Fale stojące

Superpozycja fal

dr inż. Romuald Kędzierski

Jak powstają fale stojące?

Powstawanie fali stojącej jest przykładem nakładania się na siebie (interferencji) dwóch fal tzw. spójnych biegnących w jednym kierunku, ale w przeciwne strony.

Fale nazywamy spójnymi, jeżeli mają taką samą długość (i częstotliwość) oraz stałą w czasie różnicę tzw. faz.

Fala stojąca mogą powstawać w drgających strunach, jak i słupach powietrza (tzw. piszczałkach).

Wyróżnić można następujące piszczałki:

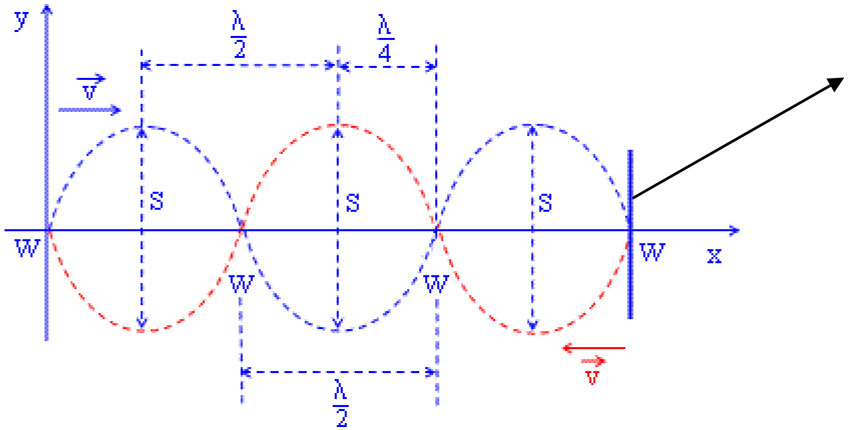
- ***obustronnie otwarta***
- ***obustronnie zamknięta***
- ***jednostronnie zamknięta***

Cechy charakterystyczne fal stojących

Stojącą falę dźwiękową można otrzymać poprzez nakierowanie fali dźwiękowej w stronę przeszkody, aby po odbiciu od niej interferowała sama ze sobą.

Uwaga:

Przy odbiciu fali od ośrodka bardziej sztywnego faza fali ulega zmianie na przeciwną.



powierzchnia odbijająca falę

Nie ma propagacji drgań; położenia węzłów i strzałek fali nie ulegają zmianie!

***W** - tzw. węzły fali stojącej, czyli miejsca, gdzie nastąpiło wygaszenie ruchu falowego, ponieważ spotkały się fale o fazach przeciwnych*

(tzn. grzbiety fal z dolinami)

***S** - tzw. strzałki fali stojącej, czyli miejsca, gdzie nastąpiło wzmocnienie ruchu falowego, ponieważ spotkały się fale o zgodnych fazach*

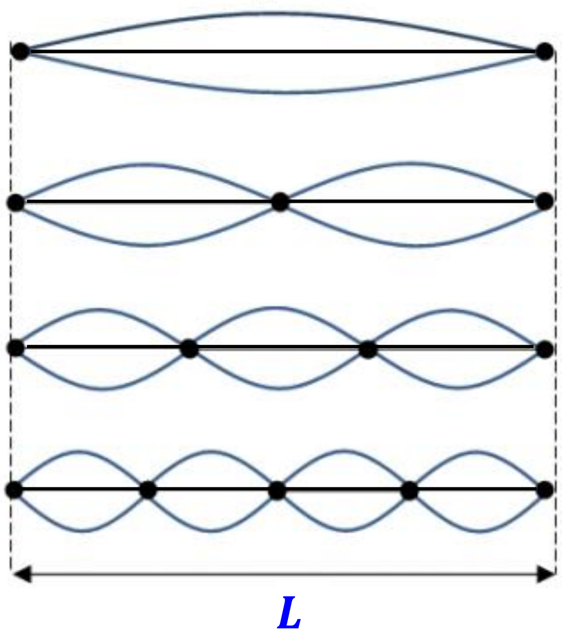
(tzn. grzbiety z grzbietami i doliny z dolinami)

Fale stojące w ... strunach

Częstotliwość drgań struny

W miejscach zamocowania struny powstają węzły fali!

Przykładowe, możliwe kształty fal stojących w naciągniętej strunie, o długości L:



$n = 1 \quad L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$ → ***tzw. ton podstawowy f_o***

ma najniższą częstotliwość ze wszystkich wytwarzanych przez instrument tonów; określa wysokość dźwięku.

$n = 2 \quad L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$n = 3 \quad L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$n = 4 \quad L = 4 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$itd. \ldots \quad L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

tzw. tony wyższe harmoniczne

Decydują o barwie dźwięku

Problem:

Ile wynosi częstotliwość tonu podstawowego drgającej, obustronnie sztywno zamocowanej struny?

Częstotliwość drgań struny

$$\left.\begin{aligned} L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad & n = 1, 2, 3, \ldots \\ & v = \lambda \cdot f \end{aligned}\right\} \quad f = \frac{v \cdot n}{2 \cdot L} \qquad n = 1 \longrightarrow \boxed{f_o = \frac{v}{2 \cdot L}}$$

Uwaga:

v - ***jest to prędkość rozchodzenia się fali w strunie, a nie w ośrodku otaczającym strunę (np. powietrzu)***

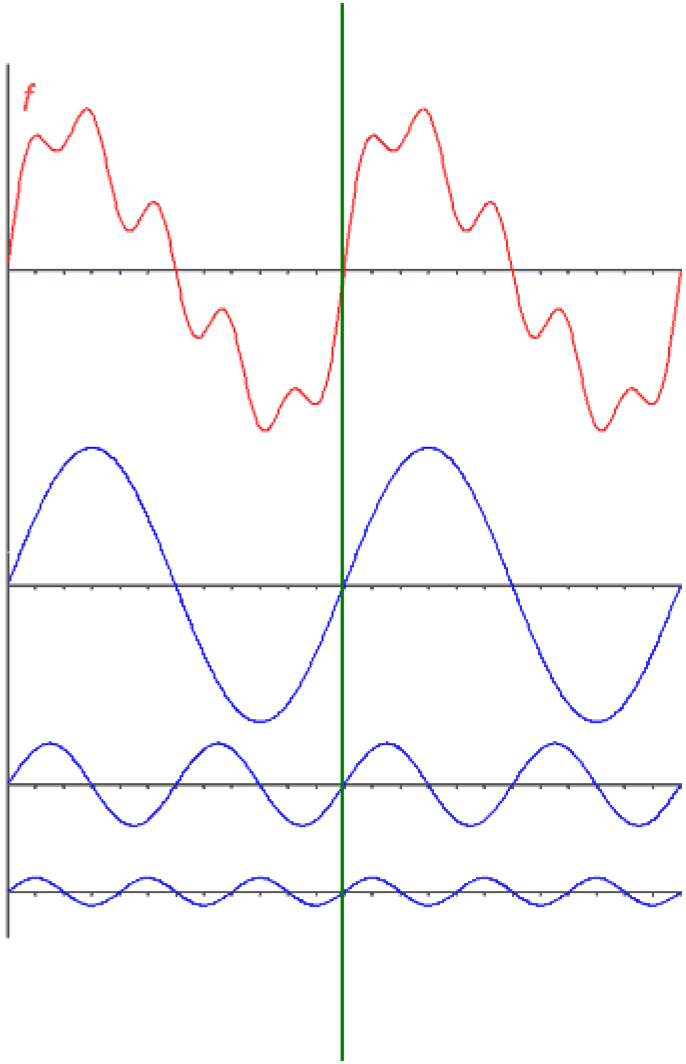
$$v = \sqrt{\frac{F}{d_l}}$$

F - ***wartość siły rozciągającej strunę***

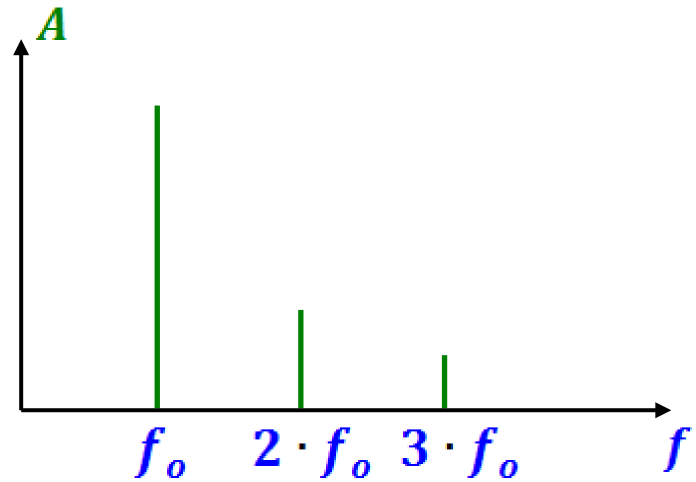
d_l - ***gęstość liniowa struny, tzn. masa jednostki długości struny***

Długość poprzecznej fali na strunie nie jest równa długości fali dźwiękowej z powodu różnic w prędkościach rozchodzenia się obu fal w obu ośrodkach!

Częstotliwość drgań struny



Drganie wypadkowe



$$f_1 = f_o = \frac{v}{2 \cdot L}$$

$$f_2 = 2 \cdot f_o$$

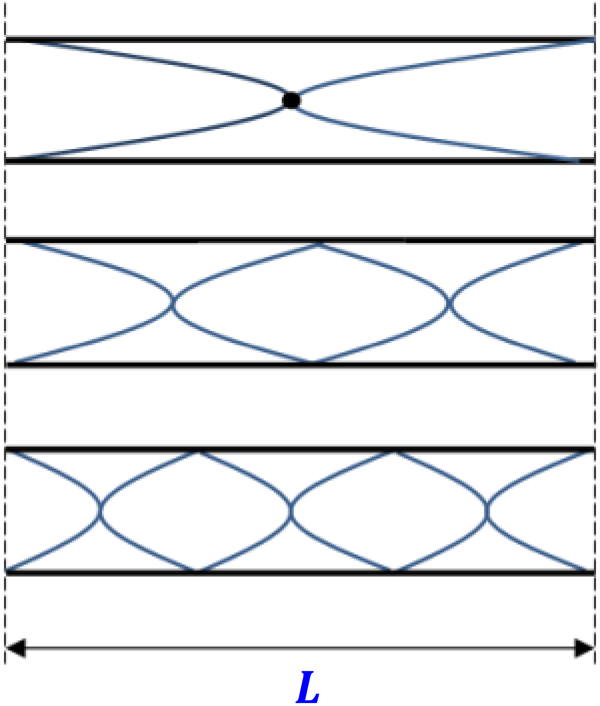
$$f_3 = 3 \cdot f_o$$


Fale stojące w
słupach
powietrza ...
... piszczałki

Częstotliwość drgań słupów powietrza w piszczałkach

W miejscach zamknięcia piszczałki powstają węzły fali stojącej, natomiast w otwartych zakończeniach ich strzałki!

Piszczałka obustronnie otwarta



$n = 1 \qquad L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$n = 2 \qquad L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$n = 3 \qquad L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$itd. \ldots \qquad L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

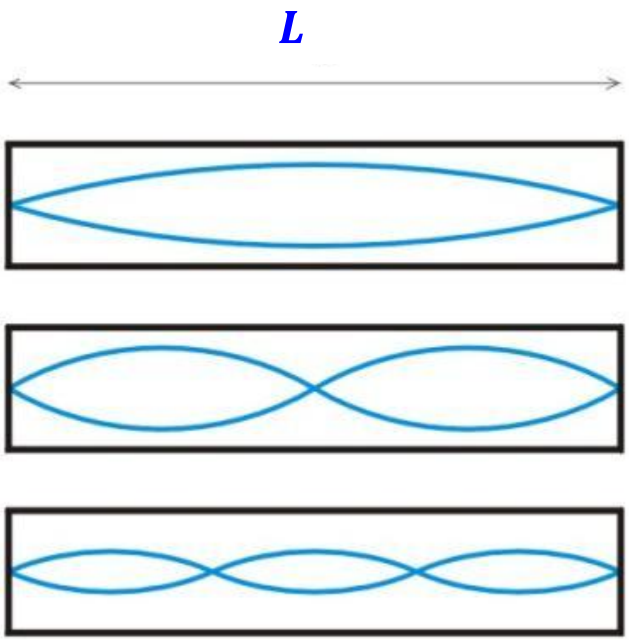
Wniosek:

Sytuacja analogiczna, jak dla napiętej, obustronnie zamocowanej struny!

$$\boxed{f_o = \frac{v}{2 \cdot L}}$$

Częstotliwość drgań słupów powietrza w piszczałkach

Piszczałka obustronnie zamknięta



$n = 1 \qquad L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$n = 2 \qquad L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$n = 3 \qquad L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$

$itd. \ldots \qquad L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

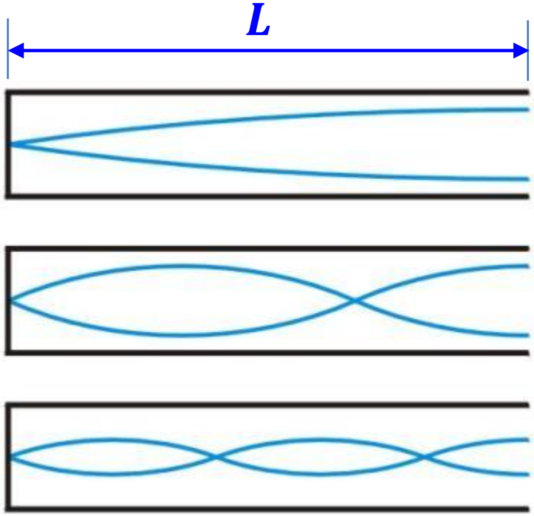
Wniosek:

Sytuacja analogiczna, jak dla napiętej, obustronnie zamocowanej struny!

$$\boxed{f_o = \frac{v}{2 \cdot L}}$$

Częstotliwość drgań słupów powietrza w piszczałkach

Piszczałka jednostronnie zamknięta



$n = 1 \qquad L = 1 \cdot \frac{\lambda}{4}$

$n = 2 \qquad L = 3 \cdot \frac{\lambda}{4}$

$n = 3 \qquad L = 5 \cdot \frac{\lambda}{4}$

$itd. \ldots \qquad L = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$

Stąd:

$$L = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$v = \lambda \cdot f$$

$$f = \frac{v \cdot (2 \cdot n - 1)}{4 \cdot L}$$

Częstotliwość tonu podstawowego: $n = 1$ → $\boxed{f_o = \frac{v}{4 \cdot L}}$