

## 5. Doświadczenia z akustyki

Akustyka: Wprowadzenie do komputerowych systemów pomiarowych, system Pasco, dźwięk, fala dźwiękowa, częstotliwość fali, interferencja fal, dudnienia.

| Potrzebny sprzęt                          | Nr części  | Ilość sztuk |
|-------------------------------------------|------------|-------------|
| Pasco Sparklink Air (konsola pomiarowa)   | PS-2011    | 1           |
| PASPORT Czujnik poziomu natężenia dźwięku | PS-2109    | 2           |
| Sound Sensor (czujnik dźwięku)            | CI-6506B   | 2           |
| Sensor Extension Cable                    | w/CI-6506B | 2           |
| Kieliszki (różnej wielkości)              |            | 3           |
| Kamertony                                 |            | 2           |
| Dzwonki, cymbały, gitara, flet, miara     |            |             |

### Cel

Celem tego ćwiczenia jest rejestracja fal dźwiękowych podczas wykonywania doświadczeń z akustyki oraz analiza otrzymanych wyników.

### Cele szczegółowe:

1. Dydaktyka fizyki: pojęcie dźwięku, źródła dźwięku, fale akustyczne, fale mechaniczne, natężenie fali dźwiękowej, poziom natężenia dźwięku, częstotliwość fali dźwiękowej, barwa dźwięku, dyfrakcja, interferencja, zjawisko dudnienia, graficzne przedstawienie fali dźwiękowej.
2. Informatyka stosowana: działanie czujników poziomu/natężenia dźwięku, dokładność pomiaru, próbkowanie w czasie.

### Wstęp

Fale dźwiękowe są podłużnymi falami mechanicznymi. Mogą rozchodzić się w gazach, cieczach i ciałach stałych. Rozchodzące się w ośrodku zaburzenie powoduje zmianę gęstości oraz ciśnienia. W próżni fale dźwiękowe nie mogą się rozchodzić. Źródłem dźwięku jest drgające ciało pobudzające do drgań ośrodki np. powietrze, co prowadzi do powstania fali. Człowiek słyszy dźwięki o częstotliwościach od 16 Hz do 20000 Hz (20 kHz). Fale dźwiękowe o częstotliwości niższej od 16 Hz nazywamy *infradźwiękami*, a fale o częstotliwości wyższej od 20 kHz *ultradźwiękami*.

Fala dźwiękowa przenosi energię. *Natężenie dźwięku* to ilość energii przenoszanej przez falę w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię. Natężenie jest proporcjonalne do kwadratu amplitudy fali. Natężenie dźwięku mierzy się w watach na metr kwadratowy  $W/m^2$ .

*Poziom natężenia dźwięku* mierzy się w dB (decybelach). Dla danego natężenia dźwięku  $I$  poziom natężenia dźwięku oblicza się następująco:

$$p = 10 \log \frac{I}{I_0} ,$$

gdzie  $I_0$  jest progiem słyszalności dźwięku i wynosi ono  $10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ .

Fale dźwiękowe, jak wszystkie fale, ulegają dyfrakcji i interferencji. Jeśli dwa źródła dźwięku mają nieznacznie różniące się częstotliwości  $f_1$  i  $f_2$ , to interferencja generowanych przez nie fal akustycznych prowadzi do powstania *dudnień*.

### Bezpieczeństwo

Postępuj zgodnie z instrukcjami załączonymi do sprzętu oraz z instrukcją BHP znajdująca się w laboratorium.

### Uruchomienie sprzętu i programu

1. Podłącz konsolę pomiarową Pasco Sparklink Air do portu USB komputera. Wtyczkę konsoli włóż do gniazdka z prądem.
2. Do konsoli podłącz czujnik dźwięku (Sound Sensor).
3. Uruchom z pulpitu komputera program SPARKvue.
4. Z górnego menu wybierz opcję *File* i *New Experiment*. Następnie kliknij na ekranie *Two Displays*. Kliknij na ikonach na środku okien i wybierz *Graph*.
5. W oknie wykresu nr 1 na pionowym przycisku *Select Measurement* wybierz *Sound* (dźwięk), a na dolnym poziomym przycisku *Time* (czas). W ten sposób osie wykresu będą opisane i uzyskasz wykres napięcia w V rejestrowanego przez mikrofon w funkcji czasu. W oknie wykresu nr 2 na pionowym przycisku *Select Measurement* wybierz *Sound*, a na dolnym *Time*.
6. Rejestrację fali dźwiękowej można uruchomić naciskając przycisk *Record*. Aby usunąć niepotrzebne dane na wykresie użyj przycisku *Delete Last Run*.
7. Dane, które twoim zdaniem mogą być przydatne do sprawozdania, zapisz na dysku twardym w folderze c:\Pomiary (lepiej zapisać większą ilość przebiegów pomiarowych, ale oczywiście nie wszystkie).

### Zadania do wykonania:

1. Nalej do szklanego kieliszka trochę wody. Jedną dłonią dociskaj stopę kieliszka do blatu stołu. Włóż palec wskazujący drugiej dłoni do środka kieliszka i zwilż go wodą. Poproś kolegę/koleżankę, aby trzymał/a mikrofon (Sound Sensor) nad kieliszkiem. Zwilżonym palcem pocieraj brzeg kieliszka dookoła i włącz pomiar. Na ekranie komputera zarejestrowana będzie fala dźwiękowa. Jaką funkcję matematyczną przypomina Ci uzyskany wykres? Czy fala dźwiękowa ma jedną częstotliwość czy więcej? Doświadczenie powtórz kilka razy z inną ilością wody w kieliszku oraz z innymi kieliszkami.
2. Na stole postaw kamerton i naprzeciwko wylotu kamertonu trzymaj mikrofon. Uderz młoteczkiem w widelki kamertonu i włącz pomiar. Jaką funkcję matematyczną przypomina Ci zarejestrowana fala dźwiękowa na ekranie? Czy fala ma jedną częstotliwość, czy więcej częstotliwości? Odpowiedź uzasadnij. Odczytując czas od maksimum do kolejnego maksimum wyznacz okres drgań fali dźwiękowej i oblicz jej częstotliwość. Zaproponuj dokładniejszą metodę obliczania okresu drgań i częstotliwości fali dźwiękowej.

- Na stole postaw kamerton i naprzeciwko wylotu z pudła rezonansowego kamertonu ustaw w odległości 5 cm pierwszy mikrofon (Sound Sensor). Drugi mikrofon umieść naprzeciwko wylotu z pudła kamertonu o 1 m dalej od pierwszego mikrofonu. Włącz pomiar i uderz młoteczką w widełki kamertonu. Oblicz dokładnie ile czasu potrzebuje fala dźwiękowa, aby pokonać odległość między kamertonami wynoszącą 1 m. Oblicz prędkość fali dźwiękowej w powietrzu. Czy prędkość fali dźwiękowej w innych gazach jest taka sama? Dlaczego w czasie burzy czasami odliczamy 3 s licząc 1, 2, 3?
- Weź do ręki gitarę i umieść naprzeciwko niej czujnik poziomu natężenia dźwięku. Włącz pomiar natężenia dźwięku i szarpnij lekko najcieńszą strunę gitary, a następnie szarpnij ją mocniej i po 5 s szarpnij ją najmocniej. Czy natężenie dźwięku zmieniało się w czasie i od czego ono zależy? Od jakiej wielkości fizycznej opisującej falę dźwiękową zależy natężenie dźwięku?
- Umieść na stole elektroniczne źródło dźwięku i rozłóż od początku źródła miarę wzdłuż stołu. Do konsoli pomiarowej podłącz czujnik poziomu natężenia dźwięku. Włącz źródło dźwięku, włącz pomiar w programie SPARKvue i przesuвай wolno czujnik wzdłuż miary od źródła do końca miary (1 m). Czy natężenie dźwięku zależy od odległości  $r$  od źródła dźwięku? Jeśli tak, to zapisz odpowiednią zależność w zeszycie.
- Dudnienia* powstają wówczas, gdy nakładają się na siebie 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, ustawione naprzeciwko siebie, z których jeden przestrajamy doczepiając do jego widełków dodatkowy metalowy przedmiot, 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  $\psi_1$  i  $\psi_2$  :

$$\begin{aligned}\psi_1 &= A \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \\ \psi_2 &= A \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \\ \omega_1 &\approx \omega_2 .\end{aligned}\tag{1}$$

Po złożeniu otrzymamy:

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

Po zastosowaniu wzoru na sumę *cosinusów* wzór (2) możemy zapisać następująco:

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

lub

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

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

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

gdzie:

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

Dzieląc wzory (6) stronami przez  $2\pi$  otrzymamy:

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

gdzie  $f$  oznacza częstotliwość.

## Pomiary

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

Do konsoli pomiarowej podłącz czujnik dźwięku (Sound Sensor).



Rys. 1. Sposób podłączenia czujnika dźwięku do konsoli pomiarowej

Ustaw dwa kamertony otworami naprzeciwko siebie w odległości ok. 5 cm. Umieść dodatkowy metalowy element na widelkach jednego z kamertonów, aby częstotliwość wytwarzanej fali była nieco niższa od częstotliwości fali wytwarzanej przez drugi kamerton.

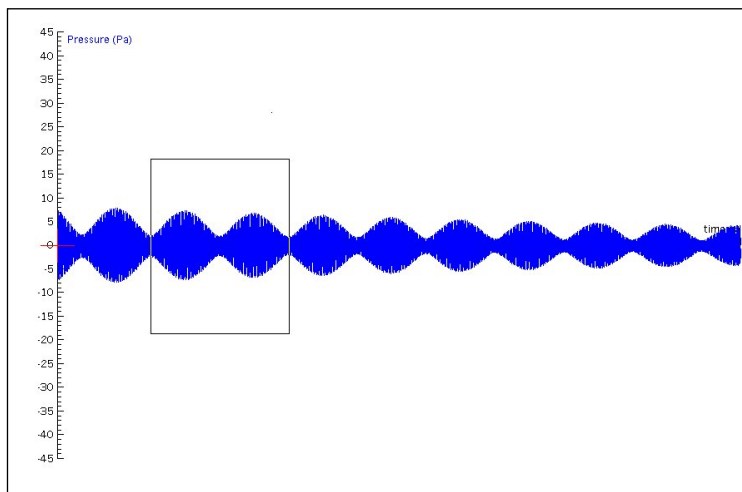
Uderz mocno młoteczkiem widelki obydwu kamertonów i przystaw mikrofon jak najbliżej ich otworów (między dwa kamertony). Zarejestruj wytworzoną falę akustyczną i przeanalizuj oscylogram w powiększeniu.

## Obliczenia

Na podstawie znajomości częstotliwości modulacji i częstotliwości fali nośnej oblicz częstotliwości fal współtworzących dudnienia  $f_1$  i  $f_2$ .

Wyznacz częstotliwość modulacji  $f_{\text{mod}}$

Posługując się programem SPARKvue odczytaj okres modulacji, korzystając ze wskazówki zawartej na poniższym rysunku. Odczytaj czas na osi poziomej w przedziale zaznaczonym przez ramkę.



Rys. 2. Okres modulacji zaznaczony za pomocą ramki

Wyznacz częstotliwość fali nośnej  $f_{\text{noś}}$  mierząc czas pomiędzy kolejnymi maksimami fali dźwiękowej.

Przekształć wzór (7) i oblicz częstotliwość  $f_1$  i  $f_2$ .

## Dyskusja wyników i wnioski

1. Częstotliwość drgań widełek kamertonu z dodatkowym metalowym elementem zależy od miejsca jego przymocowania.
2. Im wyżej przymocowana jest dodatkowy metalowy element do widełek kamertonu, tym niższa jest częstotliwość wytwarzanych drgań.
3. Częstotliwość modulacji i częstotliwość fali nośnej zależą od różnicy częstotliwości kamertonów, czyli od miejsca przyłączenia dodatkowego elementu do widełek jednego z kamertonów.
4. Częstotliwość drgań kamertonu zależy również 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. G. Karwasz, Komputer w szkolnym laboratorium fizycznym, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
2. G. Karwasz, M. Więcek, Fizyka współczesna. Toruński poręcznik do fizyki, Materiały dydaktyczne Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK, Toruń, 2015.
3. G. Karwasz, M. Sadowska, K. Rochowicz, Toruński poręcznik do fizyki. Mechanika. Gimnazjum I klasa, Wyd. Naukowe UMK, Toruń, 2016.
4. H. Szydłowski, Pomiary wspomagane komputerowo, Postępy Fizyki, tom 60, zeszyt 6, 2009.
5. H. Szydłowski, Pomiary fizyczne za pomocą komputera, Wyd. UAM, Poznań 1999.

**Opracowanie – dr Andrzej Karbowski.**