

Ćwiczenie 25

Interferencja fal akustycznych

Cel ćwiczenia

Wyznaczenie prędkości dźwięku w gazach metodą interferencji fal akustycznych, przy użyciu rury Quinckego. Wyznaczenie wartości C_p/C_V dla badanych gazów.

Wprowadzenie

Dowolne zaburzenie mechaniczne rozchodzi się w ośrodku ciągłym w postaci fali. W ciałach stałych mogą rozchodzić się fale poprzeczne i podłużne, w cieczach i gazach wyłącznie podłużne – polegające na przemieszczaniu się przez ośrodek ciągu następujących po sobie na przemian jego lokalnych zagęszczeń i rozrzedzeń. Za fale dźwiękowe (inaczej akustyczne) uważamy fale o częstotliwościach od 20 Hz do 20 kHz, gdyż są one słyszalne przez ucho ludzkie (zwierzęta słyszą w innych granicach!). Niesłyszalne przez nas infra- i ultradźwięki rozchodzą się w podobny sposób.

W przypadku gdy źródłem fali dźwiękowej jest układ wykonujący drgania harmoniczne, powstaje fala sinusoidalna; odchylenie y lokalnego ciśnienia w ośrodku od stanu równowagi, rozchodzące się wzdłuż drogi x , jest dane wzorem

$$y = y_m \sin(kx - \omega t), \quad (1)$$

gdzie:

$k = 2\pi/\lambda$ – wielkość wektora falowego, gdzie λ – długość fali

$\omega = 2\pi/T$ – częstość fali, gdzie T – okres fali,

y_m – odchylenie maksymalne, czyli amplituda.

Gdy w pewnym punkcie przestrzeni spotykają się dwie lub więcej fal, w wyniku ich sumowania się (superpozycji) zachodzi zjawisko interferencji. Rozpatrzmy taką superpozycję dwóch fal, które wyszły z tego samego źródła i do odbiornika fal docierają dwiema drogami różnej długości x_1 i x_2 (rys. 1):

$$y_1 = y_{m_1} \sin(kx_1 - \omega t), \quad y_2 = y_{m_2} \sin(kx_2 - \omega t). \quad (2)$$

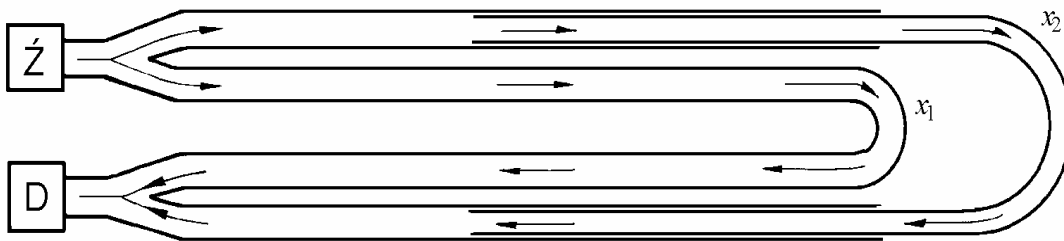
Ich superpozycja

$$y = y_1 + y_2 \quad (3)$$

po przekształceniu trygonometrycznym wyraża się formułą

$$y = y_m \sin(\omega t - \phi), \quad (4a)$$

$$\text{gdzie } y_m = \sqrt{y_{m_1}^2 + y_{m_2}^2 + 2y_{m_1}y_{m_2} \cos k(x_1 - x_2)}. \quad (4b)$$



Rys. 1. Schemat interferencji fal dźwiękowych w rurze Quinckego (Ż – źródło, D – detektor, czyli odbiornik dźwięku)

Przesunięcie fazowe φ (we wzorze (4a)) jest wielkością nieistotną dla naszego eksperymentu, natomiast ważny jest wzór (4b) na amplitudę drgania wypadkowego. Wynika z niego, że amplituda y_m osiąga wartość minimalną, gdy

$$\cos k(x_1 - x_2) = -1. \quad (5)$$

Ma to miejsce wtedy, gdy $x_1 - x_2 = \lambda \left(n - \frac{1}{2} \right)$, to znaczy gdy różnica dróg, po których biegają fale, jest równa nieparzystej wielokrotności połówek długości fali. Pierwsze minimum otrzymujemy dla $n = 1$, wtedy $x_1 - x_2 = \frac{1}{2} \lambda$; drugie dla $n = 2$, wtedy $x_1 - x_2 = \frac{3}{2} \lambda$ itd. Odległość między kolejnymi minimami jest równa długości fali: $\frac{3}{2} \lambda - \frac{1}{2} \lambda = \lambda$, $\frac{5}{2} \lambda - \frac{3}{2} \lambda = \lambda$ itd.

Wyznaczenie długości fali λ ze zjawiska interferencji umożliwia, przy znajomości częstotliwości f , obliczenie prędkości rozchodzenia się fali ze wzoru

$$v = f \lambda. \quad (6)$$

Prędkość dźwięku w gazach

Dana jest wzorem

$$v = \sqrt{\frac{\kappa R T}{\mu}}, \quad (7)$$

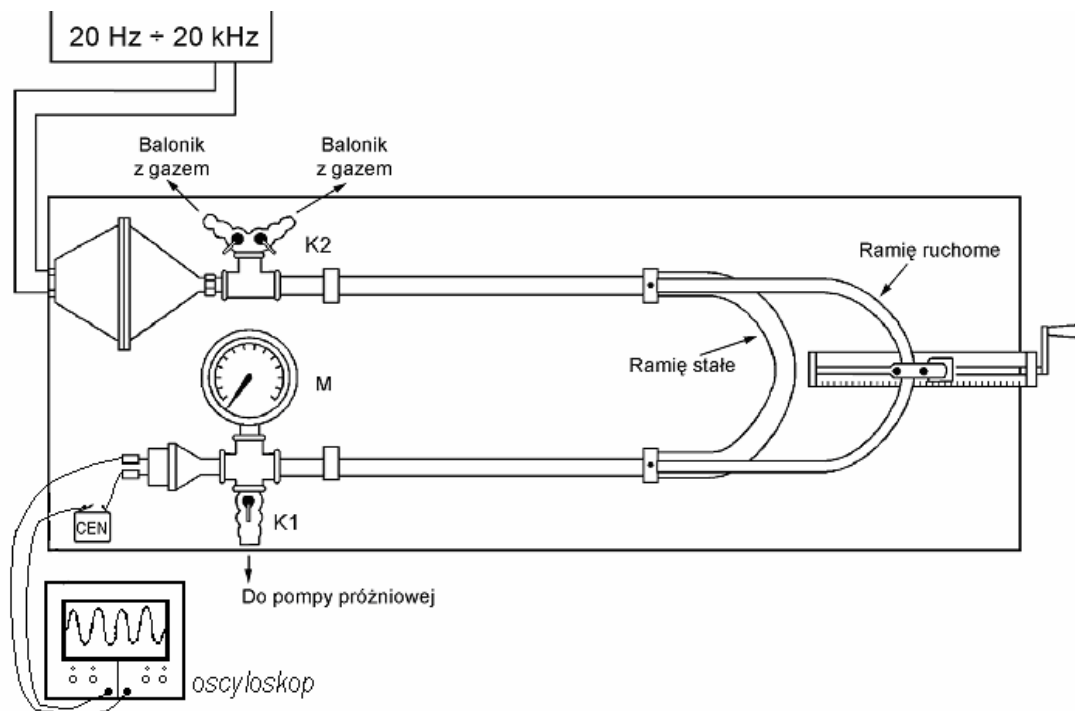
gdzie: T – temperatura bezwzględna,
 R – uniwersalna stała gazowa,
 μ – masa molowa molekuł gazu,
 κ - wykładnik adiabaty

Wykładnik adiabaty κ występuje w równaniu Poissona $pV^\kappa = const$ określających związek ciśnienia p i objętości V w przemianie adiabatycznej, czyli przebiegającej bez wymiany ciepła z otoczeniem. (Dla porównania, w przemianie izotermicznej zachodzi związek $pV = const$ zwany prawem Boyle'a-Mariotte'a). Wykładnik κ występuje we wzorze na prędkość dźwięku w gazach dlatego, że lokalne zgęszczenia i rozrzedzenia gazu w fali dźwiękowej przebiegają w warunkach adiabatycznych. Wartość κ jest równa stosunkowi

ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu C_p do ciepła właściwego przy stałej objętości C_v , $\kappa = C_p/C_v$. Dla powietrza $\kappa \cong 1.40$. Pomiar prędkości dźwięku w gazach jest standardową metodą wyznaczenia wartości κ .

Realizacja pomiaru

Urządzenie zwane rurą Quinckego przedstawiono schematycznie na rysunku 1, a szczegółowo na rysunku 2. Są to dwie zgięte równoległe do siebie rury, z których jedna ma długość niezmienną (x_1 we wzorze (2)), drugą zaś można skracać lub wydłużać (x_2 tamże) przez wysuwanie ruchomego fragmentu (jak w puzonie). Rury są na stałe ze sobą połączone u swoich końców.



Rys. 2. Rura Quinckego.

Źródłem fali dźwiękowej jest membrana głośnika, pobudzana do drgań za pomocą generatora częstotliwości akustycznych 20 Hz ÷ 20 kHz. Częstotliwość tych drgań odczytuje się na skali generatora. Fala dźwiękowa wprowadzona do jednego ze wspólnych końców rur rozdziela się na dwie fale, z których każda biegnie w innej rurze. Fale te spotykają się u wspólnego wylotu rury i tam interferują, tworząc jedną falę wypadkową.

Detekcja fali wychodzącej z rury Quinckego odbywa się za pomocą mikrofonu węglowego. Napięcie wytwarzane przez mikrofon jest podawane na oscyloskop. Na ekranie oscyloskopu obserwujemy sinusoidalny sygnał, będący obrazem funkcji (4a), którego amplituda zależy od różnicy długości rur. Minimum amplitudy sygnału obserwujemy, gdy różnica długości rur jest nieparzystą wielokrotnością połowki długości fali, więc odległość kolejnych minimów mierzona na skali milimetrowej odpowiada połowie długości fali.