

Лабораторная работа 1.03V (VirtualLab)

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА И ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССАХ СТОЛКНОВЕНИЯ

Цели работы	2
Теоретические основы лабораторной работы	2
Описание установки	5
Порядок выполнения работы	6
Проведение измерений	6
Обработка результатов измерений	7
Контрольные вопросы	8
Приложение	9

Цель работы

Исследование упругого и неупругого центрального соударения тел на примере соударения тележек, движущихся с малым трением.

Теоретические основы лабораторной работы

Рассмотрим абсолютно упругое центральное соударение двух тел массами m_1 и m_2 .

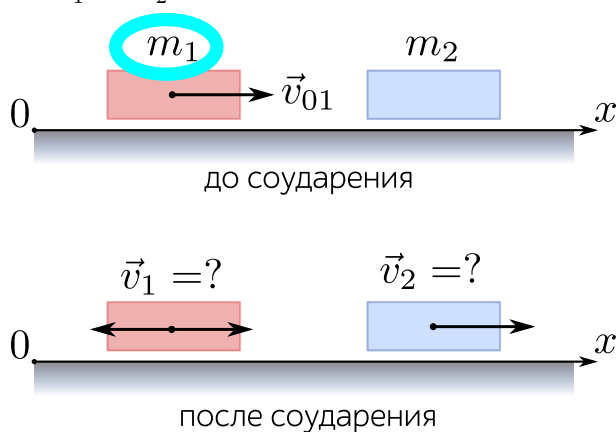


Рис. 1

При таком соударении в замкнутой системе двух тел выполняются законы сохранения импульса и энергии. Пусть до соударения движется только первое тело, тогда уравнения законов имеют вид

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_{10} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2; \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}, \end{cases} \quad (1)$$

где \vec{v}_{10} — скорость первого тела до удара, \vec{v}_1 и \vec{v}_2 — соответственно, скорости первого и второго тел после удара. Считая скорость \vec{v}_{10} известной, найдем скорости обоих тел после удара.

Пусть условия соударения таковы, что после удара оба тела

продолжают двигаться параллельно той прямой, по которой двигалось первое тело до удара. Введем координатную ось Ox , сонаправленную с вектором \vec{v}_{10} (см. рис. 1). Для проекций скоростей \vec{v}_{1x} , \vec{v}_{2x} из уравнений (1) получим систему двух уравнений:

$$\begin{cases} m_1 v_{10} = m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x}; \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{m_1 v_{1x}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2x}^2}{2}. \end{cases} \quad (2)$$

Умножим все слагаемые второго уравнения на два, и перенесем налево в обоих уравнениях слагаемые, характеризующие импульс и энергию первого тела:

$$\begin{cases} m_1 (v_{10} - v_{1x}) = m_2 v_{2x}; \\ m_1 (v_{10}^2 - v_{1x}^2) = m_2 v_{2x}^2. \end{cases} \quad (3)$$

После удара скорость первого тела должна измениться. Поэтому содержимое скобок в левых частях уравнений (3) отлично от нуля, и для упрощения системы можно поделить левые и правые части нижнего уравнения на соответствующие части верхнего уравнения. Результат деления сделаем вторым уравнением системы:

$$\begin{cases} m_1 (v_{10} - v_{1x}) = m_2 v_{2x}; \\ v_{10} + v_{1x} = v_{2x}. \end{cases} \quad (4)$$

Отсюда нетрудно найти окончательные выражения для скоростей:

$$\begin{cases} v_{1x} = \frac{(m_1 - m_2)v_{10}}{m_1 + m_2}; \\ v_{2x} = \frac{2m_1 v_{10}}{m_1 + m_2}. \end{cases} \quad (5)$$

Из первого уравнения (5) следует, что в зависимости от соотношения масс первое тело после соударения может:

1. продолжить движение вперед ($m_1 > m_2, v_{1x} > 0$);
2. остановится ($m_1 = m_2, v_{1x} = 0$);
3. поменять направление движения на противоположное ($m_1 < m_2, v_{1x} < 0$);

При абсолютно неупругом соударении рассмотренных выше тел оба тела после удара движутся как одно целое с суммарной массой $m_1 + m_2$. В этом случае законы сохранения импульса и энергии принимают вид

$$\begin{cases} m_1 v_{10} = (m_1 + m_2)v \\ \frac{m_1 v_{10}^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2} + W_{\text{пот}} \end{cases} \quad (6)$$

где v — скорость тел после соударения, $W_{\text{пот}}$ — потери механической энергии при соударении. Из первого уравнения (6) для модуля скорости тел после соударения находим

$$v = \frac{m_1 v_{10}}{m_1 + m_2}. \quad (7)$$

Подставив во второе уравнение системы (6) вместо скорости v правую часть уравнения (7), получим следующее выражение для потерь механической энергии при соударении

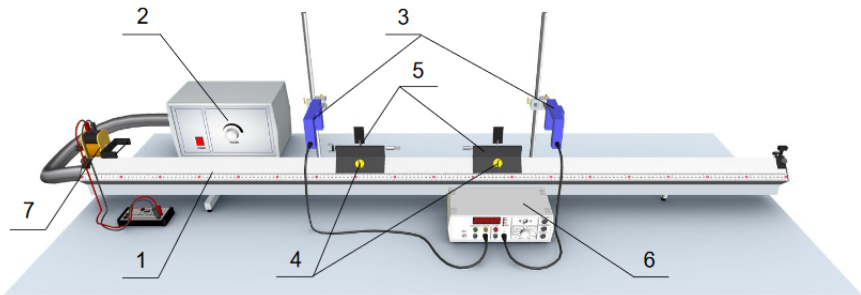
$$W_{\text{пот}} = \frac{m_1 m_2 v_{10}^2}{2(m_1 + m_2)}. \quad (8)$$

Относительные потери механической энергии при неупругом соударении вычисляются по формуле

$$\frac{W_{\text{пот}}}{\frac{m_1 v_{10}^2}{2}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}. \quad (9)$$

Описание установки

В качестве соударяющихся тел в лабораторной работе выступают две тележки, скользящие с малым трением по горизонтальному рельсу.



1. Рельс, на котором создается воздушная подушка (длина 180 см)
2. Генератор воздушного потока
3. Рамки с фотоэлементами (оптические ворота)
4. Дополнительные грузы
5. Сталкивающиеся тележки с собственной массой 200 г, каждая из которых снабжена флажком шириной 25 мм.
6. Цифровой счетчик (1 единица = 10 мс)
7. Пусковой механизм

В предложенной работе при упругом соударении плоский буфер на первом скользящем теле (5, слева) ударяется о натянутую на второе скользящее тело резинку (5, справа). В случае неупругого соударения длинный заостренный шип вдавливаются в пластилин. Массы скользящих тел можно изменять добавлением грузов. Интервалы времени t_i ($i = 1, 2$) регистрируются цифровым счетчиком (6). Для определения скорости скользящих тел применимо следующее выражение

$$v_i = 25\text{мм}/t_i. \quad (10)$$

Порядок выполнения работы

Проведение измерений

1. Запустите виртуальную лабораторную установку. Доступ к ней откроется после выполнения теста.
2. После загрузки приложения нажмите **Запуск**. Перед вами появится окно с установкой. Рекомендуется перейти в полноэкранный режим нажатием под окном **Fullscreen mode**.
3. Выберите **Параметры**→**Соудар.**→**Упругое** для исследования упругого соударения двух тел.
4. Задайте массу первой тележки $m_1 = 200$ г, отжав кнопки регулирующие количество добавочных грузов.
5. Также установите массу исходно неподвижной тележки m_2 , задав для нее такое же значение массы как и для m_1 .
6. Нажатием кнопки **Пуск** запустите тележку в движение.
7. Внесите в Таблицу 1.1 в соответствующую ячейку (см. Приложение) значения времени с цифрового хронометра, соответствующие прохождению через створ оптических ворот первой (t_1) и второй (t_2) тележки.
8. Проведите аналогичные измерения **для всех возможных** сочетаний масс первой и второй тележек, полностью заполнив Таблицу 1.1.
9. Измените тип соударения на неупругое нажатием **Параметры**→**Соудар.**→**Неупруг.**
10. Для абсолютно неупругого взаимодействия проведите измерения времен прохождения оптических ворот также как и в пп. 4–8, заполнив второй экземпляр таблицы прямых измерений (Таблица 1.2).

Обработка результатов измерений

Упругое столкновение

1. По данным Таблицы 1.1 для упругих столкновений для каждой ее ячейки рассчитайте величины $X_i = \frac{2m_1}{m_1+m_2}$ и $Y_i = \frac{v_2}{v_{10}} = \frac{t_1}{t_2}$ (см. соотношение 5).
2. Графически изобразите зависимость $Y_i = Y_i(X_i)$. Произведите интерполяцию данного графика линейной функцией. Найдите значение углового коэффициента данной зависимости и оцените величину его погрешности.

Абсолютно неупругое столкновение

1. По данным Таблицы 1.2 для неупругих столкновений для всех ее ячеек найдите величины $X_i = \frac{m_1}{m_1+m_2}$ и $Y_i = \frac{v}{v_{10}} = \frac{t_1}{t_2}$ (см. соотношение 6).
2. Графически изобразите зависимость $Y_i = Y_i(X_i)$. Произведите интерполяцию данного графика линейной функцией. Найдите значение углового коэффициента данной зависимости и оцените величину его погрешности.
3. Для каждой ячейки Таблицы 1.2 найдите экспериментальное значение относительного изменения полной энергии:

$$\delta W_i^{(\text{э})} = \frac{\Delta W}{W_0} = 1 - \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} \frac{v^2}{v_{10}^2} = 1 - \frac{m_1 + m_2}{m_1} \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^2.$$

4. Также для каждой ячейки Таблицы 1.2 найдите теоретическую величину относительной потери энергии по формуле (см. 9):

$$\delta W_i^{(\text{т})} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}.$$

5. Постройте график зависимости $\delta W_i^{(\text{э})}$ от величины $\delta W_i^{(\text{т})}$ и проанализируйте его характер.
6. На основании анализа всех имеющихся данных сформулируйте выводы о выполнении законов сохранения в случае упругого и абсолютно неупругого ударов.

Контрольные вопросы

1. При каком условии импульс системы тел сохраняется с течением времени?
2. При каком условии механическая энергия системы тел сохраняется с течением времени?
3. При каком условии кинетическая энергия системы тел сохраняется с течением времени?
4. Каковы теоретические значения изменения импульса системы при упругом и неупругом центральном соударении двух тел?
5. Как влияет наличие сил трения на измеряемое в задании изменение импульса тележек?
6. Каковы теоретические значения изменения кинетической энергии системы при упругом и неупругом центральном соударении двух тел?
7. Как влияет наличие сил трения на измеряемое при упругом и неупругом соударении изменение кинетической энергии тележек?
8. От чего зависит, изменится или нет направление движения первой тележки в результате соударения при выполнении задания?

Приложение

Таблица 1: Результаты прямых измерений

		$m_1(\text{г})$					
		200	220	240	260	280	300
$m_2(\text{г})$	200	t_1					
		t_2					
	220						
	240						
	260						
	280						
	300						