

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
Отделение естественных наук ШБИП

УТВЕРЖДАЮ
Директор ШБИП
_____ Д.В. Чайковский
«__» _____ 2022 г.

О.Г. Ревинская, Н.С. Кравченко

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Учебно-методическое пособие по изучению моделей физических
процессов и явлений на компьютере
с помощью лабораторной работы № МодМ–03
для студентов всех специальностей

Издательство
Томского политехнического университета
2022

УДК 53. 076

Ревинская О.Г.

Закон сохранения импульса: учебно-методическое пособие по изучению моделей физических процессов и явлений на компьютере с помощью лабораторной работы № МодМ–03 для студентов всех специальностей / О.Г. Ревинская, Н.С. Кравченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 10 с.

УДК 53.076

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию
методическим семинаром отделения естественных наук ШБИП

«___» _____ 20__ г.

Зав. ОЕН ШБИП
проф., доктор физ.-мат. наук

В.П. Кривобоков

Председатель учебно-методической комиссии

А.В. Макиенко

Рецензент

доктор тех. наук, профессор Томского политехнического университета
В.А. Москалев

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2002–2022
© Ревинская О.Г., Кравченко Н.С., 2002–2022
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2022

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № МодМ–03 ПО ИЗУЧЕНИЮ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА КОМПЬЮТЕРЕ

Закон сохранения импульса

Цель работы: Проверка закона сохранения импульса. Изучение движения осколков разорвавшегося тела. Определение начального импульса разорвавшегося тела.

1. Теоретическое содержание

Импульс тела – это векторная физическая величина, численно равная произведению массы тела на его скорость. Направление вектора импульса тела совпадает с направлением вектора его скорости.

Согласно **закону сохранения импульса** суммарный импульс замкнутой системы тел сохраняется, то есть остается постоянным при любых взаимодействиях тел внутри системы. 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.

В данной работе рассматривается тело массой m_0 , движущееся равномерно и прямолинейно в горизонтальном направлении со скоростью \vec{v}_0 . Следовательно, внешние силы отсутствуют или их действие скомпенсировано. В некоторый момент времени тело распадается (разрывается) на два осколка массами m_1 и m_2 . Каждый осколок также движется равномерно и прямолинейно со скоростями \vec{v}_1 и \vec{v}_2 , направленными под углами α_1 и α_2 к направлению движения первоначального тела, соответственно (рис. 1): угол α_1 отсчитывается от направления движения пер-

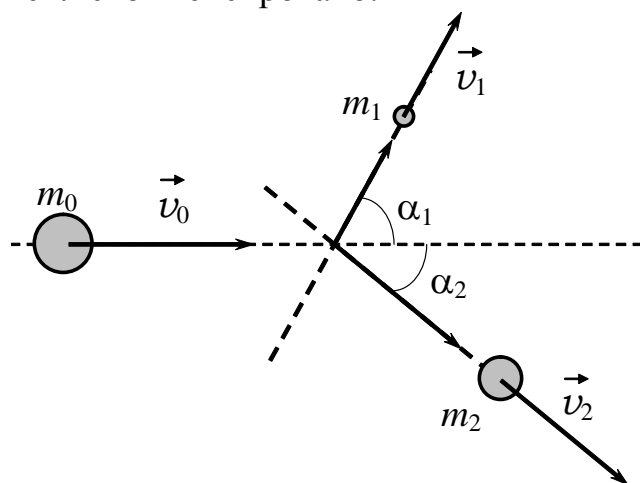


Рис. 1

воначального тела против часовой стрелки, а угол α_2 – по часовой стрелки.

До разрыва замкнутая система состояла из одного тела массой m_0 и обладала импульсом $\vec{p}_0 = m_0 \vec{v}_0$. После разрыва система состоит из двух тел: осколка массой m_1 с импульсом $\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$ и осколка массой m_2 с импульсом $\vec{p}_2 = m_2 \vec{v}_2$. Согласно закону сохранения импульсы системы до разрыва и после разрыва должны быть одинаковы. То есть векторная сумма импульсов осколков \vec{p}_1 и \vec{p}_2 должна быть равна импульсу первоначального тела \vec{p}_0 . Тогда для данной системы тел закон сохранения импульса имеет вид:

$$\vec{p}_0 = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

или

$$m_0 \vec{v}_0 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

Импульсы осколков \vec{p}_1 и \vec{p}_2 складываются по правилу треугольников. Суммарный импульс осколков \vec{p} можно определить из теоремы косинусов (рис. 2):

$$p^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1 p_2 \cos \beta.$$

В треугольнике $\beta = 180^\circ - \alpha_1 - \alpha_2$;

$$\cos(180^\circ - \alpha_1 - \alpha_2) = -\cos(\alpha_1 + \alpha_2).$$

Тогда теорема косинусов примет вид:

$$p^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_2),$$

а числовое значение суммарного импульса p осколков равно

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_2)}.$$

В данной работе необходимо убедиться, что закон сохранения импульса выполняется: суммарный импульс осколков p равен импульсу p_0 первоначального тела при любом движении осколков.

Суммарная масса осколков m_1 и m_2 равна массе первоначального тела $m_0 = m_1 + m_2$. Каждый осколок представляет собой часть первоначального тела. Относительная масса первого осколка $k_1 = \frac{m_1}{m_0}$; относительная масса второго осколка $k_2 = \frac{m_2}{m_0} = 1 - k_1$.

Чтобы вычислить суммарный импульс p осколков, необходимо знать массы осколков $m_1 = k_1 m_0$ и $m_2 = (1 - k_1) m_0$, скорости осколков v_1 и v_2 , а также углы α_1 и α_2 между направлением движения первоначального тела и направлениями движения осколков.

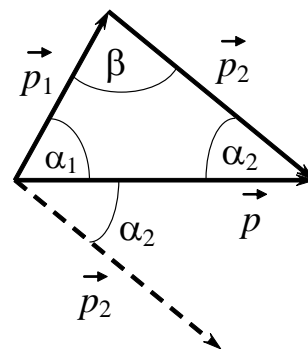


Рис. 2

2. Модель экспериментальной установки

В данной работе с помощью средств компьютерной графики моделируется процесс равномерного прямолинейного движения тела. Тело движется на фоне транспортира вдоль его горизонтального диаметра. Когда тело достигает центра транспортира, оно разрывается на два осколка. Осколки тоже движутся равномерно и прямолинейно от центра к краю транспортира. По краю транспортира установлены «ловушки». Радиус транспортира 10 м. Транспортир используется для определения углов между направлением движения первоначального тела и направлениями движения осколков. Точность измерения углов составляет 1° . Для определения времени движения осколков используются секундомеры, способные измерять время с точностью до 1 миллисекунды. При указанных условиях погрешность определения суммарного импульса осколков в эксперименте не превышает 2–5%.

Работа выполняется на IBM-совместимом персональном компьютере в виде самостоятельного Windows-приложения. Для удобства выполнения работы в программе предусмотрены три раздела: кратное описание работы; порядок выполнения работы и эксперимент. Переключение между разделами осуществляется с помощью кнопок «Ход работы» и «Эксперимент». Нажатие этих кнопок в зависимости от контекста работы программы приводит либо к вызову соответствующих разделов, либо к возвращению в раздел описания. Раздел программы «Эксперимент» содержит панель инструментов с кнопками для выбора первоначального тела, ползунков для регулирования относительной массы первого осколка и два секундомера для измерения времени движения осколков.

Варианты выполнения работы

Вариант	Тело	Вариант	Тело	Вариант	Тело
1	Тело А	8	Тело Н	15	Тело О
2	Тело В	9	Тело I	16	Тело Р
3	Тело С	10	Тело J	17	Тело Q
4	Тело D	11	Тело К	18	Тело R
5	Тело Е	12	Тело L	19	Тело S
6	Тело F	13	Тело М	20	Тело T
7	Тело G	14	Тело N		

3. Порядок выполнения работы

3.1. Краткое описание хода работы

1. Выберите тело, которое будет участвовать в эксперименте (по указанию преподавателя).
2. Установите минимальное значение массы первого осколка.
3. Выполните эксперимент.
4. Измерьте время движения осколков и углы, характеризующие направления движения осколков.
5. Опыт повторите 4 раза.
6. Установите другое значение массы первого осколка и повторите опыт, начиная с пункта 3.
7. Повторите опыт для пяти значений массы первого отколка.
8. Для каждого опыта вычислите скорости, массы и импульсы осколков.
9. Вычислите суммарный импульс осколков.
10. Вычислите относительную и абсолютную погрешности суммарного импульса.
11. Сравните значение импульса разорвавшегося тела со значением суммарного импульса осколков в каждом опыте.
12. Сравните значение среднего квадратичного отклонения суммарного импульса со средней погрешностью суммарного импульса.
13. Сделайте выводы.

3.2. Подробное описание хода работы

При выполнении работы рекомендуется следующая последовательность действий:

1. На панели инструментов «*Тело*» расположены кнопки с изображением тел, обладающих различным импульсом. Тела, имеющие различные импульсы окрашены в различные цвета: тело А – алое; тело В – светло-синее; тело С – розовое; тело D – желтое; тело Е – светло-зеленое; тело F – красное и т.д. Нажав соответствующую кнопку, выберите тело, которое будет участвовать в эксперименте (по указанию преподавателя). Для выбранного тела под кнопками на панели инструментов «*Тело*» автоматически указывается масса и скорость тела, необходимые для определения теоретического значения его импульса в дальнейшем.

2. В ходе эксперимента тело разрывается на два осколка. Первый осколок имеет цвет первоначального тела, второй – белый. Для регулирования относительной массы (доли) первого осколка используется ползунок «*Относительная масса первого осколка*». Установите ползунок в крайнее левое положение, которое соответствует минимально возможной массе первого осколка (0,1 массы разорвавшегося тела). Тогда масса второго осколка будет максимальной (0,9 массы разорвавшегося тела). Если ползунок перемещать вправо, масса первого осколка увеличивается, а

второго – уменьшается. Выбранное значение относительной массы первого осколка указывается над ползунком.

3. Нажмите кнопку **«Начать эксперимент»**. Начнется движение выбранного тела. Во время выполнения эксперимента кнопки на панели инструментов и ползунков изменения относительной массы первого осколка недоступны. Когда тело достигнет центра транспортира, оно разорвется на два осколка разных цветов. Одновременно включаются два секундомера. Осколки движутся от центра к краю транспортира. По краю транспортира установлены «ловушки». Когда осколок попадает в ловушку, следящий за ним секундомер автоматически останавливается. Чтобы сделать эксперимент проще, секундомеры имеют те же цвета, что и осколки.

Если в процессе эксперимента Вы вспомнили, что неправильно установили какие-либо параметры (выбрали тело или задали относительную массу осколка), нажмите на кнопку **«Остановить эксперимент»**. Тело (или осколки) и секундомеры остановятся. Кнопки на панели инструментов и ползунков изменения относительной массы первого осколка станут доступными. После этого можно сделать необходимые изменения и вновь выполнить эксперимент.

4. Во время движения после осколков остается след (траектория) того же цвета, что и осколок. Когда оба осколка попали в ловушки, эксперимент закончен. Время движения каждого из осколков автоматически фиксируется секундомером того же цвета, что и осколок.

После окончания эксперимента дугами отмечаются углы между направлениями движения осколков и первоначальным направлением движения тела. По транспортиру можно отсчитывать углы в пределах от 0 до 180° как по часовой стрелке, так и против.

Для первого осколка угол, характеризующий направление его движения относительно первоначального направления движения тела, следует считать положительным (в пределах от 0 до 180°), если отсчет по транспортиру выполняется против часовой стрелки. Если для определения направления движения первого осколка отсчет по транспортиру приходится выполнять по часовой стрелке, то угол следует считать отрицательным (в пределах от 0 до –180°).

Для второго осколка, наоборот, угол следует считать положительным, если отсчет по транспортиру выполняется по часовой стрелке, и отрицательным, если угол отсчитывается против часовой стрелки.

По транспортиру определите УГЛЫ, характеризующие направления движения каждого из осколков, С ТОЧНОСТЬЮ до 1 ГРАДУСА.

5. Не изменяя относительную массу первого осколка, снова нажмите кнопку **«Начать эксперимент»**. Эксперимент повторится с новым телом той же массы, движущимся с той же скоростью, которое разорвется на осколки той же массы, что и ранее. При этом осколки могут двигаться в других направлениях по сравнению с предыдущим опытом. Опыт повторите 4 раза и выполните измерения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЗАПИШИТЕ В ТАБЛИЦУ.

6. С помощью ползунка **«Относительная масса первого осколка»** установите новое значение массы первого осколка. Относительная масса (доля) второго осколка также изменится (уменьшится). Выбранное значение относительной массы первого осколка указывается над ползунком.

ВНИМАНИЕ! Изменение массы первого осколка в ходе эксперимента НЕВОЗМОЖНО. Повторите опыт, начиная с пункта 3.

7. Выполните по четыре опыта для пяти различных значений относительных масс первого осколка. РЕКОМЕНДУЕТСЯ изменять относительную массу первого осколка равномерно, на одинаковую величину.

8. Для каждого опыта вычислите скорости, массы и импульсы осколков следующим образом.

Масса m_0 первоначального тела и относительная масса осколков k_1 и k_2 известны, вычислите массу каждого осколка: $m_1 = k_1 m_0$ и $m_2 = k_2 m_0 = (1 - k_1) m_0$.

На рассматриваемую систему тел внешние силы не действуют. Поэтому и тело, и осколки движутся равномерно и прямолинейно. Ловушки установлены на одинаковом расстоянии (10 м) от места разрыва. Секундомеры фиксируют время t_1 и t_2 , за которое оба осколка прошли одинаковое расстояние $S = 10$ м. Чтобы найти скорости осколков, достаточно пройденное ими расстояние разделить на время движения каждого осколка $v_1 = \frac{S}{t_1}$ и $v_2 = \frac{S}{t_2}$.

Массы и скорости осколков известны, легко найти значения их импульсов

$$p_1 = m_1 v_1 \text{ и } p_2 = m_2 v_2.$$

Вычислите скорости и импульсы осколков с точностью до четырех значащих цифр.

9. Вычислите суммарный импульс осколков.

Известны угол $\alpha_1 + \alpha_2$ между направлениями движения осколков и значения их импульсов p_1 и p_2 , по теореме косинусов определите суммарный импульс осколков $p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_2)}$.

Необходимо, чтобы значения суммарного импульса, полученные из всех экспериментов, имели одинаковое количество значащих цифр (не менее четырех).

10. Вычислите относительную и абсолютную погрешность суммарного импульса осколков в каждом эксперименте. Вычислите среднюю абсолютную погрешность суммарного импульса.

11. Вычислите теоретическое значение импульса разорвавшегося тела: $p_0 = m_0 v_0$. Сравните значение импульса разорвавшегося тела со значением суммарного импульса осколков в каждом опыте. Определите среднее квадратичное отклонение суммарного импульса.

12. Сравните значение среднего квадратичного отклонения суммарного импульса со средней погрешностью суммарного импульса. Что больше?

13. Сделайте вывод. Зависит ли значение суммарного импульса осколков от отношения их масс и от направления их движения? Можно ли считать, что закон сохранения импульса в данной работе выполняется? Почему?

4. Контрольные вопросы

1. Что такое импульс тела?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса.
3. Опишите схему эксперимента. Запишите закон сохранения импульса для этого эксперимента.
4. Как вычислить суммарный импульс осколков разорвавшегося тела?
5. Значения каких величин надо знать, чтобы вычислить суммарный импульс осколков?

6. Сформулируйте цель работы.

7. Кратко опишите последовательность выполнения работы.

Таблица

Тело ...

Масса m_0 , кг		Скорость v_0 , м/с					Импульс p_0 , кг·м/с							
1 осколок						2 осколок								
Относительная масса осколка	Масса осколка m_1 , кг	\vec{n}_0	Время движения t_1 , с	Угол α_1 , °	Скорость v_1 , м/с	Импульс p_1 , кг·м/с	Относительная масса осколка	Масса осколка m_2 , кг	\vec{n}_0	Время движения t_2 , с	Угол α_2 , °	Скорость v_2 , м/с	Импульс p_2 , кг·м/с	Суммарный импульс p , кг·м/с
		1							1					
		2							2					
		3							3					
		4							4					
		1							1					
		∴							∴					
		4							4					

Учебное издание

РЕВИНСКАЯ Ольга Геннадьевна
КРАВЧЕНКО Надежда Степановна

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Учебно-методическое пособие по изучению моделей
физических процессов и явлений на компьютере
с помощью лабораторной работы № МодМ–03
для студентов всех специальностей

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати __. __. 2022. Формат 60x84/16. Бумага «Классика».
Печать RISO. Усл.печ.л. 1,86. Уч.-изд.л. 1,68.
Заказ . Тираж 50 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru