

Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана

Специализированный учебно-научный центр  
Лицей №1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана

Кафедра «Основы физики»

Лабораторный практикум по физике  
Электронное издание  
10 класс

# МЕХАНИКА

Лабораторная работа М–12

Изучение законов соударения тел

Москва, 2014

Лабораторный практикум по физике. Механика. — Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Лабораторный практикум по физике для 10 класса состоит из лабораторных работ для занятий учащихся 10 классов в Специализированном учебно-научном центре МГТУ имени Н. Э. Баумана.

Лабораторные работы, приведенные в сборнике, позволят учащимся глубже изучить законы физики и получить навыки проведения экспериментальных физических исследований.

Составители лабораторных работ:

И. Н. Грачева, В. И. Гребенкин, А. Е. Иванов,  
И. А. Коротова, Е. И. Красавина, А. В. Кравцов,  
Н. С. Кулеба, Б. В. Падалкин, Г. Ю. Шевцова,  
Т. С. Цвезинская.

Под редакцией И. Н. Грачевой, А. Е. Иванова, А. В. Кравцова.

Об ошибках и неточностях просьба сообщать на электронную почту  
[metod1580@gmail.com](mailto:metod1580@gmail.com)

- © Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 2014
- © Лицей №1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014

## 12.1 Цель работы

Определение коэффициентов восстановления скорости и энергии при центральном ударе двух шаров, а также времени соударения и средней силы взаимодействия шаров во время удара.

## 12.2 Описание установки

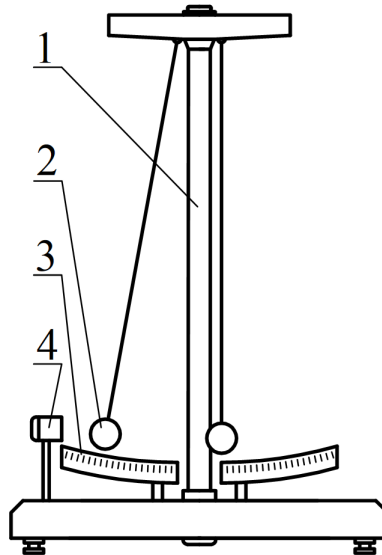


Рис. 12.1

Схема установки показана на рис. 12.1. К штативу 1 прикреплены два шара 2. Углы отклонения подвесов от вертикали определяются по шкалам 3. Электромагнит 4 служит для удержания одного из шаров в отклонённом положении.

## 12.3 Основные теоретические сведения

Отведём один из шаров (например, левый) на некоторый угол  $\alpha_1$  и отпустим его без начальной скорости. Отклонённый шар будет двигаться вниз, при этом его потенциальная энергия будет переходить в кинетическую. Пусть столкновение со вторым шаром происходит в тот момент, когда нить первого шара становится вертикальной. По закону сохранения механической энергии (см. рис. 12.2)

$$m_1 gh = \frac{m_1 v_1^2}{2}, \quad (12.1)$$

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. Из рисунка видно, что

$$h = l - l \cos \alpha_1, \quad (12.2)$$

где  $l$  — расстояние от точки подвеса до центра тяжести шара,  $\alpha_1$  — угол начального отклонения нити. Подставляя (12.2) в (12.1) и преобразуя уравнение, найдем выражение для

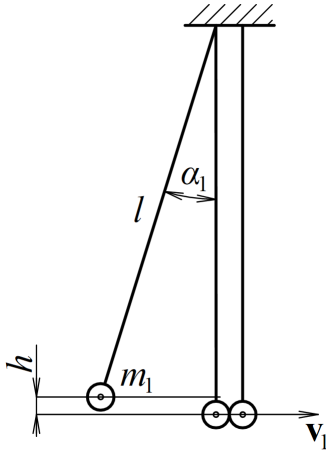


Рис. 12.2

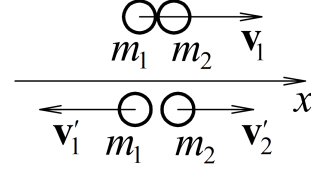


Рис. 12.3

скорости через угол начального отклонения:

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha_1)} = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2}. \quad (12.3)$$

Массы шаров подобраны так, чтобы после удара они разлетались в разные стороны. После удара шары получают скорости  $v'_1$  и  $v'_2$  (см. рис. 12.3), и, разлетаясь, отклоняют нити на максимальные углы  $\alpha'_1$  и  $\alpha'_2$  соответственно. Аналогично соотношению (12.3) получаем

$$v'_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha'_1}{2}, \quad v'_2 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha'_2}{2}. \quad (12.4)$$

Если удар происходит так быстро, что нити не успевают отклониться на заметный угол, то в направлении горизонтальной оси  $x$  не возникает внешних сил и выполняется закон сохранения импульса в проекции на эту ось:

$$m_1 v_1 = m_2 v'_2 - m_1 v'_1. \quad (12.5)$$

Коэффициент  $\varepsilon_v$  восстановления скорости определяется как отношение относительной скорости шаров после удара к относительной скорости шаров до удара:

$$\varepsilon_v = \frac{v'_{\text{отн}}}{v_{\text{отн}}}. \quad (12.6)$$

В данном случае формула (12.6) с учетом (12.3) и (12.4) преобразуется к виду:

$$\varepsilon_v = \frac{v'_2 + v'_1}{v_1} = \frac{\sin \frac{\alpha'_2}{2} + \sin \frac{\alpha'_1}{2}}{\sin \frac{\alpha_1}{2}}. \quad (12.7)$$

Для абсолютно упругого удара  $\varepsilon_v = 1$ . При столкновении реальных шаров удар не является абсолютно упругим и  $\varepsilon_v < 1$ .

Кроме коэффициента восстановления скорости соударение тел характеризуется коэффициентом  $\varepsilon_W$  восстановления энергии, равным отношению кинетической энергии тел после удара к их кинетической энергии до удара:

$$\varepsilon_W = \frac{\frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}}{\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}}. \quad (12.8)$$

Учитывая, что скорость второго шара до удара  $v_2 = 0$ , и подставляя для скоростей выражения (12.3) и (12.4), находим формулу для коэффициента восстановления энергии:

$$\varepsilon_W = \frac{m_1 \sin^2 \frac{\alpha'_1}{2} + m_2 \sin^2 \frac{\alpha'_2}{2}}{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2}}. \quad (12.9)$$

Если известна длительность удара  $\tau$ , то из второго закона Ньютона по изменению импульса правого шара можно определить среднюю силу взаимодействия между шарами:

$$F_{\text{ср}} = \frac{m_2 v'_2}{\tau}. \quad (12.10)$$

## 12.4 Порядок выполнения работы

1. Подключите электромагнит 4 и клеммы верхнего кронштейна к электронному блоку.
2. Вставьте шары 2 в скобы подвеса. С помощью регулировочных опор выставьте основание установки таким образом, чтобы нижние визиры скоб подвеса указывали на нули шкал.
3. Отрегулируйте положение шаров в вертикальной и горизонтальной плоскостях до совмещения верхних визиров скоб подвеса. Регулировка производится с помощью изменения длины подвеса шаров, а также изменения положения узлов крепления нитей на верхнем кронштейне.
4. На пульте блока нажмите кнопку «СБРОС». При этом на табло индикации высветятся нули, на электромагнит будет подано напряжение.
5. Отведите левый шар и зафиксируйте его с помощью электромагнита. Определите начальный угол отклонения первого шара  $\alpha_1$ .
6. Нажмите кнопку «ПУСК», при этом произойдет удар шаров. По таймеру блока определите время соударения шаров  $\tau$ .
7. Определите время соударения для различных пар шаров по методике, описанной в пп. 4–6.
8. В правую скобу подвеса вставьте алюминиевый шар со стальной вставкой, а в левую — латунный или стальной шар.
9. Выполните пп. 4–6. При помощи шкал визуально определите углы отскока шаров  $\alpha'_1$  и  $\alpha'_2$ . Повторите измерения углов отскока не менее трех раз. (Начальные углы отклонения должны быть равны.) Найдите среднее значение каждого из углов  $\alpha'_{1\text{ср}}$  и  $\alpha'_{2\text{ср}}$ . Все результаты занесите в таблицу 12.1.
10. По формуле (12.3) определите скорость  $v_1$  первого шара перед ударом. Используя среднее значение углов отскока, по формулам (12.4) определите скорости обоих шаров сразу после удара  $v'_1$  и  $v'_2$ . Результаты занесите в таблицу 12.2. Проверьте выполнение закона сохранения импульса.
11. Используя среднее значение углов отскока, по формулам (12.7) и (12.9) определите коэффициенты восстановления скорости и энергии.
12. Используя найденное выше значение  $v'_2$ , по формуле (12.10) определите среднюю силу, с которой шары действуют друг на друга во время удара.

Таблица 12.1

$\alpha_1, ^\circ$	$\tau, \text{с}$	$\alpha'_1, ^\circ$	$\alpha'_{1\text{ср}}, ^\circ$	$\alpha'_2, ^\circ$	$\alpha'_{2\text{ср}}, ^\circ$

Таблица 12.2

$v'_1, \text{м/с}$	$v'_2, \text{м/с}$	$\varepsilon_v$	$\varepsilon_W$	$F_{\text{ср}}, \text{Н}$

## 12.5 Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон сохранения полной механической энергии.
2. Сформулируйте закон сохранения импульса системы материальных точек.
3. Какой удар называется абсолютно упругим?
4. Сформулируйте закон изменения импульса.
5. Выведите формулу (12.3).