

Модель пушки

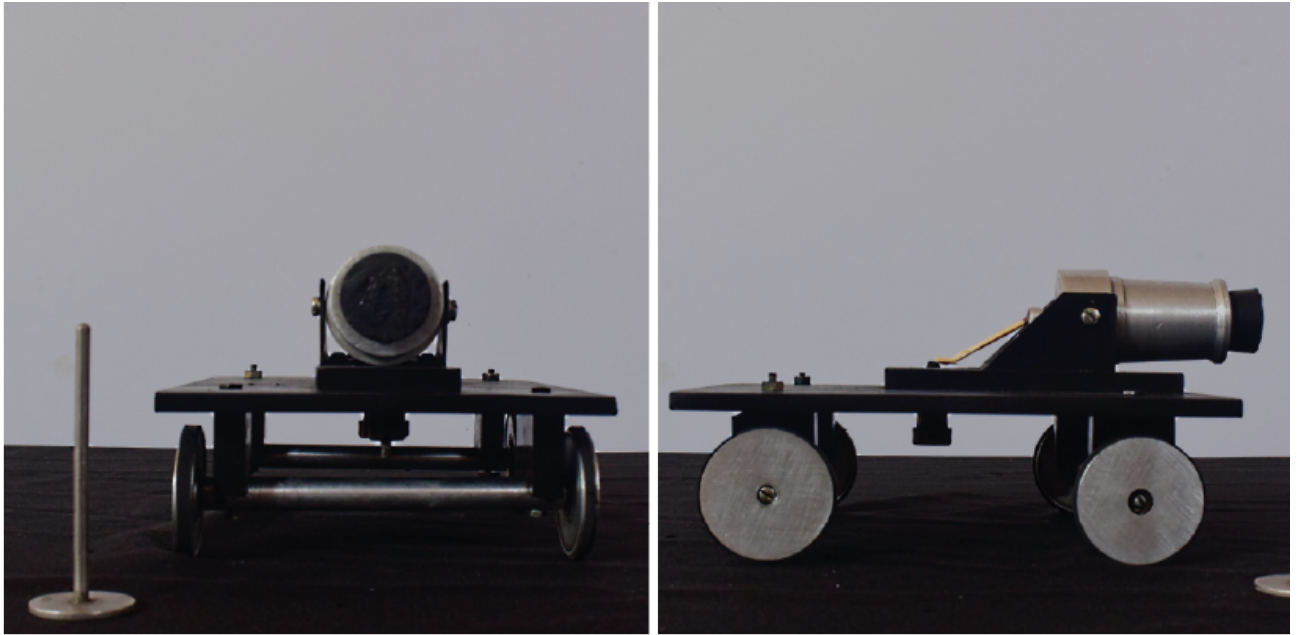


Рис. 1: Демонстрация закона сохранения импульса

Оборудование:

1. Тележка с прикрепленной к ней пушкой.
2. Дымный порох.
3. Резиновая пробка, выполняющая роль снаряда.
4. Штатив с экраном (для торможения вылетевшего снаряда).
5. Буфер для торможения откатившейся пушки.
6. Спички.

Основные определения:

Третий закон Ньютона может быть записан через импульс и импульс силы. Предварительно для изолированной системы, состоящей из двух тел с массами m_1 и m_2 , имеющих начальные скорости \mathbf{v}_1 и \mathbf{v}_2 , необходимо получить связь между скоростями \mathbf{u}_1 и \mathbf{u}_2 , которые приобретут тела

после взаимодействия с силами \mathbf{F}_1 и \mathbf{F}_2 . Так как эти силы равны по модулю и противоположны по направлению, т. е. $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$, а также действуют между телами в течение одинакового времени Δt , следовательно,

$$\mathbf{F}_1 \Delta t = -\mathbf{F}_2 \Delta t. \quad (1)$$

Уравнение (1) можно переписать в виде

$$m_1 \mathbf{u}_1 - m_1 \mathbf{v}_1 = - (m_2 \mathbf{u}_2 - m_2 \mathbf{v}_2).$$

После перегруппировки слагаемых получим:

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = m_1 \mathbf{u}_1 + m_2 \mathbf{u}_2.$$

Оказывается, что сумма импульсов тел изолированной системы остается постоянной при любых взаимодействиях тел. Это же можно выразить и другими словами:

количество движения изолированной системы тел остается постоянным во все время движения системы:

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = \text{const.}$$

Это утверждение называется законом сохранения импульса. Этот закон можно рассматривать как новое выражение третьего закона Ньютона. Но теперь он связывает не значения самих сил, а устанавливает связь между конечными результатами действия этих сил.

Отметим, что закон сохранения импульса в такой же форме можно применять и к некоторым неизолированным системам. Допустим, что на два тела, входящие в систему, кроме внутренних сил, действуют еще и внешние силы \mathbf{F}_1 и \mathbf{F}_2 . Но силы \mathbf{F}_1 и \mathbf{F}_2 таковы, что их сумма равна нулю:

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = 0.$$

Последнее условие означает, что будет равна нулю и сумма импульсов этих сил. Повторяя рассуждения, можно показать, что для неизолированной системы тел будет справедливо следующее утверждение:

если сумма импульсов внешних сил равна нулю, то полный импульс системы тел не изменяется.

Если же сумма импульсов внешних сил не равна нулю, то импульс системы должен меняться. Это изменение будет равно сумме импульсов внешних сил.

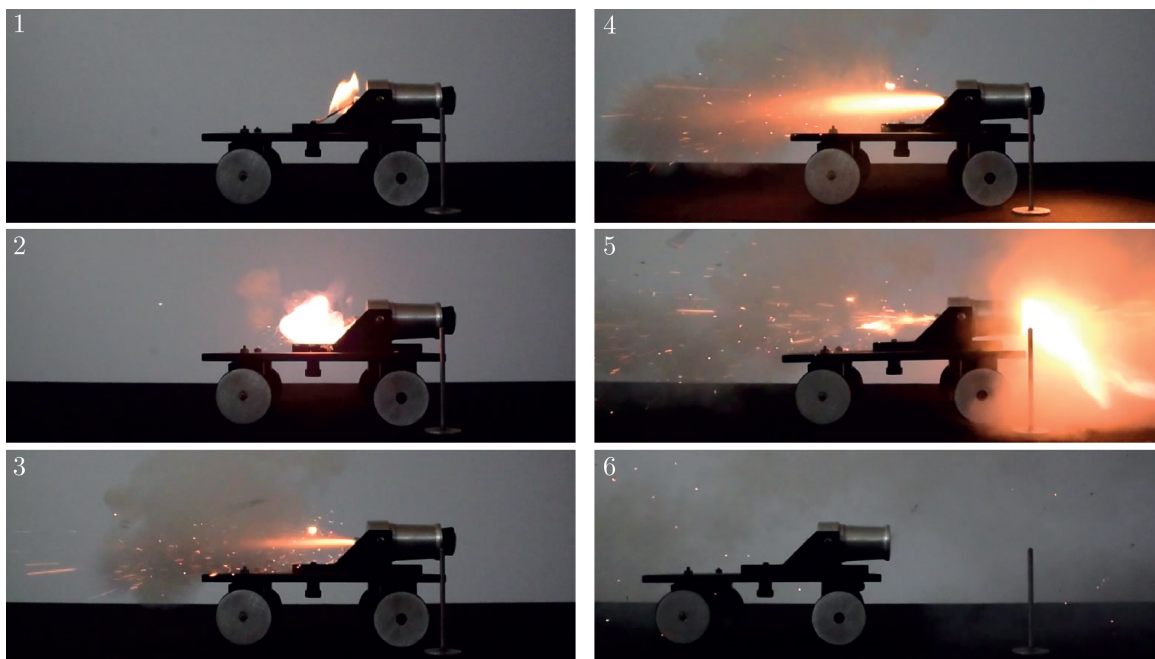


Рис. 2: Покадровое изображение поведения пушки при выстреле

Закон сохранения импульса объясняет такие явления, как реактивное движение, отдачу (или откат) при выстреле, работу гребного винта или весел и другие. Например, если рассматривать ружье и пулю как одну систему, то давление пороховых газов при выстреле будет для этой системы силой внутренней и не может изменить импульс системы, равное до выстрела нулю. Поэтому, сообщая пуле импульс m_1v_1 , направленное к дульному срезу, пороховые газы сообщат одновременно ружью численно такое же, но противоположно направленное импульса m_2v_2 , что вызовет отдачу; из равенства $m_1v_1 = m_2v_2$ (где v_1, v_2 — численные значения скоростей) можно, зная скорость v_1 пули при вылете из ствола, найти наибольшую скорость v_2 отдачи (а для орудия — отката).

Краткое описание демонстрации:

Ствол пушки заполняется дымным порохом, после чего дуло плотно закрывается резиновой пробкой (рис.1), служащей снарядом. С задней стороны ствола пушки располагается фитиль представленный в виде спички. За счет воспламенения фитиля загорается порох внутри пушки. После взрыва резиновая пробка вылетает из пушки, а пушка откатывается назад (рис.2).

Данный опыт показывает, что импульс пушки и снаряда равны по величине, но противоположны по направлению. Таким образом, в дан-

ном опыте наглядно показано выполнение закона сохранения импульса (скорости объектов обратно пропорциональны их массам, а их направления противоположны).

Теория:

Снаряд и пушка являются замкнутой системой, для которой выполняется закон сохранения импульса. В результате выстрела из пушки, импульсы пушки и снаряда изменяются. Сумма же импульсов пушки и находящегося внутри снаряда до выстрела равна сумме импульсов откатающейся пушки и летящего снаряда после выстрела.

Закон сохранения импульса для данной задачи имеет вид

$$\mathbf{P}_{\text{до}} = \mathbf{P}_{\text{после}}, \quad (2)$$

где $\mathbf{P}_{\text{до}}$ — суммарный импульс до выстрела, а $\mathbf{P}_{\text{после}}$ — импульс после выстрела.

$$\mathbf{P}_{\text{до}} = (m_1 + m_2)\mathbf{v}_1 \quad (3)$$

где m_1 — масса пушки, m_2 — масса снаряда, \mathbf{v}_1 — скорость до выстрела. Так как до выстрела пушка со снарядом покоилась, то можно записать:

$$\mathbf{P}_{\text{до}} = (m_1 + m_2)\mathbf{v}_1 = 0 \quad (4)$$

$$\mathbf{P}_{\text{после}} = m_1\mathbf{v}_2 + m_2\mathbf{v}_2 \quad (5)$$

где \mathbf{v}_2 — скорость пушки после выстрела, \mathbf{v}_2 — скорость снаряда после выстрела.