# § 32. Закон сохранения импульса. Реактивное движение

Знаменитый французский философ и математик Рене Декарт (1596—1650) утверждал: «Во Вселенной есть известное количество движения, которое никогда не изменяется. И если одно тело приводит в движение другое, то оно теряет столько своего движения, сколько его сообщает». Как вывести это утверждение из закона изменения импульса?

В предыдущем параграфе мы доказали, что импульс системы тел может измениться только под действием внешних сил:

$$\Delta\vec{p}_{\text{сист}} = \vec{F}_{\text{внеш}}\Delta t. \qquad (1)$$

А если результирующая внешних сил $\vec{F}_{\text{внеш}} = \vec{0}$? Тогда изменение импульса $\Delta\vec{p}_{\text{сист}} = \vec{0}$, и импульс системы остается постоянным:

$$\boxed{\vec{p}_{\text{сист}} = \overrightarrow{\text{const}}}. \qquad (2)$$

Векторное равенство (2) выражает *закон сохранения импульса*. **Импульс механической системы сохраняется, если результирующая внешних сил, действующих на нее, равна нулю.**

В каких случаях можно применять закон сохранения импульса? Прежде всего — когда на систему вообще не действуют внешние силы. Такие системы называют *замкнутыми*. Импульс замкнутой системы не изменяется (сохраняется), как и утверждал Декарт.

Реальные механические системы не бывают замкнутыми. На все окружающие нас тела действует Земля, на Землю действует Солнце и т. д. Однако закон сохранения импульса можно применять и для незамкнутых систем, если:

- внешние силы действуют, но их результирующая $\vec{F}_{\text{внеш}} = \vec{0}$;
- системы «замкнуты» в данном направлении, т. е. проекция $\vec{F}_{\text{внеш}}$ на это направление равна нулю. В этом случае сохраняется проекция импульса $\vec{p}_{\text{сист}}$ на это направление;
- внешние силы малы или ими можно пренебречь.

Например, закон сохранения импульса применяют при решении задач о столкновениях тел, выстрелах и т. д., когда в течение крайне малых промежутков времени внутри системы возникают огромные силы. Рассмотрим пример. Деревянный кубик массой $M$ лежит на горизонтальном столе. В кубик попадает пуля массой $m$

Правообладатель Народная асвета

и застревает в нем (рис. 234). Скорость пули $\vec{v}_0$ перед соударением горизонтальна. Требуется найти скорость $\vec{v}$, которую приобрел кубик.

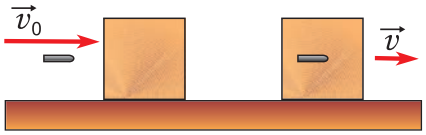


Рис. 234

Замкнута ли система «кубик + пуля»? Нет. Но сила тяжести системы скомпенсирована силой реакции опоры, а сила трения кубика о стол мала. Значит, величиной $\vec{F}_{внеш}\Delta t$ (где $\Delta t$ — время соударения) можно пренебречь и приравнять импульс системы «кубик + пуля» до соударения (равный $m\vec{v}_0$) к импульсу этой системы после соударения $(m + M)\vec{v}$:

$$m\vec{v}_0 = (m + M)\vec{v}.$$

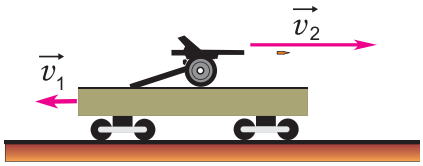


Рис. 235

Значит, скорость кубика вместе с пулей после удара

$$\vec{v} = \frac{m}{m + M}\vec{v}_0. \qquad (3)$$

Соударение, в результате которого тела объединяются и ведут себя как единое целое, называют *абсолютно неупругим ударом.*

Рассмотренный пример — частный случай такого удара. Другими примерами являются соединение вагонов при сцепке, слипание пластилиновых шариков при соударении и т. д.

Рассмотрим теперь пример, в котором происходит не объединение, а разделение частей системы.

На горизонтальном рельсовом пути стоит платформа (рис. 235) с закрепленной на ней пушкой. Установка может свободно катиться по рельсам. Ствол орудия горизонтален. Пушка производит выстрел. Платформа приобретает скорость, направленную противоположно скорости снаряда.

Как найти скорость $\vec{v}_1$ платформы? Сила тяжести, действующая на установку, компенсирована силой реакции рельсов. Трением качения можно пренебречь. Значит, как и в предыдущем примере, можно применить закон сохранения импульса.

Так как импульс системы до выстрела был равен нулю, то после выстрела:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = \vec{0}, \qquad (4)$$

где $m_1$ — масса установки, $m_2$ — масса снаряда, $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ — их скорости после выстрела (рис. 235). Из равенства (4) находим скорость платформы:

$$\vec{v}_1 = -\frac{m_2}{m_1}\vec{v}_2. \qquad (5)$$

Правообладатель Народная асвета

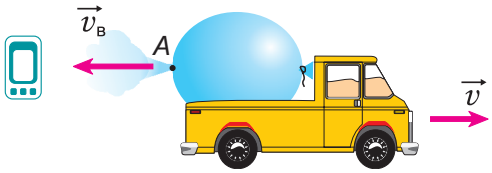


Рис. 236

Почему платформа пришла в движение? Потому что пороховые газы, образовавшиеся в канале ствола при выстреле, действовали как на снаряд, так и на пушку. Сила, приложенная к пушке, вызвала движение платформы с пушкой в направлении, противоположном движению снаряда («отдачу»). Аналогичное явление можно наблюдать на простом опыте. Прикрепим к игрушечному автомобилю надутый воздушный шарик (рис. 236). Проколем его в точке *A* иглой. Образуется струя воздуха, вырывающегося из шарика, и автомобиль приходит в движение. Оно возникло при отделении от тела его части со скоростью, не равной нулю. Его называют *реактивным движением*, а силу, ускоряющую тело, — *реактивной силой*.

Рис. 237

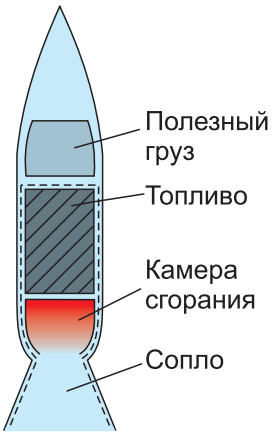


Рис. 238

**Реактивная сила возникает при отделении от тела какой-либо его части со скоростью, не равной нулю (относительно тела).**

Устройство, создающее реактивную силу, называется ***реактивным двигателем***.

Реактивными двигателями оснащены скоростные самолеты, современные космические корабли (рис. 237). Упрощенная схема реактивного двигателя показана на рисунке 238.

Какую скорость $\vec{v}$ приобретет ракета массой $m_1$, если ее двигатель выбросит порцию газа массой $m$ со скоростью $\vec{v}_г$?

По закону сохранения импульса из формулы (5) находим модуль скорости, приобретаемой ракетой:

$$v = \frac{m}{m_1} v_г. \qquad (6)$$

Значит, ракета набирает тем бóльшую скорость, чем больше скорость истечения газов из ее сопла и чем меньше масса ракеты. Отсюда понятна выгода использования многоступенчатых ракет (рис. 238). После выгорания топлива в ступени ее отделяют. Масса ракеты уменьшается, что облегчает ее дальнейший разгон. С помощью многоступенчатых ракет выводят на орбиту искусственные спутники Земли, исследуют околоземное и межпланетное космическое пространство.

Первый в мире искусственный спутник Земли был запущен в 1957 г. в СССР. Первый орбитальный полет человека вокруг Земли

Правообладатель Народная асвета

совершил летчик-космонавт Ю. Гагарин в 1961 г. Американские астронавты Н. Армстронг и Э. Олдрин в 1969 г. первыми высадились на поверхность Луны.

Ракетно-космические исследования стали неотъемлемой частью современной цивилизации. Среди космонавтов есть уроженцы Беларуси: П. И. Климук, В. В. Коваленок, О. В. Новицкий. С космодрома «Байконур» 22 июля 2012 г. был запущен Белорусский космический аппарат (БКА) — спутник массой 400 кг. Он обеспечивает дистанционное зондирование территории Беларуси путем съемки из космоса.

## Главные выводы

1. Если результирующая внешних сил равна нулю, то импульс системы сохраняется.
2. Закон сохранения импульса можно применить к незамкнутым системам, если влиянием внешних сил можно пренебречь.
3. Реактивная сила возникает при отделении от тела какой-либо его части с не равной нулю скоростью.

## Контрольные вопросы

1. Что произойдет с импульсом системы, если на нее перестанут действовать внешние силы?
2. В каких случаях к незамкнутой системе можно применять закон сохранения импульса?
3. Какую силу называют реактивной? Приведите примеры.
4. За счет чего увеличивается скорость ракеты в процессе ее движения?
5. Почему для запуска космических кораблей используются многоступенчатые ракеты?

## Пример решения задачи

Два вагона массами $m_1 = 10$ т и $m_2 = 20$ т двигались по горизонтальному участку пути навстречу друг другу. Модули скорости движения вагонов $v_1 = 0{,}1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $v_2 = 0{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ соответственно. Определите модуль и направление скорости движения вагонов после срабатывания автосцепки.

Правообладатель Народная асвета

## Пример решения задачи

**Дано:**

$m_1 = 10$ т $= 1{,}0 \cdot 10^4$ кг

$m_2 = 20$ т $= 2{,}0 \cdot 10^4$ кг

$v_1 = 0{,}1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$v_2 = 0{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$\vec{v}$ — ?

**Решение**

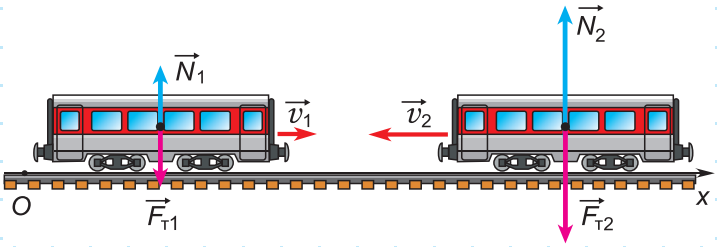


*Рис. 239*

На систему из двух вагонов (рис. 239) действуют внешние силы: силы тяжести $\vec{F}_{т1} = m_1\vec{g}$ и $\vec{F}_{т2} = m_2\vec{g}$ и компенсирующие их силы реакции рельсов $\vec{N}_1$ и $\vec{N}_2$. Силы трения качения малы, ими можно пренебречь.

В итоге сумма внешних сил, действующих на вагоны, равна нулю. Значит, к системе из двух вагонов можно применить закон сохранения импульса: $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$. Здесь $\vec{v}$ — скорость вагонов после сцепки. В проекции на ось $Ox$ получим: $m_1v_1 - m_2v_2 = (m_1 + m_2)v_x$.

Отсюда $v_x = \dfrac{m_1v_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2}$;

$$v_x = \frac{1{,}0 \cdot 10^4\ \text{кг} \cdot 0{,}1\ \frac{\text{м}}{\text{с}} - 2{,}0 \cdot 10^4\ \text{кг} \cdot 0{,}2\ \frac{\text{м}}{\text{с}}}{(1{,}0 + 2{,}0) \cdot 10^4\ \text{кг}} = \frac{0{,}1\ \frac{\text{м}}{\text{с}} - 0{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}}{3{,}0} = -0{,}1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Знак «–» указывает на то, что после автосцепки вагоны будут двигаться противоположно направлению оси $Ox$.

Ответ: скорость $\vec{v}$ направлена противоположно оси $Ox$; $v = 0{,}1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

*Рис. 240*

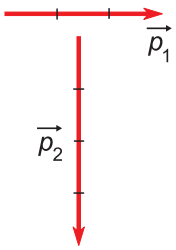


*Рис. 241*

## Упражнение 25

**1.** На рисунке 240, *а* представлен импульс $\vec{p}$ замкнутой системы из двух взаимодействующих тел в момент времени $t$. В момент времени $t_1 > t$ импульс первого тела стал равен $\vec{p}_1$ (рис. 240, *б*). Изобразите импульс второго тела системы в момент времени $t_1$. Каким будет импульс второго тела, если импульс первого тела станет равным $-\vec{p}_1$?

**2.** Импульсы тел замкнутой системы в момент времени $t$ представлены на рисунке 241. Каков импульс системы в момент времени $t_1 > t$? В момент времени $t_2 > t$?

Правообладатель Народная асвета

**3.** Лодка массой $m_1 = 100$ кг движется по озеру с постоянной скоростью, модуль которой $v_1 = 1{,}5\ \frac{м}{с}$. С лодки прыгает мальчик массой $m_2 = 40$ кг. Определите модуль скорости и направление движения лодки после прыжка мальчика, если мальчик прыгнет:

а) с носа лодки в направлении ее движения со скоростью, модуль которой $v_2 = 2{,}0\ \frac{м}{с}$;

б) так же, как в предыдущем случае, но при $v_2 = 6{,}0\ \frac{м}{с}$;

в) с кормы в направлении, противоположном движению лодки, при $v_2 = 2{,}0\ \frac{м}{с}$. Определите также направление и модуль скорости, с которой должен прыгнуть мальчик, чтобы лодка остановилась. Все скорости рассматриваются в системе отсчета «берег». В этой и последующих задачах силой сопротивления воды пренебречь.

**4.** На озере в состоянии покоя находится плот массой $m_1 = 300$ кг. На плоту стоит человек массой $m_2 = 60$ кг. Определите расстояние, на которое относительно берега переместится плот, если человек пройдет по плоту путь $s = 6{,}0$ м перпендикулярно берегу.

**5.** Сын с отцом сидят в неподвижной лодке на расстоянии $l = 3{,}0$ м друг от друга и ловят в озере рыбу. Куда и на сколько сместится лодка, если сын с отцом поменяются местами? Масса отца $m_1 = 80$ кг, масса сына $m_2 = 40$ кг, масса лодки $M = 50$ кг.

**6.** Мальчик массой $m_1 = 50$ кг, бегущий со скоростью, модуль которой $v_1 = 6{,}0\ \frac{м}{с}$, догоняет тележку, движущуюся со скоростью $v_2 = 0{,}6\ \frac{м}{с}$, и запрыгивает на нее. Масса тележки $m_2 = 30$ кг. Определите скорость движения тележки с мальчиком.

**7.** В тот момент, когда лодка выплывает из-под моста, в нее вертикально опускают с моста груз массой $m_1 = 40$ кг. Масса лодки $m_2 = 120$ кг, модуль скорости ее движения $v = 2{,}0\ \frac{м}{с}$. Изменится ли скорость лодки после приема груза и на сколько?

**8.** Механическая система состоит из двух тел. Может ли импульс одного из тел системы быть больше, чем импульс системы? Ответ аргументируйте.

**9.** Три мальчика бегут друг за другом с одинаковой скоростью. Первый мальчик прыгает в неподвижную тележку, оказавшуюся на его пути. Тележка приобретает скорость $v_1 = 1{,}0\ \frac{м}{с}$. Затем в эту же тележку прыгает второй мальчик, и скорость движения тележки становится $v_2 = 1{,}5\ \frac{м}{с}$. С какой скоростью будет двигаться тележка после того, как в нее запрыгнет третий мальчик? Массы мальчиков одинаковы. Трение не учитывать.

Правообладатель Народная асвета