|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Wydział  WFIIS | Imię i nazwisko  1. Mateusz Kulig  2. Przemysław Ryś | | | Rok  2021 | | Grupa  1 | Zespół  3 |
| **PRACOWNIA**  **FIZYCZNA**  **WFiIS AGH** | Temat: Interferencja fal akustycznych. | | | | | | Nr ćwiczenia  25 |
| Data wykonania  25.10.2021 | Data oddania | Zwrot do popr. | Data oddania | | Data zaliczenia | | OCENA |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

**W sprawozdaniu opisaliśmy pomiar wartości prędkości dźwięku w powietrzu wyznaczonego przy pomocy rury Quinckego. Eksperyment wykonaliśmy dla dziewiętnastu różnych częstotliwości fali akustycznej. Pomiarów dokonaliśmy w temperaturze pokojowej, następnie za pomocą odpowiednich zależności, obliczyliśmy prędkość dźwięku dla zera stopni Celsjusza. Korzystając z otrzymanej prędkości obliczyliśmy wartość wykładnika adiabatycznego dla powietrza. Nasze wyniki okazały się zgodne z wartościami tablicowymi.**

1. **Wstęp teoretyczny**

Fala dźwiękowa, to fala podłużna rozchodząca się w ośrodku sprężystym. Każda fala rozchodzi się w ośrodku z pewną prędkością. Jest ona zależna jest od częstotliwości i długości fali, a zależność między nimi dana jest wzorem

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

Fale dźwiękową można opisać wzorem

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *,* | (2) |

,gdzie

k = 2π/λ – wielkość wektora falowego, gdzie λ – długość fali,

ω = 2π/T – częstość fali, gdzie Τ – okres fali,

ym0 – odchylenie maksymalne, czyli amplituda.

Jeśli dwie fale się spotkają to dochodzi do zjawiska interferencji, czyli nakładania się fal. Interferencja może być zarówno konstruktywna, czyli amplituda fali końcowej wzrośnie, jak i destruktywna, czyli amplituda zmaleje. By zapisać równanie otrzymanej w zjawisku interferencji fali możemy użyć zasady superpozycji, czyli nakładania się fal

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Jeśli fale maja różne amplitudy y1 i y2 oraz poruszają się różnymi drogami x1 i x2 to za pomocą wzoru (2) możemy zapisać je jako

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Zatem ich złożenie po podstawieniu do wzoru (3) i przekształceniu trygonometrycznym możemy zapisać jako

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

gdzie we wzorze (4) oznacza przesuniecie fazowe, a *ym* oznacza amplitudę fali wypadkowej, która zadana jest formułą

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5) |

Amplituda ta przyjmuje minimalną wartość wtedy, gdy funkcja cosinus przyjmuje minimalną wartość, to jest

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (6) |

Równanie (6) jest spełnione, gdy

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (7) |

to znaczy, gdy różnica dróg, po których biegną fale, jest równa nieparzystej wielokrotności połówek długości fali (n=1,2,3,…). Zatem dla kolejnych wartości n występują kolejne minima amplitudy fali wypadkowej.

Aby obliczyć prędkość dźwięku, można użyć przyrządu nazywanego powszechnie rurą Quinckego. Przedmiot ten składa się ze źródła, które emituje fale dźwiękowe o danej częstotliwości, dwóch rur, z których jedna posiada możliwość wydłużenia za pomocą pokrętła i detektora dźwięku. Rury łączą się w jedną w okolicy źródła i detektora, dzięki czemu może w nich dojść do interferencji fal. Zmieniając różnice dróg jaką muszą przebyć fale natrafiamy na kolejne minima amplitudy i za pomocą wzoru (7) możemy obliczyć długość dali dźwiękowej. Jej częstotliwość natomiast odczytujemy ze źródła dźwięku. Podstawiając wartości częstotliwości i długości fali możemy obliczyć prędkość dźwięku w powietrzu za pomocą formuły (1).

Badana przez nas fala dźwiękowa rozchodzi się w powietrzu, zatem możemy zastosować wzór na prędkość dźwięku w gazach

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (8) |

,gdzie

T – temperatura bezwzględna,

R – uniwersalna stała gazowa,

µ – masa molowa molekuł gazu,

κ - wykładnik adiabaty.

Jeśli przekształcimy powyższy wzór otrzymamy

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (9) |

Z formuły (9) wynika, że stosunek iloczynu kwadratu prędkości fali i temperatury bezwzględnej jest stały dla danego gazu. Dzięki temu znając prędkość dźwięku w dowolnej temperaturze, możemy wyznaczyć jego prędkość w każdej innej.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (10) |

Wykładnik adiabaty jest równy stosunkowi ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu Cp do ciepła właściwego przy stałej objętości Cv. występuje on w równaniu (8), ponieważ lokalne zgęszczenia i rozrzedzenia gazu w fali dźwiękowej przebiegają w warunkach adiabatycznych. Jedną z metod obliczenia wykładnika adiabaty danego gazu jest pomiar prędkości dźwięku w tymże gazie. Wzór (8) można przekształcić bowiem do postaci

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (11) |

1. **Aparatura**

W celu wykonania doświadczenia użyliśmy następujących przedmiotów:

* Źródło dźwięku - Był nim generator mocy o zakresie częstotliwości 20[Hz] – 20[kHz].
* Rura Quinckego – składa się z dwóch rur, gdzie jedna z nich była unieruchomiona, a drugą można było poruszać za pomocą korbki. Rury te łączyły się przed odbiornikiem, dzięki czemu mogło dojść do interferencji fal.
* Detektor dźwięku - był nim mikrofon, który zamieniał drgania cząsteczek powietrza na sygnał cyfrowy i przekazywał dane do oscyloskopu.
* Oscyloskop- śledziliśmy na nim amplitudę fali wypadkowej i za jago pomocą mogliśmy wyłapać momenty w których amplituda fali wypadkowej jest minimalna.
* Linijka- za pomocą linijki mierzyliśmy o ile została wysunięta jedna z rur. Zakres linijki wynosił od 0 do 0,45 metra a dokładność wynosiła 0,001[m].
* Termometr - użyliśmy go, by sprawdzić temperaturę powietrza dla którego mierzyliśmy prędkość dźwięku. Jego dokładność wynosiła 0,5[K].

1. **Metodyka doświadczenia**

Przeprowadzenie doświadczenia polegało na wyszukaniu minimum amplitudy fali wypadkowej docierającej do oscyloskopu. W eksperymencie użyliśmy fali o częstotliwości od 600 do 1000 [Hz] i od 2000 do 3300 [Hz] z przeskokiem co 100 [Hz]. Następnie, gdy źródło dźwięku zostało już ustawione na odpowiednia częstotliwość, za pomocą korbki zmienialiśmy różnice długości rur, przez które przechodziła fala i tym samym zmienialiśmy amplitudę tejże fali. Obserwując oscyloskop i regulując skale na ekranie zależnie od częstotliwości staraliśmy się wychwycić moment w którym amplituda ma minimalna wartość. W chwili gdy obserwowaliśmy minimum na wykresie odczytywaliśmy na linijce długość, o jaką wydłużyliśmy jedną z rur. Po zakończeniu pomiarów wykonaliśmy wykres, który miał na celu wyłapanie błędu polegającego na przypadkowym pominięciu któregoś z minimów.

1. **Analiza danych**

Wielkości wyznaczyliśmy w temperaturze pokojowej tj. 295,15 K, a każda z częstotliwości posiadała taką samą amplitudę 0,84 [Vpp]. Dane pomiarowe zebraliśmy w poniższej tabeli.

**Tab. 1.** Tabela odległości dla których następuje minimum interferencyjne w zależności od częstotliwości (zapisane są tylko te odległości, które mieszczą się w zakresie od 0 [cm] do 45 [cm]). W celu przejrzystości danych druga z kolumn przedstawia średnie prędkości obliczone dla każdej częstotliwości.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Lp. |  | Częstotliwość [Hz] | Odległości dla których następuje minimum [cm] | | | | | | | | |
| 1 | 343,2 | 600 | 10,9 | 39,5 | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 355,6 | 700 | 9 | 34,4 | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 342,4 | 800 | 7,6 | 29 | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | 678,6 | 900 | 7 | 44,7 | - | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 345,0 | 1000 | 6,5 | 23,8 | 41 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | 343,0 | 2000 | 6,4 | 15 | 23,7 | 32,1 | 40,7 | - | - | - | - |
| 7 | 343,4 | 2100 | 6 | 14,3 | 22,4 | 30,5 | 38,7 | - | - | - | - |
| 8 | 340,6 | 2200 | 5,3 | 11,5 | 21 | 28,5 | 36,4 | 44 | - | - | - |
| 9 | 344,1 | 2300 | 3,7 | 11,8 | 19,1 | 26,5 | 33,5 | 41,1 | - | - | - |
| 10 | 350,4 | 2400 | 3,4 | 10,7 | 18,2 | 25,3 | 32,4 | 39,9 | - | - | - |
| 11 | 343,3 | 2500 | 3,8 | 10,7 | 17,6 | 24,3 | 30,2 | 38 | 45 | - | - |
| 12 | 343,2 | 2600 | 3,7 | 10,4 | 17 | 23,7 | 30,2 | 36,9 | 43,3 | - | - |
| 13 | 343,8 | 2700 | 3,6 | 9,9 | 16,4 | 22,5 | 29,2 | 35,5 | 41,8 | - | - |
| 14 | 342,5 | 2800 | 3,4 | 9,4 | 15,6 | 21,8 | 27,9 | 34 | 40,1 | - | - |
| 15 | 344,7 | 2900 | 3,1 | 9 | 15 | 20,9 | 26,8 | 32,8 | 38,7 | 44,7 | - |
| 16 | 343,7 | 3000 | 2,7 | 8,5 | 12,1 | 19,9 | 25,6 | 31,3 | 37 | 42,8 | - |
| 17 | 341,9 | 3100 | 2,6 | 8,1 | 13,5 | 19 | 24,6 | 30,2 | 35,9 | 41,2 | - |
| 18 | 341,9 | 3200 | 2,6 | 7,9 | 13 | 18,6 | 23,9 | 29,3 | 34,7 | 40 | - |
| 19 | 344,9 | 3300 | 2,2 | 7,5 | 12,6 | 17,9 | 23 | 28,3 | 33,5 | 38,8 | 44 |

**Tab. 2.** Tabela różnic odległości między kolejnymi minimami w zależności od częstotliwości.

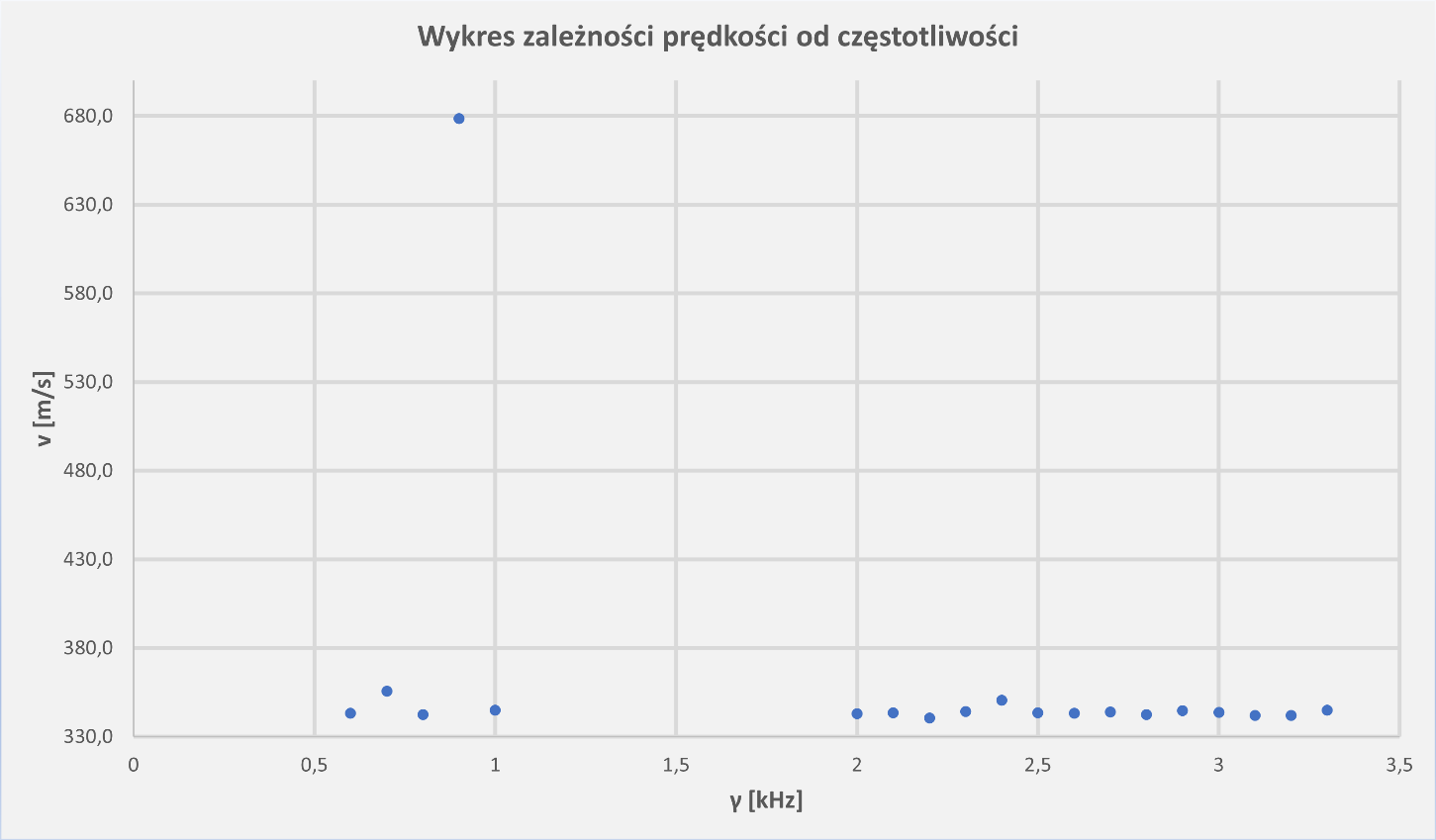
Druga z kolumn przedstawia podwojone średnie długości fali dla każdej częstotliwości.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Lp. | [cm] | Częstotliwość [Hz] | Różnice odległości między kolejnymi minimami [cm] | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 57,2 | 600 | 28,6 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 50,8 | 700 | 25,4 | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 42,8 | 800 | 21,4 | - | - | - | - | - | - |
| 4 | 75,4 | 900 | 37,7 | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 34,5 | 1000 | 17,3 | 17,2 | - | - | - | - | - |
| 6 | 17,2 | 2000 | 8,6 | 8,7 | 8,4 | 8,6 | - | - | - |
| 7 | 16,4 | 2100 | 8,3 | 8,1 | 8,1 | 8,2 | - | - | - |
| 8 | 15,5 | 2200 | 6,2 | 9,5 | 7,5 | 7,9 | 7,6 | - | - |
| 9 | 15,0 | 2300 | 8,1 | 7,3 | 7,4 | 7,0 | 7,6 | - | - |
| 10 | 14,6 | 2400 | 7,3 | 7,5 | 7,1 | 7,1 | 7,5 | - | - |
| 11 | 13,7 | 2500 | 6,9 | 6,9 | 6,7 | 5,9 | 7,8 | 7,0 | - |
| 12 | 13,2 | 2600 | 6,7 | 6,6 | 6,7 | 6,5 | 6,7 | 6,4 | - |
| 13 | 12,7 | 2700 | 6,3 | 6,5 | 6,1 | 6,7 | 6,3 | 6,3 | - |
| 14 | 12,2 | 2800 | 6,0 | 6,2 | 6,2 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | - |
| 15 | 11,9 | 2900 | 5,9 | 6,0 | 5,9 | 5,9 | 6,0 | 5,9 | 6,0 |
| 16 | 11,5 | 3000 | 5,8 | 3,6 | 7,8 | 5,7 | 5,7 | 5,7 | 5,8 |
| 17 | 11,0 | 3100 | 5,5 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,6 | 5,7 | 5,3 |
| 18 | 10,7 | 3200 | 5,3 | 5,1 | 5,6 | 5,3 | 5,4 | 5,4 | 5,3 |
| 19 | 10,5 | 3300 | 5,3 | 5,1 | 5,3 | 5,1 | 5,3 | 5,2 | 5,3 |

Następnym podjętym przez nas krokiem było obliczenie różnicy między kolejnymi działkami dla których następuje minimum, oraz wyciągnięcie średniej z otrzymanych wyników. Ponieważ każda różnica wynosi połowę długości fali, otrzymane średnie różnic przemnożyliśmy przez 2, by otrzymać czystą lambdę, która zostanie następnie użyta w podstawieniu do wzoru (1) w celu wyznaczenia prędkości fali.

W ten sposób otrzymaliśmy szereg wyników na prędkość dźwięku rozchodzącego się w powietrzu. Zostały one zestawione w drugiej kolumnie powyższej tabeli **(Tab. 1.).**

Następnie wykonaliśmy wykres zależności prędkości dźwięku od częstotliwości fali. Miał on na celu wyłapanie błędu polegającego na przypadkowym pominięciu któregoś z minimów amplitudy.

****

**Rys. 1.** Wykres przedstawiający zależność prędkości od danej częstotliwości.

Od razu rzuca się w oczy, iż wyniki o numerach 2,4 i 10 (choć wyniki 2 i 10 nie wyglądają jakby drastycznie odbiegały od średniej, jednak w większej skali ich rozrzut wynosi ponad 5 ) (**Tab.1.**) stanowią w naszym pomiarze błąd gruby, zatem nie będą one brane pod uwagę w dalszych obliczeniach.

Średnią prędkości z wyłączeniem powyższych trzech jest *.*

Niepewność obliczenia prędkości wyznaczamy za pomocą programu Excel za pomocą funkcji „ODCH.STANDARD.PRÓBKI” i wynosi ona . Otrzymana na tej podstawie niepewność rozszerzona dla współczynnika rozszerzenia równego 2 wynosi

Ostatecznie wynik jaki otrzymaliśmy w przeprowadzonym eksperymencie wynosi

Wartość tablicowa dla suchego powietrza w temperaturze 20 stopni Celsjusza wynosi

, to znaczy, że otrzymany wynik mieści się w granicach niepewności dla tejże wartości.

Korzystając następnie ze wzoru (11) otrzymujemy, iż wartość wykładnika adiabatycznego dla powietrza w temperaturze 0 stopni Celsjusza wynosi . Otrzymany wynik jest w przybliżeniu w zgodzie z wartością tablicową równą 1,403.

Następnie korzystając z wzoru (10) otrzymujemy prędkość dla temperatury zera stopni Celsjusza

Niepewność prędkości w 0 stopni Celsjusza wyznaczamy za pomocą prawa przenoszenia niepewności zastosowanego do wzoru (8) i wynosi ona

Niepewność rozszerzona o współczynniku rozszerzenia równym 2 wynosi

Ostatecznie wartość prędkości dla obliczona dla podanej temperatury wynosi

Wartość tablicowa dla suchego powietrza w temperaturze zera stopni Celsjusza wynosi , to znaczy, że otrzymany wynik mieści się w granicach niepewności dla tejże wartości.

1. **Podsumowanie**

W wyniku zastosowania rury Quinckego w celu wyznaczenia prędkości dźwięku w powietrzu otrzymaliśmy dla temperatury 295,15 [K] wartość *v* = 343,2 , o niepewności rozszerzonej *U(v)* = 2,4 , która jest zgodna z wartością tablicową (344,31 ). Dla temperatury 273,15 [K] wartość *v* = 330,2 , o niepewności rozszerzonej *U0(v)* = 1,3 , która jest zgodna z wartością tablicową (331,5 ). Dzięki obliczonej wartości prędkości dźwięku obliczyliśmy wartość wykładnika adiabatycznego κ = 1,39. Jest to wynik bardzo bliski wartości tablicowej równej 1,403.