

**W S E i Z W WARSZAWIE**

**WYDZIAŁ EKOLOGII**

**LABORATORIUM FIZYCZNE**

**Ćwiczenie**

**Nr 2**

**Temat: WYZNACZNIĘ CZĘSTOŚCI DRGAŃ WIDEŁEK  
STROIKOWYCH METODĄ REZONANSU**

**Warszawa 2009**

## WYZNACZANIE PRĘDKOŚCI DŹWIĘKU ZA POMOCĄ RURY KUNDTA.

### 1. Podstawy teoretyczne

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie częstotliwości drgań kamertonu i głośniczka za pomocą fali stojącej wytworzonej w słupie powietrza przez drgania podłużne

Fala dźwiękowa ( dźwięk) jest falą mechaniczną. Fala mechaniczna powstaje przez wytrącenie elementu (cząsteczki) ośrodka sprężystego z jego normalnego położenia (położenia równowagi),co powoduje, że zaczyna on drgać wokół tego położenia. Dzięki siłom sprężystości pobudza on do drgań sąsiednie elementy ośrodka. W ten sposób zaburzenie wywołane w pewnym miejscu ośrodka rozchodzi się do dalszych jego części. Zjawisko to nazywamy falą. Należy zaznaczyć, że ruchu falowym przenoszona jest energia, natomiast ośrodek jako całość nie ulega przemieszczeniu. Ze względu na kierunek drgań cząsteczek ośrodka w stosunku do kierunku rozchodzenia się fali, rozróżnia się fale poprzeczne i fale podłużne. W falach poprzecznych kierunek drgań cząsteczek jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali. Przykładem może być fala rozchodząca się w naciągniętym sprężystym sznurze, którego jeden koniec został wprawiony w drgania. Fale poprzeczne mogą rozchodzić się tylko w ciałach stałych. W fali podłużnej, drgania cząsteczek odbywają się równoległe do kierunku rozchodzenia się fali, co powoduje lokalne chwilowe zmiany gęstości ośrodka, wskutek czego w ośrodku ( np. w powietrzu) powstają chwilowe różnice ciśnień. Fale podłużne mogą rozchodzić się zarówno w ciałach stałych, cieczech i gazach. Fala dźwiękowa jest przykładem fali podłużnej.

Wielkościami charakteryzującymi falę są: amplituda  $A$ , częstotliwość  $\nu$ , długość fali  $\lambda$ . Amplituda jest maksymalną wartością wychylenia drgającej cząsteczki z położenia równowagi. Częstotliwość jest określona liczbą pełnych drgań w jednostce czasu. W układzie SI częstotliwość wyraża się w hercach (Hz) czyli w liczbie drgań na sekundę. Długość fali może być określona jako droga przebyta przez falę w ciągu jednego okresu drgań i dana jest zależnością

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad (1)$$

gdzie  $v$  - prędkość rozchodzenia się fali. Długość fali określana jest również jako odległość między dwiema najbliższymi cząsteczkami ośrodk, które mają w danej chwili czasu jednakowe wychylenia zarówno co do wartości jak i zwrotu.

Najprostszym przykładem fali jest fala harmoniczna, w której cząsteczki ośrodka wykonują drgania harmoniczne z pewną częstotliwością. Taka fala rozchodząca się w kierunku osi  $x$  może być opisana wzorem

$$y = A \sin\left[2\pi\left(\nu t - \frac{x}{\lambda}\right)\right] \quad (2)$$

gdzie  $y$  - wychylenie cząsteczek z położenia równowagi. Argument funkcji sinus  $\alpha = 2\pi\left(\nu t - \frac{x}{\lambda}\right)$  nosi nazwę fazy fali.

Gdy w ośrodku rozchodzi się jednocześnie dwie lub więcej fal, to wówczas obserwuje się zjawisko interferencji, czyli nakładania się fal. Wychylenie cząsteczki jest wtedy sumą wychyleń, jakich doznawałaby cząsteczka pod wpływem każdej fali z osobna. W wyniku

nakładania się fal, w zależności od różnicy faz, w pewnych punktach ośrodka występuje wzmocnienie drgań w innych zaś osłabienie.

Szczególnym przypadkiem zjawiska interferencji, wykorzystywanym w tym ćwiczeniu jest tzw. fala stojąca, która powstaje w wyniku nakładania się dwóch fal o jednakowych amplitudach i częstotliwościach, lecz biegnących w przeciwnych kierunkach. Taka sytuacja występuje, gdy fala dobiega do granicy drugiego ośrodka, ulega odbiciu i biegnąc w kierunku przeciwnym nakłada się z falą padającą.

Takie dwie fale można przedstawić za pomocą równań

$$y_1 = A \sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - vt\right)\right] \quad (3a)$$

$$y_2 = A \sin\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} + vt\right)\right] \quad (3b)$$

Wypadkowa fala będzie miała postać (po skorzystaniu z zależności trygonometrycznych)

$$y = y_1 + y_2 = 2A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right) \cos(2\pi vt) \quad (4)$$

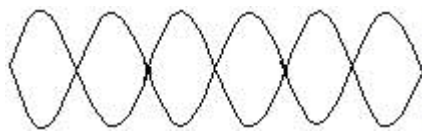
Równanie (4) pokazuje, że wzdłuż kierunku rozchodzenia się fal wytwarza się szczególny stan wychyleń cząsteczek. Amplituda nie jest jednakowa we wszystkich punktach, lecz zmienia się w zależności od współrzędnej  $x$ . A mianowicie przyjmuje wartość maksymalną  $2A$  w punktach, dla których

$$x = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda \quad (5)$$

Te punkty nazywamy strzałkami i są one odległe od siebie o pół długości fali. Natomiast w punktach gdzie

$$x = \frac{1}{2}\lambda, \lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots \quad (6)$$

amplituda ma wartość równą zero tzn. te punkty są w spoczynku. Rozkład amplitud drgań (w kolejnych punktach ośrodka) w fali stojącej przedstawia rys. (1)



rys 1. Obwiednia amplitud drgań w fali stojącej

Taka sytuacja występuje, gdy np. fala wzbudzana w sprężystym sznurze dobiega do miejsca jego zamocowania, ulega odbiciu i biegnąc w kierunku przeciwnym nakłada się z falą padającą. Zauważmy, że fala stojąca nie przenosi energii, ponieważ nie może ona przepływać przez punkty węzłowe, w których cząsteczki nie drgają.

Występowanie fali stojącej może być wykorzystane do wyznaczania prędkości dźwięku w danym ośrodku, lub częstości drgań źródła, gdy znamy prędkość rozchodzenia się fali.

Celem tego ćwiczenia jest wyznaczenie częstości drgań widełek stroikowych metodą rezonansu z wykorzystaniem fali stojącej wytworzonej w słupie powietrza. Zachodzi to wtedy, gdy do otwartego końca, zamkniętej z jednej strony rury, zbliżymy pobudzone do drgań widełki stroikowe. W znajdującym się w rurze powietrzu powstaną wówczas drgania wymuszone o częstości równej częstości drgań widełek stroikowych. W rurze

pobiegnie- fala dźwiękowa, która ulega odbiciu od zamkniętego końca . W wyniku nakładania się fali padającej z odbitą powstaje fala stojąca. Zmieniając długość słupa powietrza, można dla pewnych jego wartości uzyskać znaczne wzmocnienie tonu drgających widełek. Efekt ten określa się jako rezonans akustyczny. Wystąpi on wtedy, gdy na zamkniętym końcu rury utworzy się węzeł fali stojącej, zaś u wylotu rury powstaje strzałka tej fali. W przypadku dostatecznie długiej rury, w której długość słupa powietrza można zmieniać, rezonans uzyskuje się zawsze wtedy, gdy długość jest tak dobrana, że na zamkniętym końcu powstaje węzeł, a na otwartym - strzałka fali stojącej, czyli gdy długość rury /jest równa nieparzystej wielokrotności  $1/4$  długości fali  $\lambda$ . Ogólny warunek rezonansu ma więc postać

$$l = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{gdzie } n = 0, 1, 2, 3 \quad (7)$$

Mierząc długość / rury w rezonansie i znając prędkość fali dźwiękowej w powietrzu  $v$  możemy na podstawie wzoru (1) wyznaczyć częstość  $\nu$  drgań kamertonu

$$\boxed{\nu = \frac{v_p}{\lambda}} \quad (8)$$

Prędkość fali dźwiękowej w powietrzu zależy od temperatury i jest dana wzorem

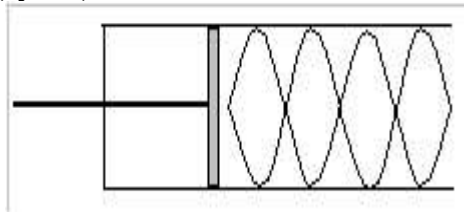
$$\boxed{v_p = v_o \sqrt{1 + \alpha t}} \quad (9)$$

gdzie  $v_0 = 331 \text{ m/s}$ - (dla suchego powietrza),  $\alpha$  - współczynnik rozszerzalności objętościowej,  $\alpha = 0,004 \text{ 1/stop}$ .

Jeżeli znamy prędkości dźwięku  $v_p$  w powietrzu, to omówione doświadczenie może posłużyć do wyznaczenia częstości drgań.

## 2. Wykonanie ćwiczenia

Do wyznaczenia częstości drgań widełek stroikowych posłuży nam szklana pozioma rura, w której długość drgającego słupa powietrza może być zmieniana za pomocą ruchomego tłoczka (rys. 2).



Rys. 2. Fala stojąca w słupie powietrza

W pobliżu otwartego końca rury umieszczamy kamerton. Po pobudzeniu kamertonu do drgań, przesuujemy (zaczynając od otwartego końca) tłoczek, jednocześnie wsłuchując się wyznaczamy takie jego położenie przy dochodzeniu do którego usłyszymy najsilniejszy

ton. Przy mijaniu tego położenia głośność tonu znacznie spada. Mierzymy długość  $l_x$  słupa powietrza odpowiadającą pierwszemu rezonansowi. Wyznaczanie tej pozycji powtarzamy kilkakrotnie, po czym obliczamy wartość średnią  $l_1$ . Następnie, w identyczny sposób jak przy poszukiwaniu pozycji pierwszego rezonansu, wyznaczamy pozycję  $l_2$  drugiego rezonansu, wychwytyjąc słuchowo następne położenie tłoczka, przy którym wystąpi drugie wzmocnienie tonu. Pomiar powtarzamy kilkakrotnie i obliczamy wartość średnią  $l_2$ .

Ponieważ różnica  $l_2 - l_1$  jest równa połowie długości fali  $\lambda$ , więc

$$\lambda = 2(l_2 - l_1) \quad (10)$$

W przypadku głośniczka notujemy 10 kolejnych położań tłoczka, przy których następuje wyraźne osłabienie tonu. Na wykresie nanosimy zależność położenia tłoczka ( $x_n$ ) od numeru kolejnego rezonansu ( $n$ ). Metodą najmniejszych kwadratów znajdujemy nachylenie prostej

$$x = an \quad a = \frac{\lambda}{2} \quad (11)$$

gdzie 'a' równe jest połowie długości fali.

Odczytujemy temperaturę powietrza  $t$  i na podstawie (9) oraz (11) obliczamy prędkość dźwięku w powietrzu  $v_p$ . Poszukiwaną częstość drgań widełek stroikowych obliczamy wykorzystując wzór (8) oraz wzór (11).

### 3. Ocena błędów

Zasadniczym błędem pomiarowym wpływającym decydująco na wynik pomiaru jest błąd ustalenia pozycji tłoczka przy rezonansie  $\Delta l_1$  i  $\Delta l_2$ . Ze względu na takie same warunki wyznaczenia, można przyjąć, że  $\Delta l_1 = \Delta l_2 = \Delta l$ . Błąd  $\Delta l$  obliczamy jako średni błąd kwadratowy (przy większej liczbie) pomiarów lub oceniamy go jako błąd maksymalny. Jako błąd pomiaru temperatury  $\Delta t$  przyjmujemy dokładność odczytu. Błąd ten ma jednak niewielki wpływ na błąd wyznaczania częstości i można go pominąć.

### 4. Pytania kontrolne

1. Co to są fale mechaniczne?
2. Jakie wielkości charakteryzują falę?
3. W jakich warunkach powstaje podłużna fala stojąca w słupie powietrza?
4. Jakie są istotne różnice między falą biegnącą a stojącą?
5. Na czym polega istota pomiaru częstości drgań widełek stroikowych metodą rezonansu?

### 5. Literatura

1. T. Dryński: Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. PWN, Warszawa 1977, s. i 43.
2. I. Massalska, M. Massalska: Fizyka dla inżynierów. WNT, Warszawa 1970, s.208
3. R. Resnick, D. Halliday: Fizyka, t. 1. Warszawa 1982, s. 598.
4. H. Szydłowski: Pracownia fizyczna. PWN, Warszawa 1979, s.233.