



### 010105. Неупругое соударение шаров.

#### *Требуемое оборудование*

##### Модульно учебные комплексы:

1. Модульный учебный комплекс МУК-М2;

##### Приборы:

- |                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 1. Блок механический БМ2           | 1 шт. |
| 1. Блок секундомер электронный СЭ1 | 1 шт. |

#### *Краткое теоретическое введение*

Абсолютно неупругим называют удар, при котором после столкновения тела движутся с одинаковыми скоростями в одном направлении (слипаются). В процессе неупругого удара механическая энергия системы не сохраняется, превращаясь частично во внутреннюю энергию столкнувшихся тел (тела нагреваются). Неупругое взаимодействие можно наблюдать при столкновении пластилиновых тел. В наших опытах неупругое столкновение стальных шаров обеспечивается тонким пластилиновым слоем, нанесенном на один из шаров в точке касания с другим шаром.

Найдем скорость шаров  $m_1$  и  $m_2$  после неупругого лобового удара. Пусть скорость шара  $m_1$  за мгновение до удара равна  $V_{10}$ , а шара  $m_2$  - нулю. Время удара шаров, закрепленных на подвесах, можно считать настолько малым, что подвесы достаточно массивных шаров не успевают отклониться за это время от вертикального положения. Это позволяет во время удара считать механическую систему двух шаров замкнутой в горизонтальном направлении (вдоль оси X). Следовательно, для составляющей вектора импульса механической системы, параллельной оси X, должен выполняться закон сохранения. Если при этом учесть, что векторы импульсов за мгновение до и сразу после удара направлены горизонтально, то закон сохранения выполняется в момент удара и для самого вектора импульса системы.

В проекциях на ось X закон сохранения импульса имеет вид:

$$m_1 |\vec{V}_{10}| + m_2 0 = (m_1 + m_2) |\vec{V}|.$$

Отсюда скорость системы сразу после неупругого удара

$$V = \frac{m_1 V_{10}}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

### Методика эксперимента

Лабораторная установка для изучения неупругого удара (рис.1) представляет собой два стальных шара 1 и 2 с массами  $m_1$  и  $m_2$ , закрепленных на бифилярных подвесах 3. Расстояние от оси вращения шаров до их центров масс равно  $L$ . Шар  $m_1$  может удерживаться в отклоненном положении электромагнитом 4. Положение электромагнита может изменяться за счет поворота штанги 5. Начальный угол отклонения подвеса шара  $m_1$  от вертикального положения определяется с помощью поворотного индикатора 6 и шкалы 7. Этот же индикатор позволяет определить максимальный угол отклонения шара  $m_1$  после удара. Максимальный угол отклонения шара  $m_2$  измеряется с помощью второго поворотного индикатора 8 со шкалой 9. Устройство 10 позволяет предотвратить отклонение шара  $m_2$  после соударения с шаром  $m_1$ , если это необходимо. Для этого его устанавливают в вертикальное положение. Управление электромагнитом осуществляется с помощью электронного блока 11.

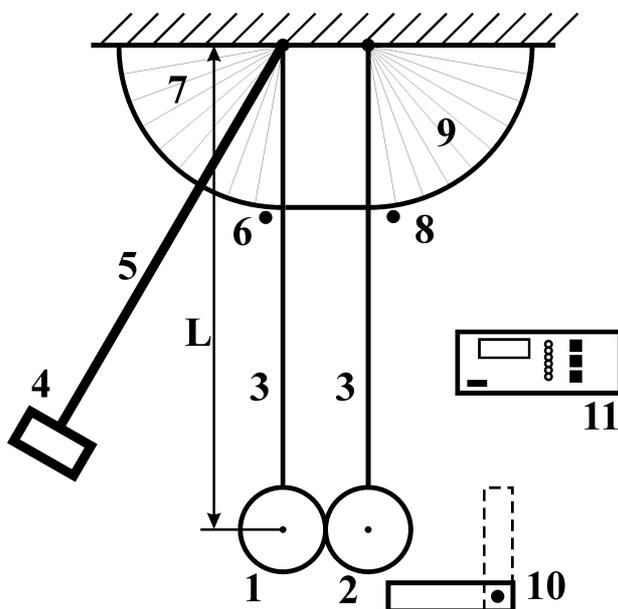


Рис.1

В опыте будут измеряться углы отклонения подвесов шаров от вертикального положения. Используя выражение (1), полученное для скорости после удара, найдем соответствующий угол отклонения подвесов.

Пусть начальный угол отклонения подвеса шара  $m_1$ , удерживаемого электромагнитом, равен  $\alpha_{10}$ . Если расстояние от оси вращения до центра масс шара  $L$ , то в таком положении центр масс поднят на высоту  $h_{10}$ , которая равна

$$h_{10} = L(1 - \cos \alpha_{10}). \quad (2)$$

Если пренебречь силой сопротивления воздуха при движении шара  $m_1$  к точке столкновения, то можно воспользоваться законом сохранения механической энергии, чтобы выразить  $V_{10}$  через высоту  $h_{10}$ :

$$m_1 g h_{10} = \frac{m_1 V_{10}^2}{2}. \quad (3)$$

Следовательно,

$$V_{10} = \sqrt{2gh_{10}} = \sqrt{2gL(1 - \cos \alpha_{10})}. \quad (4)$$

После удара центр масс системы двух шаров поднимается на максимальную высоту  $h$ , которая выражается через соответствующий угол  $\alpha$ :

$$h = L(1 - \cos \alpha). \quad (5)$$

Используя закон сохранения механической энергии, далее получаем:

$$(m_1 + m_2)gh = \frac{(m_1 + m_2)V^2}{2}. \quad (6)$$

Подставляя (1),(4) и (5) после преобразований получаем рабочую формулу для косинуса угла отклонения подвесов после неупругого удара:

$$\cos \alpha = 1 - \left( \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 (1 - \cos \alpha_{10}). \quad (7)$$

### ***Рекомендуемое задание к работе***

1. Убедитесь, что в качестве шара  $m_1$  вначале используется шар меньшей массы. Если это не так, закрепите его. Шар  $m_2$  должен иметь большую массу.
2. Включите электронный блок управления электромагнитом 11 (Рис.1).
3. Подведите к электромагниту шар  $m_1$ . Убедитесь, что он удерживается электромагнитом. Установите поворотом штанги 5 начальный угол  $\alpha_{10}$  отклонения подвеса шара  $m_1$  от вертикали. Пользуясь поворотным индикатором 6 и шкалой 7 (см. рис. 1), измерьте этот угол.
4. Подготовьте поворотный индикатор 8 к измерению отклонения подвесов шаров после неупругого удара. Для этого установите его в положение, близкое к «0». На шаре  $m_2$  в месте предполагаемого удара нанесите тонкий пластилиновый слой.

5. Нажатием кнопки на электронном блоке отключите питание электромагнита и освободите шар  $m_1$ .

6. Снимите показания со шкалы 9 и запишите значение угла  $\alpha$ .

8. Повторите опыт по п.п. 3-6 с другими значениями начального угла отклонения  $\alpha_{10}$ .

9. Снимите шар малой массы и замените его шаром, масса которого равна массе шара  $m_2$ .

10. Повторите опыт по п.п. 3-6 для такой механической системы.

11. Полученные экспериментальные результаты сравните с теоретическими, получив их с помощью формулы (7).