

Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu metodą fali stojącej

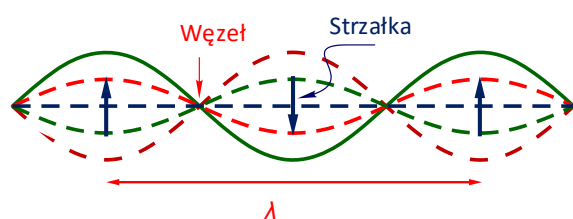
Przebieg ćwiczenia

Fale dźwiękowe (akustyczne) to podłużne fale mechaniczne rozchodzące się w gazach, cieczach i ciałach stałych z szybkością v_{fali} daną wzorem Newtona-Laplace'a:

$$v_{fali} = \sqrt{\frac{B}{\rho}}, \quad (1)$$

gdzie ρ oznacza gęstość, a B – moduł sprężystości objętościowej (ściśliwości). Doświadczalnie można mierzyć prędkość rozchodzenia się dźwięku różnymi metodami, metodą echa, mierząc właściwości sprężyste środowiska, czy metodą rezonansową – fali stojącej.

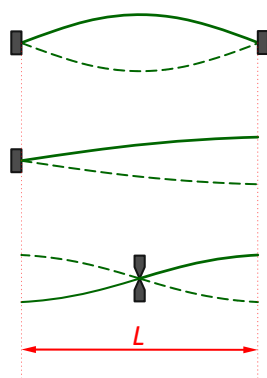
Sinusoidalna fala biegnąca na przykład na napiętej strunie w określonym kierunku ulega odbiciu na końcu struny, a fala odbita biegnie wtedy naprzeciw fali źródłowej. Nałożenie (interferencja) tych fal może prowadzić do powstania tak zwanej fali stojącej, w której można wyróżnić „nieruchome” węzły, czyli miejsca gdzie nie występują drgania i strzałki, czyli znów ściśle określone miejsca na strunie, gdzie drgania są najsilniejsze. Na załączonym filmie pokazano jak powstaje fala stojąca. Pokazano fale dwie biegnące, jedną w prawo – niebieską i w lewo – zieloną oraz ich nałożenie czerwoną falą stojącą. Zauważmy, że miejsca występowania węzłów i strzałek drgań są nieruchome. Oczywiście w strzałce obserwujemy drgania, ale strzałka występuje ciągle w tym samym miejscu struny.



Fala Stojąca do materiałów.avi

Rysunek 1. Drgania w napiętej strunie. Każda linia ilustruje wychylenia w określonym momencie czasu, zielona ciągła powiedzmy w chwili 0, przerywana czerwona po 1/8 okresu, przerywana granatowa po kolejnej 1/8 okresu, przerywana zielona po kolejnej 1/8 okresu i wreszcie przerywana ciemnoczerwona po 1/8 okresu. Łatwo zgadywać, co będzie po kolejnej 1/8 okresu. Przypomnijmy, że długość fali, czyli najkrótsza odległość pomiędzy miejscami, w których fazy drgań są takie same. Gdy zastosujemy tę definicję dla przypadku fali stojącej, to stwierdzimy, że jej długość jest dwa razy większa od odległości pomiędzy sąsiednimi strzałkami drgań.

Łatwo zrozumieć, że na zamocowanych końcach struny zawsze, powstaną węzły drgań, a na swobodnych strzałki drgań, tak jak to pokazano na rysunku 2.



a) oba końce zamocowane: warunek rezonansu $L = n \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{n}{2} \cdot \frac{v_{fali}}{f}$

dla $n = 1, 2, 3, \dots$

b) warunek rezonansu $L = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{2 \cdot n - 1}{4} \cdot \frac{v_{fali}}{f}$

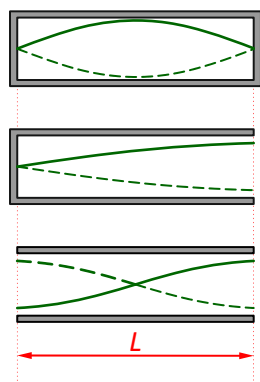
dla $n = 1, 2, 3, \dots$

c) warunek rezonansu taki jak w przypadku a).

Rysunek 2. Podstawowe drgania rezonansowe w napiętej strunie. Linia ciągła ilustruje wychylenia w pewnej chwili a przerywana – wychylenia po upływie połowy okresu drgań. Obok podano wzory łączące długość struny L i długości rezonansowych fal stojących (oraz ich częstotliwość f drgań).

Przykład: Narysuj jak będzie wyglądało drganie na strunie zamocowanej z jednej strony dla $n = 2$.

Przez analogię można pokazać drgania rezonansowe słupów powietrza w pischzałkach. Podstawowe drgania pokazano na rysunku 3.



a) oba końce zamocowane: warunek rezonansu $L = n \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{n}{2} \cdot \frac{v_{fali}}{f}$

dla $n = 1, 2, 3, \dots$

b) warunek rezonansu $L = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{2 \cdot n - 1}{4} \cdot \frac{v_{fali}}{f}$

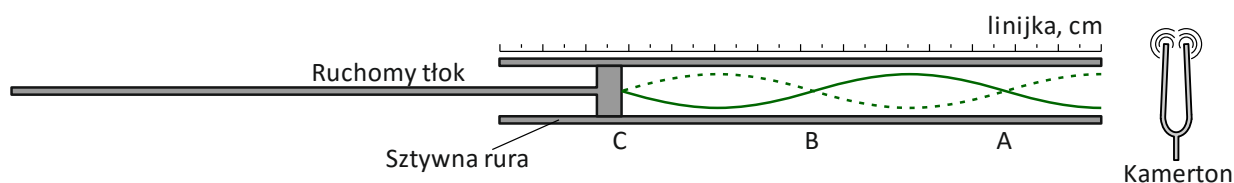
dla $n = 1, 2, 3, \dots$

c) warunek rezonansu taki jak w przypadku a).

Rysunek 3. Podstawowe drgania rezonansowe w pischzałkach.

Jeżeli nie wiemy, jaką długość ma dana fala dźwiękowa, to można przy pomocy rury rezonansowej z ruchomym denkiem pokazanej na rysunku 4 doświadczalnie wyznaczyć położenia tłoka (długości pischzałki), przy których rejestruje się rezonansowe wzmocnienie drgań i wyznaczyć długość fali stojącej. Wtedy, gdy wiemy, z jaką częstotliwością drgało źródło można obliczyć prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej, korzystając z wzoru:

$$v_{fali} = \lambda \cdot f. \quad (2)$$



Rysunek 4. Układ do pomiaru prędkości fali dźwiękowej metodą fali stojącej, metodą rezonansową.

Przebieg ćwiczenia:

- Zestawić układ pomiarowy pokazany na rysunku 4.
- Ustawić tłok na końcu rury.
- Wywołać drgania kamertonu. Zanotować częstotliwość drgań własnych kamertonu f .
- Przesuwając tłok wyznaczyć jego położenie (pierwsze, odpowiadające na rysunku 4 punktowi A), przy którym „usłyszano” rezonans. Zmierzyć i zanotować odległość x pomiędzy końcem rury i „miejscem” rezonansu.
- Powtórzyć wyznaczanie miejsca x rezonansu 10-krotnie.
- Wyznaczyć średnią wartość $\bar{x}$. Oszacować błąd wyznaczenia tej wielkości.
- Obliczyć średnią długość fali stojącej z wzoru:

$$\bar{\lambda} = 4 \cdot \bar{x}. \quad (3)$$

- Oszacować błąd wyznaczenia tej wielkości.
- Obliczyć prędkość dźwięku z wzoru:

$$\bar{v}_{fali} = \bar{\lambda} \cdot f. \quad (4)$$

- Oszacować błąd wyznaczenia tej wielkości.
- Powtórzyć pomiar dla kamertonu o innej częstotliwości drgań własnych.