Pracownia Dydaktyki Fizyki
Instytut Fizyki UMK w Toruniu

BADANIE ZJAWISKA DUDNIENIA WSPOMAGANEGO KOMPUTEROWO

Cele ogólne

1. Utrwalenie podstawowych pojęć fizycznych odnoszących się do drgań i fal.
2. Poznanie podstawowych zasad wytwarzania, rejestracji i analizy dźwięku za pomocą komputera i zestawu pomiarowego Coach.

Cele operacyjne

1. Przypomnienie wielkości opisujących fale dźwiękowe: natężenia, wysokości i barwy dźwięku oraz pogłębienie rozumienia fizycznych podstaw dotyczących zjawiska dudnienia.
2. Pogłębienie fizycznych podstaw dotyczących zjawiska dudnienia: jak powstają dudnienia i jak się je opisuje.
3. Nabycie umiejętności:
   - wykorzystania możliwości programu COACH 5 do badania zjawiska dudnienia.
   - prawidłowego operowania zestawem akustycznym w celu przejrzystej rejestracji zjawisk akustycznych, a w szczególności dudnień (uzyskanie „klasycznego" dudnienia przez równoczesne pobudzenie obu kamertonów).
   - prawidłowej analizy i interpretacji fizycznej otrzymanych wyników.
   - stosowania wiedzy o dudnieniach do wyjaśniani zjawisk z życia codziennego.

Stosowane przyrządy:

Zestaw komputerowy
Interfejs pomiarowy Coachlab II
Program Coach 5
Czujnik dźwięku
2 kamertony
Metalowy przedmiot obciążający widełki stroikowe
Młoteczek

Badane zjawisko

Dudnienia powstają wówczas, gdy nakładają się ze sobą dwie fale o częstościach niewiele różniących się od siebie, przy czym efekt jest najwyraźniejszy, gdy ich moc jest w przybliżeniu równa. Aby wytworzyć takie dudnienia wykorzystujemy dwa kamertony, z których jeden przestrajamy doczepiając dodatkową masę, po czym pobudzamy je do drgań. Wytworzona w ten sposób fala akustyczna, będąca złożeniem dwóch fal o różnych częstościach, ma charakter fali modulowanej (za dudnienia odpowiedzialna jest właśnie ta modulacja). Częstość nośną fali oraz częstość modulacji możemy powiązać z częstościami źródłowymi (tzn. z częstościami obu kamertonów) korzystając z odpowiednich wzorów trygonometrycznych. Dokonujemy zatem

superpozycji (nałożenia) dwu fal o różnych lecz niewiele różniących się częstościach; fale te opisują funkcje ψ_1 i ψ_2 :

$$\psi_1 = A\cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$
$$\psi_2 = A\cos(\omega_2 t + \varphi_2) \qquad (1)$$
$$\omega_1 \approx \omega_2 \ .$$

Po złożeniu otrzymamy:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = A\,[\cos(\omega_1 t + \varphi_1) + \cos(\omega_2 t + \varphi_2)] \ . \qquad (2)$$

Po zastosowaniu wzoru na sumę *cosinusów* przekształcimy (2) do postaci:

$$\psi = [2A\cos(\frac{\omega_1 t + \varphi_1 - \omega_2 t - \varphi_2}{2})]\cdot\cos(\frac{\omega_1 t + \varphi_1 + \omega_2 t + \varphi_2}{2}) \qquad (3)$$

lub

$$\psi = [2A\cos(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}\cdot t + \varphi')]\cdot\cos(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}\cdot t + \varphi'') \ . \qquad (4)$$

Wzór (4) interpretujemy następująco: czynnik ujęty w nawias kwadratowy odpowiada za zmieniającą się amplitudę drgań, czyli modulację (jest on wolnozmienny, ponieważ $(\omega_1-\omega_2 \to 0)$, drugi czynnik zaś odpowiedzialny jest za falę nośną. Powyższy wzór możemy zatem zapisać następująco:

$$\psi = [2A\cos(\omega_{mod} t + \varphi')]\cdot\cos(\omega_{noś} t + \varphi'') \qquad (5)$$

gdzie:

$$\omega_{mod} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \quad \text{i} \quad \omega_{nośna} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \ . \qquad (6)$$

Dzieląc wzory (6) stronami przez 2π otrzymamy:

$$f_{mod} = \frac{f_1 - f_2}{2} \quad \text{i} \quad f_{nośna} = \frac{f_1 + f_2}{2} \ . \qquad (7)$$

gdzie f oznacza częstotliwość.

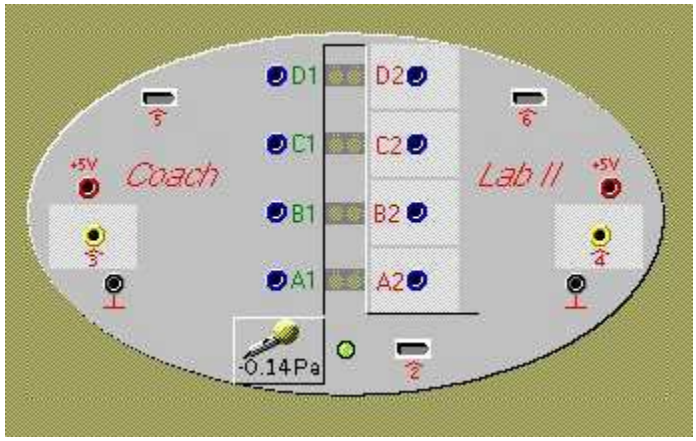
Wykonanie doświadczenia

Wyznaczenie częstotliwości modulacji (f_{mod}) i częstotliwości fali nośnej ($f_{noś}$).

1. Do konsoli pomiarowej Coachlab II podłącz czujnik dźwięku np. do wejścia pomiarowego nr 1.

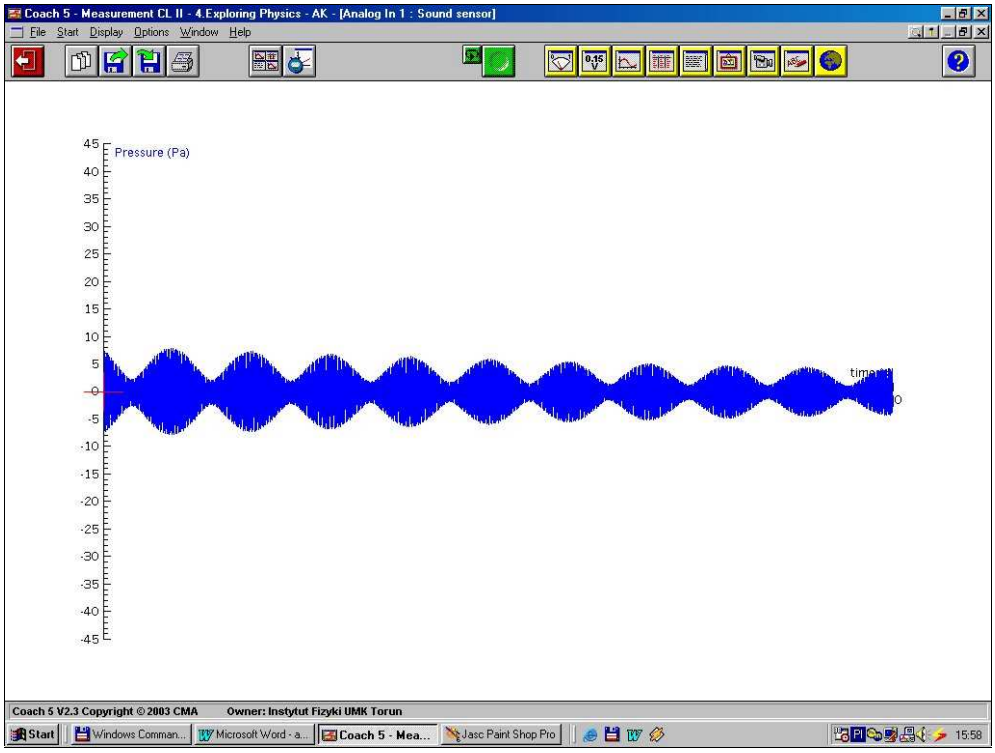
Rys.1. Sposób podłączenia czujnika dźwięku do konsoli pomiarowej.

2. W programie Coach 5 do wejścia pomiarowego nr 1 konsoli pomiarowej przesuń i upuść ikonę czujnika pomiarowego.



Rys.2. Widok konsoli pomiarowej w programie Coach 5.

3. W jednym z okien umieść wykres ciśnienia (od -45 Pa do 45 Pa) w funkcji czasu. Parametry pomiarowe dla czasu wybierz następująco: czas pomiaru – 5 s, ilość pomiarów w ciągu 1 sekundy – 1000.
4. Ustaw dwa kamertony otworami naprzeciwko siebie. Umieść dodatkowy metalowy element na widełkach jednego z kamertonów, aby częstotliwość wytwarzanej fali była nieco niższa od wytwarzanej fali przez drugi kamerton.
5. Uderz mocno młoteczkiem widełki obydwu kamertonów i przystaw mikrofon jak najbliżej ich otworów. Zarejestruj wytworzoną falę akustyczną i przeanalizuj oscylogram w powiększeniu.



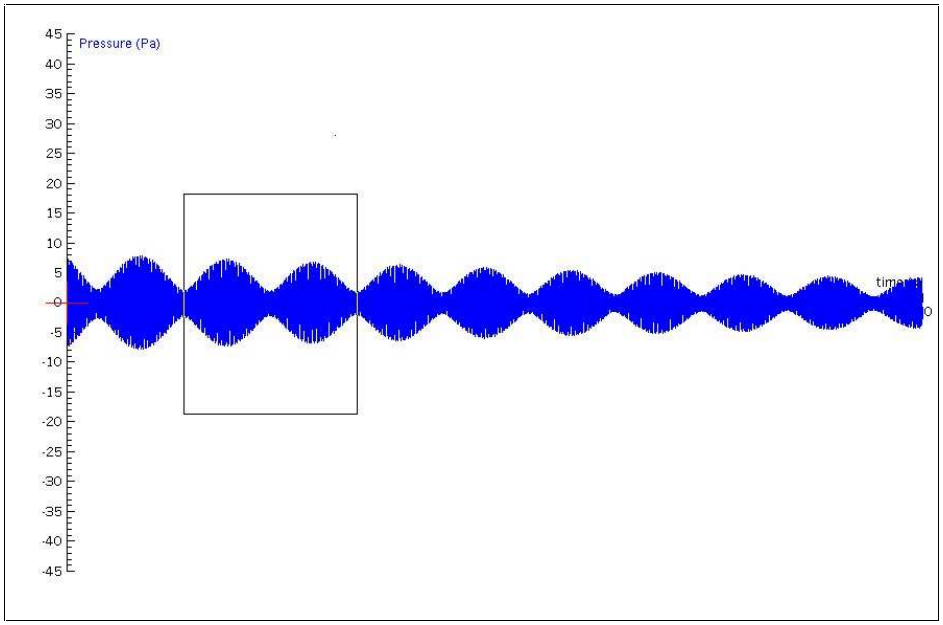
Rys. 3. Dudnienia zarejestrowane za pomocą programu Coach 5.

Obliczenia

Na podstawie znajomości częstotliwości modulacji i częstotliwości fali nośnej oblicz częstotliwości fal współtworzących dudnienia.

1. Wyznacz częstotliwość modulacji f_{mod}

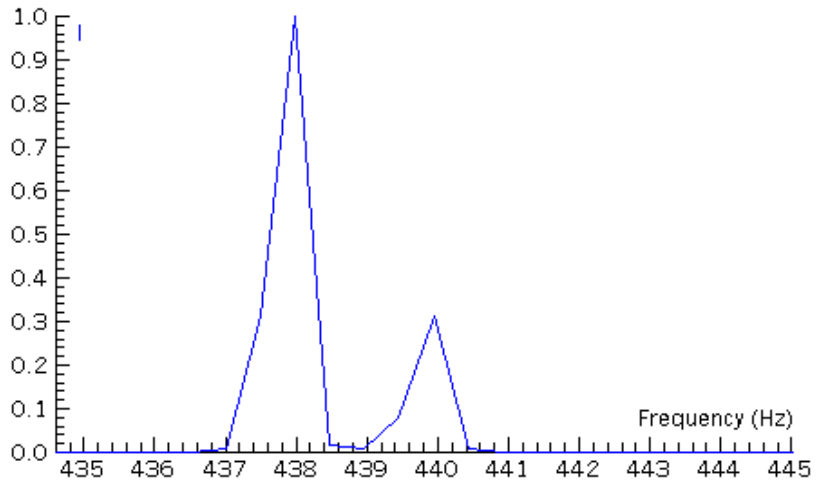
Posługując się programem Coach 5 odczytaj okres modulacji, korzystając ze wskazówki zawartej na poniższym rysunku.



Rys. 4. Okres modulacji zaznaczony za pomocą ramki.

2. Wyznacz częstotliwość fali nośnej $f_{noś}$

W tym celu użyj transformacji Fouriera korzystając z następujących opcji (po wciśnięciu prawego klawisza myszy): *Analyse, Signal analisis, Fourier transform.*



Rys. 5. Widmo częstotliwości badanej fali akustycznej.

3. Przekształć wzór nr 7 i oblicz częstotliwość f_1 i f_2.

Dyskusja wyników i wnioski

1. Częstotliwość drgań widełek kamertonu z dodatkową masą zależy od miejsca jej przymocowania.
2. Im wyżej przymocowana jest dodatkowa masa do widełek kamertonu, tym niższa częstotliwość wytwarzanych drgań.
3. Częstotliwość modulacji i częstotliwość fali nośnej zależą od różnicy częstotliwości kamertonów, czyli od miejsca przyczepienia dodatkowej masy do jednych z widełek.
4. Częstotliwość drgań kamertonu zależy od temperatury widełek.
5. Zastanów się, gdzie zjawisko dudnień występuje w twoim otoczeniu.
6. Znajdź w literaturze przykłady wykorzystania zjawiska dudnień w nauce i technice.

Literatura

[1] Pomiary fizyczne za pomocą komputera, H. Szydłowski, Wydawnictwo UAM, Poznań 1999.
[2] Doświadczenia fizyczne wspomagane komputerowo, Pracownia Dydaktyki Fizyki IF UMK, red. J. Turło, 1995.
[3] Fizyka doświadczalna, Sz. Szczeniowski, cz. I, PWN, Warszawa 1972.

Opracowanie: Andrzej Karbowski