

# Harmonia

*Pamiętaj, zadania domowe są po to żeby rozwiązywać je samodzielnie, a nie po to żeby uczyć się ich rozwiązań na pamięć. Do odpowiedzi zaglądamy dopiero wtedy gdy rozwiążesz zadanie.*

**Zadanie 1** Dźwięki o jakiej częstotliwości utworzą akord  $C$ -dur, jeśli częstotliwość dźwięku  $C$  wynosi  $f_C = 261.6\text{Hz}$ . A jakie dźwięki złożą się na akord  $C$ -moll.

**Zadanie 2** Które z poniższych par dźwięków są konsonansami, a które dysonansami:

$f_1[\text{Hz}]$	$f_2[\text{Hz}]$
110	137.5
110	165
110	155.6
110	220
110	207.6
110	146.6

**Zadanie 3** Skala równomiernie temperowana, dzieli oktawę na dwanaście dźwięków, w taki sposób, że stosunek częstotliwości dwóch kolejnych dźwięków do siebie wynosi zawsze  $\sqrt[12]{2} \approx 1.05946$  (to nie pomyłka, pierwiastek 12 stopnia z dwóch). Oznacza to, że jeśli przesuniemy się o  $n$  dźwięków w skali (mówimy, że przesuwamy się o  $n$  półtonów) stosunek dźwięku wyższego do niższego będzie wynosił  $(\sqrt[12]{2})^n$ .

- O ile półtonów muszą być odległe dźwięki w skali temperowanej, żeby utworzyły odległość oktawy?
- O ile półtonów muszą być odległe dźwięki, aby stosunek ich częstotliwości wynosił  $\sqrt{2}$  (taki stosunek nazywamy trytonem, jest to silny dysonans)?
- Czy w skali temperowanej da się zagrać idealną kwintę – czyli dwa dźwięki, których stosunek wynosi  $2/3$ ? Jeśli tak podaj odległość w półtonach, jeśli nie podaj odległość w półtonach dającą najlepsze przybliżenie kwinty, porównaj jakie są różnice.

**Zadanie 4** Poza instrumentami strunowymi, istnieją instrumenty w których dźwięk wytwarza drgający słup powietrza, np. trąbka, saksofon, fletnia andyjska, itp. . . . Rozważmy rurkę fletni andyjskiej (patrz rysunek) która od góry jest otwarta, a od dołu zamknięta.



W takiej rurce drganie podstawowe ma jeden węzeł przy zamkniętej części rurki (tam powietrze nie może drgać) i jedna strzałka u otwartego wylotu rurki.

- Jeśli długość rurki wynosi  $10\text{cm}$ , jaka będzie długość fali odpowiadająca drganiu podstawowemu?
- ... a jaka pierwszej harmonicznej? (uważaj pamiętaj, że u otwartego końca jest zawsze strzałka a u zamkniętego węzeł)
- Jaką częstotliwość będzie miał dźwięk wydobywający się z rurki o długości  $10\text{cm}$ ? Przyjmij, że prędkość dźwięku w powietrzu wynosi  $v = 340\text{m/s}$
- Jaką długość powinna mieć rurka, aby wydawała dźwięk o takiej samej częstotliwości co kamerton:  $440\text{Hz}$ ?
- Zastanów co by się zmieniło, gdyby rurka była z obu stron otwarta?

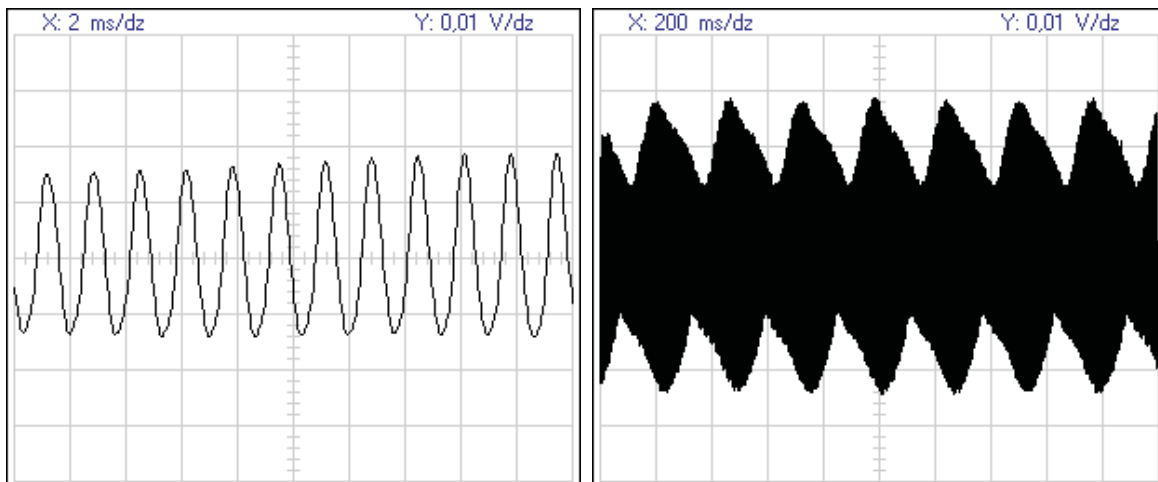
**Zadanie 5** Jakiej długości powinny być 3 rurki fletni andyjskiej, aby grając na nich jednocześnie uzyskać akord A-Dur, rozpoczynający się od dźwięku A o częstotliwości  $440\text{Hz}$ .

**Zadanie 6** Często się zdarza, że podczas pisania na tablicy nową kredą słyszemy bardzo nieprzyjemny pisk (często jest to dźwięk powyżej  $10000\text{Hz}$ ). Okazuje się, że jeśli w takiej sytuacji złamiemy kredę na pół przestajemy słyszeć pisk. Czy potrafisz to wyjaśnić?

**Zadanie 7** Zmierzono, że natężenie dźwięku w odległości  $10\text{m}$  od krzyżącego dziecka wynosi  $10^{-6}\text{W/m}^2$ .

- Ile wynosi głośność dźwięku w decybelach?
- Gdyby z tej samej odległości krzyżowało 100 dzieci jaka byłaby głośność?
- Gdyby uciec na odległość  $100\text{m}$  od nich jak zmalałaby głośność (zakładamy, że dźwięk krzyżących dzieci rozchodzi się równomiernie we wszystkich kierunkach).

**Zadanie 8** Poniżej przedstawiony jest przebieg sygnału zarejestrowany przez mikrofon. Ten sam sygnał przedstawiony jest na dwóch wykresach w różnych skalach czasu:  $2\text{ms}/\text{podziałkę}$  i  $200\text{ms}/\text{podziałkę}$ . Zarejestrowanie dźwięków o jakiej częstotliwości mogło spowodować powstanie takiego przebiegu? Postaraj się podać odpowiedź ilościową i możliwie dokładną.



**Zadanie 9** Stojąc w środku kotliny z rozpaczy krzyknąłeś. Usłyszałeś echo po  $3\text{s}$ . Jak daleko jest do ścian kotliny?

**Zadanie 10** Badano interferencję dźwięku wysyłanego przez dwa głośniki. Na początku każdy z głośników wysyłał dźwięk o częstotliwości  $1000\text{Hz}$ . W pewnym punkcie  $A$  zachodziła interferencja konstruktywna (było bardzo głośno), a w innym punkcie  $B$  destruktywna (nic nie było słychać).

- a) Czy możesz przewidzieć co będzie słychać w punktach  $A$  i  $B$  jeśli zmienimy częstotliwość emitowanego dźwięku z głośników na  $2000\text{Hz}$ ?
- b) A co jeśli zmniejszymy częstotliwość do  $500\text{Hz}$ ?

## Odpowiedzi

**Zadanie 1** C-Dur:  $261.6Hz$ ,  $327Hz$ ,  $392.4Hz$ ; C-mol:  $261.6Hz$ ,  $313.9$ ,  $392.4Hz$

**Zadanie 2** tercja wielka (konsonans), kwinta (konsonans), dysonans, oktawa (konsonans), dysonans, kwarta (konsonans)

**Zadanie 3** o 12 półtonów; o 6 półtonów; Nie. Najlepsze przybliżenie gdy dźwięki oddalone są o 7 półtonów  $f_1/f_2 = 0.66742$  (zamiast idealnych  $0.6666(6)$ ).

**Zadanie 4**  $\lambda = 40cm$ ;  $\lambda = 4/3 * 10cm = 13.3(3)cm$ ;  $f = 850Hz$ ;  $L = 19.3cm$ ; częstotliwość drgania podstawowego wzrosłaby dwukrotnie

**Zadanie 5**  $L_1 = 19.3cm$ ,  $L_2 = 15.44cm$ ,  $L_3 = 12.87cm$

**Zadanie 6** Po złamaniu kredy na pół częstotliwość podstawowa drgań kredy rośnie dwukrotnie i częstotliwość dźwięku jest większa niż  $20000Hz$ . W związku z tym nie jest słyszalna dla człowieka.

**Zadanie 7**  $60dB$ ;  $80dB$ ; zmalałaby z powrotem do  $60dB$

**Zadanie 8** Sygnał powstał z nałożenia się na siebie dwóch dźwięków o  $f_1 \approx f_2 = 600Hz$ , przy czym  $f_1 - f_2 \approx 4Hz$

**Zadanie 9** około  $2km$

**Zadanie 10** a) zarówno w  $A$  jak i w  $B$  zajdzie interferencja konstruktywna; b) w punkcie  $A$  nie można przewidzieć, albo będzie interferencja konstruktywna albo destruktywna w zależności od parzystości  $k$ . W punkcie  $B$  nie zajdzie ani interferencja w pełni konstruktywna ani w pełni destruktywna, dźwięk będzie słyszalny.