

Лабораторная работа В1.03

ЗАКОНЫ СОУДАРЕНИЯ

Цель работы

Изучение законов упругого и неупругого соударения двух тел.

Задачи

1. Измерить скорости движения тел до и после упругого и неупругого столкновения двух тел для различных значений массы покоившегося тела.
2. Построить зависимости отношения скорости первого тела до соударения к скорости второго тела после соударения от массы второго тела.
3. По угловым коэффициентам построенных зависимостей определить экспериментальные значения массы первого тела как в случае упругого, так и в случае неупругого соударения тел.

Введение

Из классической механики известно, что для замкнутых систем неизменными оказываются три физические величины: энергия, импульс и момент импульса системы. В связи с этим говорят, что имеют место три соответствующих закона сохранения.

В основе этих законов лежат фундаментальные свойства пространства и времени. Так, энергия замкнутой системы остается неизменной вследствие однородности времени, то есть равнозначности всех моментов времени, импульс замкнутой системы сохраняется вследствие однородности пространства, то есть одинаковости свойств во всех точках, а момент импульса в связи с изотропностью пространства, иными словами одинаковостью свойств по всем направлениям.

В данной работе, изучая законы соударения тел, мы ограничимся

рассмотрением двух из представленных законов сохранения, а именно законов сохранения импульса и энергии, для двух видов соударения: упругого и неупругого.

За время соударения потенциальная энергия сталкивающихся тел во внешнем поле измениться не успевает, поэтому основную роль при анализе соударений играет кинетическая энергия, которая для двух сталкивающихся тел определяется уравнением

$$E = \frac{p_1^2}{2M_1} + \frac{p_2^2}{2M_2}, \quad (1)$$

где p_1 и p_2 – значения импульсов первого и второго тел, участвующих в соударении, а M_1 и M_2 их массы.

В тех случаях, когда в результате взаимодействия тел при их соударении не происходит изменения суммарной кинетической энергии этих тел или ее изменением можно пренебречь (отсутствуют выделение тепла и остаточные деформации) имеет место *абсолютно упругое* соударение. Если же часть механической энергии переходит в другую форму, то кинетическая энергия не сохраняется. Такое соударение называется *неупругим*. Важным частным случаем неупругого соударения является *абсолютно неупругий* удар, при котором вся энергия относительного движения тел переходит в другие формы, и после удара тела двигаются как единое целое («слипаются»).

В отличие от механической энергии импульс замкнутой системы сохраняется всегда (закон сохранения импульса). Так, полный импульс системы двух тел массами M_1 и M_2 после столкновения должен быть равен ее полному импульсу до столкновения:

$$\begin{aligned} \vec{p}_1 + \vec{p}_2 &= \vec{p}_1' + \vec{p}_2', \\ M_1 \vec{V}_1 + M_2 \vec{V}_2 &= M_1 \vec{V}_1' + M_2 \vec{V}_2' \end{aligned} \quad (2)$$

где $\vec{V}_1$ и $\vec{V}_2$ – скорости первого и второго тел до соударения, а $\vec{V}_1'$ и $\vec{V}_2'$ – скорости соответствующих тел после соударения.

Закон сохранения импульса несколько упрощается в том случае, если второе тело покоилось до соударения, а движение обоих тел до и после удара происходит вдоль одной прямой (как при центральном ударе шаров). Тогда при упругом столкновении, с учетом сохранения полной кинетической энергии, можно показать, что связь модуля импульса второго тела после столкновения с модулем импульса первого тела до столкновения описывается выражением

$$p_2' = \frac{2M_2}{M_1 + M_2} p_1, \quad (3)$$

которое может быть преобразовано в уравнение следующего вида:

$$\frac{V_1'}{V_2'} = \frac{1}{2} + \frac{M_2}{2M_1}. \quad (4)$$

Для неупругого соударения непосредственно из закона сохранения импульса

$$M_1 V_1 = (M_1 + M_2) V_2'$$

получаем

$$\frac{V_1'}{V_2'} = 1 + \frac{M_2}{M_1}, \quad (5)$$

где V_2' – скорость движения первого и второго тела как единого целого после абсолютно неупругого соударения.

Из соотношений (4) и (5) следует, что, измерив скорости тел до и после столкновения, по известной массе второго тела для обоих видов соударения можно вычислить массу первого тела.

Качественный вид зависимостей отношения скоростей $\frac{V_1'}{V_2'}$ представлен на рисунке 1.

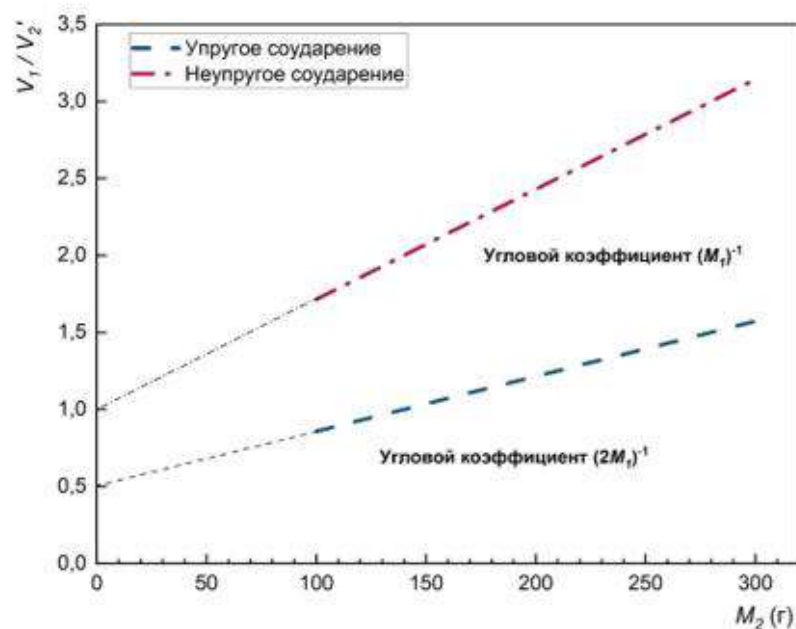


Рис. 1. Качественный вид зависимостей отношения скорости первого тела до соударения к скорости второго тела после соударения от полной массы второго тела для двух типов соударения

Экспериментальная установка

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 2.

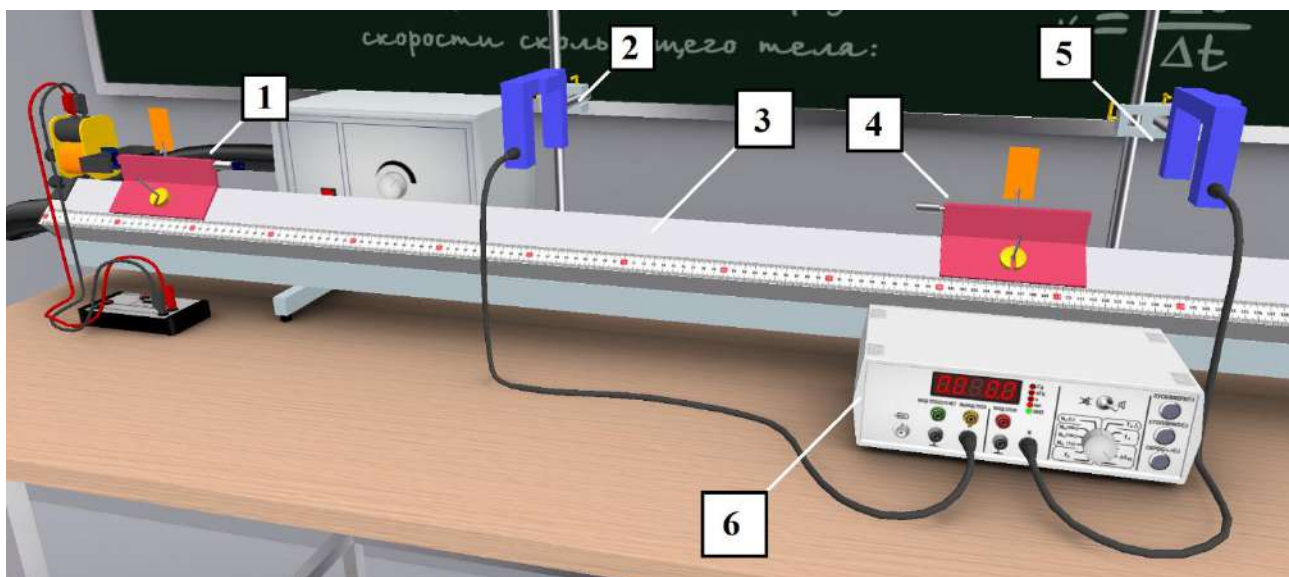


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки. 1 – первое тело, 2 – датчик скорости первого тела, 3 – дорожка с воздушной подушкой, 4 – второе тело, 5 – датчик скорости второго тела, 6 – цифровой секундомер

Электромагнитный толкатель при подаче на него напряжения от источника питания приводит в движение первое тело (1), помещенное на дорожку с воздушной подушкой (3). При прохождении телом оптического датчика (2), установленный на теле флажок перекрывает световой луч, затеняя фотоприемник датчика. Зная время перекрытия, можно определить скорость движения первого тела до соударения. После столкновения второе тело (4) приходит в движение, при этом флажок второго тела проходит через оптический датчик (5). Времена перекрытия фиксируются цифровым секундомером (6): число слева на дисплее секундомера показывает время (в миллисекундах) перекрытия для первого тела, число справа – для второго.

На Рис. 3 показаны элементы экспериментальной установки для случаев упругого и неупругого соударений.

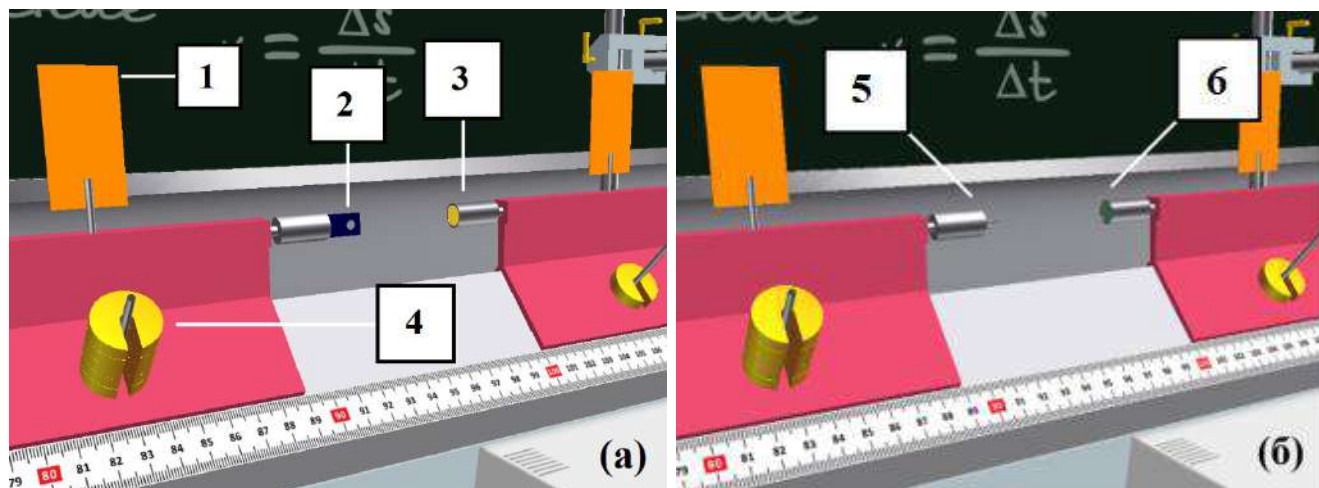


Рис. 3. Общий вид сталкивающихся тел при упругом (а) и неупругом (б) соударениях: 1 – флажок-прерыватель шириной 25 мм, 2 – плоская пластина, 3 – натянутая резинка, 4 – дополнительная масса, 5 – заостренный шип, 6 – пластилин

При упругом соударении плоская пластина (2) первого тела сталкивается с натянутой резинкой (3) на втором теле.

При неупругом столкновении длинный заостренный шип (5) первого тела вдавливаются в пластилин (6) на втором теле, обеспечивая движения первого и

второго тела как единого целого после соударения.

Полная масса как первого, так и второго тела может меняться за счет наличия дополнительных грузиков (4).

Порядок проведения эксперимента

1. Запустите программу виртуальной лабораторной работы «Законы соударения». Нажмите кнопку «Начать эксперимент».
2. Выберите на панели параметров эксперимента (рис. 4) в качестве типа соударения «Упругое соударение».

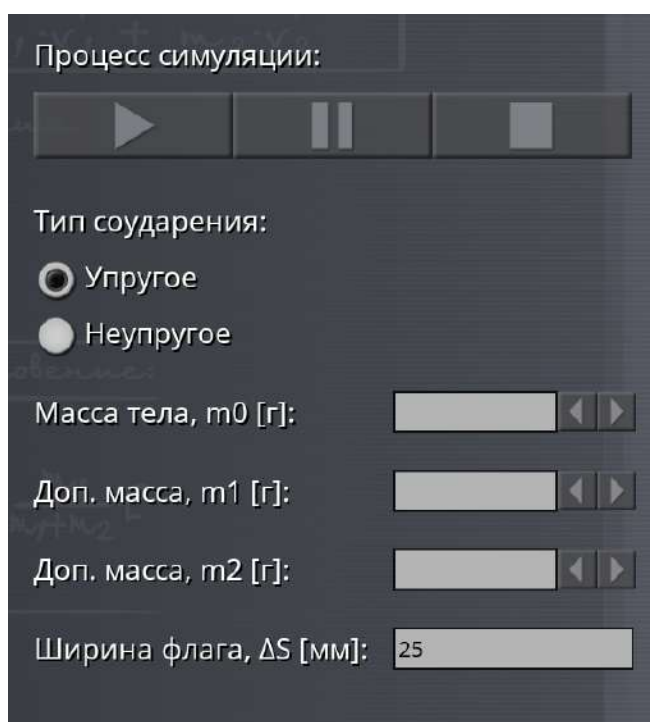


Рис. 4 Панель параметров эксперимента

3. Установите массу тел «**Масса тела, m_0 [г]**» и дополнительную массу для первого тела «**Доп. масса, m_1 [г]**» равными заданным преподавателем значениям. В этом случае полная масса первого тела будет равна:

$$M_1 = m_0 + m_1.$$

Запишите эту массу в таблицу 1.

4. Проведите соударения тел, изменяя дополнительную массу для второго тела «Доп. масса, m_2 [г]» в интервале от 0 до 100 г с шагом 20 г. Заносите в таблицу 1 значения полной массы второго тела

$$M_2 = m_0 + m_2,$$

а также значения времени Δt_1 и Δt_2 , измеренные цифровым секундомером.

5. Повторите все действия пунктов 1–4, выбрав в настройках процесса симуляции в качестве типа соударения «Неупругое соударение» и записывая получаемые результаты в таблицу 1.

Таблица 1. Показания цифрового секундомера в зависимости от массы второго тела.

	M_1 _____ г					
№	Упругий удар			Неупругий удар		
	M_2 , г	Δt_1 , мс	Δt_2 , мс	M_2 , г	Δt_1 , мс	Δt_2 , мс
1	m_0			m_0		
2	$m_0 + 20$			$m_0 + 20$		
...	...	...	...	...	...	...
6	$m_0 + 100$			$m_0 + 100$		

Обработка результатов

1. Используя данные таблицы 1, вычислите значения скорости тел

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

где $\Delta S = 25$ мм – ширина флажков-прерывателей, Δt – время прерывания датчика.

Значения скоростей V_1 и V_2' и их отношение занесите в таблицу 2.

2. По данным таблицы 2 постройте зависимость отношения скоростей от полной массы второго тела $\frac{V_1}{V_2'}$ для каждой серии измерений.

Таблица 2. Вычисление $\frac{V_1}{V_2'}$

№	Упругий удар				Неупругий удар			
	M_2, Γ	$V_1, \text{м/с}$	$V_2', \text{м/с}$	V_1/V_2'	M_2, Γ	$V_1, \text{м/с}$	$V_2', \text{м/с}$	V_1/V_2'
1	m_0				m_0			
2	$m_0 + 20$				$m_0 + 20$			
...	...	...	...		...	...	...	
6	$m_0 + 100$				$m_0 + 100$			

3. Для каждой зависимости методом парных точек вычислите угловой коэффициент, заполнив таблицу 3 отдельно для упругого и неупругого ударов.

Таблица 3. Вычисление углового коэффициента

Пары точек i-j	$\Delta M_{2,ij},$ Γ	$\Delta \left(\frac{V_1}{V_2'} \right)_{ij}$	$k_{ij},$ $1/\Gamma$	$k_{ij} - \langle k \rangle,$ $1/\Gamma$	$(k_{ij} - \langle k \rangle)^2,$ $1/\Gamma^2$
			$\langle k \rangle =$		$\sum_{ij} (k_{ij} - \langle k \rangle)^2 =$

4. По полученным данным вычислите значения полной массы первого тела, соответствующие каждой серии измерений, а также погрешность ее экспериментального определения ΔM_1 .

В случае упругого удара

$$M_{1, \text{упр}} = \frac{1}{2k_{\text{упр}}}, \quad \Delta M_{1, \text{упр}} = M_{1, \text{упр}} \frac{\Delta k_{\text{упр}}}{k_{\text{упр}}}$$

В случае неупругого удара

$$M_{1, \text{неупр}} = \frac{1}{k_{\text{неупр}}}, \quad \Delta M_{1, \text{неупр}} = M_{1, \text{неупр}} \frac{\Delta k_{\text{неупр}}}{k_{\text{неупр}}}$$

5. Запишите полученные значения в окончательные результаты.
6. Сравните полученные результаты друг с другом и с полной массой первого тела, заданной на панели параметров эксперимента.

Контрольные вопросы

1. Какие свойства пространства и времени лежат в основе законов сохранения импульса и энергии?
2. Какие столкновения принято называть абсолютно упругими, а какие – абсолютно неупругими?
3. Каким образом осуществляется экспериментальное определение скорости движения двух сталкивающихся тел?
4. Какие методы могут быть использованы при обработке экспериментальных данных?
5. Используя законы сохранения энергии и импульса, получите соотношение (3) для упругого удара

Литература

1. Савельев И. В. Курс общей физики: учебное пособие для вуза: в 5 томах / И. В. Савельев. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – Т. 1: Механика. – 340 с.
2. Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: метод. указания / сост.: Б. Д. Агапьев, В. В. Козловский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – 61 с.