

Законы сохранения

Закон сохранения импульса.

Законы сохранения

Имеют важное значение в механике в частности и в физике вообще.

Позволяют:

сравнительно просто без рассмотрения действующих на тела сил и без прослеживания движения тел системы решать ряд практически важных задач.

Законы сохранения

Были открыты в механике, но в дальнейшем стали играть огромную роль во всей физике.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ



импульса



энергии



момента
импульса

Законы сохранения

ПРИМЕНЯЮТСЯ

даже тогда когда нельзя
применять законы механики
Ньютона !

Описание
движения
электронов в
атомах!!

К телам обычных размеров и к космическим
телам и элементарным частицам.

ВСЕОБЩНОСТЬ = их применимость ко всем явлениям природы!!!

Законы сохранения

НЕЗАМЕНИМЫ

Когда исследователи начинают проникать во вновь открытую сферу неизвестного

Например: при открытии элементарных частиц!!

Законы сохранения

XX век – установлена связь законов сохранения со свойствами пространства и времени:

Закон сохранения импульса: связан с

однородностью пространства, т. е. с тем, что все точки пространства равноправны.

Это значит, что перенос (сдвиг) в пространстве любой механической системы никак не влияет на процессы внутри нее.

Законы сохранения

Закон сохранения энергии: связан с

однородностью времени, то есть считается что все моменты времени равноправны и мы можем любой момент взять за начало отсчета времени.

Законы сохранения

Закон сохранения момента импульса: связан с изотропностью пространства, то есть считается, что свойства пространства одинаковы по всем направлениям.

Импульс тела

Введем новую физическую величину – импульс материальной точки:

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

Импульсом материальной точки называют физическую величину, равную произведению массы точки на ее скорость.

Импульс тела

Если на тело действует постоянная сила $F = \text{const}$, то и ускорение будет постоянным:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t},$$

v_1, v_2 – начальное и конечное значения скорости

Подставим выражение для ускорения во II закон Ньютона:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Получим:

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

$$m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1 = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Изменение импульса равно импульсу силы.

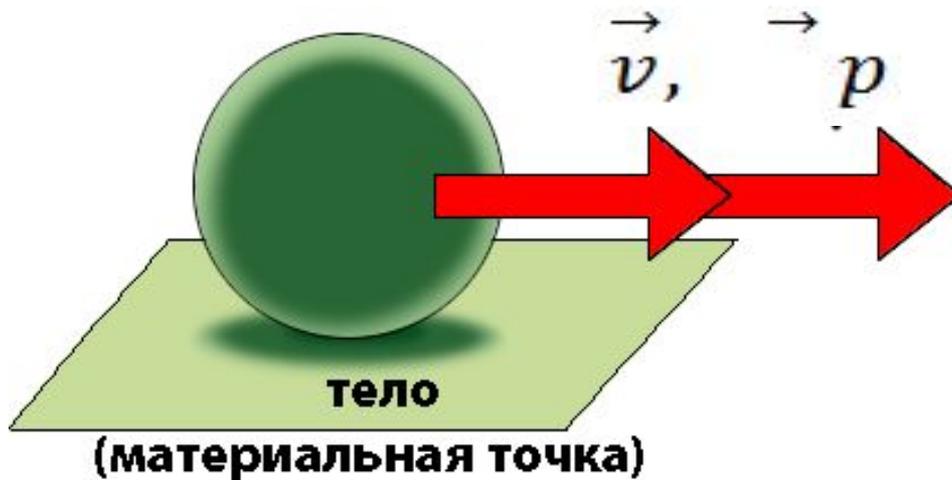
Произведение $\vec{F} \cdot \Delta t$ называют импульсом силы.

Импульс тела

Раньше импульс тела называли количеством движения. Импульс – векторная физическая величина, т. к. $m > 0$, то импульс имеет одинаковое направление со скоростью.

Никакой специальной единицы измерения для импульса не существует. Единицей измерения импульса является:

$$[p] = (\text{м} \cdot \text{кг})/\text{с}$$



$$[\vec{p}] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

Импульс тела

Рассмотрим следующую ситуацию:

Обозначим:

$\vec{p}_1 = m \cdot \vec{v}_1$ – импульс материальной точки в
начальный момент интервала Δt

$\vec{p}_2 = m \cdot \vec{v}_2$ – импульс материальной точки в
конечный момент интервала Δt

$\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \Delta \vec{p}$ – это изменение импульса
материальной точки за время Δt

Получаем: $\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = m (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) = \vec{F} \cdot \Delta t$

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

Т. к. $\Delta t > 0$, то $\vec{F} \uparrow \uparrow \vec{p}$

Импульс тела

Получаем, что изменение импульса материальной точки пропорционально приложенной к ней силе и имеет такое же направление как и сила.

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t \Rightarrow \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

Именно так впервые был сформулирован II закон
Ньютона

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

Импульс тела

Уравнение: $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$ показывает, что одинаковые изменения импульса материальной точки могут быть получены в результате:

1. Действия большой силы в течение малого интервала времени;
2. Действие малой силы в течение большого интервала времени.

Импульс тела

Формулу $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$ можно обобщить на тот случай, когда сила \vec{F} изменяется во времени.

Для этого весь промежуток Δt действия силы можно разделить на малые интервалы Δt_i , чтобы на каждом из них значение силы можно было считать постоянным.

Для каждого такого интервала справедлива формула: $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$.

Просуммировав $\Delta \vec{p}$ за все малые интервалы времени Δt_i , получим:

$$\Delta \vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i \cdot \Delta t_i \quad N - \text{число интервалов}$$

Импульс системы материальных точек

Импульс системы материальных точек равен векторной сумме импульсов всех точек.

Для нахождения импульса системы материальных точек необходимо мысленно разбить тело на отдельные элементы (материальные точки) и далее просуммировать их как векторы.

Изменение импульса системы тел.

Совокупность тел, движение которой изучается, называется механической системой или просто системой.

Изменение импульса системы тел.

Дано: система, состоящая из трех тел.

На них действуют силы \mathbf{F}_i , где

i – номер тела,

\mathbf{F}_i - сумма внешних сил, действующих на i – ое тело.

Между телами действуют силы: \mathbf{F}_{ik} , которые называются внутренними/

i – номер тела, на которое действует сила \mathbf{F}_{ik} , а вторая буква

k – номер тела со стороны которого действует эта сила.

Изменение импульса системы тел.

На основании III закона Ньютона:

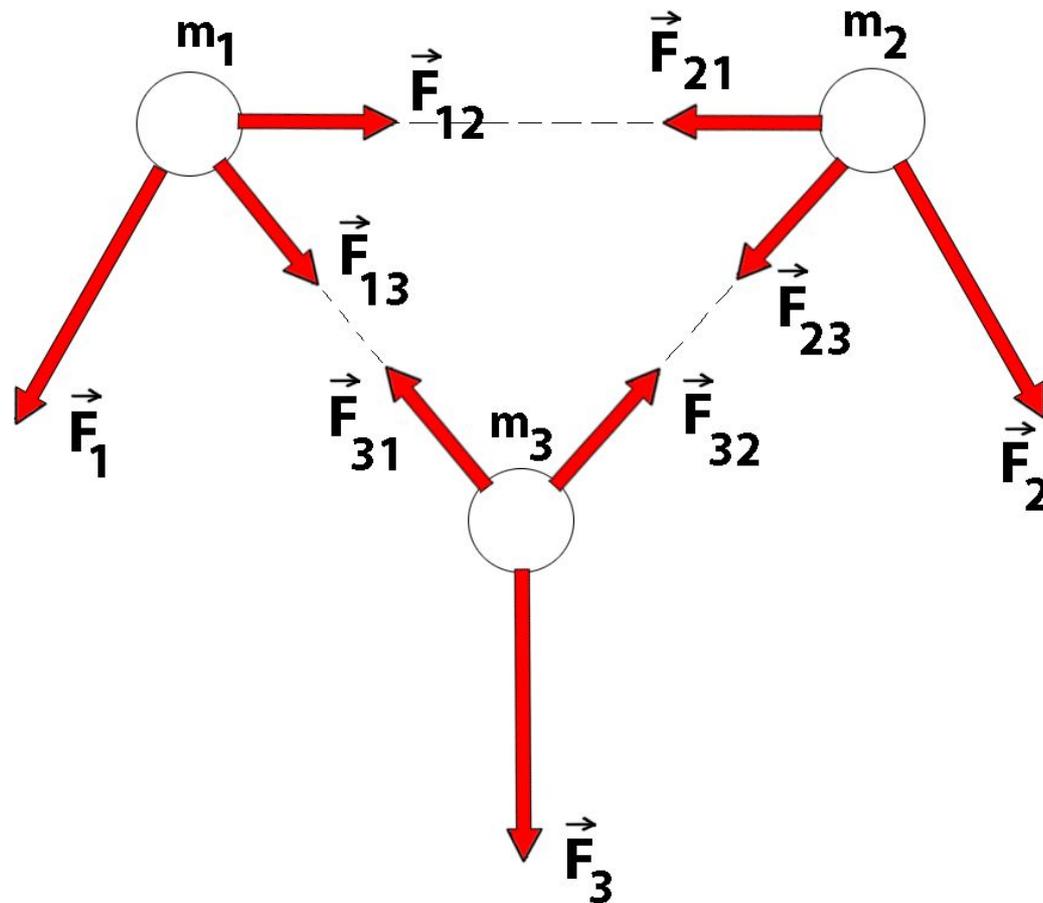
$$\vec{F}_{ik} = -\vec{F}_{ki}$$

Из-за действия сил на тела системы их импульсы изменяются. Если за малый промежуток Δt сила заметно не изменяется, то для любого тела системы можно записать изменение импульса в форме уравнения:

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

Изменение импульса системы тел.

Система из трех тел: m_1 , m_2 , m_3



Изменение импульса системы тел.

Запишем уравнение изменения импульса для каждого тела:

$$\Delta(m_1 \vec{v}_1) = (\vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_1) \Delta t$$

$$\Delta(m_2 \vec{v}_2) = (\vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_2) \Delta t$$

$$\Delta(m_3 \vec{v}_3) = (\vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} + \vec{F}_3) \Delta t$$

$$\Delta m_i \vec{v}_i = m_i \vec{v}_{ik} - m_i \vec{v}_{im},$$

\vec{v}_{ik} – скорость в начале интервала Δt

\vec{v}_{im} – скорость в конце интервала Δt

Изменение импульса системы тел.

Просуммируем уравнения и покажем, что сумма импульсов отдельных тел равна импульсу системы тел, т. е:

$$\vec{p}_c = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3$$

$$\begin{aligned} \Delta(m_1 \vec{v}_1) + \Delta(m_2 \vec{v}_2) + \Delta(m_3 \vec{v}_3) &= m_1 \vec{v}_{1k} - \\ m_1 \vec{v}_{1н} + m_2 \vec{v}_{2k} - m_2 \vec{v}_{2н} + m_3 \vec{v}_{3k} - m_3 \vec{v}_{3н} &= \\ (m_1 \vec{v}_{1k} + m_2 \vec{v}_{2k} + m_3 \vec{v}_{3k}) - (m_1 \vec{v}_{1н} + m_2 \vec{v}_{2н} + \\ m_3 \vec{v}_{3н}) &= \vec{p}_{ck} - \vec{p}_{cн} = \Delta \vec{p}_c - \text{импульс системы.} \end{aligned}$$

\vec{p}_{ck} – конечный импульс системы

$\vec{p}_{cн}$ – начальный импульс системы

Изменение импульса системы тел.

$$\Delta \vec{p}_c = \left\{ \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} + \right. \\ \left. \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \right\} \Delta t$$

$$\text{Но! } \vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$\vec{F}_{13} = -\vec{F}_{31}$$

$$\vec{F}_{23} = -\vec{F}_{32}$$

$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = \vec{F}_{12} - \vec{F}_{12} = 0$$

$$\text{Получаем: } \Delta \vec{p}_c = \left(\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \right) \Delta t$$

Изменение импульса системы тел.

Вывод:

импульс системы тел могут изменить только внешние силы, причем изменение импульса системы пропорционально сумме внешних сил и совпадает с ней по направлению.

Внутренние силы, изменяя импульсы отдельных тел системы не изменяют суммарный импульс системы.

Изменение импульса системы тел.

Из уравнения

$$\Delta \vec{p}_c = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3) \Delta t$$

вытекают следствия.

Если сумма внешних сил, действующих на систему равна нулю ($\sum F_{\text{вн}} = 0$), то равно нулю и

$$\Delta \vec{p}_c = 0.$$

$\Delta \vec{p}_c = 0$ – это значит, что какой бы интервал времени t мы ни взяли суммарный импульс в начале этого интервала и в конце него один и тот же:

$$p_{\text{сн}} = p_{\text{ск}}$$

$$\vec{p}_c = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 = \text{const}$$

Закон сохранения импульса

Если сумма внешних сил, действующих на тела системы равна нулю, то импульс системы сохраняется.

Тела могут только обмениваться импульсами, суммарное же значение импульса не изменяется.

Сохраняется только векторная сумма импульсов, а не сумма их модулей.

Закон сохранения импульса является следствием II и III законов Ньютона.

Закон сохранения импульса

Все законы сохранения справедливы только для изолированных систем.

Система тел, на которую не действуют внешние силы, называется замкнутой или изолированной.

В замкнутой системе импульс сохраняется.

Реальные системы являются незамкнутыми и сумма внешних сил редко обращается в нуль, однако во многих случаях закон сохранения импульса можно применять.

Закон сохранения импульса

Если сумма внешних сил не равна нулю, но сумма проекций сил на любое направление оси равна нулю, то проекция импульса на это направление сохраняется.

Система тел, на которую не действуют внешние силы, называется замкнутой или изолированной.