

5

BADANIE DRGAŃ TŁUMIONYCH BADANIE ZJAWISKA REZONANSU MECHANICZNEGO

1. ZAGADNIENIA TEORETYCZNE

- ruch harmoniczny prosty – parametry, równanie ruchu;
- przykłady układów drgających ruchem harmonicznym;
- ruch harmoniczny tłumiony – równanie ruchu tłumionego;
- logarytmiczny dekrement tłumienia.

2. OPIS UKŁADU POMIAROWEGO

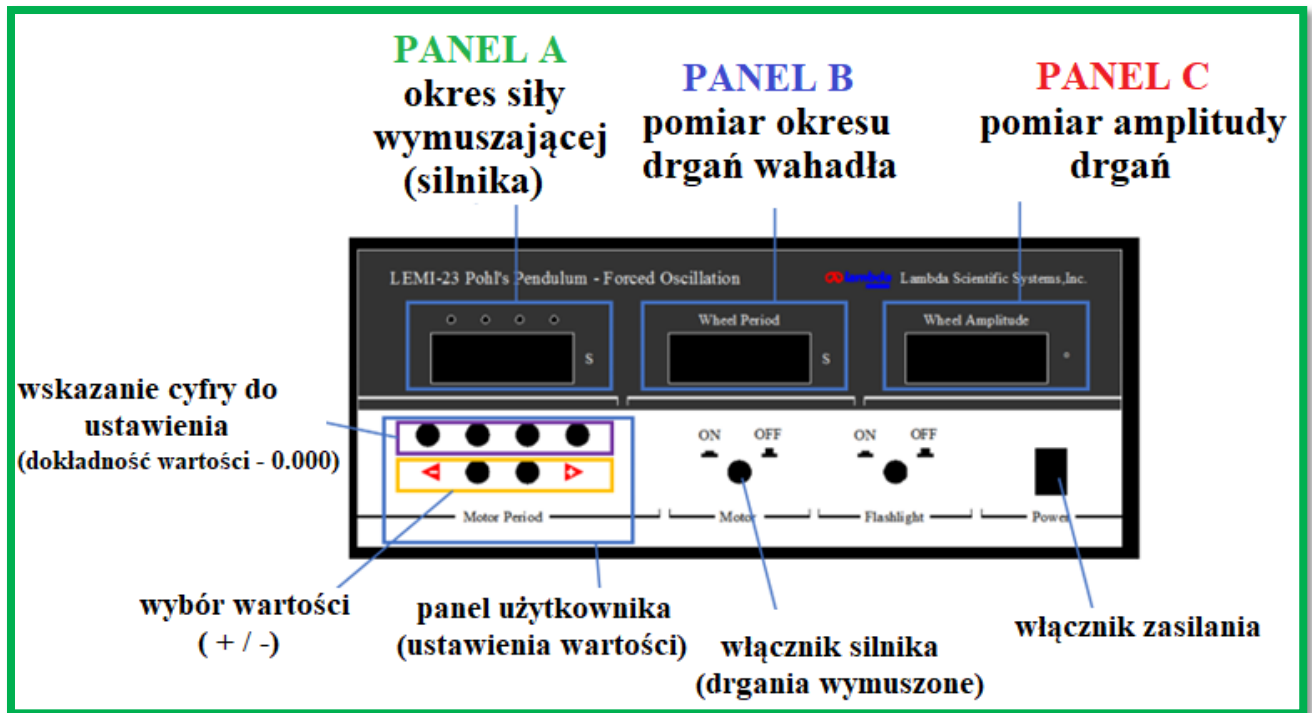
Na Rysunku 1 przedstawiono zdjęcie aparatury wykorzystywanej podczas ćwiczenia. Aparatura składa się z mechanicznej jednostki wibracyjnej oraz elektrycznego modułu sterującego.

Głównym elementem zestawu doświadczalnego jest wahadło torsyjne (wahadło Pohla) tzw. balans, czyli tarcza do której przymocowana jest spiralna sprężyna. Jeden koniec sprężyny jest połączony z wałem koła balansowego, a drugi koniec jest zamocowany na słupku zębatego. Pod wpływem siły sprężyny koło balansowe wykonuje drgania wokół swojego wału. W dolnej części stojaka znajduje się para magnesów trwałych, a koło balansowe jest umieszczone w szczelinie pomiędzy nimi. Gdy metalowe koło balansowe przecina linie pola magnetycznego, podlega elektromagnetycznej sile tłumienia (ze względu na indukujące się w kole prądy wirowe). Wielkość tłumienia może być zmieniana poprzez zmianę położenia magnesów względem koła balansowego. Koło balansowe może wykonywać drgania wymuszone, gdy jest napędzane silnikiem poprzez mimośród i korbówód.



Rys. 1. Opis aparatury pomiarowej.

Schemat panelu sterowania wraz z opisanymi elementami przedstawiono na Rysunku 2.



Rys. 2. Opis panelu sterowania.

PANEL A – wyświetlacz okresu drgań siły wymuszającej, z możliwością ustawienia wartości przez użytkownika. Górny rząd 4. przycisków służy do wyboru zmienianej cyfry (możliwość zmiany od jedności do części tysięcznej). Dwa przyciski w rzędzie poniżej służy do zwiększania lub zmniejszania wartości odpowiednich bitów miernika cyfrowego (+ / -).

PANEL B – wyświetlacz okresu drgań wahadła (koła balansowego).

PANEL C – wyświetlacz amplitudy drgań wahadła (koła balansowego)

Gdy system jest stabilny, wartości okresów drgań wymuszonych i wahadła powinny być takie same lub różnica w wyświetlanych wartościach nie powinna przekraczać 2×10^{-3} s.

2. POMIARY

Uwaga! W zadaniu 1 i 2 mierzone wartości zmieniają się dość szybko. Można nagrać pomiary a następnie zanotować wartości z odtworzonego filmu.

Zadanie 1. Pomiar częstości drgań własnych układu ω_0 .

Pomiar jest wykonywany przy wyłączonym silniku (Motor OFF).

1. Przy WYŁĄCZONEJ jednostce sterującej sprawdzić ustawienia (Rys. 2):

- praca silnika - Motor OFF,

- wskaźnik kąta jednostki wibracyjnej i koła balansowego w pozycji 0° (można to osiągnąć poprzez ręczne obrócenie pokrętła mimośrodowego silnika).
- 2. Obróć pokrętło tłumienia (Rys. 1) do najniższej pozycji (magnes w pozycji najniższej zapewni stosunkowo niewielkie tłumienie).
- 3. Włączyć zasilanie modułu sterującego (Rys. 2).
- 4. Wychylić koło balansujące o ok. 130° i puścić swobodnie.
- 5. Zanotować okresy 20 kolejnych cykli pracy wahadła (PANEL B).
- 6. Oszacować wartość okresu T_0 (z zanotowanych wartości) odpowiadający częstości drgań własnych.

Zadanie 2. Wyznaczenie współczynnika tłumienia β

Pomiar jest wykonywany przy wyłączonym silniku (Motor OFF).

1. Przy WYŁĄCZONEJ jednostce sterującej sprawdzić ustawienia (Rys. 2):
 - praca silnika - Motor OFF,
 - wskaźnik kąta jednostki wibracyjnej i koła balansowego w pozycji 0° .
2. Za pomocą pokrętła tłumienia (Rys. 1) ustawić położenie magnesu na pozycji 5 mm (wskaźnik znajduje się z prawej strony pokrętła).
3. Wychylić koło balansujące o około 130° i puścić swobodnie.
4. Zanotować amplitudy θ_i kolejnych cykli drgań w sekwencji, jednocześnie rejestrując odpowiadającą im wartość okresu T_i . Należy zmierzyć **20 kolejnych amplitud** lub prowadzić pomiar do momentu uzyskania amplitudy poniżej 10° .
5. Wykonać punkty od 2 do 5 dla położenia wskaźnika pokrętła tłumienia na pozycjach 10 mm oraz 20 mm.

Zadanie 3. Wyznaczenie krzywej rezonansowej

Uwaga! Podczas drgań wymuszonych wskaźnik położenia magnesu nie może znajdować się poniżej 17 mm. W przeciwnym razie amplituda drgań wymuszonych może przekroczyć 180° , co spowoduje uszkodzenie urządzenia.

1. Na podstawie wyznaczonej wartości okresu drgań własnych T_0 z Zadania 1, pkt.6, zaproponować zakres okresów pracy silnika (siły wymuszającej), dla którego będzie wyznaczana krzywa rezonansowa. Skonsultować ten zakres z prowadzącym.
2. Za pomocą pokrętła tłumienia ustawić położenie magnesu na pozycję wskaźnika równą 17 mm.
3. Włączyć silnik drgań wymuszających (**Motor ON**).
4. Ustawić okres drgań wymuszających silnika (PANEL A – Rys. 2) na najmniejszą wartość z ustalonego zakresu (poprzez panel użytkownika – Rys. 2).
5. Gdy wartości okresów drgań siły wymuszającej (PANEL A) i drgań wahadła (PANEL B) ustabilizują się, odczytać wartość amplitudy koła balansowego (PANEL C).
6. Zwiększyć okres drgań wymuszających poprzez panel użytkownika (Rys. 2). Po ustabilizowaniu się wartości okresu drgań koła balansowego do wartości siły wymuszającej, odczytać wartość amplitudy koła balansowego.

7. Powtarzać pkt. 6 dla coraz większych wartości okresów drgań silnika, w celu wyrysowania krzywej rezonansowej. **Uwaga! Dla wartości bliskich okresowi drgań własnych należy odpowiednio zmniejszyć krok pomiarowy, aby dobrze odwzorować krzywą tłumienia.**
8. Pomiary powtórzyć dla położenia wskaźnika pokrętła tłumienia na pozycji 20 mm.

3. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Zadanie 1. Pomiar częstotliwości drgań własnych układu

1. Obliczyć średnią wartość okresu drgań wahadła T_{sr} oraz obliczyć maksymalne odchylenie od średniej $\Delta T_{MAX} = \max(T_{max} - T_{sr}, T_{sr} - T_{min})$
2. Obliczyć wartość częstości drgań własnych ω_0 wraz z niepewnością korzystając ze instrukcji z Instrukcja ONP (wzór 15).

Zadanie 2. Wyznaczenie współczynnika tłumienia β ¹

METODA I

Dla każdego ustalonego położenia magnesu dane należy opracować w ten sam sposób.

1. Obliczyć średnią wartość okresu $T_{i\dot{s}r}$ każdego ustawienia magnesu ($i = 5 \text{ mm}, 10 \text{ mm}, 20 \text{ mm}$). Następnie wyznaczyć średni okres dla wszystkich pomiarów T_{sr} .
2. Dla każdej siły tłumiącej wyznaczyć współczynniki tłumienia β_i korzystając ze wzoru

$$5\beta_i T_{sr} = \ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}, \quad (1)$$

dla wszystkich pomiarów, dla których jest to możliwe.

3. Dla każdej siły tłumiącej wyznaczyć średnią wartość współczynnika tłumienia. Dla każdej siły tłumiącej obliczyć niepewność wyznaczenia współczynnika tłumienia zgodnie z Instrukcja ONP.

METODA II

Dla każdej siły tłumiącej na podstawie zebranych wyników amplitudy drgań θ oraz odpowiadającym im wartościom okresów T_i sporządzić wykres zależności logarytmu amplitudy $\ln\theta$ od czasu t , gdzie $t = \sum_i^n T_i$ jest czasem rejestracji i -tej amplitudy θ_i .

Z wykresu półlogarytmicznego $\ln\theta = f(t)$ odczytać wartość współczynnika kierunkowego prostej, który jest równy współczynnikowi tłumienia β . Obliczyć niepewność wyznaczenia współczynnika tłumienia na podstawie niepewności dla prostej regresji. Zapisać wynik wraz z niepewnością z zachowaniem zasady 2 cyfr znaczących.

Zadanie 3. Wyznaczenie krzywych rezonansowych

1. Na podstawie wyznaczonego zakresu okresów pracy silnika (drgania wymuszające) obliczyć odpowiadające im częstości ω .

¹ Metodę opracowania danych wskazuje prowadzący

2. Dla pierwszego ustawienia magnesu (17 mm) przedstawić charakterystykę $\theta = f(\frac{\omega}{\omega_0})$, gdzie θ to amplituda drgań rezonansowych, ω to częstość siły wymuszającej, a ω_0 to częstość drgań własnych (wyznaczona w Zadaniu 1).
3. Wykres wykonać również dla drugiego ustawienia wskaźnika (20 mm).
4. Wskazać maksima obu charakterystyk.
5. Sformułować wnioski.

4. LITERATURA

1. Henryk Szydłowski - Pracownia Fizyczna.
2. Szczepan Szczeniowski - Fizyka Doświadczalna.
3. Robert Resnick, David Halliday, Fizyka 1
4. [Samuel J. Ling, Jeff Sanny, William Moeb - Fizyka dla szkół wyższych, Tom I, OpenStax:](#)
5. Samuel J. Ling, Jeff Sanny, William Moeb - Fizyka dla szkół wyższych, Tom I,