

Московский энергетический институт  
/технический университет/  
Волжский филиал

Кафедра общетехнических дисциплин

Лабораторная работа № 2

Изучение законов сохранения при соударении  
двух шаров.

Волжский 2000

## Лабораторная работа № 2.

### Изучение законов сохранения при соударении двух шаров

#### 1. Цель работы.

Определение средней силы взаимодействия при ударе шаров.

#### 2. Теоретические основы работы.

Несколько упрощенно процесс соударения шаров с одинаковой массой  $m$  можно описать так. К моменту соприкосновения шаров левый имеет нулевую скорость, а следовательно и нулевую кинетическую энергию. Правый имеет максимальную скорость  $v$  и максимальную кинетическую энергию.

После соприкосновения левому шару для набора скорости необходимо время  $\tau$ . За это же время правый шар должен передать кинетическую энергию левому шару. Поскольку время  $\tau$  очень мало, возникает большая сила взаимодействия между шарами

$$F = \frac{mv}{\tau}$$

что ведет к деформации шаров и переходу кинетической энергии правого шара в потенциальную энергию деформации шаров

$$W_n = \frac{kx^2}{2}$$

где  $k$  - коэффициент упругости;  $x$  - величина деформации.

После соприкосновения шаров центр масс правого шара продолжает двигаться за счет деформации шаров.

Когда кинетическая энергия правого шара полностью перейдет в потенциальную энергию деформации, начинается обратный процесс - потенциальная энергия деформации переходит в кинетическую энергию левого шара, получающего в результате скорость правого шара.

Правый шар, получив импульс с обратным знаком, теряет свою скорость и энергию.

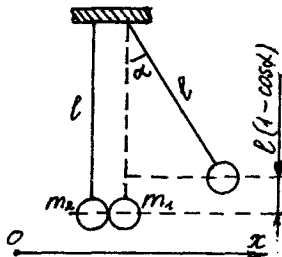


Рис. 1.

Установка /рис. I/ предназначена для изучения законов сохранения импульса и энергии при ударе двух шаров. Шары массами  $m_1$  и  $m_2$  подвешены на тонких проволоках длиной  $l$  так, что в состоянии равновесия шары касаются друг друга. Если отклонить правый шар на угол  $\alpha$  от вертикали и затем отпустить, то в момент прохождения шаром положения равновесия произойдет центральный удар. В результате удара оба шара изменят свои скорости. На установке измеряется время соударения, а также углы отклонения шаров до и после удара.

Применим закон сохранения импульса в момент удара. Закон сохранения импульса имеет место в замкнутой системе взаимодействующих тел - в системе, в которой действуют только внутренние силы, являющиеся результатом взаимодействия тел, входящих в данную систему. Внешние силы, т.е. силы, действующие на тела системы со стороны других тел или полей, в замкнутой системе либо отсутствуют, либо их векторная сумма равна нулю.

Согласно закону сохранения импульса импульс замкнутой системы материальных тел остается постоянным:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = const$$

Здесь  $\vec{P}_i = m_i \vec{v}_i$  - импульс  $i$ -го тела, входящего в систему;  
 $n$  - число взаимодействующих тел в системе.

В реальных условиях невозможно получить идеальную замкнутую систему. Однако и в реальных системах взаимодействующих тел закон сохранения импульса может выполняться при наличии определенных условий. 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 будет сохраняться во время удара /сопротивлением воздуха при движении шаров пренебрегаем/:

$$P_x = \sum_{i=1}^n P_{xi} = const$$

В дальнейшем изложении индекс  $x$  опускаем. Для системы двух соударяющихся шаров запишем закон сохранения импульса в проекции на ось  $Ox$  :

$$m_1 v_{1,0} + m_2 v_{2,0} = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad /1/$$

Здесь  $v_{1,0}$  и  $v_{2,0}$  - проекции скоростей шаров на ось  $Ox$  до удара;  
 $v_1$  и  $v_2$  - проекции скоростей шаров после удара.

Уравнение /1/ можно записать в виде

$$m_1 (v_1 - v_{1,0}) = -m_2 (v_2 - v_{2,0})$$

или

$$m_1 \Delta v_1 = -m_2 \Delta v_2 \quad /2/$$

Разделим /2/ на время взаимодействия шаров при ударе  $\tau$  :

$$m_1 \frac{\Delta v_1}{\tau} = -m_2 \frac{\Delta v_2}{\tau} \quad /3/$$

Равенство /3/ представляет собой приближенное выражение третьего закона Ньютона  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$  в проекции на ось  $Ox$ . Здесь модули векторов  $\vec{F}_{12}$  и  $\vec{F}_{21}$  представляют собой средние силы, действующие на каждый из шаров со стороны другого шара. Импульсы сил равны

$$\vec{F}_{12} \tau = m_1 (v_1 - v_{1,0}); \quad \vec{F}_{21} \tau = m_2 (v_2 - v_{2,0}) \quad /4/$$

Пренебрегая силами сопротивления воздуха и считая удар шаров абсолютно упругим, применим к удару закон сохранения механической энергии:

$$\frac{m_1 v_{1,0}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2,0}^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \quad /5/$$

Решив систему /1/ и /5/, найдем скорости шаров после удара

$$v_1 = \frac{2m_2 v_{2,0} + (m_1 - m_2) v_{1,0}}{m_1 + m_2}; \quad v_2 = \frac{2m_1 v_{1,0} + (m_2 - m_1) v_{2,0}}{m_1 + m_2} /6/$$

В случае шаров равной массы  $m_1 = m_2 = m$  из /6/ следуют простые соотношения  $v_1 = v_{2,0}$ ,  $v_2 = v_{1,0}$ . Подставляя эти значения в /4/, получаем средние за время удара значения сил взаимодействия между шарами:

$$\vec{F}_{12} = -\frac{m v}{\tau} \quad \vec{F}_{21} = \frac{m v}{\tau} \quad /7/$$

Применим закон сохранения механической энергии при движении правого шара до удара /рис. 1/:

$$m g l (1 - \cos \alpha) = \frac{m v^2}{2} \quad /8/$$

Из /7/ и /8/ находим

$$\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21} = \frac{2m \sin(\alpha/2) \sqrt{g l}}{\tau} \quad /9/$$

Отметим, что реальный удар не является абсолютно упругим, поэтому часть механической энергии системы перейдет в другие виды энергии, например, в теплоту. Доля механической энергии, перешедшей в другие виды энергии, может быть оценена по формуле

$$\frac{W_{\text{нач}} - W_{\text{кон}}}{W_{\text{нач}}} = \frac{\cos^2 \alpha' - \cos^2 \alpha}{1 - \cos^2 \alpha} \quad (10)$$

Здесь  $\alpha'$  - угол отклонения левого шара после удара.

### 3. Описание экспериментальной установки.

Экспериментальная установка представлена на рис. 2. На вертикальной стойке 1 закреплены верхний 2 и нижний 3 кронштейны. На нижнем кронштейне закреплены левая 4 и правая 5 шкалы. По правой шкале определяется начальный угол отклонения правого шара, по левой - угол отклонения левого шара после соударения. Стальные шары 6 подвешены с помощью токопроводящих подвесов 7 на штанге кронштейна 2. На правой шкале 5 смонтирован электромагнит 8. Электромагнит удерживает правый шар в выбранном начальном положении. Миллисекундомер 9 предназначен для определения времени соударения шаров контактным способом. В корпусе миллисекундомера смонтирован также блок питания электромагнита.

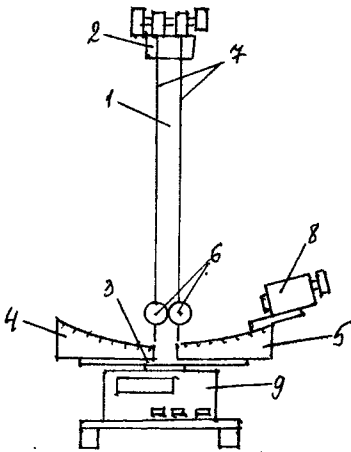


Рис. 2.

Включение электромагнита происходит одновременно с нажатием клавиши "Сеть" на панели миллисекундомера. При нажатии клавиши "Пуск" электромагнит отключается от питания, шар освобождается. Счет времени идет при наличии электрического контакта между шарами. Миллисекундомер фиксирует только время первого соударения.

### 4. Порядок выполнения работы.

1. Подключить установку к сети 220 В. Нажать на клавишу "Сеть", при этом должны загореться лампочки цифровой индикации на панели миллисекундомера.

2. Отклонить правый шар на угол  $\alpha_1$  до соприкосновения с электромагнитом. Нажать клавишу "Сброс". При этом лампы цифровой индикации на миллисекундомере покажут нули.

3. Успокоив левый шар, нажать клавишу "Пуск". При этом цепь электромагнита размыкается, правый шар приходит в движение, происходит удар шаров. На индикаторе миллисекундомера фиксируется время контакта /время соударения шаров/. После удара необходимо зафиксировать угол отклонения левого шара от положения равновесия. Значение  $\alpha_1$  этого угла и время соударения  $\tau_1$  записать в табл. I.

4. Пункты 2, 3 повторить не менее пяти раз. Результаты записать в таблицу I.

5. Пункты 2 - 4 повторить для другого значения начального угла отклонения правого шара  $\alpha_2$ .

Углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  задает преподаватель. При проведении эксперимента необходимо следить, чтобы шары двигались в одной вертикальной плоскости /удар должен быть прямым/.

5. Данные установки и таблица результатов измерений.

Массы шаров  $m_1 = m_2 = m = 120$  г

Длина подвеса шаров  $l_1 = l_2 = l = 50$  см

Ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>

Погрешность установки углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  не более  $\Delta\alpha = 0,25$  град  $\times 0,5$

№	$\alpha_1 =$		$\alpha_2 =$	
	$\tau_1, \text{мс}$	$\alpha_1, \text{град}$	$\tau_2, \text{мс}$	$\alpha_2, \text{град}$
1				
2				
3				
4				
5				
Средн.				

6. Обработка результатов измерений.

1. Рассчитать средние значения  $\tau_1, \tau_2$ .
2. По формуле /9/ рассчитать средние значения сил взаимодействия  $F_1, F_2$  между шарами для случаев  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .
3. Рассчитать значения  $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \delta F_1, \delta F_2$ .
4. Считая погрешности  $\delta m, \delta l$  и  $\delta g$  малыми, рассчитать относительные погрешности  $\delta F_1$  и  $\delta F_2$  по формуле

$$\delta F = \sqrt{\frac{1}{4} \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} (\Delta\alpha)^2 + \delta\tau^2}$$

Значение  $\Delta\alpha$  взять в радианах.

5. Рассчитать абсолютные погрешности  $\Delta \mathcal{E}$  и  $\Delta \mathcal{E}_2$ .
6. Записать результат расчета сил взаимодействия с учетом погрешности и с указанием на доверительную вероятность.
7. Используя формулу /10/, оценить долю механической энергии перешедшей в другие виды энергии в результате соударения.

#### 7. Контрольные вопросы.

1. Сформулировать закон сохранения импульса.
2. Сформулировать третий закон Ньютона.
3. Что называется импульсом тела?
4. Сформулировать закон сохранения механической энергии.
5. Какой удар называется абсолютно упругим и абсолютно неупругим?
6. Как оценить долю механической энергии, перешедшей в другие виды энергии?
7. Сравнить модули силы натяжения нити и силы тяжести в момент соударения.
8. Почему левый шар после удара отклоняется на меньший угол?
9. Что называется кинетической и потенциальной энергией?

#### Литература.

1. Савельев И.В. Общий курс физики. Т. I. М., Наука, 1986 стр. 28-31; 43-45.
2. Детлаф А.А. Курс физики. Т. I. М., Высшая школа, 1973 стр. 49-51, 60-70.