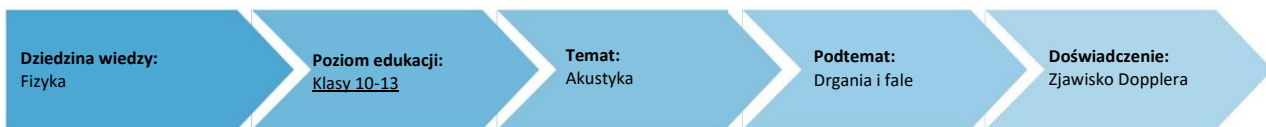


Zjawisko Dopplera (Doświadczenie nr: P6012100)

Właściwości:



Trudność



Łatwe

Czas przygotowania



10 minut

Czas wykonania



10 minut

Zalecany rozmiar grupy



1 uczeń

Dodatkowe wymagania:

- Mikrofon
- PC

Możliwości wykonania eksperymentu:

Wyrażenia kluczowe:

Zadanie i wyposażenie

Informacje dla nauczycieli

Dodatkowe informacje

W wstępnym doświadczeniu, w oparciu o słyszalną częstotliwość, uczniowie zbadają jakościowo zjawisko Dopplera - znane z życia codziennego. Główny eksperyment skupia się na przypadku drgającego harmonicznego źródła dźwięku. Najpierw mierzy się częstotliwość emitowanego sygnału w stanie spoczynku. Następnie za pomocą oprogramowania zbadamy przesunięcie częstotliwości spowodowane przez ruch oscylatora. Potem obliczymy prędkość ruchu źródła dźwięku na podstawie wyznaczonych wartości eksperymentalnych. Obliczoną wartość porównamy z wartością teoretyczną.

Ta metoda jest szczególnie elegancka, ponieważ jest to bezkontaktowa procedura wyznaczania prędkości, która nie wymaga żadnej wiedzy na temat częstotliwości emitowanego sygnału. Na przykład w zastosowaniach medycznych efekt Dopplera jest używany do wyznaczania prędkości przepływu krwi za pomocą ultradźwięków, badanie odbywa się na zewnątrz - przez tkanki pacjentów.

Uwagi dotyczące wykonania eksperymentów

Część 1: Zmiana częstotliwości w zakresie słyszalnym podczas szybkiego ruchu źródła dźwięku

Efekt można zaobserwować lepiej, gdy eksperyment wykonują dwie osoby.

Część 2: Wyznaczanie przesunięcia częstotliwości sygnału za pomocą oprogramowania

Wybrano wysoką częstotliwość nadajnika dopplerowskiego 19 kHz, ponieważ

- zapewnia osiągnięcie maksymalnej rozdzielczości częstotliwości,
- ten dźwięk jest niesłyszalny, a więc nie jest drażniący dla ludzi, oraz
- nadal można go niezawodnie przetwarzać za pomocą standardowych adapterów dźwięku.

Częstotliwość źródła Dopplera jest stabilizowana elektronicznie, dzięki temu jest stała. Obserwowane zauważalne obniżenie częstotliwości (więcej niż 10 Hz w ciągu 3 minut) jest spowodowane niskim poziomem napięcia (poniżej 6 V). Należy wtedy wymienić baterię źródła dźwięku.

Częstotliwość źródła Dopplera mieści się w zakresie $19 \text{ kHz} \pm 10\%$ (odchylenie jest spowodowane tolerancją elementów elektronicznych). Dlatego podane w tabeli wartości pomiarów należy traktować jako przykłady.

Uwagi dotyczące wykonania eksperymentu

Eksperyment powinien być wykonany przez dwóch uczniów.

Wyprowadzenie wzoru $f' = f_0 \frac{c}{c-v}$ (ruchome źródło dźwięku, obserwator w spoczynku)

d odległość między źródłem dźwięku a obserwatorem na początku

$T = \frac{1}{f}$ czas jednego drgania

Teraz weź pod uwagę następujące 4 punkty czasowe:

$t_0 = 0$	Źródło dźwięku zaczyna emitować grzbiet pierwszej fali.
$t_1 = t_0 + \frac{d}{c}$	Obserwator dostrzega falę numer 1.
$t_2 = t_0 + T$	Nadajnik dźwięku zaczyna emitować grzbiet drugiej fali. W międzyczasie nadajnik dźwięku nadal się porusza i przebył odległość: $\Delta s = v \cdot T$. W rezultacie odległość między nadajnikiem a odbiornikiem została zmniejszona do: $d - \Delta s$.
$t_3 = t_2 + \frac{d - \Delta s}{c}$	Obserwator dostrzega falę numer 2.

Oznacza to, że obserwator dostrzega falę wraz z okresem $T' = t_3 - t_1$.

$$t_3 - t_1 = \left(t_2 + \frac{d - \Delta s}{c} \right) - \left(t_0 + \frac{d}{c} \right) = t_0 + T + \frac{d - v \cdot T}{c} - t_0 - \frac{d}{c} = T - \frac{v \cdot T}{c} = T \cdot \left(1 - \frac{v}{c} \right)$$

Jeśli odstęp czasu między dwiema kolejnymi falami wynosi:

$T' = T \cdot \left(1 - \frac{v}{c} \right)$, co odpowiada częstotliwości:

$$f' = \frac{1}{T'} = \frac{1}{T \cdot \left(1 - \frac{v}{c} \right)} = f_0 \frac{1}{1 - \frac{v}{c}} = f_0 \frac{c}{c - v}$$

Odpowiednio, można wyprowadzić wzór dla źródła dźwięku w spoczynku i poruszających się obserwatorów, a także wzór dla obu tych ruchów.

Wyprowadzenie wzoru $v = \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2} c$

Częstotliwość dźwięku pojazdu wynosi $f_1 = f_0 \frac{c}{c-v}$, kiedy zbliża się do obserwatora, i $f_2 = f_0 \frac{c}{c+v}$, kiedy oddala się od obserwatora. Podzielenie tych dwóch ułamków prowadzi do

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{c+v}{c-v} \Leftrightarrow (c-v)f_1 = (c+v)f_2 \Leftrightarrow v = \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2} c = \left(\frac{\frac{f_1}{f_2} - 1}{\frac{f_1}{f_2} + 1} \right) c$$

Aby wyznaczyć prędkość, wystarczy znać „interwał” w prawej części ostatniego wiersza. Same częstotliwości nie są wymagane. Na przykład dwa tony kwinty mają stosunek 4:3, niezależnie od częstotliwości emitowanego (oryginalnego) sygnału. To z kolei prowadzi do prędkości:

$v \approx 49 \text{ m/s} \approx 176 \text{ km/h}$

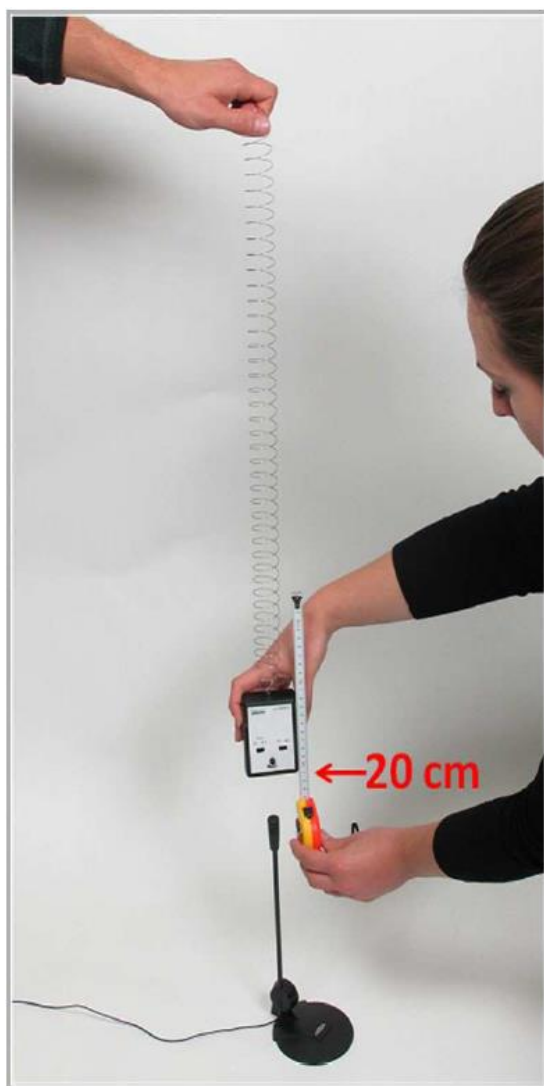
Zjawisko Dopplera (Doświadczenie nr: P6012100)

Zadania i wyposażenie

Zadania

Kiedy karetka przejeżdża obok, odbierany (mierzony) sygnał syreny staje się głębszy. Oznacza to, że częstotliwości odbieranego dźwięku stają się niższe. Ta zmiana postrzeganej częstotliwości fal wszelkiego rodzaju, podczas gdy źródło i obserwator poruszają się względem siebie, nazywana jest zjawiskiem Dopplera. Efekt Dopplera jest wykorzystywany w wielu zastosowaniach technicznych, takich jak policyjna kontrola radarowa lub do wyznaczania prędkości, z jaką rozszerza się wszechświat.

1. Pzesuwaj bardzo szybko tam i z powrotem nadajnik Dopplera emitujący dźwięk o częstotliwości 4,6 kHz. Opisz, co słyszysz.
2. Za pomocą zjawiska Dopplera, wyznacz prędkość drgającego wahadła sprężynowego:
 - Niech nadajnik Dopplera, zawieszony na sprężynie, nadający sygnał 19 kHz wykonuje drgania harmoniczne nad mikrofonem.
 - Przy pomocy komputera przeanalizuj sygnał, który został zarejestrowany przez mikrofon. Zaobserwuj zjawisko Dopplera i wyznacz maksymalną prędkość wahadła.



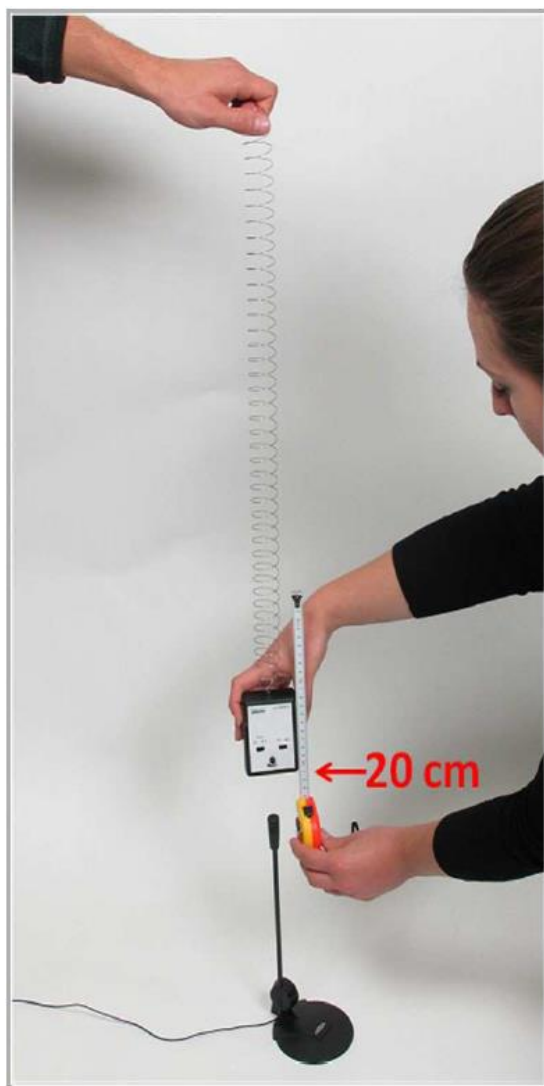
Wyposażenie

Nr	Wyposażenie	Nr zamówienia	Ilość
1	Oprogramowanie „Measure Acoustics”, licencja dla jednego użytkownika	14441-61	1
2	Źródło Dopplera dla TESS Acoustics	13289-30	1
3	Sprężyna spiralna, 3 N/m	02220-00	1
4	Miarka, $l = 2$ m	09936-00	1
Dodatkowy materiał			
	Mikrofon		1


Przygotowanie i wykonanie doświadczenia

Część 1: Zmiana częstotliwości w zakresie słyszalnym poprzez szybki ruch nadajnika Dopplera

Ustaw częstotliwość na 4,6 kHz. Kilkakrotnie i szybko przesuwaj nadajnik Dopplera w kierunku ucha lub twarzy (lub ucha (twarzy) kolegi z klasy). Zanotuj, jak postrzegasz częstotliwość sygnału w raporcie w sekcji „Wynik - Obserwacje 1”.



Część 2: Wyznaczanie przesunięcia częstotliwości sygnału 19 kHz za pomocą oprogramowania


- Podłącz mikrofon prawidłowo do komputera.
- Otwórz ustawienia audio komputera. Ustaw głośność nagrywania mikrofonu na maksimum. Uruchom program „measure Acoustics” .
- Otwórz eksperyment „Efekt Dopplera 3.7a”.

Pomoc 1:


Otwórz przegląd eksperymentu (Menu „Plik” → „Otwórz eksperyment” lub wybierz „Otwórz eksperyment” na pasku menu. Otwórz folder „3 Zastosowania w medycynie, muzyce i życiu codziennym” i wybierz eksperyment „3.7a Doppler effect, alternative 1”.

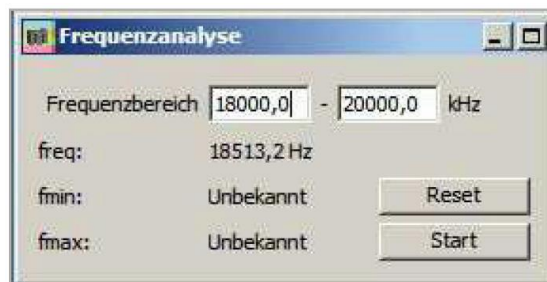
- Wybierz częstotliwość 19 kHz na nadajniku Dopplera i włącz go.
- Zanotuj przybliżone wartości maksymalnej częstotliwości nadawanego sygnału w raporcie w części „Wynik - Obserwacje 2”.

Pomoc 2:

Wybierz lupę  „Powiększ” w odpowiednim oknie. Naciśnij i przytrzymaj przycisk myszy i przeciągnij prostokąt z lewego górnego rogu do prawego dolnego rogu.

Pomoc 3:

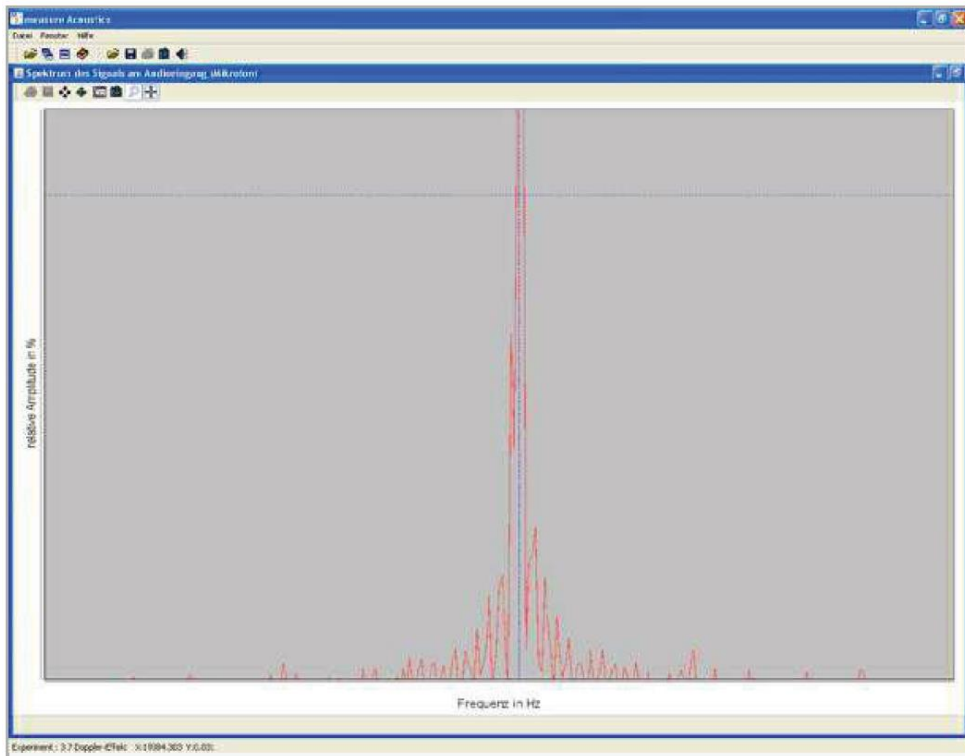
Aby odczytać wartość x (tutaj: częstotliwość w Hz) i wartość y (tutaj: względna amplituda ciśnienia akustycznego w %), użyj krzyżyka  „Zaznacz” na szarym pasku w oknie wykresu. Odczytaj obie wartości z paska stanu u dołu ekranu (Rysunek 3).



Rys. 2: Analiza częstotliwości

Częstotliwość nadawanego sygnału można również odczytać w okienku „Analiza częstotliwości” (freq =... Hz) (Rys. 2)

- Teraz ustaw zakres częstotliwości dla pomiaru w oknie „Frequency analysis” (Rysunek 2). Przedział powinien obejmować zakres około 1000 - 2000 Hz wokół maksimum częstotliwości nadawanego sygnału. (Przykład: Pomiar maksymalnej częstotliwości sygnału dał około 18 500 Hz. Ustaw minimalną wartość częstotliwości na 18 000 Hz, a maksymalną na 19 000 Hz.)
- Przeprowadź eksperyment zgodnie z Rysunkiem 1.
- Uczeń 1: Przytrzymaj sprężynę na jednym końcu i podłącz nadajnik Dopplera do drugiego końca. Sprężyna rozciąga się do pozycji spoczynkowej.
- Umieść mikrofon na podłodze bezpośrednio pod nadajnikiem Dopplera. Ustaw mikrofon w górę w kierunku nadajnika.
- Uczeń 2: Trzymaj taśmę mierniczą tak, aby w przybliżeniu mierzyła przedłużenie sprężyny. Zero skali musi znajdować się na dolnym końcu nadajnika dopplerowskiego. Taśma pomiarowa i sprężyna powinny być lekko przesunięte - aby nadajnik mógł zostać odchylony bez dotykania taśmy pomiarowej.
- Aktywuj analizę częstotliwości, wybierając „start”.
- Uczeń 2: Pociągnij nadajnik 20 cm w dół w kierunku podłogi lub mikrofonu i zwolnij go.
- Opisz, jak wygląda krzywa w oknie wykresu „Widmo sygnału na wejściu audio (mikrofon)” i jak się zmieniła po kilku drganiach w raporcie w sekcji „Wynik - Obserwacje 3”.



Rys. 3: Widmo częstotliwości odbieranego sygnału

- Zatrzymaj pomiar częstotliwości po kilku drganiach, wybierając „stop”. Zanotuj najwyższą (f_{\max}) i najniższą (f_{\min}) wartość częstotliwości, w kierunku której przesuwa się maksimum krzywej w raporcie w sekcji „Wynik - Tabela 1”.
- Zaobserwuj i zanotuj, w jaki sposób maksimum i minimum są powiązane z ugięciem sprężyny w raporcie w części „Wynik - Spostrzeżenia 4”.
- Powtórz pomiary kilka razy.

Raport: efekt Dopplera

Wyniki - Obserwacje 1

Część 1: Zmiana częstotliwości w zakresie słyszalnym poprzez szybki ruch nadajnika Dopplera

Opisz, jak odbierasz dźwięk podczas ruchu nadajnika.

.....

.....

.....

.....

Wyniki - Obserwacje 2

Część 2: Wyznaczanie przesunięcia częstotliwości sygnału za pomocą oprogramowania

Częstotliwość nadawanego sygnału w stanie spoczynku: f_0 .

.....

.....

.....

.....

Wyniki - Obserwacje 3

Opisz, jak największa (najmniejsza) wartość częstotliwości f_{max} (f_{min}), dla której przesunięcie po kilku drganiach zmienia się maksymalnie.

.....

.....

.....

.....

Wyniki – Tabela 1

Zanotuj największą/najmniejszą wartość częstotliwości, dla której maksimum krzywej przesuwa się po zaledwie kilku drganiach.

	f_{min} in Hz	f_{max} in Hz	$f_{max} - f_{min}$ in Hz	$f_{max} + f_{min}$ in Hz
Pomiar 1	19,216 1	19,312 1	96 1	38,528 1
Pomiar 2	19,211 1	19,312 1	101 1	38,523 1
Pomiar 3	19,210 1	19,308 1	98 1	38,518 1
Pomiar 4	19,209 1	19,309 1	100 1	38,518 1
Pomiar 5	19,211 1	19,308 1	97 1	38,519 1
Wartość średnia	19,211 1	19,310 1	98 1	38,521 1

Wyniki - Obserwacje 4

Opisz, jak f_{max} i f_{min} są powiązane z ugięciem sprężyny. Jakie jest odchylenie, przy którym odbierana jest częstotliwość f_0 ?

Wyniki - Pytanie 1

Wyjaśnij, jak zmiana krzywej w czasie jest powiązana z ugięciem sprężyny i prędkością wahadła.

Wyniki - Pytanie 2

Wykorzystaj wzór $v = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{max} + f_{min}} c$ i zmierzone wartości f_{max} i f_{min} w celu obliczenia maksymalnej prędkości wahadła sprężyny ($c = 343 \text{ m/s}$). Użyj średnich wartości $f_{max} - f_{min}$ i $f_{max} + f_{min}$. Kiedy wahadło sprężynowe osiąga taką prędkość?

.....

.....

.....

.....

Wyniki - Pytanie 3

Oblicz teoretycznie największe wartości prędkości $v_{max} = s \sqrt{\frac{D}{m}}$ przy której porusza się wahadło sprężynowe (współczynnik sprężystości $D = 3 \text{ N/m}$, masa $m = 0,11 \text{ kg}$). Porównaj wynik z wartością wyznaczoną eksperymentalnie w pkt. 2.

.....

.....

.....

.....

Wyniki - Pytanie 4

Na podstawie wzoru $f' = f_0 \frac{c}{c-v}$, wyjaśnij, dlaczego zjawisko Dopplera można dostrzec tylko przy wysokich częstotliwościach lub dużej prędkości źródła dźwięku.

.....

.....

.....

.....

Wyniki - Pytanie 5

Zjawisko Dopplera można wykorzystać do wyznaczenia prędkości przejeżdżającego samochodu w sposób czysto akustyczny. Ta metoda działa zarówno w przypadku syreny karetki, jak i dźwięku silnika samochodu. Do tego celu nie jest wymagana częstotliwość sygnału spoczynkowego.

Przykład: Maksimum w zakresie częstotliwości przejeżdżającego samochodu wyścigowego zmienia się od około $f_1 = 960$ Hz do około $f_2 = 640$ Hz. Oblicz prędkość, z jaką samochód wyścigowy przejeżdża obok trybun kibiców.

Uwaga: po odrobinie treningu muzycy mogą określić odstępy czasu wyłącznie na podstawie zmysłu słuchu. Podany powyżej wzór (uporządkowany tak, że uwzględniane są tylko ułamki typu f_1/f_2) może być użyty do oszacowania prędkości raczej precyzyjnie bez żadnych pomocy technicznych i bez znajomości częstotliwości. W poniższej tabeli przedstawiono niektóre przedziały wraz z powiązаныmi prędkościami.

Interwał	Stosunek częstotliwości f_1/f_2	Prędkość v w m/s
Unisono	1:1	0
Mała sekunda	16:15	11.1
Duża sekunda	9:8	20.2
Ćwiatka	4:3	49.0
Oktawa	2:1	114.3

.....

.....

.....

.....