

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

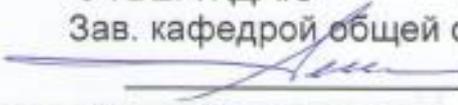
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой общей физики ФТИ

 А.М. Лидер

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Изучение обратного маятника**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
1- 42 по курсу «Общая физика» для студентов всех  
направлений и специальностей

Издательство  
Томского политехнического университета  
2017

УДК 537  
ББК 22.2

**Изучение оборотного маятника:** методические указания к работе 1-42 по курсу «Общей физики» для студентов всех направлений и специальностей / сост. Н.В. Чистякова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 14 с.

УДК 537  
ББК 22.2

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
Общей физики ФТИ  
« \_\_\_\_\_ » 2017 г.

Председатель  
учебно-методической комиссии

 А.М. Лидер

*Рецензенты*

Доктор педагогических наук,  
профессор кафедры ОФ ФТИ НИ ТПУ

*В.В. Ларионов*

Старший преподаватель  
кафедры ОФ ФТИ НИ ТПУ

*Т.В. Смекалина*

## ИЗУЧЕНИЕ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА

**Цель работы:** определение ускорения свободного падения с помощью оборотного маятника.

**Приборы и принадлежности:** оборотный маятник, световой барьер со счетчиком, измерительная линейка.

### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Сила тяжести, с которой тело притягивается к Земле под действием ее гравитационного поля, сообщает телу ускорение.

Движение, которое совершает тело под действием силы тяжести без учета сил сопротивления, называется свободным падением.

Ускорение свободного падения  $g$  – это ускорение, испытываемое телами, свободно падающими в гравитационном поле Земли.

Наиболее точные измерения ускорения свободного падения выполняются с помощью косвенных методов. Простейший и один из первых способов его определения заключается в измерении высоты и времени падения тела. Многие из методов основаны на использовании формул для периода колебаний математического и физического маятников. Массу маятника и период его колебаний можно измерить с очень высокой точностью, большие затруднения вызывает точность измерения момента инерции. Указанного недостатка лишен метод оборотного маятника, который позволяет исключить момент инерции из расчетной формулы для  $g$ .

Оборотный маятник представляет собой металлический стержень, на котором закреплены две точки подвеса. На рисунке 1а представлена схема оборотного маятника. Здесь  $C$  – точка, в которой находится центр масс маятника,  $O$  – положение оси вращения,  $K$  –

центр качания. Положение одной точки подвеса зафиксировано (т.  $O$ ), вторую можно перемещать вдоль стержня (т.  $K$ ).

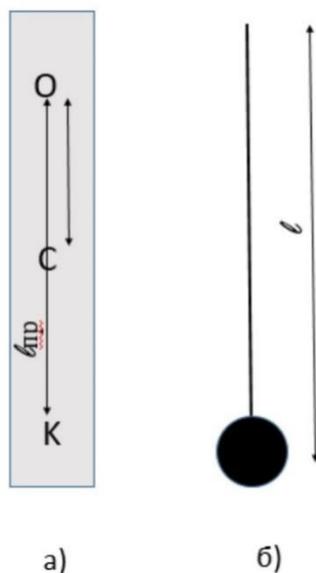


Рис.1 а) Физический маятник,  $O$  – точка качания,  $C$  – центр масс,  $K$  – центр качания,  $OK$  – приведенная длина, б) Математический маятник

Если закрепить маятник в точке подвеса  $O$  и вывести из положения равновесия, отклонив его на небольшой угол, то маятник будет колебаться вокруг оси, проходящей через точку подвеса с периодом колебаний:

$$T_{\text{фм}} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl_{oc}}}, \quad (1)$$

здесь  $J$  – момент инерции маятника, относительно оси колебаний, проходящей через точку подвеса,  $m$  – масса маятника,  $l_{oc}$  – расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника (расстояние  $OC$ ).

Маятник, период колебаний которого зависит от момента инерции, называется физическим маятником. Любой реальный маятник является физическим. В физике существует также

математический маятник – модель реального маятника, в котором вся масса сосредоточена в одной точке (см. рисунок 1б), а период колебаний зависит только от длины подвеса:

$$T_{\text{мм}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (2)$$

здесь  $l$  – длина математического маятника.

Период колебаний физического маятника из формулы (1) можно записать подобно виду (2), если ввести понятие приведенной длины физического маятника

$$l = \frac{J}{ml_{\text{oc}}} = l_{\text{np}} \quad (3)$$

Приведенная длина физического маятника равна длине такого математического маятника, период колебаний которого совпадает с периодом физического маятника. Тогда для физического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{\text{np}}}{g}} \quad (4)$$

Кроме того, приведенную длину физического маятника можно определить, как расстояние между точкой подвеса и центром качания (расстояние  $OK$  на рисунке 1а).

Точка  $K$  (рисунок 1), отстоящая от точки подвеса на расстоянии приведенной длины  $l_{\text{np}}$ , называется центром качания. Центр качания маятника удовлетворяет важному условию сопряженности, состоящему в том, что при перемене ролями точки подвеса и центра качания период колебаний маятника остается неизменным.

Свойством сопряженности маятника можно воспользоваться для определения ускорения свободного падения, так как, зная

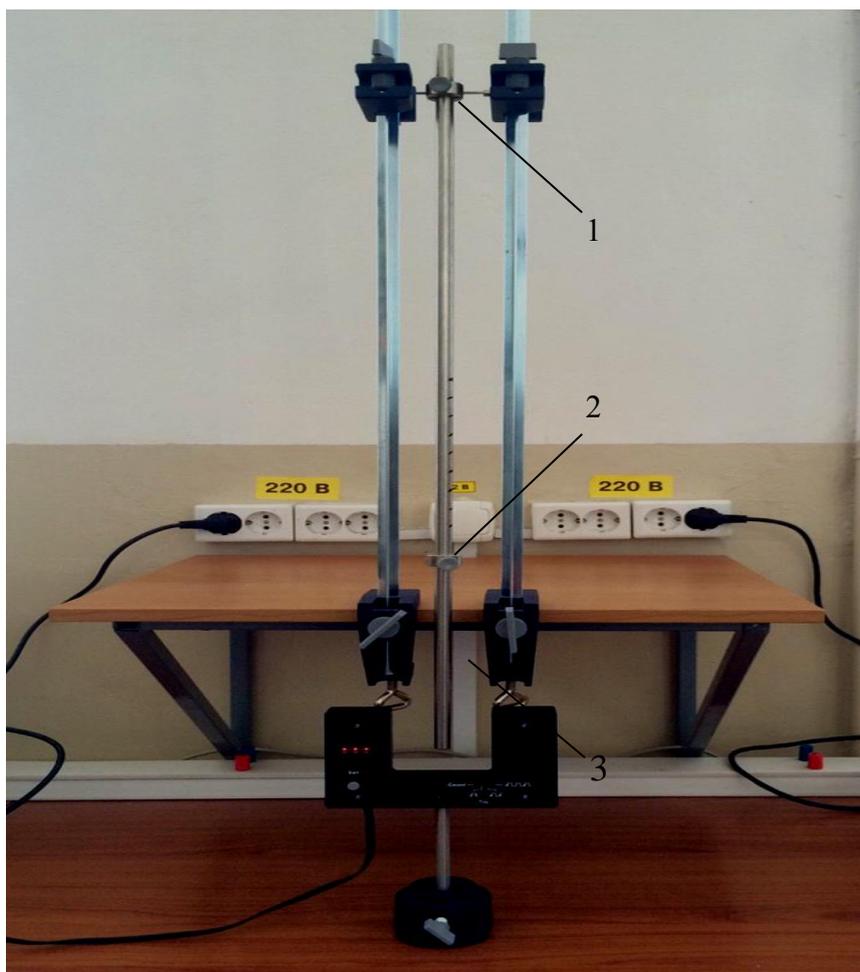
расстояние  $l_{np}$  и определяя из опыта период  $T$ , можно вычислить  $g$  из формулы (4):

$$g = 4\pi^2 \frac{l_{np}}{T^2} \quad (5)$$

Таким образом, идея лабораторной работы заключается в нахождении положения центра качания обратного маятника, вычислении приведенной длины, измерении периода колебаний и определении  $g$ .

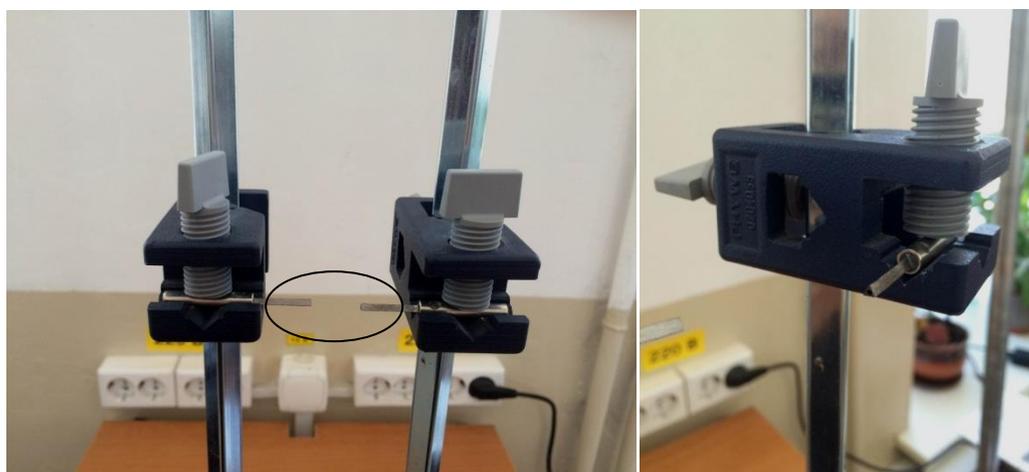
### **УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА**

Соберите установку как показано на рисунке 2. Опорные втулки (1 ( $O$ ) и 2 ( $K$ ) соответственно) прикрепляются на расстоянии 12 см от концов соответствующих штативных стержней. Световой барьер 3 устанавливается таким образом, чтобы стержень мог свободно колебаться, проходя через него (рисунок 4).



*Рисунок 2. Схема экспериментальной установки*

На обеих точках подвеса (опорных втулках) есть выемки, которые необходимо поместить на оси подвеса (рисунок 3).



*Рисунок 3. Крепления оси подвеса*

Винт на втулке 2 позволяет менять ее положение. Расположение опорной втулки 1 не меняется на протяжении всего эксперимента. Период маятника определяется с помощью светового барьера (рисунок 4).



Рисунок 4. Световой барьер

Центр качания и ось колебаний всегда расположены симметрично относительно центра масс маятника, однако положение центра масс неизвестно, поэтому нужно определить положение точки качания экспериментально.

Для этого необходимо, закрепив маятник в первой точке подвеса (т.О), с помощью светового барьера измерить период колебаний маятника для разных положений т.К. Потом, закрепив маятник во второй точке подвеса (т.К), вновь измерить период колебаний маятника для разных положений т.К.

Измерения необходимо выполнять для двух случаев: когда ось колебаний находится в т. О и когда ось колебаний находится в т. К. Когда периоды колебаний для разных осей совпадут, точки К и О будут соответствовать оси колебаний и центру качания. В этот момент расстояние между точками О и К будет равно приведенной

длине, а период соответствовать периоду колебаний математического маятника. С помощью этих значений, можно найти ускорение свободного падения по формуле 5.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

1. Поместите подвижную втулку в крайнее нижнее положение, расстояние между втулками должно быть 48 см. Выберите для барьера режим «измерение периода» (правое положение переключателя, рисунок 4).
2. Поместите на оси подвеса втулку 1. Отклоните маятник на небольшой угол ( $5-8^\circ$ ) и отпустите, при таких значениях угла отклонения колебания будут гармоническими. Нажмите кнопку «Set» на световом барьере для измерения периода колебания –  $T_1$ . Измерьте период 3 раза, внесите данные в таблицу 1.
3. Измерьте зависимость периода колебаний от расстояния между втулками. Расстояние меняется в интервале от 48 до 40 см с шагом 2 см. Измеренные периоды колебаний внесите в таблицу 1.
4. Переверните маятник так, чтобы втулка 2 стала осью колебаний. Измерьте зависимость периода колебаний от расстояния между втулками.
5. Постройте графики  $\langle T_1(l) \rangle$  и  $\langle T_2(l) \rangle$  на одной координатной плоскости. Координаты точки пересечения дадут значения периода колебаний математического маятника  $T$  и приведенной длины  $l_{np}=l$ .
6. Определите ускорение свободного падения по формуле 5.
7. Оцените полученное значение  $g$ , сравните с табличным.
8. Сделайте выводы о проделанной работе.

Таблица 1.

<i>Ось колебаний – втулка 1</i>				
<i>l, см</i>	<i>T<sub>1</sub>, с</i>	<i>T<sub>2</sub>, с</i>	<i>T<sub>3</sub>, с</i>	<i>&lt;T&gt;, с</i>
40				
42				
44				
46				
48				
<i>Ось колебаний – втулка 2</i>				
48				
46				
44				
42				
40				

### **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Что называют математическим маятником?
2. Что называют физическим маятником? Приведите примеры.
3. Какой маятник называется оборотным?
4. Какие колебания называются гармоническими?
5. Что называется амплитудой, фазой, частотой, циклической частотой, периодом колебаний?
6. Что называется моментом инерции?.
7. Какие величины влияют на период  $T$  колебаний маятника?  
Имеются ли максимумы и минимумы графика  $T(l)$ ?

8. Каким образом диаметр стержня, по которому перемещаются втулки, влияет на период колебаний?
9. Маятник может совершать колебания в двух плоскостях. Как это влияет на точность измерений?
10. Известно, что период колебаний математического маятника не зависит от массы  $m$ . Получите формулу для периода колебаний, в которую входит  $m$ . Объясните данное противоречие.
11. Как зависит период колебаний математического маятника от размеров тела, принимаемого за материальную точку?
12. Сформулируйте понятие приведенной длины физического маятника.
13. Как можно определить положение центра качания физического маятника?
14. Докажите, что при амплитуде маятника больше чем  $6...8^\circ$ , период колебаний зависит от амплитуды колебаний.
15. Колебания физического маятника являются затухающими. Как это определить экспериментально?
16. Как влияет затухание на величину периода колебаний?
17. Как зависит период колебаний физического и математического маятников от широты и высоты местности?
18. Запишите формулу периода колебаний физического маятника и поясните физический смысл величин, входящих в нее. При каких условиях справедлива эта формула?
19. Опишите рабочую установку и ход эксперимента.

## ГЛОССАРИЙ

**Амплитуда колебаний** – это наибольшее отклонение колеблющегося тела от положения равновесия.

**Колебания** – это движения или процессы, которые характеризуются определенной повторяемостью во времени.

**Математический маятник** – точечная масса, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити.

**Момент инерции** – скалярная физическая величина, которая характеризует распределение масс в теле, также являющаяся мерой инертности тела при непоступательном движении.

**Оборотный маятник** – физический маятник, который служит для определения ускорения свободного падения  $g$

**Период колебаний** – интервал времени, в течение которого происходит одно полное колебание.

**Приведенная длина** (применительно к физическому маятнику) – это длина математического маятника, период которого равен периоду колебаний данного физического маятника.

**Ускорение свободного падения** – ускорение, придаваемое телу силой тяжести, при исключении из рассмотрения других сил.

**Физический маятник** – твердое тело произвольной формы, свободно совершающее колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через его центр масс.

**Центр качания** – точка, в которой надо сосредоточить всю массу физического маятника, чтобы его период колебаний не изменился.

**Центр масс** – геометрическая точка, положение которой характеризует распределение масс в теле или механической системе.

Учебное издание

## ИЗУЧЕНИЕ ОБОРОТНОГО МАЯТНИКА

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
1-42 по курсу «Общая физика» для студентов всех направлений  
и специальностей

*Составители*

ЧИСТЯКОВА Надежда Владимировна

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном  
соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.12.2016. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.  
Заказ . Тираж 50 экз.

---

Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет

Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета

сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO  
9001:2008



---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)