



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Człowiek – najlepsza inwestycja

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



# FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

## Pracownia Fizyczna

### ćwiczenie PF-5

## Wyznaczanie prędkości dźwięku metodą fali biegnącej

**dr Monika Marzec**

**dr Teresa Jaworska-Gołąb**

*Institut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego*

*Uniwersytet Jagielloński*

Wersja 1.06.2009

Zawarte w tym opracowaniu materiały przeznaczone są do wspomagania pracy nauczycieli i uczniów w czasie zajęć pozalekcyjnych w szkołach biorących udział w projekcie edukacyjnym FENIKS. Mają na celu ułatwienie przygotowania do zajęć laboratoryjnych w I Pracowni Fizycznej IF UJ.

<http://feniks.ujk.kielce.pl/>

[feniks@th.if.uj.edu.pl](mailto:feniks@th.if.uj.edu.pl)



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



## PF-5 Wyznaczanie prędkości dźwięku metodą fali biegnącej

### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z obsługą oscyloskopu i wyznaczenie prędkości dźwięku w wodzie metodą fali biegnącej.

### Zagadnienia do przygotowania

- fale w ośrodkach sprężystych; fale dźwiękowe
- fale poprzeczne i podłużne
- drgania harmoniczne, składanie drgań harmonicznnych - krzywe Lissajous
- pomiar prędkości dźwięku metodą fali biegnącej
- zasada działania i obsługa oscyloskopu

### Wprowadzenie

#### Fale biegnące w ośrodku sprężystym

W wyniku wychylenia jakiegoś elementu objętości ośrodka sprężystego z położenia równowagi następują jego drgania (harmoniczne) wokół tego położenia. Dzięki sprężystym właściwościom ośrodka drgania te przekazywane są do dalszych jego części. Falą biegnącą nazywamy podłużną falę zagęszczeń i rozrzedzeń ośrodka, mogącą się rozchodzić w ciałach stałych, ciekłych i gazowych. Taką falę opisuje równanie:

$$y = A \cos(\omega t - kx) \quad (1)$$

gdzie  $\omega = 2\pi f$  jest tzw. częstością kołową a  $f$  – częstością, natomiast  $k$  nazywane liczbą falową definiuje się poprzez długość fali  $\lambda$ :

$$k = 2\pi / \lambda \quad (2)$$

Prędkość rozchodzenia się fali w danym ośrodku  $u$  zależy od własności ośrodka, w którym rozchodzi się fala i związana jest następującym wzorem z jej długością fali  $\lambda$  oraz częstością  $f$ :

$$u = \lambda f \quad (3)$$

Częstość fali  $f$  zadawana jest przez wytwarzające falę źródło i równa jest odwrotności jej okresu  $T$ :

$$f = 1/T \quad (4)$$

Z rozchodzeniem się fali w ośrodku sprężystym wiąże się przenoszenie energii przez drgające cząstki (dzięki propagacji zaburzenia w materii), nie powodując jednakże ruchu postępowego ośrodka, w którym rozchodzi się fala.

#### Fale poprzeczne i podłużne

Rodzaj fal rozchodzących się w danym ośrodku zależy od jego właściwości sprężystych, gdyż rozchodzą się tylko te drgania, które wywołują sprężyste odkształcenia ośrodka. Gdy cząstki ośrodka wykonują drgania w kierunku zgodnym z kierunkiem rozchodzenia się fali mówimy,





**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

że w ośrodku rozchodzi się fala podłużna, a gdy cząstki ośrodka wykonują drgania w kierunkach prostopadłych do kierunku rozchodzenia się fali mówimy o fali poprzecznej. W ośrodkach wykazujących jedynie sprężystość objętości (gazy i większość cieczy), mogą rozchodzić się tylko fale podłużne. Natomiast w ośrodkach ulegających zarówno odkształceniu objętościowemu, jak i odkształceniu postaci, a takie właściwości mają ciała stałe, mogą rozchodzić się zarówno fale podłużne, jak i poprzeczne.

### **Fala dźwiękowa i ultradźwięki**

Fala dźwiękowa jest *podłużną falą* mechaniczną o częstotliwości z zakresu słyszalnego przez człowieka tj. od ok. 20 Hz do ok. 20 kHz. Fale o częstotliwości wyższej nazywamy ultradźwiękami, a niższej infradźwiękami.

### **Prędkość rozchodzenia się fal mechanicznych w cieczech**

Prędkość rozchodzenia się fal mechanicznych w cieczech zależy od ciśnienia, temperatury i gęstości ośrodka. Dla większości cieczy czystych zależność prędkości rozchodzenia się w nich ultradźwięków od temperatury i ciśnienia jest z dobrym przybliżeniem liniowa. W przypadku roztworów i mieszanin, prędkość rozchodzenia się w nich fali ultradźwiękowej jest zależna od stężenia. Dla małych stężeń soli (do ok. 25%) zależność ta jest liniowa. W przypadku wodnych roztworów kwasów zakres liniowości jest ograniczony do znacznie niższych stężeń.

### **Przetworniki ultradźwiękowe**

Przetworniki ultradźwiękowe przetwarzają energię elektryczną, świetlną lub mechaniczną na energię fali ultradźwiękowej lub odwrotnie, mogą więc służyć zarówno do generowania jak i detekcji ultradźwięków. Najwygodniejsze w użyciu i najbardziej efektywne są ultradźwiękowe przetworniki piezoelektryczne, w których wykorzystywane jest zjawisko piezoelektryczne, polegające na tym, że pewne kryształy umieszczone w polu elektrycznym doznają odkształceń mechanicznych zależnych od kierunku pola elektrycznego. Z kolei odkształcenie mechaniczne takiego kryształu powoduje wytworzenie na jego powierzchni ładunku elektrycznego. Najbardziej znanym kryształem piezoelektrycznym jest kwarc. Stosowane są również przetworniki magnetostrykcyjne, elektromechaniczne i mechaniczne.

### **Oscyloskop**

Oscyloskop jest jednym z podstawowych przyrządów diagnostycznych i pomiarowych. Można go spotkać nie tylko w laboratoriach badawczych fizyków, chemików czy biologów, ale także w szpitalach i przychodniach. Znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba pomiaru czy kontroli przebiegu napięć elektrycznych w czasie. Dzięki istnieniu tzw. *przetworników*, czyli urządzeń przetwarzających mierzone wielkości fizyczne (np. ciśnienie czy temperaturę) na napięcie, zakres zastosowań oscyloskopu jest bardzo szeroki. Jest on podstawowym wyposażeniem większości laboratoriów.

Podstawową funkcją oscyloskopu jest wyświetlanie na ekranie zależności napięcia sygnału elektrycznego od czasu. W typowym zastosowaniu pozioma oś X reprezentuje czas (t), a pionowa oś Y reprezentuje napięcie (V) – jest to obserwacja pojedynczego przebiegu. Można także jednocześnie prowadzić obserwację, porównywać oraz dodawać lub odejmować dwa niezależne sygnały podawane na kanały 1 i 2 – jest to obserwacja dwu przebiegów, przy wykorzystaniu dwu kanałów. Inny tryb



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Człowiek – najlepsza inwestycja

pracy oscyloskopu, wykorzystujący dwa kanały, pozwala na obserwację krzywych Lissajous – jest to tryb pracy X-Y, w którym generator sygnału podstawy czasu jest nieużywany.

Opis zasady działania oscyloskopu oraz wygląd jego płyty czołowej, zainteresowani mogą znaleźć w dodatku do ćwiczenia.



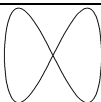
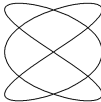
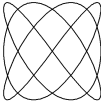
### Krzywe Lissajous

Krzywe Lissajous, zwane też figurami Lissajous, są krzywymi matematycznymi opisanymi równaniami parametrycznymi:

$$x(t) = A \sin(\alpha t) \quad (5)$$

$$y(t) = B \sin(\beta t + \delta) \quad (6)$$

Równania te opisują drgania harmoniczne. Kształt krzywych Lissajous zależy od stosunku  $\alpha/\beta$  oraz wartości  $\delta$ . W ogólnym przypadku dla  $\alpha/\beta = 1$  otrzymamy elipsę, która dla  $\delta = 0$  przechodzi w odcinek, natomiast dla  $A=B$  i  $\delta = \pi/2$  w koło. Przy innej wartości współczynnika  $\alpha/\beta$  otrzymuje się bardziej złożone figury, które są krzywymi zamkniętymi dla stosunku  $\alpha/\beta$  będącego liczbą wymierną. Przykładowe krzywe Lissajous przedstawione są w Tabeli poniżej.

Krzywe Lissajous	$\alpha/\beta$	$\delta$
	1	$\pi/2, 3\pi/2$
	1	$0, \pi, 2\pi$
	1/2	$0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$
	3/2	$0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$
	3/4	$0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi$

Krzywe Lissajous można obserwować na oscyloskopie podając na płytce odchylenia poziomego X drganie harmoniczne opisane równaniem (5) a na płytce odchylenia pionowego Y drganie opisane równaniem (6).

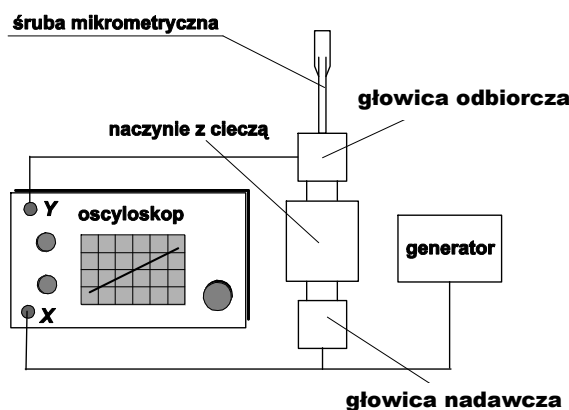
### Metoda pomiarowa

W warunkach laboratoryjnych, pomiaru prędkości rozchodzenia się fali akustycznej w płynie (gazie lub cieczy) dokonać można metodą fali biegnącej. Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku metodą fali biegnącej przedstawiony jest na rys. 1. Sygnał z generatora akustycznego podawany jest na płytce odchylenia poziomego oscyloskopu oraz na głośnik.



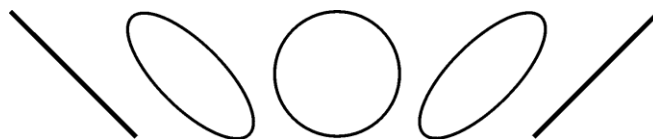


Emitowaną przez głośnik falę dźwiękową mikrofon przetwarza na sygnał elektryczny, który po wzmacnieniu podawany jest na płytki odchylenia pionowego oscyloskopu. Odległość mikrofon-głośnik można zmieniać przesuwając mikrofon.



Rys. 1. Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku metodą fali biegnącej.

Zmieniając położenie mikrofonu zmieniamy różnicę faz tych sygnałów  $\delta$ . Na ekranie oscyloskopu obserwować będziemy zmianę kształtu krzywej Lissajous, która powstaje w wyniku złożenia w/w sygnałów (rys. 2).



Rys. 2. Krzywe Lissajous obserwowane na ekranie oscyloskopu w zależności od odległości głośnik-mikrofon. Różnica faz pomiędzy dwoma skrajnymi odcinkami wynosi  $\pi$ , co odpowiada różnicy długości fali  $\lambda/2$ .

Przy przesuwaniu mikrofonu o jedną długość fali elipsa dwukrotnie degeneruje się do odcinka (różnica faz sygnałów składowych wynosi wtedy 0 lub  $\pi$ , co odpowiada różnicy długości fali  $\lambda$  lub  $\lambda/2$ ). Pozwala to na wyznaczenie długości badanej fali dźwiękowej.

### Układ pomiarowy do pomiaru prędkości dźwięku w wodzie

W skład układu doświadczalnego wchodzi:

- generator ultradźwięków
- przetworniki ultradźwiękowe
- oscyloskop
- śruba mikrometryczna
- woda destylowana

Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku metodą fali biegnącej przedstawiony jest na rys. 1 (rolę głośnika i mikrofonu pełnią przetworniki ultradźwiękowe: głowica nadawcza i odbiorcza). Głowicę odbiorczą przesuwa się za pomocą śruby mikrometrycznej. Metoda posługiwania się śrubą mikrometryczną jest opisana w dodatku do ćwiczenia.



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

### Przebieg doświadczenia

1. Zapoznaj się z oscyloskopem.
2. Podłącz sygnał z generatora ultradźwięków na jedno z wejść oscyloskopu.
3. Odczytaj przy różnych wzmocnieniach amplitudę  $A$  obserwowanego na oscyloskopie sygnału. Zwróć uwagę na dokładność odczytu.
4. Odczytaj przy różnych podstawach czasu okres  $T$  obserwowanego na oscyloskopie sygnału. Zwróć uwagę na dokładność odczytu.
5. Zapoznaj się z zestawem eksperymentalnym i parametrami poszczególnych przyrządów. Zapoznaj się z działaniem śruby mikrometrycznej (patrz dodatek do ćwiczenia).
6. Połącz obwód eksperymentalny zgodnie ze schematem (rys. 1).
7. Naczynko nad przetwornikiem napełnij wodą destylowaną.
8. Częstość generatora ultradźwięków wybierz z zakresu 1.0-2.5 MHz. Odczytaj okres sygnału z generatora ultradźwięków na oscyloskopie.
9. Przy pomocy śruby mikrometrycznej przesuwaj górny przetwornik tak, aby uzyskane na ekranie oscyloskopu krzywe Lissajous były odcinkami. Odczytaj i zapisz te położenia śruby mikrometrycznej. Pomiary wykonaj kilkakrotnie, wybierając inne częstości z zakresu  $1 \div 2.5$  MHz.

### Wskazówki do opracowania wyników

1. Na podstawie wykonanych pomiarów położenia mikrofonu wyznacz długości badanych fal dźwiękowych.
2. Oszacuj niepewności pomiarowe wyznaczenia długości i okresu badanych fal dźwiękowych.
3. Wykonaj wykres  $\lambda(T)$  i metodą regresji liniowej wyznacz wartość prędkości dźwięku w wodzie oraz jej niepewność.
4. Zgodnie z wzorami (3) i (4) długość fali wiąże się z jej okresem przez równanie:  $\lambda = u/f = uT$ .
5. Porównaj uzyskany wynik z dostępnymi danymi literaturowymi ( $u = 1490$  m/s w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ , przy ciśnieniu normalnym  $1 \text{ atm.} = 101325 \text{ Pa}$ )

### LITERATURA:

- [1] Dodatek do ćwiczenia
- [2] David Holliday, Robert Resnick: *Fizyka tom I (§15,19,20)*
- [3] Tadeusz Dryński: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki.*
- [4] Henryk Szydłowski: *Pracownia fizyczna §18.0-18.1A*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997 lub 1999



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego