

Закон сохранения импульса

Работа Королёвой Юлии
1ЭК-298



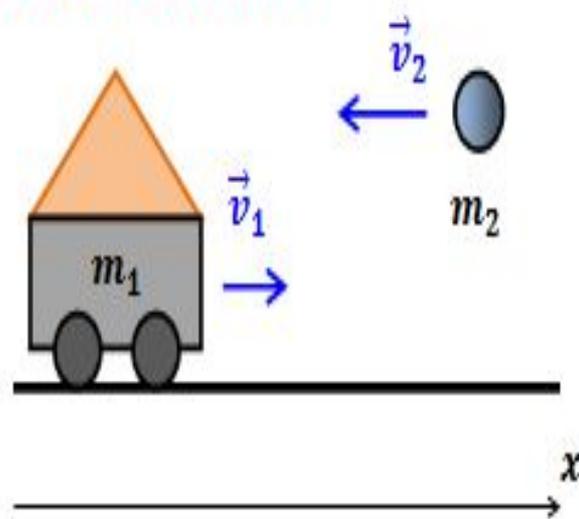
Рене Декарт — французский философ, математик, механик, физик и физиолог, создатель аналитической геометрии и современной алгебраической символики, автор метода радикального сомнения в философии, механицизма в физике, предтеча рефлексологии.

Он открыл закон сохранения импульса.

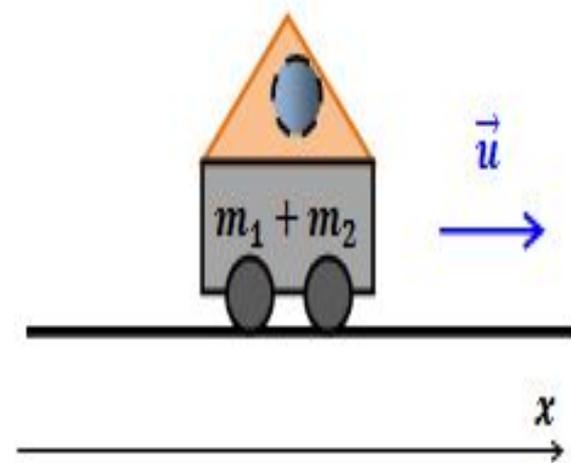
Закон сохранения импульса (Закон сохранения количества движения) — это закон, утверждающий, что векторная сумма импульсов всех тел системы есть величина постоянная и если векторная сумма внешних сил, действующих на систему тел, равна нулю.

В классической механике закон сохранения импульса обычно выводится как следствие законов Ньютона. Из законов Ньютона можно показать, что при движении системы в пустом пространстве импульс сохраняется во времени, а при наличии внешнего воздействия скорость изменения импульса определяется суммой приложенных сил.

до взаимодействия



после взаимодействия



Закон сохранения импульса

Закон сохранения импульса вытекает из третьего закона Ньютона.

Нужно помнить, что этот закон действует только в замкнутой, или изолированной, физической системе. А замкнутой называют такую систему, в которой тела взаимодействуют только между собой и не взаимодействуют с внешними телами.

Представим замкнутую систему из двух физических тел. Силы взаимодействия тел друг с другом называют внутренними силами.

Импульс силы для первого тела равен

$$\vec{F}t = m_1\vec{v}_1' - m_1\vec{v}_1$$

Согласно третьему закону Ньютона силы, которые действуют на тела при их взаимодействии, равны по величине и противоположны по направлению.

$-\vec{F}t = m_2\vec{v}_2' - m_2\vec{v}_2$ для второго тела импульс силы равен

Путём простых вычислений получаем математическое выражение закона сохранения

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

где m_1 и m_2 – массы тел,

v_1 и v_2 – скорости первого и второго тел до взаимодействия,

v_1' и v_2' – скорости первого и второго тел после взаимодействия.

$p_1 = m_1 \cdot v_1$ - импульс первого тела до взаимодействия;

$p_2 = m_2 \cdot v_2$ - импульс второго тела до взаимодействия;

$p_1' = m_1 \cdot v_1'$ - импульс первого тела после взаимодействия;

$p_2' = m_2 \cdot v_2'$ - импульс второго тела после взаимодействия;

То есть

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$$

Термин «импульс» появился позже (impulsus в переводе с латинского означает «толчок»). Импульс является векторной величиной (как и скорость) и выражается формулой:

→ →

Направление вектора импульса всегда совпадает с направлением скорости.

За единицу импульса в СИ принимают импульс тела массой 1 кг, движущегося со скоростью 1 м/с, следовательно, единицей импульса является 1 кг · м/с.

Если на тело (материальную точку) действует постоянная сила в течение промежутка времени Δt , то постоянным будет и ускорение:

→ → →

$$A = \frac{u_2 - u_1}{\Delta t}$$

где, u_1 и u_2 — начальная и конечная скорости тела. Подставив это значение в выражение второго закона Ньютона, получим:

→ → →

$$m(u_2 - u_1) / \Delta t = F$$

Раскрыв скобки и воспользовавшись выражением для импульса тела, имеем:

→ → →

$$p_2 - p_1 = F \Delta t$$

Здесь

→ → →

$p_2 - p_1 = \Delta p$ — изменение импульса за время Δt .

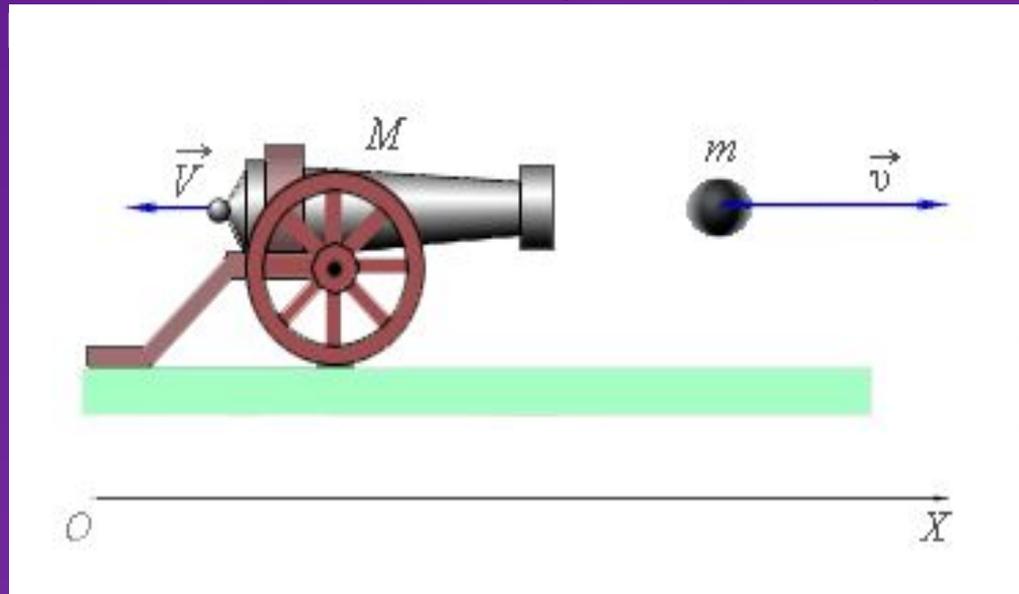
Тогда предыдущее уравнение примет вид:

$$\Delta p = F \Delta t$$

Импульс системы тел может измениться только в результате действия на систему внешних сил. И тогда закон сохранения импульса действовать не будет.

Пример:

При стрельбе из пушки возникает отдача: снаряд летит вперёд, а само орудие откатывается назад.



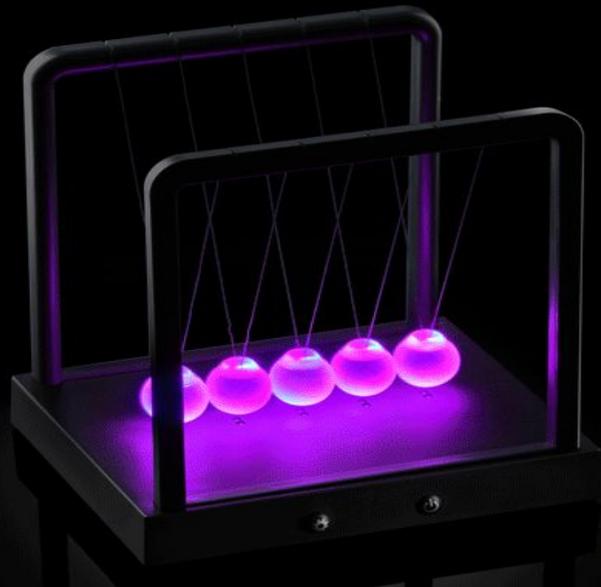
Снаряд и пушка — замкнутая система, в которой действует закон сохранения импульса. В результате выстрела из пушки импульс самой пушки и импульс снаряда изменятся. Но сумма импульсов пушки и находящегося в ней снаряда до выстрела останется равной сумме импульсов откатывающейся пушки и летящего снаряда после выстрела.

Обрати внимание!

В природе замкнутых систем не существует. Но если время действия внешних сил очень мало, например, во время взрыва, выстрела и т.п., то в этом случае воздействием внешних сил на систему пренебрегают, а саму систему рассматривают как замкнутую.

Кроме того, если на систему действуют внешние силы, но сумма их проекций на одну из координатных осей равна нулю (то есть силы уравновешены в направлении этой оси), то в этом направлении закон сохранения импульса выполняется.

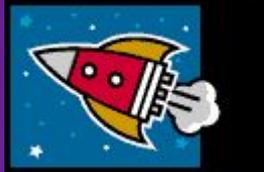
Великий учёный Исаак Ньютон изобрёл наглядную демонстрацию закона сохранения импульса — маятник, или её ещё называют «колыбель». Это устройство представляет собой конструкцию из пяти одинаковых металлических шаров, каждый из которых крепится с помощью двух тросов к каркасу, а тот в свою очередь — к прочному основанию П-образной формы.



Маятник Ньютона устроен так, что начальный шар передаёт импульс второму шару, а затем замирает. Нашему глазу на первый взгляд не заметно, как следующий шарик принимает импульс от предыдущего, мы не можем проследить его скорость. Но, если взглянуть пристальнее, можно заметить, как шарик немножко «вздрагивает». Это объясняется тем, что он совершает движения с посланной ему скоростью, но поскольку расстояние очень маленькое, ему некуда разогнаться, то он может на своём коротком пути передать импульс третьему шару и в итоге остановиться.

Такое же действие совершает и следующий шарик и т.д. Последнему шару некуда передавать свой импульс, поэтому он свободно колеблется, поднимаясь на определённую высоту, а затем возвращается, и весь процесс передачи импульсов повторяется в обратном порядке.

Самый яркий пример применения закона сохранения импульса — реактивное движение.



Реактивное движение

Реактивным движением называют движение тела, которое возникает при отделении от него с определённой скоростью какой-то его части. Само тело получает при этом противоположно направленный импульс.

Самый простой пример реактивного движения – полёт воздушного шарика, из которого выходит воздух. Если мы надуем шарик и отпустим его, он начнёт лететь в сторону, противоположную движению выходящего из него воздуха.

Пример реактивного движения в природе – выброс жидкости из плода бешеного огурца, когда он лопаётся. При этом сам огурец летит в противоположную сторону.

Медузы, каракатицы и другие обитатели морских глубин передвигаются, вбирая воду, а затем выбрасывая её.

На законе сохранения импульса основана реактивная тяга. Мы знаем, что при движении ракеты с реактивным двигателем в результате сгорания топлива из сопла выбрасывается струя жидкости или газа (реактивная струя). В результате взаимодействия двигателя с вытекающим веществом появляется реактивная сила. Так как ракета вместе с выбрасываемым веществом является замкнутой системой, то импульс такой системы не меняется со временем.

Реактивная сила возникает в результате взаимодействия только частей системы. Внешние силы не оказывают никакого влияния на её появление.

До того, как ракета начала двигаться, сумма импульсов ракеты и горючего была равна нулю. Следовательно, по закону сохранения импульса после включения двигателей сумма этих импульсов тоже равна нулю.



Уравнение Мещерского

Если же на ракету, кроме реактивной силы

$$\vec{F}_p$$

, действует внешняя сила

$$\vec{F}$$

, то уравнение динамики движения примет вид:

Формула Мещерского представляет собой обобщение второго закона Ньютона для движения тел переменной массы. Ускорение тела переменной массы определяется не только внешними силами, действующими на тело, но и реактивной силой, обусловленной изменением массы движущегося тела:

$$m_p \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F} + \vec{F}_p \Leftrightarrow m_p \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F} + (-\vec{u} \cdot \frac{\Delta m_t}{\Delta t})$$

Формула Мещерского представляет собой обобщение второго закона Ньютона для движения тел переменной массы. Ускорение тела переменной массы определяется не только внешними силами

$$\vec{F}$$

, действующими на тело, но и реактивной силой двигущегося тела:

$$\vec{F}_p$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_p + \vec{F}}{m_p}$$

Формула Циолковского

Применив [уравнение Мещерского](#) к движению [ракеты](#), на которую не действуют внешние силы, и, проинтегрировав уравнение, получим [формулу Циолковского](#)

$$\frac{m_t}{m} = e^{\frac{v}{u}}$$

[Релятивистское](#) обобщение этой формулы имеет вид:

$$\frac{m_t}{m} = \left(\frac{c + v}{c - v} \right)^{\frac{c}{2u}}$$

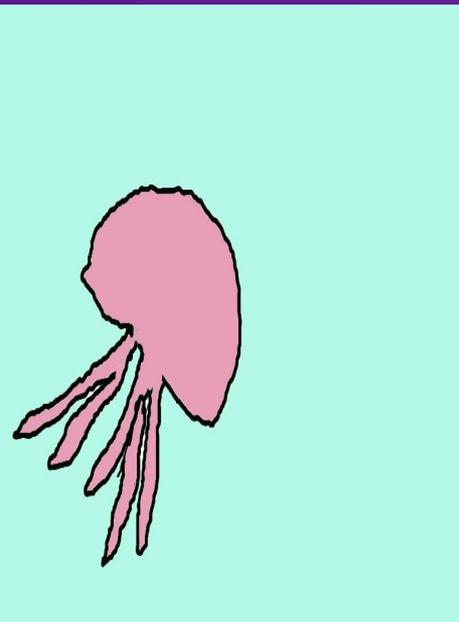
где \vec{c} — скорость света.

Реактивное движение в природе

Кальмары, медузы, осьминоги, каракатицы и некоторые другие животные используют принцип реактивного движения



Реактивный двигатель кальмара



Наибольший интерес представляет реактивный двигатель кальмара.) При медленном перемещении кальмар пользуется большим ромбовидным плавником, периодически изгибающимся. Для быстрого броска он использует реактивный двигатель. Животное засасывает воду внутрь мантийной полости, а затем резко выбрасывает струю воды через узкое сопло. Это сопло снабжено специальным клапаном, и мышцы могут его поворачивать, изменяя направление движения. Двигатель кальмара очень экономичен, он способен развивать скорость до 60 – 70 км/ч. (Некоторые исследователи считают, что даже до 150 км/ч!) Недаром кальмара называют “живой торпедой”.



Личинка стрекозы

Задняя кишка личинки стрекозы, помимо своей основной функции, выполняет еще и роль органа движения. Вода заполняет заднюю кишку, затем с силой выбрасывается, и личинка перемещается по принципу реактивного движения на 6-8 см. Для дыхания нимфам также служит задняя кишка, которая как насос постоянно закачивает через нее воду, насыщая ее кислородом.



В южных странах (и у нас на побережье Черного моря тоже) произрастает растение под названием "бешеный огурец". Стоит только слегка прикоснуться к созревшему плоду, похожему на огурец, как он отскакивает от плодоножки, а через образовавшееся отверстие из плода фонтаном со скоростью до 10 м/с вылетает жидкость с семенами.

Сами огурцы при этом отлетают в противоположном направлении. Стреляет бешеный огурец (иначе его называют «дамский пистолет») более чем на 12 м.

Бешенный огурец

$$m_r \cdot \Delta \vec{v} + \Delta m_f \cdot \vec{u} = 0$$

$$m_r \cdot \Delta \vec{v} = -\Delta m_f \cdot \vec{u}$$

где m_r - масса ракеты

\vec{u} - скорость истечения газа

$\Delta \vec{v}$ - изменение скорости ракеты

Δm_f - расход массы топлива

Предположим, ракета работала в течение времени t .

Разделив обе части уравнения на Δt , получим выражение

$$m_r \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = -\frac{\Delta m_f}{\Delta t} \cdot \vec{u}$$

По второму закону Ньютона реактивная сила равна

$$\vec{F}_r = m_r \cdot \vec{a} = -\vec{u} \cdot \frac{\Delta m_f}{\Delta t}$$

Реактивная сила, или реактивная тяга, обеспечивает движение реактивного двигателя и объекта, связанного с ним, в сторону, противоположную направлению реактивной струи.

Реактивные двигатели применяются в современных самолётах и различных ракетах, военных, космических и др.

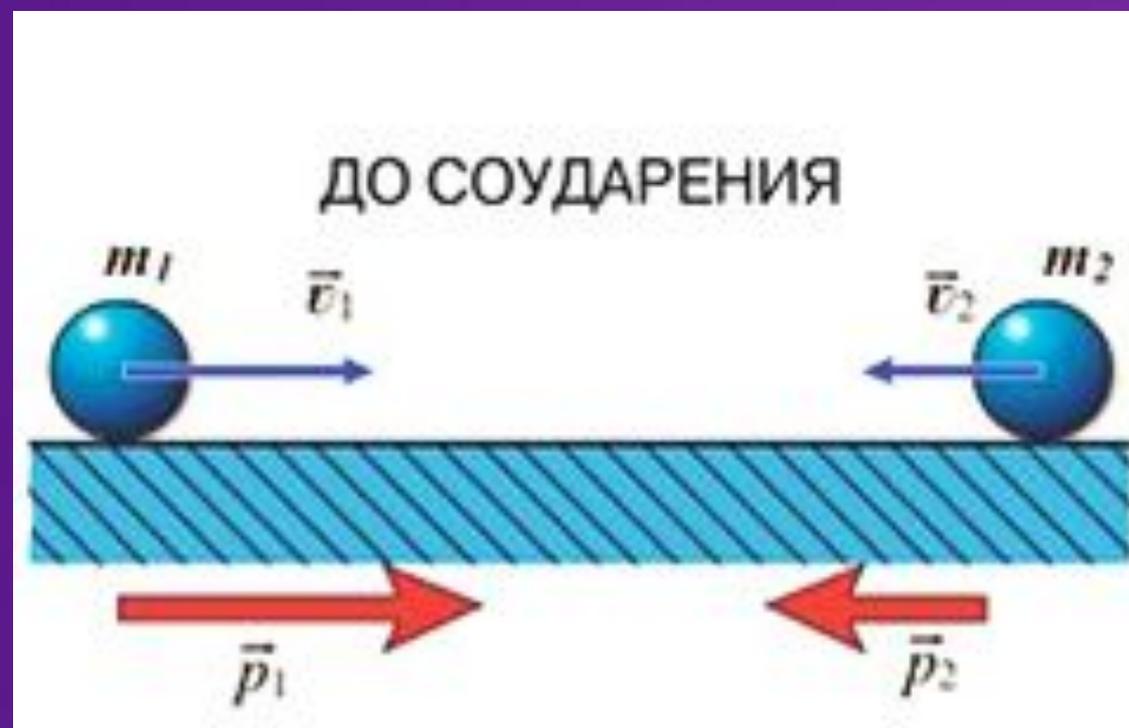
Импульс, равный векторной сумме импульсов тел, входящих в замкнутую систему, называется суммарным импульсом этой системы.

Таким образом, чтобы найти суммарный импульс замкнутой системы n тел, необходимо найти векторную сумму импульсов всех тел, входящих в данную систему:

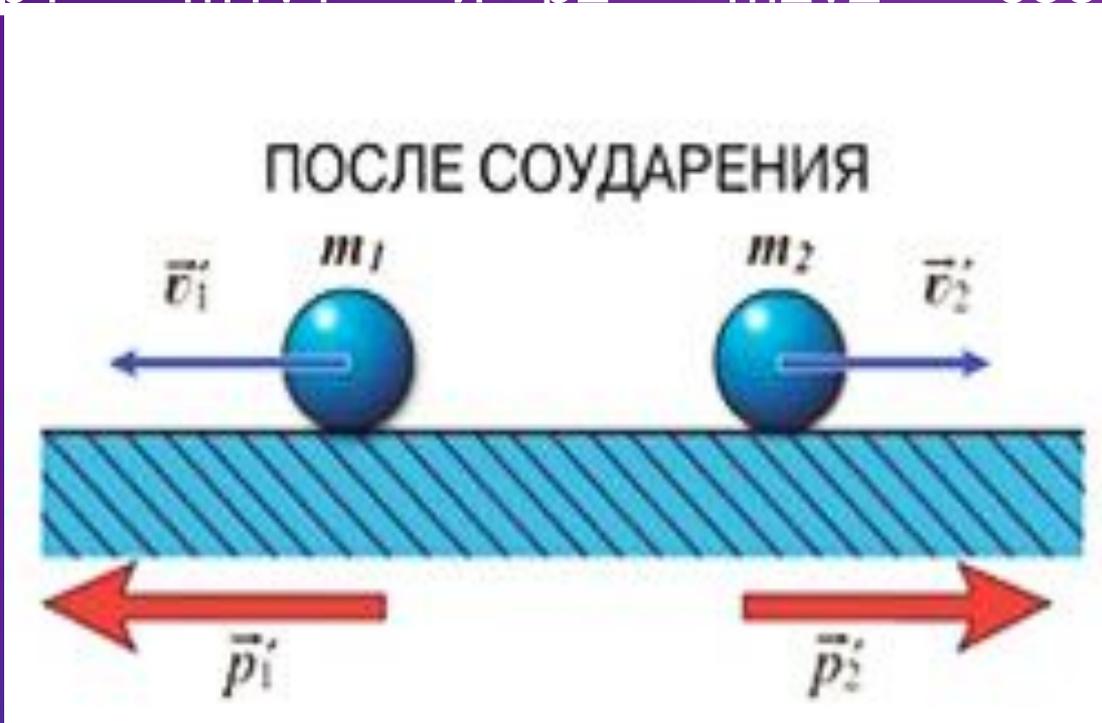
$$\vec{P}_{\text{сум}} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_n .$$

Импульс каждого из тел, входящих в замкнутую систему, может меняться в результате их взаимодействия друг с другом.

Рассмотрим систему, состоящую только из двух тел — шаров массами m_1 и m_2 , которые движутся прямолинейно навстречу друг другу со скоростями v_1 и v_2 . Шары обладают импульсами $\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$ и $\vec{p}_2 = m_2 \vec{v}_2$ соответственно.



Через некоторое время шары столкнутся. Во время столкновения, длящегося в течение очень короткого промежутка времени t , возникнут силы взаимодействия $F_1 \rightarrow$ и $F_2 \rightarrow$, приложенные соответственно к первому и второму шару. В результате действия этих сил скорости шаров изменятся. Обозначим скорости шаров после соударения v_1' и v_2' . И импульсы шаров станут $p_1 \rightarrow' = m_1 v_1 \rightarrow'$ и $p_2 \rightarrow' = m_2 v_2 \rightarrow'$ соответственно.



Тогда, согласно закону сохранения импульса, имеют место равенства:

$$p_{1\rightarrow} + p_{2\rightarrow} = p_{1\rightarrow'} + p_{2\rightarrow'}$$

или

$$m_1 v_{1\rightarrow} + m_2 v_{2\rightarrow} = m_1 v_{1\rightarrow'} + m_2 v_{2\rightarrow'} .$$

Импульс силы

В механике существует тесная связь между импульсом тела и силой. Эти две величины связывает величина, которая называется импульсом силы.

Если на тело действует постоянная сила F в течение промежутка времени t , то согласно второму закону Ньютона

$$\vec{F} = m\vec{a} = m(\vec{v} - \vec{v}_0)/t$$

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

Эта формула показывает связь между силой, которая действует на тело, временем действия этой силы и изменением скорости тела.

Величина, равная произведению силы, действующей на тело, на время, в течение которого она действует, называется импульсом силы.

Как мы видим из уравнения, импульс силы равен разности импульсов тела в начальный и конечный момент времени, или изменению импульса за какое-то время.

Второй закон Ньютона в импульсной форме формулируется следующим образом: изменение импульса тела равно импульсу действующей на него силы. Нужно сказать, что сам Ньютон именно так и сформулировал первоначально свой закон.

Импульс силы – это также векторная величина.

Источники информации

<http://ency.info/materiya-i-dvigenie/mekhanika/251-zakon-sokhraneniya-impuls>

<https://www.yaklass.ru/p/fizika/9-klass/zakony-sokhraneniia-v-mekhanike-90005/zakon-sokhraneniia-impulsa-105698/re-915e7d06-7cf4-4882-b2a8-577ab707c330>

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82,%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D0%B5>

Презентация окончена



спасибо за внимание!