

Лабораторна робота № 15

ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ФІЗИЧНОГО МАЯТНИКА

Мета роботи: вивчення коливального руху фізичного маятника і визначення його моменту інерції.

Прилади й матеріали: лабораторна установка для визначення моменту інерції фізичного маятника, лінійка, штангенциркуль.

Теоретичні відомості

Фізичним маятником називається тіло, укріплене на нерухомій горизонтальній осі, що не проходить через його центр ваги, і здатне здійснювати коливання відносно цієї осі, дивись рис. 1.

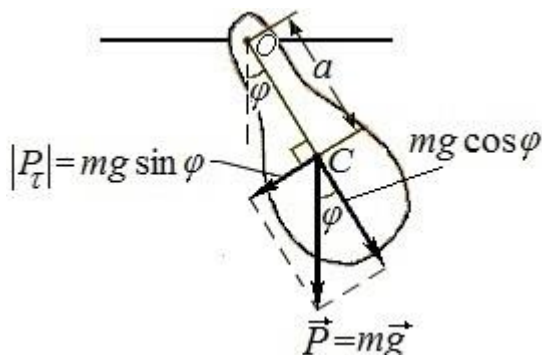


Рисунок 1. Фізичний маятник.

Силу тяжіння фізичного маятника $\vec{P} = m\vec{g}$ можна вважати прикладеною до центру тяжіння C . Маятник, відхилений на малий кут φ від положення рівноваги, буде рухатися під впливом тангенціальної складової сили тяжіння P_t , яка при малих кутах відхилення $\sin\varphi \approx \varphi$ наближено дорівнює:

$$P_t = -P \sin \varphi \approx -P\varphi .$$

Знак мінус означає, що діюча сила спрямована в бік зменшення кута φ .

Момент цієї сили по відношенню до осі обертання дорівнює

$$M = P_{\tau} \cdot \ell \approx P \cdot \ell \cdot \varphi \quad (1)$$

Під впливом цього обертового моменту тіло набуває кутове прискорення

$$\alpha = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \ddot{\varphi}, \quad \text{яке дорівнює рівне} \quad \alpha = \frac{M}{I}, \quad \text{де } I - \text{ момент інерції тіла}$$

відносно осі обертання. Підставляючи в цю формулу замість M його значення з (1) і $\alpha = \ddot{\varphi}$, отримаємо

$$\ddot{\varphi} = \frac{P\ell}{I} \varphi.$$

Порівнюючи цей вираз з рівнянням гармонійних коливань

$$\ddot{x} = -\omega^2 x, \quad \text{можна визначити, що } \omega^2 = \frac{P\ell}{I}. \quad \text{Але } \omega = \frac{2\pi}{T}, \quad \text{значить}$$

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{P\ell}{I},$$

звідки:

$$I = \frac{P \cdot \ell \cdot T^2}{4\pi^2}. \quad (2)$$

Послідовність виконання роботи

1. В якості фізичного маятника, момент інерції якого слід визначити, використовуються два скріплені між собою металевих диска (рис. 2). Обидва диски можуть коливатися відносно осі, що проходить через центр великого диска. За допомогою міліметрової лінійки та штангенциркуля виміряти діаметри і товщину великого і малого дисків, і знаючи густину матеріалу дисків ($\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), обчислити вагу кожного диска, P_1 і P_2 , за формулою:

$$P_i = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} h_i \cdot \rho \cdot g, \quad (3)$$

де $i=1,2$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння.

2. Центр ваги системи двох дисків визначається з таких міркувань: нехай центри дисків розташовані на одній горизонтальній прямій. До центру тяжіння кожного диска, що знаходяться в центрах дисків, прикладені сили тяжіння P_1 і P_2 . Радіуси дисків R і r .

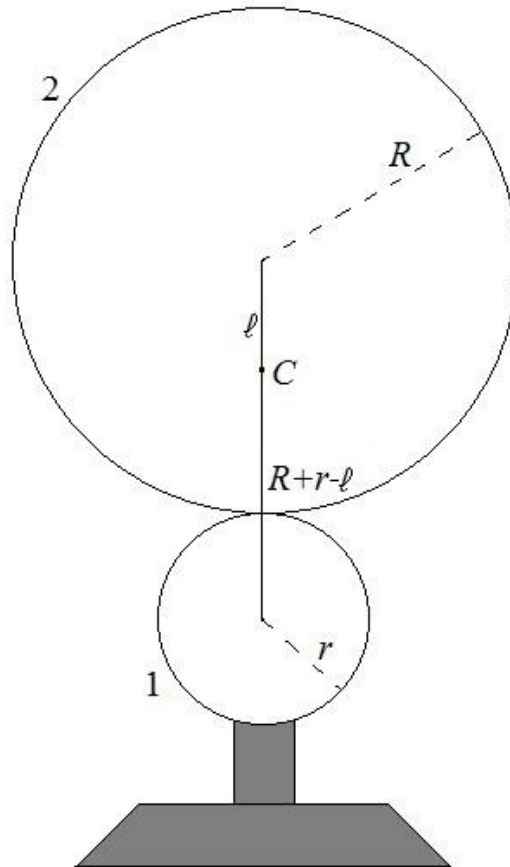


Рисунок 2. Макет установки.

Центр ваги системи, що складається з двох дисків, розташовується в точці C , яка знаходиться на відстані l від точки прикладання сили P_2 і на відстані $R + r - l$ від точки прикладання сили P_1 . Із закону рівності моментів сил відносно центра ваги системи

$$P_2 \cdot l = P_1 (R + r - l) \quad (4)$$

визначається відстань l від осі обертання до центра ваги системи.

$$\ell = \frac{P_1 \cdot (R + r)}{P_1 + P_2} . \quad (5)$$

3. П'ять разів ($i=1, 2, \dots, 5$) відхилити маятник на невеликий кут, відпустити його і дати йому вільно гойдатися. Виміряти час $n = 10$ повних коливань t_i і визначити періоди коливання

$$T_i = \frac{t_i}{n} , \quad (6)$$

де n – число повних коливань.

4. Всі дані занести в таблицю 1.

5. Розрахувати середнє значення періоду коливань

$$\langle T \rangle = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5} . \quad (7)$$

6. Знаючи середній період коливань маятника і його вагу $P = P_1 + P_2$, визначити момент інерції маятника за формулою:

$$I = \frac{\langle T \rangle^2 (P_1 + P_2) \cdot \ell}{4\pi^2} . \quad (8)$$

Звіт за виконану роботу

1. Робоча формула:

$$I = \frac{\langle T \rangle^2 (P_1 + P_2) \cdot \ell}{4\pi^2} - \text{момент інерції.}$$

1.1. Величини, що вимірюються:

R – радіус великого диска, $[R] = \text{м}$,

r – радіус малого диска, $[r] = \text{м}$,

h_1 – товщина великого диска, $[h_1] = \text{м}$,

h_2 – товщина малого диска, $[h_2] = \text{м}$.

1.2. Табличні величини:

$$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad \rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 .$$

1.3. Величина, що обчислюється:

$$I - \text{момент інерції, } [I] = \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

2. Результати експерименту записати до таблиці 1:

Таблиця 1

№ n/n	t	n	T	Малий диск			Великий диск			I
				h ₁	D ₁	P ₁	h ₂	D ₂	P ₂	
1		10								
2		10								
3		10								
4		10								
5		10								

3. Обробка результатів експерименту:

3.1. Визначення періоду коливань фізичного маятника при кожному експерименті за формулою (6):

$$T_1 = \frac{t_1}{n} = \quad ,$$

$$T_2 = \frac{t_2}{n} = \quad ,$$

$$T_3 = \frac{t_3}{n} = \quad ,$$

$$T_4 = \frac{t_4}{n} = \quad ,$$

$$T_5 = \frac{t_5}{n} = \quad .$$

3.2. Визначення середнього значення періоду коливань за формулою (7)

$$\langle T \rangle = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5} =$$

3.3. Визначення моменту інерції фізичного маятника за формулою (8):

$$I = \frac{\langle T \rangle^2 (P_1 + P_2) \cdot \ell}{4\pi^2} =$$

4. Висновки:

Контрольні питання

1. Що називається коливаннями?
2. Які коливання називаються гармонійними?
3. Що називається амплітудою, фазою, початковою фазою, періодом, циклічною частотою коливань?
4. Нарисувати графік гармонічних коливань. На рисунку покажіть амплітуду, період, початкову фазу.
5. Що називають фізичним і математичним маятником?
6. Запишіть рівняння коливань фізичного маятника.
7. Які коливання називаються вільними?
8. Які коливання називаються вимушеними?
9. Які сили називаються квазіпружними? За рахунок яких сил відбувається коливання тіла в лабораторній роботі?
10. За яких умов коливання фізичного та математичного маятників можна вважати гармонійними?
11. Що називається наведеної довжиною фізичного маятника?
12. Яка точка називається центром гойдання фізичного маятника?
13. Як зміниться частота власних коливань математичного маятника при збільшенні маси тіла в два рази? При збільшенні його довжини в два рази?
14. Як змінюється кінетична, потенційна і повна енергії математичного маятника в часі?
15. Які перетворення енергії відбуваються при коливаннях фізичного маятника?

16. У яких точках траєкторії кінетична енергія маятника максимальна? Мінімальна? Чому?
17. Що називають пружинним маятником?
18. Якими виразами визначаються період, частота і циклічна частота коливань пружинного маятника?