

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МАТИ - РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени К.Э. Циолковского»

Кафедра «Моделирование систем и информационные технологии»

Определение необратимых потерь энергии и скоростей шаров при ударе

Методические указания к лабораторной работе
по курсу «Общая физика»

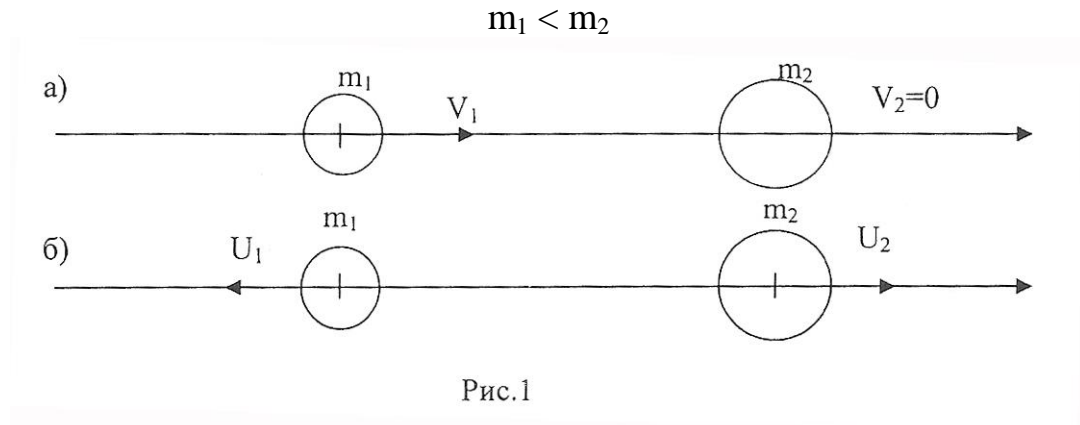
Москва 2018

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы:

Изучение законов сохранения импульса и энергии при упругом ударе шаров.

Рассмотрим прямой абсолютно упругий центральный удар двух шаров, рис. 1



Скорости шаров: а) - до удара; б) - после удара

Полагая, что на шары действуют внешние силы, и что в процессе столкновения не происходит превращения механической энергии в другие (немеханические) ее виды, можно применить законы сохранения импульса и кинетической энергии для описания удара шаров:

$$(1) \quad m_1 V_1 = m_1 U_1 + m_2 U_2$$

$$(2) \quad \frac{m_1 V_1^2}{2} = \frac{m_1 U_1^2}{2} + \frac{m_2 U_2^2}{2}$$

Приведя уравнение (1) к скалярному виду, будем иметь

$$(3) \quad m_1 V_1 = -m_1 U_1 + m_2 U_2$$

Совместное решение уравнений (2) и (3) позволяет найти скорости шаров после удара

$$(4) \quad U_1 = \frac{(m_2 - m_1) V_1}{m_1 + m_2}$$

$$(5) \quad U_2 = \frac{2m_1 V_1}{m_1 + m_2}$$

В процессе удара оба шара действуют друг на друга упругими силами, которые, меняясь со временем по величине, остаются равными между собой и проти-воположно направлены в любой момент времени, пока шары находятся в соприко-сновении. Эти внутренние силы взаимодействия сообщают соударяющимся ша-рам равные по величине и противоположные по направлению импульсы. Это ус-ловие обеспечивает выполнение закона сохранения импульса.

Для абсолютно упругого соударения шаров выполняется и закон сохранения кинетической энергии.

Таким образом, зная массы шаров и их скорости до соударения, легко рас- считать кинетические энергии и скорости шаров после соударения.

В процессе соударения реальных шаров часть их кинетической энергии нео- братно преобразуется в другие формы энергии. Следовательно, сумма кинети-ческих энергий реальных шаров до столкновения всегда больше суммы их кине-тических энергий после соударения на величину необратимых потерь E , т.е.

$$E = 1/2 [m_1 V_1^2 - (m_1 U_1^2 + m_2 U_2^2)]$$

(6)

Для реальных шаров расчет скоростей шаров и их кинетических энергий после соударения очень затруднителен, поэтому в данной работе эти величины определяются экспериментально.

Шары для эксперимента подвешены на двух нитях, расположенных на рас-стоянии, равном сумме радиусов шаров, причем длина подвеса L (расстояние от точки подвеса до центра шара) каждого из шаров одинакова (рис.2).

Сообщим шару массой m_1 потенциальную энергию равную $m_1 g L$, отведя его на угол $\alpha = 90^\circ$, и отпустим. В момент прохождения им положения равнове-

сия произойдет соударение его с шаром массой m_2 . Так как кинетическая энергия шара m_1 перед соударением равна

$$(1/2)m_1 V_1^2 = m_1 g L$$

(7)

то его скорость до соударения равна

$$V_1 = \sqrt{2gL}$$

(8)

Сопротивлением воздуха и трением в данном случае пренебрегаем.

После соударения произойдет перераспределение кинетической энергии

шара m_1 между обоими шарами и каждый из шаров будет двигаться после соуда-рения со своей скоростью до тех пор, пока его кинетическая энергия не перейдет в потенциальную.

При этом шар m_1 поднимется на высоту h_1 , описав дугу α , а шар m_2 на высоту h_2 , описав дугу β . Тогда, аналогично уравнению (8) можно написать уравнение для скоростей шаров после упругого удара

$$U_1' = \sqrt{2g h_1} \qquad U_2' = \sqrt{2g h_2}$$

Так как $h_1 = 2L \text{Sin}^2(\alpha/2)$, а $h_2 = 2L \text{Sin}^2(\beta/2)$ то скорости шаров после упругого удара будут равны

$$U_1' = 2 \text{Sin}^2(\alpha/2) \sqrt{g L} \qquad (9)$$

$$U_2' = 2 \text{Sin}^2(\beta/2) \sqrt{g L} \qquad (10)$$

Сопоставляя равенства (6), (8), (9), (10) получим выражение для потерь энергии при реальном упругом соударении шаров:

$$E = m_1 g L - 2 m_1 g L \text{Sin}^2(\alpha/2) - U_2' = 2 m_2 g L \text{Sin}^2(\beta/2) \qquad (11)$$

которое можно привести к виду

$$E = [m_1 \text{Cos} \alpha - m_2 (1 - \text{Cos} \beta)] g L \qquad (12)$$

Скорости шаров при абсолютно упругом ударе в условиях данного опыта соответственно равны

$$U_1 = \frac{m_2 - m_1}{2m_1} \sqrt{g L} \qquad (13)$$

$$U_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1 + m_2} \sqrt{g L} \qquad (14)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

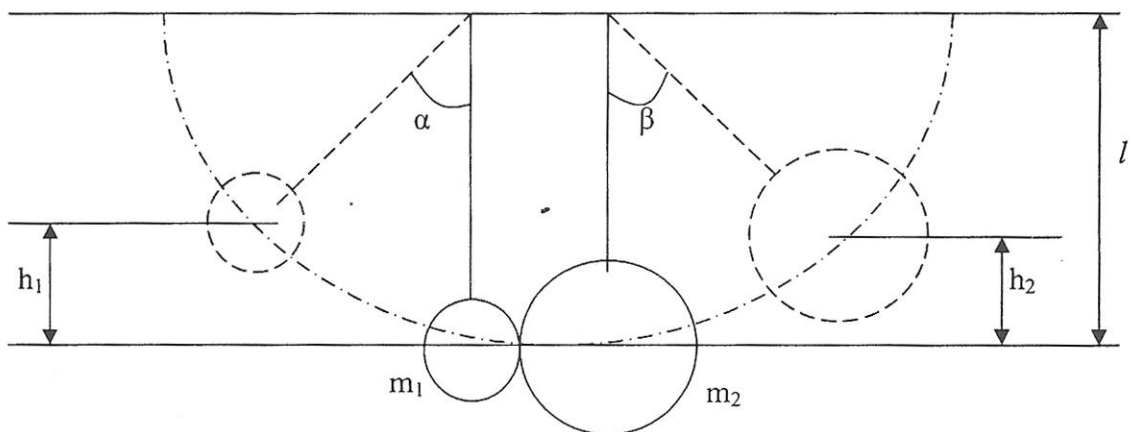


Рис.2

Экспериментальная установка (рис.2) представляет собой стенд с угломер-ным устройством для измерения углов отклонения шаров после удара.

Проведение эксперимента и обработка результатов

1. Определить массы шаров взвешиванием на весах
2. Определить длину подвеса, измерив длину нити подвеса и диаметры шаров
3. Результаты измерений в пунктах 1-2 занести в таблицу п.1
4. Отвести шар m_1 на угол $\alpha = 90^\circ$ и отпустить
5. Измерить после соударения шаров их углы отклонения, повторяя опыт несколько раз
6. Результаты измерений занести в таблицу п.2
7. Вычислить потери энергии при ударе по формуле (12)
8. Определить скорости шаров после удара, рассматривая его в условиях данного эксперимента как идеальный и неидеальный, и сравнить их между собой, используя уравнение (8), (12) и (9), (13)
9. Оценить погрешность полученных значений искомых величин.

Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе выполняется на отдельных листах и должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Вывод расчетной формулы для величины определяемой в данной работе.
3. Схему экспериментальной установки, перечень измерительных приборов и их погрешность.
4. Таблицы результатов измерений.
5. Расчет искомой величины и расчет ее погрешностей.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Импульс материальной точки, абсолютно твердого тела, системы тел.
2. Импульс и второй закон Ньютона
3. Закон сохранения импульса.
4. Кинетическая и потенциальная энергии. Закон сохранения механической энергии.
5. Удар. Виды удара, их характеристика.
6. Процесс превращения энергии при ударе шаров.

7. Законы сохранения импульса и энергии при ударе.
8. Потери энергии при ударе шаров.

Литература

1. Савельев И.В. Курс физики М.; Наука, 1989.Т1 350с.
2. Лабораторный практикум по физике / Под ред. К.А.Барсукова и Ю.И.Уханова М.: Высшая школа, 1988, 350с.
3. Сквайрс Дж. Практическая физика М.; 1971, 245с.

Приложение

Таблица п.1

Масса шара, m_1	кг
Масса шара, m_2	кг
Длина нити подвеса, L_0	м
Диаметр шара, d_1	м
Диаметр шара, d_2	м
Длина подвеса, L	м

Таблица п.2

Номер измерения	Углы отклонения шаров после удара			
	α		β	
	(град)	(рад)	(град)	(рад)
1				
2				
3				
...				
i				
...				
Среднее				