

XLV OLIMPIADA FIZYCZNA (1995/1996). Stopień I, zadanie doświadczalne – D2

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

Andrzej Wysmołek – sekretarz naukowy do zad. dośw., IFD UW;

Włodzimierz Ungier, Andrzej Wysmołek: *Fizyka w Szkole* nr 3, 1996.

Nazwa zadania: Wyznaczanie zależności między długością płytki a częstotliwością tonu podstawowego.

Działy: Akustyka

Słowa kluczowe: częstotliwość, częstota, drgania, ton, dźwięk, oscyloskop, generator, mikrofon, cymbałki, płytka, struna, słuchawka, mikrofon, elektromagnes.

Zadanie doświadczalne – D2, zawody I stopnia, XLV OF.

Masz do dyspozycji komplet prostokątnych, metalowych płytek o tej samej grubości i długości kilka razy większej od szerokości, wykonanych z tego samego materiału (np. cymbałki) oraz jeden z zestawów przyrządów opisanych poniżej.

Zestaw I

- mikrofon lub słuchawka telefoniczna (z membraną lub bez),
- statyw z uchwytem do zamocowania mikrofonu (słuchawki),
- oscyloskop,
- pałeczka do uderzania w płytki,
- papier milimetry lub logarytmiczny,
- linijka,
- przewody do połączeń elektrycznych,
- kawałki korka jako podpórki do płytek.

Zestaw II

Płytki w tym zestawie powinny być wykonane z metalu ferromagnetycznego.

- wykalibrowany generator drgań sinusoidalnych (dla częstotliwości akustycznych),
- wkładka do słuchawki telefonicznej bez membrany (elektromagnes),
- statyw z uchwytem do zamocowania słuchawki,
- linijka,
- papier milimetry lub logarytmiczny,
- przewody do połączeń elektrycznych,
- kawałki korka jako podpórki do płytek.

Zakładając, że zależność między długością płytki L a częstotliwością tonu podstawowego f ma postać

$$f = \frac{A}{L^\alpha}$$

wyznacz wartość wykładnika α .

Uwagi

1. W przypadku użycia cymbałków nie jest konieczne używanie kawałków korka jako podpórki do płytek.
2. W celu zestrojenia cymbałków, producenci nawiercają płytki wchodzące w skład instrumentu. Przy wykonywaniu doświadczenia należy założyć, że zmiany częstotliwości tonu podstawowego wywołane nawierceniem są pomijalnie małe, w porównaniu z częstotliwością podstawową drgań płytki bez nawierceń.

Rozwiązanie

Część doświadczalna

Rozwiązanie zadania polega na znalezieniu związku pomiędzy częstotliwością podstawową drgania płytki f a jej długością L . Z pomiarem długości nie ma większego problemu, gdyż można to zrobić za pomocą linijki. Większe trudności następuje pomiar częstotliwości podstawowej drgań płytek. Metoda pomiaru częstotliwości drgań płytek zależy od wyboru zestawu przyrządów pomiarowych.

W przypadku wyboru *zestawu I* zawodnik musi zmontować układ, w którym dźwięk emitowany przez wzbudzone do drgań płytki, rejestrowany jest przez mikrofon (słuchawkę telefoniczną z membraną) połączony z wejściem oscyloskopu. Gdy badane płytki wykonane są ze stali, jako przetwornik akustyczny można użyć słuchawkę bez membrany (cewka z rdzeniem). Zbliżając ją na odległość kilku milimetrów od badanej płytki można rejestrować zmiany indukcyjności słuchawki wywołane drganiami płytki. Rozwiązanie takie ma tę zaletę, że do oscyloskopu nie wchodzi szumy akustyczne z otoczenia. Jego wadą jest to, że zbytne zbliżenie słuchawki do badanej płytki (w celu zwiększenia sygnału) powoduje "sklejanie" płytki i rdzenia słuchawki. Dlatego w tej wersji pomiarów płytki powinny być stosunkowo ciężkie. Użyte do eksperymentu cymbały dziecięce spełniały ten warunek. Po uderzeniu płytki pałeczką sygnał na oscyloskopie widać było przez około sekundę przy zakresie 10 mV/cm. Niepewność pomiarową okresu drgań przyjęto najmniejszą działkę na skali oscyloskopu. Wyniki pomiarów przedstawione są w tabeli.

Dźwięk	Okres drgań – T ms	Długość płytki – L mm
G	$1,28 \pm 0,04$	115 ± 1
A	$1,12 \pm 0,04$	109 ± 1
H	$1,00 \pm 0,04$	103 ± 1
C	$0,96 \pm 0,04$	100 ± 1
D	$0,84 \pm 0,02$	94 ± 1
E	$0,76 \pm 0,02$	89 ± 1
F	$0,70 \pm 0,02$	87 ± 1
G	$0,64 \pm 0,02$	81 ± 1
A	$0,56 \pm 0,02$	76 ± 1
H	$0,50 \pm 0,02$	72 ± 1

Część teoretyczna

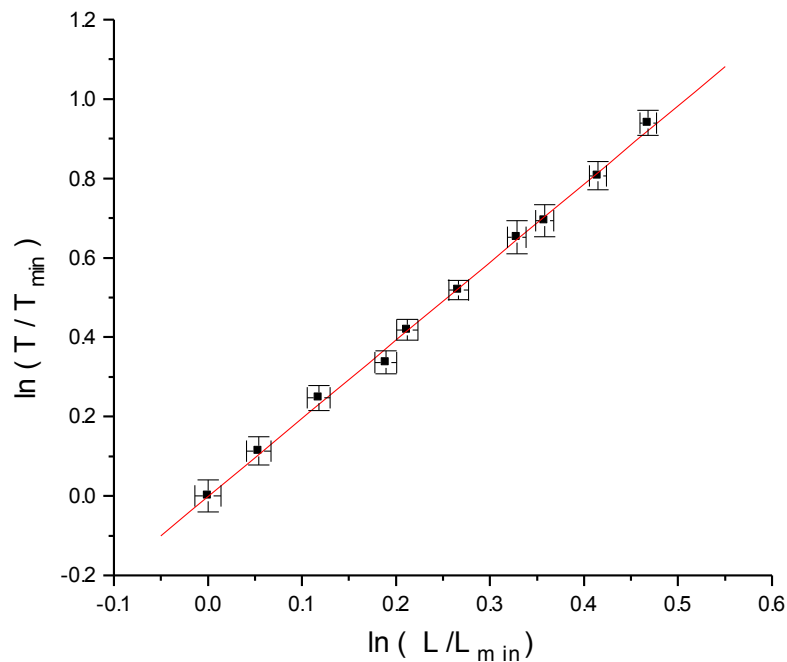
Przekształcając wzór podany w treści zadania oczekujemy zależności

$$T = \frac{1}{A} L^\alpha \quad (1)$$

skąd dostajemy

$$\ln\left(\frac{T}{T_{\min}}\right) = \alpha \ln\left(\frac{L}{L_{\min}}\right), \quad (2)$$

gdzie T_{\min} i L_{\min} oznaczają najmniejsze zmierzone wartości. Na rysunku 1 przedstawiono we współrzędnych logarytmicznych zmierzone wartości T i L . Widać, że zależność (2) bardzo dobrze opisuje wynik doświadczenia. Dopasowanie prostej daje wartość współczynnika $\alpha = 1,97 \pm 0,04$.



Przy wyborze drugiego zestawu przyrządów pomiarowych, wyznaczenie częstości podstawowej drgań płytek polega na wzbudzeniu w niej drgań za pomocą słuchawki telefonicznej bez membrany, użytej jako elektromagnesu. W tym celu słuchawkę zasilaną z generatora drgań sinusoidalnych należy zamocować w niewielkiej odległości od badanej płytki i znaleźć częstotliwość, przy której płytka wzbudza się wydając głośny dźwięk. Uzyskane tą metodą wyniki pokrywają się z wynikami pomiarów częstotliwości rezonansowej przeprowadzonej przy użyciu pierwszego zestawu przyrządów.

Otrzymany wynik jest dość zaskakujący, gdyż w wielu znanych przypadkach (takich jak drgający słup powietrza czy struna) mamy do czynienia nie z kwadratową, lecz z liniową zależnością częstości własnych od odwrotności długości układu akustycznego. Nie jest to jednak pomyłka. Okazuje się bowiem, iż dla sprężystej, ale jednocześnie dość sztywnej, cienkiej płytki o długości znacznie mniejszej od szerokości, częstość podstawowa drgań poprzecznych jest odwrotnie proporcjonalna do drugiej potęgi długości płytki. Ma to ciekawe konsekwencje praktyczne. Otóż, by uzyskać szeroki zakres dostępnych dźwięków wystarczy użyć szeregu sztabek o stosunkowo mało różniących się długościach. Dwukrotnie zwiększenie długości płytki odpowiada bowiem czterokrotnemu zmniejszeniu częstości jej drgania podstawowego.