

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**

А.П. Гажулина

ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Практикум

Рекомендовано методической комиссией физического факультета для
студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки
03.03.02 «Физика», 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»,
09.03.02 «Информационные системы и технологии»,
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Нижегород
2021

УДК 538.951
ББК 22.251
Г–13

Г–13 Гажулина А.П. ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2021. – 22 с.

Рецензент: кандидат физ.-мат. наук **Тележников А.В.**

В настоящей работе студенты знакомятся с колебательным движением физического маятника, определяют ускорение свободного падения с помощью обратного маятника. Практикум предназначен для студентов 1-го курса физических специальностей университетов.

Ответственный за выпуск:
председатель методической комиссии
физического факультета ННГУ, к. ф.-м. н., доцент **Перов А.А.**

УДК 538.951
ББК 22.251

© Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, 2021

Цель работы: исследование колебательного движения физического маятника, определение ускорение свободного падения.

Приборы и принадлежности: установка FPM-04, стальной стержень, призмы, чечевицы.

ВВЕДЕНИЕ

Физическим маятником называется твердое тело, которое может качаться вокруг неподвижной горизонтальной оси (рис. 1). Эта ось называется *осью качания* маятника. Точка O пересечения оси качания с вертикальной плоскостью, проходящей через центр масс маятника C (рис. 1b), называется *точкой подвеса* маятника.

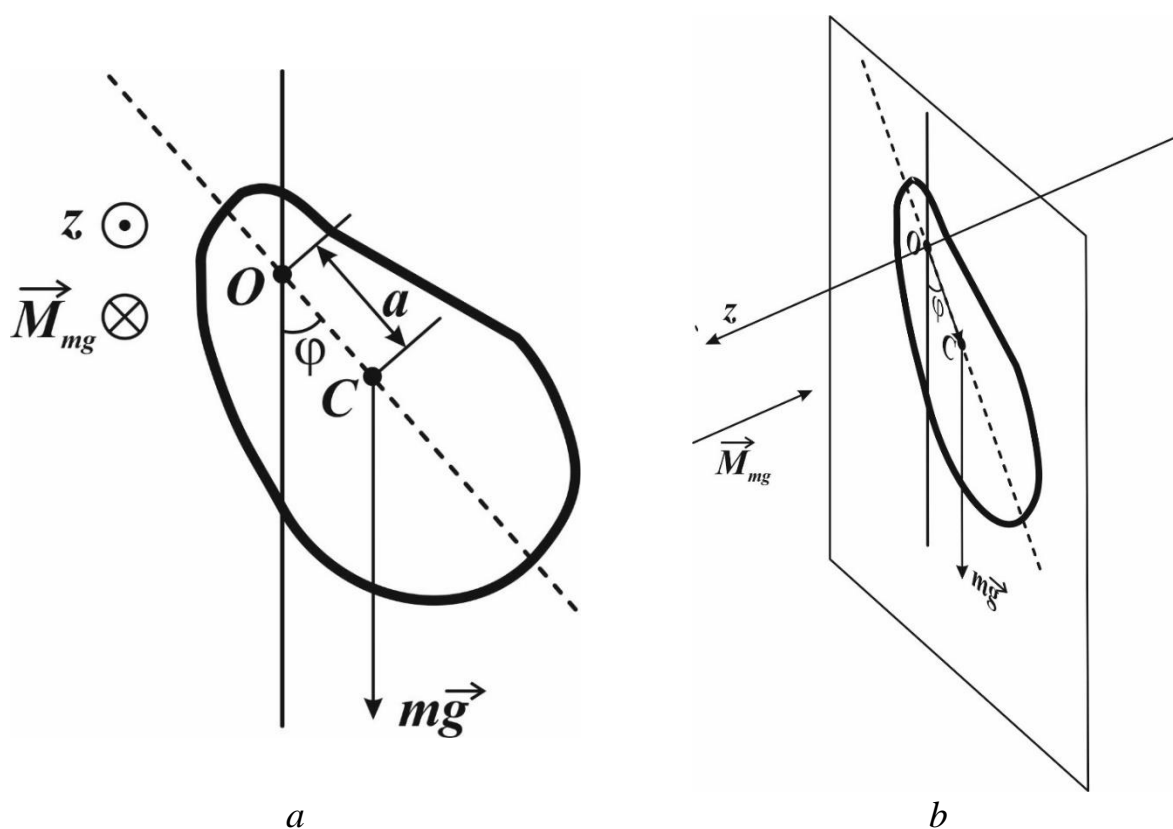


Рис. 1. Физический маятник

Запишем закон изменения момента импульса физического маятника относительно оси качания. Если пренебречь силами трения в подвесе маятника, то момент относительно оси качания создаст лишь сила тяжести, действующая на маятник (рис. 1a):

$$I\varepsilon_z = -mga \sin \varphi, \quad (1)$$

где I – момент инерции тела относительно оси, проходящей через точку подвеса O . Проекция вектора углового ускорения связана с углом отклонения от

вертикального положения как $\varepsilon_z = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$, а при малом угле отклонения φ можно считать, что $\sin \varphi \approx \varphi$. С учетом этого перепишем (1):

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mga\varphi;$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{mga}{I}\varphi = 0. \quad (2)$$

Уравнение (2) представляет собой уравнение гармонического осциллятора

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega^2\varphi = 0, \quad (3)$$

где $\omega^2 = \frac{mga}{I}$ – циклическая частота гармонических колебаний физического маятника.

По теореме Штейнера-Гюйгенса момент инерции I физического маятника относительно оси качания равен

$$I = I_C + ma^2, \quad (4)$$

где I_C – его момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс параллельно оси качания. С учетом (4) запишем период гармонических колебаний физического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_C + ma^2}{mga}};$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_C}{mga} + \frac{a}{g}}. \quad (5)$$

Из (5) можно получить квадратное уравнение

$$a^2 - g \frac{T^2}{4\pi^2} a + \frac{I_C}{m} = 0, \quad (6)$$

решая которое найдем значения a , соответствующие данному значению T . Для приведенного квадратного уравнения справедливо (теорема Виета):

$$a_1 + a_2 = g \frac{T^2}{4\pi^2}. \quad (7)$$

Выразим из (7) период колебаний физического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a_1 + a_2}{g}} \quad (8)$$

и введем обозначение

$$l_{\text{пр}} = a_1 + a_2, \quad (9)$$

тогда

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{\text{пр}}}{g}}. \quad (10)$$

Выражение (10) представляет собой период колебаний математического маятника с длиной $l_{\text{пр}}$. Длина математического маятника, период колебаний которого равен периоду колебаний физического маятника, называется *приведенной длиной* физического маятника. Отложим от точки подвеса O вдоль прямой OC отрезок OK , длина которого равна приведенной длине физического маятника $l_{\text{пр}}$ (рис. 2). Точка K называется *центром качаний*.

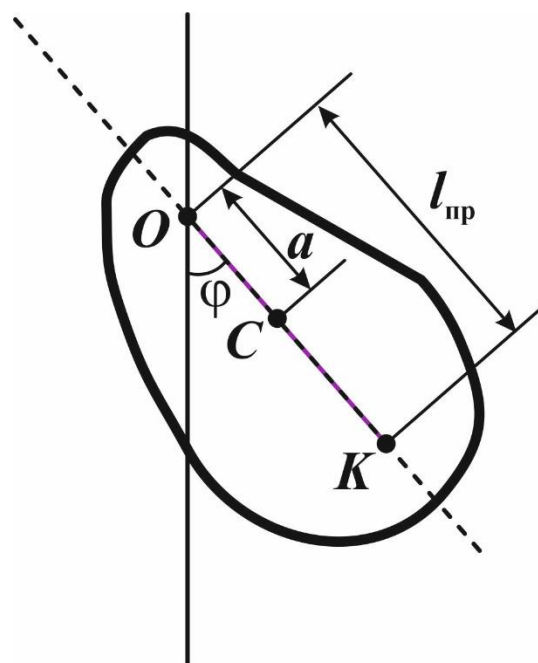


Рис. 2. Приведенная длина физического маятника, точка подвеса O и центр качаний K

Из (5), учитывая (10), получим для приведенной длины

$$l_{\text{пр}} = a + \frac{I_C}{ma}. \quad (11)$$

Отсюда следует, что $l_{\text{пр}} > a$, т.е. точка подвеса O и центр качаний K лежат по разные стороны от центра масс C .

Точка подвеса и центр качаний являются обратимыми. Если маятник подвесить на ось, проходящую через центр качаний K , период его колебаний не изменится, и прежняя точка подвеса O станет новым центром качаний (*теорема Гюйгенса*).

На рис. 3 показан график зависимости периода колебаний физического маятника (5) от расстояния a от точки подвеса до центра масс. Кривая состоит из двух ветвей, симметрично расположенных относительно оси ординат. Одна ветвь соответствует случаю, когда точка подвеса расположена по одну, а вторая – по другую сторону от центра масс C . Фиксированному значению периода T_0 на рис. 3 соответствует горизонтальная прямая $T = T_0$. Точки пересечения ее с кривой (5) определяют положение точек подвеса физического маятника, при которых его период колебаний равен заданному значению T_0 . В общем случае таких точек пересечения четыре. Две из них расположены по одну, две – по другую сторону от центра масс C . Их положение находится из квадратного уравнения (6). В этом случае по одну и ту же сторону от центра масс C имеются две точки подвеса O_1 и O_2 , которым соответствует один и тот же период T_0 . По другую сторону от центра масс C лежит вторая пара симметрично расположенных точек подвеса O'_1 и O'_2 , характеризующаяся тем же периодом T_0 . Если $T_0 = T_{\text{min}}$, корни уравнения (6) совпадают, т.е. обе точки подвеса по каждую сторону от центра масс сливаются в одну.

Таким образом, *точка подвеса и центр качаний находятся по разные стороны от центра масс и расположены ассиметрично относительно него. Исключение составляет только случай, когда*

$$a_1 = a_2 = a_{\text{min}} = \sqrt{\frac{I_C}{m}}. \quad (12)$$

В этом исключительном случае точка подвеса и центр качаний расположены симметрично относительно центра масс.

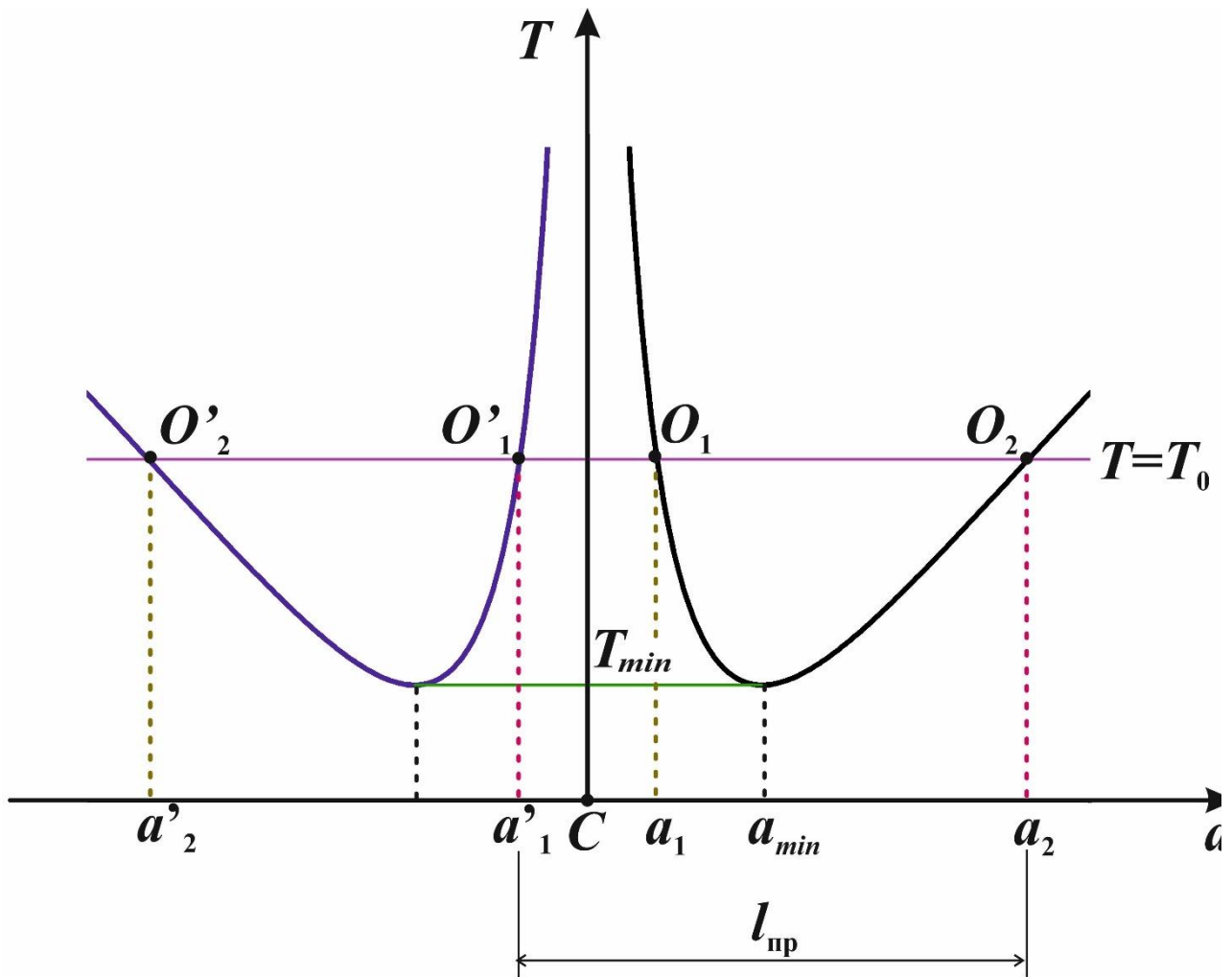


Рис. 3. Период колебаний физического маятника как функция расстояния от точки подвеса до центра масс

Теорема Гюйгенса используется в *оборотном маятнике*. Предположим, что нам удалось найти положение центра качаний K , соответствующего данной точке подвеса O . Следовательно, периоды колебаний T_1 и T_2 относительно этих точек будут совпадать

$$T_1 = T_2 = T;$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_C}{mga_1} + \frac{a_1}{g}};$$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_C}{mga_2} + \frac{a_2}{g}}.$$
(13)

Исключая из (13) I_C и m найдем выражение для нахождения ускорения свободного падения.

$$\begin{aligned}
g \frac{T^2}{4\pi^2} a_1 &= \frac{I_C}{m} + a_1^2; \\
- \\
g \frac{T^2}{4\pi^2} a_2 &= \frac{I_C}{m} + a_2^2; \\
g \frac{T^2}{4\pi^2} (a_1 - a_2) &= a_1^2 - a_2^2; \\
g &= \frac{4\pi^2}{T^2} (a_1 + a_2). \tag{14}
\end{aligned}$$

В реальных условиях добиться точного равенства T_1 и T_2 достаточно трудно. Поэтому для определения ускорения свободного падения лучше воспользоваться следующим выражением (формула Бесселя):

$$\begin{aligned}
g \frac{T_1^2}{4\pi^2} a_1 &= \frac{I_C}{m} + a_1^2; \\
- \\
g \frac{T_2^2}{4\pi^2} a_2 &= \frac{I_C}{m} + a_2^2; \\
\frac{g}{4\pi^2} (T_1^2 a_1 - T_2^2 a_2) &= a_1^2 - a_2^2; \\
g &= \frac{4\pi^2 (a_1^2 - a_2^2)}{T_1^2 a_1 - T_2^2 a_2}. \tag{15}
\end{aligned}$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка ФРМ-04 показана на рис. 4 (схема) и 5а (общий вид). Установка состоит из математического и оборотного маятников, укрепленных на стойках 2 и 10. Математический маятник представляет собой металлический шарик 4 на бифилярном подвесе. Длина подвеса может изменяться вращением винта 1. Физический маятник (на рис. 4а представлена конструкция оборотного маятника) состоит из металлического стержня 5, на котором крепятся две способные перемещаться опорные призмы 7, обращенные ножами навстречу друг другу, и два тяжелых чечевицеобразных груза 6, перемещение которых существенно изменяет распределение масс (рис. 5б). На стержне через 10 мм нанесены кольцевые нарезки, служащие для определения расстояния от центра масс до оси подвеса физического маятника или приведенной длины оборотного маятника. Установка снабжена фотодатчиком

11, фиксирующим прохождение маятником положения равновесия. Сигнал с датчика подается на миллисекундомер 9 и счетчик числа полных колебаний 8.

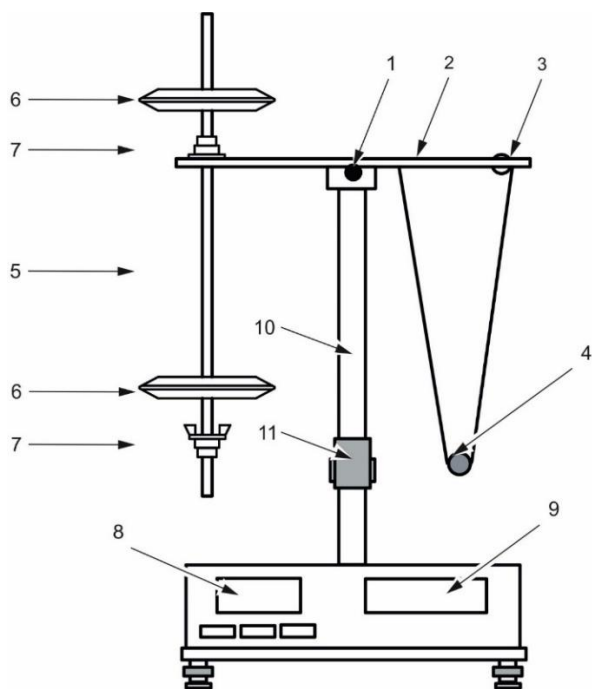


Рис. 4. Схема экспериментальной установки



Рис. 5. Экспериментальная установка: *a* – общий вид; *b* – элементы конструкции физического маятника

ЗАДАНИЯ

1. Эксперименты с цилиндрическим стержнем.

В данной работе в качестве простейшего физического маятника используется стальной прямой стержень (рис. 6).

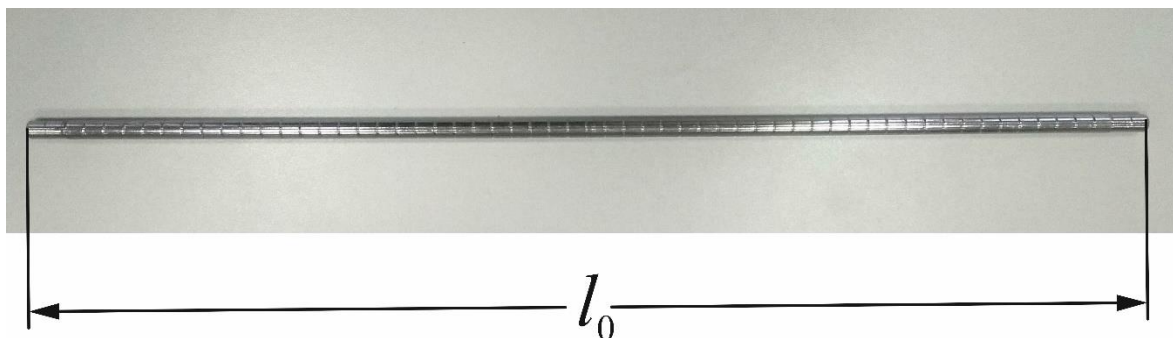


Рис. 6. Стальной стержень

- 1.1. Рассчитать момент инерции I_C тонкого стержня длиной l_0 и массой m относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его центр масс. Определить геометрические размеры и массу исследуемого стержня. С использованием формулы (12) оценить значение a_{min} для исследуемого физического маятника. С помощью призмы-подставки (рис. 7) определить положение центра масс стержня x_C .

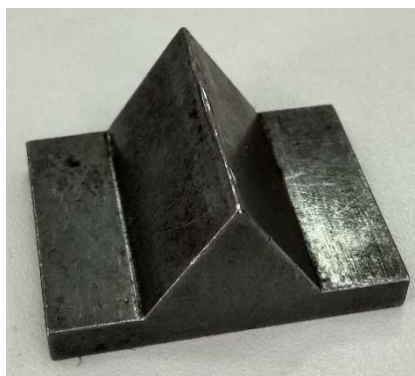


Рис. 7. Призма-подставка для определения положения центра масс физического маятника

- 1.2. Опустить кронштейн с фотоэлектрическим датчиком в нижнее положение. Закрепить опорную призму на стержне (рис. 8). Установить маятник-стержень опорной призмой на призму верхнего кронштейна. Нижний кронштейн вместе с фотоэлектрическим датчиком переместить таким образом, чтобы стержень маятника пересекал оптическую ось.

Особое указание. При проведении эксперимента следует убедиться, что призма маятника попала ребром в ребро опорной призмы верхнего кронштейна и опирается на нее по всей длине.

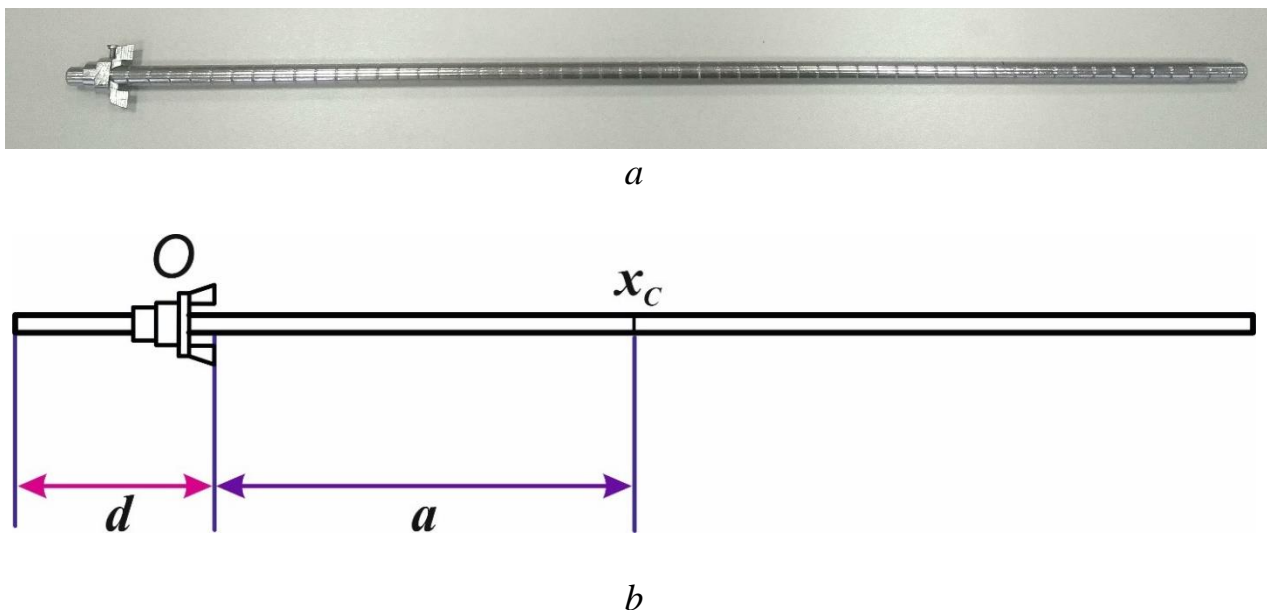


Рис. 8. Стальной стержень с закрепленной на нем опорной призмой:
 a – общий вид; b – схема

- 1.3. Выполнить предварительные эксперименты. Оценить диапазон амплитуд колебаний стержня, в котором период колебаний можно считать в пределах погрешности не зависящим от амплитуды. Все дальнейшие эксперименты проводить в этом диапазоне. Выяснить, насколько существенно влияет трение на период колебаний, сделать выводы для дальнейшего эксперимента.
- 1.4. Перемещая опорную призму вдоль стержня, исследовать экспериментально зависимость периода колебаний T от расстояния a от точки подвеса до центра масс (эксперимент провести по обе стороны от центра масс). Вблизи минимума кривой $T(a)$, оцененного в п. 1.1, показания необходимо снимать особенно подробно. Измерить период на рассчитанном расстоянии a_{min} от точки подвеса до центра масс, а также в точках слева и справа относительно a_{min} сначала с шагом в 5 мм (не менее 4 точек с каждой стороны), а далее двигаться вдоль стержня с шагом в 20-30 мм в обе стороны от точки a_{min} .

Особое указание. Для удобства во время проведения эксперимента стоит фиксировать расстояние d от опорной призмы до конца стержня (рис. 8b).

- 1.5. Отклоняя маятник, измерить время t_n $5 \div 10$ колебаний с помощью миллисекундомера. В таблице 1 приведён пример записи результатов эксперимента в протокол. Для каждого расстояния d измерение времени t_n колебаний проводить не менее трех раз.

Таблица 1. Результаты измерений для n колебаний

$d, \text{ см}$	$t_{n1}, \text{ с}$...	$t_{ni}, \text{ с}$
d_1			
...			
d_i			

- 1.6. Для каждого расстояния d найти среднее значение времени \bar{t}_{ni} и его абсолютную погрешность. Определить среднее значение периода \bar{T}_i как

$$\bar{T}_i = \frac{\bar{t}_{ni}}{n} \quad (16)$$

и его абсолютную погрешность (стоит воспользоваться расчетом погрешности косвенных измерений через относительные погрешности прямых измерений). Пересчитать расстояния d в расстояния a (рис. 8b):

$$a = x_c - d. \quad (17)$$

- 1.7. Построить график экспериментальной зависимости \bar{T} от a . Для экспериментальных точек указать погрешности. На графике также отобразить точки, рассчитанные с использованием (5). По нескольким точкам определить значения приведенной длины $l_{\text{пр}}$ физического маятника. С использованием (10) вычислить ускорение g и его погрешность.
- 1.8. Из графика $\bar{T}(a)$ определить a_{min} и сравнить его с рассчитанным значением в п. 1.1, а также уточнить положение центра масс стержня x_c .
- 1.9. Построить график экспериментальной зависимости $\bar{T}^2 \cdot a$ от a^2 . Определить, носит ли зависимость $\bar{T}^2 \cdot a$ от a^2 линейный характер.
- 1.10. Методом наименьших квадратов определить угловой коэффициент k и свободный член b зависимости $\bar{T}^2 \cdot a$ от a^2 и их погрешности. На графике отобразить аппроксимирующую прямую. Из полученных

коэффициентов k и b определить ускорение свободного падения и длину стержня l_0 и их погрешности.

- 1.11. Закрепить стальной диск на некотором расстоянии от конца стержня (рис. 9). Определить положение центра масс полученной системы. Измерить время t_n 5÷10 колебаний для 2-3 положений опорной призмы. Определить период колебаний и его погрешность. По измеренному периоду колебаний найти момент инерции системы «стержень-диск» и его погрешность методом неравноточных измерений. Сравнить полученное значение с теоретическим расчетом.



Рис. 9. Физический маятник вида «стержень-диск»

2. Эксперименты с обратным маятником.

Применяемый в настоящей работе обратный маятник (рис. 10) состоит из стального стержня. На нем закреплены опорные призмы Π_1 и Π_2 и стальная чечевица B , находящаяся между ними. Другая стальная чечевица D находится на одном из концов стержня (не между призмами) (рис. 10с).

Инструкция по сборке обратного маятника.

- Закрепить чечевицы на стержне несимметрично таким образом, чтобы одна из них находилась вблизи конца стержня, а другая вблизи его середины.
- Опорные призмы Π_1 и Π_2 маятника закрепить по обеим сторонам от центра масс.

- Ножи опорных призм Π_1 и Π_2 должны быть обращены друг на друга. Одну из них поместить вблизи свободного конца стержня, а вторую – на половине расстояния между чечевицами.
- Ребра призм должны находиться против кольцевых нарезок на стержнях.

Ознакомьтесь с конструкцией обратного маятника. Выясните на практике, как положение обоих грузов влияет на периоды T_1 и T_2 . Определите рабочий диапазон амплитуд, в пределах которого период колебаний не зависит от амплитуды.

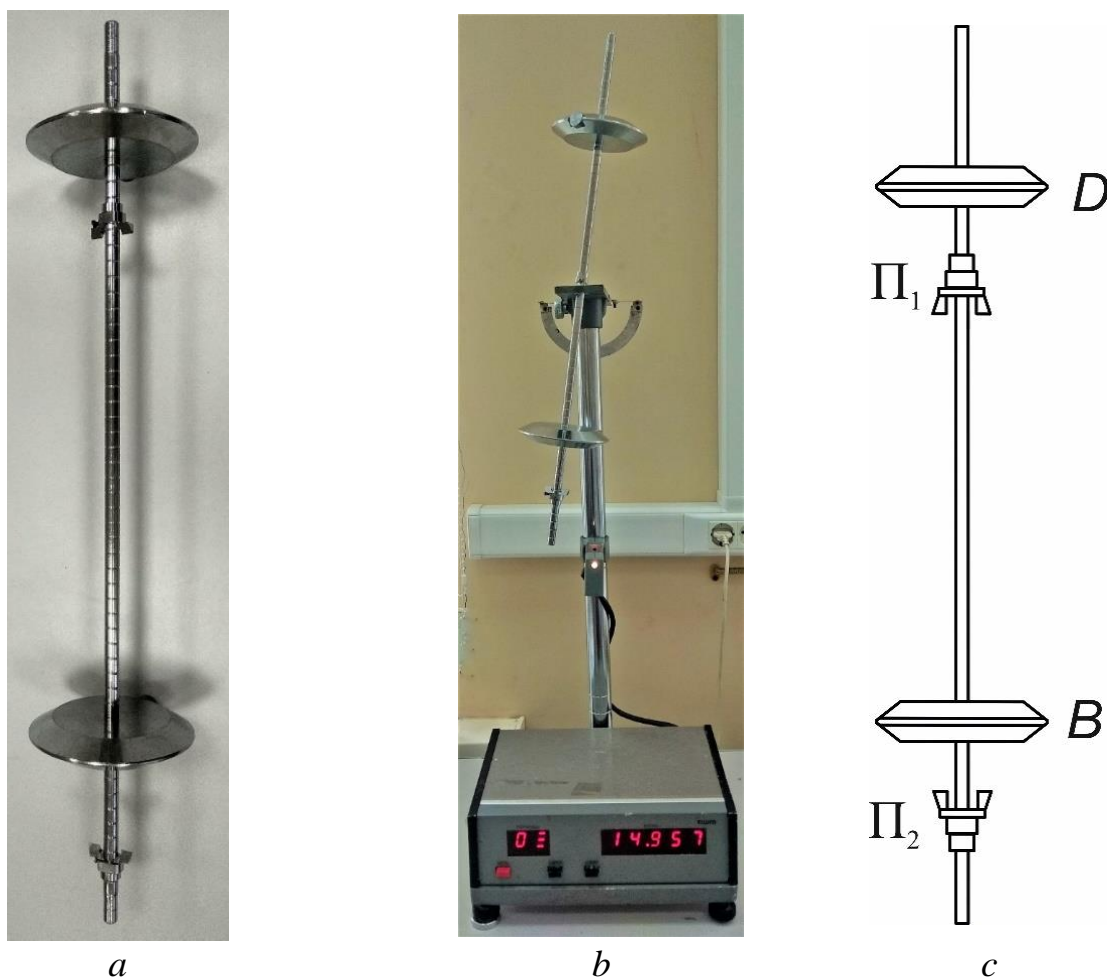


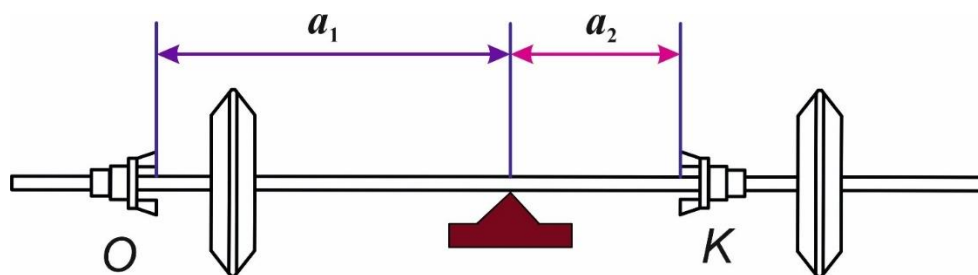
Рис. 10. Обратный маятник: *a* – общий вид; *b* – на установке; *c* – схема

1 способ

2.1.1. Перемещая груз, наиболее сильно влияющий на величину $|T_1 - T_2|$, добиться грубого совпадения периодов. Определить T_1 и T_2 по 10 полным колебаниям маятника. Меняя положение груза, менее заметно влияющего на периоды, добиться совпадения T_1 и T_2 с точностью не менее 1%. Сняв маятник с консоли, определить положение его центра масс.

Особое указание. Положение центра масс, а, следовательно, и расстояния a_1 и a_2 определяются путём уравнивания маятника на призме-подставке (рис. 11).

2.1.2. По результатам измерений вычислить g с использованием (14) и оценить погрешность, сделать выводы.



a

b

Рис. 11. Определение положения центра масс оборотного маятника на призме-подставке: *a* – общий вид, *b* – схема (*O* – точка подвеса, *K* – центр качаний)

2 способ

2.2.1. Собрать оборотный маятник (рис. 10с).

Особое указание. После того, как конструкция оборотного маятника, изображенная на рис. 10с, будет собрана, проведите предварительный эксперимент для крайних положений чечевицы D (на расстояниях максимально близком (d_{min}) и максимально далеко (d_{max}) от призмы Π_1). Убедитесь, что периоды колебаний при прямом (T_{Π_1}) и обратном (T_{Π_2}) положениях, соотносятся следующим образом:

$$\begin{array}{l}
 T_{\Pi_1}(d_{min}) > T_{\Pi_2}(d_{max}) \quad T_{\Pi_1}(d_{min}) < T_{\Pi_2}(d_{max}) \\
 \text{либо} \\
 T_{\Pi_1}(d_{max}) < T_{\Pi_2}(d_{min}) \quad T_{\Pi_1}(d_{max}) > T_{\Pi_2}(d_{min})
 \end{array} \quad (18)$$

При выполнении условий (18) записать в протокол все геометрические размеры конструкции обратного маятника (рис. 12).

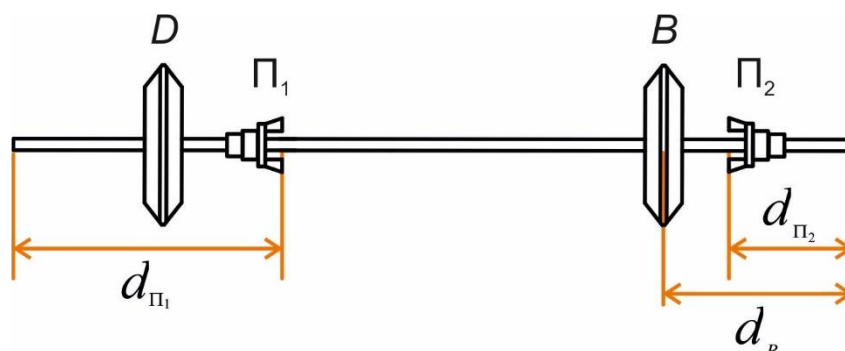


Рис. 12. Геометрические размеры конструкции обратного маятника, которые необходимо занести в протокол по лабораторной работе

2.2.2. Подвесить маятник на призме Π_1 (прямое положение маятника) и закрепить чечевицу D в ближайшем к призме Π_1 положении (рис. 10с). Отклонить маятник от положения равновесия и с помощью таймера измерить не менее трех раз время t_{n1} , за которое происходят n колебаний. Перевернув маятник, подвесить его на призме Π_2 (обратное положение маятника), повторить измерения времени t_{n2} , за которое происходят n колебаний, для того же положения чечевицы D (t_{n2} измерять не менее трех раз). Изменяя положение чечевицы D с шагом 10 мм, повторить измерения.

Особое указание. В процессе выполнения эксперимента перемещать только чечевицу D . Опорные призмы Π_1 и Π_2 , и чечевица B не перемещаются.

Измерения провести не менее, чем для 10 положений чечевицы D . В таблице 2 приведён пример записи результатов эксперимента в протокол.

Таблица 2. Результаты измерений опытов с обратным маятником для n колебаний

d , см	Прямое положение маятника			Обратное положение маятника		
	t_{n1_1} , с	...	t_{n1_i} , с	t_{n2_1} , с	...	t_{n2_i} , с
d_1						
...						
d_i						

2.2.3. Для каждого расстояния d найти среднее значение времени \bar{t}_{ni} и его абсолютную погрешность. Определить среднее значение периода \bar{T}_i (16) и его абсолютную погрешность.

2.2.4. Построить графики экспериментальных зависимостей \bar{T}_{Π_1} и \bar{T}_{Π_2} от координаты d чечевицы D . Для экспериментальных точек указать погрешности. Типичный вид этих зависимостей показан на рис. 13.

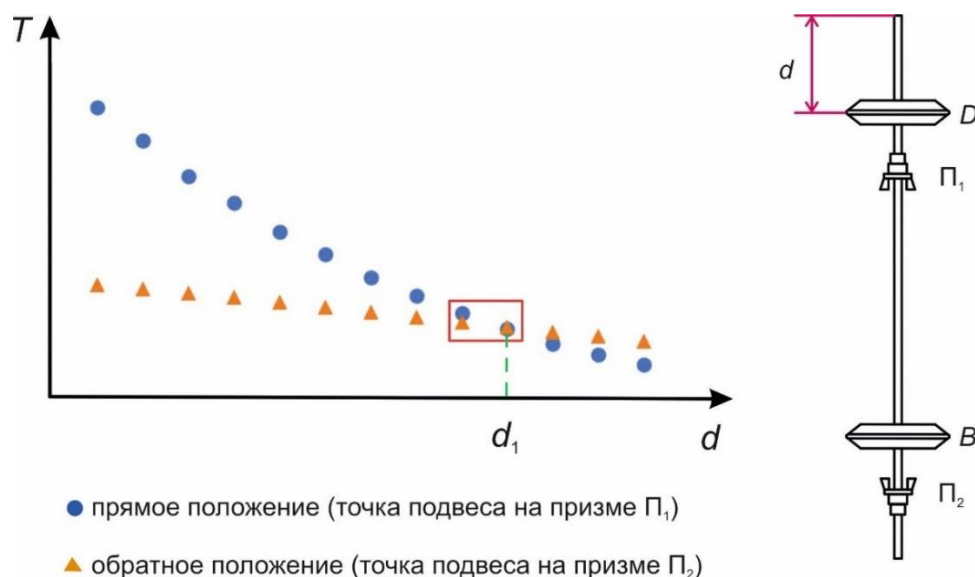


Рис. 13. Типичная зависимость периода колебаний при прямом (Π_1) и обратном (Π_2) положениях маятника

2.2.5. Выбрать значение $d = d_1$, для которого \bar{T}_{Π_1} и \bar{T}_{Π_2} наиболее близки по величине (рис. 13). Установить чечевицу D на расстоянии d_1 . С помощью призмы-подставки определить положение центра масс оборотного маятника (рис. 11), а, следовательно, и значения a_1 и a_2 . Рассчитать g с использованием (15) и оценить погрешность.

2.2.6. Используя экспериментальные данные, выделить два ближайших к точке пересечения кривых 1 и 2 положения чечевицы (эти точки выделены красным прямоугольником на рис. 13). Используя линейную интерполяцию, определить значение $d = d_0$, при котором периоды колебаний маятника при прямом и обратном положениях будут одинаковыми (рис. 14). При этом d_0 определяется следующим образом:

$$d_0 = \frac{d_2 (T_{\Pi_2}(d_1) - T_{\Pi_1}(d_1)) - d_1 (T_{\Pi_2}(d_2) - T_{\Pi_1}(d_2))}{(T_{\Pi_2}(d_1) - T_{\Pi_1}(d_1)) - (T_{\Pi_2}(d_2) - T_{\Pi_1}(d_2))}. \quad (19)$$

2.2.7. Закрепив чечевицу D в положении $d = d_0$, провести измерения t_{n1} и t_{n2} для прямого и обратного положений маятника, повторяя каждый опыт не менее 3 раз. Определите величину g по формуле (14). Расстояние между призмами в данном случае равно приведенной длине маятника.

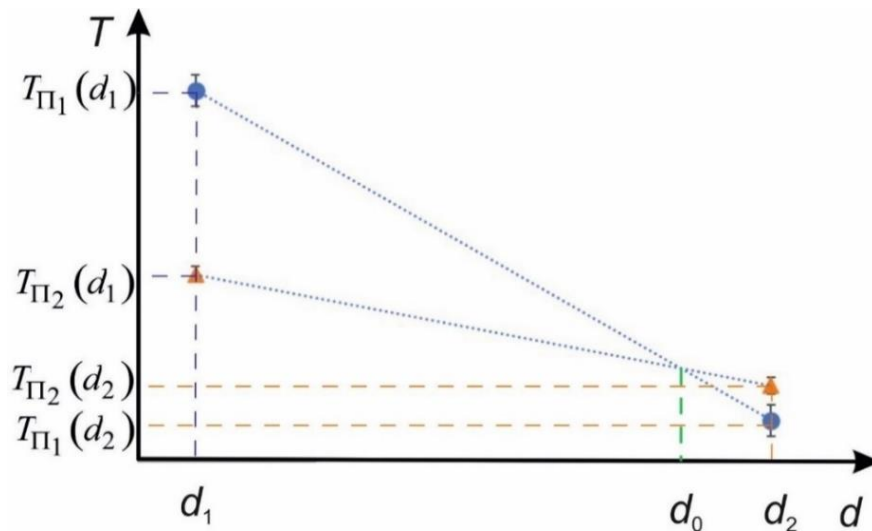


Рис. 14. Определение положения чечевицы D , соответствующее равенству периодов при прямом (Π_1) и обратном (Π_2) положениях маятника

После выполнения экспериментов необходимо снять маятник с опорного кронштейна.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Получите уравнение (2), используя закон сохранения энергии при колебаниях физического маятника.
2. Постройте качественно график зависимости $T^2 \cdot a$ от a^2 . Что он собой представляет? Как по нему определить ускорение g и длину стержня l_0 .
3. Получите выражение (12).
4. Проанализируйте вопрос об оптимальном выборе a_1/a_2 и оценке погрешности в выражении (15).
5. Получите выражение (19).
6. Получите формулы для периода малых колебаний тонкого кольца массы m и диаметра D , подвешенного на гвоздь.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учебное пособие / Д.В. Сивухин. – М.: ФИЗМАТЛИТ – Том 1: Механика — 2010. — 560 с.
2. Хайкин, С.Э. Физические основы механики: учебное пособие / С.Э. Хайкин. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. — 768 с.
3. Фаддеев, М. А. Элементарная обработка результатов эксперимента: учеб. пособие / М. А. Фаддеев. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2004. – 120 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Анализ движения физического маятника был проведен в рамках абстрактной модели, когда стержень считается бесконечно тонким стержнем, чечевицеобразный груз – бесконечно тонким диском, а опорные призмы – невесомы. Давайте проанализируем систематическую погрешность результата, обусловленную данными приближениями, и оценим ее на основе результатов эксперимента.

- Стержень имеет форму цилиндра массы m_0 , длины l_0 и радиуса R_0 . Момент инерции стержня относительно оси, проходящей через центр масс параллельно оси качания (рис. П1), равен:

$$I_C = m_0 \left(\frac{l_0^2}{12} + \frac{R_0^2}{4} \right). \quad (\text{П1})$$

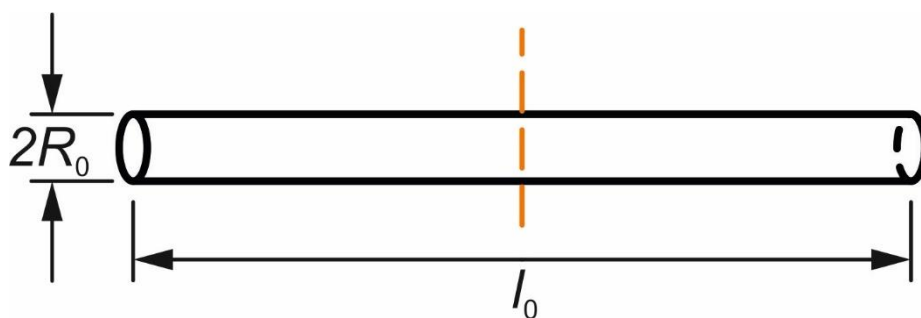


Рис. П1. Физический маятник в форме цилиндрического стержня (штриховой линией показана ось, относительно которой определяется момент инерции)

Как выражение (П1) повлияет на величину a_{min} , рассчитываемую с использованием (12)? Сравните рассчитанное a_{min} , полученное из (12) и из (П1) с величиной a_{min} , полученной экспериментально в п. 1.8. Сделайте вывод, как поправка, вносимая вторым слагаемым в (П1), соотносится с погрешностью a_{min} , определенного по графику в п. 1.8. Установите, как поправка (П1) повлияет на величину ускорения g , определяемого в п. 1.10.

- Опорную призму можно представить полым цилиндром массы $m_{пр}$ с внутренним радиусом R_0 , внешним радиусом R , длиной λ (рис. П2). Момент инерции такого полого цилиндра относительно оси качания равен:

$$I_{пр} = m_{пр} \left(\frac{\lambda^2}{3} + \frac{R_0^2 + R^2}{4} \right). \quad (\text{П2})$$

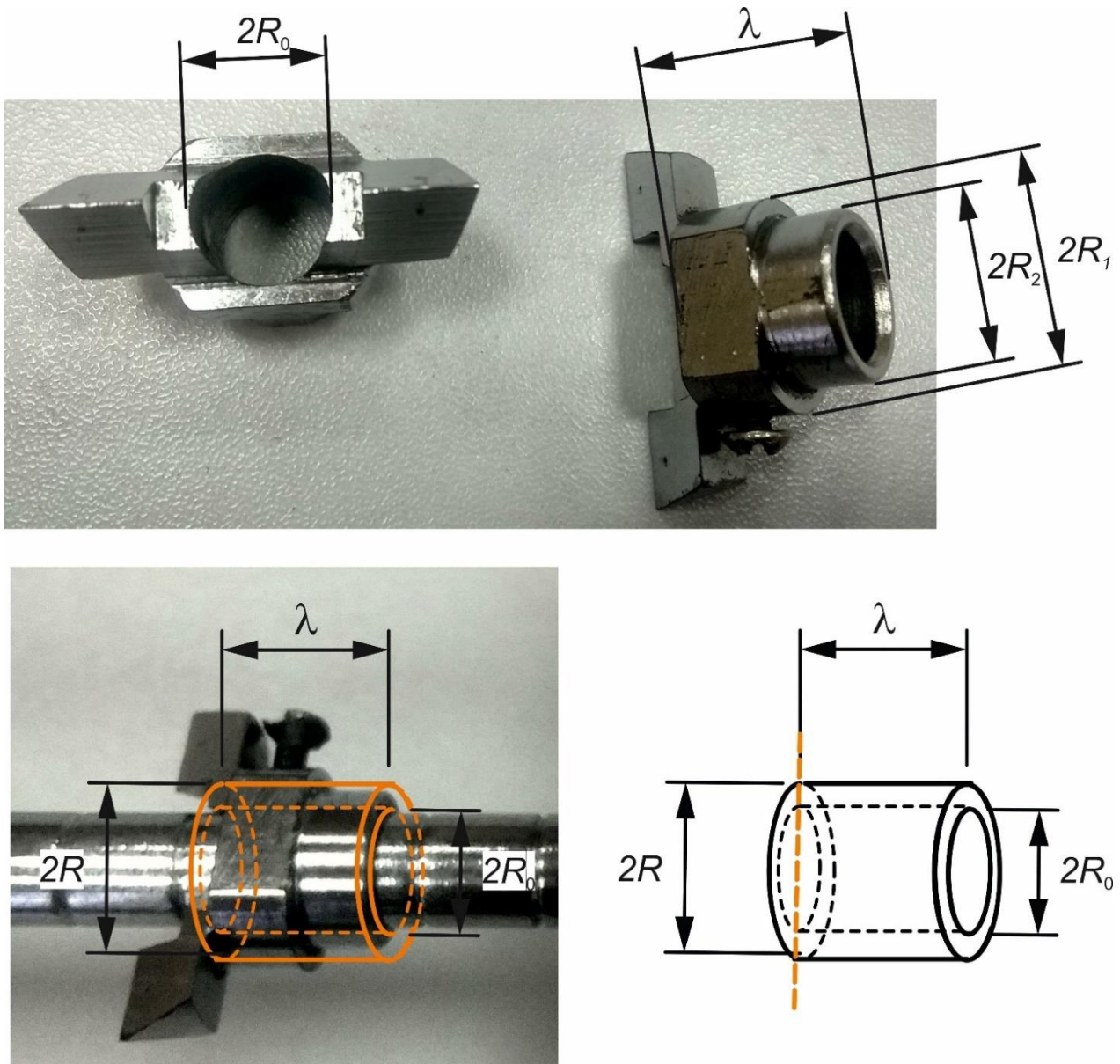


Рис. П2. Опорная призма в форме полого цилиндра (штриховой линией показана ось, относительно которой определяется момент инерции),

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

Определите поправки, вносимые в выражения (5), (12) и (15), в случае учета момента инерции (П2) опорных призм. Установите, что вносит больший вклад в погрешность – условие невесомости опорных призм или модель бесконечно тонкого стержня.

- Чечевицеобразный груз можно представить как два усеченных конуса, соединенных основаниями (рис. П3). Масса такой конструкции равна m_D , радиусы оснований R_1 и R_2 , высота $2h$. Момент инерции чечевицеобразного груза в такой модели относительно оси, проходящей через его центр масс, параллельно оси качания (рис. П3), равен:

$$I_D = \frac{3m_D}{20} \cdot \frac{R_2^5 - R_1^5}{R_2^3 - R_1^3} + \frac{m_D h^2}{10} \cdot \frac{6R_1^2 + 3R_1R_2 + R_2^2}{R_1^2 + R_1R_2 + R_2^2}. \quad (\text{ПЗ})$$

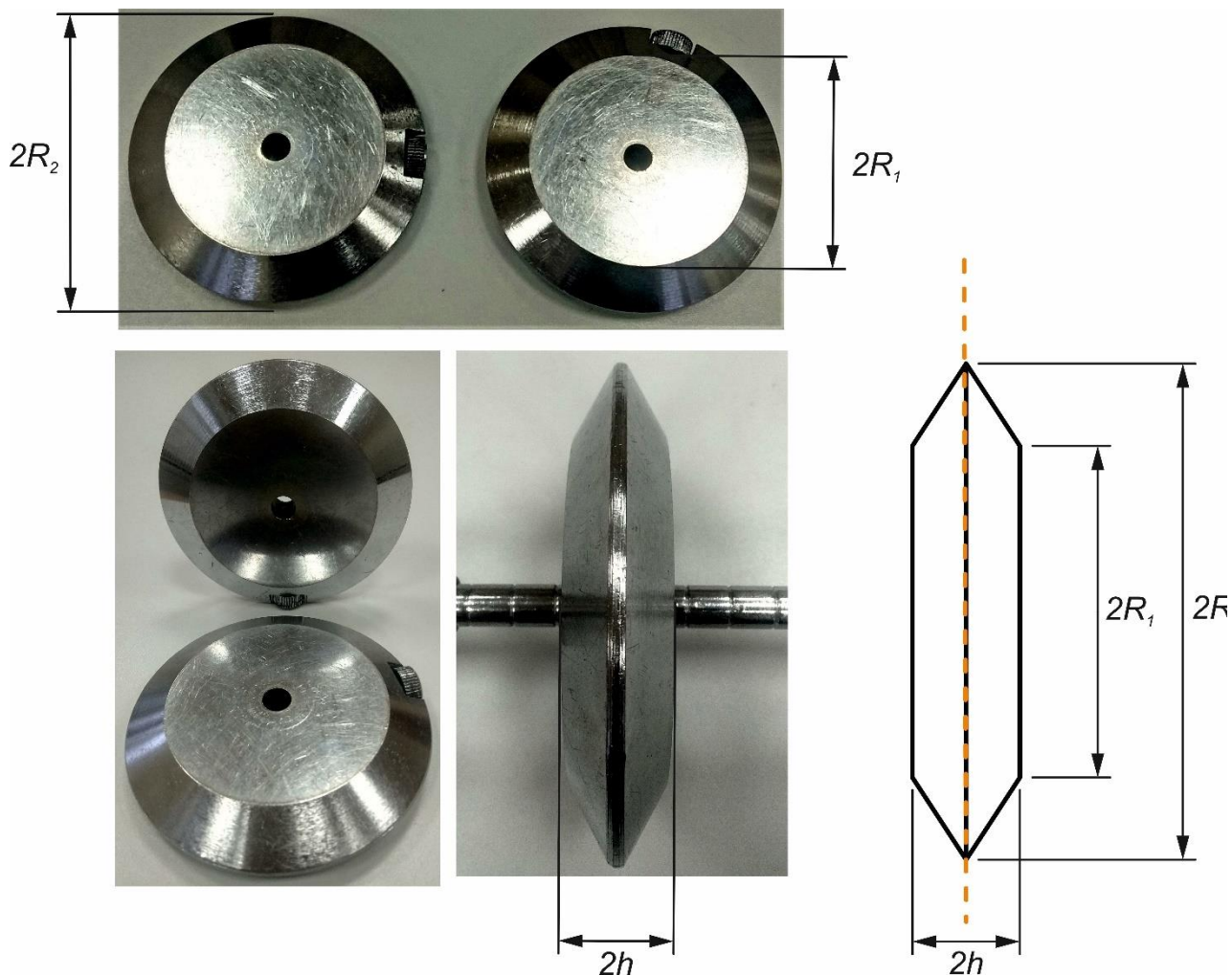


Рис. ПЗ. Чечевицеобразный груз в форме двух усеченных конусов (штриховой линией показана ось, относительно которой определяется момент инерции)

Сравните экспериментальный результат, полученный в п. 1.11, с теоретическим значением, определенным с использованием модели «бесконечно тонкий стержень-бесконечно тонкий диск» и с использованием (П1) и (ПЗ).

Анастасия Петровна Гажулина

ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Практикум

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.