LII OLIMPIADA FIZYCZNA

ZADANIA ZAWODÓW II STOPNIA
CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Źródła:
– Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
– Andrzej Wysmołek, sekretarz naukowy ds. zad. dośw. KGOF, IFD UW;
– *Fizyka w szkole* nr 3, 2003;
– T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

ZADANIE D

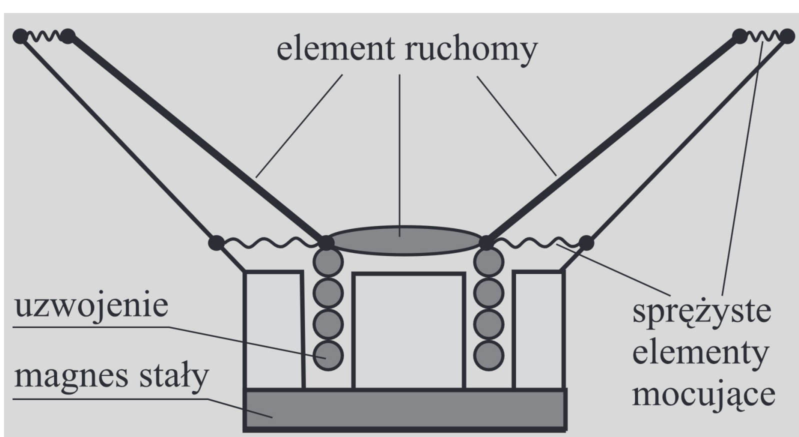
Element ruchomy głośnika można traktować jako ciało sztywne, o pewnej masie, przymocowane sprężynie do obudowy głośnika. Element ten może wykonywać drgania harmoniczne.

Masz do dyspozycji:

- głośnik,
- generator napięcia sinusoidalnego o regulowanej częstotliwości,
- woltomierz napięcia zmiennego,
- trzy monety 50 gr o masie 3,95 g każda,
- monetę 2 zł,
- kawałki dwustronnej taśmy klejącej o gęstości powierzchniowej 0,01 g/cm^2,
- papier milimetrowy,
- przewody elektryczne umożliwiające zestawienie układu doświadczalnego.

1) Wyznacz masę monety 2 zł.
2) Wyznacz masę elementu ruchomego głośnika.

Wskazówka: Połącz głośnik z generatorem i wyznacz częstotliwość, dla której napięcie zmienne mierzone na głośniku osiąga maksymalną wartość. Przyjmij, że częstotliwość ta odpowiada częstotliwości drgań własnych elementu ruchomego głośnika.

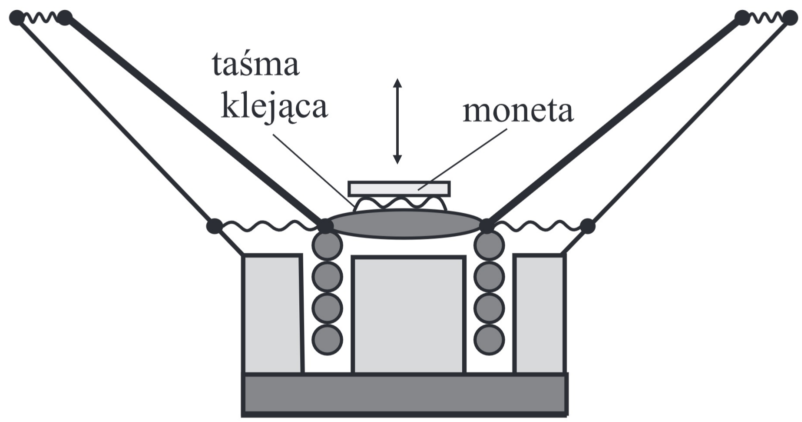


Rysunek 1: Schemat budowy głośnika.

Rozwiązanie

Część teoretyczna

Pomysł rozwiązania zadania opiera się na założeniu, że element ruchomy głośnika zachowuje się jak oscylator harmoniczny.



Rysunek 2: Element ruchomy głośnika obciążony monetą.

Częstotliwość drgań własnych tego oscylatora zależy od masy m_0 elementu ruchomego głośnika oraz sprężystości jego zamocowania:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m_0}},$$

gdzie k – efektywny współczynnik sprężystości. Jeśli element ruchomy obciążyć monetą o masie m (rys. 1), to częstotliwość drgań własnych wyniesie

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m_0 + m}},$$

co można przedstawić w postaci

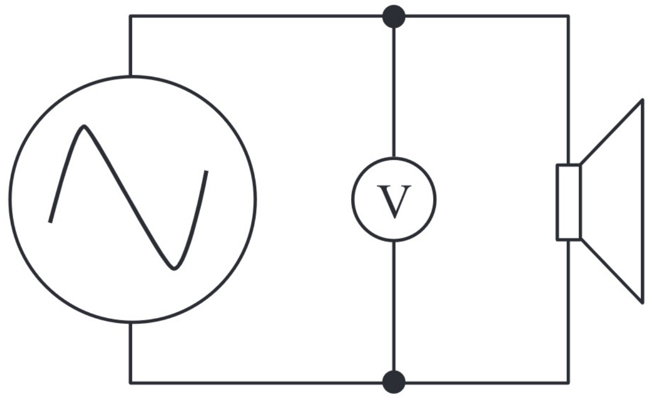
$$\frac{1}{f^2} = \frac{(2\pi)^2}{k}\,(m_0 + m).$$

Widzimy, że w przypadku, gdy efektywny współczynnik sprężystości k jest stały, kwadrat odwrotności częstotliwości rezonansowej jest funkcją liniową masy monet obciążających głośnik.

W doświadczeniu należy więc zbadać zależność częstotliwości rezonansowej głośnika od masy obciążających go monet. Dzięki temu, znając częstotliwość rezonansową odpowiadającą monecie dwuzłotowej, można będzie znaleźć jej masę. Z dopasowania prostej do danych pomiarowych można będzie wyznaczyć masę elementu ruchomego m_0.

Część doświadczalna

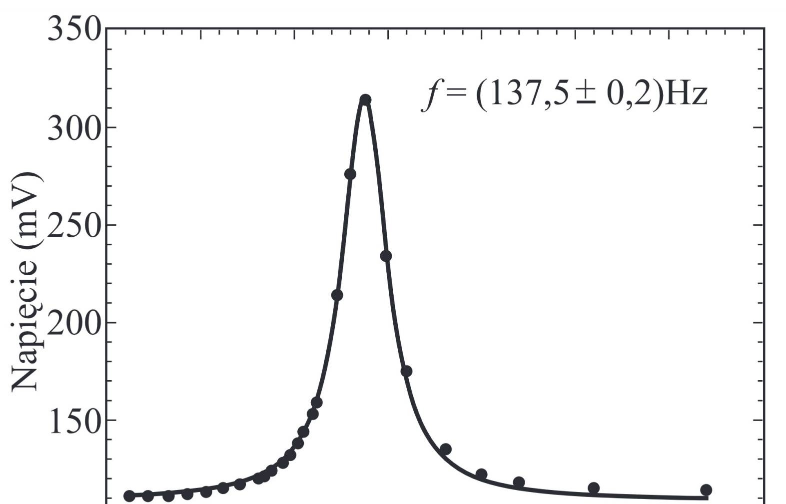
Montujemy układ elektryczny przedstawiony schematycznie na rys. 2 i wyznaczamy częstotliwość rezonansową odpowiadającą nieobciążonemu głośnikowi.



Rysunek 3: Schemat układu pomiarowego z głośnikiem i generatorem.

Można to zrobić, badając zależność napięcia na głośniku od częstotliwości odczytywanej ze skali generatora. Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 3. Wykonanie takich pomiarów nie było wymagane od zawodników, daje ono jednak informację o dokładności, z jaką można wyznaczyć wartość częstotliwości rezonansowej. Zawodnicy mogli po prostu odczytać ze skali generatora częstotliwość odpowiadającą maksymalnemu napięciu na głośniku. Kilkakrotne powtórzenie pomiaru pozwala wyznaczyć jej wartość średnią oraz błąd pomiarowy. Wyznaczona taką metodą częstotliwość rezonansowa dla nieobciążonego głośnika wyniosła

$$f_0 = (137 \pm 2)\ \text{Hz}.$$



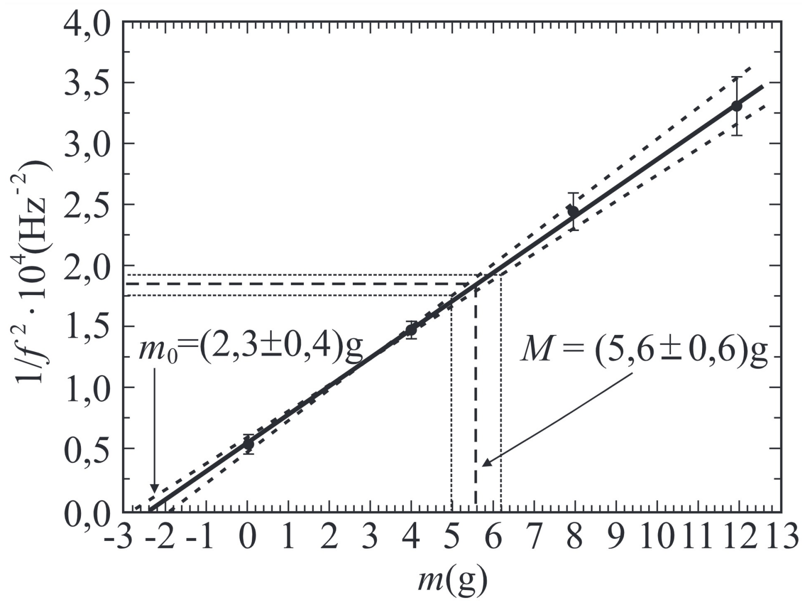
Rysunek 4: Przykładowa zależność napięcia na głośniku od częstotliwości.

Następnie wykonujemy podobne pomiary dla głośnika obciążonego różną liczbą monet 50 gr oraz monetą 2 zł, przyklejonymi dwustronną taśmą klejącą do elementu ruchomego. Masę taśmy można wyznaczyć, znając gęstość powierzchniową oraz wymiary użytych kawałków taśmy (można do tego celu wykorzystać papier milimetrowy). Ta dodatkowa masa jest jednak niewielka. Do przyklejenia monety wystarcza kawałek taśmy o wymiarach 2×2 cm, co przy jej gęstości powierzchniowej 0,01 g/cm^2 odpowiada masie 0,04 g.

Korzystając z wyników pomiarów uzyskanych dla monet 50 gr sporządzono wykres zależności odwrotności częstotliwości rezonansowej od masy monet obciążających głośnik. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 4. Niepewność pomiarową wartości $1/f^2$ wyznaczono metodą różniczki zupełnej:

$$\Delta\left(\frac{1}{f^2}\right) = \frac{2}{f^2}\frac{\Delta f}{f},$$

gdzie Δf – niepewność wyznaczenia częstotliwości rezonansowej.



Rysunek 5: Zależność $1/f^2$ od masy monet obciążających głośnik.

Prostą dopasowaną metodą najmniejszych kwadratów do punktów doświadczalnych odczytujemy masę monety 2 zł:

$$m_d = (5{,}6 \pm 0{,}6)\ \text{g}.$$

Szacując niepewność pomiarową, należy uwzględnić nie tylko błąd wyznaczenia wartości $1/f^2$ odpowiadającej monecie 2 zł, ale również niepewność dopasowania prostej przedstawionej na rys. 4. Poprawka 0,04 g wynikająca z masy taśmy klejącej jest niewielka i można ją pominąć w porównaniu z błędem odczytu masy z wykresu.

Ekstrapolując otrzymaną zależność liniową do granicy $1/f^2 \to 0$, z wykresu przedstawionego na rys. 4 odczytujemy masę elementu ruchomego

$$m_0 = (2{,}3 \pm 0{,}4)\ \text{g}.$$

Uzyskane masy są z dokładnością do niepewności pomiarowych równe masom wyznaczonym przy użyciu wagi, odpowiednio: 5,15 g dla monety 2 zł oraz 2,5 g dla elementu ruchomego.

Uzyskanie poprawnego wyniku końcowego zależy w dużej mierze od staranności wykonania pomiarów. Ważne jest, aby monety były dobrze przyklejone do elementu ruchomego. W przeciwnym razie mogą one wykonywać skomplikowane ruchy, uniemożliwiające zastosowanie prostych założeń przyjętych w zadaniu.