

Doświadczenie „D Ź W I Ę K”

Wprowadzenie teoretyczne

Rezonans akustyczny

Do pomiaru prędkości fal akustycznych często wykorzystuje się zjawisko rezonansu i interferencji fal. Szczególną postacią interferencji dwóch fal są fale stojące. Powstają one po nałożeniu się dwóch fal o takich samych amplitudach i częstotliwościach, lecz o przeciwnych kierunkach rozchodzenia się (ich fazy muszą być przesunięte o π). W całym obszarze, w którym rozchodzi się fala stojąca, będą występowały na przemian miejsca, w których amplituda drgań jest maksymalna (tzw. strzałki) i miejsca, gdzie drgania wygaszają się (tzw. węzły). Węzły i strzałki fali pozostają ciągle w tych samych miejscach.

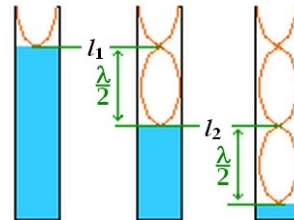
Rura Quinckiego

Jest to wypełniona wodą pionowa rura połączona ze zbiornikiem wody, służącym do zmiany poziomu słupa wody. Głośnik wytwarzający falę dźwiękową umieszczony jest na szczycie rury i zasilany z generatora niskiej częstotliwości. Dźwięki emitowane przez głośnik powodują drgania akustyczne słupa powietrza ponad powierzchnią wody w rurze. Po odpowiednim dobraniu wysokości słupa powietrza powstanie fala stojąca, jako wynik nałożenia się fali pierwotnej i fali odbitej od zamkniętego końca rury (czyli od powierzchni wody). Węzeł fali stojącej powstanie przy zamkniętym końcu rury, a przy otwartym końcu – strzałka. Warunek rezonansu spełniają następujące długości słupa powietrza:

$$l_1 = \frac{\lambda}{4}, \quad l_2 = \frac{3}{4}\lambda, \quad \dots, \quad l_n = \frac{2n+1}{4}\lambda.$$

Z dwóch pierwszych długości, przy których powstaje rezonans, uzyskujemy równanie służące do wyznaczenia długości fali dźwiękowej w powietrzu:

$$|l_2 - l_1| = \frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 2 \cdot |l_2 - l_1|$$



Zależność pomiędzy długością fali, prędkością i częstotliwością:

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

więc prędkość dźwięku c , w powietrzu można wyznaczyć jako współczynnik kierunkowy prostej $Y = a X$:

$$\underbrace{2 \cdot |l_2 - l_1|}_Y = \underbrace{c}_a \cdot \underbrace{\frac{1}{f}}_X$$

Prędkość dźwięku w powietrzu zmienia się głównie z temperaturą T i nieznacznie z gęstością oraz wilgotnością powietrza. Zakładając gaz doskonały zmienność będzie występowała wyłącznie z powodu temperatury. W temperaturze 0°C wynosi $331,5 \text{ m/s}$. Dla innych temperatur może być ona przybliżona wzorem empirycznym:

$$c = 331,5 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot \sqrt{1 + \frac{T^\circ\text{C}}{273,15^\circ\text{C}}}.$$

Na przykład dla temperatury 20°C prędkość dźwięku to $c = 343 \text{ m/s}$, natomiast dla temperatury 25°C mamy $c = 346 \text{ m/s}$.

„D Ź W I Ę K”

Pytania do przygotowania:

1. Co nazywamy falą?
2. Omów rodzaje fal.
3. Podaj równanie fali płaskiej.
4. Określ podstawowe wielkości występujące w ruchu falowym: długość fali λ , okres fali T , częstotliwość fali f , prędkość fali v .
5. Podaj związek pomiędzy długością fali a częstotliwością drgań.
6. Omów warunki powstawania fali stojącej.
7. Zdefiniuj pojęcia: amplituda, węzeł, strzałka, odbicie.
8. Na czym polega interferencja fal; kiedy powstaje wzmocnienie a kiedy wygaszenie fali ?
9. Scharakteryzuj fale podłużne i poprzeczne. Jakim rodzajem fali jest dźwięk?
10. Omów prędkość dźwięku w różnych ośrodkach, od czego jest ona uzależniona?
11. W którym z ośrodków (ciała stałe, ciecze, gazy) prędkość dźwięku jest największa?
12. Omów zależność prędkości dźwięku w powietrzu od gęstości i temperatury ośrodka.
13. Na czym polega rezonans akustyczny?
14. Omów zasadę działania rury Quinckego.
15. Ile wynosi szybkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu a ile w próżni?

Wskazówki do wykonania pomiarów

1. Włączyć generator lewym pokrętkiem, ustawiając kształt sygnału na „Sine”.
2. Na generatorze za pomocą pokrętła „Frequency” ustawić początkową wartość częstotliwości z zakresu 320-400 Hz, podaną przez prowadzącego zajęcia lub asystenta technicznego.
3. Ustawić odpowiednią głośność pokrętkiem „Amplitude”, tak aby była słyszalna do zbierania pomiarów.
4. Opuszczając lub podnosząc zbiornik wyrównawczy znaleźć takie położenie poziomu wody, dla którego usłyszymy największe wzmocnienie. W tym położeniu fala wychodząca ze źródła dokładnie nakłada się na falę odbitą, tworząc tzw. falę stojącą. Położenie poziomu wody wskazuje węzeł tej fali.
5. Zanotować położenie górnego węzła l_1 i znaleźć położenie kolejnego węzła l_2 poniżej.
6. Wyniki: częstotliwość f oraz odległości l_1 i l_2 , zanotować w tabeli pomiarów.
7. Zwiększyć częstotliwość na generatorze o krok, wynoszący pomiędzy 20 a 40 Hz, podany przez prowadzącego zajęcia lub asystenta technicznego.
8. Powtarzać pomiary położenia węzłów fali l_1 i l_2 dla 10 różnych częstotliwości.
9. Oszacować niepewności pomiarowe:
 Δf – oszacować na podstawie zniekształcenia fali generatora wynoszącego do 0,3%
 Δl – ustalić ze słuchu
10. Po zakończonych pomiarach umieścić zbiornik regulacyjny w statywie, wyłączyć generator i uporządkować stanowisko.
11. Wykonać obliczenia zgodnie z wzorami w sprawozdaniu. W obliczeniach pamiętać o używaniu jednostek podstawowych układu SI.

„DŹWIĘK”

Szablon metodyczny

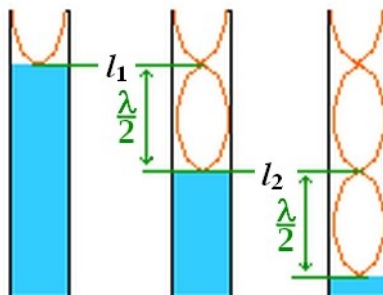
Student 1: Wyznaczenie szybkości rozchodzenia się dźwięku w powietrzu

Student 2: Sprawdzanie zależności długości fali stojącej od jej częstotliwości

Baza teoretyczna:

Długość fali można wyrazić jako stosunek szybkości dźwięku do jego częstotliwości:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$



Dla fali stojącej odległość między sąsiadującymi węzłami to pół długości fali.

W rurze Quinckiego długość fali można wyznaczyć jako:

$$\lambda = 2 \cdot |l_2 - l_1|$$



<p>Zatem, w celu wyznaczenia szybkości rozchodzenia się dźwięku w powietrzu należy:</p> <ul style="list-style-type: none">- dla danej częstotliwości dźwięku wyznaczyć wysokość słupa powietrza odpowiadającą pierwszemu i drugiemu rezonansowi (l_1 i l_2), opuszczając powoli zbiornik z wodą,- sporządzić wykres zależności długości fali λ od odwrotności częstotliwości,- odczytać na nim szybkości rozchodzenia się dźwięku, którą jest współczynnik kierunkowy.	<p>Zatem, aby sprawdzić zależność długości fali stojącej od jej częstotliwości należy:</p> <ul style="list-style-type: none">- dla danej częstotliwości dźwięku wyznaczyć wysokość słupa powietrza odpowiadającą pierwszemu i drugiemu rezonansowi (l_1 i l_2), opuszczając powoli zbiornik z wodą,- sporządzić wykres zależności $l_2 - l_1$ od $\frac{1}{f}$- zanalizować jego liniowość.

„DŹWIĘK”

Wskazówki do sprawozdania – wyznaczenie

Student 1: Wyznaczanie szybkości rozchodzenia się dźwięku w powietrzu

I. **Metodyka** (ideowy plan ćwiczenia)

II. **Przebieg ćwiczenia**

II.1. Przebieg czynności

II.2. Szkic układu pomiarowego

III. **Wyniki**

III.1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f	[Hz]										
l_1	[cm]										
l_2	[cm]										

$$\Delta f = \dots$$

$$\Delta l = \dots$$

$$T = \dots$$

III.2. **Obliczenia** (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 3)

$$\lambda = 2 \cdot |l_2 - l_1| = \dots$$

$$\Delta \lambda = 4 \cdot \Delta l = \dots$$

$$\frac{1}{f} = \dots$$

$$\Delta \frac{1}{f} = \left| \frac{1}{f} - \frac{1}{f + \Delta f} \right| = \dots$$

III.3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ	[...]										
$\Delta \lambda$	[...]										
$\frac{1}{f}$	[...]										
$\Delta \frac{1}{f}$	[...]										

III.4. **Wykres**

+ obliczenie c (nachylenie prostej „najlepszego dopasowania”)

+ obliczenie c' (nachylenie prostej odchylonej)

+ obliczenie dokładności metody $\Delta c = |c - c'|$

VI. **Podsumowanie**

Wyznaczona wartość prędkości dźwięku c wynosi ...

Dokładność metody Δc wynosi ...

Pomiarów dokonano w temperaturze $T = \dots$ °C, dla której teoretyczna prędkość dźwięku powinna wynosić

$$c = 331,5 \cdot \sqrt{1 + \frac{T \text{ } ^\circ\text{C}}{273,15 \text{ } ^\circ\text{C}}} = \dots$$

W granicach wynik \pm dokładność metody mieści / nie mieści* się teoretyczna wartość prędkości dźwięku.

(*wybierz właściwe)

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

„D Ź W I Ę K”

Wskazówki do sprawozdania – sprawdzanie

Student 2: Sprawdzanie zależności długości fali stojącej od jej częstotliwości

I. Metodyka (ideowy plan ćwiczenia)

II. Przebieg ćwiczenia

II.1. Przebieg czynności

II.2. Szkic układu pomiarowego

III. Wyniki

III.1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f	[Hz]										
l_1	[cm]										
l_2	[cm]										

$$\Delta f = \dots$$

$$\Delta l = \dots$$

III.2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 3)

$$|l_2 - l_1| = \dots$$

$$\Delta |l_2 - l_1| = 2 \cdot \Delta l = \dots$$

$$\frac{1}{f} = \dots$$

$$\Delta \frac{1}{f} = \left| \frac{1}{f} - \frac{1}{f + \Delta f} \right| = \dots$$

III.3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$ l_2 - l_1 $	[...]										
$\Delta l_2 - l_1 $	[...]										
$\frac{1}{f}$	[...]										
$\Delta \frac{1}{f}$	[...]										

III.4. Wykres

IV. Podsumowanie

Ponieważ na wykresie ... można poprowadzić prostą przechodzącą przez wszystkie prostokąty niepewności pomiarowych, nie ma podstaw do stwierdzenia odstępstwa od ...

Ewentualnie: Odstępstwo od liniowości w zakresie ... może wynikać z

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.