A12. Wyznaczanie częstotliwości fal dźwiękowych

***Celem ćwiczenia** jest zapoznanie się ze zjawiskami akustycznymi, poznanie falowej natury dźwięku, struktury fali stojącej oraz doświadczalne wyznaczenie częstotliwości źródła metodą rezonansu akustycznego.*

Fala (inaczej: *ruch falowy*) – to rozchodzenie się drgań w przestrzeni. Ruch ten związany jest z *transportem energii* przez ośrodek.

Fala jest ***podłużna***, gdy kierunek drgań ośrodka jest równoległy do kierunku rozchodzenia się fali. Gdy kierunek tych drgań jest prostopadły - falę nazywamy ***poprzeczną.***
W zależności od rodzaju drgań rozchodzących się w przestrzeni wyróżniamy trzy typy fal: fale mechaniczne, fale elektromagnetyczne i fale materii.
Fale ***dźwiękowe***, czyli akustyczne, są ***falami mechanicznymi***. Mogą rozchodzić się w każdym ośrodku materialnym. Zakres częstotliwości fal dźwiękowych jest bardzo duży: od 20 do 20 000Hz. Fale o częstotliwościach niższych nazywane są *infradźwiękami*, a o częstotliwościach wyższych – *ultradźwiękami*.
Źródłem fali mechanicznej jest każde zaburzenie w ośrodku sprężystym. Jeśli takim źródłem jest cząstka drgająca ruchem harmonicznym, a ruch falowy odbywa się tylko w jednym kierunku, to falę nazywamy ***falą harmoniczną płaską.*** Równanie takiej fali ma postać:

$$s = A\sin(kx - \omega t) \qquad (1),$$

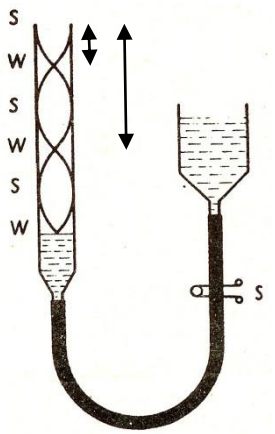
gdzie: A oznacza amplitudę drgań, ω - tzw. pulsację ($\omega=2\pi f$), t - czas, x – drogę, jaką fala przebiega w kierunku x. Występująca w równaniu wielkość k nazywa się ***liczbą falową*** i jest ściśle związana z ***długością fali λ:*** $k=2\pi/\lambda$. ***Wektor falowy*** $\vec{k}$ ma wartość k i jest skierowany zgodnie z kierunkiem rozchodzenia się fali.

Długością fali nazywamy odległość dwóch punktów fali o fazach różniących się o 2π. Jest ona odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości fali f

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad (2),$$

gdzie v jest prędkością fali.

Prędkość fali w różnych ośrodkach zależy od ich gęstości ρ, a ponadto: w ciałach stałych - od modułów sprężystości, w cieczach – od współczynnika ściśliwości, a w gazach – od ciśnienia i ciepła właściwego. Ponieważ gęstość zmienia się wraz z temperaturą, ***prędkość fali zależy również od temperatury***. Prędkość fali w temperaturze T, wyrażonej w skali Kelvina, można wyrazić wzorem: $v = v_o\sqrt{\frac{T}{T_o}}$ (3), gdzie v_o jest prędkością fali w T_o=273 K (tj. 0°C).



Fala stojąca

Fala, która rozchodzi się w ciele o skończonych rozmiarach (np. w szklanej rurze o określonej długości), odbija się od granicy tego ciała. Fala odbita porusza się w kierunku przeciwnym niż fala padająca i w wyniku nałożenia się obu fal powstaje fala wypadkowa, zwana ***falą stojącą.***

(*Fala stojąca nie jest w istocie falą. Nie przenosi ona bowiem energii, a ruch takiej fali można traktować jako drganie ośrodka jako całości)*.

Równanie fali stojącej:

$$s = s_1 + s_2 = A\sin(kx - \omega t) + A\sin(kx + \omega t) = 2A\sin kx\cos\omega t \qquad (4).$$

Z powyższego widać, że w fali stojącej amplituda drgań cząstek ($2A\sin kx$) ***zależy od ich położeń x*** i przybiera wartości maksymalne $2A$ w punktach, w których $\sin kx=1$. Punkty o maksymalnej amplitudzie nazywamy ***strzałkami***, a punkty o minimalnej amplitudzie – ***węzłami fali*** (na rysunku oznaczono je – odpowiednio - jako S i W).
Odległość między dwoma sąsiednimi węzłami lub strzałkami to połowa długości fali ($\lambda/2$). Tę odległość mierzymy w ćwiczeniu, aby następnie obliczyć całą długość badanej fali dźwiękowej λ oraz jej częstotliwość (korzystając ze wzoru 2 i uwzględniając temperaturową zależność prędkości fali).

Literatura uzupełniająca:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker - Podstawy fizyki – T.2 rozdz. 16, 17, 18
2. Cz. Bobrowski – Fizyka –krótki kurs – rozdz. 2.3
3. S. Przestalski – Fizyka z elementami biofizyki i agrofizyki – część 1.4
4. P.G. Hewitt – Fizyka wokół nas – rozdz. 18, 19

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki*

(https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*).

A12. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary:	Imię i nazwisko studenta:	Kierunek studiów: Grupa:
Data:	Imię i nazwisko prowadzącego:	Zaliczenie:

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: generator drgań z głośnikiem oraz szklana rura Quinckego ze skalą i naczyniem wyrównawczym.

1. Włączamy generator do sieci i na zakresie częstotliwości x100 ustawiamy pokrętło częstotliwości w pozycji *X*.
2. Po usłyszeniu dźwięku z głośnika umieszczonego u wylotu rury Quinckego, podnosimy naczynie wyrównawcze w celu ustalenia poziomu cieczy w rurze na wysokości około 5 cm poniżej głośnika.
3. Opuszczając powoli naczynie wyrównawcze poszukujemy takiego poziomu wzniesienia słupa cieczy w rurze h_1, przy którym słyszymy maksymalne wzmocnienie dźwięku. Jest to położenie, w którym u wylotu rury tworzy się strzałka, a poziom wody odpowiada pierwszemu węzłowi fali stojącej. Pomiar powtarzamy pięciokrotnie.
4. Powoli opuszczamy niżej naczynie wyrównawcze w celu zlokalizowania położenia drugiego węzła badanej fali stojącej odpowiadającego wysokości słupa cieczy h_2.
5. Procedurę pomiarową zastosowaną do wyznaczenia częstotliwości X powtarzamy w celu wyznaczenia częstotliwości Y oraz Z.

Tabela

Symbol badanej częstotliwości	Poziom słupa powietrza h_1	Poziom słupa powietrza h_2	Długość fali λ [m]	Częstotliwość dźwięku f [Hz]
X	1 2 3 4 5 $h_{1śr}$ =	1 2 3 4 5 $h_{2śr}$ =	λ_x =	f_x =
			$\Delta\lambda_x$ =	Δf_x =
			Zestawienie $(f_x \pm \Delta f_x)$ =	
Y	1 2 3 4 5 $h_{1śr}$ =	1 2 3 4 5 $h_{2śr}$ =	λ_y =	f_y =
			$\Delta\lambda_y$ =	Δf_y =
			Zestawienie $(f_y \pm \Delta f_y)$ =	

Symbol badanej częstotliwości	Poziom słupa powietrza h_1	Poziom słupa powietrza h_2	Długość fali λ [m]	Częstotliwość dźwięku f [Hz]
Z	1 2 3 4 5 $h_{1śr}$ =	1 2 3 4 5 $h_{2śr}$ =	λ_z =	f_z =
			$\Delta\lambda_z$ =	Δf_z =
			Zestawienie $(f_z \pm \Delta f_z)$ =	

Temperatura otoczenia T = …….. [K]

ΔT = ……. [K]

Opracowanie wyników

1. Dla każdej badanej częstotliwości obliczamy wartości średnie $h_{1śr}$ i $h_{2śr}$ Podstawiamy je do wzoru: $\lambda = 2\,(h_{1śr} - h_{2śr})$ i obliczamy długości fal dźwiękowych: λ_x, λ_y i λ_z [m] dla trzech różnych ustawień pokrętła generatora.
2. Prędkość dźwięku w powietrzu v, w temperaturze pomiarów, wyznaczamy korzystając ze wzoru: $v = v_o\sqrt{\frac{T}{T_o}}$, gdzie: T jest temperaturą otoczenia, wyrażoną w kelwinach, T_o=273K, v_o=331m/s.
3. Obliczamy częstotliwości dźwięku f dla położeń X, Y i Z generatora, dzieląc obliczoną prędkość dźwięku przez odpowiednią długość fali: $f = \frac{v}{\lambda}$ [Hz].
4. Błąd pomiaru dla każdej z wyznaczonych częstotliwości dźwięku obliczamy metodą logarytmiczną: $\frac{\Delta f}{f} = \left|\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right| + \left|\frac{\Delta T}{2T}\right|$, gdzie ΔT oznacza dokładność odczytu temperatury, a za $\Delta\lambda$ przyjmujemy trzykrotną wartość odchylenia standardowego obliczoną dla jednej wybranej serii pomiarów h_1 lub h_2 .
   Mając obliczony błąd względny znajdujemy następnie błąd bezwzględny Δf dla każdej badanej częstotliwości.
5. Zestawiamy otrzymane wartości f_x, f_y oraz f_z z odpowiednio zaokrąglonymi błędami bezwzględnymi Δf_x, Δf_y i Δf_z, w postaci: $(f \pm \Delta f)\ jedn.SI$.