

Ćwiczenie 73

Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu metodą rury rezonansowej

1 Przebieg doświadczenia

1.1 Przyrządy pomiarowe

- Generator akustyczny z podziałką
- Linijka, działka minimalna $\delta l = 1\text{cm}$.

1.2 Wyniki pomiarów

Pomiary zamieszczono tabeli na stronie 2. Zaparafowana oryginalna tabela pomiarów – załączona.

1.3 Wyniki doświadczenia

Prędkość dźwięku w powietrzu wynosi $v = (347 \pm 18) \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

2 Opis doświadczenia

2.1 Opis teoretyczny

W fizyce, *fale* to zaburzenia (ośrodka, pola) rozchodzące się w czasie i przestrzeni, przenoszące energię bez przenoszenia materii. Opis matematyczny fal to – najogólniej – rozwiązanie *równania falowego*

$$\Delta f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}, \quad (1)$$

w którym $\Delta = \nabla^2$ jest operatorem Laplace'a, zaś v jest *prędkością fazową* fali, tj. prędkością, z którą unoszona jest pewna *faza*, np. grzbiet, zaburzenia.

Ogólnym rozwiązaniem równania falowego dla drgającej nici jest równanie *fali harmonicznnej*

$$y = y_m \sin(kx - \omega t), \quad (2)$$

gdzie *liczba falowa* $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dla długości fali λ oraz *częstość kołowa* $\omega = \frac{2\pi}{T}$ dla okresu T , przy czym wielkości te spełniają związek

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}. \quad (3)$$

$\nu_1 = 0,8\text{kHz}$

$l[\text{cm}]$	$U[\text{V}]$	$l[\text{cm}]$	$U[\text{V}]$	$l[\text{cm}]$	$U[\text{V}]$	$l[\text{cm}]$	$U[\text{V}]$
17	2,3	31	3,8	45	0,3	60	4,3
18	2,8	32	4,0	46	0,9	61	4,0
19	2,4	33	4,0	47	1,8	62	3,6
20	1,9	34	4,1	48	2,8	63	3,0
21	1,3	35	4,1	49	3,6	64	2,1
22	0,9	36	4,0	50	4,0	65	1,3
23	0,5	37	3,9	51	4,2	66	0,5
24	0,6	38	3,7	52	4,4	67	0,5
25	1,0	39	3,5	53	4,5	68	1,4
26	1,6	40	3,1	54	4,5	69	2,2
27	2,2	41	2,6	55	4,6	70	3,1
28	2,7	42	2,0	56	4,6	71	3,8
29	3,1	43	1,5	57	4,6	72	4,1
30	3,5	44	0,8	58	4,5	73	4,3
				59	4,5	74	4,5

Pozostałe częstotliwości (W – węzeł, S – strzałka)

ν	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W
1kHz	9,5	17,0	26,0	33,5	43,0	51,0						
1,5kHz	0,5	10,0	17,0	21,5	28,5	33,0	39,5	44,5	51,0	56,0	63,0	67,5
2kHz	22,0	26,0	30,5	34,5	39,0	43,0	48,0	52,0	56,5	60,5	65,0	69,5
2kHz	74,0	78,0	82,5	86,5								
2,5kHz		18,0	22,0	25,5	29,0	33,0	37,0	40,0	44,0	47,5	51,0	54,0
2,5kHz	58,0	61,5	66,0	69,0	73,0	76,0	80,0	83,5				

Tabela 1: Wyniki pomiarów

Ze zjawiskiem fali stojącej mamy do czynienia, gdy fala harmoniczna propagując odbija się od końców nici (rury z drgającym powietrzem, itp.), czyli zachodzi interferencja fali pierwotnej y_1 danej powyższym wzorem, i $y_2 = y_m \sin(kx + \omega t)$. Superpozycja tych dwu fal wyraża się wzorem

$$y = y_1 + y_2 = 2y_m \sin kx \cos \omega t. \quad (4)$$

Widać, że w punktach $x = \frac{(2k+1)\lambda}{4}$ (zwanymi *strzałkami*) amplituda (mająca teraz wartość $2y_m \sin kx$) będzie mieć maksymalne wartości, zaś w *węzłach* $x = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$ będzie ona wynosić 0. Odległość między najbliższymi sobie strzałką i węzłem stanowi zatem $\frac{1}{4}$ długości fali.

Można zatem zmierzyć prędkość fali w następujący sposób: wytworzyć w ośrodku falę stojącą o znanej częstotliwości ν , i zmierzyć odległości między najbliższymi strzałkami i węzłami l , wtedy zaś prędkość wyniesie

$$v = 4l\nu. \quad (5)$$

Zasada działania (najbardziej typowych) głośników i mikrofonów wynika z zachowań cewki umieszczonej w polu stałego magnesu: jeśli przepuścimy przez nią prąd zmienny, zaczną na nią działać siły, poruszające ją; jeśli poruszymy ją w odpowiedni sposób, wyindukowany zostanie w niej prąd. Jeśli teraz do cewki przyczepimy membranę, to ruchy cewki będą wywoływać (lub będą wywoływane przez) ruchy powietrza, otrzymamy zatem generator (detektor) dźwięku.

2.2 Opis układu doświadczalnego

Układ doświadczalny stanowi rura regulowanej długości, z jednej strony zakończona głośnikiem podłączonym do generatora akustycznego, z drugiej zakorkowana, z małym otworem, przez którą wprowadzony jest mikrofon na długiej rurce, i podłączony przez wzmacniacz do woltomierza. Do rurki przyczepiona jest strzałka, której położenie odczytuje się ze skali liniowej.

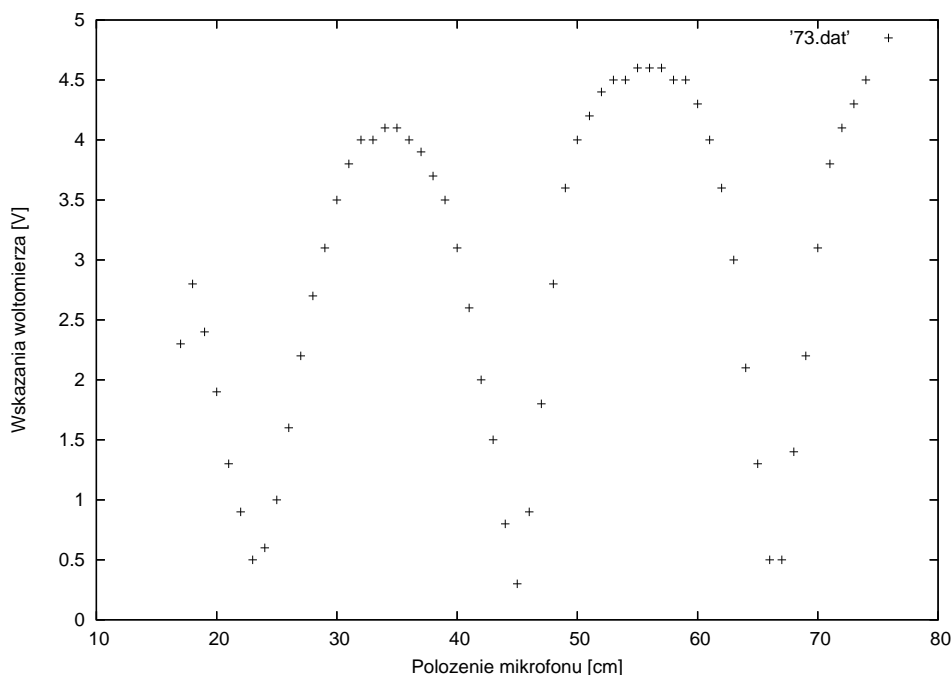
Dla pięciu częstości dźwięku ($\nu_1 = 0,8\text{kHz}$, $\nu_2 = 1\text{kHz}$, $\nu_3 = 1,5\text{kHz}$, $\nu_4 = 2\text{kHz}$, $\nu_5 = 2,5\text{kHz}$) wykonano następujące czynności: rozsunęto rurę na maksymalną długość, ustawiono mikrofon tak, by strzałka wskazywała odpowiednio $l_1 = 82\text{cm}$, $l_1 = 86\text{cm}$, $l_1 = 87\text{cm}$, $l_1 = 89\text{cm}$, $l_1 = 90\text{cm}$, zachowując położenie mikrofonu względem rury zsunęto ją tak, by wskazanie woltomierza było jak największe, po czym przesuważąc mikrofon zbadano przebieg fali stojącej, dla ν_1 notując wskazania woltomierza co 1cm, dla pozostałych – notując tylko położenia strzałek i węzłów.

3 Obliczenia

3.1 Opracowanie wyników

Uśredniono odległości pomiędzy kolejnymi strzałkami i węzłami (odrzucając pomiary znacznie odstające od próbek, tj. odległości pomiędzy pierwszą strzałką i węzłem dla ν_1, ν_3), i otrzymano następujące wyniki [cm]:

$$l_1 = 10,88, \quad l_2 = 8,3, \quad l_3 = 5,75, \quad l_4 = 4,3, \quad l_5 = 3,64. \quad (6)$$



Rysunek 1: Zależność amplitudy od położenia dla ν_1

Skorzystano ze wzoru (5), a otrzymane pięć wartości uśredniono. Ostatecznie

$$v = 346,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (7)$$

3.2 Rachunek błędów

Niepewność standardowa prędkości dźwięku wyliczona metodą typu A wynosi

$$u(v) = 5,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (8)$$

Stałą k , przez którą wymnożymy niepewność standardową, by otrzymać niepewność rozszerzoną, musi zostać dobrana tak, by wszystkie wartości uśredniane znajdowały się w zakresie $v \pm U(v)$. Warunek ten spełniony jest, gdy $k = 3,5$, zatem

$$U(V) = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (9)$$

4 Wnioski

Wykres zależności amplitudy od położenia w pierwszej serii pomiarowej przedstawiono na wykresie; istotnie, zauważalne jest podobieństwo do $\sin|x|$. Wynik doświadczenia okazał się zgodny z wartościami tablicowymi (dla 20°C $v = 343,6$, dla 25°C $v = 346,3 [\frac{\text{m}}{\text{s}}]$), z niewielkim błędem względnym (na poziomie 1,5%). Gdyby pominąć pomiary dla ν_5 , zgodność byłaby jeszcze lepsza, i nie trzebaby przyjmować tak dużej k .