

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ СОУДАРЕНИЯ ТЕЛ

**Методические указания к лабораторной работе № 7
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ СОУДАРЕНИЯ ТЕЛ

Методические указания к лабораторной работе № 7
по дисциплине «Физика»

Уфа 2015

Составители: Л. В. Рабчук, В. С. Осипов

УДК
ББК

Изучение законов соударения тел: Методические указания к лабораторной работе № 7 по дисциплине «Физика» / Уфим. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Л. В. Рабчук, В. С. Осипов. – Уфа, 2015. – 17 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование умений их применять для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности выпускников технического университета.

Экспериментально проверяется выполнение законов сохранения импульса в случае столкновения шаров, рассчитываются потери механической энергии при соударении, определяется средняя сила, с которой шары действуют друг на друга во время удара.

Приведены краткая теория, описание лабораторной установки, методика выполнения работы, требования по технике безопасности, форма отчетности, критерии результативности.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Механика. Механические колебания. Статистическая физика и термодинамика» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Хатмуллина М. Т.,
канд. физ.-мат. наук, доц. Кузбеков Т. Т.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2015

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
3.1. Импульс. Энергия. Законы сохранения	5
3.2. Соударение тел.....	8
3.3. Центральный удар двух шаров	9
4. Экспериментальная установка.....	12
5. Требования по технике безопасности	13
6. Задания.....	14
7. Методика выполнения заданий	14
Контрольные вопросы	16
Требования к содержанию и оформлению отчета	17
Критерии результативности выполнения лабораторной работы	17
Список литературы	17

Введение

Ударом (соударением) называют кратковременное взаимодействие тел при столкновении. Промежуток времени, в течение которого длится удар, обычно составляет 10^{-3} – 10^{-6} с. Например, попадание пули в мишень, столкновение шаров, удар молота о наковальню и т.д. Удар часто используют в технике для изменения формы изделия (ковка, штамповка, клепка) или для перемещения тел в среде с большим сопротивлением (забивание свай, дюбелей).

В работе изучается выполнение закона сохранения импульса в случае столкновения двух шаров, рассчитываются потери механической энергии при соударении и средняя сила удара шаров.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие компетенции:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, и обработку результатов.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

- работать с измерительными приборами;
- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;
- анализировать результаты опыта;
- оформлять отчет;
- а также владения:
 - теоретическим материалом;
 - навыками измерения физических величин по приборам;
 - технологией обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ СОУДАРЕНИЯ ТЕЛ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проверка выполнения законов сохранения импульса и механической энергии при соударении твердых тел.

2. ЗАДАЧИ

1. Закрепление теоретических знаний студентами по теме «Законы сохранения в механике».

2. Приобретение навыков проведения физических измерений, умения обработки полученных данных.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Импульс. Энергия. Законы сохранения

Совокупность тел, выделенных для рассмотрения, называют **механической системой (системой)**. Замкнутой называют систему тел, взаимодействующих между собой и не взаимодействующих с телами, не входящими в данную систему.

Векторную величину, численно равную произведению массы m_i материальной точки на ее скорость \vec{v}_i и имеющую направление скорости, называют импульсом материальной точки, т.е.

$$\vec{p}_i = m_i \vec{v}_i .$$

Векторную сумму импульсов частиц, образующих механическую систему, называют импульсом системы

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i .$$

Согласно второму закону Ньютона

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F} ,$$

где $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}$ – векторная сумма сил, действующих на каждую из материальных точек системы.

В случае замкнутой системы

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0.$$

Следовательно, для замкнутой системы \vec{p} постоянен. Это утверждение составляет содержание **закона сохранения импульса**, который формулируется следующим образом: *импульс замкнутой системы материальных точек остается постоянным*

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const}.$$

Если система не замкнута, то ее импульс может меняться, но его изменение обязательно равно

$$d\vec{p} = \vec{F} \cdot dt.$$

Силу называют **консервативной**, если работа, совершаемая этой силой, зависит только от начального и конечного положений тела и не зависит от траектории, по которой оно двигалось. Если же работа, совершаемая силой, зависит от траектории перемещения тела из одной точки в другую, то такую силу называют **диссипативной** (или неконсервативной). Силы, с которыми на данное тело действуют остальные тела системы, называют **внутренними**; силы, действующие на тела системы со стороны тел, не входящих в систему, – **внешними**.

Работу консервативной силы, совершаемую над материальной точкой, всегда можно представить разностью значений некоторой функции Π в начальном и конечном состояниях точки, т.е. изменением этой функции при совершении работы, взятом с обратным знаком

$$A_{\text{конс}} = \Pi_1 - \Pi_2 = -(\Pi_2 - \Pi_1) = -\Delta\Pi. \quad (3.1)$$

Эту функцию называют **потенциальной энергией** материальной точки. В общем случае она зависит от положения материальной точки в пространстве и времени, т.е. зависит от координат и времени. Если же в любой точке пространства сила со временем не меняется, то потенциальная энергия зависит только от координат. Потенциальная энергия системы представляет собой сумму потенциальных энергий материальных точек, из которых состоят тела системы. Она определяется как взаимным расположением тел и их частей друг относительно друга, так и характером взаимодействия между ними и может служить мерой этого взаимодействия.

Величину K , изменение которой равно суммарной работе всех сил, действующих на материальную точку, называют **кинетической энергией**. Полагая ее равной нулю для покоящейся материальной точки, приходим к тому, что кинетическая энергия точки, движущейся со скоростью \vec{v} , равна работе, совершаемой приложенными к ней силами при приобретении этой скорости. При скорости v , много меньшей скорости света, согласно определению, она равна

$$K = \int_0^v dA = \int_0^v \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_0^v m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} dt = m \int_0^v \vec{v} d\vec{v} = \frac{mv^2}{2}.$$

Кинетическая энергия тела и системы тел находится суммированием кинетических энергий материальных точек, из которых состоят тела. Она зависит только от их масс и скоростей и может служить мерой движения тел.

Представим работу A результирующей всех сил, действующих на тела системы, суммой работ

$$A = A_{\text{конс}} + A', \quad (3.2)$$

где $A_{\text{конс}}$ – работа консервативных сил, действующих на тела системы; A' – работа всех диссипативных сил, как внутренних, так и внешних.

Так как $A = K_2 - K_1$, то с учетом (3.1) уравнение (3.2) можно записать в виде:

$$K_2 - K_1 = \Pi_1 - \Pi_2 + A'$$

или

$$(K_2 + \Pi_2) - (K_1 + \Pi_1) = A'. \quad (3.3)$$

Сумму кинетической и потенциальной энергий называют **полной механической энергией** или просто **механической энергией**. Обозначив ее как E , уравнение (3.3) запишем в виде

$$E_2 - E_1 = A'.$$

При $A' = 0$

$$E = K + \Pi = \text{const}.$$

Получаем **закон сохранения механической энергии**: *полная механическая энергия системы тел, на которую действуют лишь консервативные силы, остается постоянной.*

Если на тела системы наряду с консервативными действуют и диссипативные силы (например, силы трения, силы сопротивления),

механическая энергия таких систем не сохраняется, но ее изменение при этом всегда равно работе диссипативных сил.

3.2. Соударение тел

Различают два предельных вида удара: абсолютно упругий и абсолютно неупругий.

Абсолютно упругим ударом называется такой удар, при котором кинетическая энергия соударяющихся тел не преобразуется в другие виды энергии. При таком ударе кинетическая энергия частично или полностью переходит в потенциальную энергию упругой деформации. Затем потенциальная энергия упругой деформации снова переходит в кинетическую энергию, тела возвращаются к первоначальной форме, отталкивая друг друга, и разлетаются со скоростями, модуль и направление которых определяются законом сохранения импульса и законом сохранения механической энергии. Идеально упругих ударов в природе не существует, так как всегда часть энергии затрачивается на необратимую деформацию тел и увеличение их внутренней энергии. Для некоторых тел, например, шаров, изготовленных из стали или слоновой кости, потерями механической энергии можно пренебречь. Однако даже в этом случае часть механической энергии соударяющихся шаров превращается в энергию звуковой волны, которую мы слышим во время удара.

При **абсолютно неупругом ударе** происходят различного рода процессы в соударяющихся телах (пластические деформации, трение и др.), в результате которых механическая энергия системы преобразуется в ее внутреннюю энергию. Абсолютно неупругий удар характеризуется тем, что потенциальной энергии деформации не возникает, кинетическая энергия полностью или частично превращается во внутреннюю энергию тел. Столкнувшиеся тела после удара либо движутся вместе с одинаковой скоростью, либо покоятся. Примером такого удара будет соударение глиняных шаров, стального и пластилинового шаров. Для абсолютно неупругого удара выполняется закон сохранения импульса, закон сохранения механической энергии не соблюдается.

Удар называют **центральной**, если до удара тела движутся вдоль прямой, проходящей через их центры масс.

3.3. Центральный удар двух шаров

Рассмотрим два шара, подвешенных рядом так, что их центры находятся на одном уровне. Отведем один из шаров на некоторый угол α и отпустим без начальной скорости (рис. 3.1).

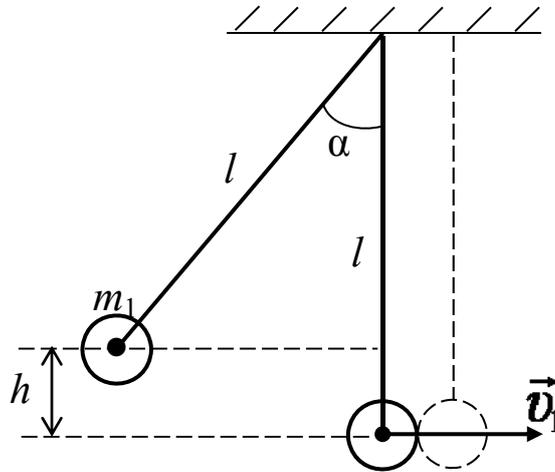


Рис. 3.1. Центральный удар шаров

Отклоненный шар будет двигаться вниз, разгоняясь, при этом его потенциальная энергия будет переходить в кинетическую. Пренебрегая силами сопротивления воздуха и учитывая, что сила натяжения нити работы не совершает, можем записать

$$m_1 g h = \frac{m_1 v_1^2}{2}, \quad (3.5)$$

где m_1 – масса шара, g – ускорение свободного падения, h – высота шара в отведенном положении относительно нижней точки траектории, v_1 – скорость первого шара в нижней точке перед соударением со вторым.

Из рисунка видно, что

$$h = l - l \cos \alpha, \quad (3.6)$$

где l – расстояние от точки подвеса до центра тяжести шара, α – угол начального отклонения нити.

Подставляя (3.6) в (3.5) и преобразуя уравнение, найдем выражение для скорости через угол начального отклонения нити

$$v_1 = \sqrt{2 g h} = \sqrt{2 g l (1 - \cos \alpha)} = 2 \sqrt{g l} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (3.7)$$

Если после удара шары разлетаются в разные стороны на углы α_1 и α_2 соответственно, то скорости v_1' и v_2' (рис. 3.2) шаров непосредственно после удара будут равны:

$$v_1' = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2}, \quad (3.8)$$

$$v_2' = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2}{2}.$$

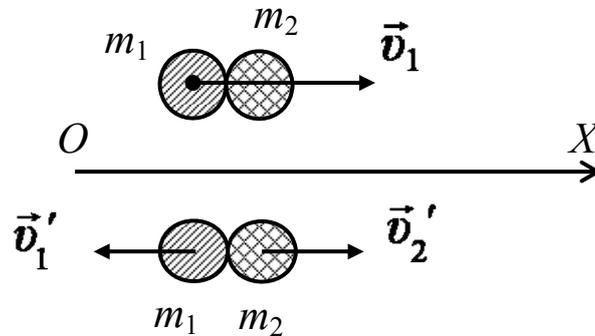


Рис. 3.2. Соударение двух шаров

Для системы, состоящей из двух шаров, в момент удара векторная сумма внешних сил – сил тяжести и сил натяжения нитей не равна нулю. Однако проекция внешних сил на ось OX равна нулю. В этом случае проекция импульса системы на ось OX будет сохраняться во время удара

$$p_x = \sum_{i=1}^n p_{x_i} = \text{const}.$$

Отсюда следует, что проекция импульса системы на ось OX до удара равна проекции импульса на ось OX после удара и

$$m_1 v_{1x} = m_1 v_{1x}' + m_2 v_{2x}', \quad (3.9)$$

где m_1 и m_2 – массы соударяющихся шаров, v_{1x} – проекция на ось OX скорости бьющего шара непосредственно перед ударом, v_{1x}' и v_{2x}' – проекции на ось OX скоростей бьющего и покоящегося шаров сразу после удара.

Для случая, показанного на рис. 3.2, уравнение (3.9) будет иметь вид

$$m_1 v_1 = m_2 v_2' - m_1 v_1'. \quad (3.10)$$

Если после соударения шары двигаются как одно целое и после удара они отклоняются на угол β , то их скорость после удара

$$v = v_1' = v_2' = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\beta}{2}. \quad (3.11)$$

Коэффициент восстановления скорости k определяется как отношение относительной скорости шаров после удара к относительной скорости шаров до удара

$$k = \frac{v'_{\text{отн}}}{v_{\text{отн}}} = \left| \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}'_1}{\vec{v}_2 - \vec{v}_1} \right|. \quad (3.12)$$

Для случая, показанного на рис. 3.1 и рис. 3.2, формулу (3.12) с учетом (3.7) и (3.8) можно преобразовать к виду

$$k = \frac{v'_2 + v'_1}{v_1} = \frac{\sin \frac{\alpha_2}{2} + \sin \frac{\alpha_1}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (3.13)$$

Фактически коэффициент восстановления скорости k характеризует «степень упругости» удара: чем ближе k к единице, тем удар более упругий, а значит, столкнувшиеся тела в большей степени восстанавливают свою форму. Для абсолютно упругого удара $k = 1$. В случае столкновения реальных шаров столкновение не является абсолютно упругим и $k < 1$.

Кинетическая энергия системы до удара равна

$$E_{\text{нач}} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2, \quad (3.14)$$

а после соударения

$$E_{\text{кон}} = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \quad (3.15)$$

или

$$E_{\text{кон}} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2. \quad (3.16)$$

Энергию W , перешедшую во внутреннюю энергию при соударении шаров, можно определить как

$$W = E_{\text{нач}} - E_{\text{кон}}. \quad (3.17)$$

Из уравнений (3.13), (3.14) и (3.15) следует, что энергия W равна

$$W = \frac{m_1 v_1^2}{2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2} (1 - k^2) = \frac{m_1 v_1^2}{2} \cdot \delta. \quad (3.18)$$

Величина δ представляет собой долю начальной механической энергии, перешедшей во внутреннюю энергию.

Из (3.18) следует, что доля механической энергии, переходящей во внутреннюю энергию, зависит не только от «степени упругости» удара k , но и от соотношения масс соударяющихся тел.

Согласно второму закону Ньютона, сила, действующая на тело, равна скорости изменения импульса этого тела

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}. \quad (3.19)$$

Если известна длительность удара τ , то, используя (3.19), по изменению импульса одного из шаров (например, покоящегося до удара) можно определить среднюю силу взаимодействия между шарами

$$\vec{F}_{\text{ср}} = \frac{m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2}{\tau}$$

или

$$\vec{F}_{\text{ср}} = \frac{m_2 \vec{v}'_2}{\tau}. \quad (3.20)$$

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Общий вид установки для исследования столкновения шаров представлен на рис. 4.1.

Установка состоит из основания (1), горизонтальное положение которого можно отрегулировать с помощью опор (2). На основании закреплена колонка со шкалой (3), на которой находятся кронштейны (4) и (5). На верхнем кронштейне установлено устройство (6), предназначенное для крепления нитей (7). На нижнем кронштейне расположены шкалы (9, 10) для определения углов отклонения шаров и электромагнит (11). С помощью болта (12) электромагнит можно передвигать вдоль правой шкалы и фиксировать высоту его установки. Шары (13) подвешивают на нитях к верхнему кронштейну. В набор шаров входят стальной, алюминиевый, латунный и пластилиновый шары. Питание электромагнита осуществляют от электронного блока ФМ-1/1.

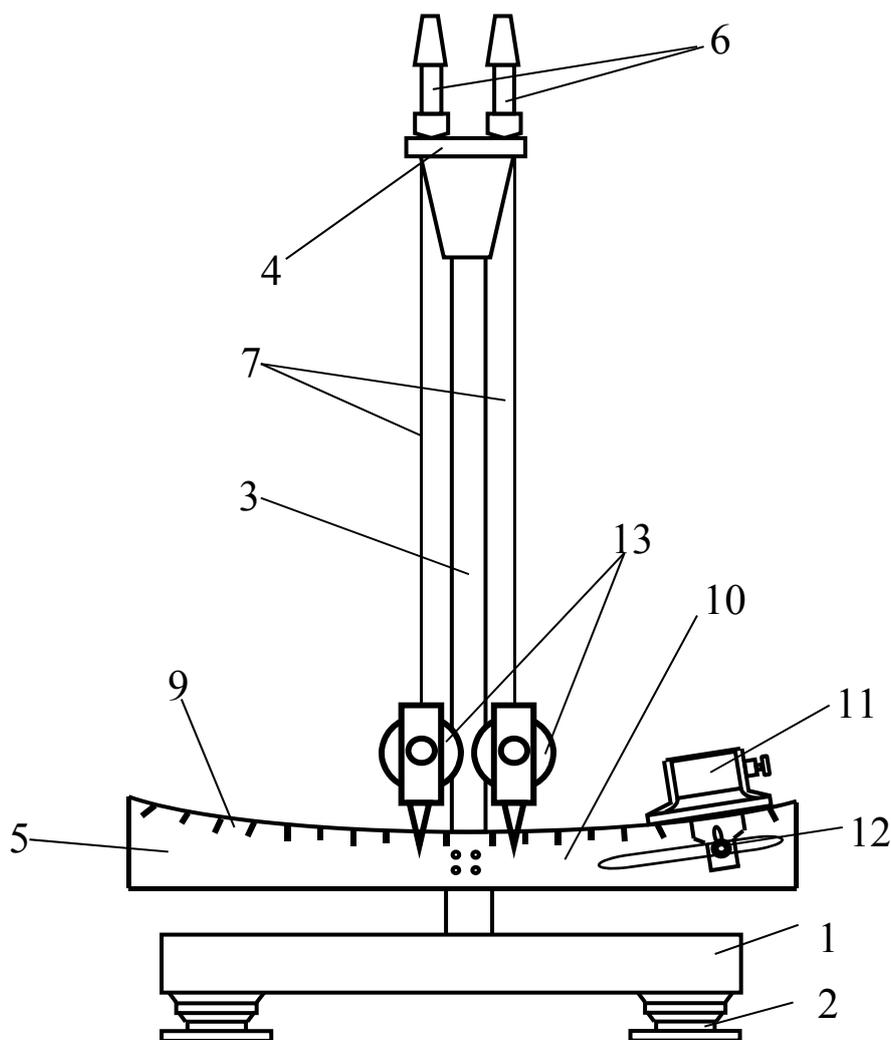


Рис. 4.1.

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданиями и лабораторной установкой. Проверьте заземление лабораторной установки и изоляцию токоведущих проводов. О замеченных неисправностях сообщите преподавателю.

2. Не загромождайте рабочее место предметами, не относящимися к выполняемой работе.

3. Не оставляйте без присмотра лабораторную установку.

4. По окончании работы обесточьте прибор и приведите в порядок рабочее место.

6. ЗАДАНИЯ

1. Проверка закона сохранения импульса при центральном ударе двух шаров. Определение энергии, перешедшей во внутреннюю энергию при соударении шаров.

2. Определение силы взаимодействия шаров при столкновении.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Задание 1. Проверка закона сохранения импульса при центральном ударе двух шаров. Определение коэффициента восстановления скорости и потери кинетической энергии в процессе соударения

1. Вставьте стальные шары (13) в скобы подвеса. С помощью регулировочных опор (2) выставьте основание (1) установки таким образом, чтобы нижние визеры скоб подвеса указывали на нули шкал (9, 10).

2. Отрегулируйте положение шаров в вертикальной и горизонтальной плоскостях до совмещения верхних визиров скоб подвеса, изменяя длину подвеса шаров и (или) положение узлов крепления нитей на верхнем кронштейне.

3. Отведите правый шар и зафиксируйте его с помощью электромагнита. Определите начальный угол отклонения шара α .

4. Нажмите клавишу «ПУСК» электронного блока и измерьте углы отклонения шаров α_1 и α_2 после их столкновения.

5. Измерения по пунктам 3 и 4 проведите 3 раза.

6. Найдите средние значения каждого из углов α_{1cp} и α_{2cp} . По формуле (3.7) определите скорость v_1 первого шара перед ударом. Используя средние значения углов отскока шаров, по формулам (3.8) определите скорости шаров сразу после удара v'_1 и v'_2 .

7. Вычислите отношения импульсов системы шаров до и после удара. По указанию преподавателя оцените погрешности полученных результатов. Проверьте выполнение закона сохранения импульса (3.9).

8. По формулам (3.13) рассчитайте коэффициент k восстановления скорости. По формуле (3.18) определите энергию W , перешедшую во внутреннюю энергию при соударении шаров, и долю δ начальной механической энергии, перешедшей во внутреннюю.

9. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Типы шаров	m_1 , кг	m_2 , кг	α , град	α_1 , град	α_2 , град	β , град	v_1 , м/с	v_1' , м/с	v_2' , м/с	$\frac{m_1 v_{1x}' + m_2 v_{2x}'}{m_1 v_1}$	k	δ

10. Пункты 3-9 повторите еще два раза для двух других пар из набора шаров (пластилиновые шары предварительно должны быть согреты в руках, чтобы при столкновении происходило их слипание).

Задание 2. Оценка средней силы удара

1. Задание выполняется по указанию преподавателя.

2. Подключите электромагнит (11) и клеммы верхнего кронштейна к электронному блоку.

3. Вставьте металлические шары (13) в скобы подвеса. С помощью регулировочных опор (2) выставьте основание (1) установки так, чтобы нижние визеры скоб подвеса указывали на нули шкал (9, 10).

4. Отрегулируйте положение шаров в вертикальной и горизонтальной плоскостях до совмещения верхних визиров скоб подвеса. Регулировку провести, изменяя длину подвеса шаров и (или) положение узлов крепления нитей на верхнем кронштейне.

5. На пульте блока нажмите кнопку «СБРОС». При этом на табло индукции высветятся нули, на электромагнит будет подано напряжение.

6. Отведите правый шар и зафиксируйте его с помощью электромагнита. Определите начальный угол отклонения шара α .

7. Нажмите кнопку «ПУСК», при этом произойдет удар шаров. По таймеру блока определите время соударения шаров τ .

8. Отклоните правый шар на угол α , зафиксируйте его электромагнитом.

9. Нажмите клавишу «ПУСК» электронного блока и измерьте угол отклонения первоначально покоящегося шара α_2 после столкновения.

10. Измерения по пунктам 6-9 проведите 3 раза.

11. Найдите среднее значение угла α_{2cp} . По формуле (3.8) определите скорость v'_2 первоначально покоящегося шара после удара.

12. Используя найденное значение v'_2 и среднее значение времени соударения шаров τ_{cp} по формуле (3.20) определите среднюю силу F_{cp} , с которой шары действуют друг на друга во время удара.

13. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Типы шаров	m_2 , кг	α , град	α_2 , град	α_{2cp} , рад	τ , с	τ_{cp} , с	F_{cp} , Н
			1. 2. 3.		1. 2. 3.		
			1. 2. 3.		1. 2. 3.		
			1. 2. 3.		1. 2. 3.		

14. Пункты 5-12 повторите еще два раза для других пар металлических шаров.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под импульсом тела?
2. Что такое механическая энергия? Какую энергию называют кинетической? Какую энергию называют потенциальной?
3. Как формулируются законы сохранения импульса и энергии?
4. Если импульс и энергия системы не сохраняются, то чему равны изменения этих величин?
5. Что такое удар? Какой удар называют абсолютно упругим (неупругим)?
6. В чем отличия и сходства абсолютно упругого и абсолютно неупругого ударов?
7. Какие законы сохранения можно использовать при абсолютно упругом и абсолютно неупругом ударе?
8. Как рассчитать среднюю силу взаимодействия между шарами?

9. В чем заключается идея эксперимента?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и номер лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Краткую теорию.
4. Основные формулы для выполнения расчетов.
5. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
6. Формулы для расчета погрешностей измерений (по указанию преподавателя).
7. Вывод по результатам работы.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;
- составил отчет, соответствующий предъявляемым к нему требованиям;
- сформулировал выводы по проделанной работе;
- подготовил ответы на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т. 1. – СПб.: Издательство «Лань», 2012.
2. *Детлаф А. Н., Яворский Б. М.* Курс физики. – М.: Academia, 2009.
3. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2012.

Составители: РАБЧУК Людмила Васильевна,
ОСИПОВ Валерий Сергеевич

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ СОУДАРЕНИЯ ТЕЛ

Методические указания к лабораторной работе № 7
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12