



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

## **Лабораторная работа М14**

«Изучение законов колебательного  
движения с помощью физического  
маятника»  
по дисциплине

**«Физика»**

Авторы

Жданова Т. П.,  
Лемешко Г. Ф.,  
Лещёва О. А.,  
Холодова О. М.

Ростов-на-Дону, 2018

## Аннотация

Методические указания содержат краткое описание рабочей установки и методику определения момента инерции физического маятника.

Предназначены для студентов инженерных специальностей всех форм обучения при выполнении лабораторных работ по физике (раздел «Механика и молекулярная физика»).

## Авторы

к.ф.-м.н, доцент кафедры «Физика»

Жданова Т.П.,

к.ф.-м.н, профессор кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф.,

доцент кафедры «Физика»

Лещёва О.А.,

доцент кафедры «Физика»

Холодова О.М.





## Оглавление

<b>Цель работы:</b> .....	<b>4</b>
<b>Теоретическая часть.</b> ....	<b>4</b>
<b>Контрольные вопросы</b> .....	<b>10</b>
<b>Список литературы</b> .....	<b>11</b>

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучить колебательный процесс на примере физического маятника. Определить приведенную длину и моменты инерции физического маятника.

Оборудование: экспериментальная установка.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

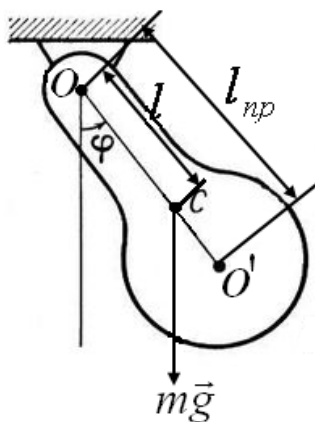


Рис. 1

Физический маятник - твердое тело, которое может совершать колебания под действием силы тяжести относительно неподвижной горизонтально расположенной оси, не проходящей через центр масс тела (рис.1). Такая ось называется осью колебания, точка  $O$  - точкой подвеса маятника. Плоскость, проходящая через точки  $O$  и  $C$  перпендикулярно оси колебания, называется плоскостью колебания. В положении равновесия центр масс маятника  $C$  находится под точкой подвеса маятника  $O$ , на одной вертикали.

При отклонении маятника от положения равновесия на угол  $\varphi$  возникает вращательный момент, стремящийся вернуть маятник в положение равновесия. Этот момент равен:

$$M = -m g l \sin \varphi, \quad (1)$$

где  $l$  - расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника,  $m$  - масса физического маятника.

Знак " - " означает, что вращательный момент имеет такое направление, что стремится вернуть маятник в положение равновесия.

На основании основного уравнения динамики вращательного движения можно написать:

$$I \ddot{\varphi} = -m g l \sin \varphi, \quad (2)$$

где  $I$  - момент инерции маятника относительно оси, проходящей через точку подвеса,  $\ddot{\varphi}$  - угловое ускорение маятника.

В случае малых колебаний ( $\sin \varphi \approx \varphi$ ), уравнение (2) можно записать:

$$\ddot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0. \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) имеем:

$$\omega_0^2 = \frac{m g l}{I} = \frac{4 \pi^2}{T^2} \quad (4)$$

Из уравнения (3) следует, что при малых отклонениях от положения равновесия физический маятник совершает гармонические колебания. Период колебаний можно определить из (4):

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{I}{m g l}} = 2 \pi \sqrt{\frac{l_{np}}{g}}. \quad (5)$$

$$\text{Отсюда } l_{np} = \frac{I}{m l} \quad (6)$$

называется приведенной длиной физического маятника.

Приведенная длина физического маятника – это длина такого математического маятника, период колебаний которого совпадает с периодом колебаний данного физического маятника.

Центр качания – это точка на прямой, соединяющей точку подвеса с центром масс, лежащая на расстоянии приведенной длины от оси колебания (точка  $O'$  на рис.1).

По теореме Штейнера момент инерции маятника равен:

$$I = I_0 + m l^2, \quad (7)$$

где  $I_0$  – момент инерции относительно оси, параллельной оси колебания и проходящей через центр масс маятника,  $l$  – расстояние от оси вращения до центра масс.

$$\text{Решая (6) и (7), получим } l_{np} = \frac{I_0}{m l} + l. \quad (8)$$

Из (8) видно, что  $l_{np}$  всегда больше  $l$ , так что точка подвеса и центр качания лежат по разные стороны от центра масс.

Для определения  $l$  поступим следующим образом. Подвесим физический маятник в точке  $O$ . Момент инерции относительно точки  $O$ , с учетом формулы (5), равен:

$$I_1 = \frac{T_1^2}{4 \pi^2} m g l,$$

где  $T_1 = \frac{t_1}{n}$  - период колебаний относительно точки  $O$ ,  
поэтому

$$I_1 = \frac{t_1^2}{4\pi^2 n^2} m g l, \quad (9)$$

где  $l$  - расстояние от оси вращения до центра масс,  $n$  - число колебаний,  $m$  - масса маятника,  $t_1$  - время  $n$  колебаний относительно точки  $O$ .

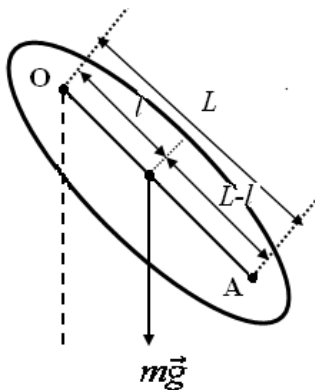


Рис. 2

Если маятник перевернуть, то момент инерции относительно точки  $A$  равен:

$$I_2 = \frac{T_2^2}{4\pi^2} m g (L-l),$$

где  $T_2 = \frac{t_2}{n}$  - период колебаний относительно точки  $A$ , поэтому

$$I_2 = \frac{t_2^2}{4\pi^2 n^2} m g (L-l), \quad (10)$$

где  $l$  - расстояние от оси вращения до центра масс,  $n$  - число колебаний,  $m$  - масса маятника,  $t_2$  - время  $n$  колебаний относительно точки  $A$ ,  $L$  - расстояние между двумя точками подвеса физического маятника.

Воспользовавшись формулой (7), имеем:

$$I_1 = I_0 + ml^2 \quad (11)$$

$$I_2 = I_0 + m(L-l)^2 \quad (12)$$

Вычтем из (12) формулу (11) и получим:

$$I_2 - I_1 = mL(L-2l) \quad (13)$$

Вычтем из (10) выражение (9) и получим

$$I_2 - I_1 = \frac{mg}{4\pi^2 n^2} [t_2^2(L-l) - t_1^2 l] \quad (14)$$

Решая (13) и (14) получаем рабочую формулу для нахождения расстояния от оси вращения до центра масс:

$$l = \frac{(2\pi nL)^2 - Lgt_2^2}{8(\pi n)^2 L - g(t_1^2 + t_2^2)} \quad (15)$$

где  $n$  - число колебаний,  $t_1$  и  $t_2$  - время  $n$  колебаний относительно точек  $O$  и  $A$  соответственно,  $L$  - расстояние между двумя точками подвеса физического маятника.

В работе моменты инерции маятника определяются по формулам (9) и (10) с учетом (15).

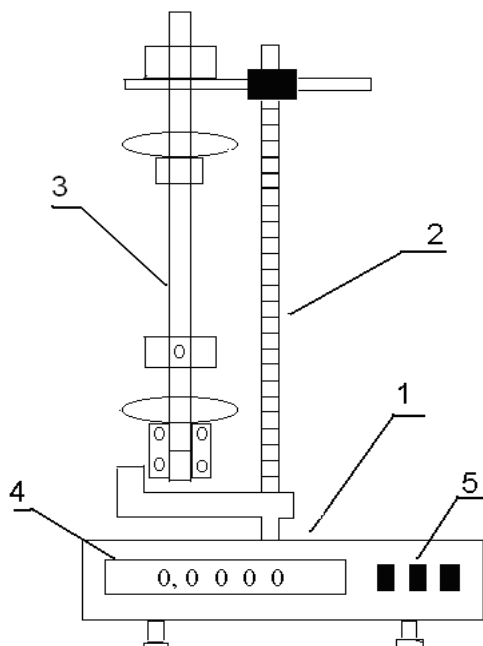


Рис.3 Экспериментальная установка

1-основание установки; 2-линейка на стойке; 3- физический маятник; 4-секундомер; 5-кнопки «сброс времени», «стоп», «сеть».

### **Порядок выполнения работы.**

1. Основание (1) установки (рис.3) отрегулировать так, чтобы положение стойки (2) было строго вертикально.
2. Занести значение массы физического маятника  $m$  в таблицу 1.
3. Установить "ноль" в окошке секундомера (4) при помощи кнопки "сброс" (5).
4. Отвести рукой маятник в крайнее положение на небольшой угол ( $\approx 10^\circ$ ). Отпустить маятник и нажать кнопку "пуск" (5).
5. Измерить время  $t_1$  для  $n = 10-20$  полных колебаний (по указанию преподавателя). В окошке (4) идет счет полным колебаниям. Кнопку "стоп" (5) следует нажать в тот момент, когда в окошке (4) высветится предпоследнее по счету колебание.
6. Измерения повторить пять раз. Результаты измерения



## Физика

- времени  $t_1$  и числа колебаний  $n$  занести в таблицу 1.
- Перевернуть физический маятник, подвесить его в точке А (рис.2), повторить пункты 3-5 (определить время  $t_2$ ).
  - Измерить расстояние  $L$  между двумя точками подвеса физического маятника (рис.2) и результат занести в таблицу 1.
  - По формуле (15) рассчитать  $l$ , используя средние значения  $t_1$  и  $t_2$ . Результат занести в таблицу 1.
  - Рассчитать моменты инерции  $I_1$  и  $I_2$  по формулам (9) и (10).
  - Рассчитать приведенную длину  $l_{np}$  по формуле:

$$l_{np} = \frac{I_1}{ml}$$

- Провести статистическую обработку измерений времени  $t_2$  и заполнить таблицы 1 и 2.
- Определить относительные и абсолютные погрешности при определении моментов инерции по следующим формулам и занести в таблицу 1:

$$\delta I_1 = \frac{2\Delta t_{1\text{ДОВ}}}{\langle t_1 \rangle} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta l}{l}; \quad \Delta I_1 = \delta I_1 \cdot I_1$$

$$\delta I_2 = \frac{2\Delta t_{2\text{ДОВ}}}{\langle t_2 \rangle} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta L + \Delta l}{L - l}; \quad \Delta I_2 = \delta I_2 \cdot I_2$$

где  $\Delta L = \Delta l = 0,001\text{м}$ ,  $\Delta t_{2\text{ДОВ}} = \Delta t_{1\text{ДОВ}}$ ;

Окончательный результат записать в виде:

$$I_1 = \langle I_1 \rangle \pm \Delta I_1 \quad I_2 = \langle I_2 \rangle \pm \Delta I_2$$

Таблица 1

$n =$	$m =$		$L =$			
	1	2	3	4	5	$\langle t \rangle$
$t_1, \text{с}$						
$t_2, \text{с}$						
$\Delta t_2, \text{с}$						X
$(\Delta t_2)^2, \text{с}^2$						
$l =$			$l_{np} =$			
$I_1 =$	$\delta I_1 =$		$\Delta I_1 =$			
$I_2 =$	$\delta I_2 =$		$\Delta I_2 =$			

Таблица 2

$S_{n,t}$	$\alpha$	$t(n, \alpha)$	$\Delta t_{2СП}$	$\Delta t_{ПР}$	$\Delta t_{2ДОВ}$	$\delta t$
с	–	–	с	с	с	%

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое колебание? Собственное колебание? Свободное колебание? Гармоническое колебание?
2. Дайте определения амплитуды, фазы, периода, частоты и циклической частоты колебания?
3. Как можно определить период колебаний маятника экспериментально?
4. Запишите уравнение гармонического колебания, поясните физический смысл всех входящих в него величин.
5. Получите формулу для расчета скорости колеблющейся точки и её максимального значения.
6. Получите формулу для расчета ускорения колеблющейся точки и его максимального значения.
7. Получите дифференциальное уравнение гармонических колебаний.
8. Что называется физическим маятником?
9. Что называется приведенной длиной физического маятника?

10. Что называют центром качания физического маятника?
11. Выведите формулу периода колебаний физического маятника.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс общей физики (т.1). М.: Наука, СПб.: Лань, 2006.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. Шк., 2015.
3. Справочное руководство по физике. Ч.1. Механика, молекулярная физика, электричество, магнетизм: Учеб.-метод. пособие.-Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.
4. Колебания и волны: Учебное пособие.-Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.
5. Федосеев В.Б. Физика. Ростов н/Д: Феникс, 2009.