

### Импульс материальной точки. Закон сохранения импульса

Роль законов сохранения в механике, да и в других разделах физики огромна. *Во-первых*, они позволяют решать ряд практически важных задач, например, по первоначальному состоянию системы, не зная подробностей взаимодействия тел, определять её конечное состояние, зная скорости тел до взаимодействия, определять скорости этих тел после взаимодействия. *Во-вторых*, и это главное, открытые в механике законы сохранения играют в природе огромную роль, далеко выходящую за рамки самой механики. Они применимы как к телам обычных размеров, так и к космическим телам и элементарным частицам.

Вспомните, что такое импульс материальной точки.

С направлением какой из перечисленных величин совпадает направление импульса — силы, скорости или ускорения?

Второй закон Ньютона  $m\vec{a} = \vec{F}$  можно записать в иной форме, которая приведена самим Ньютоном в его главном труде «Математические начала натуральной философии».

Если на материальную точку действует постоянная сила, то постоянным будет и ускорение тела  $\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$ , где  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  — начальное и конечное значения скорости материальной точки. Подставив это значение ускорения во второй закон Ньютона, получим

$$\frac{m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t} = \vec{F},$$

или

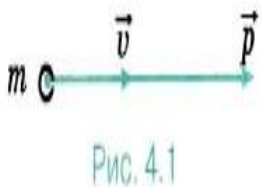
$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F} \Delta t. \quad (4.1)$$

**ИНТЕРЕСНО**

Импульс материальной точки — это физическая величина, равная произведению массы материальной точки на её скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (4.2)$$

Из формулы (4.2) видно, что *импульс — векторная величина*. Так как  $m > 0$ , то импульс имеет такое же направление, как и скорость (рис. 4.1).



Обозначим через  $\vec{p}_1 = m\vec{v}_1$  импульс материальной точки в начальный момент времени, а через  $\vec{p}_2 = m\vec{v}_2$  — её импульс в конечный момент времени. Тогда разность  $\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \Delta\vec{p}$  есть изменение импульса материальной точки за время  $\Delta t$ . Уравнение

(4.1) можно записать так:

$$\Delta\vec{p} = \vec{F} \Delta t.$$

Так как  $\Delta t > 0$ , то направления векторов  $\Delta\vec{p}$  и  $\vec{F}$  совпадают. Уравнение (4.3) показывает, что одинаковые изменения импульса могут быть получены в результате действия большой силы в течение малого интервала времени или малой силы за большой промежуток времени.

### Запомни

Произведение силы на время её действия называют **импульсом силы**.

**Второй закон Ньютона в импульсной форме**  
Изменение импульса материальной точки равно импульсу действующей на нее силы.

Единица импульса не имеет особого названия, а её наименование получается из определения этой величины (см. формулу (4.2)):

$$1 \text{ ед. импульса} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Для нахождения импульса тела, которое нельзя считать материальной точкой, поступают так: мысленно разбивают тело на отдельные малые элементы (материальные точки), находят импульсы полученных элементов, а потом суммируют их как векторы.

### Интересно

Поставьте на лист бумаги банку с водой. Дёрните лист с большой силой так, чтобы он выскользнул из-под банки, а банка при этом осталась бы на месте. Затем потяните лист так, чтобы банка двигалась вместе с листом. Сравните время действия сил. Объясните, почему в первом случае банке не сообщается импульс, а во втором сообщается.

### Важно

Импульс тела равен сумме импульсов его отдельных элементов.

Импульс системы тел равен векторной сумме импульсов каждого из тел системы:  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$ . Систему тел составляют взаимодействующие тела, движение которых мы рассматриваем.

**Закон сохранения импульса.** Пусть система состоит из двух тел. Это могут быть две звезды, два бильярдных шара или два других тела.

**Запомни**

Силы, возникающие в результате взаимодействия тела, принадлежащего системе, с телом, не принадлежащим ей, называются **внешними силами**.

Если рассматривать систему, состоящую из двух бильярдных шаров, то сила взаимодействия шаров с краем стола при ударе о него, сила трения шара о поверхность стола — внешние силы. Пусть на тела некоторой системы действуют внешние силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  (рис. 4.2).

**Запомни**

Силы, возникающие в результате взаимодействия тел, принадлежащих системе, называются **внутренними силами**.

Обозначим внутренние силы через  $\vec{F}_{1,2}$  и  $\vec{F}_{2,1}$  (см. рис. 4.2).

Вследствие действия сил на тела системы их импульсы изменяются. Если взаимодействие рассматривается за малый промежуток времени  $\Delta t$ , то для тел системы можно записать второй закон Ньютона в виде

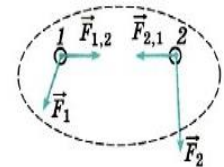


Рис. 4.2

$$\Delta \vec{p}_1 = (\vec{F}_1 + \vec{F}_{1,2})\Delta t, \quad \Delta \vec{p}_2 = (\vec{F}_2 + \vec{F}_{2,1})\Delta t$$

Сложив эти равенства, получим

$$\Delta \vec{p}_1 + \Delta \vec{p}_2 = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2)\Delta t + (\vec{F}_{1,2} + \vec{F}_{2,1})\Delta t. \quad (4.4)$$

В левой части равенства (4.4) стоит сумма изменений импульсов всех тел системы, т. е. изменение импульса самой системы (под импульсом системы мы будем понимать геометрическую сумму импульсов всех тел системы):

$$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \Delta \vec{p}_1 + \Delta \vec{p}_2$$

По третьему закону Ньютона  $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$ . Отсюда следует, что сумма внутренних сил всегда равна нулю:

$$\vec{F}_{1,2} + \vec{F}_{2,1} = 0. \quad (4.6)$$

Учитывая равенства (4.4) и (4.6), можно записать:

$$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2)\Delta t, \quad \Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \vec{F} \Delta t. \quad (4.7)$$

где  $\vec{F}$  — геометрическая сумма всех внешних сил, действующих на тела системы.

Мы доказали весьма важное положение:

**Важно**

импульс системы тел могут изменить только внешние силы, причем изменение импульса системы  $\Delta \vec{p}_{\text{сист}}$  совпадает по направлению с суммарной внешней силой.

Внутренние силы изменяют импульсы отдельных тел системы, но изменить суммарный импульс системы они не могут.

Уравнение (4.7) справедливо для любого интервала времени  $\Delta t$ , если сумма внешних сил остаётся постоянной.

Из уравнения (4.7) вытекает **закон сохранения импульса**.

**Закон сохранения импульса**

Если внешние силы на систему не действуют или их сумма равна нулю, то импульс системы сохраняется:

$$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = 0, \text{ или } \vec{p}_{\text{сист}} = \text{const.}$$

Полученный результат справедлив для системы, содержащей произвольное число тел:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 + \dots = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 + m_3 \vec{u}_3 + \dots \quad (4.9)$$

где  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3, \dots$  — скорости тел до взаимодействия;  $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3, \dots$  — скорости тел после взаимодействия.

Импульс, очевидно, сохраняется в изолированной системе тел, так как в этой системе на тела вообще не действуют внешние силы. Но область применения закона сохранения импульса шире.

1) Если даже на тела системы действуют внешние силы, но их сумма равна нулю, то импульс системы всё равно сохраняется.

2) Если сумма внешних сил не равна нулю, но сумма проекций сил на какое-то направление равна нулю, то проекция суммарного импульса системы на это направление не меняется.

3) Если внешние силы много меньше внутренних сил, то можно считать, что импульс системы сохраняется. Например, при разрыве снарядов силы, разрывающие снаряд, много больше внешней силы тяжести.

**Реактивное движение.** Большое значение закон сохранения импульса имеет для исследования реактивного движения.

#### Запомни

**Реактивным движением** называют движение тела, возникающее при отделении некоторой его части с определённой скоростью относительно него.

Примером реактивного движения является движение ракеты при истечении из неё струи горючего газа, образующегося при сгорании топлива.

#### Запомни

Так как вследствие истечения струи ракета движется с ускорением, то можно считать, что на ракету действует сила, называемая **реактивной силой**.

Главная особенность реактивной силы в том, что она возникает в результате взаимодействия частей системы без какого-либо взаимодействия с внешними телами.



К. Э. Циолковский  
(1857—1935)

**Реактивные двигатели.** В настоящее время в связи с освоением космического пространства получили широкое распространение реактивные двигатели.

В космическом пространстве использовать какие-либо другие двигатели, кроме реактивных, невозможно, так как там нет опоры (твёрдой, жидкой или газообразной), отталкиваясь от которой космический корабль мог бы получать ускорение.

**Успехи в освоении космического пространства.** Основы теории реактивного двигателя и научное доказательство возможности полётов в межпланетном пространстве были впервые высказаны и разработаны русским учёным К. Э. Циолковским в работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Нашей стране принадлежит великая честь запуска 4 октября 1957 г. первого искусственного спутника Земли, а 12 апреля 1961 г. космического корабля с космонавтом Ю. А. Гагариным на борту.



С. П. Королёв  
(1906—1966)



Ю. А. Гагарин  
(1934—1968)

Этот и другие полёты были совершены на ракетах, сконструированных отечественными учёными и инженерами под руководством С. П. Королёва.

**Большой вклад в исследование космического пространства внесли также американские учёные, инженеры и астронавты. Два американских астронавта из экипажа космического корабля «Аполлон-11» — Н. Армстронг и Э. Олдрин — 20 июля 1969 г. впервые совершили посадку на Луну. На космическом теле Солнечной системы человеком были сделаны первые шаги.**

С выходом человека в космос не только открылись возможности исследования других планет, но и представились поистине фантастические возможности изучения природных явлений и ресурсов Земли, о которых можно было только мечтать. Теперь снимки с орбиты, охватывающие миллионы квадратных километров, позволяют выбирать для исследования наиболее интересные участки земной поверхности, экономя тем самым силы и средства.

Освоение космоса имеет огромное практическое значение. Нас уже не удивляет, что мы можем заглянуть практически в каждый уголок Земли, поговорить с человеком, находящимся на другом континенте, благодаря космической (спутниковой) связи.

В настоящее время можно в режиме онлайн смотреть, что происходит в космосе благодаря телескопам, вращающимся по орбитам вокруг Земли.

Решить задачу, используя закон сохранения импульса.

Два тела массами 400 и 600 г двигались навстречу друг другу и после удара остановились. Какова скорость второго тела, если первое двигалось со скоростью 3 м/с?