



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt „Plan rozwoju Politechniki Częstochowskiej”
współfinansowany ze środków UNII EUROPEJSKIEJ w ramach EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU SPOŁECZNEGO
Numer Projektu: POKL.04.01.01-00-59/08

INSTYTUT FIZYKI
WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA



LABORATORIUM Z FIZYKI

ĆWICZENIE NR 2

ULTRADZWIĘKOWE FALE STOJACE - WYZNACZANIE DŁUGOŚCI FAL



Politechnika Częstochowska, Centrum Promocji i Zastosowań Nauk Ścisłych
ul. Dąbrowskiego 73 pok. 178, 42-200 Częstochowa
tel./ fax. +343250324, e-mail: imi@imi.pcz.pl, <http://www.cns.pcz.pl>

1. Zagadnienia do przystudiowania

Podstawowe prawa opisujące ruch falowy:

- równanie falowe, fale harmoniczne;
- prędkość fazowa i grupowa fali;
- odbicie, załamanie i ugięcie się fali;
- nakładanie i interferencja fal.

Ultradźwięki jako szczególny przypadek ruchu falowego:

- generowanie ultradźwięków;
- detekcja ultradźwięków.

2. Wprowadzenie teoretyczne

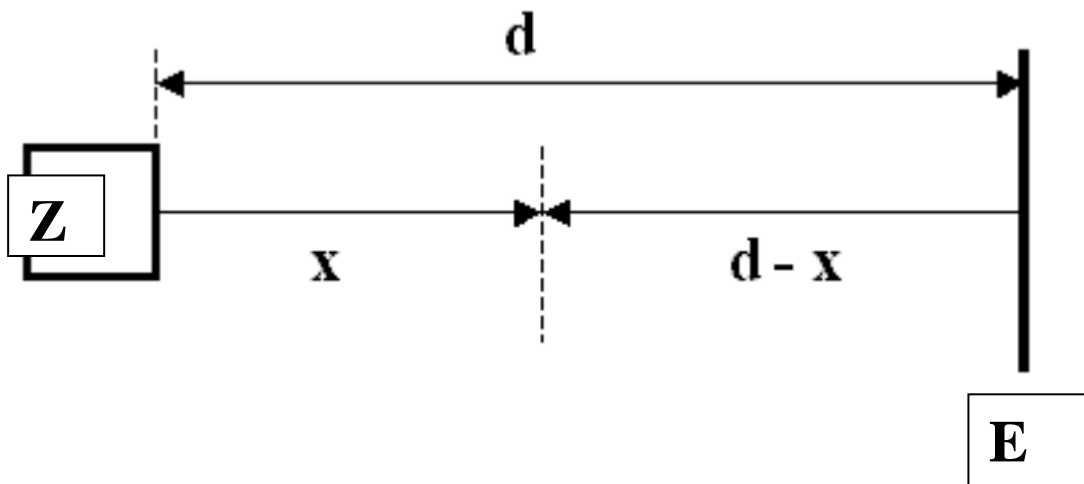
Rozpatrzmy ultradźwiękową, płaską falę harmoniczną p_1 emitowaną ze źródła Z (rys. 1), rozchodzącą się w kierunku x , o równaniu

$$p_1 = p_{1,0} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T_1} - \frac{x}{\lambda_1} + \varphi_1 \right) \quad (1)$$

(gdzie T , λ i φ są odpowiednio okresem, długością i przesunięciem fazowym fali ultradźwiękowej).

Oraz odbitą od ekranu E drugą falę ultradźwiękową p_2 o równaniu

$$p_2 = p_{2,0} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T_2} - \frac{2d - x}{\lambda_2} + \varphi_2 \right). \quad (2)$$



Rys. 1. Biegająca ze źródła Z i odbita od ekranu E fale ultradźwiękowe (d – odległość między źródłem a ekranem).

Ponieważ podczas odbicia nie ulegają zmianie zarówno okres jak i długość oraz kąt przesunięcia fazowego fali to $T_1 = T_2 = T$, $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ oraz $\varphi_1 = \varphi_2$. W takim przypadku otrzymujemy dwie, spójne fale, które będą ze sobą interferować. Jeżeli, dla prostoty, założymy, że $p_{1,0} = p_{2,0} = p_0$ oraz $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$, to w wyniku interferencji tych fal

$$\begin{aligned} p_1 + p_2 &= p_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + p_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{2d-x}{\lambda} \right) = \\ &= 2p_0 \sin \left(\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} + \frac{t}{T} - \frac{2d-x}{\lambda} \right) \right) \cos \left(\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} + \frac{2d-x}{\lambda} \right) \right) = \\ &= 2p_0 \cos 2\pi \left(\frac{d-x}{\lambda} \right) \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

otrzymamy falę stojącą czyli stacjonarne drgania harmoniczne o częstości $\omega = \frac{2\pi}{T}$ identycznej z częstością drgań rozchodzącej się fali ultradźwiękowej i amplitudzie A zależnej od położenia punktu obserwacji od odległości od ekranu:

$$A = 2p_0 \cos 2\pi \left(\frac{d-x}{\lambda} \right). \quad (4)$$

Amplituda osiąga wartości maksymalne $A_{\max} = 2p_0$ zwane strzałkami fali stojącej dla położen x_{s_n} spełniających warunek:

$$2\pi \left(\frac{d-x_{s_n}}{\lambda} \right) = n\pi \text{ i } x_{s_n} = d - n \frac{\lambda}{2}. \quad (5)$$

Natomiast dla położen x_{w_n} spełniających warunek

$$2\pi \left(\frac{d-x_{w_n}}{\lambda} \right) = (2n+1)\pi \text{ i stąd } x_{w_n} = d - \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

obserwujemy minimalną amplitudę fali stojącej $A_{\min} = 0$ (węzły fali stojącej).

Tak, więc węzły i strzałki fali stojącej leżą naprzemiennie wzdłuż odcinka d w odległościach równych $\frac{\lambda}{4}$, a odległości pomiędzy sąsiednimi węzłami (i strzałkami) wynoszą $\frac{\lambda}{2}$. Stąd długość fali ultradźwiękowej

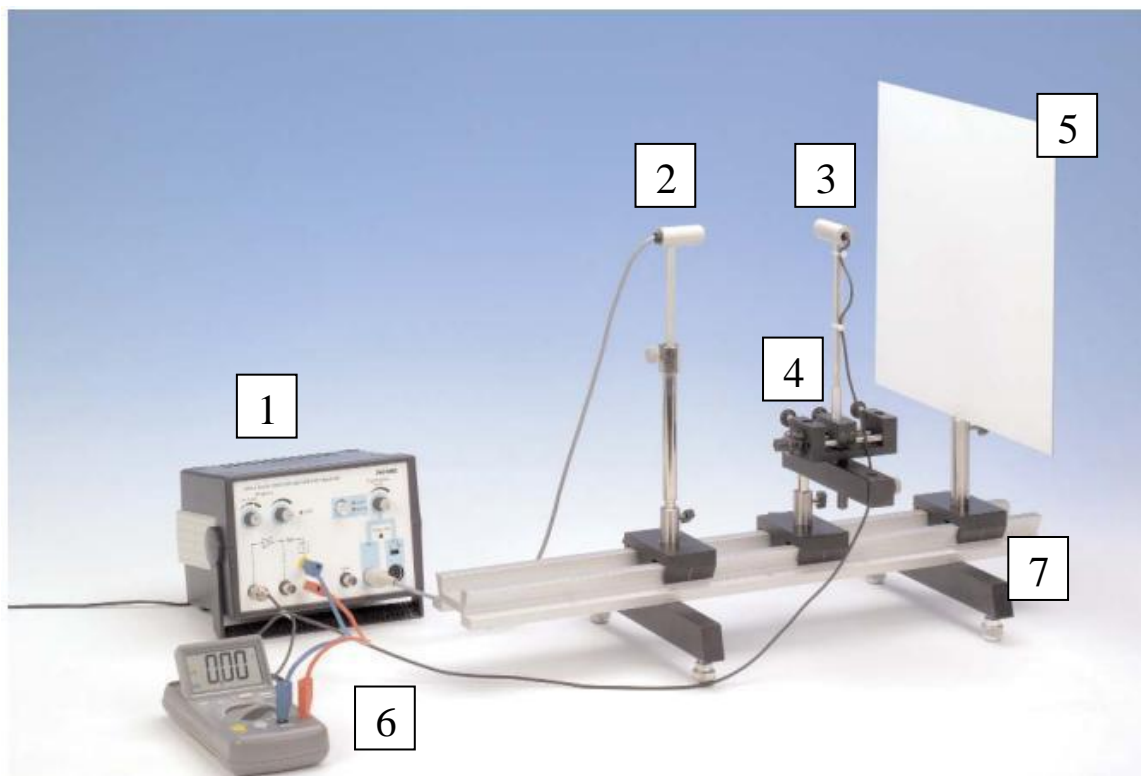
$$\lambda_i = 2(x_{s_{i+1}} - x_{s_i}) \text{ lub } \lambda_k = 2(x_{w_{k+1}} - x_{w_k}) \quad (7)$$

a jej częstość

$$\omega = \frac{2\pi V_d}{\lambda}. \quad (8)$$

3. Przebieg ćwiczenia

Przygotować zestaw pomiarowy według rys. 2.



Rys. 2. Zestaw pomiarowy: zasilacz (1); nadajnik ultradźwięków (2); odbiornik ultradźwięków (3); śruba mikrometryczna (4); ekran (5); multimetr (6); ława (7).

Nadajnik i odbiornik ultradźwięków powinny być umieszczone na tej samej wysokości, nadajnik w odległości 25 – 30 cm od ekranu a odbiornik około 5 cm od ekranu i 6 cm od osi nadajnik – ekran.

Podłączyć nadajnik ultradźwięków do gniazdka diody TR1 zasilacza i wprowadzić go w tryb ciągły "Con".

Podłączyć odbiornik do lewego gniazda BNC zasilacza. Wzmocniony napięciowy sygnał odbiornika (wyjście analogowe zasilacza) mierzyć multimetrem.

Dokonywać pomiarów natężenia fali stojącej (na odcinku ~ 32 mm) zwiększając odległość odbiornika (3) od ekranu (5) za pomocą śruby mikrometrycznej (4). Pomiary wykonywać co 0,25 mm. Uzyskane wyniki wpisać w tabelę pomiarową.

4. Tabela pomiarowa

L.p.	Położenie odbiornika [mm]	Wskazanie multimetru U_M [V]	L.p.	Położenie odbiornika [mm]	Wskazanie multimetru U_M [V]	L.p.	Położenie odbiornika [mm]	Wskazanie multimetru U_M [V]
1			44			87		
2			45			88		
3			46			89		
...				

5. Opracowanie wyników

1. Sporządzić wykres zależności U_M od położenia odbiornika x .
2. Z zależności $U_M(x)$ określić położenia strzałek (x_{s_n}) i węzłów (x_{w_n}) fali stojącej.
3. Z zależności (7) obliczyć długości $\lambda_{i,k}$ i wyznaczyć długość fali ultradźwiękowej jako średnią arytmetyczną ze zbioru $\lambda_{i,k}$.
4. Z zależności (8) wyznaczyć częstość fali ultradźwiękowej.

6. Rachunek błędów i dyskusja wyników

1. Niepewność pomiarową długości fali ultradźwiękowej oszacować metodą Gaussa.
2. Oszacować niepewność pomiarową częstości fali.
3. Przeprowadzić dyskusję wyników.

7. Literatura

1. R. Resnick, D. Halliday, Fizyka (t. 1) PWN, Warszawa 2001 (również inne wydania)
2. A. Januszajtis, Fizyka dla politechnik (t. 3) PWN, Warszawa 1991
3. H. Szydłowski, Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003
4. J. Lech, Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2005