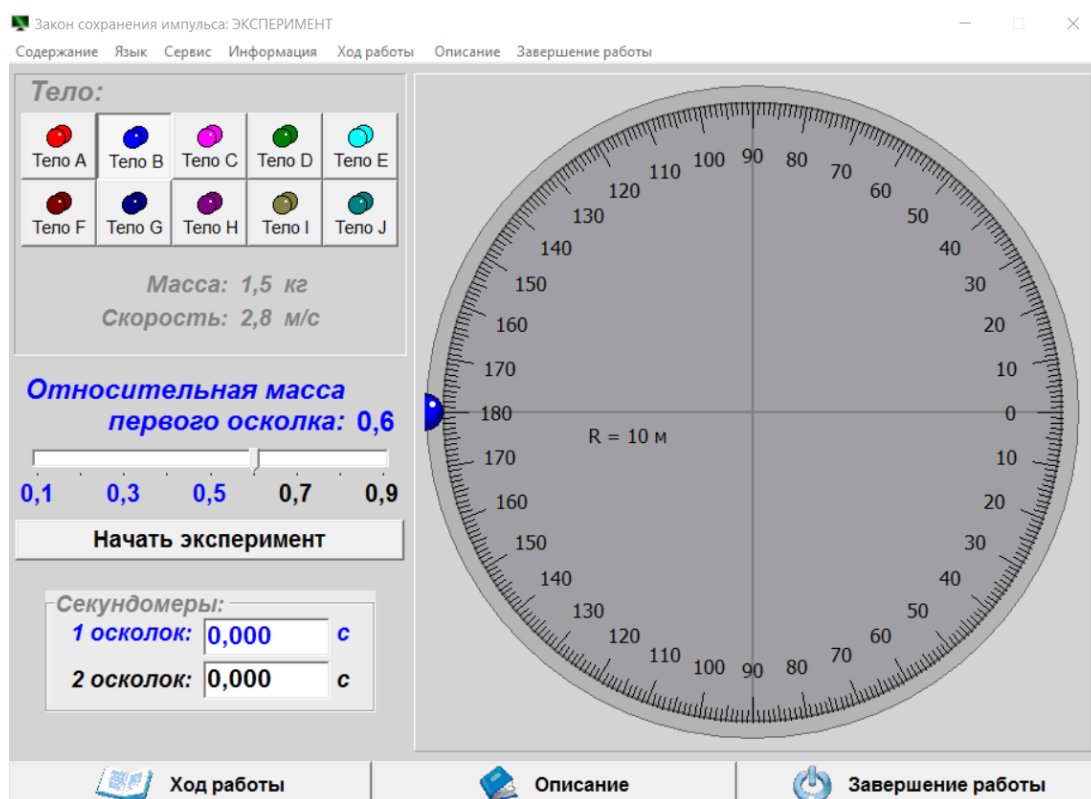


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Г. Рипп, Е.В. Мирошниченко



Закон сохранения импульса

Учебное пособие

по общей физике для студентов технических
и естественно-научных специальностей

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 53.08 (075.8)
P537

Рецензент:

С.В. Чернявская - кандидат физико-математических наук, доцент

А.Г. Рипп

P537 Закон сохранения импульса: учеб. пособие по общей физике /
А.Г. Рипп, Е.В. Мирошниченко. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 10 с.

Учебное пособие разработано преподавателями кафедры «Физика» СевГУ и предназначено для студентов 1 и 2 курсов технических и естественно-научных специальностей, выполняющих лабораторные работы по дисциплинам: «физика» и «физический практикум». В пособии студентам предлагается проверить закон сохранения импульса в конкретной ситуации и проделать оценку случайных погрешностей измерений. Лабораторная установка, на которой предлагается провести эксперименты, виртуальная.

Пособие содержит краткий теоретический материал, описание лабораторной установки, порядок выполнения лабораторной работы и методы оценки погрешности измерений. Материал изложен подробно и в доступной форме. Для студентов, желающих получить больше информации, в конце пособия приводится список литературы.

УДК 53.08 (075.8)

Учебное пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Физика», протокол № 11 от 25 июня 2018 г.

Работа 15. Закон сохранения импульса

Цель работы: Проверка закона сохранения импульса.

1. Краткая теория

Определение 1. Импульсом *материальной точки* $\mathbf{p}$ называется векторная физическая величина, равная произведению массы точки m на её скорость $\mathbf{v}$:

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}.$$

Определение 2. Импульсом *системы* материальных точки $\mathbf{p}$ называется векторная физическая величина, равная сумме импульсов материальных точек, входящих в систему.

$$\mathbf{p} = \sum_{(i)} \mathbf{p}_i = \sum_{(i)} m_i \mathbf{v}_i.$$

Определение 3. Система материальных точек называется *замкнутой*, если на неё не действуют внешние силы.

Закон сохранения импульса

Импульс замкнутой системы *сохраняется*, то есть остается постоянным при любых взаимодействиях точек системы друг с другом.

В данной лабораторной работе рассматривается замкнутая система – снаряд массой m_0 , движущийся равномерно со скоростью $\mathbf{v}_0$. В некоторый момент времени снаряд распадается (разрывается) на два осколка массами m_1 и m_2 . Осколки после взрыва движутся равномерно со скоростями $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$, направленными соответственно под углами α_1 и α_2 к направлению движения снаряда (рис. 1).

Закон сохранения импульса в данной ситуации состоит в том, что

$$\mathbf{p}_0 = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2, \quad m_0 \mathbf{v}_0 = m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2.$$

Для того чтобы перейти от векторного уравнения к скалярному, можно поступить двумя способами. Первый способ: возвести левую и правую части векторного уравнения в квадрат. Второй способ: выбрать систему координат и переписать векторное уравнение, заменив в нём векторы на проекции.

Рассмотрим сначала, что даёт первый способ.

$$p_0^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \theta, \quad (1)$$

где θ – угол между импульсами осколков, то есть между векторами $\mathbf{p}_1$ и $\mathbf{p}_2$. Этот угол называется *углом разлёта*, и он равен сумме *углов отлёта* осколков α_1 и α_2 :

$$\theta = \alpha_1 + \alpha_2.$$

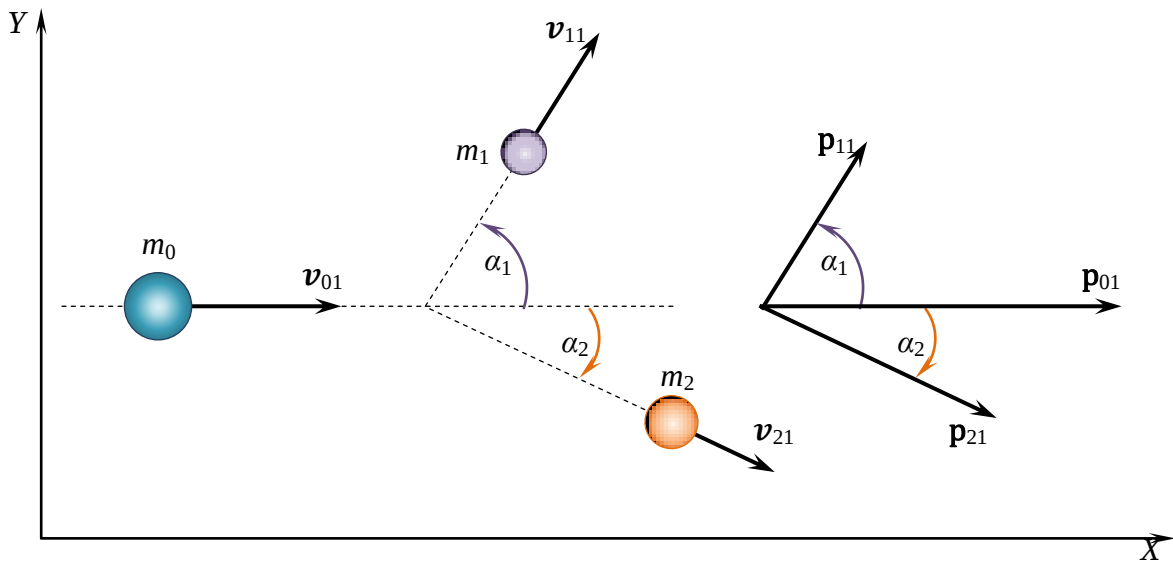


Рис. 1.1. Схема эксперимента

Второй способ даёт два уравнения: первое для проекций на ось OX , второе – для проекций на ось OY :

$$p_0 = p_1 \cos \alpha_1 + p_2 \cos \alpha_2, \quad (2)$$

$$0 = p_1 \sin \alpha_1 - p_2 \sin \alpha_2. \quad (3)$$

Уравнения (1) – (3) можно проверить экспериментально. Предлагается это сделать так.

- Провести серию опытов, в каждом из этих опытов измерять пять величин: импульс снаряда p_0 , импульсы осколков p_1 , p_2 и углы отлёта α_1 , α_2 .
- По результатам каждого из опытов определить значения p_0 , p_0^2 и правых частей уравнений (1), (2) и (3):

$$A = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \theta,$$

$$B = p_1 \cos \alpha_1 + p_2 \cos \alpha_2,$$

$$C = p_1 \sin \alpha_1 - p_2 \sin \alpha_2,$$

- Оценить случайные погрешности результатов измерений $\Delta(A)$, $\Delta(B)$ и $\Delta(C)$.

Убедиться, что с учётом погрешностей измерений выполняются равенства:

$$A = p_0^2, \quad B = p_0, \quad C = 0.$$

Если эксперименты покажут, что эти равенства выполняются, то тем самым будет экспериментально подтверждён закон сохранения импульса.

2. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка – *виртуальная*. Она разработана в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

При вызове программы открывается окно «Закон сохранения импульса». В центральной части окна приведены цель работы и краткое описание работы. Внизу окна – три управляющие кнопки:

- **Ход работы.** При нажатии этой кнопки открывается окно, в котором показан порядок выполнения работы. Эту кнопку нажимать *не надо*, так как в данном пособии вам предлагается порядок выполнения лабораторной работы, который несколько отличается от того, который предлагают разработчики программы.
- **Эксперимент.** При нажатии на эту кнопку открывается окно с экспериментальной установкой.
- **Завершение работы.** Эта кнопка вызывает выход из программы.

Окно «Эксперимент» показано на рис. 2.1. Оно содержит два раздела: панель инструментов (слева) и окно визуализации (справа).

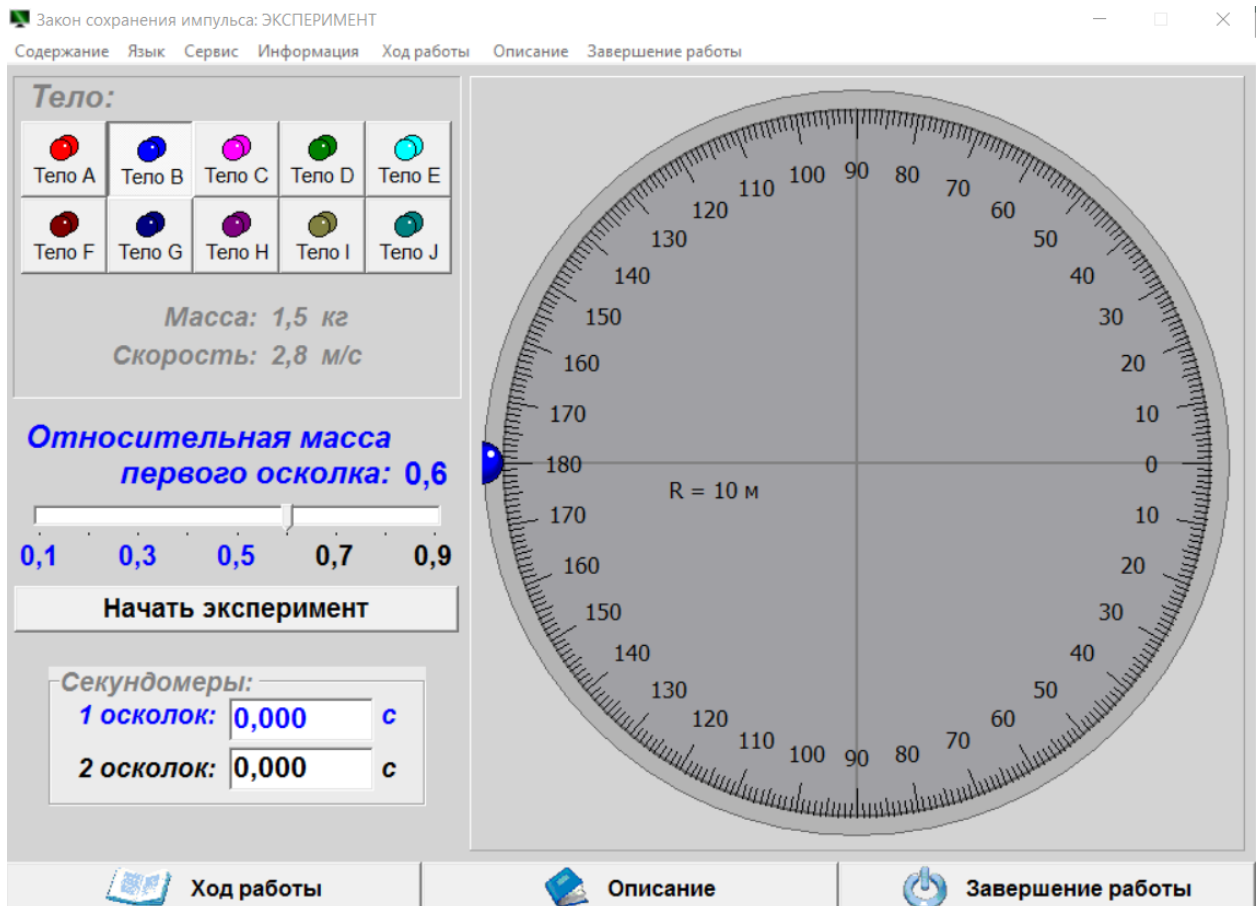


Рис. 2.1. Окно «Эксперимент»

При нажатии кнопки **«Начать эксперимент»** опыт начинается – в окне визуализации вы видите, как снаряд массой m_0 влетает в горизонтальном направлении в камеру (сферу радиусом R) и взрывается в центре камеры. В результате взрыва образуются два осколка с массами m_1 и m_2 , разлетающиеся с *разными скоростями* и в *разных направлениях*.

По всему корпусу камеры (по внутренней поверхности сферы) размещены ловушки, которые не дают возможность осколкам вылететь из камеры и при этом фиксируют *место и момент попадания* каждого осколка на корпус. Для этого на корпусе нанесена шкала углов (транспортир), позволяющая измерить углы отклонения каждого осколка от направления движения снаряда (*углы отлёта*) α_1 и α_2 . В момент взрыва включаются два секундомера, которые останавливаются в моменты попадания осколков в ловушки и тем самым показывают время полёта каждого из осколков t_1 и t_2 . Зная R , t_1 и t_2 , можно измерить скорости осколков v_1 и v_2 .

Обратите внимание: при повторении опыта с тем же самым снарядом его импульс p_0 будет тем же самым, однако углы отлёта и скорости осколков – в каждом опыте *случайны*. Поэтому для проверки закона сохранения импульса целесообразно провести не один опыт, а серию, после чего следует результаты опытов усреднить и оценить разброс этих результатов.

Панель инструментов содержит три окна и кнопку «Начать эксперимент».

- Окно **«Тело»**.

Служит для выбора снаряда – из 10 возможных. После выбора снаряда внизу окна появляются значения массы снаряда m_0 и скорости снаряда v_0 .

- Окно **«Относительная масса первого осколка»**.

Это – линейка с бегунком, позволяющая выбрать отношение массы первого осколка к массе снаряда $\mu_1 = \frac{m_1}{m_0}$. После этого можно определить массу первого осколка по формуле $m_1 = m_0 \mu_1$.

- Окно **«Секундомеры»**.

В этом окне – два секундомера, которые включаются в момент взрыва снаряда (в центре сферы) и выключаются в моменты попадания осколков в ловушки на поверхности сферы. Они показывают время полёта каждого из осколков до сферы t_1 и t_2 .

3. Порядок выполнения работы

- 3.1. Включите режим **«Эксперимент»** и обратитесь к преподавателю для того, чтобы он выбрал для вас снаряд и относительную массу первого осколка μ_1 . После этого заполните табл. 1. «Условия экспериментов».
- 3.2. Нажмите кнопку **«Начать эксперимент»**. Снаряд начнёт движение в горизонтальном направлении, в центре сферы он взорвётся, и в разные стороны

Условия экспериментов

Снаряд			
Масса снаряда	m_0	кг	
Скорость снаряда	v_0	м/с	
Импульс снаряда	p_0	кг·м/с	
Квадрат импульса снаряда	p_0^2	(кг·м/с) ²	
Радиус сферы	R	м	
Относительная масса первого осколка	μ_1		
Масса первого осколка	m_1	кг	
Масса второго осколка	m_2	кг	
Погрешности заданных величин	$\Delta(m_0)$	кг	
	$\Delta(v_0)$	м/с	
	$\Delta(p_0)$	кг·м/с	
	$\Delta(p_0^2)$	(кг·м/с) ²	

3.3. В момент попадания каждого из осколков в ловушку (на поверхность сферы) соответствующий секундомер останавливается. Запишите в табл. 2 показания секундомеров t_1 и t_2 , а также углы отлёта осколков α_1 и α_2 . Первым осколком считается тот, цвет которого совпадает с цветом снаряда, второй осколок – белый. Обратите внимание на *знаки* углов отлёта: если первый осколок полетел в верхнюю половину сферы, а второй – в нижнюю, то углы отлёта следует считать *положительными*, если же первый осколок полетел в нижнюю половину сферы, а второй – в верхнюю, то углы отлёта следует считать *отрицательными*.

Т а б л и ц а 2

Серия измерений времени полёта и углов отлёта осколков, а также величин A , B и C

[illegible]

3.4. Прodelайте пункт 3.2 – 3.3 ещё 9 раз.

3.5. Нажмите кнопку «**Завершение работы**».

3.6. Заполните остальные столбцы табл. 2. Импульсы p_1 и p_2 следует определять так:

$$p_1 = m_1 v_1 = m_1 \frac{R}{t_1}, \quad p_2 = m_2 v_2 = m_2 \frac{R}{t_2}.$$

3.7. Прокомментируйте результаты измерений величин A , B и C .

3.8. Определите средние результаты измерений величин A , B и C и случайные погрешности измерений, для чего заполните табл. 3.

Для определения средних значений используйте функцию СРЗНАЧ, для определения среднеквадратичных отклонений – СТАНДОТКЛОН, для оценки случайных погрешностей – ДОВЕРИТ.НОРМ или ДОВЕРИТ.

Пояснение. У функций ДОВЕРИТ.НОРМ и ДОВЕРИТ три аргумента:

- **Альфа** (уровень значимости). Он равен $1 - W$, где W – это доверительная вероятность. Значение доверительной вероятности рекомендуется принять равным $= 0,9$, но вы можете выбрать и другое значение.
- **Станд_откл** – это среднеквадратическое отклонение, которое вам выдаст функция СТАНДОТКЛОН.
- **Размер** – это объём выборки, то есть количество проведённых опытов. Вам предложено провести 10 опытов.

Т а б л и ц а 3

Результаты измерений величин A , B и C

Величина	Размерность	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Доверительная вероятность	Случайная погрешность
A	$(\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с})^2$				
B	$\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}$				
C	$\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}$				

Запишите в стандартной форме результаты измерений величин p_0 , p_0^2 , A , B и C и прокомментируйте эти результаты.

3.9. Сформулируйте выводы.

4. Оценка погрешностей заданных величин

В данной лабораторной работе вам непосредственно даны две величины: масса снаряда m_0 и скорость снаряда v_0 , а зная их, вы определяете ещё две величины, которые вам понадобятся для проверки закона сохранения импульса: импульс снаряда p_0 и квадрат импульса снаряда p_0^2 .

4.1. Погрешности массы и скорости снаряда.

Массу и скорость снаряда вы видите в окне «Тело» в кг и в м/с, в виде чисел с одним знаком после запятой. Поэтому погрешности этих величин естественно считать равны $\Delta(m_0) = 0,1$ кг, $\Delta(v_0) = 0,1$ м/с. Однако на самом деле погрешности на порядок меньше – разработчики программы просто не дописали нули в сотых долях, поэтому примите, что $\Delta(m_0) = 0,01$ кг, $\Delta(v_0) = 0,01$ м/с.

4.2. Погрешность импульса снаряда.

Импульс снаряда определяется по формуле $p_0 = m_0 v_0$. Из этой формулы следует:

$$\varepsilon(p_0) = \varepsilon(m_0) + \varepsilon(v_0), \quad \Delta(p_0) = p_0 \varepsilon(p_0).$$

4.3. Погрешность квадрата импульса снаряда.

По общему правилу:

$$\Delta(p_0^2) = \left| \frac{dp_0^2}{dp_0} \right| \Delta(p_0) = 2p_0 \Delta(p_0).$$

5. Контрольные вопросы

- 5.1. Что называется импульсом тела?
- 5.2. В чём состоит Закон сохранения импульса, и каковы условия его применимости?
- 5.3. Что такое «равноускоренное движение»?
- 5.4. Как устроена система, для которой в данной лабораторной работе применяется закон сохранения импульса?
- 5.5. Какими скалярными уравнениями описывается закон сохранения импульса в данной лабораторной работе?
- 5.6. Что такое углы отлёта и угол разлёта?
- 5.7. Что такое «ловушки», используемые в данной лабораторной работе, и какое их назначение?
- 5.8. В чём состоит в данной лабораторной работе способ измерения импульсов осколков?
- 5.9. Что такое относительная масса осколка?
- 5.10. При каком условии результаты экспериментов подтвердят закон сохранения импульса?
- 5.11. Что такое «доверительная вероятность»?

6. Литература

- 6.1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. – М.: Наука, 1989.
- 6.2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989.
- 6.3. Кравченко Н.С., Ревинская О.Г. Лабораторный практикум по изучению моделей физических процессов на компьютере. – Томск: Издательство НИ ТПУ, 2007.
- 6.4. Рипп А.Г. Обработка измерений: метод пособие. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012.

Учебное издание

**Рипп Александр Гешелевич
Мирошниченко Евгения Владимировна**

Закон сохранения импульса

Учебное пособие по общей физике

В авторской редакции

Изд. № 143/18. Объем 0,75 п.л.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»