

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра физики

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ.
Кинематика и динамика
поступательного движения

Лабораторный практикум К-304.1
по дисциплине «Физика»
для технических специальностей и направлений

Составители Г. К. Кошкина
И. В. Цвеклинская

Утвержден на заседании кафедры
Протокол № 8 от 03.04.2018

Рекомендован к печати
учебно-методической комиссией
направления 20.03.01
Протокол № 11 от 26.04.2018

Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
Лабораторная работа № 1 «Определение объема тела правильной формы и расчет погрешностей измерений».....	3
Лабораторная работа № 2 «Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом Стокса».....	9
Лабораторная работа № 3 «Определение ускорения свободного падения».....	15
Лабораторная работа № 4 «Изучение основного закона динамики поступательного движения».....	20
Лабораторная работа № 5 «Изучение абсолютно упругого удара шаров».....	26
Список рекомендуемой литературы	34

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый лабораторный практикум представляет собой необходимый перечень лабораторных работ, предусмотренных ФГОС и рабочими программами курса физики в техническом вузе. Выполнение физического практикума направлено на формирование у студентов *профессиональных* компетенций, готовностью выполнять экспериментальные и лабораторные исследования, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты.

В результате освоения физического практикума по дисциплине «Физика» студент должен:

1. *знать* основные физические явления и законы;
2. *уметь* выявлять физическую сущность явлений и процессов, выполнять необходимые расчеты;
3. *владеть* инструментарием и приборами для проведения необходимых физических измерений и обработкой результатов экспериментальных данных.

Описания лабораторных работ изложены так, чтобы студент смог самостоятельно разобраться в физических закономерностях и технических особенностях установок, на которых выполняются лабораторные работы.

При подготовке к лабораторным работам необходимо внимательно прочесть описание работы, изучить теоретические основы данной работы по литературным источникам, разобраться с принципиальной и монтажной схемами экспериментальной установки и порядком проведения измерений. Составить конспект, содержащий титульный лист определенного образца, рабочие формулы, схему экспериментальной установки и таблицы для записи результатов измерений.

Студент будет допущен к выполнению лабораторной работы после обсуждения с преподавателем цели работы, методики расчета искомых величин и погрешностей их измерений и физической сути проверяемых закономерностей.

По окончании эксперимента нужно обработать полученные результаты, построить соответствующие графики (где это требуется), проанализировать результаты проведенного эксперимента и сделать соответствующий вывод, который должен содержать особенности измерений, расчета и суть физических законов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

**Определение объема тела правильной формы
и расчет погрешностей измерений**

1. Цель работы: определить объем цилиндра, конуса или другого тела (по указанию преподавателя); освоить методику расчета погрешностей прямых и косвенных измерений.

2. Подготовка к работе: прочитать о способах обработки результатов измерений в [2] Приложение, п. 3. Для выполнения работы студент должен: а) уметь пользоваться штангенциркулем и микрометром; б) знать способы расчета погрешностей при прямых и косвенных измерениях.

3. Выполнение работы**3.1. Виды погрешностей физических величин**

Измерением называется сравнение измеряемой величины с другой величиной, принятой за единицу измерения – *эталон*.

Прямыми называют измерения, выполняемые с помощью специальных измерительных приборов. Например, измерение температуры термометром, напряжения – вольтметром и др.

Косвенными называют измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости этой величины от других величин, доступных прямым измерениям.

В результате измерений любой величины *нельзя* получить ее истинного значения, что объясняется как принципиально ограниченной возможностью точности измерения, так и природой самих измеряемых объектов. Отклонение измеряемой величины от ее истинного значения называется **погрешностью**.

Погрешности, допускаемые при измерениях, бывают *систематические, случайные и грубые*.

Систематические погрешности сохраняют величину и знак от опыта к опыту. Они обусловлены одной и той же величиной, например, приборной погрешностью, неправильным выбором метода измерения, неправильной установкой прибора (сдвинута шкала и т. д.).

Случайными называют погрешности, которые непредсказуемым образом изменяют физическую величину и ее знак. Случайные

ошибки устранить нельзя, но они подчиняются статистическим вероятностным закономерностям и могут быть определены методами теории вероятностей. Уменьшить величину случайных погрешностей можно увеличением числа измерений.

Инструментальными (приборными) погрешностями средств измерений называют такие погрешности, которые принадлежат данному средству измерений, и определяются половиной цены деления (или ценой деления) шкалы измерительного прибора.

3.2. Оценка погрешностей прямых измерений

3.2.1. Провести n измерений физической величины x ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$).

3.2.2. Найти среднее арифметическое значение результатов измерений

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

3.2.3. Вычислить абсолютные погрешности отдельных измерений Δx_i с учетом знака, поскольку их алгебраическая сумма должна

быть равна нулю, $\sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0$:

$$\Delta x_1 = \langle x \rangle - x_1; \quad \Delta x_2 = \langle x \rangle - x_2; \quad \dots; \quad \Delta x_n = \langle x \rangle - x_n.$$

3.2.4. Рассчитать среднеквадратичную погрешность от среднего арифметического из n измерений

$$\sigma_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{n(n-1)}}.$$

3.2.5. Для доверительной вероятности α и числа измерений n найти коэффициент Стьюдента $t_{\alpha, n}$ (по таблице коэффициентов Стьюдента). Доверительная вероятность выбирается произвольно, но чем она больше (0,999), тем большая точность требуется в измерениях.

3.2.6. Рассчитать случайную погрешность измеряемой величины x по формуле

$$\Delta x_{сл} = t_{\alpha, n} \sigma_{\langle x \rangle}.$$

3.2.7. Учесть приборную погрешность $\Delta x_{\text{пр}}$ (как указано выше).

3.2.8. Рассчитать абсолютную погрешность (доверительный интервал) серии n измерений по формуле

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{сл}}^2 + \Delta x_{\text{пр}}^2}.$$

3.2.9. Вычислить относительную погрешность прямых измерений

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle} \cdot 100 \text{ \%}.$$

3.2.10. Записать результаты прямых измерений в виде:

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x.$$

3.2.11. Результаты прямых измерений и расчета погрешностей занести в табл. 1.

Таблица 1

Таблица измерений физической величины и расчета погрешностей

№ П/П	x_i	$\langle x \rangle$	Δx_i	Δx_i^2	$\sum \Delta x_i^2$	$\sigma_{\langle x \rangle}$	$t_{\alpha, n}$	$\Delta x_{\text{сл}}$	$\Delta x_{\text{пр}}$	Δx	ε
	мм	мм	мм	мм ²	мм ²	мм		мм	мм	мм	%
1											
2											
3											
...											
n											

3.3. Оценка погрешностей косвенных измерений

Пусть измеряемая физическая величина представляется функцией

$$f(x, y, z) = \frac{x^\alpha y^\beta}{z^\gamma}.$$

По полученным данным прямых измерений величин x, y, z определить среднее значение искомой величины

$$f(\langle x \rangle, \langle y \rangle, \langle z \rangle) = \frac{\langle x \rangle^\alpha \langle y \rangle^\beta}{\langle z \rangle^\gamma}.$$

Абсолютную погрешность искомой величины рассчитать по формуле

$$\Delta f(x, y, z) = f(\langle x \rangle, \langle y \rangle, \langle z \rangle) \cdot \varepsilon_f,$$

где ε_f – относительная погрешность при косвенных измерениях, которая рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_f = \sqrt{\alpha^2 \varepsilon_x^2 + \beta^2 \varepsilon_y^2 + \gamma^2 \varepsilon_z^2}$$

(ε_x , ε_y , ε_z – относительные погрешности (в долях единицы) прямых измерений физических величин, входящих в функциональную зависимость искомой величины).

Результат косвенных измерений записать в виде:

$$f(x, y, z) = f(\langle x \rangle, \langle y \rangle, \langle z \rangle) \pm \Delta f(x, y, z).$$

3.4. Обработка результатов совместных измерений

При совместных измерениях надо установить зависимость одной физической величины от другой (или от нескольких других). Чтобы упростить обработку результатов можно ограничиться графическим представлением результатов и определить искомые параметры по графику.

Для **построения графиков** рекомендуется следующий порядок работы:

3.4.1. Составить таблицу численных значений величин, связанных функциональной зависимостью.

3.4.2. По табличным данным построить график зависимости в какой-либо системе координат (в большинстве случаев пользуются декартовой прямоугольной системой координат). Графики должны быть выполнены на листе миллиметровой бумаги размером А4, А5 и вклеены в отчет. На координатных осях указываются названия величин и их единицы измерения. Затем на координатных осях *равномерно* откладываются масштабные единицы, при этом масштабные деления на разных осях могут быть разные.

3.4.3. Выбрать начало координат и масштаб так, чтобы вся площадь чертежа была использована. При этом не всегда обяза-

тельно, чтобы точка пересечения координатных осей совпадала с нулевыми делениями осей x и y .

После того как построены оси и указаны деления, нанести экспериментальные точки по табличным данным. Затем провести *плавную кривую*, причем она может проходить не через все отмеченные точки, а близко к ним, так чтобы эти точки находились по обе стороны кривой на одинаковом от нее расстоянии, не превышающем абсолютные погрешности данного измерения. Нужно учесть также, что там, где кривая идет монотонно, можно ограничиться небольшим числом точек, а в области перегибов следует точки наносить чаще.

3.5. Приборы для измерения линейных размеров тел

Штангенциркуль (рис. 1) состоит из стальной линейки 1, на которой нанесены миллиметровые деления. Эта линейка имеет неподвижную ножку 2. Вторая ножка 3, имеющая зажимной винт 4, может перемещаться вдоль линейки 1. На обойме этой ножки нанесен нониус 5.

Для измерения размеров какого-либо предмета его помещают между ножками 2 и 3, которые сдвигают до соприкосновения с предметом без сильного нажима, и, закрепив винт 4, делают отсчет.

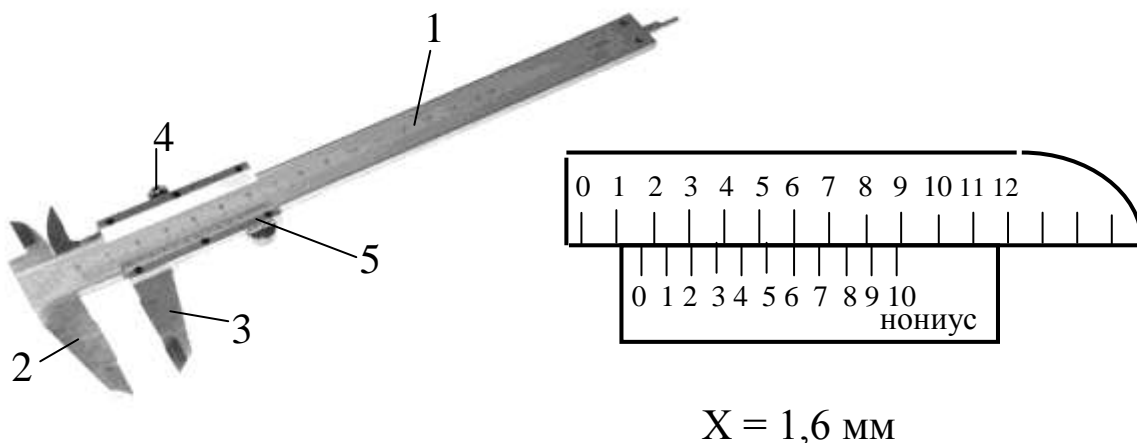


Рис. 1. Штангенциркуль:

1 – стальная линейка; 2 – неподвижная ножка; 3 – ножка (перемещается вдоль линейки 1); 4 – зажимной винт; 5 – нониус

Микрометром (рис. 2) можно произвести измерения небольших толщин, диаметров проволок, шариков с точностью до сотых долей миллиметра.

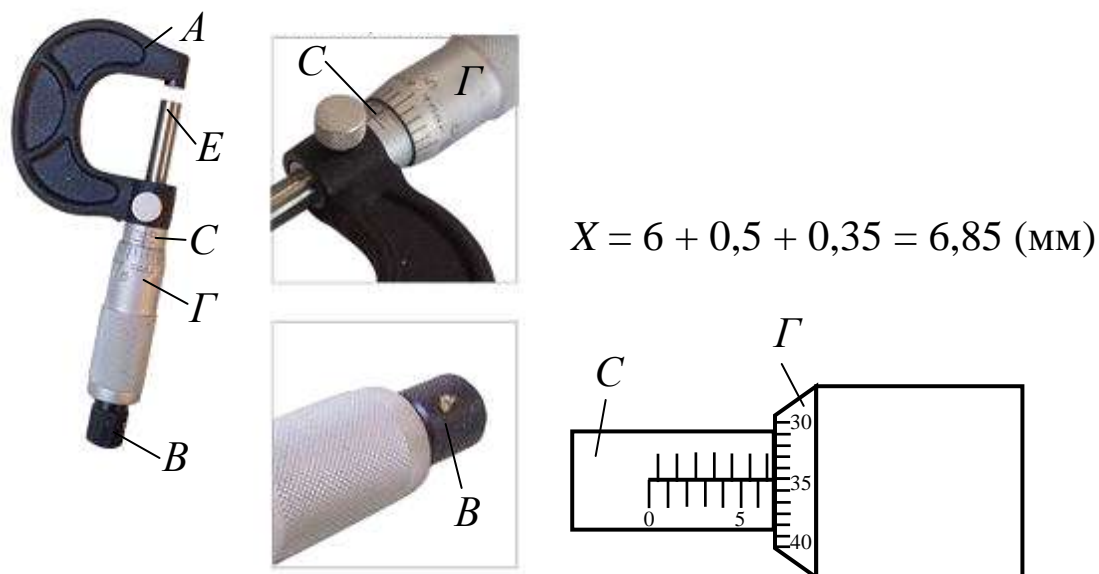


Рис. 2. Микрометр:

A – скоба; *EB* – микрометрический винт; *C* – полый стержень; *Г* – барабан

Микрометр состоит из полого стержня *C*, жестко соединенного со скобой *A*. В полость стержня ввинчен микрометрический винт *EB*. При повороте микровинта вместе с ним вращается барабан *Г*, перемещаясь при этом поступательно относительно стержня *C*. Наиболее распространен микрометр, у которого цена деления линейной шкалы стержня *C* – 0,5 мм.

Для удобства верхние и нижние риски шкалы стержня *C* сдвинуты относительно друг друга на 0,5 мм, цифры проставлены только у нижней шкалы. Шаг микровинта $h = 0,5$ мм, цена деления микрометра – 0,01 мм (она указывается на приборе).

4. Экспериментальная часть

4.1. С помощью штангенциркуля или микрометра провести не менее $n = 5$ измерений линейных величин цилиндра, конуса или другого тела (по указанию преподавателя).

4.2. По полученным средним значениям измеренных величин рассчитать объем тела.

4.3. Определить абсолютную и относительную погрешности измеряемых величин.

4.4. Результаты измерений и расчета абсолютных погрешностей занести в таблицы типа 1. Для погрешностей косвенных измерений составить свою таблицу.

4.5. Сделать вывод.

5. Вопросы для самоподготовки

5.1. В чем заключаются прямые и косвенные измерения физических величин?

5.2. Как рассчитать абсолютную и относительную погрешности при прямых и косвенных измерениях?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом Стокса

1. Цель работы: а) изучить особенности движения тела в вязкой среде; б) познакомиться с методами определения коэффициента внутреннего трения; в) определить коэффициент внутреннего трения жидкости методом Стокса.

2. Подготовка к работе: прочитать в [1] § 10.8 и в [2] §§ 31, 32. Для выполнения работы студент должен: а) знать основное уравнение динамики поступательного движения тела; б) уметь рассчитывать силы, действующие на шарик, движущийся в жидкости; в) знать физический смысл коэффициента внутреннего трения и его зависимость от температуры жидкости и газа.

3. Методика измерений и расчета

В трубках различные слои жидкости движутся с разными скоростями, причем, чем дальше слой от стенки сосуда, тем его скорость больше. При этом слой жидкости с большей скоростью увлекает рядом находящийся слой, движущийся с меньшей скоростью. Слой же с меньшей скоростью, в свою очередь, действует на слой, движущийся с большей скоростью, и тормозит его.

При установившемся движении скорости слоев остаются постоянными.

Силу, с которой один слой жидкости действует на другой, называют силой внутреннего трения.

Величина силы внутреннего трения зависит от разности скоростей движения слоев, от расстояния между слоями и площади соприкосновения.

Эта зависимость выражается формулой

$$F = \eta \left| \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta x} \right| \Delta S,$$

где \vec{F} – сила внутреннего трения; ΔS – площадь, на которую действует сила трения; $\Delta \vec{v}$ – разность скоростей слоев, отстоящих на расстояние, равное Δx ; $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta x}$ – градиент скорости; η – коэффициент внутреннего трения.

Коэффициент внутреннего трения жидкости можно определить, наблюдая за движением шарика в вязкой среде.

На шарик, перешедший из воздуха в вязкую среду, действуют силы (рис. 1), под действием которых он сначала движется равнозамедленно. Уравнение движения шарика в этой среде согласно II закону Ньютона имеет вид

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_C = m\vec{a}, \quad (1)$$

где $m\vec{g}$ – сила тяжести; \vec{F}_A – сила Архимеда; \vec{F}_C – сила сопротивления среды.

Сила сопротивления пропорциональна скорости движения шарика \vec{v} и поэтому уменьшается с ее уменьшением. В результате через некоторое время движение шарика становится равномерным и подчиняется I закону Ньютона

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_C = 0. \quad (2)$$

В проекции на ось X (см. рис. 1)

$$mg - F_A - F_C = 0. \quad (3)$$

Рассмотрим силы, действующие на шарик, более подробно.

1. Сила тяжести:

$$F_T = m g = \rho V g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g, \quad (4)$$

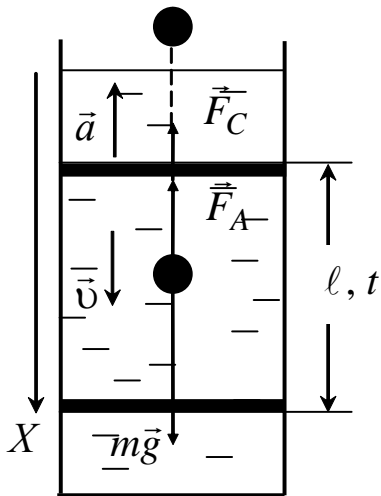


Рис. 1. Схема сил, действующих на движущийся в жидкости шарик

где ρ – плотность материала шарика; V – объём шарика; r – радиус шарика. Сила тяжести направлена вниз (в направлении движения шарика).

2. Выталкивающая сила (сила Архимеда) направлена вверх и равна:

$$F_A = m_0 g = \rho_0 V g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_0 g, \quad (5)$$

где ρ_0 – плотность жидкости; m_0 – масса вытесненной жидкости.

3. Сила сопротивления среды обусловлена вязкостью жидкости. Согласно формуле, выведенной Стоксом, она пропорциональна скорости v шарика, его радиусу r и коэффициенту динамической вязкости (внутреннего трения) η :

$$F_C = 6 \pi \eta r v. \quad (6)$$

Сила сопротивления направлена в сторону, противоположную скорости движения шарика. Эта формула справедлива для твердого шарика, движущегося в жидкости, при условии, что скорость его невелика, а расстояние до границ жидкости значительно больше диаметра шарика.

Подставим значения сил (4), (5), (6) в исходную формулу (3):

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_0 g - 6 \pi \eta r v_0 = 0, \quad (7)$$

здесь v_0 – скорость установившегося равномерного движения шарика, которая определяется по формуле

$$v_0 = \frac{\ell}{t}, \quad (8)$$

где ℓ – расстояние между метками на измерительном цилиндре с маслом; t – время равномерного движения шарика между этими метками.

Из уравнения (7) с учетом (8) находят коэффициент внутреннего трения:

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0)g d^2 t}{18 \ell}, \quad (9)$$

где d – диаметр шарика.

4. Экспериментальная часть

4.1. Измерить диаметр шарика пять раз, результаты измерений занести в табл. 1.

4.2. Найти среднее арифметическое значение результатов измерений.

4.3. Вычислить абсолютные погрешности отдельных измерений

$$\Delta d_i = \langle d \rangle - d_i.$$

Алгебраическая сумма этих погрешностей должна быть равна нулю $\sum_{i=1}^5 \Delta d_i = 0$.

4.4. Рассчитать среднюю квадратичную погрешность

$$\sigma_{\langle d \rangle} = \sqrt{\frac{\sum \Delta d_i^2}{n(n-1)}},$$

где n – число измерений.

4.5. Выбрать из таблицы коэффициент Стьюдента $t_{\alpha, n}$ для пяти измерений ($n = 5$) и доверительной вероятности α , указанной преподавателем.

4.6. Найти случайную погрешность

$$\Delta d_{\text{сл}} = t_{\alpha, n} \sigma_{\langle d \rangle}$$

4.7. Определить приборную погрешность измерительного инструмента.

4.8. Рассчитать абсолютную погрешность (доверительный интервал) серии измерений

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{\text{сл}}^2 + \Delta d_{\text{пр}}^2}.$$

4.9. Определить относительную погрешность измерений диаметра

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{\langle d \rangle} \cdot 100 \%$$

4.10. Результаты расчета погрешностей прямого измерения занести в табл. 1. Результат записать в виде $d = \langle d \rangle \pm \Delta d$.

4.11. Измерить расстояние ℓ между метками на цилиндре (по верхним краям меток).

4.12. Опустить шарик в цилиндр через воронку. Когда шарик окажется на уровне края верхней метки, включить секундомер. Секундомер выключить, когда шарик достигнет верхнего края второй метки. Следить за тем, чтобы шарик не подходил близко к стенкам сосуда. С помощью магнита извлечь шарик из масла.

Опыт повторить пять раз. Время движения t_i шарика занести в табл. 2, подобную табл. 1. Таблицу 2 составить самостоятельно. Определить доверительный интервал прямых измерений времени Δt и относительную погрешность ε_t . Записать результат измерений в виде: $t = \langle t \rangle \pm \Delta t$.

Таблица 1

Результаты измерения диаметра шарика и расчета погрешностей

№ п/ п	d_i	$\langle d \rangle$	Δd_i	Δd_i^2	$\sum \Delta d_i^2$	$\sigma \langle d \rangle$	$t_{\alpha, n}$	$\Delta d_{сл}$	$\Delta d_{пр}$	Δd	ε_d	$\langle d \rangle \pm \Delta d$	
	мм	мм	мм	мм ²	мм ²	мм	$\alpha = 0,95$	мм	мм	мм	%	мм	
1							2.78						
2													
3													
4													
5													

4.13. Вычислить среднее значение коэффициента внутреннего трения по формуле (9), подставив средние значения прямых измерений диаметра шарика и времени его движения между метками.

4.14. Рассчитать относительную погрешность результата косвенных измерений коэффициента внутреннего трения по формуле

$$\varepsilon_{\eta} = \sqrt{4\varepsilon_d^2 + \varepsilon_t^2 + \varepsilon_{\ell}^2},$$

где ε_d , ε_t , ε_{ℓ} – относительные погрешности прямых измерений диаметра шарика d , времени t и расстояния ℓ его равномерного движения в жидкости; $\varepsilon_{\ell} = \frac{\Delta\ell}{\ell}$; $\Delta\ell$ – абсолютная погрешность, которая равна цене деления шкалы линейки, с помощью которой измеряется расстояние ℓ , пройденное шариком при установившемся движении.

4.15. Абсолютную погрешность косвенного измерения рассчитать по формуле

$$\Delta\eta = \langle \eta \rangle \varepsilon_{\eta}.$$

Результат вычислений записать в виде:

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm \Delta\eta.$$

4.16. Данные измерений и вычислений занести в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерения коэффициента внутреннего трения

$\langle d \rangle$	l	$\langle t \rangle$	ρ	ρ_0	$\langle \eta \rangle$	ε_{η}	$\Delta\eta$
м	м	с	кг/м ³	кг/м ³	Па · с	%	Па · с

4.17. Сделать вывод.

5. Вопросы для самоподготовки

5.1. Основное уравнение динамики поступательного движения твёрдого тела.

5.2. Физический смысл коэффициента внутреннего трения (динамической вязкости). Как рассчитать кинематическую вязкость и какова ее размерность?

5.3. В чем состоит метод определения коэффициента внутреннего трения?

5.4. В каких единицах измеряется коэффициент внутреннего трения?

5.5. Какие силы действуют на шарик, движущийся внутри жидкости?

5.6. Сформулируйте законы Ньютона.

5.7. Изменяется ли сила внутреннего трения в процессе движения шарика? Каков характер этого изменения, если начальная скорость непосредственно после погружения: а) равна нулю; б) равна скорости, которую приобретает шарик, когда падает с высоты h ?

5.8. Как коэффициент внутреннего трения жидкости, газа зависит от температуры?

5.9. Зависит ли коэффициент внутреннего трения жидкости от диаметра шарика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Определение ускорения свободного падения

1. Цель работы: изучить метод определения ускорения свободного падения.

2. Подготовка к работе: прочитать в учебниках [1] § 6.3, [2] §§ 22, 23, [3] §§ 11, 12, 37. Для выполнения работы необходимо знать: а) основное уравнение динамики поступательного движения твердого тела; б) кинематические характеристики движения при свободном падении; в) зависимость ускорения свободного падения от расстояния до центра Земли и географической широты местности.

3. Описание установки

Установка представляет собой металлическую штангу, жестко закрепленную на стене. На штанге, имеющей шкалу, укрепляется передвижной электромагнит ЭМ, неподвижная ловушка Л с полочкой (заслонкой) С (рис. 1). К включенному электромагниту подносятся шарик, который при этом притягивается. При выключении цепи электромагнита шарик падает. Время его падения отсчитывается по электросекундомеру ЭС, который включается в момент отрыва шарика от электромагнита и выключается при ударе его о заслонку С. Схема пульта управления магнитом и электросекундомером приведена на рис. 2.

Когда выключатели замкнуты (тумблер 1 с надписью «секундомер» и тумблер 2 с надписью «магнит» установлены в положениях «вкл.»), электросекундомер не работает.

Если тумблер 2 повернуть в положение «выкл.», электромагнит выключается, шарик падает, начинается отсчет времени. При ударе шарика о заслонку С электросекундомер выключается автоматически.

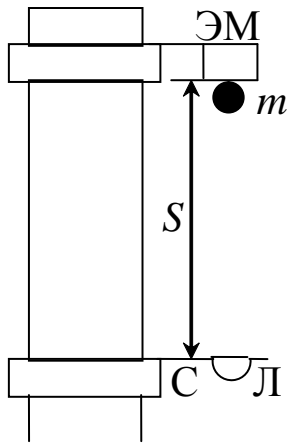


Рис. 1. Электромагнит с шариком и заслонкой

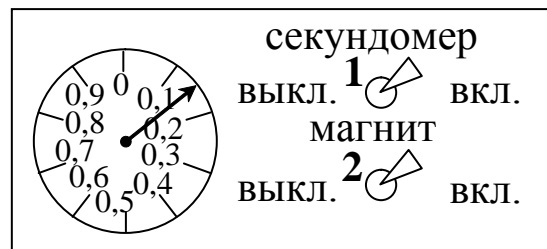


Рис. 2. Схема пульта управления магнитом и электросекундомером

4. Методика измерений и расчета

На падающий шарик действуют три силы: сила тяжести \vec{F} , архимедова сила \vec{F}_A и сила сопротивления \vec{F}_C . Уравнение движения шарика представляется в виде

$$m \vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_A + \vec{F}_C,$$

где m – масса шарика; a – ускорение.

Для шарика малых размеров силами \vec{F}_A и \vec{F}_C можно пренебречь, тогда

$$m \vec{a} = \vec{F}.$$

Кинематическое уравнение движения шарика

$$h = \frac{a t^2}{2},$$

где h – высота, с которой падает шарик; t – время падения.

Движение тел под действием только силы тяжести называется свободным падением, а ускорение – ускорением свободного падения \vec{g} (ускорение силы тяжести).

Ускорение свободного падения зависит от высоты h над уровнем Земли и географической широты φ местности.

Зависимость ускорения свободного падения от высоты определяется законом всемирного тяготения

$$F_3 = F \quad \text{или} \quad G \frac{mM}{(R+h)^2} = m g_h,$$

где F_3 – сила притяжения шарика Землей; G – гравитационная постоянная; m – масса шарика; M – масса Земли; R – радиус Земли; g_h – ускорение свободного падения на расстоянии $(R+h)$ от центра Земли. Отсюда ускорение свободного падения на высоте h от поверхности Земли равно

$$g_h = G \frac{M}{(R+h)^2}.$$

При $h \ll R$ или $h = 0$ (уровень моря)

$$g = G \frac{M}{R^2}. \quad (1)$$

Зависимость ускорения свободного падения от географической широты обусловлена суточным вращением Земли и сплюснутостью ее у полюсов ($R_{\text{ЭКВ}} = 6378$ км, $R_{\text{ПОЛ}} = 6357$ км). Вследствие суточного вращения покоящееся на Земле тело движется по окружности

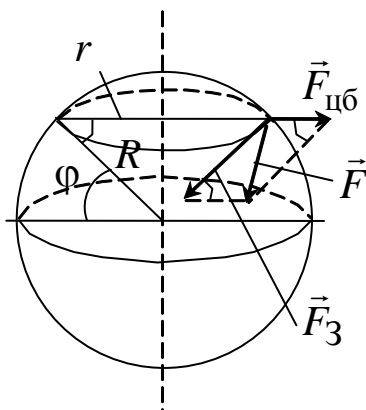


Рис. 3. Схема действия сил на тело в зависимости от широты местности φ

радиуса r , $r = R \cos \varphi$ (рис. 3). В этом случае сила тяжести \vec{F} равна векторной сумме $\vec{F} = \vec{F}_3 + \vec{F}_{\text{цб}}$, где $\vec{F}_{\text{цб}}$ – центробежная сила инерции:

$$F_{\text{цб}} = m\omega^2 r = m\omega^2 R \cos \varphi.$$

Угловая скорость суточного вращения Земли $\omega = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

Из рис. 3. по теореме косинусов с учетом того, что отношение

$\frac{F_{цб}}{F_3} = 0,003$, и поэтому величиной $\left(\frac{F_{цб}}{F_3}\right)^2$ можно пренебречь, получим

$$g = g_э \left(1 - \frac{2\omega^2 R \cos^2 \varphi}{g_э} \right)^{1/2}. \quad (2)$$

5. Подготовка установки к измерениям

5.1. Поставить тумблеры 1 и 2 (см. рис. 2) в положение «ВЫКЛ.».

5.2. Укрепить электромагнит на расстоянии S , равном 1–5 м от заслонки. Измерить расстояние S , определить высоту падения шарика $h = S - d$, где d – диаметр шарика.

5.3. Привести заслонку С в горизонтальное положение (см. рис. 1).

5.4. Повернуть тумблеры 1 и 2 в положение «ВКЛ.».

5.5. На специальной подставке поднести к электромагниту металлический шарик, предварительно размагниченный. Он притягивается. Повернуть тумблер 2 в положение «ВЫКЛ.», шарик падает, электросекундомер ЭС включается. При ударе шарика о заслонку ЭС останавливается. По секундомеру определить время падения шарика (с точностью до 0,01 с).

6. Определение ускорения свободного падения

6.1. Провести необходимые измерения времени падения для 3-х шариков разной массы. Опыт с каждым шариком повторить 5 раз.

6.2. Результаты измерений времени для каждого шарика занести в табл. 1. Рассчитать среднее значение времени и использовать его при расчете ускорения свободного падения.

6.3. Рассчитать ускорение свободного падения g для каждого шарика по формуле

$$\langle g_э \rangle = \frac{2h}{\langle t \rangle^2}.$$

6.4. Относительную погрешность ε_t при измерении времени t рассчитать, как при оценке прямых измерений (см. лабораторную

работу № 1). Результаты расчета занести в табл. 2, которую составить самостоятельно. Ответ записать в виде $t = \langle t \rangle \pm \Delta t$.

Таблица 1

Результаты измерения времени падения шарика и расчета ускорения свободного падения

№ п/п	m	h	t	$\langle t \rangle$	$\langle g_{\text{э}} \rangle$
	кг	м	с	с	м/с ²
1					
...					
5					
1					
...					
5					
1					
...					
5					

6.5. Вычислить абсолютную погрешность Δg для ускорения свободного падения одного из шариков по формуле

$$\Delta g = \langle g_{\text{э}} \rangle \sqrt{\varepsilon_h^2 + 4\varepsilon_t^2},$$

где $\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h}$ – относительная погрешность при измерении высоты h (Δh принять равной приборной погрешности).

Результат косвенного измерения запишите в виде $g_{\text{э}} = \langle g_{\text{э}} \rangle \pm \Delta g$.

6.6. Сравнить значения ускорения свободного падения для шариков различной массы. Сделать вывод.

6.7. Вычислить ускорение свободного падения для г. Кемерово ($\varphi = 55^\circ$) по формуле (2). Сравнить с экспериментально полученным значением.

7. Вопросы для самоподготовки

7.1. Основное уравнение динамики поступательного движения твердого тела.

7.2. Кинематические характеристики движения при свободном падении.

7.3. Что называется ускорением свободного падения? Как ускорение свободного падения зависит от высоты и широты местности?

7.4. Запишите кинематическое и динамическое уравнения движения шарика.

7.5. Сформулируйте законы Ньютона.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Изучение основного закона динамики поступательного движения

1. Цель работы: а) изучить законы динамики поступательного движения связанной системы грузов без учета силы трения при равноускоренном и равномерном движении; б) определить ускорение свободного падения и оценить погрешности опыта.

2. Подготовка к работе: изучить в учебниках [1] §§ 3, 5–7 и [2] §§ 1.3, 2.1 – 2.5. Для выполнения работы студент должен знать: а) характеристики движения материальной точки (вектор перемещения, скорость, ускорение); б) уравнения равномерного и равнопеременного движения; в) понятия массы и силы, зависимость массы от скорости тела; г) применение II закона Ньютона к движению системы связанных тел.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Общий вид установки представлен на рис. 1. Машина Атвуда представляет собой два одинаковых цилиндра 1 массой M каждый, привязанные к концам нити, перекинутой через блок 2.

Если на правый цилиндр, находящийся у верхнего кронштейна 3, положить дополнительный груз 4, масса которого m , то система приходит в ускоренное поступательное движение.

При прохождении правым телом среднего кронштейна 5, снабженного фотоэлектрическим датчиком и кольцом, дополнительный груз снимается с цилиндра и включается миллисекундомер 8.

Дальнейшее равномерное движение механической системы происходит по инерции, и когда правый цилиндр доходит до ниж-

него кронштейна 6, тоже снабженного фотоэлектрическим датчиком, миллисекундомер выключается.

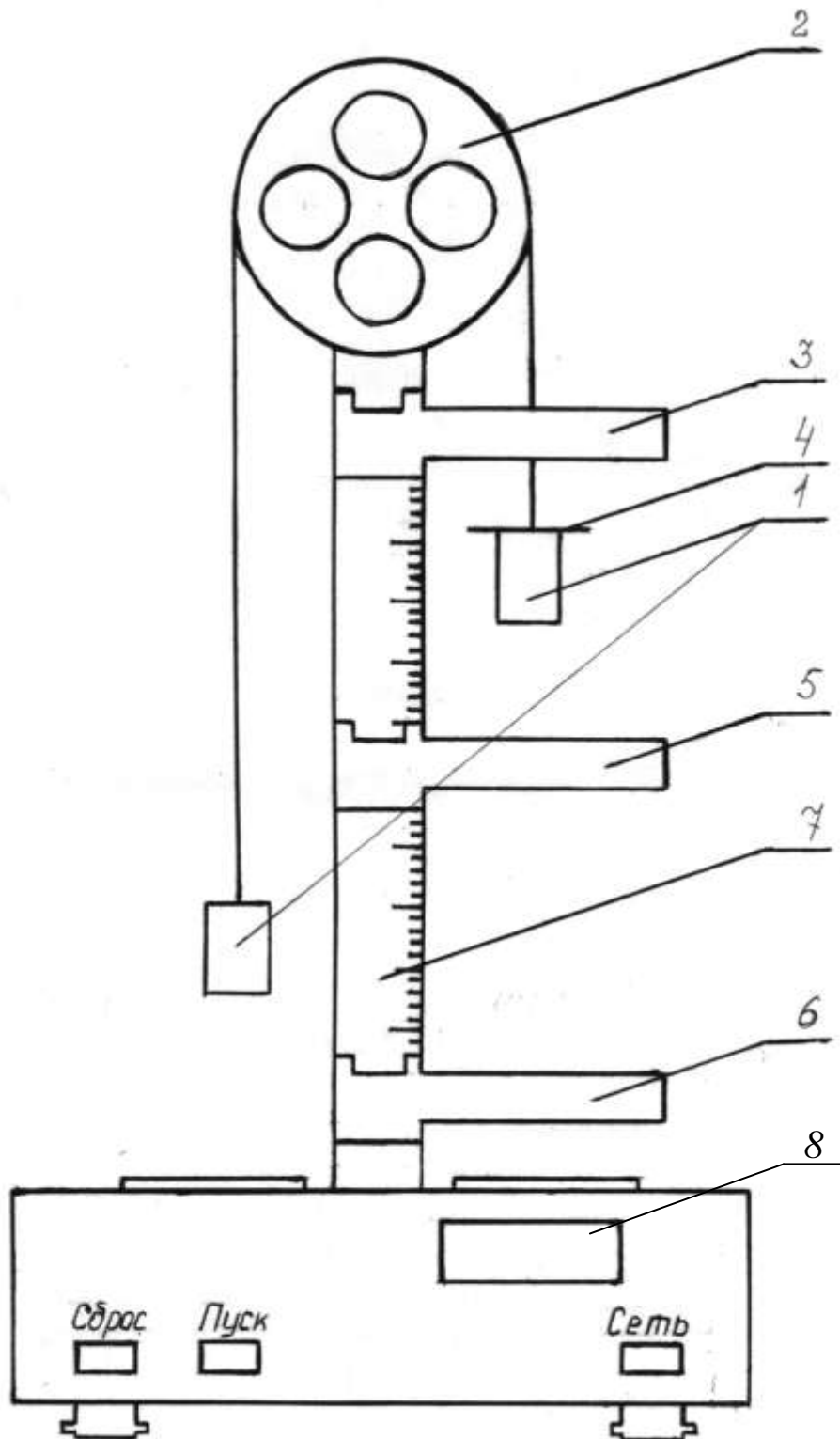


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
 1 – цилиндрические грузы; 2 – блок; 3 – верхний кронштейн;
 4 – дополнительный груз; 5 – средний кронштейн;
 6 – нижний кронштейн; 7 – стойка; 8 – миллисекундомер

Работа нижнего фотодатчика согласована с работой тормозного электромагнита, который с помощью фрикционной муфты удерживает блок и нить с цилиндрами в состоянии покоя. Стойка 7, на которой укреплены блок и кронштейны, снабжена шкалой, начало которой совпадает с положением нижнего кронштейна.

Определив по шкале положение верхнего кронштейна (3) H_2 (рис. 2) и среднего кронштейна (5) H_1 , можно найти путь равноускоренного движения $L = H_2 - H_1$ и путь равномерного движения H_1 .

3.2. Методика измерений и расчета

Рассмотрим силы, действующие на каждое из тел, входящих в систему (рис. 2). На груз массой M действуют со стороны Земли гравитационная сила $M\vec{g}$, со стороны нити – упругая сила натяжения \vec{T}_1 . На тело массой $(M + m)$ действуют силы $(M + m)\vec{g}$ и \vec{T}_2 соответственно. На основании второго закона Ньютона запишем уравнения:

$$\begin{cases} M\vec{g} + \vec{T}_1 = M\vec{a}_1; \\ (M + m)\vec{g} + \vec{T}_2 = (M + m)\vec{a}_2. \end{cases} \quad (1)$$

Учитывая, что нить невесома и нерастяжима, а масса блока пренебрежимо мала и трением в блоке можно пренебречь, $T_1 = T_2$, $a_1 = a_2$, уравнения (1) в проекциях на ось X примут вид:

$$\begin{cases} Mg - T = -Ma; \\ (M + m)g - T = (M + m)a. \end{cases} \quad (2)$$

Из полученной системы уравнений найдем теоретическое значение ускорения:

$$a_T = \frac{mg}{2M + m}. \quad (3)$$

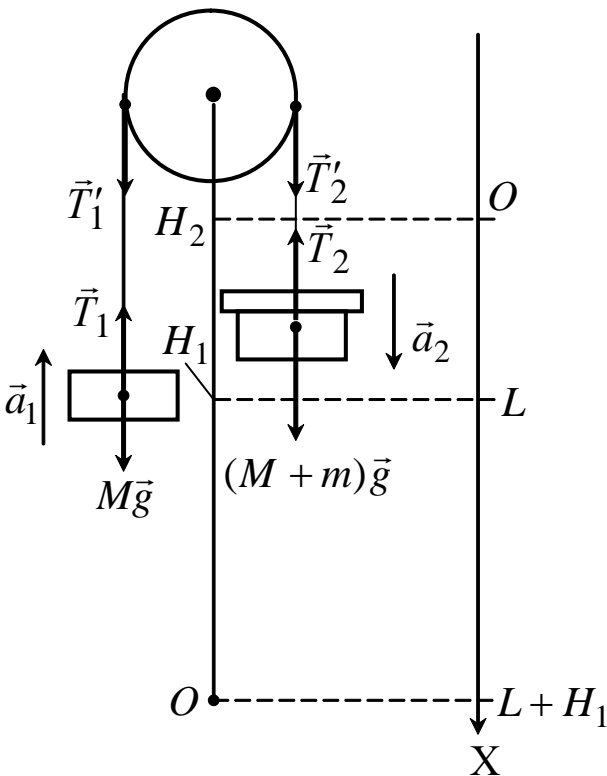


Рис. 2. Расчетная схема:

\vec{T}_1, \vec{T}_2 – силы натяжения нитей

Значение скорости в конце участка L определим из кинематических уравнений равноускоренного движения:

$$v = \sqrt{2aL}. \quad (4)$$

После «снятия» дополнительного грузика средним кронштейном движение грузов на участке ($H_1 - 0$) в течение времени t (измеряется электронным секундомером) будет равномерным со скоростью

$$v = \frac{H_1}{t}. \quad (5)$$

Из равенств (4) и (5) находим экспериментальное значение ускорения:

$$a_э = \frac{H_1^2}{2Lt^2}. \quad (6)$$

Поскольку теоретическое a_T и экспериментальное $a_э$ ускорения должны быть равны, равенства (3) и (6) можно использовать для определения ускорения свободного падения $g_э$ в условиях эксперимента:

$$g_э = \frac{2M + m}{m} \cdot \frac{H_1^2}{2Lt^2} = \left(\frac{2M}{m} + 1 \right) \cdot a_э. \quad (7)$$

3.3. Порядок работы на установке

3.3.1. Установить нижнее основание правого цилиндра на уровне горизонтальной отметки H_2 верхнего кронштейна. Включить сетевой шнур установки в сеть и нажать клавишу «Сеть». При этом включается тормозной электромагнит и тела удерживаются в заданном положении.

3.3.2. Положить на правый цилиндр дополнительный груз массой m и нажать клавишу «Пуск» – тормозной электромагнит отключается, тела приходят в равноускоренное движение. При пересечении правым телом светового луча в среднем кронштейне начинается отсчет времени равномерного движения, а при пересечении луча света в нижнем кронштейне отсчет времени прекращается, одновременно включается электромагнит.

3.3.3. Нажать на клавишу «Сброс», при этом происходит обнуление показаний миллисекундомера и отключение электромагнита. Вновь привести систему в исходное состояние.

3.3.4. Отжать клавишу «Пуск», при этом включается электромагнит и механическая система фиксируется в исходном состоянии. Далее последовательно повторить пункты 3.3.2–3.3.4.

3.4. Определение ускорения движущегося тела

3.4.1. Провести необходимые измерения времени для пяти разных грузов (грузы используются по одному и в наборе). Опыт с каждым грузом повторить три раза, вычислить среднее значение времени и использовать его в расчетах. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения времени и расчета ускорения системы

$$H_1 = \quad \text{м}; \quad H_2 = \quad \text{м}; \quad L = \quad \text{м}; \quad M = 61 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

	t , с	$\langle t \rangle$, с	m , кг	a_T , м/с ²	$a_э$, м/с ²	ε_a , %	$g_э$, м/с ²
1							
2							
3							
1							
2							
3							
1							
2							
3							
1							
2							
3							

3.4.2. Вычислить a_T и $a_э$ по формулам (3) и (6).

3.4.3. Объяснить расхождение между a_T и $a_э$, вспомнив, какие предположения были сделаны при выводе формулы (3). Найти процентное расхождение ε_a между a_T и $a_э$ для каждого груза:

$$\varepsilon_a = \frac{|a_T - a_э|}{a_T} \cdot 100\% .$$

3.4.4. По формуле (7) найти $g_э$, сравнить его значение с табличным $g_{\text{табл}} = 9,81 \text{ м/с}^2$. Сделать вывод.

3.4.5. Построить график зависимости ускорения $a_э$ от силы тяжести mg (рис. 3). Прямая, проведенная через экспериментальные точки, отсекает на оси абсцисс отрезок, равный F , который учитывает силу трения в оси блока, а также различие сил натяжения нитей по обе стороны блока.

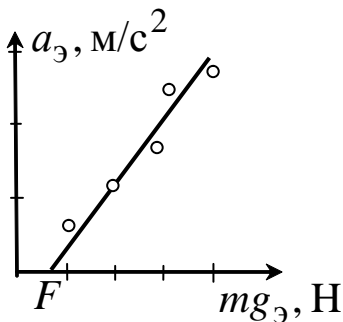


Рис. 3. График зависимости ускорения $a_э$ от силы тяжести $mg_э$

3.4.6. Относительную погрешность одного из пяти измерений времени t рассчитать, как при оценке прямых измерений (см. лабораторную работу № 1). Результаты расчета занести в табл. 2, которую составить самостоятельно. Ответ записать в виде $t = \langle t \rangle \pm \Delta t$.

3.4.7. Относительную погрешность косвенных измерений $\varepsilon_{a_э}$ рассчитать по формуле

$$\varepsilon_{a_э} = \sqrt{4\varepsilon_{H_1}^2 + \varepsilon_L^2 + 4\varepsilon_t^2} ,$$

где $\varepsilon_{H_1} = \frac{\Delta H_1}{H_1}$, $\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{L}$; ΔH_1 , ΔL – приборные (инструментальные) погрешности измерения длины.

Абсолютная погрешность косвенного измерения ускорения $\Delta a_э = \langle a_э \rangle \cdot \varepsilon_{a_э}$. Результат записать в виде $a_э = \langle a_э \rangle \pm \Delta a_э$.

3.4.8. Объяснить отличие ε_a и $\varepsilon_{a_э}$, полученных в результате расчета в табл. 1 и 2. Может ли экспериментальное значение $g_э$ получиться больше $g_{\text{табл}}$? Если нет, то почему?

3.4.9. Сделать вывод.

4. Вопросы для самоподготовки

- 4.1. Характеристики движения материальной точки ($\Delta\vec{r}$, \vec{v} , \vec{a}).
- 4.2. Кинематические уравнения движения.
- 4.3. Понятие массы и силы, зависимость массы от скорости тела.
- 4.4. Сформулируйте законы Ньютона.
- 4.5. Применение II закона Ньютона к движению системы связанных тел.
- 4.6. Какое движение называется равномерным? Как зависит время равномерного движения тел от положения среднего кронштейна на машине Атвуда?
- 4.7. Сформулируйте 3-й закон Ньютона и для каждой из рассмотренных сил укажите «парную» силу. К каким телам они приложены?
- 4.8. Какие изменения в решение задачи необходимо внести, если учитывать массу блока и силу трения в оси блока?
- 4.9. Зависит ли ускорение движения тел в «Машине Атвуда» от широты местности, где находится установка? Почему?
- 4.10. Влияет ли движение установки на результаты измерения ускорения свободного падения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Изучение абсолютно упругого удара шаров

1. Цель работы: а) изучить способ определения скорости тел до и после удара на основе законов сохранения; б) убедиться в выполнении третьего закона Ньютона при упругом ударе тел.

2. Подготовка к работе: прочитать в учебниках [1] §§ 7, 9 и [2] §§ 5.1, 5.2. Для выполнения работы студент должен знать: а) законы Ньютона; б) законы сохранения импульса и энергии; в) применение законов сохранения импульса и энергии для расчета скоростей при центральном упругом ударе; г) понятие неупругого удара, потери энергии при неупругом соударении; д) коэффициент восстановления.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Установка для изучения удара шаров (рис. 1) представляет собой основание 1, которое располагается строго горизонтально с помощью регулировочных винтов 2. На основании смонтирована стойка 3 с двумя кронштейнами: верхним 4 и нижним 5. На верхнем кронштейне укреплены подвески 6, к которым на нитях подвешены шары 7. На нижнем кронштейне закреплен электромагнит 8 и две шкалы 9 для измерения углов отклонения шаров. С помощью винта 10 подвески устанавливаются так, чтобы в положении равновесия шары лишь слегка касались друг друга. При этом указатели положения шаров 11 должны находиться над нулевыми делениями шкал, которые можно смещать относительно кронштейна 5. Центральности удара добиваются путем перемещения подвесок нитей вдоль стержней, на которых они укреплены.

Время упругого удара шаров измеряется с помощью микросекундомера.

3.2. Методика расчета скорости шаров

В механике под *ударом* понимают кратковременное взаимодействие тел при их соприкосновении, например, столкновение шаров, удар молота о наковальню или сваю и др.

Удар называется *абсолютно упругим*, если после удара тела полностью восстанавливают свою первоначальную форму, то есть в телах не остается никакой остаточной деформации.

Если на рис. 1 правый шар массы m_1 отвести от положения равновесия на угол α и отпустить его, то проходя через положение равновесия со скоростью v_1 этот шар столкнется с неподвижным шаром массой m_2 .

При взаимодействии шаров массами m_1 и m_2 выполняется закон сохранения импульса

$$\vec{P}_1 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2,$$

где \vec{P}_1 – импульс первого шара до удара; \vec{P}'_1 , \vec{P}'_2 – импульсы первого и второго шаров после удара.

В проекции на ось X (рис. 2):

$$m_1 v_1 = -m_1 u_1 + m_2 u_2, \quad (1)$$

где u_1 и u_2 – скорости первого и второго шаров после удара.

Выполняется также закон сохранения механической энергии для упругого удара

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), можно найти теоретические значения скоростей шаров после удара

$$\begin{cases} u_{1T} = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_1; \\ u_{2T} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1. \end{cases} \quad (3)$$

3.3. Расчет скоростей шаров после упругого удара по результатам экспериментальных измерений

Зная максимальный угол отклонения первого шара от положения равновесия до и после удара, можно определить его скорость в момент прохождения положения равновесия, то есть перед ударом и после него.

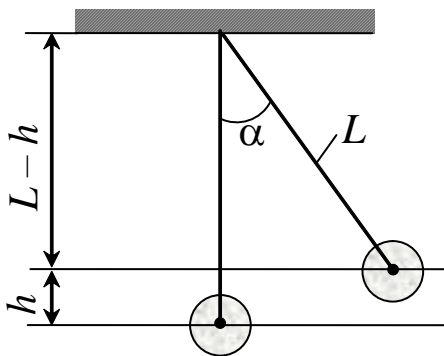


Рис. 3. Расчетная схема определения высоты подъема шарика

Пусть шар массой m_1 подвешен на нити длиной L и отклонен от положения равновесия на угол α (рис. 3). После удара нить с шаром массой m_1 отклоняется на угол β_1 , а нить с шаром массой m_2 – на угол β_2 .

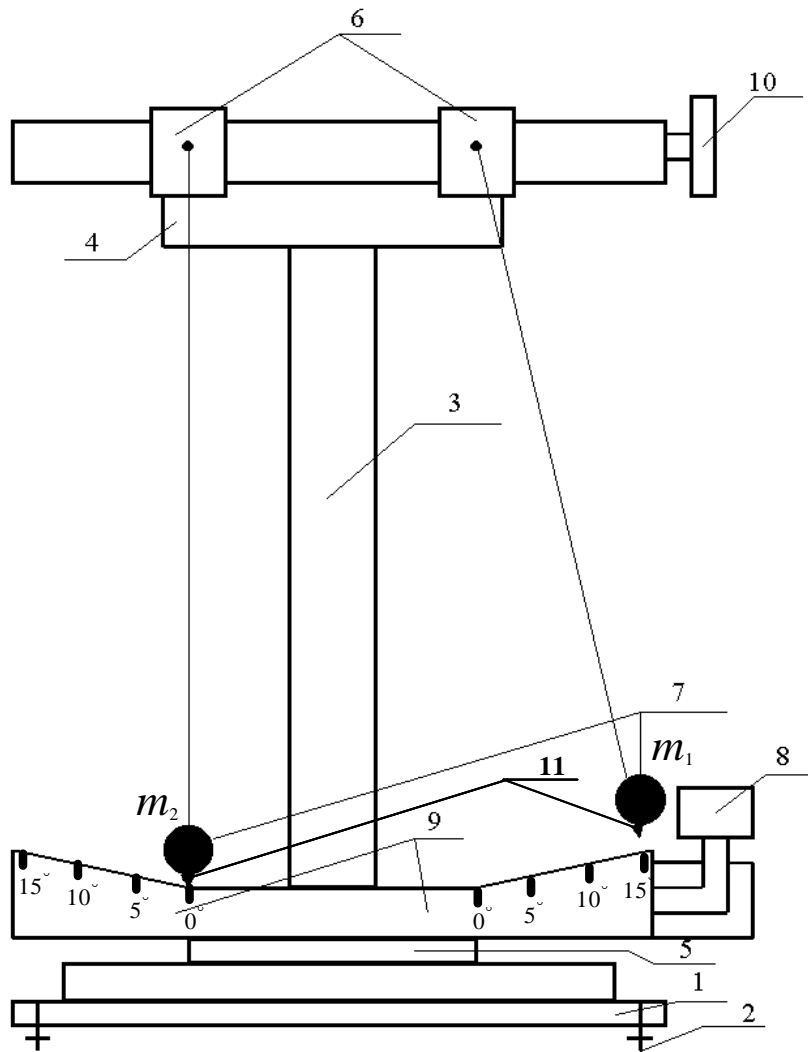


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения упругого удара шаров:

- 1 – основание; 2 – регулировочный винт; 3 – стойка;
 4, 5 – верхний и нижний кронштейны; 6 – подвески; 7 – шары;
 8 – электромагнит; 9 – шкала; 10 – винт;
 11 – указатели положения шаров

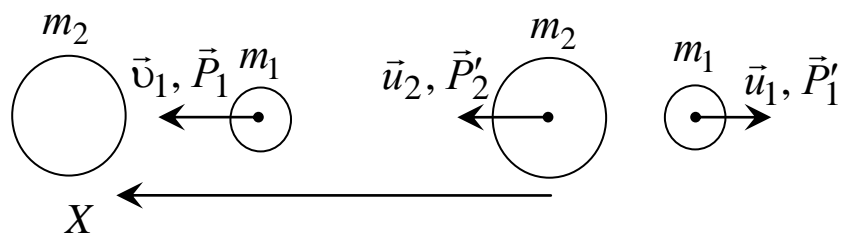


Рис. 2. Схема для расчета скоростей шаров u_1 и u_2 после удара

При отклонении нити на угол α центр масс шара поднимается на высоту h (см. рис. 3) и потенциальная энергия принимает значение

$$E_{\text{пот}} = m_1gh = 2m_1gL \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Так как $L - h = L \cos \alpha$, то $h = L(1 - \cos \alpha) = 2L \sin^2 \frac{\alpha}{2}$.

При переходе из крайнего правого положения в положение равновесия действуют только консервативные силы, поэтому потенциальная энергия на высоте h равна кинетической энергии в положении равновесия:

$$E_{\text{пот}} = E_{\text{кин}} \quad \text{или} \quad 2m_1gL \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2}.$$

Откуда скорость шара массой m_1 в положении равновесия

$$v_1 = 2\sqrt{gL} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (4)$$

Таким образом, определив экспериментально углы отклонения шаров α , β_1 и β_2 , можно рассчитать экспериментальные значения скоростей v_1 , $u_{1э}$, $u_{2э}$ по формуле (4).

3.4. Коэффициент восстановления

Важной характеристикой удара является коэффициент восстановления скорости K , равный отношению относительной скорости тел после удара к их относительной скорости перед ударом:

$$K = \frac{|\vec{u}_{\text{отн}}|}{|\vec{v}_{\text{отн}}|}. \quad (5)$$

Но

$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \quad \text{и} \quad \vec{u}_{\text{отн}} = \vec{u}_2 - \vec{u}_1. \quad (6)$$

Тогда

$$K = \frac{u_1 + u_2}{v_1}. \quad (7)$$

Для абсолютно упругого удара $K = 1$, а для неупругого удара $K = 0$, так как $\vec{u}_1 = \vec{u}_2$ и $u_{\text{отн}} = 0$.

На практике для всех тел $0 \leq K \leq 1$. Таким образом, расчет коэффициента восстановления в результате реального удара позволяет

оценить, насколько удар близок к абсолютно упругому. Например, если $K = 0,95$, то с погрешностью 5 % данный удар можно считать абсолютно упругим.

3.5. Порядок работы на установке

3.5.1. Убедиться в правильности настройки установки:

- а) шары едва касаются друг друга;
- б) центры обоих шаров лежат на одной горизонтальной прямой и в одной плоскости с осью электромагнита;
- в) указатели шаров расположены над нулевыми делениями шкал.

3.5.2. Включить сетевой шнур установки в сеть, нажать клавишу “Сеть” и отклонить шар массой m_1 на угол α . При этом включится электромагнит, который удерживает отклоненный шар массой m_1 .

3.5.3. Нажать клавишу “Пуск” – электромагнит отключается, шар массой m_1 сталкивается с покоящимся шаром массой m_2 .

3.5.4. Время удара фиксируется микросекундомером. Шары после удара разлетаются в разные стороны на углы β_1 и β_2 , соответственно, которые необходимо зафиксировать.

3.5.5. Повторить опыт 5 раз, для этого нажать на клавишу “Сброс” для обнуления показаний микросекундомера и отжать клавишу “Пуск”, при этом вновь включится электромагнит.

3.6. Изучение упругого удара шаров и определение коэффициента восстановления K

3.6.1. Измерить длину нити L от точки подвеса до центра масс шара, угол α отклонения нити в момент времени, когда шар массой m_1 удерживается электромагнитом (задается преподавателем и одинаков для пяти опытов).

3.6.2. По формуле (4) найти скорость шара v_1 , по формуле (3) найти теоретические значения скоростей u_{1T} и u_{2T} шаров после удара. Результаты расчетов занести в табл. 1.

Результаты измерения углов отклонения нитей
и вычисления коэффициента восстановления K

$$L = \quad \text{м}; \quad m_1 = 0,167 \text{ кг}; \quad m_2 = 0,264 \text{ кг}$$

№	α	β_1	β_2	τ	v_1	$u_{1Э}$	$u_{1Т}$	ε_{u1}	$u_{2Э}$	$u_{2Т}$	ε_{u2}	K
	град	град	град	$\times 10^{-6} \text{ с}$	м/с	м/с	м/с	%	м/с	м/с	%	
1												
2												
3												
4												
5												
Средние значения												

3.6.3. Измерить углы β_1 и β_2 отклонения нитей после удара шаров и время τ их соударения. Измерения повторить 5 раз и записать результаты в табл. 1.

3.6.4. По формуле (4) рассчитать экспериментальные значения скоростей $u_{1Э}$ и $u_{2Э}$ шаров после удара по измеренным значениям β_1 и β_2 .

3.6.5. Сравнить экспериментальные и теоретические скорости шаров после удара: $\varepsilon_u = \frac{|u_T - u_{Э}|}{u_T} \cdot 100 \%$.

3.6.6. Найти коэффициент восстановления K по формуле

$$K = \frac{u_{1Э} + u_{2Э}}{v_1}.$$

3.6.7. Оценить, насколько удар шаров близок к упругому удару.

3.7. Проверка выполнимости третьего закона Ньютона при упругом ударе шаров

3.7.1. Найти изменение импульсов шаров при ударе в проекции на ось X (см. рис. 2):

$$\Delta P_1 = -m_1(u_{1Э} + v_1); \quad \Delta P_2 = m_2 u_{2Э}.$$

Сравнить ΔP_1 и ΔP_2 .

3.7.2. Вычислить среднее значение силы, действующей на каждый из шаров, со стороны другого шара по формулам:

$$\langle F_1 \rangle = -\frac{\Delta P_1}{\langle \tau \rangle} = -\frac{m_1(u_{1\varepsilon} + v_1)}{\langle \tau \rangle}; \quad \langle F_2 \rangle = \frac{\Delta P_2}{\langle \tau \rangle} = \frac{m_2 u_{2\varepsilon}}{\langle \tau \rangle}.$$

Сравнить $\langle F_1 \rangle$ и $\langle F_2 \rangle$.

3.7.3. Рассчитать кинетическую энергию шаров до и после удара.

3.7.4. Оценить величину механической энергии, перешедшей в другие виды энергии,

$$\Delta W = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \left(\frac{m_1 u_{1\varepsilon}^2}{2} + \frac{m_2 u_{2\varepsilon}^2}{2} \right).$$

Данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Динамические характеристики соударяющихся шаров

Шар	m , кг	ΔP , кг·м ²	F , Н	$E_{\text{кин}}$, Дж		ΔW , Дж
				до удара	после удара	
1						
2						

3.7.5. Сделать вывод о выполнимости законов импульса и механической энергии. Выполняется ли III закон Ньютона?

4. Вопросы для самоподготовки

4.1. Сформулируйте законы сохранения импульса и механической энергии. Каковы условия выполнимости этих законов?

4.2. Какой удар называют упругим? Какие законы сохранения выполняются для абсолютно упругого удара? Запишите эти законы для абсолютно упругих шаров.

4.3. Что называют коэффициентом восстановления? При каких значениях коэффициента восстановления удар считается упругим, неупругим?

4.4. Какие силы называются консервативными, диссипативными?

4.5. Назовите виды механической энергии. Принимают ли кинетическая и потенциальная энергии абсолютное значение?

4.6. Примените закон сохранения механической энергии для процесса перехода шарика из крайнего правого положения в положение равновесия.

4.7. Как рассчитать среднее значение силы при упругом ударе?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для инж.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. – 10-е изд., испр. – Москва : Высш. шк., 2005. – 560 с.

2. Детлаф, А. А. Курс физики : учеб. пособие для студентов вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд., испр. – Москва : Изд. Центр «Академия», 2003. – 720 с.

3. Савельев, И. В. Курс физики : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по техн. и технолог. направлениям и специальностям : в 3 т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. – 4-е изд., стереотип. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 352 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=509

Составители

Кошкина Галина Кронидовна
Цвеклинская Ирина Валентиновна

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ.
Кинематика и динамика
поступательного движения

Лабораторный практикум К-304.1
по дисциплине «Физика»
для технических специальностей и направлений

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 21.05.2018. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,9.
Тираж 50 экз. Заказ
КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Издательский центр УИП КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.