

Tematy powiązane

Fale poprzeczne i podłużne, długość fali, amplituda, częstotliwość, przesunięcie fazowe, interferencja, prędkość dźwięku w powietrzu, głośność, prawo Webera-Fechnera.

Podstawy

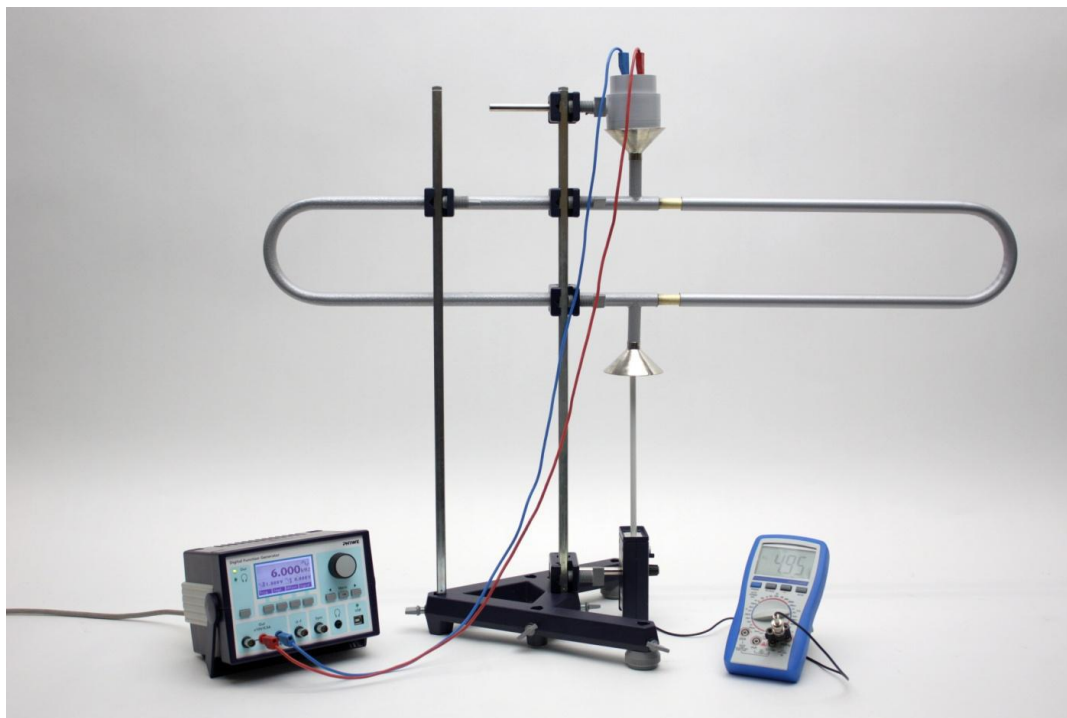
Jeśli fala akustyczna o określonej częstotliwości zostanie podzielona na dwa spójne składniki (tak, jak na przykład, fale świetlne w eksperymencie z interferometrem) i, jeżeli droga jednego ze składników zmienia się, możliwe jest, przy wykorzystaniu zjawiska interferencji, rejestrowanego przez mikrofon, wyznaczenie długości tej fali oraz jej częstotliwości.

Wyposażenie

1 Rura interferencyjna Quinckego	03482-00
1 Głowica dźwiękowa	03524-00
1 Mikrofon pomiarowy	03542-00
1 Cyfrowy generator funkcyjny, USB	13654-99
1 Multimetr cyfrowy	07128-00
1 Suwmiarka, stal szlachetna	03010-00
1 Przewód, wtyczka 4 mm, 32 A, niebieski, $l = 150$ cm	07364-04
1 Przewód, wtyczka 4 mm, 32 A, czerwony, $l = 150$ cm	07364-01
1 Adapter, gniazdo BNC/para wtyków 4 mm	07542-27
1 Podstawa statywu -PASS-	02005-55
2 Pręt statywu -PASS-, kwadratowy, $l = 630$ mm	02027-55
5 Zacisk kątowy -PASS-	02040-55

Ostrożnie!

Aby nie uszkodzić głowicy dźwiękowej, nie wolno stosować amplitudy większej niż 2000 mV.



Rys. 1: Zestaw pomiarowy: Długość i częstotliwość z zastosowaniem rury Quinckego.

Zadania

1. Zapisz rozszerzenia rury Quinckego dla poszczególnych częstotliwości w zakresie od 2000 Hz do 6000 Hz.
2. Korzystając z długości fal, wyznacz ich częstotliwości i porównaj je z podanymi wartościami.

Przygotowanie i wykonanie doświadczenia

1. Przygotuj eksperyment zgodnie z Rysunkiem 1.
2. Znajdź jak najwięcej minimów intensywności dla częstotliwości 2000 Hz, 2200 Hz, 2400 Hz itd., aż do 6000 Hz (z cyfrowego generatora funkcji). Względne przedłużenia rury zmierz za pomocą suwmiarki. Przełącznik wyboru na mikrofonie ustaw w położeniu (\sim).
3. Wartości impulsów wprowadzaj za pomocą sześciu przycisków cyfrowego generatora funkcji. Za pomocą czterech przycisków w środku można wybrać opcje częstotliwość, amplituda, przesunięcie i sygnał. Aby uzyskać wartości użyj przycisku sterowania i wprowadzaj za pomocą przycisku Menu.



Rys. 2: Cyfrowy generator funkcyjny.

Teoria i analiza wyników

Jeśli dwie, liniowe fale harmoniczne mają tę samą częstotliwość i ten sam (lub przeciwny) kierunek rozchodzenia się, to po ich nałożeniu otrzymamy:

$$A_r(x, t) = A_1(x, t) + A_2(x, t)$$

z

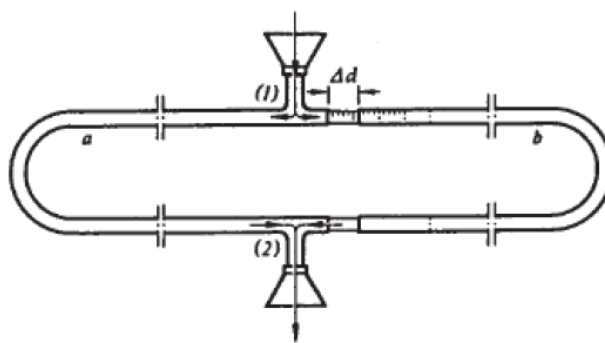
$$A_1(x, t) = A_1 e^{i(k_1 x - \omega t)}$$

i

$$A_2(x, t) = A_2 e^{i(k_2 x - \omega t - \Delta\varphi)}$$

gdzie

$$|k_1| = |k_2| = k = \frac{2\pi}{\lambda}$$



Rys. 3: Geometria rury Quinckego.

są to wartości wektorów falowych w kierunku x lub w kierunku przeciwnym. Częstość kołowa wynosi:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Zatem powstała fala:

$$A_r(x, t) = (A_1 e^{ik_1 x} + A_2 e^{i(k_2 x - \Delta\varphi)}) \cdot e^{i\omega t}$$

jest podobnie harmoniczna i ma częstość kołową ω . Jeśli k_1 oraz k_2 zostaną uproszczone, uzyskamy progresywną falę:

$$A_r(x, t) = A_r e^{i(kx - \omega t)}$$

Dla $k_1 = k_2 = k$ z amplitudą

$$A_r = A_1 + A_2 e^{i\Delta\varphi}$$

Amplituda fali wypadkowej jest funkcją różnicy faz $\Delta\varphi$.

Jeśli k_1 jest przeciwne (rura Quinckego), wypadkowa fala nakłada się na falę stojącą i falę progresywną:

$$\begin{aligned} A_r(x, t) &= (A_1 e^{ikx} + A_2 e^{-i(kx - \Delta\varphi)}) \cdot e^{-i\omega t} = \left(A_1 e^{i\left(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}\right)} + A_2 e^{-i\left(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}\right)} \right) \cdot e^{-i\left(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{2}\right)} \\ &= \left[(A_1 - A_2) e^{i\left(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}\right)} + A_2 \cdot \left(e^{i\left(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}\right)} + e^{-i\left(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}\right)} \right) \right] \cdot e^{-i\left(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{2}\right)} \\ &= A_{r1} e^{i(kx - \omega t)} + A_{r2} \cos\left(kx + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) \cdot e^{-i\left(\omega t + \frac{\Delta\varphi}{2}\right)} \end{aligned}$$

dla $k_1 = -k_2 = k$.

Amplituda fali progresywnej (niestojącej) wynosi:

$$A_{r1} = A_1 - A_2$$

a fali stojącej:

$$A_{r2} = 2A_2$$

Przyjmuje się, bez ograniczenia, że $A_2 \leq A_1$.

W rozgałęzieniu rury Quinckego, fala dźwiękowa rozdziela się na dwa spójne składniki, które w odpowiednich elementach poruszają się ku sobie i nakładają się na siebie (Rysunek 3). Jeżeli proste odcinki rury a i b są takie same, ze względu na spadek ciśnienia na swojej drodze, intensywność zderzających się, w punkcie pomiarowym (2), fal dźwiękowych jest równa ($A_1 = A_2$). W tym przypadku jest $A_{r1} = 0$ tak, że w miejscu pomiarowym istnieje jedynie fala stojąca.

Jeśli różnicę długości prostych elementów d będziemy zwiększać, różnica natężeń w punkcie pomiaru staje się większa $A_2 > A_1$. W tym przypadku amplituda A_{r2} fali stojącej zmniejsza się, a stopniowo wzrasta fala progresywna.

Jeżeli punkt pomiarowy znajduje się w punkcie $x = 0$, ciśnienie akustyczne jest następujące:

$$p = A_{r1} \cos \omega t + A_{r2} \cos \frac{\Delta\varphi}{2} \left(\cos \omega t + \frac{\Delta\varphi}{2} \right)$$

Dla małych wartości A_{r1} , amplituda ciśnienia akustycznego zależy głównie od $A_{r2} \cos \frac{\Delta\varphi}{2}$. Ciśnienie akustyczne jest zawsze na poziomie minimalnym, gdy:

$$\frac{\Delta\varphi}{2} = \frac{2n+1}{2} \cdot \pi ; \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

W związku z tym są minima ciśnienia wyrażone przez:

$$d_n = \frac{2n+1}{2} \cdot \lambda \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Różnica między dwoma minimami odpowiada dokładnie połowie długości fali:

$$\Delta d = d_{n+1} - d_n = \frac{\lambda}{2}$$

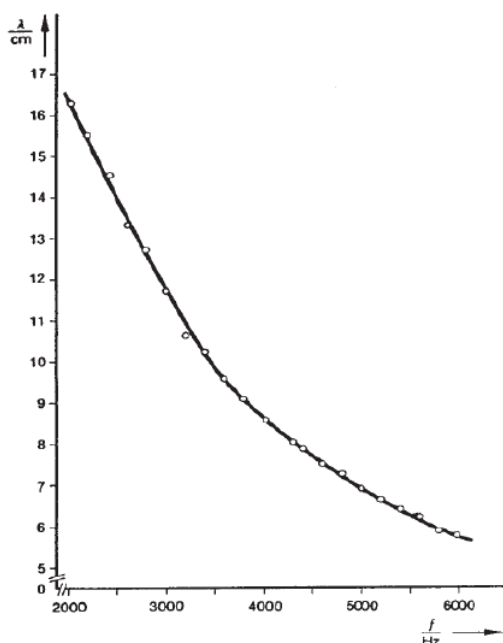
Gdy b jest wydłużone o Δd , droga zwiększa się o $2\Delta d$. Ponieważ $2\Delta d$ odpowiada dokładnie tej długości fali, otrzymujemy $\lambda = 2\Delta d$ (Rysunek 4).

Częstotliwość otrzymamy z równania:

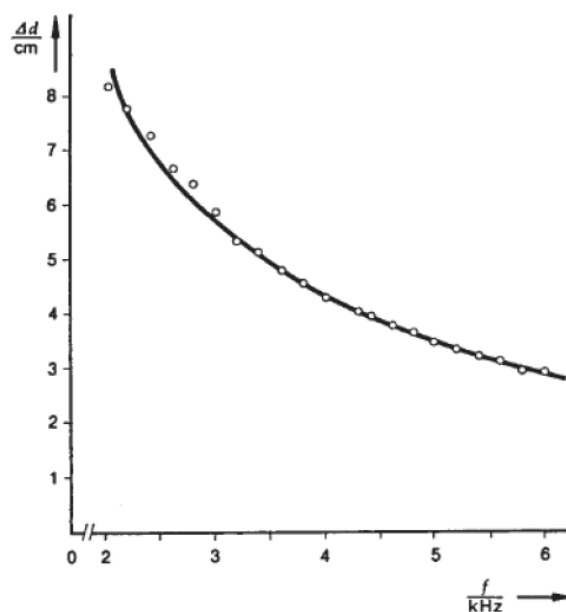
$$c = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

(Rysunek 5).

Prędkość rozchodzenia się fal dźwiękowych w powietrzu wynosi $c = 331,3 \text{ ms}^{-1}$ w temperaturze $0 \text{ }^\circ\text{C}$ i zmienia się wraz z temperaturą i ciśnieniem. c w temperaturze pokojowej oblicza się z równania $c_{\text{roomtemp}} = 331,3\sqrt{1 + 0,004t}$ przy 1013 hPa, dla t zmierzonego w $^\circ\text{C}$.



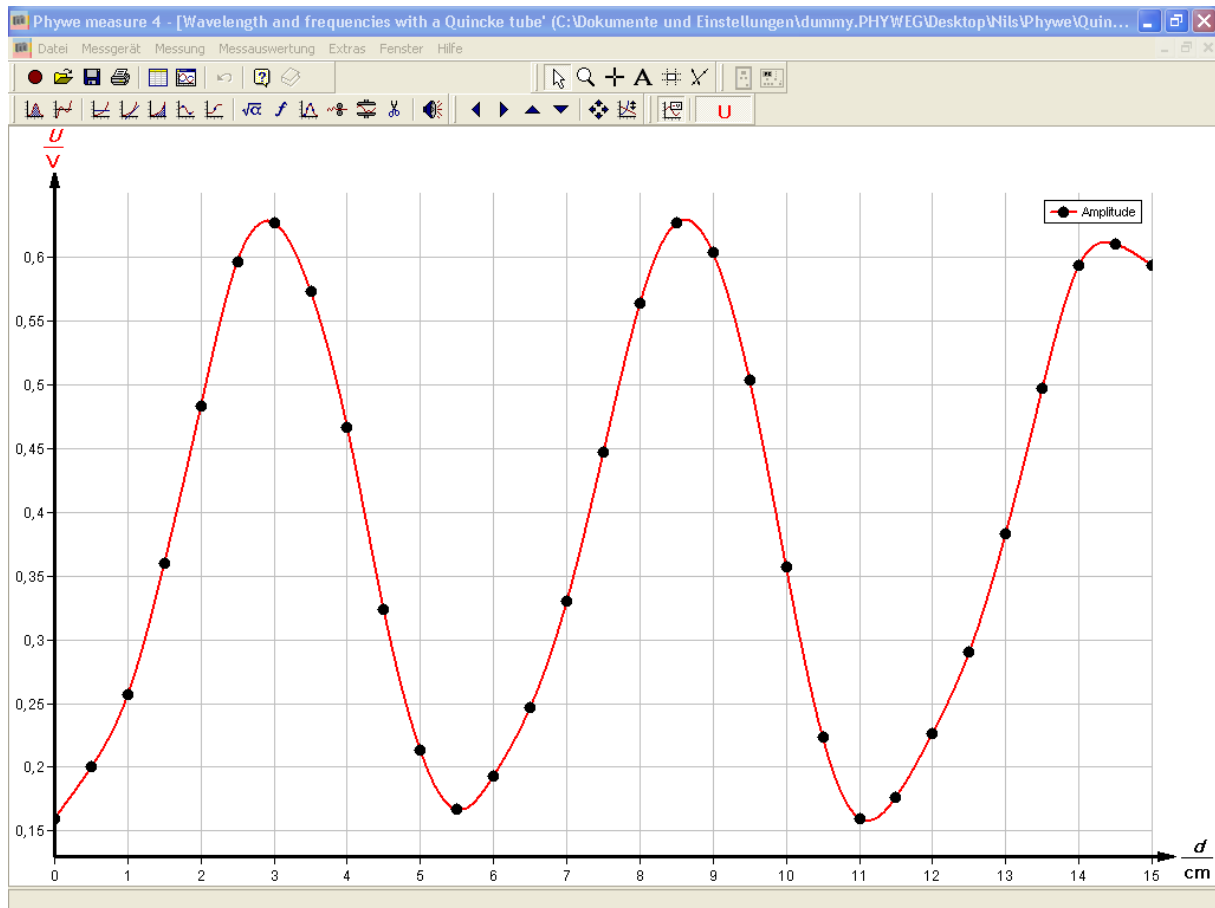
Rys. 5: Podłączenie długości fali λ i częstotliwości f



Rys. 4: Zależność rezonansowej długości fali od przemieszczenia Δd

Pomiary

Uruchom oprogramowania PHYWE *Measure* i wybierz ręczne wprowadzanie danych. Podaj tytuł, liczbę kanałów (kanałów X i Y), liczbę wartości, tytuł, symbol i jednostkę dla każdego kanału i naciśnij „Kontynuuj”. Następnie wprowadź wartości pomiarowe do tabeli. Wykreśl zależność amplitudy od odległości Δd , wybierz menedżera kanałów z *okna pomiarowego*. Zaznacz odległość i naciśnij strzałkę w prawo, odległość pojawi się teraz na osi x. Zaznaczyć inne kanały i naciśnij strzałkę w prawo (= oś y). Klikając na *prawy przycisk myszy* lub na *menu pomiarowe* można wybrać *opcje wyświetlania*.



Rys. 6: Przykład ($f = 3000 \text{ Hz}$)