

# Częstotliwość rezonansowa rezonatora Helmholtza z Cobra4 Xpert-Link

## 1. Wymagania do ćwiczenia

1. Drgania wymuszone.
2. Rezonans mechaniczny.
3. Oscylator harmoniczny.
4. Drgania harmoniczne tłumione.

### Literatura:

1. Fizyka dla szkół wyższych Tom I, Openstax, 2018

## 2. Wstęp teoretyczny

### 2.1. Fale

Pojęcie fala oznacza zaburzenie, które rozchodzi się od miejsca, w którym powstało. Wyróżnia się trzy podstawowe typy fal: mechaniczne, elektromagnetyczne i fale materii. Fale mechaniczne podlegają zasadom dynamiki Newtona i wymagają obecności ośrodka materialnego, czyli substancji, w której mogą się rozchodzić. Gdy ośrodek ulega odkształceniu, wówczas pojawiają się w nim siły sprężystości. Fale mechaniczne przenoszą energię i pęd, nie przenosząc przy tym masy. Przykładami fal mechanicznych są fale na wodzie, fale dźwiękowe i fale sejsmiczne. Ośrodkiem dla fal na wodzie jest woda, natomiast dla fal dźwiękowych zwykle jest to powietrze, ale mogą się one rozchodzić również w innych ośrodkach. W przypadku fal na powierzchni wody zaburzenie może powstać na przykład na skutek wrzucenia do niej kamienia lub pod wpływem ruchów ciała pływaka. Natomiast dla fal dźwiękowych wspomniane zaburzenia to zmiany ciśnienia powietrza, które mogą być skutkiem drgań membrany głośnika lub wibracji kamertonu (w obu przypadkach przez zaburzenia rozumiemy drgania cząstek ośrodka). Dla fal mechanicznych energia i pęd są przenoszone wraz z przemieszczaniem się fali, tymczasem masa cząstek drga wokół położenia równowagi. Trzęsienia Ziemi generują fale sejsmiczne, z którymi wiąże się kilka typów zaburzeń, w tym zniekształcenia powierzchni Ziemi i zaburzenia ciśnień pod jej powierzchnią. Fale sejsmiczne przemieszczają się w ośrodkach stałych i ciekłych tworzących Ziemię.

## 2.2. Rezonator Helmholtza

Zjawisko wprowadzenia układu w drgania o częstotliwości równej częstotliwości drgań własnych oscylatora nazywa się rezonansem. W sytuacji, kiedy występują drgania wymuszone, mówimy że układ rezonuje. Kiedy częstotliwość wymuszania drgań jest stopniowo zwiększana powyżej częstotliwości rezonansowej, amplituda drgań ulega zmniejszeniu.

Ważnym typem rezonatora o bardzo różnych charakterystykach akustycznych jest rezonator Helmholtza, nazwany tak na cześć niemieckiego fizyka Hermanna von Helmholtza. Rezonator Helmholtza, będący w istocie wydrążoną kulą z krótką szyjką o małej średnicy, posiada pojedynczą, izolowaną częstotliwość rezonansową i żadnych innych rezonansów poniżej około 10-krotności tej częstotliwości. Częstotliwość rezonansowa  $f$  klasycznego rezonatora Helmholtza, jest określona przez jego objętość  $V$  oraz przez długość  $L$  i powierzchnię  $A$  jego szyjki:

$$f = \left(\frac{v}{2\pi}\right) \sqrt{\frac{A}{LV}}$$

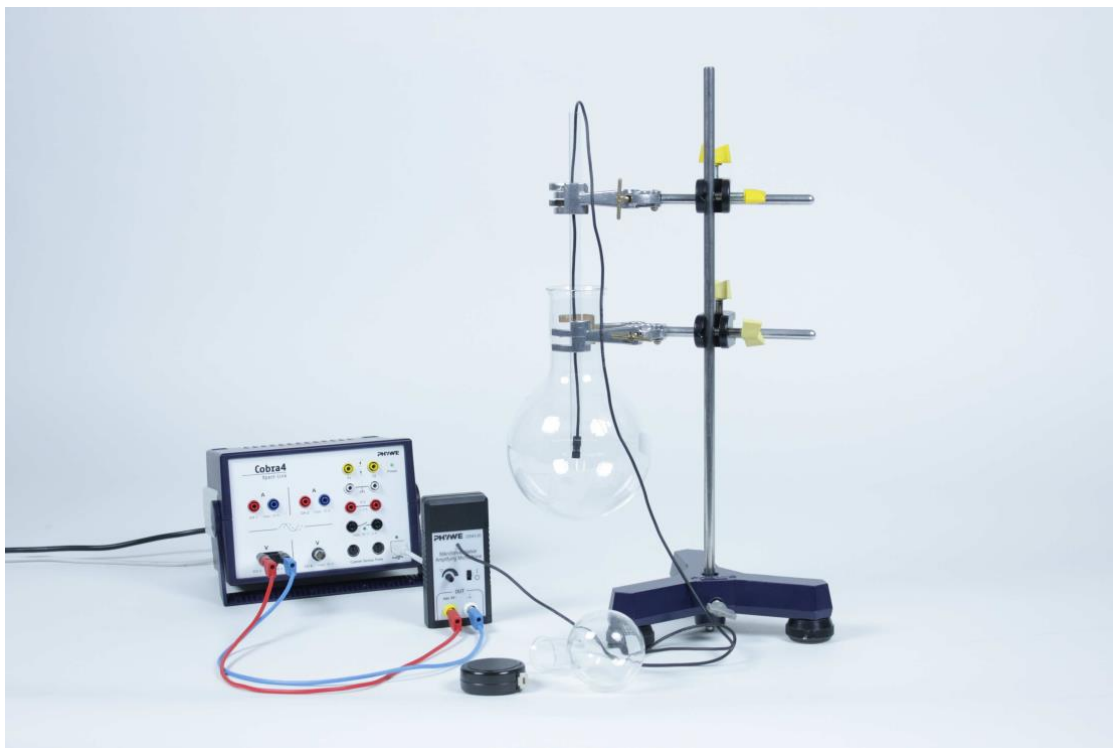
gdzie  $v$  jest prędkością dźwięku w powietrzu. Podobnie jak w przypadku omówionych wcześniej rurek, wartość długości szyjki należy podać jako długość efektywną, która zależy od jej promienia. Charakterystyczne spektrum oscylacji przykładowej kolby okrągłej składa się z pojedynczej linii rezonansowej o częstotliwości 195 Hz. Po zmniejszeniu objętości powietrza w kolbie okrągłodennej o 50 % poprzez dodanie wody, częstotliwość wzrasta do 245 Hz. Dodatkowo, obserwuje się linie wtórne, a szum otoczenia staje się nieco wyraźniejszy, co sugeruje obniżenie jakości rezonatora.

Układ składający się z rury i ciała pustego w środku, tak jak użyta tutaj kolba okrągłodenna, reprezentuje rezonator Helmholtza w jego w postaci ogólnej. Warunkiem zastosowania poniższego wzoru jest więc to, że długość szyjki jest mała w porównaniu z długością fali dźwiękowej. Długość fali dźwiękowej dla częstotliwości rezonansowych występujących w tym przypadku wynosi 1,4 m, co jest wartością wielokrotnie większą niż długość szyjki kolby okrągłodennej. Naturalna częstotliwość rezonansowa takiego akustycznego obwodu rezonansowego może być wyprowadzona przy założeniu, że powietrze wypełniające kulę działa przeciwko ruchowi "tłoka powietrznego" w tubie jak sprężyna. Uwzględniając poprawkę na długość szyjki, częstotliwość  $f$ , jest określona następującym wzorem:

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{\left(l + \frac{1}{2}\pi r\right)} \cdot \frac{1}{V}}$$

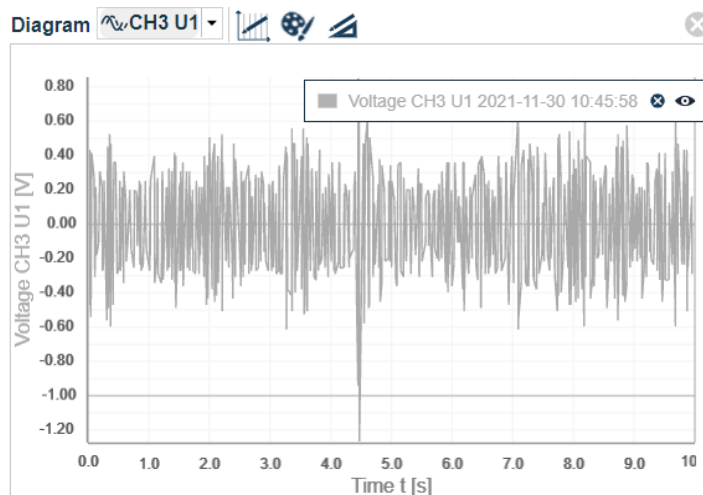
gdzie  $v$  jest prędkością dźwięku,  $l$  długością rury,  $r$  promieniem rury i  $V$  objętością pustego ciała przymocowanego do rury.

### 3. Metodologia wykonania pomiarów



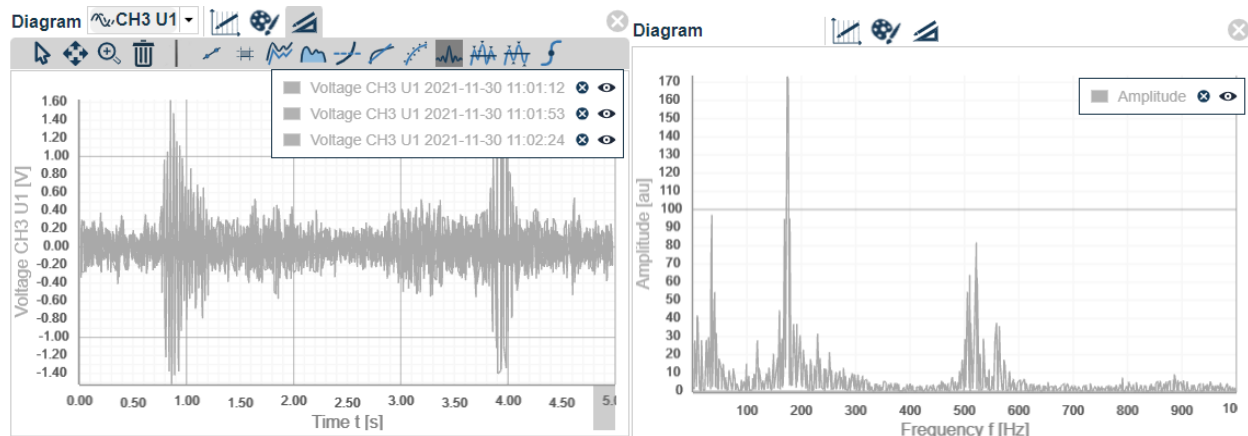
*Rys. 1. Układ do badania charakterystycznych oscylacji w rezonatorze wnąkowym.*

1. Za pomocą suwmiarki wyznaczyć długość i średnicę zewnętrzną szyjki mierzonej kolby oraz jej średnicę kulistej części. Wartości te będą potrzebne do obliczenia odpowiednich częstotliwości rezonansowych.
2. Ustawić aparaturę zgodnie z Rys. 1. Sonda dźwiękowa jest wsuwana przez szyjkę szklaną i powinna znajdować się w górnej trzeciej części okrągłej części kolby.
3. Uruchomić program "measureLAB"
4. Uruchomić „Quick start” i wybrać Channel CH3
5. Aby sprawdzić parametry, należy kliknąć na przycisk koła zębatego, wybrać "Sensors/Channels" i Channel CH3. Zakres pomiarowy musi być ustawiony na "10 V", ponieważ odpowiada on zakresowi wyjściowemu wzmacniacza mikrofonowego.
6. Ustaw warunek zatrzymania pomiaru „Trigger” na wartość podaną przez prowadzącego.
7. Pomiar rozpoczyna się klikając na przycisk "Record" w dolnym prawym rogu ekranu.
8. Wyznaczyć szum otoczenia, w razie potrzeby gdy szum otoczenia jest zbyt słaby, można w prosty sposób wygenerować odpowiedni szum np. delikatnie pukając w kolbę. Sygnał może wyglądać następująco (Rys. 2):



Rys. 2. Sygnał pustej kolby.

9. Wykorzystać analizę FFT z zakładki „Tools and Analysis” i wyznaczyć z widma położenie częstotliwości rezonansowej kolby o pojemności 1000 ml, która jest wypełniona tylko powietrzem.
10. Powtórzyć doświadczenie po wypełnieniu części kulistej kolby wodą o podanej przez prowadzącego objętości.



Rys. 3. Po lewej, sygnał kolby wypełnionej do połowy. Po prawej, widmo fourierowskie tego sygnału.

Dodatkowe pomiary można wykonać dla różnych rodzajów kolb, które są dostępne w laboratorium, objętość kolby można również zmieniać poprzez dolewanie odmierzonej objętości wody.

#### 4. Obliczenia

1. Zmierzyć wymiary dla każdej badanej kolby, długość  $l$  i średnicę zewnętrzną  $2r$  szyjki kolby oraz  $2R$  średnicę zewnętrzną kulistej części kolby.

