

Doświadczenie „D Ź W I Ę K”

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. Fale stojące stanowią podstawę działania wszystkich instrumentów muzycznych. Rezonans akustyczny można zaobserwować w rurze zamkniętej na jednym końcu, jeżeli przy otwartym końcu ustawi się źródło dźwięku o ustalonej częstotliwości. Rezonans akustyczny polega na tym, że drgania źródła dźwięku wzbudzają drgania tych ciał, których częstotliwość drgań własnych pokrywa się z częstotliwością drgań źródła.

Rura Quinckiego

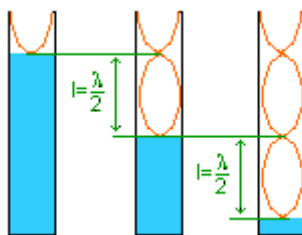
Jest to wypełniona wodą pionowa rura połączona ze zbiornikiem wody, służącym do pomiaru poziomu słupa wody. Głośnik wytwarzający falę dźwiękową umieszczony jest na szczycie rury i zasilany z generatora niskiej częstotliwości. Dźwięki emitowane przez głośnik powodują drgania akustyczne słupa powietrza 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 szybkości dźwięku:

$$l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 2(l_2 - l_1)$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$
$$c = 2f(l_2 - l_1).$$



Zagadnienia do przygotowania:

- fale mechaniczne (definicja, długość, częstotliwość, prędkość rozchodzenia się);
- fala stojąca (jak powstaje, co to jest węzeł i strzałka);
- natężenie dźwięku;
- szybkość dźwięku w powietrzu i innych ośrodkach;
- metody pomiaru szybkości dźwięku.

„DŹWIĘK”

Student 1: Wyznaczanie 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:

$$\lambda = 2(l_2 - l_1) = \frac{c}{f}$$



| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">$\lambda = c \cdot \frac{1}{f}$</p> | |
| <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, - powtórzyć pomiary dla 10 częstotliwości, - 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, - powtórzyć pomiary dla 10 częstotliwości, - sporządzić wykres zależności $l_2 - l_1$ od $\frac{1}{f}$ - zanalizować jego liniowość. |

„D Ź W I Ę K”

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] | | | | | | | | | | |

$$\Delta f = \dots$$

$$\Delta l = \dots$$

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

$$\lambda = 2(l_2 - l_1) = \dots$$

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

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

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

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 $\Delta c = |c - c'|$

IV. **Podsumowanie**

Wyznaczona wartość ... wynosi ...

Dokładność metody: ...

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

„DŹWIĘK”

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.