

Ćwiczenie M3

BADANIE DRGAŃ WAHADŁA SPRĘŻYNOWEGO

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest przypomnienie podstawowych praw i wielkości opisujących ruch harmoniczny, wyznaczenie współczynnika sprężystości sprężyny oraz badanie drgań wahadła sprężynowego i sprawdzenie prawa izochronizmu.

2. Zagadnienia do przygotowania

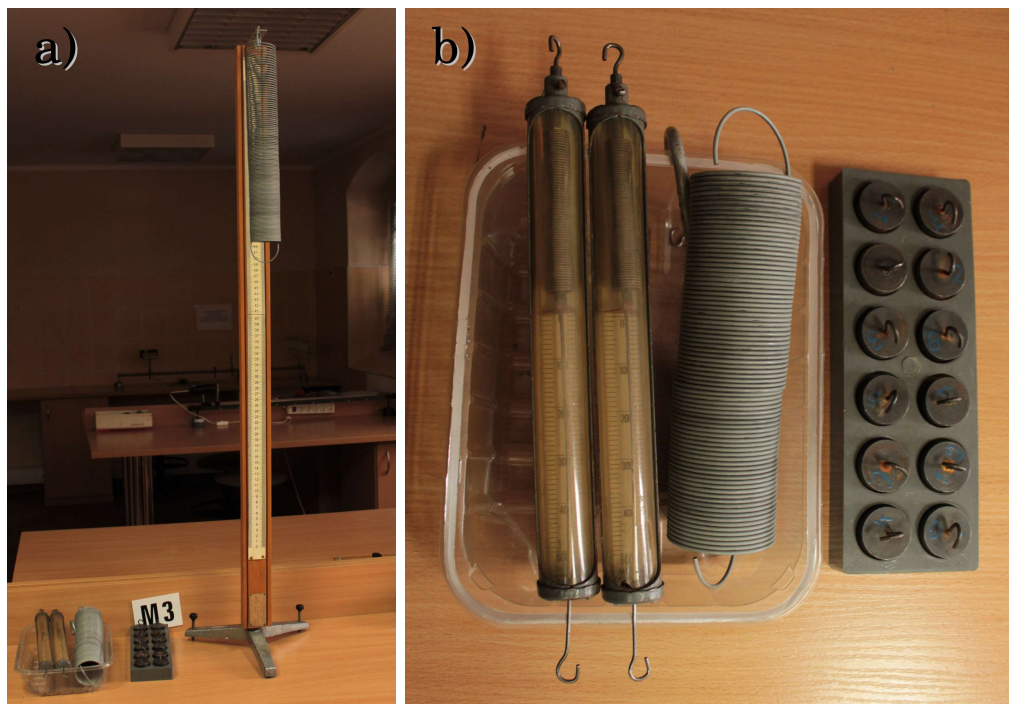
Zagadnienia do opracowania i nauczania się (**przed przystąpieniem** do wykonywania ćwiczenia):

- ruch harmoniczny i drgania harmoniczne proste,
- przykłady drgań harmonicznych,
- energia mechaniczna w ruchu harmonicznym prostym,
- prawo Hooke'a i zakres stosowalności tego prawa,
- prawo izochronizmu.

Część teoretyczna sprawozdania (opracowana **przed przystąpieniem** do części praktycznej):

- opisać udział masy sprężyny w drganiach harmonicznych wahadła.

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



Rysunek 1: Wahadło sprężynowe (a) wraz z zestawem odważników (b)

Wahadło sprężynowe składa się ze sprężyny na stojaku z zamocowanym przymiarem – Rys. 1(a). Sprężyna wyposażona jest w zaczep umożliwiający przyłączenie szalki lub ciężarków (Rys. 1(b)), których masa wpływa na okres drgań wywołanych odkształceniem sprężyny.

Zawieszona na sprężynie obciążenie znajduje się w równowadze w położeniu l_i . Wskutek swego ciężaru wywołuje ono deformację sprężyny, a siła oporu sprężystego równoważy wtedy ciężar. Zmiana obciążenia powoduje zmianę długości sprężyny: w liniowym zakresie stosowalności prawa Hooke'a:

$$\Delta F_0 = |m_i - m_j|g = -k|l_i - l_j|, \quad (1)$$

gdzie k – współczynnik sprężystości sprężyny.

O ruchu ciężarka drgającego pionowo decyduje siła oporu sprężystego – pojawia się ona, gdy obciążenie odciągniemy od położenia równowagi. Jeżeli odciągamy sprężynę ku dołowi do położenia $l_i + x$, pojawia się siła dodatkowego oporu sprężystego:

$$F = -kx \quad (2)$$

Przy czym x jest liczone od położenia równowagi l_i . Obie siły F_0 i F działają wtedy ku górze. Z chwilą gdy usuwamy siłę deformującą (odejmujemy rękę odciągającą obciążenie), siła nie jest zrównoważona i ona decyduje o ruchu wahadła.

m_s – masa sprężyny,

m_{sz} – masa szalki,

$m = m_{sz} + m_i$ – masa obciążenia,

l_i – odczyt położenia końca sprężyny,

k – współczynnik sprężystości badanej sprężyny,

A – amplituda drgań,

$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ – przyspieszenie ziemskie.

4. Przebieg ćwiczenia (pomiarów)

(a) Wyznaczanie współczynnika sprężystości sprężyny – k

- i. Wyznaczyć masę sprężyny m_s ,
- ii. W Tabeli 1 zanotować położenie sprężyny bez obciążenia l_0 (np. przykładając ekierkę do ostatniego zwoju),
- iii. Określić masę użytego obciążenia $m = m_{sz} + m_i$,
- iv. Obliczyć ciężar zawieszonyj masy,
- v. Na sprężynie zawiesić obciążenie, które spowoduje wydłużenie sprężyny z l_0 do wartości l_i – odczytać położenie sprężyny,
- vi. Zmienić obciążenie, powtórzyć podpunkty 4(a)iii–4(a)v.

Przedstawić graficznie zależność położenia wskaźnika l od ciężaru obciążenia F . Znaleźć obszar zależności liniowej i wyznaczyć graficznie współczynnik kierunkowy prostej dopasowania. Jest to szukany współczynnik sprężystości k sprężyny (wzór (2))

(b) Sprawdzenie prawa izochronizmu

- i. Na sprężynie zawiesić obciążenie m , którego ciężar spowoduje wydłużenie sprężyny do położenia l_i .
- ii. Odciągnąć sprężynę z przyjętym obciążeniem o wydłużenie (amplitudę) A_j .

Tablica 1: Wyznaczanie współczynnika sprężystości sprężyny – k . Masa sprężyny = kg, masa szalki = kg

l_i	Obciążenie		Położenie wskaźnika, l	
	masa, $m = m_{sz} + m_i$	ciężar, $F = mg$	Obciążenie rosnące	Obciążenie malejące
l_0				
l_{sz}				
l_1				
l_2				
l_3				
...				
...				
...				

- iii. Dla wybranej amplitudy A_j zmierzyć czas t_j 20 pełnych drgań wahadła.
UWAGA! Dla poprawnego pomiaru należy tak dobierać obciążenie i amplitudę drgań, aby koniec sprężyny nie przekraczał zmierzonego zakresu obszaru opisywanego prawem Hooke'a.
- iv. Pomiar 4(b)ii–4(b)iii powtórzyć pięciokrotnie dla różnych amplitud A_j .
- v. Wyniki pomiarów zapisać w Tabeli 2.

Tablica 2: Sprawdzenie prawa izochronizmu. Masa obciążenia $m = \dots\dots$ kg, $k = \dots\dots \frac{N}{m}$

Lp.	Amplituda drgań, A_j [m]	Czas 20 drgań, t_j [s]	Okres drgań, T_j [s]

- (c) Sprawdzenie poprawności wzoru opisującego drgania wahadła sprężynowego uwzględniającego masę sprężyny
 - i. Wybrać jeden z pomiarów z Tabeli 2. Powtórzyć go pięciokrotnie.
 - ii. Wyniki umieścić w Tabeli 3.

Tablica 3: Wyznaczenie średniego okresu drgań wahadła. $A = \dots\dots$ m, $m_s = \dots\dots$ kg, $m = \dots\dots$ kg, $k = \dots\dots \frac{N}{m}$

Lp.	0	1	2	3	4	5	Średni
Czas 20 drgań, t_j [s]							
Okres drgań, T_j [s]							

Obliczyć efektywną masę $m_c = m + \frac{1}{3}m_s$, biorącą udział w drganiach. Wzór na okres drgań wahadła, w którym bierzemy pod uwagę masę zastosowanej sprężyny m_s , ma postać:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_c}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m + \frac{1}{3}m_s}{k}}. \quad (3)$$

Wykonać odpowiednie obliczenia i wynik porównać ze średnim okresem drgań uzyskanym doświadczalnie (Tabela 3). Do obliczeń wykorzystać wcześniej uzyskane dane (k , m , m_s).

5. Tabele pomiarowe i opracowanie wyników

6. Ocena wyników pomiarów

Wielkość	Metoda	Błąd
m_s – masa sprężyny m_{sz} – masa szalki $m = m_{sz} + m_i$ – masa obciążenia	Dokładność ważenia	
l_i – odczyt położenia końca sprężyny	Graficznie – punkt 4a	
k – współczynnik sprężystości sprężyny	Wzór (1), dane z wykresu – Tabela 1	
Pomiar okresu drgań wahadła	Rozstęp – Tabela 3	
Obliczenie okresu drgań wahadła	Wzór (3): metodą różniczki zupełnej bądź pochodnej logarytmicznej	

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.