

Работа 4

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА ПРИ УПРУГОМ СОУДАРЕНИИ

Цель работы: Проверить выполнение закона сохранения импульса при упругом столкновении тел в горизонтальной плоскости.

Введение

Одной из фундаментальных характеристик движущегося тела (материальной точки) является импульс тела. Импульс тела – это векторная физическая величина, численно равная произведению массы тела на его скорость в данной системе отсчета:

$$\vec{p} = m \vec{v}. \quad (4.1)$$

Направление вектора импульса тела совпадает с направлением вектора его скорости. На основании этого определения основное уравнение динамики можно записать в виде:

$$\sum_i \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad (4.2)$$

где $\sum_i \vec{F}_i$ – сумма всех сил действующих на тело.

Импульсом системы называется векторная сумма импульсов тел, образующих систему:

$$\vec{p} = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i. \quad (4.3)$$

Импульс системы величина аддитивная, т.е. импульс системы равен сумме импульсов её отдельных частей, независимо от того, взаимодействуют они между собой или нет.

Закон сохранения импульса гласит, что суммарный импульс замкнутой системы тел сохраняется, то есть остается постоянным при любых взаимодействиях тел внутри системы:

$$\sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i = const.$$

Числовое значение и направление суммарного импульса замкнутой системы всегда одинаковы в любые моменты времени.

Система тел считается замкнутой, если на нее не действуют внешние силы или действие этих сил скомпенсировано.

Согласно закону сохранения импульса в любой замкнутой системе тел полный импульс остается неизменным. Наиболее простой случай взаимодействия тел, в котором можно экспериментально проверить закон сохранения импульса – это упругое столкновение шаров, которые до и после столкновения движутся свободно.

Существует два крайних вида соударения: абсолютно неупругий и абсолютно упругий удар.

При абсолютно неупругом столкновении, столкнувшиеся тела либо движутся как единое тело с одинаковой скоростью, либо покоятся. При этом кинетическая энергия тел частично или полностью переходит во внутреннюю энергию, и выполняется только закон сохранения импульса системы. Закон сохранения механической энергии не соблюдается.

В отличие от неупругого, при абсолютно упругом столкновении сохраняется не только импульс системы, но и механическая энергия, так как внутреннее состояние сталкивающихся тел после удара остается таким же, каким оно было до удара. Тела до и после столкновения являются свободными, то потенциальная энергия отсутствует, и сохранение механической энергии означает сохранение кинетической энергии сталкивающихся тел.

Рассмотрим абсолютно упругое нецентральное столкновение двух шаров с массами m_1 и m_2 , которые двигаются со скоростями \vec{V}_1 и \vec{V}_2 . При центральном столкновении скорость шаров до и после столкновения направлена по линии, соединяющей их центры. Согласно закону сохранения импульса, импульс системы до столкновения и после должен быть одинаковым:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

или

$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = m_1\vec{U}_1 + m_2\vec{U}_2, \quad (4.4)$$

где \vec{U}_1 и \vec{U}_2 – скорости шаров после столкновения.

Задача упрощается при использовании шаров с одинаковыми массами $m_1 = m_2 = m$. В этом случае из закона сохранения импульса следует равенство:

$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 = \vec{U}_1 + \vec{U}_2. \quad (4.5)$$

Если один из шаров до столкновения покоился ($\vec{V}_2 = 0$), то

$$\vec{V}_1 = \vec{U}_1 + \vec{U}_2. \quad (4.6)$$

Учитывая, что при упругом ударе сохраняется кинетическая энергия системы: $\frac{mV_1^2}{2} = \frac{mU_1^2}{2} + \frac{mU_2^2}{2}$, получаем, что

$$V_1^2 = U_1^2 + U_2^2 \quad (4.7)$$

Рассматривая совместно (4.6) и (4.7), получаем, что при нецентральной упругом ударе шары разлетаются так, что их скорости направлены под прямым углом друг к другу.

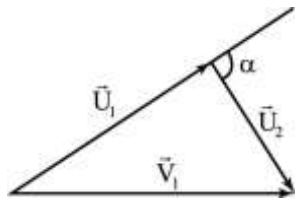


Рис.4.1

Из соотношения (4.6) видно, что векторы скоростей \vec{V}_1 , \vec{U}_1 и \vec{U}_2 образуют треугольник (рис. 4.1), а из (4.7) следует, что для этого треугольника справедлива теорема Пифагора, т.е. он

прямоугольный и угол между векторами \vec{U}_1 и \vec{U}_2 равен $\pi/2$.

Методика выполнения работы

Для измерения модулей скоростей шаров и определения направления их движения можно воспользоваться установкой, схема которой изображена на рис.4.2. В штативе 1 закрепляется наклонный лоток 2 таким образом, чтобы участок поверхности, с которой падает шар 3 после скатывания по лотку, был расположен горизонтально. После скатывания шар падает на планшет с бумагой, покрытый копировальной бумагой. На бумаге в точке

падения остается след. Направление скорости \vec{V}_1 совпадает с направлением вектора \vec{AB} , соединяющего точку A поверхности планшета под краем лотка с точкой B , в которую падает шар без столкновения.

Если на краю лотка в точке A' поставить второй шар, сместив его на 3-5 мм от траектории движения скатывающегося шара, то после соударения оба шара разлетаются.

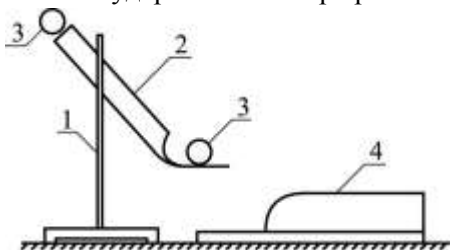


Рис.4.2

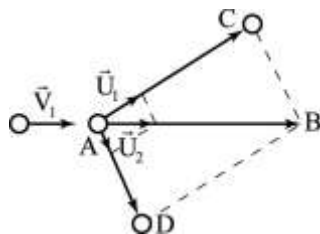


Рис.4.3

Отметив точки C и D падения их на стол, можно определить направление векторов скоростей \vec{U}_1 и \vec{U}_2 (рис.4.3).

Длина отрезков AB , $A'C$ и $A'D$ пропорциональны скоростям V_1 , U_1 и U_2 соответственно. Дальность полета шара над планшетом $|AB| = V_1 t$, где t – время падения шара, определяемое высотой h лотка над планшетом: $h = gt^2/2$.

Следовательно,

$$V_1 = |AB|/\sqrt{2h/g}; U_1 = |A'C|/\sqrt{2h/g}; U_2 = |A'D|/\sqrt{2h/g}.$$

Таким образом, из законов сохранения энергии и импульса следует: $\vec{AB} = \vec{A'D} + \vec{A'C} = \vec{A'B'}$, а угол разлета шаров $\alpha = \pi/2$.

Приборы и принадлежности	Технические характеристики
Штатив	
Лоток	
Планшет с бумагой и	

копировальной бумагой	
Шары (2 шт.)	
Линейка	
Угольник	
Транспортир	

Порядок выполнения работы

1. Установите лоток так, чтобы шары при падении не разлетались за плоскость планшета. Измерьте высоту h с помощью угольника. (Обратите внимание на горизонтальность положения нижнего края лотка.) Накройте планшет бумагой и закрепите ее кнопками. Измерьте диаметр шаров $d_{ш}$ и запишите их в табл.4.1.

2. С помощью угольника спроецируйте площадку лотка на бумагу и отметьте на ней точки A и A' под краем лотка. Точка A является проекцией середины среза горизонтальной части лотка. Точка A' является проекцией места удара шаров. Ее точное определение затруднительно. Возьмите ее на расстоянии, равном диаметру шара, от точки A по оси симметрии лотка. На место предполагаемого падения шаров положите копировальную бумагу.

3. Трижды запустите шар с верхнего края лотка, получите три отметки точки падения шара на стол. Приподняв копировальную бумагу, отметьте их как B_1, B_2, B_3 .

4. Установите на край лотка второй шар таким образом, чтобы соударение было не центральным (это место на лотке обозначено керном). Запустив первый шар с верхнего края лотка, получите отметки точек C и D падения обоих шаров на бумагу. Обозначьте их, приподняв копировальную бумагу, как точки C_1 и D_1 .

5. Повторите действия п.4 еще два раза. Получите точки $C_2, D_2; C_3, D_3$.

6. Снимите бумагу с планшета и произведите обработку результатов:

- измерьте расстояния AB_1 , AB_2 , AB_3 , занесите их в таблицу 4.1. Рассчитайте среднее значение расстояние $\langle AB \rangle$ и по этим данным рассчитайте импульс шаров до соударения;
- соедините точку A' с точками C_i и D_i , получив таким образом векторы $\overrightarrow{A'C_i}$ и $\overrightarrow{A'D_i}$. С помощью линейки и угольника геометрически сложите эти векторы, построив суммарный вектор $\overrightarrow{A'B'_i} = \overrightarrow{A'C_i} + \overrightarrow{A'D_i}$ по правилу параллелограмма;
- измерьте расстояния $A'B'_1$, $A'B'_2$ и $A'B'_3$, занесите их в таблицу. Рассчитайте среднее значение расстояние $\langle A'B' \rangle$ и по этим данным рассчитайте импульс шаров после соударения;
- Рассчитайте угол разлета шаров после соударения, измерив транспортиром углы α_1 , α_2 , α_3 между векторами $\overrightarrow{A'C_i}$ и $\overrightarrow{A'D_i}$. Полученные значения занесите в таблицу.

Таблица 4.1

$m_1 =$		$m_2 =$		$h =$		$d_{III} =$	
№ изм.	$[AB]$, мм	P_0 , мН·с	$[A'B']$, мм	P , мН·с	α , град		
1		/		/			
2							
3							
Средн. ± погрешн.							

Расчетные формулы:

$$\langle AB \rangle = \frac{|AB|_{\text{МАКС}} + |AB|_{\text{МИН}}}{2}; \quad \Delta[AB] = \frac{|AB|_{\text{МАКС}} - |AB|_{\text{МИН}}}{2} \quad \text{или } R_{III}$$

$$P_0 = \langle AB \rangle m / \sqrt{2h/g}; \quad \Delta P_0 = P_0 \sqrt{E_{AB}^2 + E_m^2 + \left(\frac{1}{2} E_h\right)^2};$$

$$P = \langle A'B' \rangle m / \sqrt{2h/g}; E_{AB} = \frac{\Delta[AB]}{\langle AB \rangle}; E_m = \frac{\Delta m}{m}; E_h = \frac{\Delta h}{h};$$

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\alpha_{\text{МАКС}} + \alpha_{\text{МИН}}}{2}; \Delta \alpha = \frac{\alpha_{\text{МАКС}} - \alpha_{\text{МИН}}}{2}, \text{ или } \Delta \alpha_{\text{ПРИБ}}.$$

7. Сравните полученные результаты.

8. Напишите заключение к работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое импульс тела?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса.
3. При каких условиях импульс системы сохраняется?
4. Какая система называется замкнутой?
5. Почему необходима горизонтальная установка нижнего края лотка?
6. Какой удар называется абсолютно неупругим? Абсолютно упругим?
7. Какой удар называется центральным?
8. Можно ли считать систему из шаров, сталкивающихся на горизонтальной части лотка, замкнутой?
9. Какие скорости имеют шары после абсолютного упруго прямого центрального удара?
- 10.

Литература