

Kacper Kulczycki

Zadanie 104

**Wyznaczanie prędkości dźwięku
w powietrzu metodą czasu przelotu**

Warszawa 2001

Wstęp

Celem doświadczenia było wyznaczenie prędkości dźwięku w powietrzu metodą czasu przelotu. Pomiar czasu przelotu dokonany był dwoma metodami:

- Pomiar „ czasowej odległości ” pomiędzy sygnałem z nadajnika, a sygnałem z odbiornika dźwięku,
- składanie drgań harmonicznnych (wzajemnie prostopadłych, na ekranie oscyloskopu).

Teoria

Ad. a.

$$\Delta t = \frac{k}{2} \frac{1}{v} \quad \text{wz.1}$$

$$S = V_{DWP} t + a \quad \text{wz.2}$$

gdzie:

Δt – „ odległość czasowa ” (czas potrzebny fali dźwiękowej na dotarcie od głośniczka do mikrofonu),

v - częstotliwość drgań fali dźwiękowej,

k – współczynnik proporcjonalności (gdy Δt jest wielokrotnością połowy okresu drgań, k przyjmuje wartości naturalne),

S – odległość jaką fala dźwiękowa przebywa w czasie t ,

V_{DWP} – prędkość fali dźwiękowej w powietrzu,

a – położenie początkowego punktu pomiarowego

t – czas potrzebny fali na przebycie odległości S ,

Ad. b.

$$x = a_x \sin(2\pi v t + \delta) \quad \text{wz.3}$$

$$y = a_y \sin(2\pi v t + \alpha) \quad \text{wz.4}$$

Co po wyeliminowaniu czasu daje:

$$\left(\frac{x}{a_x} \right)^2 - 2 \frac{xy}{a_x a_y} \cos(\alpha - \delta) + \left(\frac{y}{a_y} \right)^2 = \sin^2(\alpha - \delta) \quad \text{wz.5}$$

$$\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi \left(tv - \frac{x_1}{\lambda} \right) - 2\pi \left(tv - \frac{x_2}{\lambda} \right) = 2\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \quad \text{wz.6}$$

gdy krzywa degeneruje się do odcinka:

$$x_2 - x_1 = \frac{k}{2} \lambda \quad \text{wz.7}$$

$$V_{DWP} = \lambda v$$

wz.8

gdzie:

x – wartość „składowej poziomej” (sygnał z generatora),

a_x – amplituda „ poziomej składowej ”,

v - częstotliwość drgań,

t – czas,

δ - początkowa faza „ składowej poziomej ”,

y – wartość „ składowej pionowej ” (sygnał z mikrofonu),

a_y – amplituda „ pionowej składowej ”,

α - początkowa faza „ składowej pionowej ”,

x_1 – wybrane położenie mikrofonu względem głośnika,

x_2 – kolejne położenie mikrofonu względem głośnika,

φ_1 – faza „ składowej pionowej ” w punkcie x_1 ,

φ_2 - faza „ składowej pionowej ” w punkcie x_2 ,

$\Delta\varphi$ - różnica faz „ składowej pionowej ” między punktami x_1 i x_2 ,

λ - długość fali,

k – współczynnik proporcjonalności (gdy $\Delta\varphi$ jest wielokrotnością π , k przyjmuje wartości naturalne),

V_{DWP} – prędkość fali dźwiękowej w powietrzu,

Przebieg doświadczenia

Na ławie optycznej, w punkcie 0 umieszczony został głośniczek, a na przesuwany statywie mikrofon. Sygnał z mikrofonu został podany na kanał A oscyloskopu, a sygnał z generatora odpowiednio na kanał B w czasie pomiarów metodą a. i na płytce odchylające X w części b.

W pierwszej metodzie rejestrowane były położenia w których przesunięcie fazowe między sygnałami było krotnością π - sygnały były w fazie lub przeciwfazie. W drugiej części położenia przy jakich obrazem na ekranie oscyloskopu był odcinek. Ważną obserwacją było stwierdzenie że układ jest niezwykle podatny na zakłócenia, wynikające z odbić fal od otaczających układ przedmiotów (jak i obserwatorów). Niezwykle uciążliwe było również fakt że praca odbywała się w dużym hałasie, ale nie wydano nam żadnych stoperów dźwięku, ani nauszników.

Wyniki i wnioski

Obliczając odległości „ czasowe ” (Δt) i odległości „ przestrzenne ” (S), ze wz.1 i wz.2, i po uśrednieniu wyników (średnia warzona), dla każdej z badanych częstotliwości dostajemy:

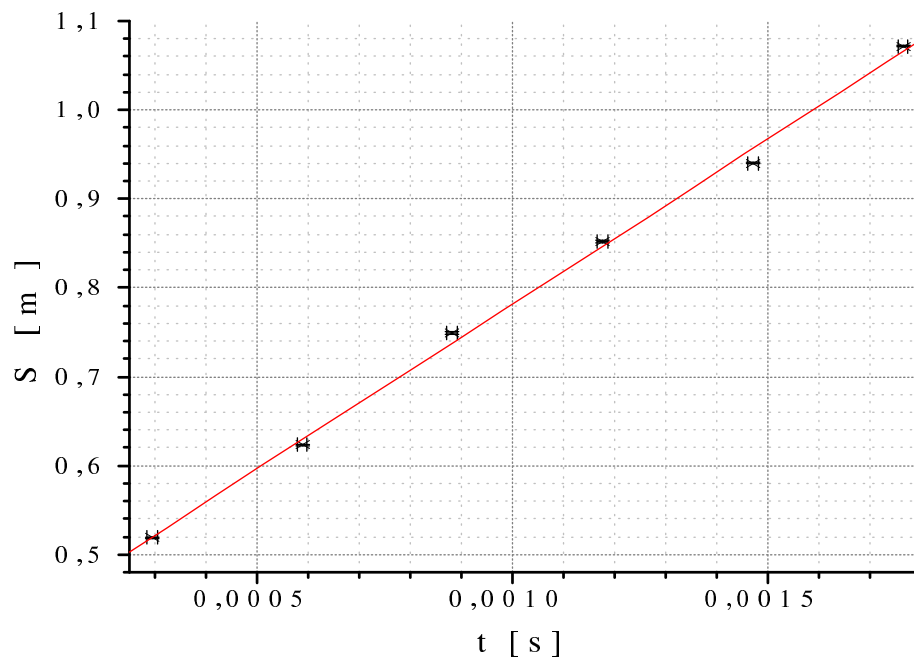
v [Hz]	Δv [Hz]	V_{DWP} [m/s]	ΔV_{DWP} [m/s]
1700	5	388,1	1,4
2010	5	372,0	1,6
4020	5	360,3	3,2

Czyli średnia warzona z tych wyników:

$$\underline{V_{DWP} = 378,9 \pm 1,0 \text{ m/s}}$$

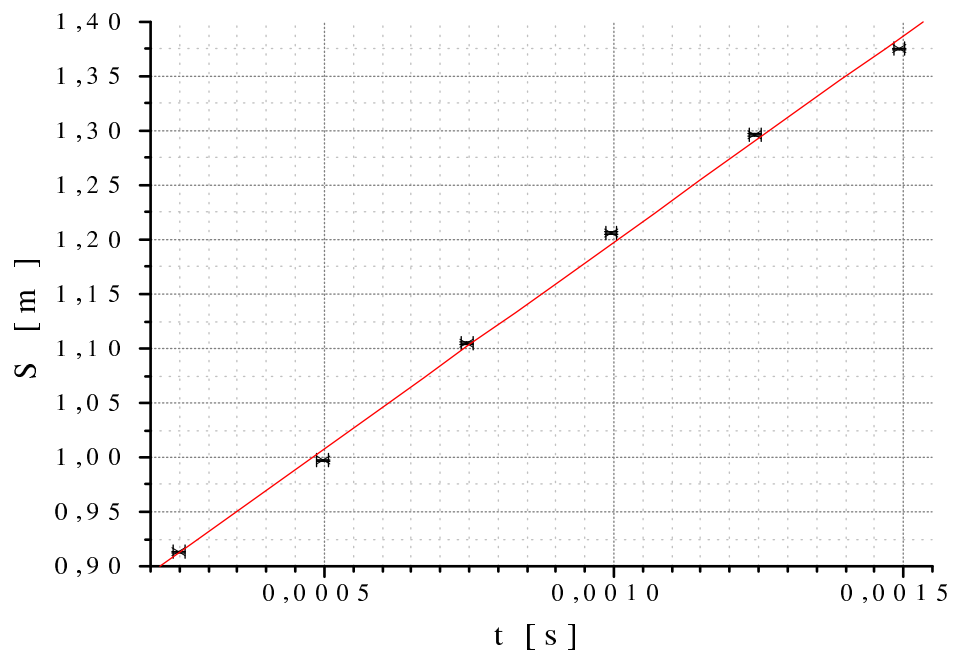
Z kolei z dopasowania prostej do wz.2 (metodą najmniejszych kwadratów):

Dla $\nu = 1700 \pm 5$ Hz



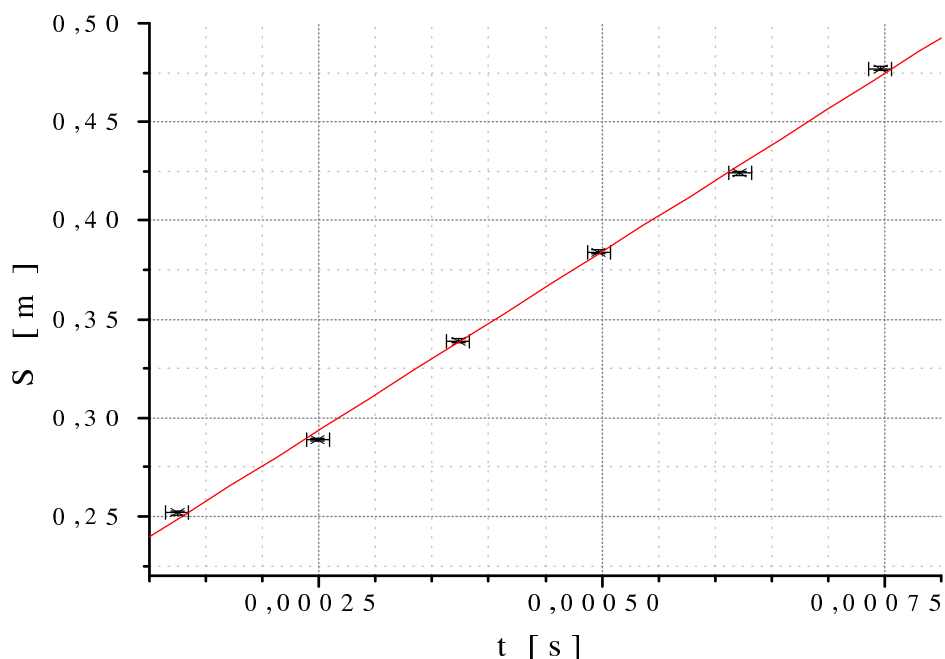
$V_{DwP} = 371,0 \pm 9,0$ m/s

Dla $\nu = 2010 \pm 5$ Hz



$V_{DwP} = 379,9 \pm 9,0$ m/s

Dla $\nu = 4020 \pm 5 \text{ Hz}$



$$V_{DwP} = 361,8 \pm 7,8 \text{ m/s}$$

Biorąc więc średnią warzoną:

$$\underline{V_{DwP} = 370,0 \pm 4,9 \text{ m/s}}$$

Obliczając odległości fali (λ) ze wz.7, i ze wz.8 po uśrednieniu wyników (śr. warzona), dla każdej z badanych częstotliwości dostajemy:

ν [Hz]	$\Delta\nu$ [Hz]	λ [m]	$\Delta\lambda$ [m]	V_{DwP} [m/s]	ΔV_{DwP} [m/s]
2000	5	0,1859	0,0024	371,7	5,0
3000	5	0,1239	0,0024	371,7	7,4
4000	5	0,0897	0,0022	358,7	9,0
5000	5	0,0703	0,0024	351	12

Czyli średnia warzona z tych wyników:

$$\underline{V_{DwP} = 367,8 \pm 3,6 \text{ m/s}}$$

Czyli biorąc za ostateczny wynik średnią warzoną wyników wszystkich metod:

$$\underline{V_{DwP} = 377,79 \pm 0,96 \text{ m/s}}$$

Natomiast wartość tablicowa (niestety w „Tablicach Fizyczno – Astronomicznych” Wydawnictwa Adamantan wielkość ta podana jest bez jej niepewności - oszacowałem ją na 5 % tej wielkości):

$$\left. \begin{array}{l} V_{DwP} = 343 \pm 17 \text{ m/s (temp } 20^\circ\text{C)} \\ V_{DwP} = 349 \pm 17 \text{ m/s (temp } 30^\circ\text{C)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Panująca w pomieszczeniu temperatura} \\ \text{zawierała się w przedziale } 20 \div 30^\circ\text{C} \end{array}$$

Wynik uzyskany w tym doświadczeniu jest więc zgodny z tablicowym na poziomie 3σ .