

Wydział	Imię i nazwisko		Rok	Grupa	Zespół
WFiIS	1. Paweł Szewczuk 2. Ihnatsi Yermakovich		II	03	03
<b>PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH</b>	Temat				Nr ćwiczenia
	Interferencja fal akustycznych				25
Data wykonania	Data oddania	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA
07.03.2022	14.03.2022				

# Interferencja fal akustycznych

## Ćwiczenie nr 25

Paweł Szewczuk

Ihnatsi Yermakovich

<b>1</b>	<b>Cel ćwiczenia</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Wstęp teoretyczny</b>	<b>2</b>
2.1	Równanie fali dźwiękowej . . . . .	2
2.2	Interferencja fal dźwiękowych . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Przyrządy pomiarowe</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Przebieg ćwiczenia</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Wyniki</b>	<b>3</b>
<b>6</b>	<b>Opracowanie wyników</b>	<b>5</b>
6.1	Wykres prędkości od częstotliwości . . . . .	5
6.2	Średnia wartość prędkości i niepewność standardowa . . . . .	6
6.3	Prędkość dźwięku . . . . .	6
6.4	Wykładnik adiabaty . . . . .	6
<b>7</b>	<b>Wnioski</b>	<b>7</b>

# 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było wyznaczenie prędkości dźwięku w powietrzu badając interferencję fali akustycznych przy użyciu rury Quinckego oraz wyznaczenie wartości  $C_p/C_V$  dla badanych gazów.

## 2 Wstęp teoretyczny

### 2.1 Równanie fali dźwiękowej

Dowolne zaburzenie mechaniczne rozchodzi się w ośrodku ciągłym w postaci fali. W ciałach stałych fale mogą rozchodzić się fale poprzeczne i podłużne, w cieczach i gazach wyłącznie podłużne - polegające na przenoszącym się przez ośrodek ciągu następujących po sobie na przemian lokalnych zagęszczeń i rozrzedzeń. Za fale dźwiękowe uważamy fale o częstotliwościach od  $20\text{ Hz}$  do  $20\text{ kHz}$ , gdyż są one słyszalne przez ucho ludzkie. W przypadku, gdy źródłem fali dźwiękowej jest układ wykonujący drgania harmoniczne, powstaje fala sinusoidalna:

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

gdzie:

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$  - wielkość wektora falowego, gdzie  $\lambda$  - długość fali

$\omega = \frac{2\pi}{T}$  - częstość fali, gdzie  $T$  - okres fali

$y_m$  - odchylenie maksymalne, czyli amplituda

### 2.2 Interferencja fal dźwiękowych

Gdy w pewnym punkcie przestrzeni spotykają się dwie lub więcej fal, w wyniku ich sumowania się 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  $x_2$ :

$$y_1 = A_1 \sin(\omega t - kx_1) \quad y_2 = A_2 \sin(\omega t - kx_2) \quad (2)$$

wówczas ich superpozycja:

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

gdzie:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos k(x_1 - x_2)} \quad (4)$$

Ze wzoru (4) wynika, że amplituda  $A$  osiąga wartość minimalną, gdy:

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

Co możemy przekształcić do:

$$x_1 - x_2 = \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

Odstępy pomiędzy minimami są równe długości powstającej w rozpatrywanym miejscu wypadkowej fali, ich pomiar umożliwia więc wyznaczenie długości fali, a to przy znanej częstotliwości  $f$  umożliwia obliczenie prędkości fali  $v$  ze wzoru:

$$v = f\lambda \quad (7)$$

Prędkość dźwięku rozchodzącego się w gazie doskonałym wyraża się wzorem:

$$v = \sqrt{\frac{\kappa RT}{m}} \quad (8)$$

gdzie:

$T$  - temperatura

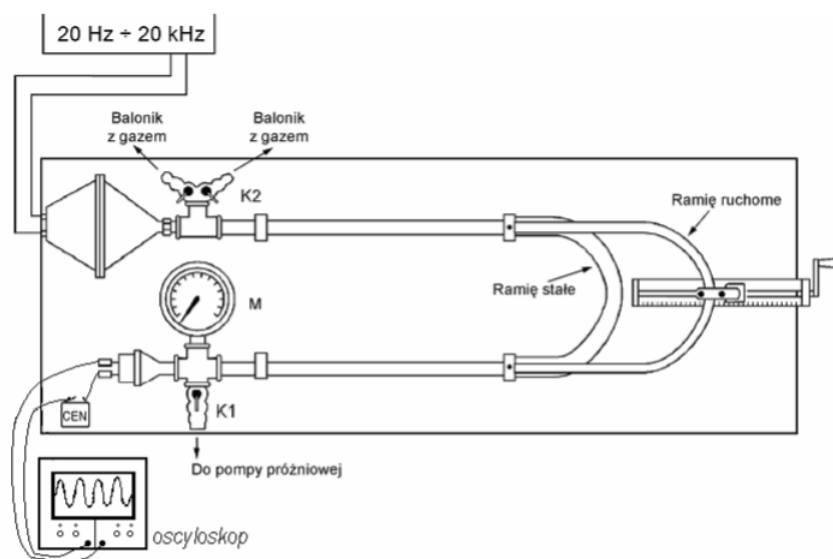
$R$  - stała gazowa

$\kappa$  - wykładnik adiabaty

$m$  - masa molowa

### 3 Przyrządy pomiarowe

- Rura Quinckego
- Generator mocy
- Licznik do odczytu częstotliwości
- Oscyloskop



Rysunek 1: Badany układ rury Quinckego

### 4 Przebieg ćwiczenia

Podczas doświadczenia wykonaliśmy trzynastę serii pomiarów odległości pomiędzy znalezionymi minimumi amplitudy przy różnych częstotliwościach dźwięku. Z każdej serii pomiaru obliczyliśmy średnią, dzięki której mogliśmy ustalić długość fali, a w konsekwencji prędkość rozchodzenia się dźwięku. Badane częstotliwości należały do zakresów  $600\text{-}1000\text{ Hz}$  oraz  $2000\text{-}3300\text{ Hz}$

### 5 Wyniki

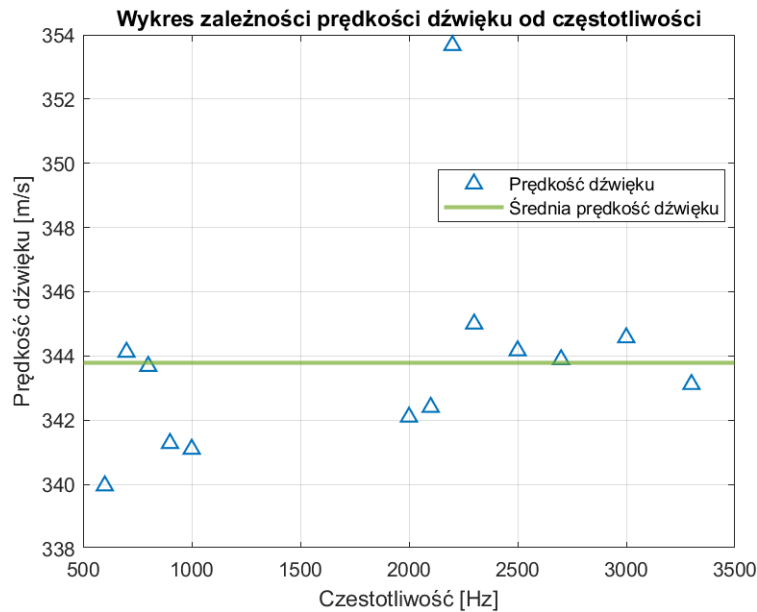
Wyniki pomiarów dla różnych częstotliwości zebraliśmy w tabeli:

Nr	$\lambda$	Położenie minimów [mm]								Różnica położień minimów [mm]								$\lambda$	$v$	
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$\Delta_5$	$\Delta_6$	$\Delta_7$			$\Delta_8$
1	600	135,5	418,8								283,3								566,60	339,960
2	700	90,1	335,9								245,8								491,60	344,120
3	800	105,7	320,5								214,8								429,60	343,680
4	900	95,9	285,5								189,6								379,20	341,280
5	1000	73,9	244,0	415,0							170,1	171,1							341,10	341,100
6	2000	54,9	138,0	225,1	310,9	397,0					83,1	87,1	85,8	86,1					171,05	342,100
7	2100	48,9	131,1	212,1	294,0	375,0					82,2	81,0	81,9	81,0					163,05	342,405
8	2200	36,1	125,1	204,0	280,7	359,9	438,0				89,0	78,9	76,7	79,2	78,1				160,76	353,672
9	2300	45,1	120,0	194,1	268,9	344,0	420,1				74,9	74,1	74,8	75,1	76,1				150,00	345,000
10	2500	40,0	110,1	178,0	247,0	315,0	384,0	453,0			70,1	67,9	69,0	68,0	69,0	69,0			137,67	344,167
11	2700	35,0	98,9	161,9	223,0	289,0	352,9	417,1			64,9	63,2	61,1	66,0	63,9	64,2			127,37	343,890
12	3000	33,0	89,9	146,0	204,0	262,0	321,0	377,0	435,0		56,9	56,1	58,0	58,0	59,0	56,0	58,0		114,86	344,571
13	3300	24,1	78,1	129,5	179,0	233,0	284,1	334,1	389,9	440,0	54,0	51,4	49,5	54,0	51,1	50,0	55,8	50,1	103,98	343,118

Tablica 1: Wyniki pomiarów położenia minimów interferencji dwóch fal

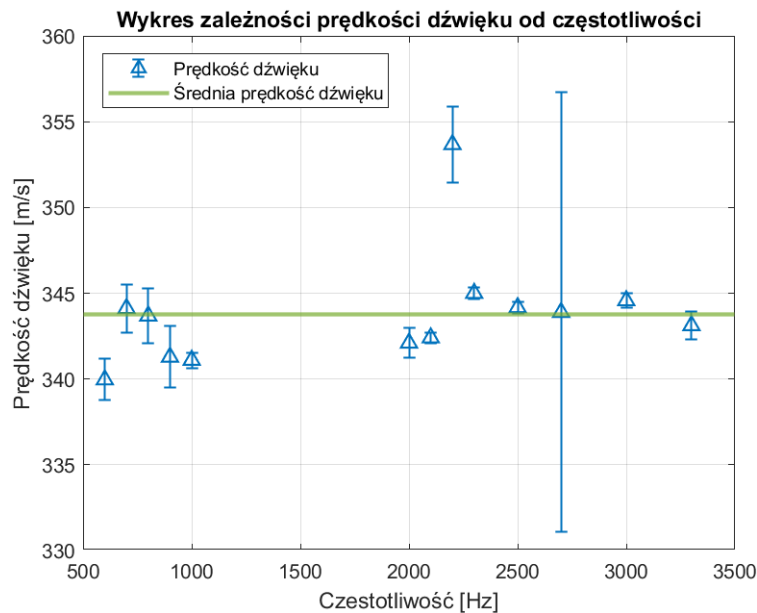
## 6 Opracowanie wyników

### 6.1 Wykres prędkości od częstotliwości



Rysunek 2: Wykres zależności  $v(f)$

W oparciu o wykres możemy stwierdzić, że mamy jeden niereprezentatywny wynik, który nie będziemy brali pod uwagę w następnych obliczeniach, a dokładnie  $f = 2200 \text{ Hz}$   $v = 353,672 \text{ m/s}$  i  $Nr = 8$ .



Rysunek 3: Wykres zależności  $v(f)$

Na wykresie zaznaczono obliczone niepewności pomiarowe typu A dla każdego pomiaru. W przypadku czterech pomiarów dla najniższych częstotliwości z uwagi na niewielką liczbę różnych zmierzonych minimum przyjęliśmy błąd pomiaru odległości na poziomie  $0,2 \text{ mm}$ .

Musimy również wyciągnąć ważny wniosek, że zgodnie z przewidywaniami otrzymane wykresy wskazują brak wpływu częstotliwości na prędkość dźwięku.

## 6.2 Średnia wartość prędkości i niepewność standardowa

Obliczyliśmy średnią prędkość dźwięku:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} = 342,949 \text{ (m/s)} \quad (9)$$

Biorąc pod uwagę temperaturę w pomieszczeniu ( $22^\circ\text{C}$ ) otrzymana wynik jest bardzo blizki tablicowej wartości  $343 \text{ m/s}$ .

Liczymy niepewność metodą typu A. Używamy tej metody, ponieważ błąd był przypadkowy z powodu sposobu w jaki znajdowane było minimum:

$$u_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n(n-1)}} = 0,454741704 \text{ (m/s)} \quad (10)$$

## 6.3 Prędkość dźwięku

Korzystając z przelicznika  $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273.15\text{K}$  przeliczymy otrzymaną prędkość otrzymaną przy temperaturze  $22^\circ\text{C}$ :

$$v_0 = \bar{v} \sqrt{\frac{T_0}{T}} = 329.92 \text{ (m/s)} \quad (11)$$

Skorzystamy z prawa przenoszenia:

$$u(v_0) = u(v) \sqrt{\frac{T_0}{T}} = 0,43746 \text{ (m/s)} \quad (12)$$

Dla obliczenia niepewności rozszerzonej przyjmijmy  $k = 3$ :

$$U(v_0) = k u(v_0) = 1,31238 \text{ (m/s)} \quad (13)$$

Ostatecznie:

$$v_0 = 329,92 \pm 1,31238 \text{ (m/s)} \quad (14)$$

Przyjmując prędkość dźwięku dla suchego powietrza przy temperaturze  $0^\circ\text{C}$  równej  $331 \text{ m/s}$ :

$$|329,92 - 331| = 1,08 \text{ (m/s)} < 1,31238 \text{ (m/s)} \leq U(v_0) \quad (15)$$

Widzimy, że nie patrząc na to, że w pomieszczeniu powietrze nie było suche otrzymany wynik leży w granicach niepewności i zgadza się z wartością tablicową.

## 6.4 Wykładnik adiabaty

Przyjmując masę molową powietrza:

$$\mu = 28,91 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,02891 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \quad (16)$$

i wartość uniwersalnej stałej gazowej:

$$R = 8,3144721 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad (17)$$

przekształcając wzór (8) policzymy wykładnik adiabaty:

$$\kappa = \frac{\mu v^2}{RT} = 1,28229 \quad u_k = \frac{2v\mu}{RT} u_{v_0} = 3,4 \times 10^{-3} \quad (18)$$

## 7 Wnioski

Wyniki przeprowadzonego doświadczenia pokryły zakładane oczekiwania, eksperyment z wykorzystaniem rury Quinckego pozwolił nam stosunkowo dokładnie oszacować prędkość dźwięku, a otrzymane rezultaty są zbliżone do wartości tabelarycznych. Na niedokładność pomiaru, oprócz trudności z precyzyjnym odczytem wyników na oscyloskopie miały wpływ takie czynniki jak wilgotność oraz ciśnienie powietrza, czy też dokładność samych urządzeń pomiarowych

Pomiar potwierdził także niezależność prędkości dźwięku od jego częstotliwości.

Do tego obliczona wartość adiabaty jest zbliżona do rzeczywistej wartości, co dodatkowo potwierdza poprawność pomiarów.