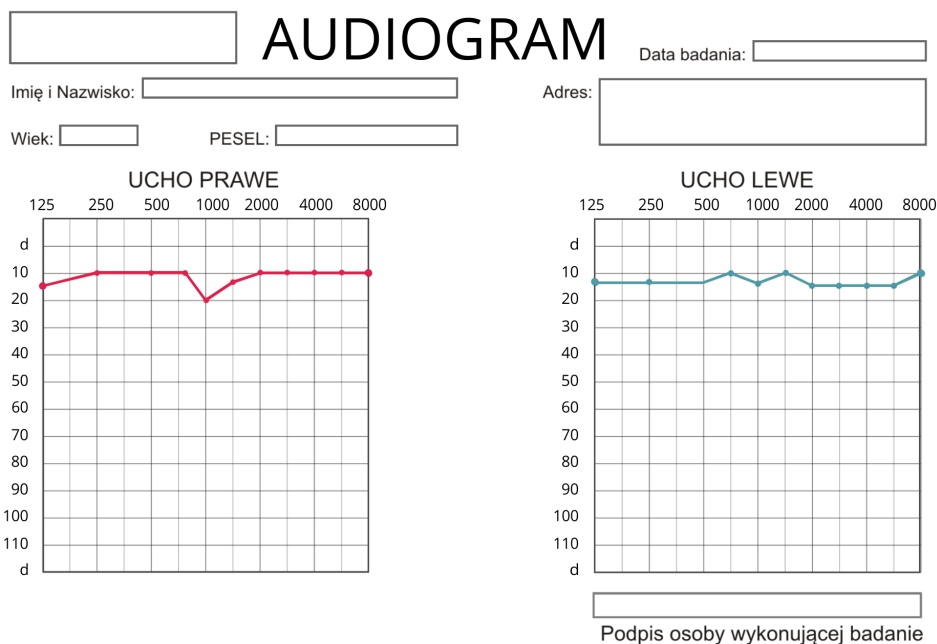
Polecenie 2

Dźwięk głośnej muzyki to 80 dB. Po analizie danych w tabeli napisz, ile razy natężenie dźwięku jest większe od progu słyszalności.

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Dźwięk o dwa razy większym natężeniu ma poziom natężenia o 3 dB większy. Czulość ucha ludzkiego jest zależna od częstotliwości dźwięku – dla częstotliwości 1000 Hz próg słyszalności wynosi $10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Osobom udającym się na badanie słuchu, bada się właśnie próg słyszalności w zależności od wysokości dźwięku. Poniższy rysunek przedstawia wynik takiego badania.



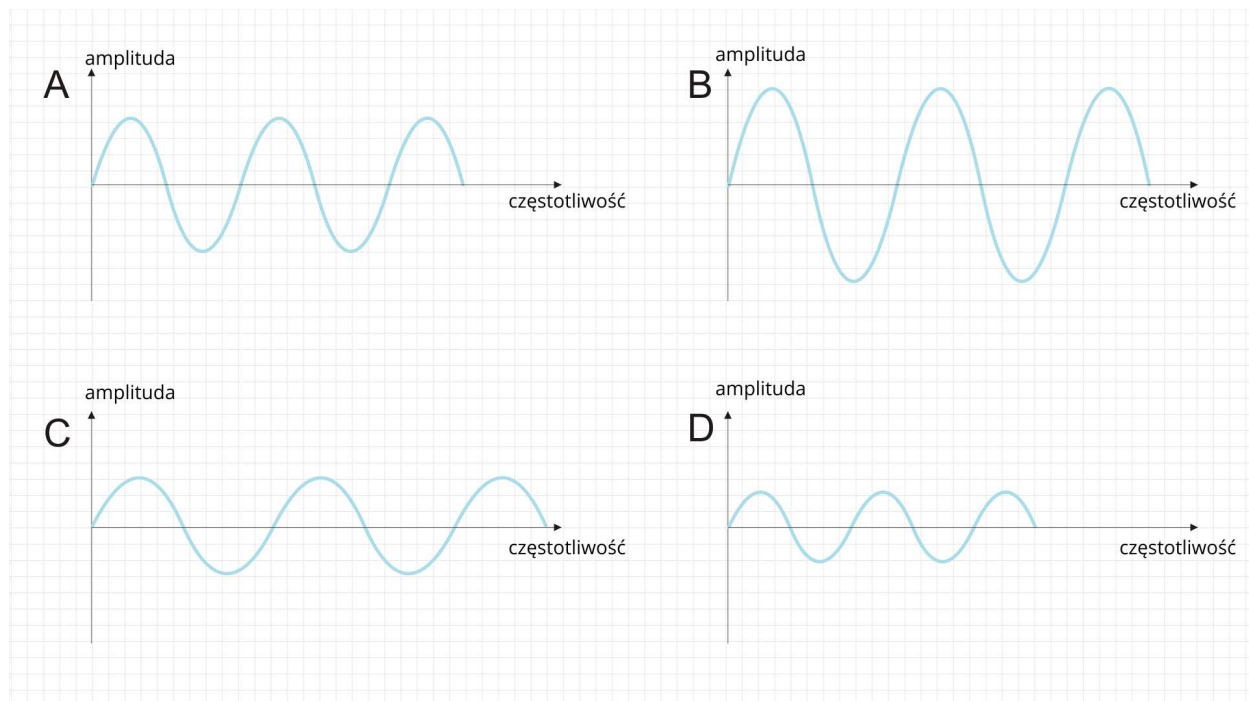
Audiogram

Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Uzupełnienie...

Przykład 2

Poniższe rysunki przedstawiają wykresy fal dźwiękowych. Uporządkuj je od najcichszego do najgłośniejszego.



Wykresy różnych fal dźwiękowych

Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Rozwiązanie:

Aby rozwiązać to zadanie, zwracamy uwagę **wyłącznie** na amplitudę fali. Największa amplituda to dźwięk najgłośniejszy. Inne cechy fali (na przykład okres) nie mają wpływu na poziom natężenia dźwięku. Najcichszy dźwięk przedstawia fala z rysunku D. Kolejno są to: C, A, B.

Barwa dźwięku

Jeszcze jedną ważną cechą dźwięku jest jego barwa. **Barwa dźwięku** zależy od tego, jak złożone są drgania jego źródła, i pozwala nam odróżniać instrumenty muzyczne czy też śpiewające (mówiące) osoby, nawet jeśli wysokość emitowanych dźwięków jest taka sama. Posłuchaj, jak brzmi dźwięk a^1 (440 Hz) zagrany na różnych instrumentach muzycznych.

Co tak pięknie brzmi?

Instrument 1	Sprawdź
Instrument 2	Sprawdź
Instrument 3	Sprawdź
Instrument 4	Sprawdź
Instrument 5	Sprawdź
Instrument 6	Sprawdź
Instrument 7	Sprawdź



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/b/P1CwJ1Ypn>

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Prędkość dźwięku

Podobnie jak wszystkie fale, również fale dźwiękowe rozchodzą się w ośrodku materialnym ze skończoną prędkością, zależną od właściwości tego ośrodka. Generalnie możemy powiedzieć, że prędkość dźwięku rośnie wraz ze wzrostem sprężystości ośrodka. W tabeli poniżej znajdziesz przykładowe prędkości dźwięku w kilku wybranych ośrodkach.

Prędkość dźwięku w różnych ośrodkach

ośrodek	prędkość $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
powietrze o temperaturze 0 °C	330
powietrze o temperaturze 20 °C	340
powietrze o temperaturze 50 °C	360
woda o temperaturze 0 °C	1400
woda o temperaturze 25 °C	1500
cegła	3600
lód	3800
kości	4000
stal	6000
diamant	18000

Podsumowanie

- Dźwiękami nazywamy fale wytworzone przez ciała drgające z częstotliwością z zakresu od 16 Hz do 20 kHz. Podany zakres ma charakter umowny, w rzeczywistości jest cechą indywidualną każdego człowieka.
- Dźwięk może być zarejestrowany przez ludzkie ucho, jeśli energia niesiona przez falę dźwiękową jest większa od **progu słyszalności**, a mniejsza od **granicy bólu**.
- Podstawowymi cechami dźwięku są:
 - **wysokość** – związana z częstotliwością fali: wyższy dźwięk – większa częstotliwość;
 - **głośność** – związana z amplitudą fali: większa amplituda – głośniejszy dźwięk;
 - **barwa** – związana ze złożonością drgań źródła fali, pozwala rozróżniać brzmienie różnych instrumentów.

Polecenie 3

W programie koncertu muzyki klasycznej napisano między innymi, że wystąpi Pani A. X – sopranistka oraz Pan B. Y – tenor. Która z tych osób będzie emitować dźwięki o większej częstotliwości? Jeśli masz wątpliwości sprawdź w dostępnych źródłach, czym różni się sopran od tenoru.

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu , GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Polecenie 4

Napisz krótki tekst (ok. 150 słów) na temat szkodliwości hałasu. W swojej wypowiedzi poprawnie użyj takich terminów jak: głośność dźwięku, decybel, narząd słuchu, granica bólu, dźwięki wysokie, dźwięki niskie.

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu , GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Polecenie 5

Ile razy więcej energii w jednostce czasu dociera do ucha słyszającego dźwięk startującego odrzutowca w porównaniu z progiem słyszalności? Odpowiedz. Ewentualne notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu , GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Słownik

granica bólu

maksymalna wartość energii fali dźwiękowej (w jednostce czasu) możliwa do zarejestrowania przez ludzkie ucho; po jej przekroczeniu następuje bolesne uszkodzenie narządu słuchu; umowna szacunkowa wartość to $10 \frac{W}{m^2}$.

natężenie dźwięku

wielkość fizyczna związana z energią transportowaną przez falę w jednostce czasu, jednostką jest $\frac{W}{m^2}$.

poziom natężenia dźwięku

wielkość fizyczna związana z wrażeniem **natężenia** dźwięku, utworzona przez porównanie natężenia danego dźwięku z **progiem słyszalności**. Jednostką jest bel (1 B), choć częściej używana jest jego podwielokrotność – decybel (1 dB). Wyrażony w tej skali próg słyszalności to 0 dB, a granica bólu to 130 dB.

próg słyszalności

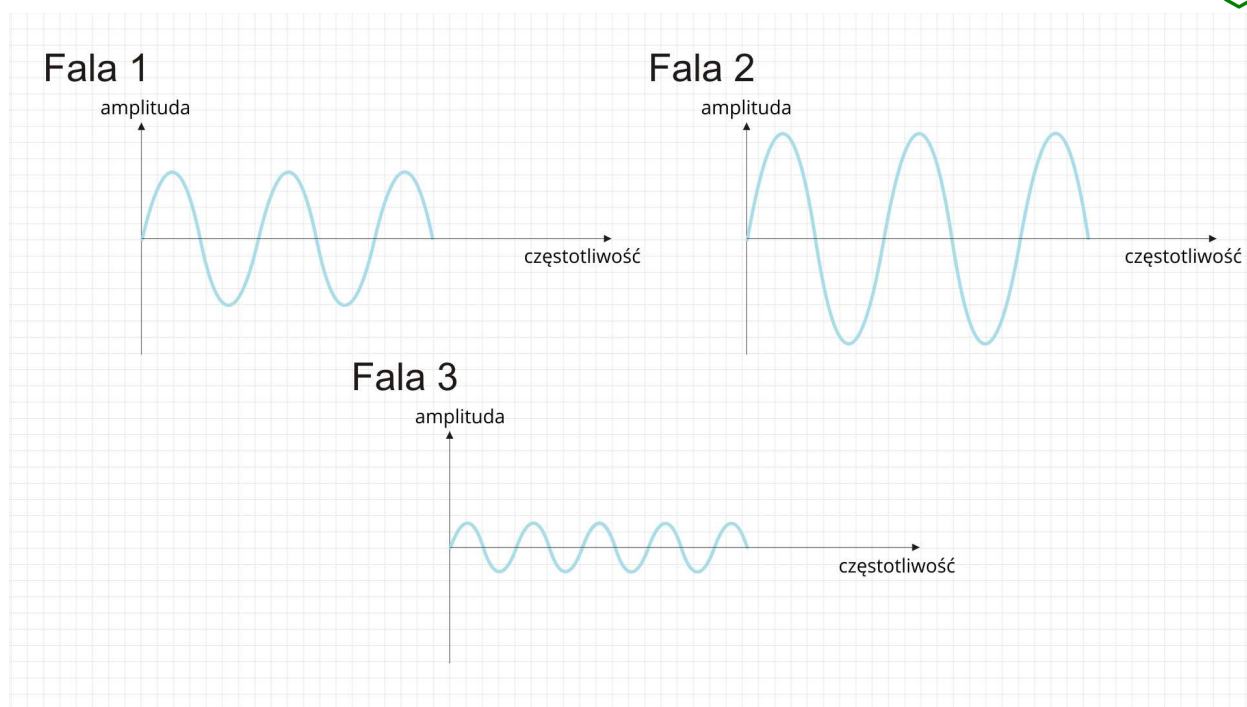
minimalna energia fali dźwiękowej w jednostce czasu, potrzebna do wprawienia w drgania błony bębenkowej ludzkiego ucha. Jej liczbowa wartość zależy od częstotliwości dźwięku i dla 1 kHz umownie przyjęto $10^{-12} \frac{W}{m^2}$; w rzeczywistości jest indywidualną cechą każdego człowieka.

wysokość dźwięku

wielkość charakteryzująca dźwięk i związana z częstotliwością fali dźwiękowej; większa częstotliwość to wyższy dźwięk.

Zadania podsumowujące rozdział

Ćwiczenie 2



Wykresy różnych fal dźwiękowych

Źródło: ContentPlus, licencja: CC BY 3.0.

Powyższy rysunek przedstawia fale odpowiadające różnym dźwiękom.

Wskaż tę, która odpowiada dźwiękowi o największym natężeniu (najgłośniejszemu) i tę, która odpowiada dźwiękowi o największej wysokości.



najgłośniejszy dźwięk – fala 3
najwyższy dźwięk – fala 2



najgłośniejszy dźwięk – fala 1
najwyższy dźwięk – fala 2



najgłośniejszy dźwięk – fala 2
najwyższy dźwięk – fala 1



najgłośniejszy dźwięk – fala 2
najwyższy dźwięk – fala 3



najgłośniejszy dźwięk – fala 3
najwyższy dźwięk – fala 1



najgłośniejszy dźwięk – fala 1
najwyższy dźwięk – fala 3

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 3

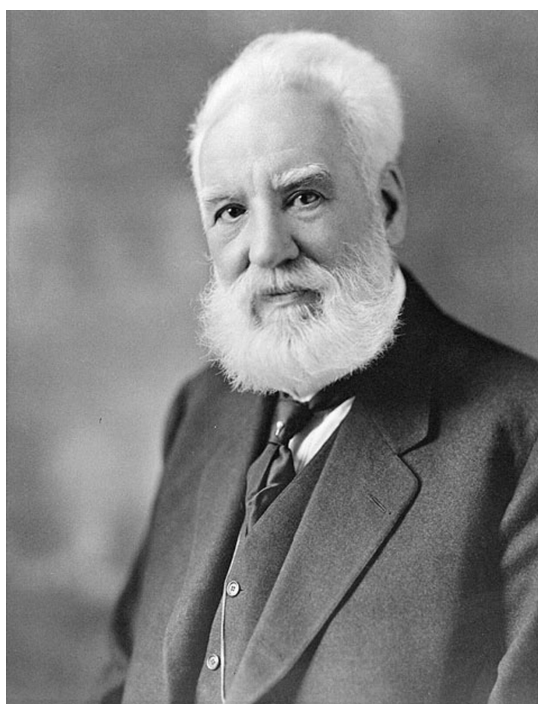


Oceń, które ze zdań o falach dźwiękowych jest prawdziwe, a które fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Dźwięk o częstotliwości 500 Hz jest wyższy od dźwięku o częstotliwości 5 kHz.	☐	☐
Jeśli jakiś dźwięk słyszymy jako głośniejszy od innych, to znaczy, że amplituda fali dźwiękowej jest większa.	☐	☐
Dźwięk o poziomie natężenia 20 dB ma natężenie 100 razy większe od progu słyszalności.	☐	☐
Wysokość dźwięku mierzymy w decybelach.	☐	☐
Prędkość dźwięku jest nieograniczona.	☐	☐
Prędkość dźwięku we krwi jest taka sama jak w kości.	☐	☐
Prędkość dźwięku we krwi jest mniejsza niż w kości.	☐	☐
Sygnał alarmowy ma częstotliwość zbliżoną do 1 kHz, ponieważ ucho ludzkie jest najbardziej wrażliwe na takie częstotliwości.	☐	☐
Pisk to dźwięk o większej częstotliwości niż stukot.	☐	☐
Wszyscy zdrowi ludzie słyszą dźwięki o częstotliwości od 16 Hz do 20 kHz.	☐	☐

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Biogram



Alexander Graham Bell

Źródło: Autorstwa Moffett Studio - Library and Archives Canada / C-017335, dostępny w internecie:

<http://commons.wikimedia.org> [dostęp 4.06.2022], domena publiczna.

Alexander Graham Bell

1847.03.3 Edynburg (Wielka Brytania) – 1922.08.2 Beinn Bhreagh (Kanada)

[alegzande grem bel] Wynalazca telefonu i kilkadziesiąt innych wynalazków telekomunikacyjnych. Z zawodu był logopedą i nauczycielem muzyki. Graham Bell był też współzałożycielem dwóch znanych czasopism *Science* i *National Geographic*. Na jego cześć nazwano jednostkę miary poziomu natężenia dźwięku – bel (1 B). W 1912 roku IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* – międzynarodowy Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników) uhonorował go Medalem Edisona za wybitne osiągnięcia przy wynalezieniu telefonu.