

Ćwiczenie M4

WAHADŁO TORSYJNE – WYZNACZANIE MODUŁU SZTYWNOŚCI G METODĄ DYNAMICZNĄ

1. Cel ćwiczenia

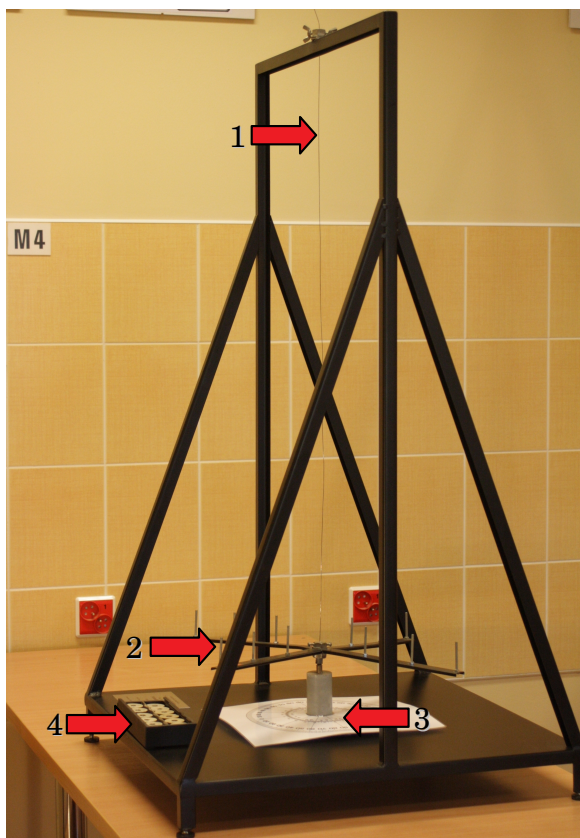
Celem ćwiczenia jest poznanie ruchu harmonicznego i jego podstawowych praw oraz wyznaczenie eksperymentalnie modułu sztywności za pomocą wahadła torsyjnego.

2. Zagadnienia do przygotowania

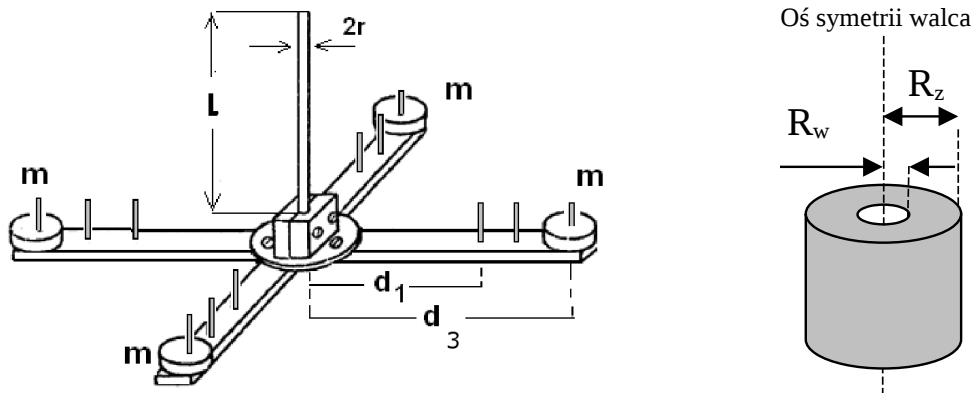
Zagadnienia do opracowania i nauczania się (**przed przystąpieniem** do wykonywania ćwiczenia):

- prawa dynamiki bryły sztywnej, moment siły, moment bezwładności, twierdzenie Steinera,
- własności sprężyste ciał, prawo Hooke'a i zakres jego stosowalności, podstawowe rodzaje odkształceń sprężystych, moduł i współczynnik sztywności,
- drgania harmoniczne proste.

3. Przyrządy pomiarowe, opis i schemat aparatury, przyjęte oznaczenia



Rysunek 1: Wahadło torsyjne (wibrator krzyżakowy): drut stalowy (1), krzyżak (2), kątomierz (3), obciążniki (4). Ponadto: stoper, przymiar do wyznaczenia długości wahadła, suwmiarka, śruba mikrometryczna



Rysunek 2: Wahadło torsyjne: przyjęte oznaczenia

4. Przebieg ćwiczenia (pomiarów)

UWAGA! Niezbędne obliczenia wykonujemy po przeprowadzeniu pomiarów!

- Za pomocą miary, pięciokrotnie wyznaczyć długość wahadła ℓ , mierzoną pomiędzy zamocowaniami (górnym i dolnym).
- Czterokrotnie wyznaczyć odległości d_i (w każdym kierunku).
- Używając śruby mikrometrycznej, w dziesięciu miejscach wyznaczyć średnicę drutu $2r$. Wyniki zapisać w Tabeli 1. Obliczyć wartości średnie.
- Posegregować obciążniki. Wybrać zestaw 12 walców o jednakowych średnicach i wysokościach. Za pomocą suwmiarki zmierzyć średnice walców (R_w , R_z). Wyniki zapisać w Tabeli 2.
- Zważyć jednocześnie wszystkie krążki i wyznaczyć średnią masę każdego z nich. Obliczyć wartości średnie mas m oraz promieni R_w i R_z . Obliczyć średni moment bezwładności jednego walca względem osi zaznaczonej na Rys. 2(a):

$$I_m = \frac{m}{2} (R_w^2 + R_z^2), \quad I_m = \dots \text{ kg} \cdot \text{mm}^2. \quad (1)$$

Dla jednego obciążnika, odległego o d_i od osi wahadła, moment bezwładności względem tej osi wynosi:

$$I_i = I_m + md_i^2. \quad (2)$$

Obliczyć odpowiednie momenty bezwładności I_i ($i = 1, 2, 3$):

- Skreślić nieobciążoną podstawkę torsyjną o niewielki kąt ($\phi < 90^\circ$) i puścić.
- Znaleźć czas t_0 odpowiadający 10 pełnym okresom T_0 wahnięć:

$$T_0 = \frac{t_0}{10}. \quad (3)$$

- Umieścić na krzyżaku zmierzone walce (symetrycznie we wszystkich kierunkach) – liczbę i miejsca umieszczenia obciążników uzgodnić z opiekunem dydaktycznym.
- Znaleźć czas t_1 odpowiadający 10 pełnym okresom T_1 wahnięć.

$$T_1 = \frac{t_1}{10}. \quad (4)$$

Czynności 4f–4i powtórzyć pięciokrotnie, dla różnych konfiguracji obciążników krzyżaka. Wyniki i konfiguracje umieścić w Tabeli 3.

5. Tabele pomiarowe i opracowanie wyników

Zebrać wyniki pomiarów w postaci:

Tablica 1: Pomiary długości, l , i średnicy drutu, $2r$, wahadła torsyjnego

	l [mm]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	$2r$ [mm]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					
Suma					

Tablica 2: Pomiar średnicy obciążników, R_w i R_z

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_w												
R_z												

Tablica 3: Pomiary drgań wahadła torsyjnego

Seria		1	2	3	4	5
Okres drgań, T_0 [s]						
Konfiguracja (liczba k_i obciążników na odległościach d_i)	$d_1 = \dots$ mm, $k_1 = \dots$					
	$d_2 = \dots$ mm, $k_2 = \dots$					
	$d_3 = \dots$ mm, $k_3 = \dots$					
Okres drgań, T_1 [s]						
Moment bezwładności obciążników I [kg·mm ²]						
Moduł sztywności G [$\frac{\text{GPa}}{\text{rd}}$]						

Dla zastosowanej konfiguracji moment bezwładności **wszystkich** obciążników wynosi:

$$I = \sum_{k,i} k_i I_i \quad (5)$$

Uzupełnić Tabelę 3 o obliczenia modułu sztywności dla każdej serii pomiarów:

$$G = \frac{8\pi I}{r^4(T_1^2 - T_0^2)}. \quad (6)$$

Obliczyć wartość średnią $G_{\text{sr}} = \dots\dots\dots$ GPa (rd⁻¹) **UWAGA NA JEDNOSTKI!**

6. Ocena wyników pomiarów

Zapis wyników z błędem wraz z jednostkami w układzie SI.

Porównanie otrzymanych wielkości fizycznych z tablicowymi.

Dyskusja popełnionych błędów systematycznych i przypadkowych.

Propozycje poprawy dokładności pomiarów.

7. Literatura

- *Podstawy fizyki*, Halliday D., Resnick R., Walker J., dowolne wydanie.
- *Pracownia fizyczna*, Szydłowski H., dowolne wydanie.
- *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, Dryński T., dowolne wydanie.