



Badanie roli pudła rezonansowego za pomocą konsoli pomiarowej CoachLab II

Bogdan Bogacz

*Pracownia Technicznych Środków Nauczania
Zakład Metodyki Nauczania i Metodologii Fizyki
Instytut Fizyki UJ*

W jakim celu wyposaża się instrumenty muzyczne (gitara, skrzypce) w pudło rezonansowe?

Można to zobaczyć na przykładzie kamertonu (widełek stroikowych). Same widełki stroikowe słychać bardzo słabo, natomiast umieszczone na pudle rezonansowym dźwięczą głośno. Wystarczy tylko zasłonić otwór pudła rezonansowego, żeby zaobserwować znaczne obniżenie natężenia dźwięku. Więc to właśnie pudło rezonansowe jest głównym emiterym fali dźwiękowej.

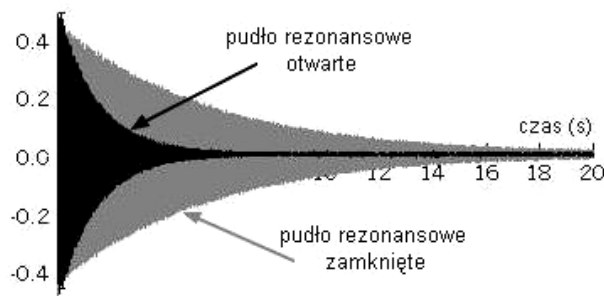
Pozostają pytania skąd bierze się energia konieczna do tego, żeby natężenie dźwięku było większe i dlaczego widełki stroikowe, czy też drgająca struna są słabymi emiterymi fal dźwiękowych?

Żeby przyjrzeć się roli pudła rezonansowego i odpowiedzieć na postawione pytania wykorzystany został system komputerowy wspomagający demonstracje fizyczne. Tego typu systemy komputerowe, najlepiej połączone z rzutnikiem multimedialnym, pełnią rolę uniwersalnych przyrządów pomiarowych i dają olbrzymie możliwości prezentacji zjawisk fizycznych [1]. W Pracowni Technicznych Środków Nauczania studenci sekcji nauczycielskiej fizyki zapoznają się z możliwościami wykorzystywania

tych systemów w nauczaniu fizyki. Do przeprowadzonej rejestracji fali dźwiękowej użyto mikrofonu, konsoli pomiarowej CoachLab II (rys. 1) i komputera wyposażonego w program Coach 5 [2]. Zarejestrowano falę dźwiękową emitowaną przez widełki stroikowe (440 Hz) umieszczone na pudle rezonansowym otwartym i zamkniętym (rys. 2).



Rys. 1. Kamerton na pudle rezonansowym, mikrofon i konsola pomiarowa CoachLab II



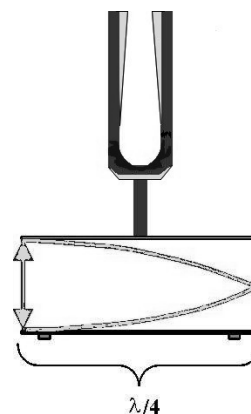
Rys. 2. Fala dźwiękowa zarejestrowana dla kamertonu z zamkniętym i otwartym pudłem rezonansowym. (Ażeby początkowe amplitudy fal w obu przypadkach były zbliżone to dla otwartego pudła rezonansowego mikrofon został umieszczony w większej odległości od kamertonu).

Amplituda fali dźwiękowej zarejestrowanej dla kamertonu z otwartym pudłem rezonansowym maleje z czasem szybciej niż dla pudła zamkniętego. Świadczy to o tym, że drgania kamertonu umieszczonego na otwartym pudle rezonansowym są silniej tłumione, trwają krócej, a energia układu jest szybciej zamieniana na energię emitowanej fali dźwiękowej. Określona energia drgań widełek stroikowych zostaje wyemitowana w postaci fali dźwiękowej w czasie krótszym w porównaniu z czasem drgań i emisji fal dla pudła z zasłoniętym otworem. Stąd dla otwartego pudła większa amplituda fali dźwiękowej i tym samym większe, proporcjonalne do kwadratu amplitudy fali, natężenie dźwięku. Dodatkowa energia emitowana w zadanym przedziale czasu, związana z większym natężeniem dźwięku jest więc uzyskiwana kosztem skrócenia czasu trwania dźwięku (rys. 2).

Widelki stroikowe i pudło rezonansowe tworzą rezonansowy układ sprzężony (rys. 3). Rozmiary pudła są tak dobrane, żeby mogła w nim powstać fala stojąca o częstotliwości podstawowej. Oznacza to, że w pudle musi się mieścić ćwiartka długości fali. Przyjmując, że szybkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu wynosi $v = 340$ m/s, dla kamertonu o częstotliwości $f = 440$ Hz otrzymujemy:

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{1}{4} \frac{v}{f} = \frac{1}{4} \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{440 \text{ Hz}} \approx 19 \text{ cm} .$$

Rys. 3. Rezonansowy układ sprzężony tworzony przez widelki stroikowe i słup powietrza w pudle rezonansowym. Sposób (mod) drgań widełek stroikowych został zaznaczony jaśniejszym odcieniem



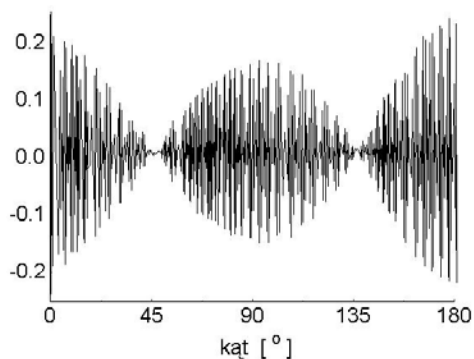
Zaobserwowano, że same widełki stroikowe są bardzo słabym emiterym fali dźwiękowej, powoli oddają energię fali dźwiękowej, a w konsekwencji ich drgania są bardzo słabo tłumione. Pudło rezonansowe przeciwnie, jest dobrym emiterym fali dźwiękowej, powstające w nim drgania są silnie tłumione. Fala jest emitowana przez pudło rezonansowe dzięki energii dostarczanej z widełek stroikowych. Właściwości pudła rezonansowego i sprzężenia z widełkami stroikowymi decydują o tym, jak szybko energia drgań widełek stroikowych jest zamieniana na energię fali dźwiękowej, a więc jakie jest natężenie dźwięku i jak szybko są tłumione drgania układu rezonansowego kamerton – pudło.

Pozostaje pytanie, dlaczego widełki stroikowe (drgająca struna) są słabym emiterym fal dźwiękowych?

W znalezieniu odpowiedzi pomoże obserwacja rozkładu przestrzennego amplitudy fal dźwiękowych emitowanych przez widełki stroikowe. Wystarczy pobudzić je do drgań i trzymając przy uchu obracać wokół podłużnej osi, żeby zaobserwować cztery wyraźne wyciszenia przy obrocie o kąt pełny. Użycie czujnika obrotu (rys. 4) pozwoliło zarejestrować zmiany amplitudy fali dźwiękowej w funkcji kąta ustawienia widełek (rys. 5). Dla pewnych ustawień widoczne jest niemal całkowite wygaszenie dźwięku. Ta obserwacja sugeruje, że mamy do czynienia z interferencją fal dźwiękowych. Poruszające się ramię kamertonu (struna) wytwarza z jednej strony zagęszczenie, a z drugiej, w tym samym momencie, rozrzedzenie powietrza [3]. Wytwarza więc dwie fale o przeciwnych fazach, emitowane z punktów przesuniętych o grubość ramienia kamertonu. Dla wykonanych pomiarów rozsunięcie położenia źródeł fal wynosiło 0,6 cm przy długości emitowanej fali 77 cm. Takie fale bardzo silnie się wygaszają, a w kierunku prostopadłym do ruchu ramienia wygaszają się całkowicie.

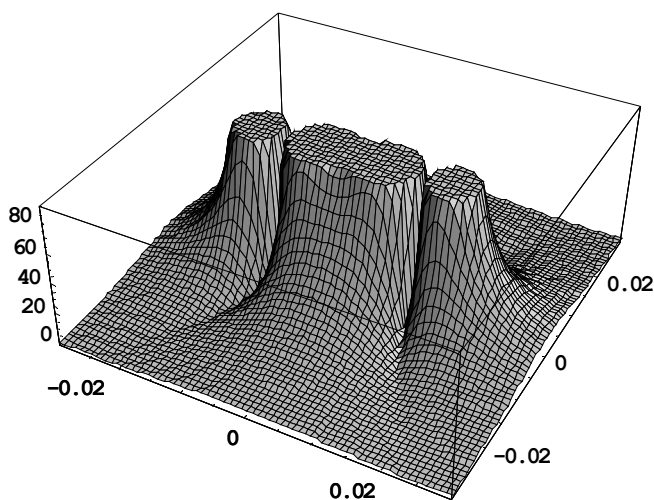


Rys. 4. Stanowisko do pomiaru dźwięku w funkcji kąta ustawienia widełek stroikowych



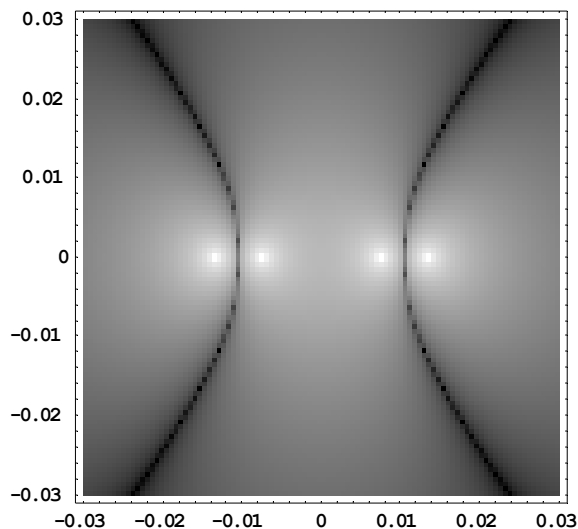
Rys. 5. Fala dźwiękowa w funkcji kąta ustawienia widełek stroikowych

Do obliczenia amplitudy fali dźwiękowej na płaszczyźnie prostopadłej do osi długiej widełek stroikowych wykorzystany został program Mathematica. Obraz interferencji fal, uzyskano przy założeniu, że każda ze stron obu ramion kamertonu jest punktowym źródłem kołowej fali harmoniczej. Amplituda fali dźwiękowej (a więc również natężenie dźwięku) bardzo silnie maleje wraz ze wzrostem odległości od widełek stroikowych (rys. 6). To interferencyjne wygaszanie fal jest odpowiedzialne za to, że widełki stroikowe (struna) są tak słabym emiterem fal dźwiękowych.



Rys. 6. Obliczona zależność amplitudy fali dźwiękowej od położenia (w metrach) na płaszczyźnie prostopadłej do osi długiej widełek stroikowych

W celu wyraźnego pokazania miejsc, w których następuje całkowite wygaszenie dźwięku, wielkość amplitudy fali dźwiękowej przedstawiono w skali logarytmicznej (rys. 7). Miejsca wygaszania dźwięku układają się wzdłuż ramion hiperboli.



Rys. 7. Obliczona zależność logarytmu amplitudy fali dźwiękowej od położenia (w metrach) na płaszczyźnie prostopadłej do osi długiej widełek stroikowych. Najjaśniejsze obszary odpowiadają największej amplitudzie fali (cztery punktowe źródła fali). Czarne obszary pokazują miejsca niemal całkowitego wygaszania fali

Zestaw komputerowy wspomagający demonstracje fizyczne pozwolił łatwo zaobserwować zjawisko interferencyjnego wygaszania fali dźwiękowych emitowanych przez widełki stroikowe i zrozumieć rolę, jaką pełni pudło rezonansowe.

Literatura

- [1] H. Szydłowski, *Mikrokomputer w doświadczeniach fizycznych*, UAM, Poznań 1993.
- [2] V. Dorenbos, E. Mioduszewska, *Guide to Coach 5*, 2001 Foundation CMA/AMSTEL Institute, Universiteit van Amsterdam.
- [3] Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna cz. 1*, PWN, Warszawa 1972, s. 621.