

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.9¹⁾

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: исследование свойств физического маятника и экспериментальное определение ускорения свободного падения.

Литература: 1. Гершензон Е.М., Малов Н.Н., Мансуров А.Н. Курс общей физики. Механика» (2001), гл. 5, §5.6, гл. 6.

2. Савельев И.В. Курс общей физики в 5 томах, т. 1, Механика (5-е изд., 2011), гл. 8 §8.1–8.6.

3. Сивухин Д.В. Общий курс физики в 5-ти томах, т. 1, Механика (4-е изд., 2005), гл. VI §39-41.

4. Введение в физической практикум.

Приборы и принадлежности: физический маятник, секундомер, линейка.

ВВЕДЕНИЕ

Физическим маятником называется твердое тело, которое может качаться относительно неподвижной горизонтальной оси. Положение тела в каждый момент времени можно характеризовать углом отклонения α от положения равновесия (вертикали). И в соответствии с уравнением динамики вращательного движения твердого тела момент M возвращающей силы можно записать в виде:

$$M = I\varepsilon = I\ddot{\varphi} = F_{\tau}a = -mga\sin\varphi \approx -mga\varphi, \quad (1)$$

где I - момент инерции маятника относительно оси; a - расстояние от оси до центра масс маятника; $F_{\tau} = -mgsin\varphi \approx -mg\varphi$ - возвращающая сила (знак минус обусловлен тем, что момент M и препятствует возрастанию угла φ).

Соотношение (1) можно записать в виде:

$$I\ddot{\varphi} + mga\varphi = 0 \quad \text{или} \quad \ddot{\varphi} + \frac{mga}{I}\varphi = 0.$$

Обозначая $\omega_0 = \sqrt{\frac{mga}{I}}$, получим уравнение:

$$\ddot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = 0.$$

Решение этого уравнения известно и имеет вид:

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha).$$

Из последнего выражения следует, что при малых колебаниях

¹⁾ Описание исправлено и дополнено преподавателями КОЭФ Александровым В.Н. и Васильевой И.А.

физический маятник совершает гармонические колебания с циклической частотой ω_0 и периодом:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mga}} = 2\pi \sqrt{\frac{l_{np}}{g}}, \quad (2)$$

где $l_{np} = I/ma$ - называют приведенной длиной физического маятника.

Используя теорему Штейнера, можно получить:

$$I = I_0 + ma^2,$$

где I_0 - момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр масс маятника и параллельной оси подвеса, а a - расстояние от оси подвеса до центра масс маятника, m - его масса.

Тогда приведенная длина физического маятника равна:

$$l_{np} = a + I_0/(ma). \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ma^2}{mga}} \quad (4)$$

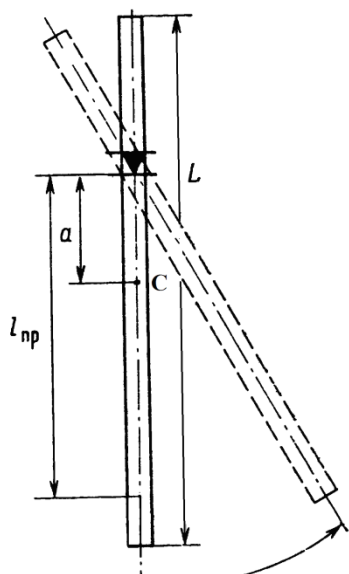


Рис. 1.9.1

Из полученного соотношения (4) следует, что измерив T и a физического маятника и зная математическую зависимость момента инерции используемого тела от его массы и геометрических размеров, можно найти ускорение свободного падения g . Этим измерениям посвящена настоящая работа.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Физический маятник, используемый в эксперименте (рис. 1.9.1), представляет собой однородный металлический стержень длиной L , на котором нанесены сантиметровые деления. По стержню может передвигаться опорная призма. Положение центра масс стержня находится из условия равновесия стержня на опорной призме (рис. 1.9.2). Необходимые в работе линейные размеры стержня измеряются соответствующими измерительными инструментами.

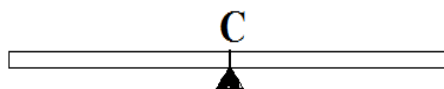


Рис. 1.9.2

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Задание. Определение ускорения свободного падения g с помощью физического маятника.

В эксперименте измеряются периоды колебаний маятника при перемещении точки подвеса от середины, начиная с 5 см от центра масс, с шагом 5 см к концу стержня. Особенно тщательно измерения проводятся около точки, соответствующей минимальному периоду колебаний. Период колебания маятника находится путем измерения времени t_{40} 40-полных колебаний маятника, а именно: $T_{\text{эксп}} = t_{40} / 40$.

Изменением положения центра масс маятника при движении опорной призмы по стержню пренебрегают ввиду малой массы опорной призмы по сравнению с массой стержня. Проведите необходимые измерения и вычисления, рассматривая маятник в расчетах как тонкий однородный цилиндр и используя соотношение (4). Для каждого случая вычисляется ускорение свободного падения, а в качестве итогового результата берется среднее арифметическое этих значений.

Используя (4), вычислите для экспериментальных значений a период $T_{\text{теор}}$, постройте теоретическую зависимость $T(a)$ и нанесите на нее точки $T_{\text{эксп}}$ и абсолютные ошибки этих прямых измерений (см. В7 в [4]).

Данные измерений и вычислений t_{40} , $T_{\text{эксп}}$, $T_{\text{теор}}$, a , g внесите в таблицу 1. Вычислите относительные ошибки косвенных измерений g (см. В4 в [4] и пример в работе 1.1) для T_{max} и T_{min} и внесите их в таблицу 1.

Таблица 1

№	a, м	t ₄₀ , с	T _{эксп} , с	T _{теор} , с	g, м с ⁻²
1					
2					
...					
i					
$T_{\text{max}} = \text{---}, \text{ с}$		$g = \text{---}, \text{ м с}^{-2}$	$\varepsilon_{\text{отн}} = \text{---} \%$		$g_{\text{ср}} = \text{---}, \text{ м с}^{-2}$
$T_{\text{min}} = \text{---}, \text{ с}$		$g = \text{---}, \text{ м с}^{-2}$	$\varepsilon_{\text{отн}} = \text{---} \%$		

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Дайте определение физического маятника и получите выражение для приведенной длины используемого в работе маятника.

2. Покажите, используя (4), что для любой точки (оси) подвеса физического маятника можно найти другую точку с тем же периодом колебаний, называемой сопряженной.

3. Как определить положение центра масс физического маятника, если известно положение сопряженных точек подвеса?

4. Как расположены сопряженные точки у физического маятника, используемого в работе.

5. Почему амплитуда колебаний маятника при измерениях его периода должна быть небольшой?

6. Что является основным источником ошибок при определении g использованным вами методом?

7. Как влияет трение в системе на точность определения g ?

8. Вычислите момент инерции простейших тел: кольца, диска, шара и палочки.