

I PRACOWNIA FIZYCZNA

ĆWICZENIE

Akustyczny efekt Dopplera

Opracowała:

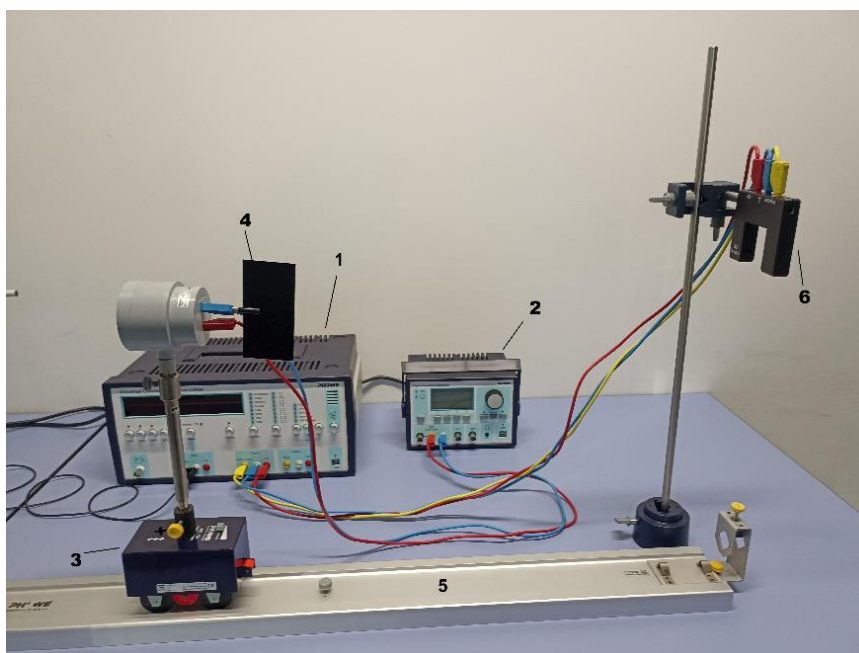
dr hab. Małgorzata Karolus, prof. UŚ

Zagadnienia do kolokwium wstępnego

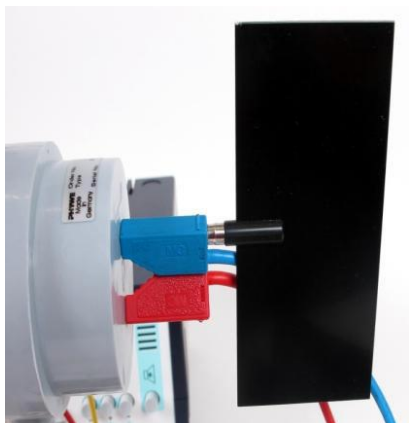
- fale sprężyste, wielkości charakteryzujące ruch falowy
- propagacja fali dźwiękowej - odbicie, załamanie, pochłanianie
- efekt Dopplera
- mechanizm efektu Dopplera dla fal dźwiękowych,
- mechanizm efektu Dopplera dla fal świetlnych (przesunięcie barw),
- wzór na zmianę częstotliwości dla dźwięku,
- przykłady zastosowań

Aparatura

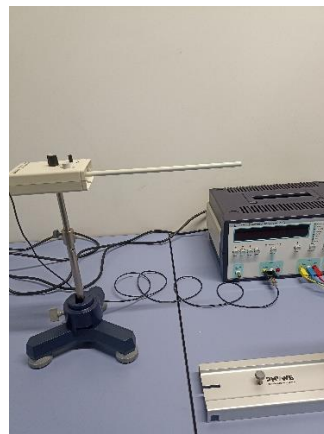
- Miernik uniwersalny PHYWE (1)
- Generator PHYWE (2)
- Samochód (3) z ekranem (4)
- tor dla samochodu (5) wraz z bramką (6)
- mikrofon
- detektor
- przewody
- instrukcja miernika uniwersalnego i generatora



Rys. 1. Zestaw pomiarowy



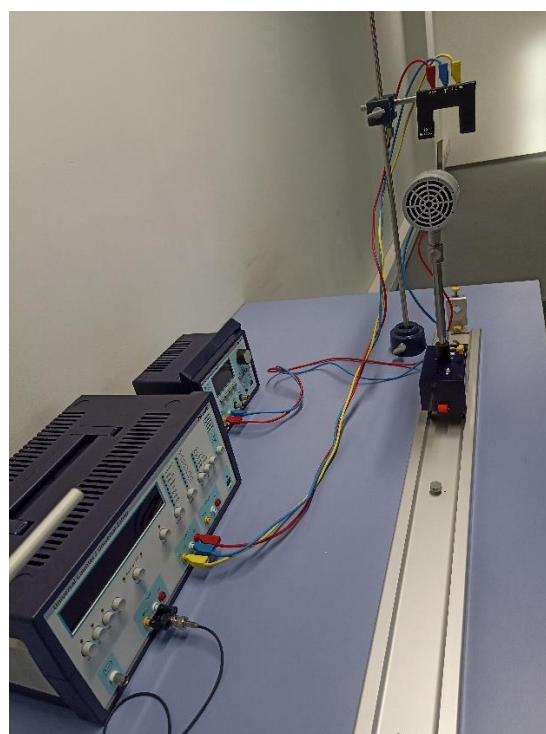
Rys. 2. Podłączenie ekranu do górnego przewodu połączeniowego



Rys. 3. Połączenie mikrofonu do licznika uniwersalnego



Rys. 4. Miernik uniwersalny



Rys. 5. Połączenie elementów układu pomiarowego

Wzory

Rozważając efekt Dopplera, należy rozróżnić dwa przypadki, gdy emiter porusza się względem detektora (i) oraz gdy detektor porusza się względem emitera (ii).

W przypadku propagacji dźwięku w ogólności, jest spełnione równanie:

$$c = f \cdot \lambda, \quad (1)$$

gdzie c jest prędkością dźwięku w ośrodku, f jest częstotliwością i λ długością fali.

W pierwszym przypadku (i) źródło porusza się, emitując fale dźwiękowe. Zatem w czasie między dwoma czołami fal, emiter pokonuje odległość s z prędkością v , przy czym $T = 1/f$ jest okresem fali dźwiękowej:

$$s = v \cdot T. \quad (2)$$

W związku z tym długość fali (odległość między dwoma czołami fali) ulega skróceniu o tę odległość, i otrzymuje się nową długość fali:

$$\lambda' = c_0 \cdot T \pm v \cdot T. \quad (3)$$

Jest to długość fali, jaką przebyło pierwsze czoło fali, a wzór jest ważny dla emitera poruszającego się w kierunku detektora (–) i w kierunku przeciwnym (+).

Wprowadzając zależność (1) i upraszczając ją, otrzymuje się wyrażenie na przesuniętą częstotliwość poruszającego się emitera:

$$f' = f(1 \pm v/c)^{-1} \quad (4)$$

W drugim przypadku (ii) detektor porusza się z prędkością v pomiędzy kolejnymi położeniami frontów falowych. Zatem prędkość detektora dodaje się (odejmuje się) do prędkości dźwięku, jeśli detektor porusza się w kierunku (lub od) emitera. Dla wykrytej częstotliwości otrzymujemy:

$$f' = (c + v)/\lambda \quad (5)$$

Podstawiając do (1) i upraszczając wynik otrzymujemy:

$$f' = f(1 \pm v/c) \quad (6)$$

Jeśli zarówno emiter, jak i detektor się poruszają, dla przesuniętej częstotliwości otrzymujemy następujące wyrażenie, gdzie D i E oznaczają odpowiednio detektor i emiter:

$$f' = f \left(\frac{1 \pm v_D/c}{1 \pm v_E/c} \right) \quad (7)$$

Wykonanie ćwiczenia

1. Zapoznaj się z instrukcją obsługi miernika uniwersalnego i generatora.

Ustawienia miernika należy wybrać w następujący sposób:

pomiar prędkości - funkcja: prędkość

wyzwalacz:

odległość: 50 mm

pomiar częstotliwości - tryb: analogowy; funkcja: częstotliwość

Ustawienia generatora funkcji cyfrowych należy wybrać w następujący sposób:

częstotliwość: 5 kHz... 15 kHz

amplituda: 1 V

sygnał: sinus

2. Pomiary dla źródła spoczynkowego (mikrofon) i ruchomego detektora (samochód).

Dla co najmniej trzech różnych prędkości między 0,06 m/s a 0,16 m/s i pięciu różnych częstotliwości między 5 kHz a 10 kHz zmierz częstotliwość przesuniętą Dopplera i częstotliwość oryginalną.

3. Połącz mikrofon, detektor i bramkę zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1.

- Ustaw detektor i mikrofon na tej samej wysokości.
- Połączenie ekranu z detektorem przedstawiono na rys. 2.
- Połączenie mikrofonu do miernika uniwersalnego przedstawiono na rys. 3.
- Ekran w samochodzie należy wyregulować tak, aby przechodził przez barierę (bramkę) bez wpływu na jazdę samochodu.
- Detektor jest podłączony do wyjścia generatora funkcji cyfrowych. Podłączenie bramki do miernika uniwersalnego (rys. 4), pokazano na rys. 5.

4. Wyznaczenie prędkości samochodu.

- Pomiary wykonaj dla trzech różnych ustawień regulatora prędkości samochodu: minimalna prędkość (v_1), pośrednia prędkość (v_2) i maksymalna prędkość (v_3).
- Ustaw kierunek w taki sposób, aby samochód oddalał się od mikrofonu.
- Wybierz punkt początkowy i końcowy drogi samochodu, zmierz odległość (S).
- Zmierz czas przejazdu samochodu na wybranym odcinku drogi dla wszystkich trzech ustawień (T_1 , T_2 , T_3).
- Wykonaj co najmniej pięć pomiarów, aby określić średnią prędkość samochodu (v_1 , v_2 , v_3).

5. Wybierz odpowiednie ustawienia generatora funkcji cyfrowych i zmień ustawienia licznika uniwersalnego, aby zmierzyć częstotliwość. Użyj przycisków *Start* i *Stop*, aby rozpocząć i zakończyć pomiar. Za pomocą przycisku *Hold* zablokuj zmierzoną wartość podczas przejazdu samochodu przez ramkę.

6. Wybierz trzy różne częstotliwości, np. 500; 1000; 5000 Hz.

7. Dla każdej z wybranej częstotliwości początkowej wykonaj co najmniej pięć pomiarów ruchu samochodu i zanotuj zmierzoną częstotliwość końcową.

8. Powtórz procedurę dla co najmniej trzech różnych prędkości samochodu.

Uwaga:

- *Jeśli licznik uniwersalny nie mierzy częstotliwości pomimo wyraźnie słyszalnego dźwięku, może być konieczne dostosowanie napięcia wyjściowego wzmacniacza mikrofonowego.*
- *Podczas pomiaru nie może wystąpić żaden szum tła, ponieważ zostałby on również zarejestrowany przez mikrofon, fałszując pomiary częstotliwości.*
- *Jeśli prędkość samochodu stopniowo spada, mimo że regulator prędkości nie został wyregulowany, akumulator może być rozładowany i należy go wymienić. Fakt, że prędkości samochodu do przodu i do tyłu nie są identyczne dla tego samego ustawienia regulatora prędkości, jest normalny i wynika z rodzaju silnika zastosowanego w samochodzie.*

Opracowanie wyników

1. Wyznacz trzy różne prędkości samochodu.
2. Wyznacz trzy różne częstotliwości początkowe.
3. Dla każdej z trzech prędkości, wylicz zgodnie z równaniem 6, zmianę częstotliwości dla trzech różnych częstotliwości początkowych.
4. Wylicz wartości średnie i odchylenie standardowe
5. Przedstaw wyniki w tabeli
6. Przedstaw na wykresie zależność zmian częstotliwości końcowej od początkowej i zaznacz błędy pomiarowe.
7. Zapisz wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.

Literatura

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, PWN, Warszawa 2003.
2. J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, PWN, 1999.
3. H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna wspomagana komputerem*, PWN, Warszawa 2003.