

**Областное государственное бюджетное профессиональное  
образовательное учреждение  
«Рязанский строительный колледж»**



## **ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО МЕХАНИКЕ**

**Методические указания по выполнению  
лабораторных работ**

Рязань 2017

Печатается по решению методического совета  
Рязанского строительного колледжа  
от \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Лабораторные работы по механике.** Методические указания по выполнению лабораторных работ / Авторы-составители П.В. Абросимов, Е.В.Зенякина / Рязанский строительный колледж. – Рязань: ОГБПОУ РСК, 2017. - 34 с.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения Рязанского строительного колледжа, выполняющих лабораторный практикум по курсу «Физика», раздел «Механика».

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Введение</i> .....	4
1. Лабораторная работа №1.1 «Измерение размеров малых тел».....	5
2. Лабораторная работа №1.2 «Измерение ускорения движения тела».....	13
3. Лабораторная работа №1.3 «Измерение жёсткости пружины» .....	18
4. Лабораторная работа №1.4 «Определение ускорения тела по величине действующей на него силы и массе тела» .....	23
5. Лабораторная работа №1.5 «Измерение ускорения свободного падения с помощью маятника» .....	28

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия являются одной из ведущих форм учебной работы по физике. На этих занятиях студенты самостоятельно проводят физический эксперимент. При этом они изучают теоретические обоснования работы, проводят монтаж экспериментальной установки, планируют последовательность выполнения отдельных этапов работы, проводят наблюдения и измерения, а затем выполняют вычисления и делают вывод о проделанной работе.

*Особенностями лабораторных занятий по физике являются:*

- ✓ на занятиях в физической лаборатории студенты должны пользоваться не только учебными моделями приборов, но и современной аппаратурой, употребляющейся в настоящее время в передовой технике и научно-исследовательских лабораториях;
- ✓ в процессе лабораторных занятий студенты должны понять, что диалектический метод познания закономерностей физических процессов является единственным научным методом познания, что научные теории и представления отражают объективную реальность и что правильность этого отражения проверяется экспериментом или практикой;
- ✓ лабораторные занятия по физике развивают познавательные способности студентов, их наблюдательность, мышление, память, воображение, внимание;
- ✓ измерения физических величин должны производиться наиболее совершенными приборами, которые употребляются в настоящее время в научных учреждениях и промышленности;
- ✓ лабораторные занятия по физике способствуют развитию у студентов навыков производства вычислительных операций, в том числе и с помощью современных электронно-вычислительных машин (персональных компьютеров);
- ✓ физический практикум организуется так, что студенты получают, возможно, больше навыков в самостоятельной работе, как в экспериментальной части, так и при усвоении теоретического материала.

## Лабораторная работа № 1.1

### ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ

(виртуальная лабораторная работа)

Цель работы: ознакомится с понятиями: величина, измерение, погрешности измерений и измерить размеры малых тел с помощью ученической линейки.

Приборы и принадлежности: линейка, шарики из подшипника, винт, зёрна пшена, фотография золота в электронном микроскопе (на компьютере должна быть установлена программа «Лабораторные работы по физике» ЗАО «Новый Диск»).

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Важнейшей задачей физического практикума является обучение студентов обработке результатов эксперимента. Значение любой величины, определённой опытным путём, содержит большую или меньшую погрешность. В науке и технике невозможно использовать численные значения величин без знания их погрешностей. Поэтому очень важно научиться правильно рассчитывать погрешность измеряемой величины, уметь анализировать условия измерения, находить источники погрешностей, оценивать возможности используемого измерительного оборудования. Это тем более важно, что точность измерений является одной из характеристик технического уровня производства. Важно планировать и проводить эксперимент так, чтобы точность окончательного результата соответствовала его цели.

**Измерение** – это нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств или путём расчётов.

Различают *прямое* и *косвенное* измерения физической величины.

**Прямое измерение** – измерение, при котором искомое значение величины находят опытным путём с помощью измерительных приборов.

Примерами прямых измерений могут служить: измерение длины с помощью линейки, штангенциркуля, микрометра; измерение временных интервалов секундомером; измерение силы электрического тока амперметром; измерение температуры термометром, термопарой.

**Косвенное измерение** – измерение, когда конечный результат находят путём подстановки непосредственно измеренных величин в некоторую формулу.

Результаты измерений никогда не совпадают с истинным значением измеряемой величины. Это обусловлено принципиальными возможностями измерительных приборов, методов измерений, природой измеряемых объектов и воздействием окружающей среды. Поэтому любое прямое измерение проводят с определённой погрешностью.

Под **погрешностью измерения** понимают *отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины*.

По способу числового выражения различают *абсолютную погрешность*  $\Delta x$ , выражаемую в единицах измеряемой величины, и *относительную погрешность*  $\delta$ , выражаемую в процентах.

**Абсолютной погрешностью** ( $\Delta x$ ) называют модуль разности измеренного ( $x$ ) и истинного значения ( $x_0$ ) измеряемой величины:

$$\Delta x = |x - x_0|. \quad (1)$$

Поскольку истинное значение измеряемой величины ( $x_0$ ) обычно неизвестно, то, в случае многократных измерений, используют следующую формулу:

$$\Delta x_i = |x_{cp} - x_i|, \quad (2)$$

где  $\Delta x_i$  – абсолютная погрешность данного ( $i$ -го) измерения;

$x_{cp}$  – среднее значение измеряемой величины;

$x_i$  – значение данного ( $i$ -го) измерения.

Среднее значение измеряемой величины равно:

$$x_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3)$$

где  $n$  – число произведённых измерений;

$x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – значения измеренной величины.

Качество (точность) результатов измерений характеризуют не абсолютной погрешностью  $\Delta x$ , а её отношением к среднему значению измеряемой величины  $x_{cp}$ , которое называют относительной погрешностью  $\delta$  и обычно выражают в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_{cp}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Удобство такого представления поясним на примере. Пусть мы измеряем с абсолютной погрешностью  $\Delta x = 1$  см длину карандаша ( $x_1 = 15$  см) и расстояние от Рязани до Москвы ( $x_2 = 200$  км =  $2 \cdot 10^7$  см). В первом случае это будет очень скверная точность  $\delta \approx 7\%$ , во втором – чрезмерно высокая  $\delta \approx 5 \cdot 10^{-6} \%$ , и измерять с такой точностью в этом случае очень трудно, да и нет необходимости.

Следовательно, указание абсолютной погрешности измерений мало говорит о действительной точности, если не сопоставить величину ошибки и среднего значения самой измеряемой величины. С этой точки зрения относительная погрешность даёт более непосредственное представление о точности измерений.

При оценке абсолютной  $\Delta x$  и относительной  $\delta$  погрешностей пользуются понятиями *класса точности* и *цены деления прибора*.

**Классом точности прибора** называют его максимальную относительную погрешность (выраженную в процентах), рассчитанную по максимальному значению шкалы:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_{\max}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Класс точности проставляется на шкале прибора числом или записывается в паспорте прибора. Например, класс точности 0,2 означает, что при измерениях данным прибором мы допускаем относительную погрешность 0,2%.

**Ценой деления прибора** называют количество единиц измеряемой величины в одном делении шкалы:

$$C = \frac{x_{\max}}{n}. \quad (6)$$

где  $x_{\max}$  – максимальное значение шкалы прибора;  
 $n$  – количество делений в шкале прибора.

Например, вольтметр, рассчитанный на 100 В, имеет шкалу в 50 делений. Цена деления этого вольтметра равна:

$$C = \frac{x_{\max}}{n} = \frac{100 \text{ В}}{50 \text{ дел}} = 2 \frac{\text{В}}{\text{дел}}.$$

Согласно теории вероятности, максимальная абсолютная погрешность измерения не превышает половины цены деления прибора, т.е.

$$\Delta x = \frac{C}{2}. \quad (7)$$

где  $C$  – цена деления прибора.

Погрешности делятся на три основных вида: *систематические, случайные и промахи*.

**Систематические погрешности** – погрешности, постоянные или изменяющиеся по определённому закону в зависимости от вызывающих их причин. Источниками систематических погрешностей обычно являются неправильная юстировка приборов, закономерно изменяющиеся внешние факторы, неправильный учёт сопутствующих эффектов и др. Для выявления и исключения систематических погрешностей необходимо предварительно изучить источники погрешностей, провести контрольные проверки мер и измерительных приборов, обучить оператора правилам пользования измерительными средствами, использовать поправочные формулы, кривые, таблицы, исключить,

если это возможно, источник той или иной погрешности (установить указатель прибора перед проведением измерений в нулевое положение, устранить источник температурных и других влияний).

**Случайные погрешности** – погрешности, неопределённые по значению и знаку, возникающие в результате совокупного действия различных случайных величин. Этот вид погрешностей обнаруживается при многократном измерении одной и той же величины в одинаковых условиях с помощью одних и тех же средств. Числовые результаты, получаемые при измерениях, всегда несколько отличаются друг от друга. Случайные погрешности нельзя исключить, их влияние на результат измерений следует учитывать методами теории вероятностей и математической статистики.

**Промахи** – результаты, резко выделяющиеся из данной серии измерений. Они возникают из-за неисправностей измерительной аппаратуры, ошибок в измерительных схемах, неправильных действий наблюдателя (неправильные записи наблюдений, неверный отсчёт показаний измерительных приборов) и других причин. Результаты измерений, содержащие промахи, должны быть отброшены как недостоверные. Во избежание промахов перед проведением измерений нужно исключить создающие их причины и обращать особое внимание на соблюдение аккуратности и тщательности в работе с приборами и записями отсчётов.

Проделав измерения и используя результаты теории погрешностей, можно дать количественную оценку погрешности и указать вероятность, при которой истинное значение измеряемой величины находится внутри некоторого интервала:

$$x = (x_{\text{изм}} \pm \Delta x) \text{ (единица измерения),}$$
$$\frac{\Delta x}{x} \approx \dots \% \text{ (округляется до целого числа!).}$$

В данной работе необходимо выполнить измерения способом рядов и определить размер тел косвенным методом.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Задание 1. Измерение диаметра шарика

1. В пробирку положите 10-20 шариков ( $n$ ).
2. Измерьте линейкой длину получившегося ряда шариков  $L$ .
3. Вычислите средний диаметр одного шарика  $d = \frac{L}{n}$ .
4. Зная цену деления линейки, определите погрешность измерения  $\Delta L = \frac{C}{2} \cdot 2 = C$  длины ряда (удвоили, так как изменение линейкой производили и слева и справа ряда).
5. Вычислите погрешность, приходящуюся на один шарик  $\Delta d = \frac{\Delta L}{n}$ .
6. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу измерений.

### Задание 2. Измерение шага резьбы винта

1. Измерьте длину всей резьбовой части винта  $L$ .
2. Подсчитайте количество оборотов резьбы винта  $n$ .
3. Вычислите шаг резьбы винта  $d = \frac{L}{n}$ .
4. Результаты запишите в таблицу.
5. Запишите в таблицу погрешность измерения  $\Delta L = \frac{C}{2} \cdot 2 = C$ .
6. Вычислите и запишите погрешность, приходящуюся на один виток  $\Delta d = \frac{\Delta L}{n}$ .

### Задание 3. Измерение диаметра зёрен пшена

1. Горсть пшена подвиньте вплотную к линейке.
2. Измерьте линейкой длину получившегося ряда зёрен  $L$ .

3. Подсчитайте количество  $n$  зёрен, лежащих вдоль линейки. Вычислите средний диаметр одного зёрнышка  $d = \frac{L}{n}$ .
4. Результаты запишите в таблицу.
5. Запишите в таблицу погрешность измерения  $\Delta L = \frac{C}{2} \cdot 2 = C$ .
6. Вычислите погрешность, приходящуюся на одно зёрнышко  $\Delta d = \frac{\Delta L}{n}$ .

**Задание 4.** Измерение диаметра атома золота.

1. Приложите линейку к фотографии атомов золота и измерьте длину ряда атомов золота  $L$ .
2. Подсчитайте количество  $n$  атомов золота, лежащих вдоль линейки. Вычислите средний диаметр одного атома на фото:  $d_{am} = \frac{L}{n}$ .
3. Вычислите диаметр атома золота с учётом масштаба:  $d = \frac{d_{am}}{20000000}$ .
4. Результаты запишите в таблицу.
5. Запишите в таблицу погрешность измерения  $\Delta L = \frac{C}{2} \cdot 2 = C$ .
6. Вычислите и запишите в таблицу погрешность, приходящуюся на один атом золота с учётом масштаба:  $\Delta d = \frac{\Delta L}{n \cdot 20000000}$ .

**Задание 5.** Сравните погрешность  $\Delta L$  с погрешностью  $\Delta d$  и сделайте вывод. Вычислите относительные погрешности  $\frac{\Delta d}{d}$  для всех четырёх заданий.

Запишите окончательный вывод по проделанной работе с указанием измеренных диаметров (шага резьбы) для всех заданий в виде:

$$\text{Шарик: } d = (d_{изм} \pm \Delta d) \text{ мм,}$$

$$\frac{\Delta d}{d} \approx \dots \% \text{ (округлите до целого числа!)}$$

и т. д.

Таблица измерений.

	$n$	$L$ , мм	$d$ , мм	$\Delta L$ , мм	$\Delta d$ , мм	$\frac{\Delta d}{d}$ , %
шарик						
шаг резьбы болта						
зёрнышко пшеницы						
атом золота						

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое измерение?
2. Какие измерения Вы знаете? Дайте им определения и приведите примеры.
3. Что понимают под погрешностью измерения?
4. Что такое абсолютная погрешность? Относительная погрешность? Какая из них характеризует качество (точность) результатов измерений?
5. На какие три основных вида делятся погрешности? Дайте им определения и поясните из-за чего они возникают.
6. Что называют ценой деления прибора? Как она находится?
7. Во сколько раз изменится погрешность  $\Delta d$ , если увеличить количество предметов в два раза?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

## Лабораторная работа № 1.2

### ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА

Цель работы: определить величину ускорения, с которым тело соскальзывает с наклонной плоскости, и доказать, что оно при этом движется равноускорено.

Приборы и принадлежности: электронный секундомер с двумя датчиками, штатив с муфтой и штативной лапой, направляющая рейка, каретка, пластиковый коврик.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Ускорение** (от лат. *acceleratio* – ускорение) – векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости материальной точки по модулю и направлению; ускорение численно равно отношению изменения скорости материальной точки ( $\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$ ) к длительности промежутка времени ( $\Delta t = t - t_0$ ), в течение которого это изменение произошло:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1)$$

Вектор ускорения  $\vec{a}$  направлен так же, как вектор изменения скорости  $\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$ .

Единица ускорения в СИ – метр на секунду в квадрате ( $\text{м/с}^2$ ).

**Равноускоренное прямолинейное движение** – это движение, при котором ускорение постоянно по модулю и направлению, и векторы скорости и ускорения являются равнонаправленными:

$$\vec{a} = \text{const}; \quad \vec{v} \uparrow \uparrow \vec{a}, \quad a > 0.$$

При равноускоренном движении тела по прямой линии путь, который оно проходит, ускорение, начальная скорость и время движения связаны соотношением:

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (2)$$

Если тело начинает движение из состояния покоя, то есть его начальная скорость равна нулю, то его перемещение будет изменяться со временем по закону:

$$S = \frac{at^2}{2}. \quad (3)$$

Этим уравнением удобно воспользоваться для определения ускорения движения тела. Из формулы (3) следует, что

$$a = \frac{2S}{t^2}. \quad (4)$$

Поэтому, чтобы узнать ускорение тела достаточно измерить пройденный им путь  $S$  и время движения  $t$ , за которое оно произошло этот путь.

Если путь тела из состояния покоя и время, затраченное на него, измерить на разных участках траектории, а затем для каждого участка по формуле (4) вычислить ускорение, и при этом окажется, что значения ускорений на всех участках совпадают, то можно утверждать, что тело двигалось с постоянным ускорением, то есть равноускорено.

В данной работе ускорение измеряют с помощью прибора для изучения прямолинейного движения (рис. 1).

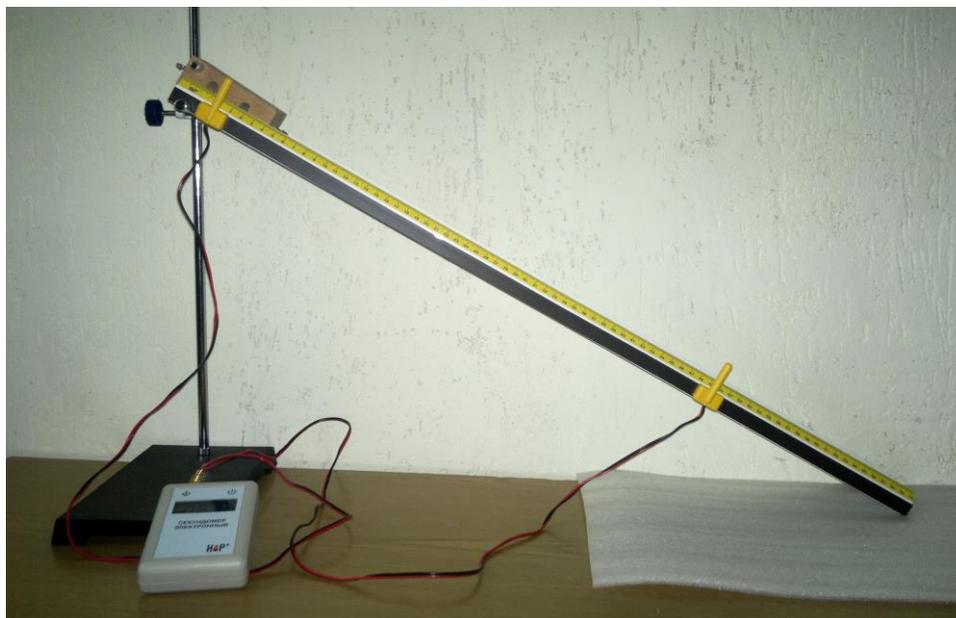


Рис. 1.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Направляющую рейку, по которой будет соскальзывать каретка, с помощью штатива закрепляют наклонно, так чтобы её верхний край находился бы на высоте около 30 см от поверхности стола. Под нижний край подкладывают пластиковый коврик. Каретку удерживают на направляющей в крайнем верхнем положении. Выступ каретки с магнитом должен быть обращён в сторону датчиков секундомера. Первый датчик устанавливают на направляющей рейке вблизи магнита каретки. Его положение следует отрегулировать особенно тщательно, так, чтобы секундомер начинал работу, как только каретка придёт в движение. Второй датчик располагают на удалении 20-25 см от первого.
2. По шкале прибора измеряют и записывают в таблицу значение пути  $S_1$ , который каретка пройдёт, двигаясь между датчиками.
3. Отпускают каретку и определяют время её движения  $t_1$  между датчиками.
4. Повторяют опыт 6 раз при неизменном расстоянии между датчиками и каждый раз записывают время движения тела в таблицу.
5. Увеличивают на 5 см расстояние между датчиками и измеряют значение пути  $S_2$ .
6. Проводят 7 пусков каретки, всякий раз определяя время  $t_2$  её движения между датчиками.
7. Ещё раз увеличивают расстояние между датчиками на 5 см, повторяют все измерения.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Рассчитайте среднее время движения на первом участке  $t_{1cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_7}{7}$  и запишите в таблицу (см. ниже).

2. Вычислите ускорение каретки на первом участке  $a_1 = \frac{2S_1}{t_{1cp}^2}$ .
3. Рассчитайте среднее время движения на втором участке  $t_{2cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_7}{7}$ .
4. Вычислите ускорение каретки на первом участке  $a_2 = \frac{2S_2}{t_{2cp}^2}$ .
5. Рассчитайте среднее время движения на третьем участке  $t_{3cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_7}{7}$ .
6. Вычислите ускорение каретки на первом участке  $a_3 = \frac{2S_3}{t_{3cp}^2}$ .
7. Сравнивая значения ускорений  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ , делают вывод о том, насколько движение каретки было равноускоренным.
8. Рассчитайте среднее ускорение, с которым двигалась каретка  $a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$  и запишите его в таблицу.
9. Оцените погрешности измерений по формулам:

✓ абсолютная погрешность  $\Delta a = 1,76\sqrt{(a - a_1)^2 + (a - a_2)^2 + (a - a_3)^2}$  ;

✓ относительная погрешность  $\frac{\Delta a}{a}$ .

10. Сделайте общий вывод по работе с указанием измеренного ускорения:

$$a = (a_{изм} \pm \Delta a) \frac{M}{c^2},$$

$$\frac{\Delta a}{a} \approx \dots \% \text{ (округлите до целого числа!)}$$

Таблица измерений.

№	$S_1$ , см	$t_1$ , с	$a_1$ , м/с <sup>2</sup>	$S_2$ , см	$t_2$ , с	$a_2$ , м/с <sup>2</sup>	$S_3$ , см	$t_3$ , с	$a_3$ , м/с <sup>2</sup>	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$\Delta a$ , м/с <sup>2</sup>	$\frac{\Delta a}{a}$ , %
1	–		–	–		–	–		–	–	–	–
2												
3												
4												
5												
6												
7												
<i>Ср.</i>												

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая физическая величина называется ускорением?
2. Что характеризует ускорение?
3. Как направлен вектор ускорения?
4. Назовите единицу измерения ускорения в СИ.
5. Какое прямолинейное движение называют равноускоренным; равнозамедленным?
6. Как рассчитать путь при равноускоренном движении?
7. Определите, через сколько секунд от начала движения (из состояния покоя) легковой автомобиль будет иметь скорость 90 км/ч, если он движется с ускорением 1,5 м/с<sup>2</sup>.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

## Лабораторная работа № 1.3

### ИЗМЕРЕНИЕ ЖЁСТКОСТИ ПРУЖИНЫ

Цель работы: определить коэффициент жёсткости пружины динамометра.

Приборы и принадлежности: штатив с штативной лапой и муфтой, набор грузов, динамометр, линейка с миллиметровыми делениями.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Как известно из опыта, под действием приложенных к любому реальному телу сил оно **деформируется**, т.е. *изменяет свои размеры и форму*. Если после прекращения действия силы тело принимает первоначальные размеры и форму, **деформация называется упругой**. В противном случае деформация называется **неупругой (пластической)**. После пластической деформации тело сохраняет (частично или полностью) вновь приобретённую форму и изменённые размеры.

Заметим, что упругие деформации наблюдаются в том случае, если сила, обусловившая деформацию, не превосходит некоторый, определённой для каждого конкретного тела предел (предел упругости).

Различают следующие виды деформаций:

1. *Растяжение (сжатие);*
2. *Изгиб;*
3. *Кручение;*
4. *Сдвиг.*

Наиболее простой является упругая деформация растяжения (сжатия), возникающая при действии на тело внешних сил, растягивающих (сжимающих) его.

В этом случае справедлив закон, установленный в 1660 г. англ. учёным Р. Гуком (**закон Гука**): *в области упругих деформаций сила упругости прямо пропорциональна величине абсолютной деформации тела:*

$$F_{упр} = -k\Delta x \quad (\text{в проекциях на ось } OX), \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент упругости (жёсткости) тела. Зависит от рода вещества и размеров тела. В СИ  $[k] = 1 \text{ Н/м}$ .

$\Delta x = l - l_0$  – величина абсолютной деформации тела,

$l$  – длина тела после деформации,  $l_0$  – первоначальная длина тела.

**Сила упругости** – сила, возникающая при деформации тела и направленная в сторону, противоположную смещению частиц деформируемого тела.

Знак « $-$ » в законе Гука отражает тот факт, что сила упругости направлена в сторону, противоположную смещению частиц тела (т.е. против внешней силы).

Природа силы упругости – электромагнитная, т.к. её проявление обусловлено взаимодействием заряженных частиц, входящих в состав атомов и молекул вещества.

Закону Гука подчиняются малые деформации, возникающие в стержнях из чугуна, стали, алюминия, пружинах и других упругих телах, т.е. если  $\Delta x \ll l_0$ . При больших деформациях закон Гука не выполняется.

Как следует из соотношения (1), по удлинению пружины  $\Delta x$  можно определить силу, действующую на неё. Закон Гука лежит в основе измерения сил. Проградуированная пружина, предназначенная для измерения сил, называется **пружинным динамометром**. С его помощью измеряют силы, имеющие произвольное направление в пространстве.

Способ измерения жёсткости пружины, которым пользуются в работе, основан на использовании графика зависимости силы упругости, возникающей в пружине при её растяжении от величины удлинения.

Удлиняться пружина динамометра будет под действием веса подвешенных к нему грузов. Удлинение происходит до тех пор, пока вес груза не уравновесится силой упругости пружины.

Удлинение пружины измеряется непосредственно по шкале направляющей рейки. Величину силы упругости определяют по показаниям динамометра.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Закрепите муфту с штативной лапой на стержне штатива на высоте около 45 см от поверхности стола. В штативной лапе закрепите динамометр как показано на рисунке. Линейку с миллиметровыми делениями установите вертикально. Её шкала должна располагаться вблизи указателя динамометра.
2. Заметьте положение стрелки динамометра относительно шкалы.
3. Подвесьте к динамометру один груз и по шкале с миллиметровыми делениями определите удлинение его пружины в миллиметрах. Удлинение находят как разницу двух положений указателя динамометра на шкале при нагруженном и ненагруженном динамометре.
4. По шкале динамометра измерьте величину силы упругости. Результаты измерений занесите в таблицу.
5. Подвесьте к динамометру два груза и вновь определите удлинение пружины и величину силы упругости.
6. Повторите опыт с тремя и четырьмя грузами. Чтобы в случае трёх и четырёх грузов они не касались поверхности стола, необходимо штатив расположить на краю стола, а перекладину расположить так, чтобы грузы свешивались за границы стола. Направляющей рейкой и в этом случае можно измерить удлинение пружины динамометра.



## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Начертите координатные оси для построения графика зависимости силы упругости от величины удлинения. Ось абсцисс –  $\Delta x$ , ординат –  $F_{упр}$ .
2. Нанесите на координатной плоскости соответствующие результатам каждого опыта точки.
3. Постройте график зависимости силы упругости от величины удлинения пружины. Если точки не ложатся на одну прямую, то провести линию графика надо так, чтобы половина точек расположилась по одну сторону от неё, а другая половина – по другую и точки были возможно близко от прямой.
4. По графику определите коэффициент жёсткости пружины. Для этого в средней части графика возьмите произвольную точку, опустите от неё перпендикуляры на координатные оси и определите соответствующие этой точке величины удлинения и силы упругости. По полученным значениям этих величин на основании закона Гука вычислите коэффициент жёсткости (жёсткость) пружины:

$$k = \frac{F_{упр}}{\Delta x}.$$

Не забудьте перевести величину удлинения  $\Delta x$  пружины в Международную систему!

5. Сделайте вывод по работе.

*Таблица измерений.*

№	Модуль силы упругости $F_{упр}$ , Н	Модуль удлинения $\Delta x$ , мм
1		
2		
3		
4		

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое деформация?
2. Какая деформация называется упругой? пластической?
3. Какие виды деформаций Вы знаете?
4. Сформулируйте закон Гука, запишите формулу и поясните входящие в неё величины.
5. Каков физический смысл знака « $\leftrightarrow$ » в законе Гука?
6. Какая сила называется силой упругости? Какова её природа?
7. При растяжении пружины на 12 см возникает сила упругости 3 Н. Какова жёсткость этой пружины?

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

## Лабораторная работа № 1.4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЕ ТЕЛА ПО ВЕЛИЧИНЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА НЕГО СИЛЫ И МАССЕ ТЕЛА

Цель работы: проверить утверждения о том, что величина ускорения тела и величина силы, под действием которой тело с этим ускорением дви-

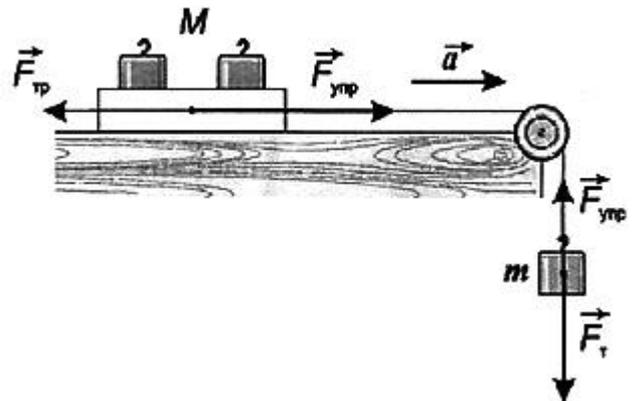
жется, связаны соотношением  $a = \frac{F}{m}$ .

Приборы и принадлежности: направляющая рейка, штатив с муфтой, неподвижный блок, набор грузов, нить, динамометр, весы с разновесами, каретка, электронный секундомер с двумя датчиками.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель работы достигается тем, что вначале рассчитывают, какое ускорение должно иметь тело известной массы под действием приложенных к нему сил, величины которых также известны, а затем в ходе опыта определяют с каким ускорением тело реально двигалось при действии этих сил.

В опыте исследуют движение каретки по направляющей рейке, расположенной горизонтально. В движение она приходит под действием двух сил: силы упругости  $F_{упр}$  нити и силы трения  $F_{тр}$  о поверхность рейки. Сила упругости возникает при растяжении нити грузом, подвешенном на другом конце нити. Поскольку каретка и подвешенный груз будут двигаться с одинаковым по модулю ускорением, то уравнения их движения могут быть записаны в следующем виде:



$$\vec{F}_{упр} + \vec{F}_{тр} = M\vec{a}; \quad (1)$$

$$\vec{F}_г + \vec{F}_{упр} = m\vec{a}, \quad (2)$$

где  $\vec{F}_{упр}$  – сила упругости, действующая на каретку и на подвешенный груз;  
 $\vec{F}_{тр}$  – сила трения, действующая на каретку;  
 $\vec{F}_T$  – сила тяжести, действующая на подвешенный груз;  
 $M$  – суммарная масса каретки и установленных на ней грузов;  
 $m$  – масса груза, подвешенного на нити;  
 $a$  – ускорение, с которым движутся каретка и груз.

В проекциях уравнения (1) и (2) будут выглядеть так:

$$F_{упр} - F_{тр} = Ma ; \quad (3)$$

$$F_T - F_{упр} = ma . \quad (4)$$

Складывая левые и правые части этих уравнений имеем:

$$F_T - F_{тр} = Ma + ma$$

или

$$a(M + m) = F_T - F_{тр}.$$

Отсюда

$$a = \frac{F_T - F_{тр}}{M + m}. \quad (5)$$

Чтобы определить с каким ускорением каретка реально двигалась, необходимо измерить её перемещение  $S$  и время  $t$ , за которое оно было совершено. Так как каретка начинает двигаться из состояния покоя, то уравнение её движения имеет вид:

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

Тогда

$$a = \frac{2S}{t^2}. \quad (6)$$

Для измерения перемещения и времени движения каретки на направляющей рейке устанавливают датчики секундомера. Один из них должен запускать секундомер, как только каретка начнёт двигаться. Место его установки определяют опытным путём, действуя в следующем порядке. Каретку размещают на левом крае направляющей рейки. Датчик устанавливают на рейке несколько правее магнита каретки, и медленно приближают к магниту до тех пор, пока секундомер не начнёт работать. После этого датчик плавно перемещают вправо, чтобы он вышел из зоны действия магнита, закреплённого в каретке. Правильно установленный датчик располагается на минимальном расстоянии от магнита каретки. Второй датчик устанавливают в 20 см от первого.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерьте на весах массу  $M$  каретки с двумя грузами.
2. Измерьте на весах массу  $m$  (два грузика).
3. Прикрепите груз  $m$  (два грузика) к динамометру и определите величину действующей на него силы тяжести  $F_T$  (*все снимаемые данные заносите в таблицу измерений*).
4. Соберите экспериментальную установку. Длину нити выбирают такой, чтобы подвешенный к ней груз, при крайнем левом положении каретки на направляющей рейке, находился на высоте 35-40 см от пола.
5. Определите силу трения  $F_{тр}$  каретки о поверхность направляющей рейки динамометром с пределом измерения до 1 Н. Для этого каретку с двумя грузами устанавливают на направляющую рейку, прикрепляют к ней динамометр и, потянув за него вдоль рейки, приводят каретку в равномерное движение. По показанию динамометра определяют величину силы трения.
6. Вычислите значение ускорения  $a_k$ , с которым каретка должна двигаться по рейке в соответствии с выводами теории, на основании которых была получена формула (5). При расчёте забудьте перевести все величины в СИ.

7. Установите каретку в крайнее левое положение на рейке, произведите её пуск и определите время  $t$  движения между датчиками (датчики должны находиться на расстоянии 20 см друг от друга).
8. Не меняя положения датчиков повторите измерение времени ещё 6 раз и определите среднее время движения  $t_{cp}$  между датчиками.
9. Запишите расстояние  $S$  между датчиками в таблицу.
10. Воспользовавшись формулой (6), по среднему значению времени, определите фактическое значение ускорения  $a_{\phi}$  каретки, которое она имела, перемещаясь по рейке. При расчёте забудьте перевести все величины в СИ.
11. Сравните полученные значения ускорений  $a_k, a_{\phi}$ .
12. Сделайте вывод по работе, указав возможные причины расхождения результатов ускорений.

*Таблица измерений.*

№	$F_T, \text{H}$	$M, \text{г}$	$m, \text{г}$	$F_{mp}, \text{H}$	$a_k, \text{м/с}^2$	$t, \text{с}$	$S, \text{см}$	$a_{\phi}, \text{м/с}^2$
1	–	–	–	–	–		–	–
2								
3								
4								
5								
6								
7								
<i>Ср.</i>								

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое ускорение? сила? масса?
2. Единицы измерений ускорения, силы, массы в СИ?
3. Сформулируйте второй закон Ньютона (основной закон динамики) и запишите его математическое выражение.
4. Запишите второй закон Ньютона для движущейся каретки и для груза, опускающегося на нити вниз.
5. Запишите и поясните уравнение движения каретки.
6. Два груза массами 100 г и 300 г, связанные невесомой нерастяжимой нитью, движутся по гладкому горизонтальному столу. К меньшему грузу приложена горизонтально направленная сила 2 Н. Пренебрегая трением, определите ускорения грузов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

## Лабораторная работа № 1.5

### ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА

Цель работы: определить ускорение свободного падения на основе зависимости периода колебаний маятника на подвесе от длины подвеса.

Приборы и принадлежности: штатив с муфтой и штативной лапой, нить с петлями на концах, груз с крючком, измерительная лента, электронный секундомер.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Колебательными движениями (**колебаниями**) называют *движения или процессы, точно или приблизительно повторяющиеся через равные промежутки времени*. Среди них важную роль играют периодические движения. Движение называют **периодическим**, *если значения физических величин (например, смещения или скорости), изменяющиеся в процессе движения, повторяются через равные промежутки времени*.

Примерами периодического движения могут служить движение планет вокруг Солнца, движение поршня в цилиндре двигателя внутреннего сгорания и др.

Колебательную систему вне зависимости от её физической природы называют **осциллятором**. Примером осциллятора является колеблющийся груз, подвешенный на пружине или нити.

**Полным колебанием** называют *один законченный цикл колебательного движения, после которого оно повторяется в том же порядке*.

**Период колебаний  $T$**  – время, в течение которого совершается одно полное колебание. Единица периода – секунда (с).

**Частота периодических колебаний  $\nu$**  – величина, показывающая число полных колебаний, совершаемых за единицу времени. Частота – величина обратная периоду:

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1)$$

Единица частоты – герц (Гц).

1 Гц – это частота колебаний, период которых равен 1с (1 Гц = 1с<sup>-1</sup>).

**Свободными (собственными) колебаниями** называют колебания, которые происходят в системе, представленной самой себе после того, как она была выведена из положения равновесия.

Свободные колебания совершаются в колебательной системе без внешнего воздействия за счёт первоначально сообщённой энергии.

Системы, в которых происходят колебания в малых окрестностях около положения равновесия называют **линейными**. Примером линейной колебательной системы является математический маятник.

**Математический маятник** – идеализированная система, представля-



ющая собой материальную точку, подвешенную на тонкой невесомой нерастяжимой нити.

Период колебаний математического маятника определяется по формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (2)$$

где  $l$  – длина нити,

$g$  – ускорение свободного падения.

Период колебаний математического маятника не зависит от его массы и амплитуды колебаний, он пропорционален корню квадратному из длины маятника и обратно пропорционален корню квадратному из ускорения свободного падения.

Если груз, подвешенный на нити, колеблется, а его размеры значительно меньше, чем длина нити, то период колебаний может быть определён из формулы периода колебаний математического маятника (2). В данном случае под  $l$  понимают не длину нити, а расстояние от точки подвеса до центра тяжести груза.

Зная период колебаний и длину нити, на основании формулы (2) можно определить величину ускорения свободного падения:

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}. \quad (3)$$

Длину нити определяют измерительной лентой, а период электронным секундомером – по времени  $t$ , за которое маятник совершит определённое количество колебаний  $N$ :

$$T = \frac{t}{N}. \quad (4)$$

Причём угол отклонения нити от вертикали при колебаниях груза не должен быть слишком велик (до 5-7 градусов), иначе формула для определения ускорения свободного падения перестаёт быть верной.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Закрепите штативную лапу у верхнего края стержня штатива. Штатив разместите на столе так, чтобы конец перекладины выступал за край поверхности стола. Подвесьте к перекладине один груз из набора. Груз должен висеть в 3-4 см от пола.
2. Измерьте лентой длину маятника  $l$  (длину нити нужно выбирать максимально возможной, для уменьшения угла отклонения нити от вертикали) и запишите в таблицу измерений.
3. Отклоните маятник на 4-5 см (при длине нити не менее 50 см) и отпустите его.
4. Электронным секундомером измерьте время  $t$ , за которое маятник совершит 40 полных колебаний и запишите в таблицу измерений.
5. Повторите опыт ещё 6 раз, после чего вычислите среднее время  $t_{cp}$ , за которое маятник сделает 40 колебаний.
6. Вычислите период колебаний по формуле (4).
7. По формуле (3) вычислите ускорение свободного падения  $g$ .
8. Оцените относительную ошибку полученного результата по формуле:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{|g_{изм} - g_{табл}|}{g_{табл}} \cdot 100\%,$$

где  $g_{изм}$  – величина ускорения свободного падения, определённая по результатам проделанной работы,

$g_{изм} = 9,81 \text{ м/с}^2$  – табличное значение ускорения свободного падения.

9. Вычислите абсолютную погрешность измерения ускорения свободного падения по формуле:

$$\Delta g = g_{\text{изм}} \cdot \frac{|g_{\text{изм}} - g_{\text{табл}}|}{g_{\text{табл}}}$$

10. Сделайте общий вывод по работе с указанием измеренного ускорения свободного падения:

$$g = (g_{\text{изм}} \pm \Delta g) \frac{\text{М}}{\text{с}^2},$$

$$\frac{\Delta g}{g} \approx \dots \% \text{ (округлите до целого числа!)}$$

Таблица измерений.

№	$l$ , см	$N$	$t$ , с	$T$ , с	$g$ , м/с <sup>2</sup>	$\Delta g$ , м/с <sup>2</sup>	$\frac{\Delta g}{g}$ , %
1	—	—		—	—	—	—
2							
3							
4							
5							
6							
7							
Ср.		40					

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое движение называют колебательным?
2. Дайте определение периода и частоты колебательного движения.
3. Какие колебания называют свободными? Приведите примеры свободных колебаний.
4. Что такое математический маятник?
5. Запишите формулу периода колебаний математического маятника. От каких величин зависит период колебаний математического маятника?
6. Математический маятник длиной 245 см совершает 50 колебаний за 2 мин 37 с. Определите период колебаний маятника и ускорение свободного падения для данной широты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Ф. Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

Подписано в печать \*\*.\*\*.17. Формат 84x108 1/32  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Тираж 30 экз.  
Бумага мелованная. Усл. печ. л. – 2,08.

Издательство ОГБПОУ РСК  
390023, г. Рязань, ул. Циолковского, 22.  
(4912) 445639, 442662