

Н. С. Пурешева, С. В. Степанов

**ТЕТРАДЬ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

к учебнику Н. С. Пурешевой,
Н. Е. Важеевской, Д. А. Исаева

ФИЗИКА



БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10

класс



Н. С. Пурышева, С. В. Степанов

**ТЕТРАДЬ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

к учебнику Н. С. Пурышевой,
Н. Е. Важеевской, Д. А. Исаева

ФИЗИКА

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10

Класс

Учени класса

..... ШКОЛЫ

.....

.....



МОСКВА



2014



УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
П88

Пурышева, Н. С.

П88 Физика. 10 кл. Базовый уровень : тетрадь для лабораторных работ к учебнику Н. С. Пурышевой, Н. Е. Важеевской, Д. А. Исаева / Н. С. Пурышева, С. В. Степанов. — М. : Дрофа, 2014. — 44, [4] с. : ил.

ISBN 978-5-358-14307-4

Предлагаемая тетрадь для лабораторных работ является составной частью учебно-методического комплекса, в который входит учебник, рабочая тетрадь и методическое пособие тех же авторов. Электронное приложение к учебнику размещено на сайте: www.drofa.ru.

В тетради содержится описание десяти лабораторных работ. Во введении дан материал по расчету погрешности измерений.

Пособие предназначено для организации работы учащихся при подготовке и проведении лабораторных работ по физике.

**УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72**

ISBN 978-5-358-14307-4

© ООО «ДРОФА», 2014

Вычисление погрешностей измерений в лабораторных работах

Измерение физических величин

Измерить физическую величину — это значит определить её значение опытным путём с помощью измерительных приборов (средств измерения).

Некоторые физические величины могут быть измерены непосредственно с помощью соответствующих приборов. Например, время, масса, сила тока, напряжение и др. Значения других величин измерить непосредственно нельзя: их определяют путём математических операций со значениями величин, измеренных с помощью приборов. К таким величинам относятся, например, жёсткость тела, коэффициент трения, ёмкость конденсатора и др. В связи с этим различают прямые и косвенные измерения.

Прямое измерение — определение значения физической величины непосредственно с помощью измерительного прибора.

Косвенное измерение — определение значения физической величины с использованием формулы, связывающей её с другими величинами, измеренными непосредственно с помощью прибора.

Причины и виды погрешностей измерений

Измерительные приборы имеют либо шкалу, либо экран, на котором высвечивается значение измеряемой величины. Обычно на шкале отмечены пределы измерений величины и её единица.

Цена деления шкалы C — это значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы (или минимальная разность между числами, высвечивающимися на экране цифрового прибора, например на экране электронных часов). За деление шкалы прибора принимают участок шкалы между двумя соседними метками.

Получить точное значение измеряемой величины невозможно. Причин этому несколько. Одной из них является цена деления шкалы измерительного прибора: чем она меньше, тем точнее выполнено измерение. Ещё одним фактором является несовершенство конструкции измери-

тельных приборов. На точность измерения влияет и используемый для этого метод, а также соблюдение экспериментатором правил пользования измерительными приборами.

Таким образом, в процессе измерения получают значение физической величины a , которое отличается от истинного значения на некоторую величину Δa , называемую **абсолютной погрешностью измерения**.

Погрешности прямых измерений делят на четыре группы: систематические, случайные, приборные и промахи.

К *систематическим* погрешностям относят такие, которые повторяются от эксперимента к эксперименту. Одной из причин систематических погрешностей может являться неисправность измерительного прибора (например, начальное положение стрелочного прибора находится не на нулевой отметке, пружина динамометра имеет остаточную деформацию и т. п.). Другая причина систематических погрешностей связана с несовершенством используемого метода измерения. Поскольку обычно при выполнении эксперимента выбирают метод, вносящий наименьшую погрешность в измерение, и пользуются исправными приборами, то систематическую погрешность можно не учитывать.

Случайные погрешности возникают в процессе измерения в результате неконтролируемых факторов. Такая погрешность существует, например, при измерении диаметра сечения проволоки при определении её сопротивления, поскольку диаметр не является строго одинаковым на всей длине проволоки. Для учёта случайной погрешности используют метод среднего арифметического. Для этого измеряют диаметр проволоки в нескольких местах, находят среднее арифметическое:

$$a_{\text{ср}} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n},$$

где n — число измерений.

Затем вычисляют отклонение каждого результата от среднего арифметического и среднее отклонение:

$$\Delta a_1 = |a_{\text{ср}} - a_1|; \Delta a_2 = |a_{\text{ср}} - a_2|; \Delta a_n = |a_{\text{ср}} - a_n|;$$

$$\Delta a_{\text{ср}} = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n}{n}.$$

Это и будет случайная погрешность, или погрешность среднего арифметического.

Приборная погрешность обусловлена заложенной при изготовлении прибора точностью его показаний. Различают два вида приборных погрешностей. Одна из них связана с классом точности прибора, который обычно указывается в его паспорте. Если класс точности прибора составляет, например, 1,2, то это означает, что абсолютная погрешность измерений составляет 1,2% от верхнего предела шкалы прибора, и её можно вычислить. Если класс точности прибора не указан, то

абсолютную погрешность принимают равной половине цены деления шкалы прибора: $\Delta a_{\text{пр}} = \frac{C}{2}$.

Вторая приборная погрешность, называемая *погрешностью отсчёта*, связана с дискретностью шкалы прибора. Очень часто стрелка прибора останавливается не на метке шкалы, а между метками. В этом случае за измеренное значение величины принимают то значение, ближе к которому остановилась стрелка, а погрешность отсчёта считают равной половине цены деления:

$$\Delta a_o = \frac{C}{2}.$$

Если показания приборов изменяются скачкообразно, например механического секундомера, то погрешность отсчёта принимают равной цене деления: $\Delta a_o = C$.

При использовании электронных приборов (электронный секундомер) погрешность равна последнему разряду высвечиваемого на индикаторе числа. Если, например, показание электронного секундомера равно 2,5 с, то погрешность отсчёта составляет $\Delta a_o = 0,1$ с.

Промахами называют ошибки, возникающие из-за несоблюдения экспериментатором правил использования приборов. Причинами промахов являются такие ошибки экспериментатора, как неправильное расположение приборов, положение глаз при снятии показаний, определение цены деления шкалы прибора и др.

Обычно при выполнении фронтальных лабораторных работ при условии работы с исправными приборами *учитывают приборную погрешность, связанную с погрешностью отсчёта, и погрешность среднего арифметического*.

Абсолютная и относительная погрешности измерений

Точность измерения физической величины характеризуют *абсолютной и относительной погрешностями*.

При прямом измерении **абсолютная погрешность** равна в зависимости от того, какую величину измеряют, либо погрешности отсчёта, либо сумме погрешности отсчёта и погрешности среднего арифметического:

$$\Delta a = \Delta a_o \text{ или } \Delta a = \Delta a_o + \Delta a_{\text{ср}}.$$

Результат измерения с учётом абсолютной погрешности записывается так:

$$a = a_{\text{изм}} \pm \Delta a.$$

Абсолютная погрешность определяет значение интервала, в котором лежит истинное значение измеренной величины.

Например, если измеренное значение силы тяжести, действующей на тело, равно 2 Н, а цена деления шкалы динамометра 0,5 Н, то абсолютная

погрешность измерения составляет 0,25 Н. Результат измерения следует записать так:

$$F_{\text{тяж}} = (2,00 \pm 0,25) \text{ Н.}$$

Это означает, что истинное значение силы тяжести лежит в интервале от 1,75 до 2,25 Н.

Зная абсолютную погрешность, сложно оценить, насколько точно выполнено измерение. Для этого вычисляют относительную погрешность.

Относительная погрешность равна отношению абсолютной погрешности к измеренному значению величины. Она обозначается буквой δ и вычисляется по формуле:

$$\delta a = \frac{\Delta a}{a_{\text{изм}}} \cdot 100\%.$$

В рассмотренном выше примере относительная погрешность измерения силы тяжести равна:

$$\delta F_{\text{тяж}} = \frac{0,25}{2} \cdot 100\% = 12,5\%.$$

Относительная погрешность характеризует точность измерения: чем она меньше, тем точность измерения выше.

Метод вычисления погрешности прямых измерений

Выполняя прямые измерения величин, для расчёта погрешности необходимо придерживаться следующей последовательности действий.

1. Определите приборную погрешность измерения величины, соотнося её с ценой деления шкалы прибора $\Delta a_{\text{пр}}$.

2. Измерьте физическую величину $a_{\text{изм}}$.

3. В случае наличия случайной погрешности и возможности её учёта выполните несколько измерений величины, определите погрешность среднего арифметического $\Delta a_{\text{ср}}$ и вычислите абсолютную погрешность:

$$\Delta a = \Delta a_{\text{пр}} + \Delta a_{\text{ср}}.$$

4. Запишите результат измерения с учётом абсолютной погрешности:

$$a = a_{\text{изм}} \pm \Delta a.$$

5. Вычислите относительную погрешность:

$$\delta a = \frac{\Delta a}{a_{\text{изм}}} \cdot 100\%.$$

Для уменьшения погрешности измерения необходимо, прежде всего, соблюдать правила пользования приборами.

При измерении малых величин, например диаметра горошины, массы или объёма капли воды, используют приём, позволяющий уменьшить погрешность измерения. Он заключается в том, что измеряют диаметр не-

скольких горошин, объём или массу нескольких капель, а затем полученное значение делят на число горошин или капель. При этом погрешность измерения уменьшается в число раз, равное числу горошин или капель.

Например, если нужно измерить диаметр горошины, то в ряд укладывают $n = 20$ горошин и с помощью линейки с миллиметровыми делениями измеряют длину ряда. Предположим, длина ряда равна 86 мм. Результат измерения записывают следующим образом: $l = (86,0 \pm 0,5)$ мм.

Диаметр одной горошины равен $d = \frac{l}{n}$. Разделив на число горошин длину ряда и погрешность измерения, получим $d = (4,300 \pm 0,025)$ мм. Относительная погрешность в данном эксперименте равна:

$$\delta d = \frac{0,025}{4,3} \cdot 100\% = 0,6\%.$$

Если бы с помощью линейки измеряли диаметр одной горошины, то относительная погрешность оказалась бы равной $\delta d = \frac{0,5}{4,3} \cdot 100\% = 12\%$.

Методы вычисления погрешности косвенных измерений

При косвенном измерении значение величины получают, используя формулу, связывающую искомую величину с другими величинами. В неё входят величины, значения которых получают в результате прямых измерений, а также могут входить постоянные величины, в том числе фундаментальные физические константы, значения которых приведены в справочных таблицах. Поскольку прямые измерения выполняются с некоторой погрешностью, то и косвенное измерение тоже имеет погрешность. Значения справочных величин и фундаментальных физических постоянных приведены с большой точностью, поэтому погрешностью их измерения можно пренебречь.

Существует несколько методов вычисления погрешности косвенных измерений. Рассмотрим два наиболее часто используемых метода: метод границ и метод оценки.

Метод границ. Как уже говорилось, значение измеренной величины находится в некоторой области, границы которой определяются абсолютной погрешностью. Предположим, что в лабораторной работе измеряют сопротивление резистора с помощью амперметра и вольтметра. Значение сопротивления определяют по формуле $R = \frac{U}{I}$. Напряжение на резисторе равно $U = (1,6 \pm 0,1)$ В, а сила тока равна $I = (0,80 \pm 0,05)$ А. Измеренное сопротивление резистора $R = \frac{1,6 \text{ В}}{0,8 \text{ А}} = 2 \text{ Ом}$.

Для вычисления погрешности измерения сопротивления определяют нижние и верхние границы значений силы тока, напряжения и сопро-

тивления. Верхняя граница величины равна сумме её измеренного значения и абсолютной погрешности; нижняя граница равна разности измеренного значения и абсолютной погрешности (табл. 1).

Таблица 1

<i>Величина</i>	<i>Верхняя граница</i>	<i>Нижняя граница</i>
Сила тока I , А	0,85	0,75
Напряжение U , В	1,7	1,5
Сопротивление R , Ом	2,27	1,76

Верхнюю границу значения сопротивления находим, разделив верхнюю границу значения напряжения на нижнюю границу значения силы тока, а нижнюю границу значения сопротивления — разделив нижнюю границу значения напряжения на верхнюю границу значения силы тока.

Значение сопротивления получаем как полусумму верхней и нижней его границ:

$$R = \frac{2,27 \text{ Ом} + 1,76 \text{ Ом}}{2} = 2,02 \text{ Ом}.$$

Абсолютная погрешность равна полуразности верхней и нижней границ значений сопротивления:

$$\Delta R = \frac{2,27 \text{ Ом} - 1,76 \text{ Ом}}{2} = 0,26 \text{ Ом}.$$

Таким образом, результат измерения сопротивления таков:

$$R = (2,02 \pm 0,26) \text{ Ом}.$$

В таблице 2 приведены формулы для расчёта верхней и нижней границ результатов косвенных измерений.

Таблица 2

<i>Расчётная формула</i>	<i>Верхняя граница</i>	<i>Нижняя граница</i>
$a = x + y$	$a_{\text{вг}} = x_{\text{вг}} + y_{\text{вг}}$	$a_{\text{нг}} = x_{\text{нг}} + y_{\text{нг}}$
$a = x - y$	$a_{\text{вг}} = x_{\text{вг}} - y_{\text{вг}}$	$a_{\text{нг}} = x_{\text{нг}} - y_{\text{нг}}$
$a = xy$	$a_{\text{вг}} = x_{\text{вг}}y_{\text{вг}}$	$a_{\text{нг}} = x_{\text{нг}}y_{\text{нг}}$
$a = \frac{x}{y}$	$a_{\text{вг}} = \frac{x_{\text{вг}}}{y_{\text{нг}}}$	$a_{\text{нг}} = \frac{x_{\text{нг}}}{y_{\text{вг}}}$
$a = \sqrt[n]{x}$	$a_{\text{вг}} = \sqrt[n]{x_{\text{вг}}}$	$a_{\text{нг}} = \sqrt[n]{x_{\text{нг}}}$

Метод оценки. При использовании метода оценки вычисляют сначала относительную погрешность, а затем — абсолютную. При вычислении относительной погрешности используют формулы, которые получены с применением высшей математики. Они приведены в таблице 3 для разных соотношений между физическими величинами a и b .

Таблица 3

Расчётная формула	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$a \pm b$	$\Delta a + \Delta b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{a + b}$
ab	$a\Delta b + b\Delta a$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
$\frac{a}{b}$	$\frac{a\Delta b + b\Delta a}{b^2}$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
a^n	$na^{n-1}\Delta a$	$\frac{\Delta a}{na}$
$\sqrt[n]{a}$	$\frac{\Delta a}{n\sqrt[n]{a^{n-1}}}$	$\frac{n\Delta a}{a}$

Выполняя косвенные измерения величин, для расчёта погрешности необходимо придерживаться следующей последовательности действий.

1. Определите абсолютные погрешности прямых измерений величин, входящих в формулу.
2. Измерьте физические величины и вычислите значение искомой величины по формуле $a_{\text{изм}}$.
3. Вычислите относительную погрешность косвенного измерения величины, пользуясь соответствующими формулами (табл. 3).
4. Вычислите абсолютную погрешность косвенного измерения величины:

$$\Delta a = a_{\text{изм}} \cdot \delta a.$$

5. Запишите результат косвенного измерения с учётом абсолютной погрешности:

$$a = a_{\text{изм}} + \Delta a.$$

Рассмотрим пример вычисления погрешности косвенного измерения ускорения свободного падения с помощью математического маятника.

Из формулы периода колебаний математического маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ получаем:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}.$$

Период колебаний математического маятника определяют, измерив время t нескольких (n) его полных колебаний:

$$T = \frac{t}{n}.$$

Результаты измерений приведены в таблице 4.

Таблица 4

<i>Длина нити l, м</i>	<i>Число колебаний n</i>	<i>Время колебаний t, с</i>	<i>Период колебаний T, с</i>	<i>Измеренное значение ускорения свободного падения g, м/с²</i>
$0,500 \pm 0,005$	10	$14 \pm 0,1$	$1,40 \pm 0,01$	10,06

Относительная погрешность измерения ускорения свободного падения:

$$\delta g = \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta T}{T};$$

$$\delta g = \frac{0,005}{0,5} + 2 \frac{0,01}{1,4} = 0,01 + 0,014 = 0,024.$$

Абсолютная погрешность измерения ускорения свободного падения:

$$\Delta g = g \delta g = 10,06 \text{ м/с}^2 \cdot 0,024 = 0,24 \text{ м/с}^2.$$

Результат измерения: $g = (10,06 \pm 0,24) \text{ м/с}^2$.

Лабораторная работа № 1

«Измерение ускорения свободного падения»

Цель работы: освоить метод измерения ускорения свободного падения с помощью нитяного маятника.

Приборы и материалы: штатив с муфтой и лапкой; груз массой 100 г; нить длиной 1,5 м; секундомер.

Описание установки и методики выполнения работы

Основу установки составляет нитяной маятник. Для его изготовления штатив устанавливают на рабочем столе так, чтобы лапка, прикреплённая к верхнему концу стержня штатива, выступала на 7—10 см за его край. К концу нити подвешивают груз. Другой конец нити зажимают в лапке штатива. При этом следят за тем, чтобы длина подвеса маятника была не менее 1 м, а груз не касался пола. Нитяной маятник с такими параметрами может считаться математическим.

Метод измерения ускорения свободного падения, используемый в данном опыте, основан на зависимости периода колебаний математического маятника T от его длины l :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения.

Отсюда

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

Следовательно, для определения ускорения свободного падения достаточно измерить период колебаний маятника и его длину.

Чтобы определить период колебаний, измеряют время t , за которое маятник совершит 20—30 полных колебаний. Период вычисляют по формуле

$$T = \frac{t}{N}, \quad (3)$$

где N — число колебаний, совершённых маятником за время t .

Контрольные вопросы

1. Почему необходимо, определяя период колебаний маятника, измерять время не одного, а нескольких полных колебаний? _____

2. Почему амплитуда колебаний в данном опыте должна быть относительно небольшой? _____

3. Каковы причины погрешности измерения ускорения свободного падения с помощью изготовленного вами маятника? _____

Лабораторная работа № 2

«Исследование движения тела под действием постоянной силы»

Цель работы: экспериментально доказать, что под действием постоянной силы тело движется с постоянным ускорением.

Приборы и материалы: жёлоб дугообразный; шарик; штатив с муфтой и лапкой; линейка; лист белой бумаги; лист копировальной бумаги.

Описание установки и методики выполнения работы

Экспериментальная установка для проведения работы показана на рисунке 1.

В работе исследуется движение шарика, который перемещается по дугообразному жёлобу. После того как шарик оторвётся от жёлоба, на него будет действовать только сила тяжести. Она направлена вертикально вниз и остаётся во время движения неизменной. Напомним, что тело под действием постоянной силы должно двигаться с постоянным ускорением, т. е. равноускоренно. Это утверждение и проверяется в данном исследовании. Идея опыта состоит в следующем. Предположив, что тело движется по вертика-

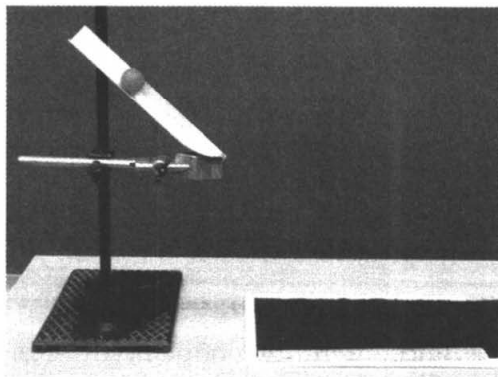


Рис. 1

ли равноускоренно, получить аналитически соотношение между перемещениями в вертикальном и горизонтальном направлениях, а затем экспериментально проверить, выполняется ли это соотношение.

Аналитический вид зависимости дальности полёта шарика s от начальной высоты H можно получить из проекций уравнений его движения на горизонтальную и вертикальную оси координат. Начало отсчёта системы координат совмещают с концом жёлоба, ось x направляют вдоль направления начальной скорости (горизонтально), а ось y — вертикально вниз. Проекция на ось x скорости шарика не изменяется и равна v_0 , координата x шарика равна

$$x = v_0 t. \quad (1)$$

Проекция его скорости на ось y изменяется, поскольку ускорение свободного падения направлено вертикально вниз, и координата y тела равна

$$y = \frac{gt^2}{2}. \quad (2)$$

Искомую зависимость получают, выразив время из уравнения (2):

$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$, и, подставив полученное выражение в уравнение (1):

$$x = v_0 \sqrt{\frac{2y}{g}}.$$

Так как в точке падения $x = s$, а $y = H$, то

$$s = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}.$$

Если шарик пускать горизонтально с разных высот при одной и той же начальной скорости, то полученную зависимость можно представить так:

$$s = C \sqrt{H}, \text{ откуда } \frac{s}{\sqrt{H}} = C,$$

где $C = v_0 \sqrt{\frac{2}{g}} = \text{const.}$

Постоянство этого отношения и следует доказать экспериментально.

Порядок выполнения работы

1. Закрепите дугообразный жёлоб в лапке штатива на высоте 10—12 см от поверхности стола так, чтобы его отогнутый конец располагался горизонтально (см. рис. 1).

2. Нанесите на поверхности жёлоба метку, от которой будет производиться пуск шарика. Его необходимо пускать с одного и того же места, чтобы обеспечить шарiku одинаковое значение начальной скорости.

3. Положите лист бумаги на то место стола, где ожидается падение шарика, приклейте его скотчем и накройте листом копировальной бумаги. После падения шарика на бумаге останется чёткая метка.

4. Произведите пуск шарика от метки, нанесённой на жёлобе.

5. Измерьте линейкой высоту нижнего края жёлоба H и дальность полёта шарика s . Результаты всех измерений и вычислений записывайте в таблицу 6.

Таблица 6

№ опыта	s , мм	$s_{\text{ср}}$, мм	H , мм	\sqrt{H} , мм ^{1/2}	$\frac{s_{\text{ср}}}{\sqrt{H}}$, мм ^{1/2}
1					
2					
3					

6. Повторите пуск шарика 5—7 раз и найдите среднее значение расстояния $s_{\text{ср}}$. _____

7. Проведите 2—3 серии по 5—7 пусков, увеличивая высоту жёлоба на 5 см в каждой серии, и найдите $s_{\text{ср}}$. _____

8. Вычислите для каждой серии пусков \sqrt{H} и отношение $C = \frac{s_{\text{ср}}}{\sqrt{H}}$.

9. Сравните значения отношений $\frac{s_{\text{ср}}}{\sqrt{H}}$, полученные для каждой серии пусков. Сделайте вывод.

Вывод: _____

Контрольные вопросы

1. Как зависит дальность полёта тела s от высоты H , с которой оно брошено? _____

2. Какую роль в решении поставленной в эксперименте задачи играет сопротивление воздуха? Что и как изменится, если его учитывать?

3. В чём причина погрешностей выполненных измерений? Как можно их уменьшить? Как изменяется точность измерений с изменением высоты, с которой начинает падать груз? _____

Лабораторная работа № 3

«Изучение движения тела по окружности под действием сил тяжести и упругости»

Цель работы: экспериментально доказать существование связи между равнодействующей всех сил, действующих на тело, и ускорением, которое тело получает в результате их действия.

Приборы и материалы: весы учебные; секундомер; динамометр; груз из набора грузов по механике; штатив с муфтой и лапкой; нить; измерительная лента; лист бумаги.

Описание установки и методики выполнения работы

Экспериментальная установка для выполнения работы показана на рисунке 2.

На верхнем конце стержня штатива закрепляют лапку так, чтобы её конец с губками оказался возможно дальше от стержня. На один конец нити подвешивают груз, а другой зажимают лапкой, следя за тем, чтобы груз оказался подвешенным на высоте не более 5—10 мм от поверхности стола. Под груз подкладывают лист бумаги, на котором начерчена окружность диаметром 15—20 см и отмечен её центр. Центр неподвижно висящего груза должен находиться точно над центром окружности. Груз отводят в сторону до линии окружности и лёгким толчком по касательной приводят во вращение.

На вращающийся груз действуют сила тяжести и сила упругости нити, направленные под углом друг к другу. Равнодействующая этих сил направлена к центру описываемой грузом окружности. В результате действия этих сил груз получит ускорение, направленное к центру окружности, определить которое можно, зная скорость движения груза v и радиус окружности R :

$$a_{ц.с} = \frac{v^2}{R}.$$

Значение равнодействующей \vec{F} сил тяжести и упругости нити измеряют после того, как груз будет остановлен. К грузу прицепляют динамометр и, удерживая прибор в руке, медленно отводят в сторону, пока угол отклонения нити не станет снова таким, каким он был при движении груза по окружности (рис. 3).

По второму закону Ньютона должно выполняться равенство

$$F = ma_{ц.с} = \frac{mv^2}{R}.$$

Скорость вращения груза можно определить, если измерить радиус окружности R и время t , за которое он совершит несколько оборотов n над этой окружностью:

$$v = \frac{2\pi Rn}{t}.$$

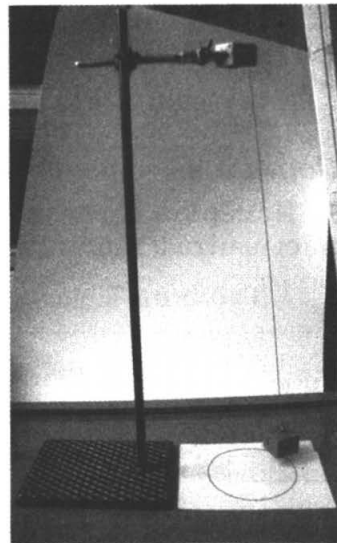


Рис. 2

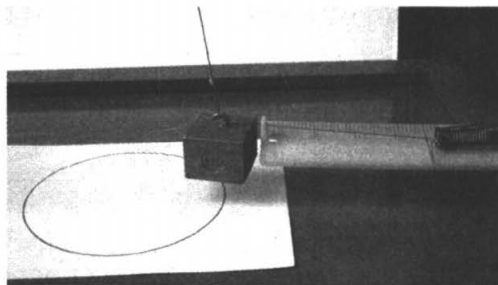


Рис. 3

После подстановки этой формулы в выражение для силы получим:

$$F = \frac{4\pi^2 n^2 m R}{t^2}.$$

Справедливость этого равенства и проверяется в работе.

Порядок выполнения работы

1. Измерьте массу груза m . Результаты всех измерений и вычислений записывайте в таблицу 7.

Таблица 7

t , с	Δt , с	R , м	ΔR , м	m , кг	Δm , кг	$F_{\text{изм}}$, Н	$\Delta F_{\text{изм}}$, Н	F , Н	ΔF , Н

2. Соберите экспериментальную установку (см. рис. 2).

3. Отклоните груз до линии окружности и слегка толкните вдоль касательной к окружности. Проведите несколько пробных пусков и определите силу и направление толчка, после которого центр груза двигался бы точно над окружностью.

4. Измерьте время t , за которое груз совершит 10—15 полных оборотов.

5. Измерьте радиус окружности R .

6. Измерьте динамометром значение $F_{\text{изм}}$ суммы сил тяжести и упругости нити, действовавших на груз при его вращении.

7. Определите и запишите в таблицу 7 абсолютные погрешности измерения времени вращения Δt , радиуса окружности ΔR , массы груза Δm и суммы сил $\Delta F_{\text{изм}}$.

8. Вычислите значение суммы сил тяжести и упругости.

$$F = \frac{4\pi^2 n^2 m R}{t^2} = \underline{\hspace{15em}}$$

9. Вычислите относительную погрешность δF измерения суммы сил.

$$\delta F = \frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta R}{R} + 2 \frac{\Delta t}{t} = \underline{\hspace{15em}}$$

10. Вычислите абсолютную погрешность ΔF измерения суммы сил.

$$\Delta F = F \delta F = \underline{\hspace{15em}}$$

Описание установки и методики выполнения работы

Экспериментальная установка для выполнения работы показана на рисунке 4.

К концам нити длиной 50—60 см подвешивают алюминиевый и латунный цилиндры. Нить перекидывают и закрепляют в лапке штатива таким образом, чтобы длина обоих подвесов оказалась одинаковой и цилиндры не касались основания штатива.



Рис. 4

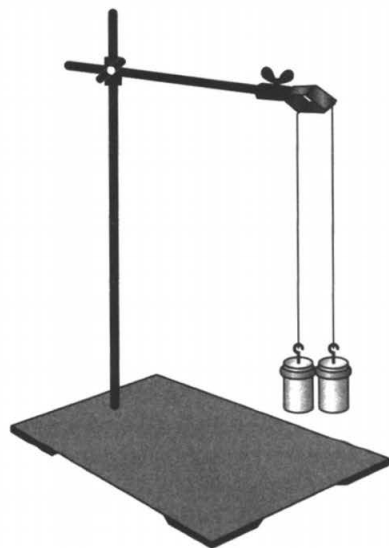


Рис. 5

Латунный цилиндр отводят от положения равновесия на 10—15 см и отпускают. Опыт проводят несколько раз, добиваясь, чтобы получился центральный удар. При правильном проведении опыта видно, что после соударения скорость двигавшегося латунного цилиндра существенно уменьшится, а неподвижный до этого алюминиевый цилиндр начнёт движение и отклонится на значительное расстояние от положения равновесия. Таким образом, при упругом ударе движущийся цилиндр частично передаёт свой импульс неподвижному цилиндру, в целом же импульс системы сохраняется.

Для наблюдения неупругого соударения к нити подвешивают два одинаковых алюминиевых цилиндра. Верхнюю часть каждого из них опоясывают валиком пластилина (рис. 5). Диаметр валика примерно 5 мм, масса валиков должна быть одинаковой. Оба цилиндра отводят в противоположные стороны на равные расстояния — по 10—15 см и одновременно отпускают. Как и в первом случае, опыт проводят несколько раз, добиваясь, чтобы получился центральный удар.

Поскольку куски пластилина слипаются, соударение получается неупругим. После соударения соединившиеся цилиндры останавливаются: до соударения их импульсы были равны по модулю и направлены в противоположные стороны, следовательно, импульс системы был равен нулю. В результате соударения суммарный импульс системы также равен нулю.

На основе проведённых опытов делают вывод о сохранении импульса в замкнутой системе тел как при упругом, так и при неупругом столкновении.

Вывод: _____

Контрольные вопросы

1. Почему для проведения данного эксперимента необходимо, чтобы длины нитей были одинаковыми? _____

2. С какой целью при наблюдении неупругого соударения верхние части цилиндров опоясываются валиком пластилина? _____

Лабораторная работа № 5

«Изучение закона сохранения механической энергии при действии на тело сил тяжести и упругости»

Цель работы: сравнить изменение потенциальной энергии пружины при её растяжении с изменением потенциальной энергии груза, который вызвал это растяжение.

Приборы и материалы: спиральная пружина жёсткостью 20—30 Н/м; груз массой 100 г (2 шт.); штатив с муфтой и лапкой; линейка.

Описание установки и методики выполнения работы

Изменение потенциальной энергии упруго деформированной пружины $\Delta E_{\text{п}}$ при её растяжении, если в исходном состоянии пружина не была растянута, равно её энергии в растянутом состоянии E_2 :

$$\Delta E_{\text{п}} = E_2 - 0 = \frac{kx_{\text{max}}^2}{2}, \quad (1)$$

где k — жёсткость пружины, x_{max} — удлинение пружины в конечном состоянии.

Если растяжение пружины происходит под действием подвешенного к ней груза, то по мере увеличения её длины высота груза относительно стола будет уменьшаться.

Изменение потенциальной энергии груза ΔE_{Γ} по отношению к какой-то поверхности определяется изменением его высоты относительно этой поверхности:

$$\Delta E_{\Gamma} = mgh_2 - mgh_1 = mg\Delta h \text{ или, так как } \Delta h = x_{\max},$$

$$\Delta E_{\Gamma} = mgx_{\max}.$$

На основании закона сохранения механической энергии должно выполняться равенство:

$$\Delta E_{\Pi} = \Delta E_{\Gamma} \text{ или } \frac{kx_{\max}^2}{2} = mgx_{\max}.$$

Это соотношение между изменениями потенциальной энергии упруго деформированной пружины и потенциальной энергии груза и проверяется при выполнении работы.

Экспериментальная установка для проведения работы показана на рисунке 6.

Пружину закрепляют в лапке штатива вертикально. Рядом с пружиной закрепляют линейку, шкала которой обращена в сторону пружины. Расстояние между линейкой и пружиной не должно превышать 1 см. В качестве груза используют два груза массой по 100 г, сцепленных вместе. Для повышения точности измерения удлинения пружины к её нижней части прикрепляют самодельный указатель. Указатель представляет собой круг, вырезанный из плотной бумаги, диаметр которого примерно на 5 мм больше диаметра витков пружины. В центре круга прокалывают отверстие, размер которого равен толщине проволоки, и делают радиальный разрез. Закрепляют круг на пружине капелькой клея.

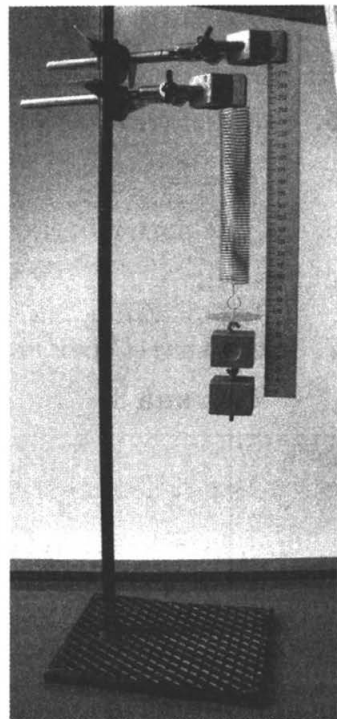


Рис. 6

Порядок выполнения работы

1. Соберите экспериментальную установку (см. рис. 6).
2. Измерьте по шкале линейки координату x_0 указателя пружины при отсутствии на ней груза.

$$x_0 = \underline{\hspace{10cm}}$$

3. Подвесьте к пружине два груза. Масса каждого груза равна 100 г с точностью ± 2 г. Измерьте координату x_1 указателя после того, как будут подвешены грузы и они перестанут колебаться.

$$x_1 = \underline{\hspace{10cm}}$$

4. Вычислите удлинение пружины x под действием груза.

$$x = x_1 - x_0 = \underline{\hspace{10cm}}$$

5. Вычислите силу тяжести, действующую на груз.

$$F_{\text{тяж}} = mg = \underline{\hspace{10cm}}$$

6. Вычислите жёсткость пружины.

$$k = \frac{mg}{x} = \underline{\hspace{10cm}}$$

7. Результаты всех вычислений и измерений записывайте в таблицу 8.

Таблица 8

k , Н/м	Δk , Н/м	x_{max} , м	Δx_{max} , м	$\frac{kx_{\text{max}}^2}{2}$, Дж	$\Delta\left(\frac{kx_{\text{max}}^2}{2}\right)$, Дж	m , кг	Δm , кг	mgx_{max} , кг	$\Delta(mgx_{\text{max}})$, кг

8. Вычислите относительную погрешность измерения жёсткости пружины.

$$\delta k = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta x}{x} = \underline{\hspace{10cm}}$$

9. Вычислите абсолютную погрешность измерения жёсткости пружины.

$$\Delta k = k\delta k = \underline{\hspace{10cm}}$$

10. Медленно поднимите рукой верхний груз, пока пружина вновь не окажется в нерастянутом состоянии. Отпустите груз и заметьте координату x_{max} указателя при максимальном растяжении пружины. Чтобы избежать случайных ошибок, опыт повторите 5—7 раз и вычислите среднее

значение $x_{\text{max ср}}$. $\underline{\hspace{10cm}}$

11. Вычислите максимальное удлинение x_{max} пружины

$$x_{\text{max}} = x_{\text{max ср}} - x_0 = \underline{\hspace{10cm}}$$

и абсолютную погрешность измерения этой величины.

$$\Delta x_{\text{max}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

12. Вычислите потенциальную энергию упруго деформированной пружины при максимальном растяжении.

$$E_{\text{п}} = \frac{kx_{\text{max}}^2}{2} = \underline{\hspace{10cm}}$$

13. Рассчитайте относительную погрешность измерения $E_{\text{п}}$

$$\delta E_{\text{п}} = \frac{\Delta E_{\text{п}}}{E_{\text{п}}} = \frac{\Delta k}{k} + 2 \frac{\Delta x_{\text{max}}}{x_{\text{max}}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

и абсолютную погрешность измерения этой величины.

$$\Delta E_{\text{п}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

14. Вычислите изменение потенциальной энергии груза.

$$E_{\text{г}} = mgx_{\text{max}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

15. Рассчитайте относительную погрешность измерения $E_{\text{г}}$

$$\delta E_{\text{г}} = \frac{\Delta E_{\text{г}}}{E_{\text{г}}} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta x_{\text{max}}}{x_{\text{max}}} = \underline{\hspace{10cm}}$$

и абсолютную погрешность измерения этой величины.

$$\Delta(mgx_{\text{max}}) = \underline{\hspace{10cm}}$$

16. Запишите значения потенциальной энергии упруго деформированной пружины и изменения потенциальной энергии груза с учётом абсолютной погрешности измерения этих величин. $\underline{\hspace{10cm}}$

17. Определите, перекрываются ли интервалы возможных значений потенциальной энергии растянутой пружины и изменения потенциальной энергии груза. Сделайте вывод.

Вывод: $\underline{\hspace{10cm}}$

Контрольные вопросы

1. Как свести к минимуму погрешность измерения координаты указателя? _____

2. Почему в экспериментальной установке используются два груза? Как масса груза влияет на точность результатов измерений? _____

Лабораторная работа № 6 «Сравнение работы силы с изменением кинетической энергии тела»

Цель работы: сравнить значение работы равнодействующей всех сил, действующих на тело, с изменением его кинетической энергии.

Приборы и материалы: из набора «Механика»: рейка, каретка, секундомер с датчиками; динамометр.

Описание установки и методики выполнения работы

Объектом наблюдения в работе является каретка, которая скользит на наклонной рейке.

Изменение кинетической энергии каретки при перемещении вдоль поверхности рейки равно работе равнодействующей всех сил, действующих на каретку:

$$A = \Delta E. \quad (1)$$

Значение работы равнодействующей силы определяется следующим образом.

На каретку действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ и сила реакции опоры \vec{N} . Если эти силы спроецировать на ось X (рис. 7),

направленную вдоль поверхности наклонённой рейки, то проекция силы тяжести будет равна $mg\sin\alpha$, проекция силы трения — $\mu mg\cos\alpha$, проекция силы реакции опоры на эту ось равна нулю. Следовательно, каретка скользит по поверхности рейки под действием двух сил: составляющей силы тяжести $mg\sin\alpha$ и силы трения $\mu mg\cos\alpha$. Равнодействующая этих сил

$$F = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha.$$

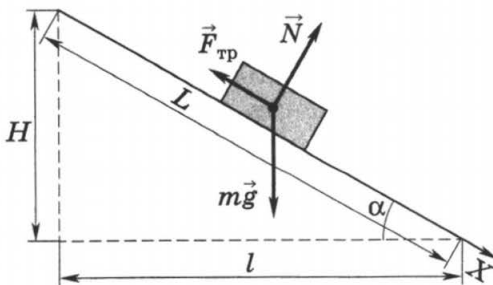


Рис. 7

Работа равнодействующей силы определяется произведением

$$A = Fs = (mg\sin \alpha - \mu mg\cos \alpha)s = mg(\sin \alpha - \mu\cos \alpha)s, \quad (2)$$

где s — перемещение, совершённое кареткой вдоль рейки.

Каретка под действием постоянной силы движется равноускоренно, её скорость все время увеличивается, а следовательно, увеличивается и кинетическая энергия. Изменение кинетической энергии каретки

$$\Delta E = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Если каретка в начальный момент покоилась, то $v_0 = 0$, и, следовательно,

$$\Delta E = \frac{mv^2}{2}. \quad (3)$$

Таким образом, чтобы определить изменение кинетической энергии каретки, достаточно знать её массу и скорость в конце пути. При равноускоренном движении скорость меняется по закону $v = v_0 + at$. При движении из состояния покоя

$$v = at. \quad (4)$$

Перемещение тела при равноускоренном движении из состояния покоя зависит от времени по закону

$$s = \frac{at^2}{2}. \quad (5)$$

Если из равенства (5) выразить ускорение $a = \frac{2s}{t^2}$ и подставить в (4), получим после сокращения $v = \frac{2s}{t}$.

Изменение кинетической энергии каретки можно вычислить по формуле

$$\Delta E = \frac{4ms^2}{2t^2} = \frac{2ms^2}{t^2}. \quad (6)$$

В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии должно выполняться равенство (1) или с учётом (2) и (6):

$$mg(\sin \alpha - \mu\cos \alpha)s = \frac{2ms^2}{t^2}. \quad (7)$$

Равенство можно упростить, сократив его левую и правую части на m и s :

$$g(\sin \alpha - \mu\cos \alpha) = \frac{2s}{t^2}. \quad (8)$$

Чтобы не прибегать к вычислению тригонометрических функций, удобно использовать их связь с геометрическими размерами установки

$$\sin \alpha = \frac{H}{L} \text{ и } \cos \alpha = \frac{l}{L},$$

где L — длина рейки, l — длина проекции рейки на поверхность стола, H — высота верхнего края рейки над столом.

Тогда

$$\frac{g(H - \mu l)}{L} = \frac{2s}{t^2}. \quad (9)$$

Справедливость равенства (9) и проверяется экспериментально.

Порядок выполнения работы

1. Измерьте динамометром силу тяжести, действующую на каретку.

$$F_{\text{тяж}} = mg = \underline{\hspace{15cm}}$$

2. На конец горизонтально расположенной рейки положите каретку и прикрепите к ней динамометр, как показано на рисунке 8. Потяните за динамометр так, чтобы каретка стала равномерно скользить по рейке, и измерьте силу трения $F_{\text{тр}}$.

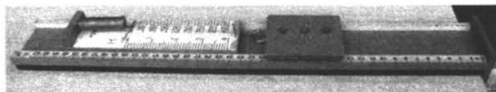


Рис. 8

3. Вычислите коэффициент трения каретки.

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{mg} = \underline{\hspace{15cm}}$$

Результаты вычислений и измерений записывайте в таблицу 9.

Таблица 9

μ	l , мм	L , мм	H , мм	s , мм	t , с	$\frac{g(H - \mu l)}{L}$, м/с ²	$\frac{2s}{t^2}$, м/с ²

4. Закрепите с помощью штатива рейку в наклонном положении (рис. 9). Высота верхнего конца рейки над столом должна быть в пределах 20—25 см.

5. Измерьте линейкой длину рейки L , высоту её верхнего конца H и длину l проекции рейки на поверхность стола.

6. Поместите на верхнем конце рейки каретку и, удерживая её неподвижно, прикрепите к рейке датчик секундомера. Скорректируйте положение датчика так, чтобы он запускал секундомер, как только каретка сдвинется с места.

Прикрепите вблизи нижнего конца рейки второй датчик секундомера. Измерьте по шкале рейки расстояние между датчиками s .

7. Проведите 10—15 раз пуск каретки от верхнего конца рейки, регистрируя каждый раз время её движения между датчиками. Результаты измерений запишите в таблицу 10.

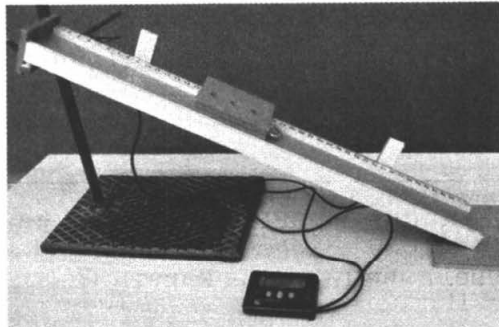


Рис. 9

Таблица 10

№ измерения										
Время, с										

8. Вычислите среднее время движения каретки t .

9. Вычислите левую часть равенства (9).

10. Вычислите абсолютную погрешность этого выражения.

$$\Delta \left(\frac{g(H - \mu l)}{L} \right) =$$

11. Вычислите правую часть равенства (9), используя среднее время движения каретки t .

12. Вычислите абсолютную погрешность этого выражения.

$$\Delta \frac{2s}{t^2} =$$

13. Сравните значения левой и правой частей равенства (9).

Вывод: _____

Контрольные вопросы

1. Как зависит точность полученных результатов от угла наклона рейки? _____
2. Какие величины, входящие в равенство (9), изменятся и как при увеличении массы каретки? _____
3. Зависит ли точность результатов от массы каретки, и если да, то как? _____

Лабораторная работа № 7

«Исследование зависимости объёма газа данной массы от температуры при постоянном давлении»

Цель работы: экспериментально доказать, что зависимость объёма газа данной массы от температуры при постоянном давлении соответствует закону Гей-Люссака.

Приборы и материалы: трубка с кранами на концах из набора «Газовые законы»; термометр; внешний стакан калориметра; измерительная лента; барометр-анероид; сосуд с тёплой водой; сосуд с холодной водой.

Описание прибора и методики выполнения работы

Основной частью набора «Газовые законы» является прозрачная эластичная трубка с кранами на концах. Исследуемым газом является воздух, находящийся внутри этой прозрачной трубки. Измерения объёма и температуры воздуха внутри трубки проводят в следующем порядке.

Трубку плотно, виток к витку, укладывают внутрь стакана калориметра. Кран, который расположится при этом вблизи дна, предварительно закрывают. Верхний кран оставляют открытым. Затем в стакан калориметра наливают нагретую до 55—60 °С воду так, чтобы открытый кран оказался бы погружённым в неё не более чем на 5—10 мм.

Воздух в трубке при нагревании начнёт расширяться, и из открытого крана будут выходить пузырьки воздуха. В момент, когда температура воздуха сравняется с температурой тёплой воды, выделение пузырьков прекратится. Состояние воздуха в трубке в этот момент принимают за начальное и определяют его параметры — температуру и объём. Температура воздуха в начальном состоянии T_1 равна температуре воды, которую

измеряют термометром. Его объём V_1 равен объёму внутренней полости трубки.

Объём в этом эксперименте удобно выражать в условных единицах. Поскольку внутренняя полость трубки имеет форму цилиндра и её объём $V = Sl$, а площадь поперечного сечения S одинакова по всей длине, то за условную единицу объёма принимают единицу длины воздушного столба. Таким образом, объём воздуха в первом состоянии определяют по длине l_1 воздушного столба в трубке (рис. 10) с помощью измерительной линейки.

После измерения температуры тёплой воды воздух переводят в другое состояние. Для этого закрывают кран, тёплую воду сливают и заполняют стакан холодной водой, следя за тем, чтобы её уровень над верхним краем оказался таким же, как в первом случае. После этого кран опять открывают. При охлаждении объём воздуха в трубке уменьшится, и через открытый кран в неё поступит некоторое количество воды. Когда температура воды и воздуха в трубке опять станет одинаковой (через 1—2 мин), измеряют параметры газа во втором состоянии.

Температуру воздуха T_2 вновь определяют по температуре воды. Чтобы измерить его объём после охлаждения, закрывают верхний кран, трубку извлекают из стакана калориметра и, удерживая вертикально, резко встряхивают несколько раз. При этом капли воды, попавшие внутрь, сольются и образуют неразрывный столбик длиной Δl (рис. 11). Объём воздуха во втором состоянии V_2 равен длине воздушного столба $l_2 = l_1 - \Delta l$.

Давление воздуха в трубке в первом и втором состояниях равно сумме атмосферного давления и давления небольшого столба воды над открытым краем. Поскольку уровни тёплой и холодной воды были одинаковы, то эта сумма в ходе опыта не менялась, а значит, и давление воздуха в трубке при его охлаждении оставалось постоянным.

Завершив эксперимент, сравнивают отношения объёма воздуха к его абсолютной температуре в первом и втором состояниях.

В соответствии с законом Гей-Люссака зависимость объёма газа данной массы от температуры при постоянном давлении имеет вид:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \quad (1)$$

где V_1 и V_2 — объёмы, занимаемые газом в двух состояниях, а T_1 и T_2 — его температуры.

Справедливость этого равенства и проверяют экспериментально.

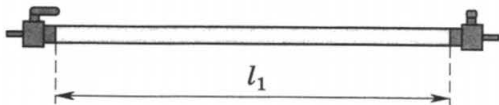


Рис. 10

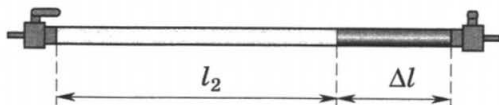


Рис. 11

Порядок выполнения работы

1. Измерьте длину l_1 воздушного столба в трубке (объём воздуха V_1 в усл. ед.). Результаты всех измерений и вычислений записывайте в таблицу 11.

Таблица 11

V_1 , усл. ед.	T_1 , К	T_2 , К	ΔV , усл. ед.	V_2 , усл. ед.	$\frac{V_1}{T_1}$	$\frac{V_2}{T_2}$

2. Закройте один кран и уложите трубку виток к витку в стакан калориметра. Кран на верхнем конце оставьте открытым.

3. Заполните стакан тёплой водой и поместите в него термометр.

4. Наблюдайте за выделением пузырьков воздуха из открытого крана. Как только оно прекратится, определите показание термометра и запишите в таблицу 11 значение температуры T_1 в кельвинах.

5. Закройте кран, слейте тёплую воду, заполните стакан холодной водой до прежнего уровня и снова откройте кран.

6. Через 1—2 мин определите температуру T_2 .

7. Закройте кран, слейте воду, извлеките трубку из стакана, встряхните её и измерьте длину Δl столба воды, вошедшей в трубку (объём воды ΔV в усл. ед.).

8. Вычислите длину l_2 воздушного столба в трубке после охлаждения (объём воздуха V_2 в усл. ед.).

$$l_2 = l_1 - \Delta l = \underline{\hspace{10cm}}$$

9. Вычислите отношения $\frac{V_1}{T_1}$ и $\frac{V_2}{T_2}$.

10. Укажите причины, повлиявшие на точность полученных результатов.

Вывод: _____

Контрольные вопросы

1. Почему процесс охлаждения воздуха в данной работе можно считать изобарным? _____

2. Какие условия должны выполняться, чтобы при определении параметров состояния газа можно было воспользоваться законом Гей-Люссака? _____

3. Как определить момент выравнивания температуры воздуха в трубке и температуры тёплой воды в стакане калориметра? _____

Лабораторная работа № 8

«Измерение относительной влажности воздуха»

Цель работы: измерить относительную влажность воздуха двумя методами (с использованием таблиц «Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры» и «Психрометрическая таблица»).

Приборы и материалы: термометр; стакан химический; сосуд с водой комнатной температуры; сосуд с кусочками льда; кусочек ткани; нить.

Описание прибора и методики выполнения работы

Один из наиболее простых методов измерения относительной влажности воздуха основан на том факте, что отношение плотности водяного пара, присутствующего в помещении, к плотности насыщенного водяного пара в этом же помещении при той же температуре равно отношению давления пара, который содержится в данный момент в воздухе, к парци-

альному давлению насыщенного пара при той же температуре. В соответствии с этим утверждением относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%,$$

где p — парциальное давление водяного пара, а p_0 — парциальное давление насыщенного водяного пара при той же температуре.

Давление насыщенного водяного пара p_0 при разных температурах определяют по таблице.

Давление водяного пара, присутствующего в момент измерений в воздухе, определяют, измеряя температуру, до которой его надо охладить, чтобы пар стал насыщенным и началась конденсация (образование росы). Давление насыщенного пара p_{0p} при этой температуре t_p (при точке росы) определяют по той же таблице. Так как давление водяного пара в воздухе p при этом не изменилось, то $p_{0p} = p$. Зная p и p_0 , вычисляют относительную влажность φ .

Второй метод измерения относительной влажности воздуха основан на явлении охлаждения жидкости при её испарении. Для этого используют психрометр. Его основными частями являются два термометра. Один измеряет температуру воздуха в комнате, резервуар другого обёрнут куском ткани, опущенным в воду.

Благодаря испарению воды с поверхности ткани, она охлаждается. Причём чем меньше относительная влажность воздуха, тем интенсивнее идет испарение и тем меньшую температуру показывает термометр с влажной тканью. С повышением влажности воздуха различие показаний обоих термометров уменьшается. Оба термометра покажут одинаковую температуру, если относительная влажность воздуха достигнет 100%. Таким образом, по показаниям сухого и влажного термометров, с помощью психрометрической таблицы определяют относительную влажность воздуха.

Порядок выполнения работы

Метод 1. Измерение относительной влажности воздуха с помощью модели конденсационного гигрометра.

1. Рассмотрите таблицу «Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры». Отметьте, с каким интервалом приведены в таблице значения температуры пара, в каких единицах приведены в ней значения давления насыщенного пара.

2. Измерьте температуру t воздуха в помещении класса. Результаты всех измерений и вычислений записывайте в таблицу 12.

Таблица 12

№ опыта	$t, ^\circ\text{C}$	$p_0, \text{кПа}$	$t_p, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\varphi, \%$	$\varphi_{\text{ср}}, \%$	$\Delta\varphi, \%$	$\Delta\varphi_{\text{ср}}, \%$	$(\varphi \pm \Delta\varphi), \%$
1									
2									
3									

3. По таблице определите значение давления насыщенного пара p_0 при этой температуре.

4. Поставьте перед собой стакан, наполовину заполненный водой комнатной температуры, так, чтобы на его стенке был хорошо заметен блик света. В стакан поместите термометр и несколько кусочков льда.

5. Наблюдайте за бликом на поверхности стакана, стараясь не дышать в его сторону. По потускнению блика отметьте момент появления конденсата. Измерьте в этот момент температуру t_p воды в стакане.

6. По таблице определите значение давления насыщенного пара $p_{0p} = p$, которое соответствует этой температуре.

7. Вычислите относительную влажность воздуха.

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% = \underline{\hspace{10cm}}$$

8. Повторите опыт два раза и определите среднее значение относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{ср}}$. $\underline{\hspace{10cm}}$

$\underline{\hspace{10cm}}$

9. Определите абсолютную погрешность каждого измерения: $\Delta\varphi = |\varphi - \varphi_{\text{ср}}|$.

$\underline{\hspace{10cm}}$

$\underline{\hspace{10cm}}$

10. Вычислите среднюю абсолютную погрешность $\Delta\varphi_{\text{ср}}$.

$\underline{\hspace{10cm}}$

Контрольные вопросы

1. Какой метод измерения влажности оказался точнее?

2. Чем обусловлены погрешности измерения влажности? Как эти погрешности можно уменьшить? _____

3. Можно ли считать влажность воздуха в комнате соответствующей норме? Каким может быть предельное значение относительной влажности воздуха? _____

4. Может ли температура сухого и влажного термометров оказаться одинаковой? _____

5. Может ли температура влажного термометра оказаться выше, чем сухого? _____

Лабораторная работа № 9

«Измерение поверхностного натяжения жидкости»

Цель работы: измерить поверхностное натяжение жидкости; исследовать зависимость поверхностного натяжения от рода жидкости и её температуры.

Приборы и материалы: набор капилляров; штатив с муфтой и лапкой; весы учебные; цилиндр измерительный; стакан объёмом 50 мл; сосуд с водой комнатной температуры; сосуд с водой при температуре 50—60 °С; сосуд с мыльным раствором; линейка; термометр.

Описание прибора и методики выполнения работы

Метод измерения поверхностного натяжения в данной работе основан на использовании капиллярной трубки.

Высота подъёма жидкости в капилляре определяется соотношением

$$h = \frac{2\sigma}{\rho r g},$$

где σ — поверхностное натяжение, ρ — плотность жидкости, r — радиус капилляра, g — ускорение свободного падения.

Отсюда поверхностное натяжение

$$\sigma = \frac{h \rho r g}{2}.$$

Следовательно, для измерения поверхностного натяжения с использованием капилляра необходимо знать плотность жидкости, ускорение свободного падения, высоту столба жидкости в капилляре и его радиус.

Один из способов измерения радиуса капилляра с отверстием круглой формы основан на измерении массы жидкости, вошедшей в капилляр, и длины её столба в капиллярной трубке. Для этого капилляр опускают в воду на возможно большую глубину, закрывают пальцем верхнее отверстие, извлекают из воды, не отпуская пальца, обтирают салфеткой и измеряют длину столба воды в трубке l_1 . Затем всю воду из капилляра сливают в стакан, массу которого m_1 предварительно измерили. Для повышения точности результата эти операции повторяют 10—12 раз. Измеряют массу стакана с водой m_2 и вычисляют массу воды, перелитой в стакан:

$$m = m_2 - m_1.$$

Зная массу m и плотность воды ρ , вычисляют её объём:

$$V = \frac{m}{\rho}.$$

Площадь поперечного сечения отверстия капилляра

$$S = \frac{V}{l},$$

где l — сумма длин столбиков воды, слитых в стакан.

Поскольку канал капиллярной трубки имеет форму круга, его площадь $S = \pi r^2$, то радиус капилляра

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}.$$

Набор капилляров (рис. 12), используемый для опыта, включает три капиллярные трубки с разными диаметрами отверстий, держатель и салфетку. На трубках нанесены отличительные метки. Опыт проводят с капилляром с двумя метками.

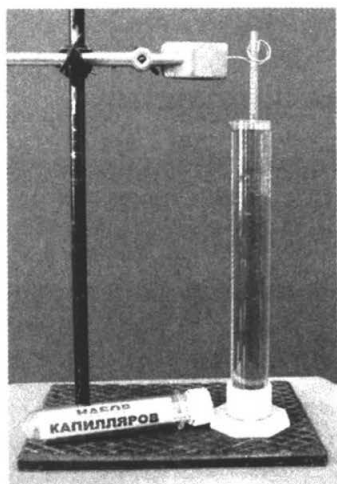


Рис. 12

Порядок выполнения работы

1. Измерьте массу стакана m_1 . Результаты измерений запишите в таблицу 14.

Таблица 14

$m_1, 10^{-3}$ кг	$m_2, 10^{-3}$ кг	$m, 10^{-3}$ кг	$l, 10^{-3}$ м	$r, 10^{-3}$ м

2. Заполните измерительный цилиндр доверху водой при комнатной температуре.

3. Погрузите конец капиллярной трубки в измерительный цилиндр на возможно большую глубину. Зажмите пальцем верхнее отверстие, извлеките трубку из воды и, не отпуская пальца, оботрите салфеткой. Измерьте линейкой длину столба воды в трубке l_1 . Слейте всю воду из капилляра в стакан. Занесите значение l_1 в таблицу 15. Повторите заполнение капилляра водой 10—12 раз.

Таблица 15

№ измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$l_i, 10^{-3}$ м												

4. Измерьте массу стакана с водой m_2 . Результаты всех измерений и вычислений записывайте в таблицу 15.

5. Вычислите массу воды в стакане.

$$m = m_2 - m_1 = \underline{\hspace{10cm}}$$

6. Вычислите объём воды в стакане.

$$V = \frac{m}{\rho} = \underline{\hspace{10cm}}$$

7. Вычислите сумму длин столбиков воды, слитых в стакан из капилляра.

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + \dots = \underline{\hspace{10cm}}$$

8. Вычислите площадь поперечного сечения отверстия капилляра.

$$S = \frac{V}{l} = \underline{\hspace{10cm}}$$

9. Вычислите радиус капилляра.

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} =$$

10. Измерьте температуру воды t в измерительном цилиндре. Результаты всех измерений и вычислений записывайте в таблицу 16.

Таблица 16

№	Жидкость	$t, ^\circ\text{C}$	$h, 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma, 10^{-3} \text{ Н/м}$
1	Вода			
2	Мыльный раствор			
3	Вода			

11. Закрепите капилляр держателем в лапке штатива, погрузите его конец в воду (см. рис. 12) и измерьте высоту столба воды h в капилляре.

12. Вычислите поверхностное натяжение воды.

$$\sigma = \frac{h\rho r g}{2} =$$

13. Сравните полученное значение σ с табличным и сделайте вывод о причинах погрешности измерений.

Вывод: _____

14. Погрузите конец капилляра в сосуд с мыльным раствором и измерьте высоту столба раствора в капилляре h . Результаты измерений запишите в таблицу 16.

15. Вычислите поверхностное натяжение мыльного раствора.

16. Сделайте вывод о зависимости поверхностного натяжения от рода жидкости.

Вывод: _____

17. Определите аналогично поверхностное натяжение воды, имеющей температуру 50—60 °С. _____

18. Сделайте вывод о зависимости поверхностного натяжения жидкости от её температуры.

Вывод: _____

Контрольные вопросы

1. Как, сравнивая высоту уровней двух жидкостей в капиллярных трубках одинакового радиуса, определить, у какой из них больше поверхностное натяжение? _____

2. Зависит ли поверхностное натяжение жидкости от радиуса капилляра? _____

3. Почему поверхностное натяжение зависит от рода жидкости? _____

4. Почему поверхностное натяжение жидкости зависит от её температуры? _____

Лабораторная работа № 10

«Измерение электрической ёмкости конденсатора»

Цель работы: измерить электрическую ёмкость конденсатора в процессе выполнения как косвенного, так и прямого измерения.

Приборы и материалы: мультиметр с функцией измерения электроёмкости, например DT890B; алюминиевая фольга; линейка; листы офисной бумаги (плотностью 80 г/м^2 и толщиной $0,1 \text{ мм}$); лист полиэтилена.

Описание установки и методики выполнения работы

Плоский конденсатор состоит из двух металлических пластин, расположенных параллельно друг другу и разделенных слоем диэлектрика. Ёмкость плоского конденсатора C зависит от площади пластин S , расстояния между ними d и диэлектрической проницаемости ϵ диэлектрика, находящегося между пластинами конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}, \quad (1)$$

где ϵ_0 — электрическая постоянная (в СИ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$).

Простейшую модель такого устройства можно изготовить из двух кусков алюминиевой фольги (например, фольги, которая используется в кулинарии), между которыми прокладывают лист бумаги. Куски берут одинаковых размеров и прямоугольной формы.

Для определения ёмкости такого конденсатора линейкой измеряют длину l и ширину b кусков фольги и вычисляют их площадь S . Расстояние между пластинами d равно толщине бумажного листа. Её определяют как отношение толщины стопки из нескольких десятков листов к числу листов в стопке. Затем вычисляют по формуле (1) ёмкость конденсатора.

Для проверки значения электрической ёмкости, рассчитанного по формуле, используют мультиметр. Современные портативные мультиметры могут измерять ёмкость с точностью до 1 пФ . Однако следует иметь в виду, что провода щупов, которыми прибор подключается к цепи, также имеют собственную электрическую ёмкость. Поэтому на индикаторе мультиметра, подготовленного для измерения электрической ёмкости, но не подключённого к конденсатору, высвечивается значение электрической ёмкости в несколько пикофард.

Порядок выполнения работы

1. Соберите модель плоского конденсатора (рис. 13). Для этого отделите от рулона фольги два куска (размером примерно $200 \times 300 \text{ мм}$ каждый).
2. Измерьте линейкой длину l и ширину b каждого куска фольги и вычислите площадь пластин S .

$l =$ _____

$b =$ _____

$S = lb =$ _____

3. Измерьте толщину d листа бумаги, который будет служить диэлектриком.

$d =$ _____

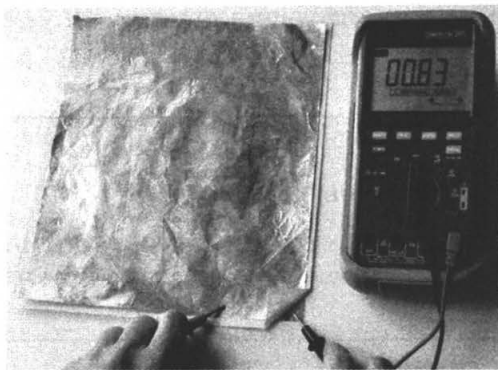


Рис. 13

4. Сложите куски фольги стопкой, проложив между ними лист бумаги. Прижмите куски фольги друг к другу, положив на них на некоторое время какой-нибудь предмет с большой площадью поверхности, например книгу.

5. Коснитесь щупами мультиметра, подготовленного к измерению электрической ёмкости, кусков фольги (см. рис. 13) и измерьте ёмкость $C_{\text{изм}}$ собранного конденсатора.

$C_{\text{изм}} =$ _____

6. Вычислите ёмкость конденсатора по формуле (1), принимая для бумаги $\epsilon = 1$.

$C =$ _____

7. Сравните результаты измерения и расчёта и сделайте вывод о соотношении C и $C_{\text{изм}}$.

Вывод: _____

8. Измерьте с помощью модели конденсатора диэлектрическую проницаемость полиэтилена. Для этого между листами фольги положите лист полиэтилена и измерьте с помощью мультиметра электрическую ёмкость C_1 получившегося конденсатора.

$C_1 =$ _____

9. Вычислите диэлектрическую проницаемость полиэтилена.

$$\varepsilon = \frac{C_1 d}{\varepsilon_0 S} =$$

Контрольные вопросы

1. В работе толщина листа диэлектрика задана. Как её можно измерить, если она неизвестна? Как при этом уменьшить погрешность измерения?

2. Что нужно сделать, чтобы увеличить электрическую ёмкость изготовленного конденсатора?

Содержание

Вычисление погрешностей измерений в лабораторных работах	3
Лабораторная работа № 1 «Измерение ускорения свободного падения»	11
Лабораторная работа № 2 «Исследование движения тела под действием постоянной силы»	13
Лабораторная работа № 3 «Изучение движения тела по окружности под действием сил тяжести и упругости»	16
Лабораторная работа № 4 «Исследование упругого и неупругого столкновений тел»	19
Лабораторная работа № 5 «Изучение закона сохранения механической энергии при действии на тело сил тяжести и упругости»	22
Лабораторная работа № 6 «Сравнение работы силы с изменением кинетической энергии тела»	26
Лабораторная работа № 7 «Исследование зависимости объёма газа данной массы от температуры при постоянном давлении»	30
Лабораторная работа № 8 «Измерение относительной влажности воздуха»	33
Лабораторная работа № 9 «Измерение поверхностного натяжения жидкости»	37
Лабораторная работа № 10 «Измерение электрической ёмкости конденсатора»	42

Черновик

Учебное издание

Пурышева Наталия Сергеевна
Степанов Сергей Васильевич

ФИЗИКА

Базовый уровень

10 класс

Тетрадь для лабораторных работ
к учебнику Н. С. Пурышевой, Н. Е. Важеевской, Д. А. Исаева

Зав. редакцией *Е. Н. Тихонова*
Ответственный редактор *И. Г. Власова*
Художник *Л. Я. Александрова*
Художественное оформление *М. В. Мандрыкина*
Технический редактор *И. В. Грибкова*
Компьютерная верстка *Е. Ю. Пучкова*
Корректор *Л. А. Малинина*



Сертификат соответствия
№ РОСС RU. АЕ51. Н 16508.

12+

Подписано к печати 22.04.14. Формат 70 × 90 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,51. Тираж 3000 экз. Заказ № 9109.

ООО «ДРОФА». 127254, Москва, Огородный проезд, д. 5, стр. 2.

**Предложения и замечания по содержанию и оформлению книги
просим направлять в редакцию общего образования издательства «Дрофа»:
127254, Москва, а/я 19. Тел.: (495) 795-05-41. E-mail: chief@drofa.ru**

**По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа»
обращаться по адресу: 127254, Москва, Огородный проезд, д. 5, стр. 2.
Тел.: (495) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (495) 795-05-52.**

Сайт ООО «ДРОФА»: www.drofa.ru

Электронная почта: sales@drofa.ru

Тел.: 8-800-200-05-50 (звонок по России бесплатный)

**Отпечатано в ООО «Тульская типография».
300600, г. Тула, пр. Ленина, 109.**