

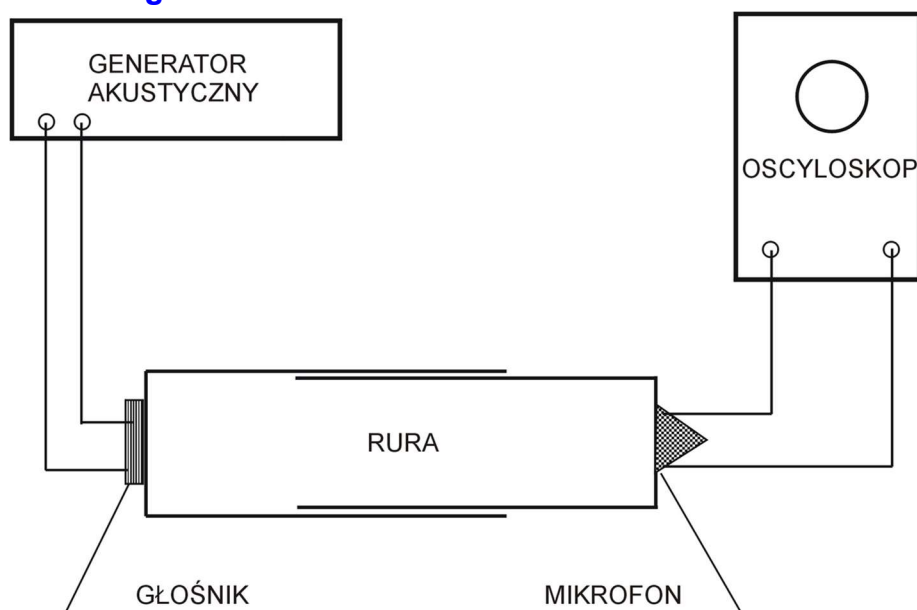
## WYZNACZANIE PRĘDKOŚCI DŹWIĘKU W POWIETRZU METODĄ FALI STOJĄCEJ



### 1. Opis teoretyczny do ćwiczenia

zamieszczony jest na stronie [www.wtc.wat.edu.pl](http://www.wtc.wat.edu.pl) w dziale  
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

### 2. Opis układu pomiarowego



Zestaw do wytwarzania i rejestracji fali stojącej w słupie powietrza przedstawiony jest na rysunku. Podstawowym jego elementem jest rura (tzw. rura Kundta), zakończona z jednej strony głośnikiem, którego membrana, pobudzana jest do drgań sygnałem sinusoidalnym z generatora akustycznego. Z drugiej strony drgania poprzez zmianę ciśnienia słupa powietrza działają na mikrofon, połączony z oscyloskopem.

Ponieważ koniec rury to nieruchoma ścianka, to fazy fali padającej i odbitej muszą być takie, aby na nieruchomej ścianie nie było przemieszczeń (taki punkt nazywamy „węzłem”). Zachodzi to wtedy, gdy fala padająca i odbita są przesunięte w stosunku do siebie o kąt  $\pi$ . W przypadku, gdy długość rury jest całkowitą wielokrotnością połowy długości fali w wyniku nakładania fali biegnącej i odbitej, zachodzi zwiększenie amplitud w miejscu zwanym „strzałką” i zmniejszenie w „węźle”. Zjawisko to łatwo daje się zaobserwować, gdy przesuwamy wewnątrz rury głośnik, wówczas amplitudy obserwowane na oscyloskopie maleją lub rosną w zależności od położenia głośnika stanowiącego koniec słupa powietrza. Przy ustalonej częstotliwości drgań membrany, otrzymujemy kolejne maksima amplitud drgań obserwowanych na oscyloskopie.

Oznaczmy przez  $l(0)$  położenie rury, dla którego otrzymujemy pierwsze maksimum amplitudy drgań, a przez  $l(n)$   $n=1, 2, 3, \dots$  kolejne następne położenia. Wiemy, że dla fali stojącej kolejne maksima są co pół długości fali zatem:

$$l(n) = l(0) + n \frac{\lambda}{2} \quad \text{gdzie } n=1, 2, 3, \dots \text{ . Funkcja } l(n) \text{ jest funkcją liniową o współczynniku kierunkowym}$$

$\bar{a} = \frac{\lambda}{2}$  i wyrazie wolnym  $\bar{b} = l(0)$ . Znając współczynnik kierunkowy, a więc  $\frac{\lambda}{2}$  i korzystając ze związku, że prędkość fali jest iloczynem długości i częstotliwości wyznaczamy prędkość dźwięku  $V = \lambda f = 2\bar{a}f$ .

### 3. Przeprowadzenie pomiarów

1. Włączyć oscyloskop i generator drgań akustycznych. Na ekranie oscyloskopu powinien być ostry obraz sinusoidy.
2. Ustawić wartość częstotliwości  $f$  drgań uzyskiwanych z generatora z zakresu około 1500 – 3500 Hz. Ustawioną wartość zapisać w tabeli pomiarowej. Ustalić niepewność maksymalną  $\Delta f$  częstotliwości związaną ze stabilnością pracy generatora (odpowiadającą najmniejszej zmianie ustawienia częstotliwości).
3. Określić temperaturę powietrza w rurze (przyjąć równą temperaturze otoczenia).
4. Przesuwając mikrofon wewnątrz rury znaleźć następujące kolejno po sobie położenia  $l(n)$ , dla których amplituda drgań obserwowanych na oscyloskopie osiąga maksimum. Odczytać położenia na skali centymetrowej umieszczonej na bocznej powierzchni rury. Zanotować odczytane wartości w tabeli.
5. Pomiary powtórzyć dla 4 różnych wartości częstotliwości  $f$ . Dla każdej częstotliwości pomiar wykonać dwukrotnie (przy wysuwaniu i wsuwaniu rury). Ilość maksimów może być różna w zależności od częstotliwości i ograniczona jest długością rury (zachować ostrożność aby nie uszkodzić stanowiska).
6. Ustalić wartości parametrów i ich niepewności niezbędne do opracowania ćwiczenia. Określić niepewności maksymalne wielkości mierzonych.

#### 4. Opracowanie wyników pomiarów

##### Wykonanie Wykresu 1 – położenia kolejnych strzałek fali stojącej

1. Wszystkie wyniki pomiarów przedstawić na wykresie odkładając na osi odciętych kolejne numery strzałek fali stojącej  $n$  (1, 2, 3,...), a na osi rzędnych odpowiadające im położenia wysunięcia rury  $l(n)$ .
2. Wykonać wykres prostej  $y = \bar{a}x + \bar{b}$  aproksymując ją metodą najmniejszych kwadratów Gaussa, gdzie  $x=n$ , a  $y=l(n)$ , a parametry prostej oraz ich niepewności wyznaczamy z:

$$\bar{a} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)}, \quad \bar{b} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)}{n},$$

$$u(\bar{a}) = \sigma_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{n}{n-2} \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i^2\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right) - \bar{b} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}}, \quad u(\bar{b}) = \sigma_{\bar{b}} = \sigma_{\bar{a}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}.$$

Przy wyznaczaniu parametrów prostych wykonać tabelę zawierającą kolumny z poszczególnymi wartościami:  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $x_i^2$ ,  $y_i^2$ ,  $x_i \cdot y_i$  oraz ich sumy w celu uniknięcia błędów przy przetwarzaniu wartości zmierzonych.

Prostą wraz z wyznaczonymi parametrami nanieść na wykres (1).

##### Wyznaczenie prędkości dźwięku i jego niepewności

3. Obliczyć prędkość dźwięku w powietrzu  $V = 2\bar{a}f$  dla każdej z badanych częstotliwości. Parametr  $f$  to częstotliwość drgań generatora.
4. Obliczyć jej niepewność standardową złożoną  $u_c(V) = \sqrt{(2f \cdot u(\bar{a}))^2 + (2\bar{a} \cdot u(f))^2}$ , przyjmując  $u(\bar{a}) = \sigma_{\bar{a}}$ , oraz  $u(f) = \frac{\Delta f}{\sqrt{3}}$ .
5. Obliczyć niepewność złożoną względną  $u_{c,r}(V) = \frac{u_c(V)}{V}$ .
6. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną  $U(V) = 2 \cdot u_c(V)$ .
7. Zebrać wyniki w poniższej tabeli:

$f$	$V$	$u_c(V)$	$U(V)$	$u_{c,r}(V)$

8. Porównać wartości w tabeli z wielkością odniesienia - prędkością dźwięku w powietrzu suchym. wyciągnąć wniosek (1). Do końcowej analizy wybrać jeden z wyznaczonych zestawów parametrów.

## 5. Podsumowanie

1. Zestawić wyznaczone wielkości wyznaczone z pomiarów ( $f, V, u_c(V), U(V), u_{c,r}(V)$ ) jak w tabeli 7 oraz wartość odniesienia zgodnie z regułami ich prezentacji.

2. Przeanalizować uzyskane rezultaty:

a) która z niepewności pomiarowych wnosi największy wkład do niepewności złożonej  $u_c(V)$ ;

b) czy spełniona jest relacja  $u_{c,r}(V) < 0,1$ ;

c) czy spełniona jest relacja  $|V - V_{\text{odniesienia}}| < U(V)$ ;

d) układ punktów pomiarowych na Wykresie 1;

pod kątem występowania i przyczyn błędów grubych, systematycznych i przypadkowych.

3. Wyciągnąć wnioski pod kątem występowania błędów grubych, systematycznych i przypadkowych i ich przyczyn. Uwzględnić tu wniosek (1).

Wyjaśnić czy cele ćwiczenia zostały osiągnięte.

## 6. Przykładowe pytania

zamieszczone są na stronie [www.wtc.wat.edu.pl](http://www.wtc.wat.edu.pl) w dziale  
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

\*\*\*\*\*

### Zadania dodatkowe do wyznaczenia i analizy:

1. Wykonać pomiary dla punktów  $l(n)$  gdzie amplituda fali stojącej jest minimalna.
2. Wykonać pomiary dla innych pracy częstotliwości generatora.
3. Wyznaczyć współczynnik korelacji liniowej  $R^2$  dla wyznaczonej prostej. Wynik poddać analizie i wyciągnąć wnioski.

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}$$

Zespół w składzie.....

Cele ćwiczenia:

- wyznaczenie prędkości dźwięku w powietrzu metodą fali stojącej,
- sprawdzenie, czy prędkość ta zależy od częstotliwości fali.

1. Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych.

*Prędkość dźwięku w powietrzu  $331,5 + 0,6 \cdot t$  [m/s], gdzie  $t$  – temperatura w  $^{\circ}\text{C}$ ,*

*Prędkość dźwięku w cieczach  $\sqrt{\frac{K}{\rho}}$   $K$ - moduł sprężystości objętościowej,  $\rho$  – gęstość.*

2. Parametry stanowiska (wartości i niepewności):

Temperatura.....niepewność pomiaru temperatury.....

3. Pomiary i uwagi do ich wykonania:

Niepewność pomiaru położenia .....

Niepewność pomiaru częstotliwości .....

L.p.	Położenie maksimów amplitudy (przy wysuwaniu oraz wsuwaniu) w cm dla częstotliwości $f_n$ :							
	$f_1$ ..... Hz		$f_2$ ..... Hz		$f_3$ ..... Hz		$f_4$ ..... Hz	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Ilość maksimów może być różna w zależności od częstotliwości i ograniczona jest długością rury, należy zachować ostrożność, aby nie uszkodzić stanowiska.