

4.4 Wyznaczanie prędkości dźwięku w cieczach metodą fali biegnącej (F6)

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie prędkości dźwięku w wodzie i roztworach wodnych NaCl oraz zastosowanie metody akustycznej do wyznaczenia nieznanego stężenia roztworu wodnego NaCl.

Zagadnienia do przygotowania:

- fale w ośrodkach sprężystych (rodzaje fal);
- fale dźwiękowe, ultradźwięki - wytwarzanie;
- prędkość fali (prędkość fazowa i grupowa);
- metody wyznaczania prędkości fal dźwiękowych w płynach;
- pomiar prędkości dźwięku metodą fali biegnącej;
- drgania harmoniczne, składanie drgań harmonicznnych - krzywe Lissajous;
- zasada działania i obsługa oscyloskopu.

Literatura podstawowa: [25] §16.1, 16.2, 17.1-17.5, 17.8, 17.9, 18.1-18.5; literatura dodatkowa: [1], [2], [11], [22].

4.4.1 Podstawowe pojęcia i definicje

Większość informacji podana została w rozdziale 4.3, tutaj przedstawione są specyficzne pojęcia potrzebne przy pomiarze prędkości dźwięku w cieczy.

Prędkość rozchodzenia się fal mechanicznych w cieczach

Prędkość rozchodzenia się fal mechanicznych w cieczach 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 około 25%) zależność ta jest liniowa. W przypadku wodnych roztworów kwasów zakres liniowości jest ograniczony do znacznie niższych stężeń [22].

Przetworniki ultradźwiękowe

W doświadczeniu wykorzystywane są fale ultradźwiękowe, czyli fale akustyczne o częstotliwości powyżej 20 kHz. Do generacji i detekcji fal ultradźwiękowych służą przetworniki, które przetwarzają energię elektryczną, świetlną lub mechaniczną na energię fali ultradźwiękowej (głowice ultradźwiękowe nadawcze) lub odwrotnie (detektory – głowice ultradźwiękowe odbiorcze). Stosowane są przetworniki piezoelektryczne, magnetostrykcyjne, Najwygodniejsze w użyciu i najbardziej efektywne są ultradźwiękowe przetworniki piezoelektryczne (najbardziej znanym kryształem piezoelektrycznym jest kwarc). Wykorzystywane jest w nich zjawisko piezoelektryczne polegające na tym, że pewne kryształy umieszczone w polu elektrycznym doznają odkształceń mechanicznych

Wyznaczanie prędkości dźwięku w cieczach metodą fali biegnącej (F6) 191

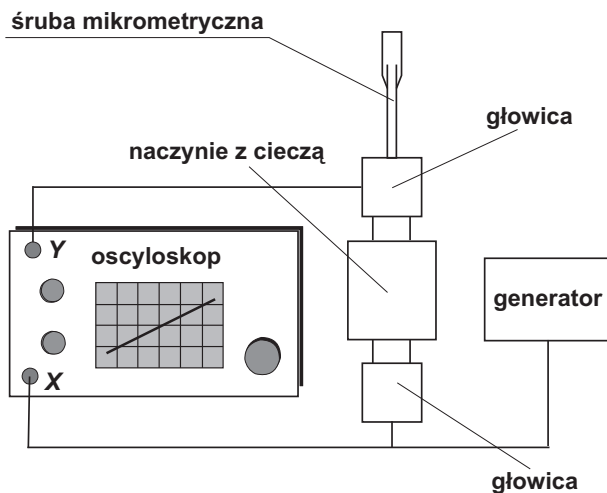
zależnych od wartości przyłożonego pola. W ten sposób, przykładając szybko zmienne pole elektryczne (z generatora), otrzymujemy drgania kryształu. W ośrodku, w którym znajduje się kryształ, generowane są fale akustyczne o częstotliwości zadanej przez generator. Detektory ultradźwięków wykorzystują zjawisko piezoelektryczne odwrotne. Polega ono na wytworzeniu różnicy potencjałów na kryształ piezoelektrycznym pod wpływem odkształceń mechanicznych wywołanych padającą falą ultradźwiękową.

4.4.2 Przebieg pomiarów

Układ pomiarowy

W skład układu doświadczalnego wchodzi: generator wysokiej częstotliwości, przetworniki ultradźwiękowe, śruba mikrometryczna, naczynie pomiarowe, oscyloskop. Do dyspozycji jest również elektroniczna waga laboratoryjna, menzurki, zlewki, mieszadełka, sól kuchenna (NaCl) i woda destylowana.

Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku metodą fali biegnącej przedstawiony jest na rysunku 4.4.1. Idea pomiaru jest taka sama jak przy wyznaczaniu prędkości dźwięku w powietrzu (rozdział 4.3). Rolę głośnika i mikrofonu pełnią przetworniki ultradźwiękowe: głowica nadawcza i odbiorcza. Głowica nadawcza i odbiorcza zanurzone są w badanej cieczy znajdującej się w naczyniu pomiarowym umieszczonym nad nieruchomą głowicą nadawczą. Precyzyjne przesuwanie głowicy odbiorczej umożliwia śruba mikrometryczna.



Rys. 4.4.1: Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku w cieczach metodą fali biegnącej.

Przebieg doświadczenia

Zapoznać się z zestawem eksperymentalnym i parametrami poszczególnych przyrządów, połączyć obwód eksperymentalny. Zbiorniczek nad przetwornikiem napełnić wodą destylowaną. Częstotliwość generatora ultradźwięków wybierać z zakresu 1.0 – 2.5 MHz.

Przy pomocy śruby mikrometrycznej przesuwając górną głowicę tak, aby uzyskane na ekranie oscyloskopu krzywe Lissajous były odcinkami. Odczytać i zapisać te położenia śruby mikrometrycznej. Pomiary powtórzyć kilkakrotnie dla kilku różnych częstości.

Sporządzić roztwory NaCl w wodzie destylowanej o różnych stężeniach np. 25%, 20%, 15%, 10% i 5%. Dla każdego roztworu przeprowadzić pomiary w analogiczny sposób jak dla wody destylowanej.

Stosując tę samą metodę wykonać pomiary dla wodnego roztworu NaCl o nieznanym stężeniu (np. sporządzonego przez kolegę lub dostarczonego przez asystenta opiekującego się ćwiczeniem).

4.4.3 Opracowanie wyników

Każdemu pomiarowi odczytanego położenia głowicy odbiorczej z przyporządkować kolejny numer pomiaru n . Dla każdej badanej częstości wykonać wykres zależności odczytanych położenia mikrofonu z od przyporządkowanego numeru pomiaru n . Zależność ta opisana jest równaniem

$$z = \frac{\lambda}{2}n + b. \quad (4.4.1)$$

Dzięki temu metodą regresji liniowej można wyznaczyć wartość długości fali (oraz jej niepewność) odpowiadającą każdej z badanych częstości. Oszacować niepewność pomiarową wyznaczenia okresu badanych fal dźwiękowych (metodą różniczki zupełnej). Wykonać wykresy zależności długości fali λ od okresu T i metodą regresji liniowej wyznaczyć wartość prędkości ultradźwięków w wodzie destylowanej i w badanych roztworach wodnych NaCl. Sporządzić wykres zależności prędkości ultradźwięków od stężenia roztworu NaCl. Pamiętać o naniesieniu prostokątów niepewności pomiarowych. Korzystając z tej zależności wyznaczyć stężenie nieznanego roztworu wodnego NaCl wraz z niepewnością pomiarową. Przeprowadzić dyskusję zgodności uzyskanych wyników z wartościami, które można znaleźć w tablicach.