Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Факультет: «Фундаментальные науки»
Кафедра «Физика»

Инфимовский Ю.Ю.

Лабораторная работа М-119

Соударение шаров

Методическое руководство

Москва, 2024

Соударение шаров

1. Цель лабораторной работы

Изучение законов сохранения импульса и энергии на примере задачи о соударении шаров.

2. Задачи лабораторной работы

Задача данной лабораторной работы состоит в измерении времени пролета шаров мимо оптоэлектрических датчиков непосредственно перед столкновением и после него, расчете скоростей их движения и проверке законов сохранения импульса и энергии. Проверка заключается в сравнении результатов эксперимента с выводами, следующими из законов сохранения энергии и импульса.

3. Экспериментальное оборудование, приборы и принадлежности

Лабораторный стенд включает устройство подвеса шаров с регулировкой длины нитей, оптические датчики, фиксирующие моменты начала и завершения перекрытия их оптических осей колеблющимися шарами и модуль сбора сигналов от оптических датчиков, совмещенный с пусковым устройством.

К приборам и принадлежностям относятся также блок питания пускового устройства, компьютер с необходимым программным обеспечением и USB-адаптером для подключения оптоэлектрических датчиков.

4. Теоретическая часть

Совместное применение законов сохранения энергии и импульса для прямого и центрального упругого удара двух шаров позволяет получить следующие соотношения для модулей скоростей движения первого (V_1) и второго (V_2) шаров после соударения:

$$V_1 = \frac{(m_1 - m_2)V_{01} + 2m_2V_{02}}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

$$V_2 = \frac{2m_1V_{01} + (m_2 - m_1)V_{02}}{m_1 + m_2} \quad (2)$$

где m_1, m_2 - массы первого и второго шаров, V_{01}, V_{02} – модули скоростей первого и второго шаров до соударения.

В эксперименте, выполняемом в данной лабораторной работе, один из шаров первоначально покоится ($V_{02}=0$), поэтому формулы (1) и (2) упрощаются:

$$V_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot V_{01} \tag{3}$$

$$V_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot V_{01} \tag{4}$$

Если массы шаров одинаковы ($m_1=m_2$), то соотношения (3) и (4) принимают вид:

$$V_1=0 \tag{5}$$

$$V_2=V_{01}\,, \tag{6}$$

т.е. в результате столкновения налетающий шар останавливается, а второй шар начинает движение со скоростью, равной скорости первого шара до удара.

Очевидно, что кинетическая энергия системы T до столкновения равна (второй шар в экспериментах первоначально покоится):

$$T = \frac{m_1 \cdot V_{01}^2}{2}\,, \tag{7}$$

а кинетическая энергия системы после взаимодействия T' вычисляется по формуле:

$$T' = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot V_2^2}{2} \tag{8}$$

Экспериментальная часть данной лабораторной работы состоит в проверке на простой лабораторной установке законов сохранения импульса и энергии. Проверка заключается в проведении измерений, результаты которых обрабатываются и сравниваются количественно с выводами, следующими из законов сохранения энергии и импульса.

5. Описание и порядок проведения лабораторной работы

На вертикальном магнитном экране устанавливаются пусковое устройство и два оптоэлектрических датчика для регистрации скорости движения шаров до и после удара (рис. 1).

Над экраном смонтировано устройство подвеса шаров, на котором закреплены три шара. Подвес устроен так, что шар, закрепленный в правой части участвует во всех экспериментах, а один из двух шаров, закрепленных в левой части, не участвующий в эксперименте, должен быть удален путем перебрасывания на другую сторону экрана (на рис. 1 один из шаров находится за магнитным экраном).

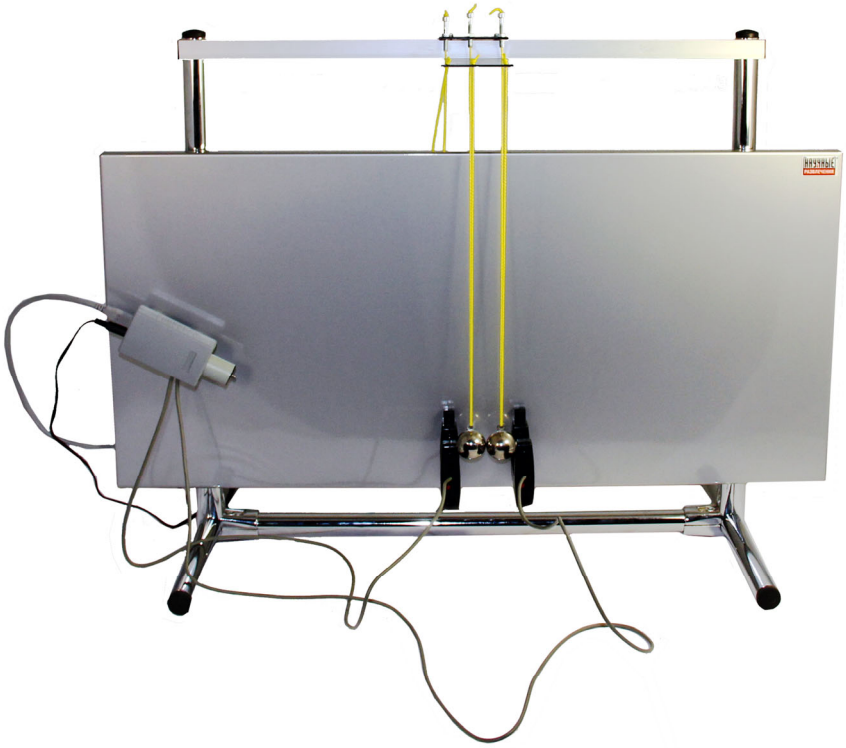


Рис. 1.

В исходном положении один из шаров удерживается электромагнитом (рис. 2). При отключении питания электромагнита шар отпускается и движется по дуге окружности до столкновения с другим шаром. При этом «налетающий» шар приобретает скорость V_{01}, которая измеряется с помощью первого оптоэлектрического датчика.

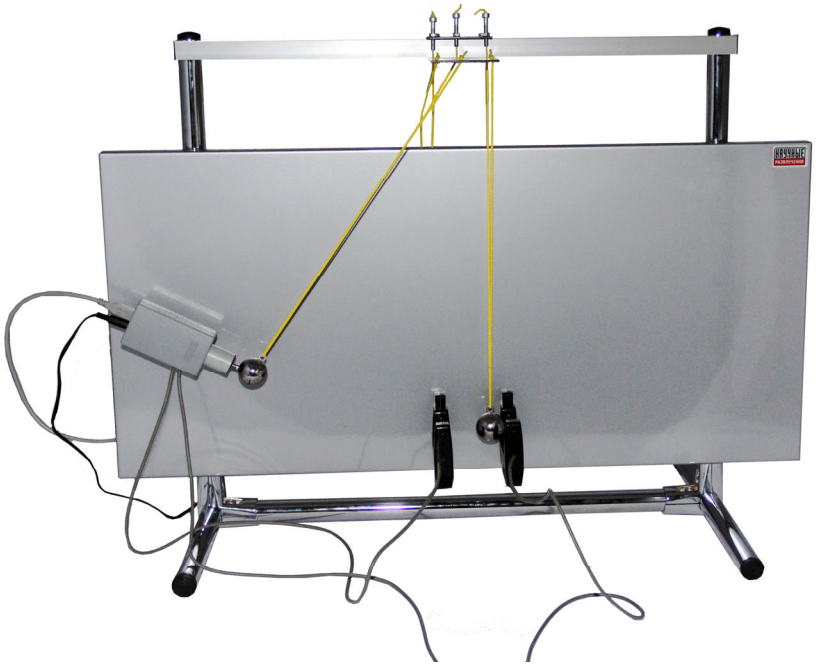


Рис. 2.

Измерение скорости шаров в данный работе осуществляется следующим образом. Оптоэлектрический датчик состоит из оптопары - светодиода и фотодиода. Луч света от светодиода попадает на фотодиод. При движении шара мимо оптоэлектрического датчика луч света на некоторое время перекрывается. Интервал времени Δt, в течении которого свет был закрыт движущимся шаром, измеряется при помощи компьютерной измерительной системы. Для расчета скорости шара V достаточно разделить его диаметр D на Δt:

$$V = \frac{D}{\Delta t} \qquad (9)$$

Следует отметить, что скорость V_{01} налетающего шара в нижнем положении направлена по горизонтали, а скорость покоящегося шара до столкновения равна нулю: $V_{02}=0$. Нити, на которых подвешены шары, имеют такую длину, что центры шаров в нижнем положении находятся на горизонтальной прямой, поэтому соударение шаров можно считать прямым и центральным.

Приобретенная скорость V_2 покоящегося шара после соударения измеряется непосредственно после удара при помощи второго оптоэлектрического датчика.

При выполнении работы Вам необходимо сначала изучить столкновение стальных шаров одинаковой массы, а затем стальных шаров разной массы (масса налетающего шара больше массы первоначально покоящегося шара и наоборот). В последнем случае второй оптоэлектрический датчик будет последовательно регистрировать сначала пролет малого шара, а затем большого.

Измерения нужно проводить пять раз с каждой парой шаров и результаты вносить в таблицы 1 и 2. После проведения измерений вычисляется кинетическая энергия системы до и непосредственно после удара. Затем необходимо сравнить полученные результаты с вычисленными по формулам (5), (6) или (3), (4).

Проведение эксперимента:

1. После включения компьютера запустите программу «Практикум по физике». Нажмите кнопку (Alt+C) в главном меню и выберете соответствующий сценарий проведения эксперимента.
2. Выберите 2 шара, которые будут использоваться в данном опыте, и удалите из области эксперимента лишний шар (для этого достаточно перекинуть его на другую сторону магнитной доски).
3. Установите пусковое устройство в левой части магнитной доски около вертикальной кромки со стороны шара, который будет «налетающим». Пусковое устройство должно быть расположено так, чтобы нити подвеса шара, подвешенного к его сердечнику, были натянуты.
4. Установите первый оптоэлектрический датчик между пусковым устройством и ближайшим к нему шаром вплотную к кромке шара.

При этом луч света не должен быть перекрыт (желтый светодиод не горит), что означает, что шар пролетит мимо датчика до начала взаимодействия с другим шаром. Аналогичным образом поставьте второй оптоэлектрический датчик в непосредственной близости от второго шара. Этот шар перекроет луч света сразу, как только начнет движение. Следите за тем, чтобы оптические оси датчиков находились на одном уровне с центрами шаров (рис. 1).

5. Включите пусковое устройство, нажав кнопку «включить/выключить магнит» , и зафиксируйте на нем «налетающий» шар.
6. Запустите измерения (Ctrl+S) , питание электромагнита отключится, и шар начнет двигаться.
7. Обратите внимание на движение налетающего шара после удара. На экране компьютера возникнет три интервала времени. Первый из них соответствует движению налетавшего шара мимо первого оптоэлектрического датчика, второй отражает время пролета первоначально покоившегося шара мимо второго оптоэлектрического датчика. Третий интервал времени - это возврат шара к положению равновесия. Он не используется при обработке результатов данного опыта.
8. После записи трех импульсов перекрытия остановите измерения (Ctrl+T) .
9. Проведите обработку полученных данных в соответствии со сценарием, для чего:
   - ✓ выделите область импульсов перекрытия для ее детального просмотра с увеличенным масштабом (Alt+левая кнопка мыши);
   - ✓ измерьте длительность перекрытия каждого импульса по переднему и заднему фронтам путем постановки желтого (левая клавиша мыши) и зеленого маркера (правая клавиша мыши) на соответствующие фронты импульса перекрытия.
10. Повторите опыт 5 раз, записывая результаты в таблицу 1.
11. Замените «налетающий» шар шаром меньшей массы, отрегулируйте длину его нити и, настроив положения оптоэлектрических датчиков, осуществите еще 5 запусков установки. Результаты опытов данной серии внесите в таблицу 2.
12. Повторите пп.5,6,8-10.
13. Переставьте пусковое устройство на противоположную сторону магнитного экрана.
14. Рассмотрите случай, когда масса налетающего шара больше массы покоящегося.
15. Обратите внимание, что в этих опытах налетающий шар после столкновения продолжает движение в туже сторону и третий интервал времени на экране компьютера соответствует времени его пролета мимо соответствующего оптоэлектрического датчика.
16. Повторите пп.5,6,8-10.
17. Результаты опытов данной серии внесите в таблицу 2.

18.Проведите обработку полученных данных

6. Обработка результатов измерений

1.Рассчитайте массы шаров по известным диаметрам;
2.Определите скорости движения шаров до и после столкновения;
3.Сопоставьте скорости, полученные в эксперименте, со значениями, рассчитанными на основе формул $V_1=0$, $V_2=V_{01}$ (одинаковые шары) и $V_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot V_{01}$, $V_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot V_{01}$. Массы шаров m вычисляются исходя из их плотности ($\rho_{стали}=7.8 \cdot 10^3$ кг/м^3) и диаметра D: $m = \rho \frac{1}{6} \pi D^3$
4.На основе полученных данных рассчитайте кинетическую энергию системы до ($T = \frac{m_1 \cdot V_{01}^2}{2}$) и после ($T' = \frac{m_1 \cdot V_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot V_2^2}{2}$) столкновения и сравните полученные значения. Уменьшение кинетической энергии системы после соударения (если оно имеет место) означает, что в действительности удар не был абсолютно упругим и часть механической энергии перешла в тепловую.

Таблица 1 Столкновение двух шаров одинаковой массы.

N измерения	Δt_1, с	Δt_2, с	V_{01}, м/с	V_2, м/с	T, Дж	T′, Дж	ΔT, Дж
1							
…							
5							
Среднее значение							

Таблица 2 Столкновение двух шаров разной массы.

N измерения	Δt_1, с	Δt_2, с	Δt_3, с	V_{01}, м/с	V_2, м/с	V_1, м/с	T, Дж	T′, Дж	ΔT, Дж
1									
…									
5									
Среднее значение									

Обозначения, принятые в таблицах:

Δt_1, Δt_2, Δt_3 - интервалы времени, регистрируемые компьютерной измерительной системой.

$V_{01}=D_1/\Delta t_1$ - скорость налетающего шара до столкновения (D_1-диаметр налетающего шара).

$V_2=D_2/\Delta t_2$ - скорость первоначально покоящегося шара после столкновения (D_2-диаметр этого шара).

$V_1 = D_1/\Delta t_3$ - скорость налетающего шара после столкновения (в опыте с разными шарами).

T - кинетическая энергия системы до столкновения.

T' - кинетическая энергия системы после столкновения.

$\Delta T = T' - T$ - изменение кинетической энергии в результате взаимодействия шаров.

T - кинетическая энергия системы до столкновения.

T' - кинетическая энергия системы после столкновения.

$\Delta T = T' - T$ - изменение кинетической энергии в результате взаимодействия шаров.

7. Указания по технике безопасности

1. Перед выполнением работы получите инструктаж у лаборанта.
2. Соблюдайте общие правила техники безопасности работы в лаборатории по физике.
3. Удары шаров по корпусам оптоэлектрических датчиков недопустимы, поэтому движение шаров следует останавливать сразу после регистрации необходимых интервалов времени.

8. Контрольные вопросы

1. На примере двух частиц вывести закон изменения импульса этой системы. Сформулировать условия, при которых сохраняется импульс системы или его проекция. Что такое внешние и внутренние силы.
2. Дать понятие механической работы. Привести формулу для нахождения работы переменной силы по криволинейному участку траектории. Какие силы называются консервативными и неконсервативными. Дать понятие потенциальной энергии.
3. Дать понятие кинетической энергии материальной точки и твердого тела. Вывести теорему об изменении кинетической энергии.
4. Что такое удар упругий и неупругий?
5. Дать понятие изолированной системы.
6. Вывести расчётные формулы для импульса и кинетической энергии при упругом и неупругом соударении шаров.
7. Какие превращения механической энергии совершаются в эксперименте, проводимом в данной работе?