

Ćwiczenie M10

Pomiar prędkości dźwięku metodą rezonansu i składania drgań wzajemnie prostopadłych

M10.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie prędkości dźwięku w powietrzu metodą rezonansu (z użyciem rury Kundta) i składania drgań wzajemnie prostopadłych.

M10.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Fale mechaniczne – równanie fali, jej parametry i własności,
- fale dźwiękowe jako przykład fali mechanicznych,
- zjawisko interferencji – fala stojąca,
- zjawisko rezonansu mechanicznego,
- składanie drgań wzajemnie prostopadłych,
- metoda najmniejszych kwadratów.

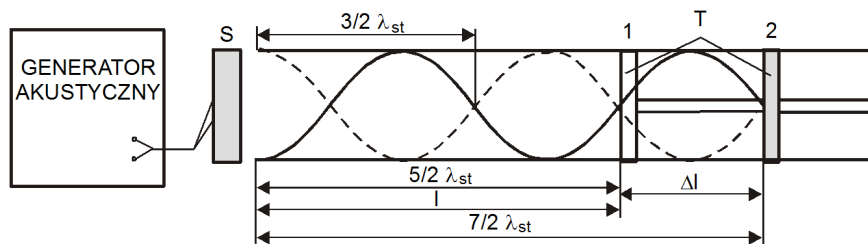
M10.3. Literatura

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz. 1*, PWN, Warszawa.
- [2] Massalski J., Massalska M.: *Fizyka dla inżynierów, cz. 1*, WNT, Warszawa.
- [3] Szczeniowski S.: *Fizyka doświadczalna, cz. 1*, PWN, Warszawa.
- [4] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*, <http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

M10.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

Układ doświadczalny - metoda rezonansu

Rysunek M10.1 przedstawia schemat układu pomiarowego. W skład układu wchodzi: **G** – generator akustyczny, **S** – słuchawka telefoniczna, **R** – rura, **T** – ruchomy tłok.



Rysunek M10.1. Schemat układu pomiarowego: metoda rezonansu

Przebieg doświadczenia - metoda rezonansu

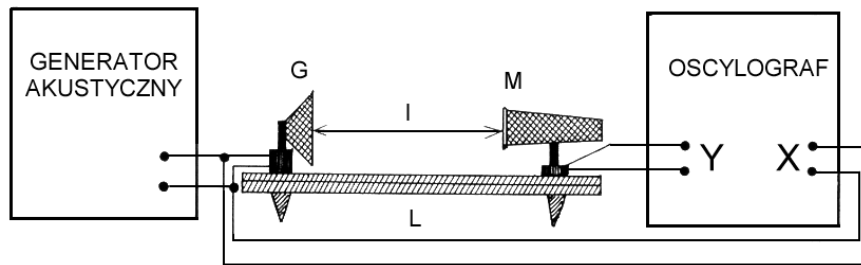
W układzie doświadczalnym słuchawkę telefoniczną, podłączoną do generatora ustawionego na określoną częstotliwość, umieszczamy na wprost otwartego końca rury szklanej (jest to tzw. rura Kundta). Oddalając tłok od słuchawki wyznaczamy takie jego położenie, przy którym w słupie powietrza o określonej długości l_1 powstaje rezonans (fala stojąca). Rezonans poznajemy po wyraźnym wzroście głośności słyszalnego dźwięku. Przesuwając tłok coraz dalej wyznaczamy położenie sąsiedniego maksimum głośności dźwięku l_2 i dalszych maksimum – l_3 , l_4 , itd. - rysunek M10.1.

Układ doświadczalny - metoda składania drgań

Rysunek M10.2 przedstawia schemat układu pomiarowego. W skład zestawu wchodzi: **G** – głośnik, **M** – mikrofon, **L** – ława, **GA** – generator akustyczny, **O** – oscyloskop.

Przebieg doświadczenia - metoda składania drgań

Głośnik **G** umieszczony jest na ławie **L** na wprost mikrofonu **M**. Fala akustyczna wysyłana przez głośnik **G**, podłączony do generatora akustycznego i okładek **X**



Rysunek M10.2. Schemat układu pomiarowego: metoda składania drgań

oscylografu **O**, dochodzi do mikrofonu **M** przetwarzającego ją w drgania elektryczne podawane następnie na okładki **Y** oscylografu. Kształt krzywej wypadkowej obserwowanej na oscylografie zależy od różnicy faz drgań składowych pochodzących od głośnika i mikrofonu, co ma bezpośredni związek z odległością l (między głośnikiem **G** a mikrofonem **M**). Najmniejsza odległość $z = l_{min}$ między dwoma sąsiednimi położeniami mikrofonu, przy której krzywa wypadkowa wykona pełen obrót (różnica faz zwiększy się o 2π) jest długością fali akustycznej w powietrzu ($\lambda = l_{min}$). Jeżeli przy danej odległości l między mikrofonem a głośnikiem krzywa wykona n pełnych obrotów, to $l = n\lambda$. Znając długość fali λ i częstotliwość f generatora, obliczamy prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu.

Zadania do wykonania

- M10.1. Wykorzystując zjawisko rezonansu akustycznego wyznaczyć długość fali stojącej dla wybranej częstotliwości generatora (wyznaczyć 8–10 kolejnych położenia tłoka, przy których w słupie powietrza powstaje fala stojąca). Na podstawie uzyskanego wyniku wyznaczyć prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu.
- M10.2. Wykorzystując zjawisko rezonansu akustycznego wyznaczyć zależność długości fali bieżącej od częstotliwości (dla co najmniej 10-ciu różnych częstotliwości) i metodą najmniejszych kwadratów obliczyć wartość prędkości dźwięku w powietrzu.
- M10.3. Wykorzystując metodę składania drgań wzajemnie prostopadłych, na podstawie zmiany różnicy faz wyznaczyć długość fali dla 10-ciu różnych częstotliwości. Dla każdej częstotliwości wyznaczyć prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu, a następnie obliczyć ich wartość średnią.

Uzupełnienie do zadania M10.1

Położenia maksimum głośności, występujące przy określonych długościach słupa powietrza (położeniach tłoka w rurze), spełniają warunki:

$$l_1 = \frac{1}{2}\lambda_{st} = \frac{1}{4}\lambda, \quad l_2 = \frac{3}{2}\lambda_{st} = \frac{3}{4}\lambda, \quad l_3 = \frac{5}{2}\lambda_{st} = \frac{5}{4}\lambda. \quad (\text{M10.1})$$

Długość fali stojącej odpowiada odległości Δl między dwoma sąsiednimi położeniami tłoka, przy których w słupie powietrza w rurze występuje rezonans. Przykładowo, dla przedstawionych na rysunku M10.1 położen tłoka „1” i „2”, otrzymujemy

$$\Delta\lambda = \frac{7}{2}\lambda_{st} - \frac{5}{2}\lambda_{st} = \frac{5}{2}\lambda_{st} - \frac{3}{2}\lambda_{st} = \frac{1}{2}\lambda, \quad (\text{M10.2})$$

skąd wyznaczamy długość fali λ . Mając długość fali biegnącej z N -pomiarów liczymy średnią długość fali, która po przemnożeniu przez częstotliwość generatora daje prędkość dźwięku w powietrzu.

M10.5. Rachunek niepewności

W metodzie rezonansu niepewność pomiaru prędkości rozchodzenia się dźwięku obliczamy jako niepewność wielkości złożonej, ponieważ wyrażona jest przez dwie wielkości mierzone bezpośrednio – długość fali i częstotliwość. Zgodnie z danymi producenta generatora, maksymalna niepewność systematyczna częstotliwości $\Delta f = \pm 10$ Hz. Niepewność długości fali szacujemy stosownie do wybranej metody albo jako standardowe odchylenie od wartości średniej albo jako niepewność maksymalną.

W metodzie składania drgań wzajemnie prostopadłych niepewność pomiaru λ szacujemy w trakcie wykonywania pomiaru na podstawie podziałki użytego przyrządu liniowego i dokładności użytych urządzeń. Niepewność prędkości rozchodzenia się dźwięku obliczamy jako standardowe odchylenie od wartości średniej.