

LXVII OLIMPIADA FIZYCZNA

ZADANIA ZAWODÓW III STOPNIA

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Mając do dyspozycji:

- źródło ultradźwięków,
- odbiornik ultradźwięków podłączony do oscyloskopu,
- plastelinę,
- stojak,
- linijkę,
- stół,

wyznacz prędkość fali generowanej przez źródło ultradźwięków.

Uwaga. Odbiornik ultradźwięków zamienia sygnał akustyczny na sygnał elektryczny o tej samej częstotliwości.

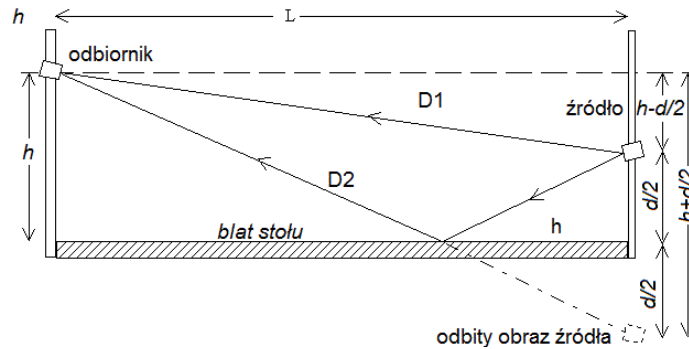
Rozwiązanie

Prędkość fali ultradźwiękowej wyraża się wzorem $v = \lambda/T$, gdzie λ jest długością fali zaś T jej okresem. W opisie zadania żadna z powyższych wartości nie jest podana co sugeruje, że obie muszą być zmierzone doświadczalnie w celu otrzymania v .

Część teoretyczna

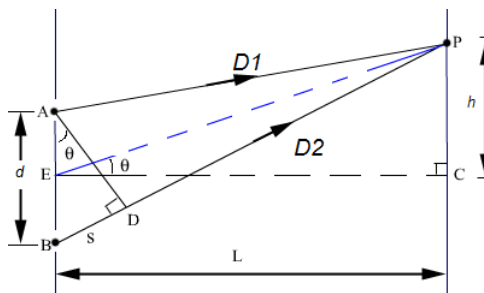
Okres T może być odczytany bezpośrednio z oscyloskopu. Odpowiada on częstotliwości sygnału równej 40 kHz.

Długość fali λ można wyznaczyć zauważając, że ultradźwięki, podobnie jak światło czy fale na wodzie, mogą interferować. Rozważmy układ jak na rysunku 1. W odległości $d/2$ nad stołem umiesz-



Rysunek 1: Schemat układu doświadczalnego wraz z zaznaczonymi odległościami.

czony jest nadajnik podłączony do źródła ultradźwięków, zaś w odległości h nad stołem znajduje się odbiornik ultradźwięków podłączony kablem do oscyloskopu. Odległość nadajnika od odbiornika oznaczamy przez L . Emitowane fale ultradźwiękowe mogą dotrzeć do odbiornika bezpośrednio wzdłuż ścieżki $D1$ lub w wyniku odbicia od stołu, tj. wzdłuż ścieżki $D2$. Obecność tych dwóch ścieżek sprawia, że przy przesuwaniu odbiornika pionowo (prostopadle do stołu) rejestrowany na oscyloskopie sygnał będzie przechodził przez maksima (gdy $D2 - D1 = n\lambda$, fale dochodzą do odbiornika w zgodnej fazie) i minima (gdy $D2 - D1 = (n + 1/2)\lambda$, fale dochodzą do odbiornika w przeciwfazie) interferencyjne. Sytuację z rysunku 1 możemy uprościć do sytuacji z rysunku 2 jeśli założymy $h \ll L$.



Rysunek 2: Układ analogiczny do układu z Rys. 1 wykorzystujący fakt, że sygnał odbity od blatu można potraktować jako sygnał pochodzący ze źródła w punkcie B. Założono $h \ll L$.

Mamy:

$$s = D2 - D1 = d \sin \theta, \quad (1)$$

gdzie $\sin \theta = h/(L^2 + h^2)^{1/2}$. Dla interferencji destruktywnej

$$s = (n + 1/2)\lambda = d \sin \theta. \quad (2)$$

Rozważmy następującą metodę pomiaru: identyfikujemy taką wysokość h_0 , dla której możemy zaobserwować minimum. Następnie oddalamy odbiornik od blatu stołu o odległość Δx , odpowiadającą

zaobserwowaniu N kolejnych minimów. Tym samym odbiornik znajduje się w odległości $\Delta x + h_0$ od powierzchni blatu. Tego rodzaju pomiar pozwala nam zapisać:

$$N\lambda = d(\sin \theta_N - \sin \theta_0), \quad (3)$$

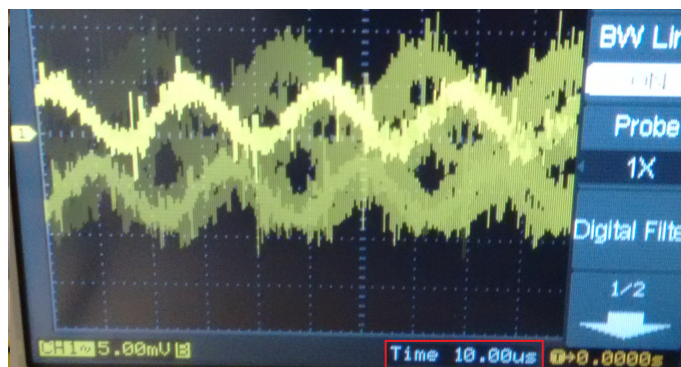
gdzie θ_0 odpowiada kątowi dla odległości h_0 zaś θ_N kątowi dla odległości $\Delta x + h_0$. Dla uproszczenia analizy dobierzmy h_0 i Δx tak, aby h_0 oraz $h_0 + \Delta x$ były dużo mniejsze od L . Pozwala to przybliżyć $\sin \theta$ jako $\tan \theta = h/L$ i w efekcie zapisać 3 jako:

$$N\lambda = d\Delta x/L, \quad (4)$$

dając warunek na wyznaczenie λ

$$\lambda = \frac{d\Delta x}{NL}. \quad (5)$$

Część doświadczalna



Rysunek 3: Przykładowy sygnał rejestrowany przez odbiornik obserwowany na oscyloskopie. Podstawa czasu zaznaczona jest czerwonym prostokątem.

Ustawiamy układ jak na rysunku 1. Nadajnik przymocowujemy do stojaka plasteliną i ustawiamy go w odległości $d/2 = (115 \pm 1)$ mm nad powierzchnią blatu. Odbiornik podłączamy kablem do oscyloskopu.

Przy ustawieniu odbiornika w kierunku nadajnika na oscyloskopie zobaczymy sygnał sinusoidalny, który będzie dosyć zaszumiony 3. Na oscyloskopie odczytujemy podstawę czasu równą (w przypadku z rysunku 3) $10 \mu s$ i zauważamy, że dwóm okresom oscylacji sygnału ultradźwięków odpowiada czas $2T = (50 \pm 4) \mu s$, co daje okres równy $T = (25 \pm 2) \mu s$ (40 kHz). Niepewność odczytu wartości dwóch okresów wynika z zaszumienia sygnału. Wykorzystanie funkcji pomiaru przy użyciu kursorów (funkcja dostępna w większości oscyloskopów) może doprowadzić do zmniejszenia niepewności pomiaru.

W celu wyznaczenia długości fali równanie 5 przekształcamy tak, aby zebrane dane przedstawić na wykresie $L(\Delta x)$:

$$L = \frac{d}{N \cdot \lambda} \Delta x$$

Jeśli współczynnik nachylenia prostej oznaczmy przez a to szukana długość fali wynosi:

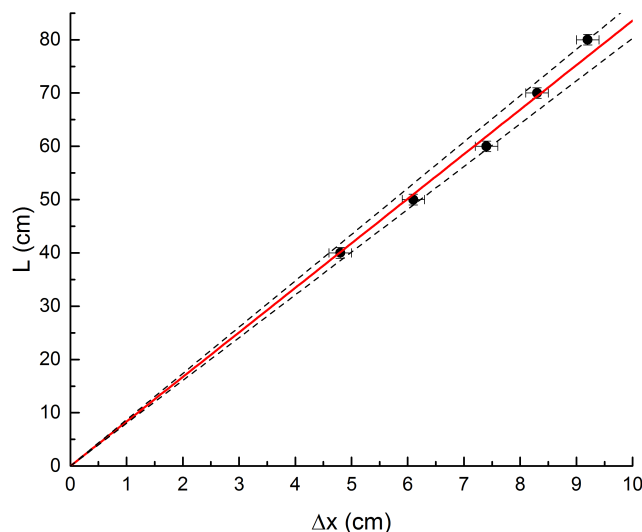
$$\lambda = \frac{d}{N \cdot a}$$

Pomiary wykonujemy używając linijki jako podpórki dla odbiornika oraz jako skali umożliwiającej pomiar Δx . Pomiary Δx przeprowadzamy dla pięciu odległości L (tabela 1).

Niepewność pomiaru L oszacowujemy na 1 cm, co wynika z trudności w dokładnym oszacowaniu gdzie w dostępnych urządzeniach następuje emisja oraz detekcja (nadajnik i odbiornik znajdują

Tabela 1: Wyniki otrzymane dla pomiaru odległości pomiędzy trzema minimami ($N = 3$).

Nr pomiaru	1	2	3	4	5
Δx (cm)	4,8	6,1	7,4	8,3	9,2
L (cm)	40	50	60	70	80



Rysunek 4: Wyniki pomiarów wartości Δx i L wraz z prostymi wyznaczającymi skrajne wartości współczynnika a (linia przerywana). Linia ciągła odpowiada prostej o $a = 8,4$.

się wewnątrz cylindrycznej obudowy). Niepewność pomiaru Δx szacujemy na 2 mm, co odpowiada przybliżonej dokładności z jaką jesteśmy w stanie zaobserwować minimum interferencyjne.

Dopasowanie prostej do danych z tabeli 1 (zebranych na wykresie 4) otrzymujemy współczynnik kierunkowy $a = (8,4 \pm 0,3)$, co po wykorzystaniu wzoru 6 daje szukaną długość fali $\lambda = (9,2 \pm 0,4)$ mm.

Szukana prędkość fali ultradźwiękowej wynosi 368 ± 34 m/s i jest zdominowana przez niepewność pomiaru okresu T . Otrzymana wartość, w granicach niepewności, zgadza się z typowo przyjmowaną prędkością dźwięku w warunkach normalnych, 340 m/s. Prędkość dźwięku w suchym powietrzu o temperaturze 23°C jest nieco większa i wynosi 345 m/s.

Punktacja

Część teoretyczna

Pomysł na wyznaczenie prędkości przez niezależny pomiar długości fali i okresu – 1 pkt.

Pomysł na wyznaczenie okresu T poprzez analizę przebiegu na oscyloskopie – 2 pkt.

Pomysł na wyznaczenie długości fali – 3 pkt.

Pomysł na wyznaczenie różnicy długości dróg akustycznych – 3 pkt.

Wzór 5 lub równoważny – 1pkt

Część doświadczalna

Zestawienie i czytelny opis układu umożliwiającego poprawne wyznaczenie długości fali – 1 pkt.

Wyznaczenie czasu T (lub wielkości równoważnej) – 2 pkt.

Wyznaczenie niepewności pomiaru T - 1 pkt.

Pomiary umożliwiające wyznaczenie λ – 2 pkt.

Wyznaczenie niepewności λ – 1pkt

Wykonanie wykresu lub równoważna metoda analizy zgodności wyników z przyjętym modelem – 2 pkt

Wynik liczbowy prędkości wraz z niepewnością – 1 pkt.