

Динамика

Классическая механика

Ньютон

Область применимости классической механики – это движение тел с большой (по сравнению с атомом) массой, движущихся с малыми (по сравнению со скоростью света) скоростями.

**Механика больших скоростей
(релятивистская механика)**

Эйнштейн

Уравнения релятивистской механики в пределе малых (по сравнению со скоростью света) скоростей переходят в уравнения классической механики

**Механика атомов
(квантовая механика)**

Бор, Шредингер, Дирак, Планк и др

Уравнения квантовой механики в пределе больших (по сравнению с массами атомов) масс переходят в уравнения классической механики

Динамика - раздел механики, изучает причины движения тел и какими причинами вызвано взаимодействие между телами.

Инерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона

Для описания механических явлений надо выбрать систему отсчета.

В различных системах отсчета законы движения имеют, в общем случае, различный вид.

Оказывается можно найти такую систему отсчета, в которой законы механики имеют наиболее простой вид.

Это система отсчета с однородным и изотропным пространством и однородным временем.

Такая система отсчета называется инерциальной.

В инерциальной системе отсчета всякое свободное движение происходит с постоянной по величине и направлению скоростью.

Это утверждение оставляет содержание *первого закона Ньютона* – *закона инерции*.

Если наряду с имеющейся у нас инерциальной системой отсчета мы введем другую систему отсчета, движущуюся относительно первой прямолинейно и равномерно, то законы свободного движения по отношению к этой системе будут такими же, как и по отношению к первоначальной:

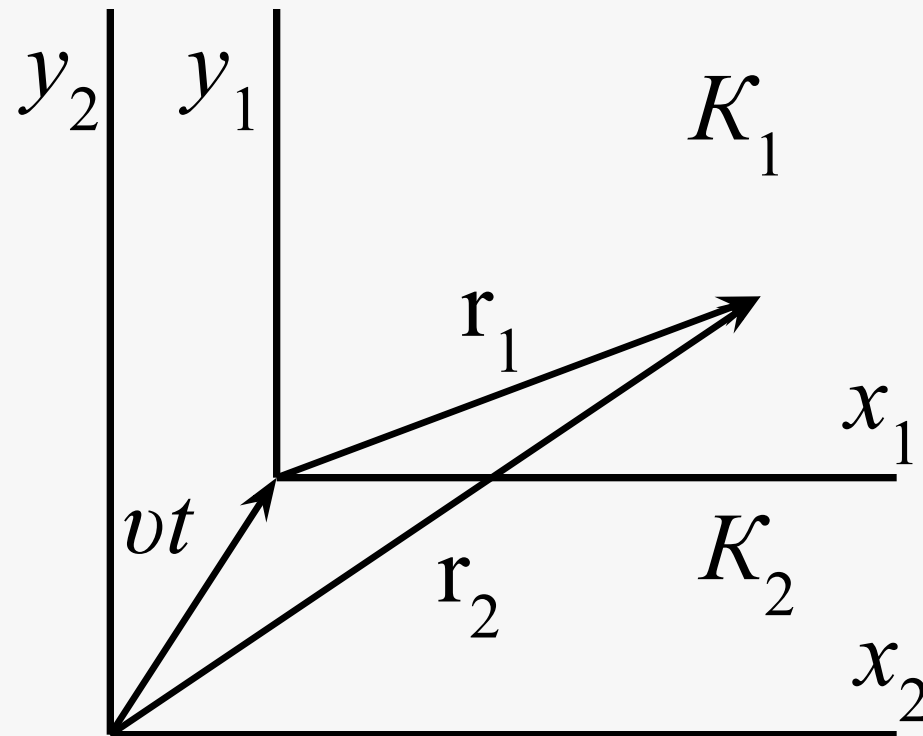
свободное движение снова будет происходить с постоянной скоростью.

Существует бесконечное множество инерциальных систем отсчета, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно.

Во всех инерциальных системах свойства пространства и времени одинаковы и одинаковы все законы механики.

Это утверждение составляет содержание *принципа относительности Галилея*.

Координаты одной и той же точки в разных системах отсчета K_1 и K_2 , из которых K_1 движется относительно K_2 со скоростью \mathbf{v} , связаны друг с другом соотношением



$$\mathbf{r}_2 = \mathbf{r}_1 + \mathbf{v}t$$

Подразумевается, что время течет одинаково в K_1 и K_2 : $t_1 = t_2 = t$.

Представление об абсолютном времени лежит в основе классической механики.

Принцип относительности Галилея можно сформулировать как требование инвариантности уравнений механики по отношению к преобразованиям Галилея:

$$t_1 = t_2 = t,$$
$$\mathbf{r}_2 = \mathbf{r}_1 + \mathbf{v}t.$$

Из абсолютности времени и принципа относительности Галилея следует, что в классической механике взаимодействие между телами распространяется мгновенно.

Если бы взаимодействие было бы не "мгновенным", то в силу принципа Галилея и однородности времени скорость распространения фундаментальных взаимодействий была бы различна в разных инерциальных системах отсчета.

Это привело бы к различию законов движения тел в разных инерциальных системах отсчета.

Из первого закона следует важный физический принцип: существование инерциальной системы отсчета.

Смысл первого закона состоит в том, что: если на тело не действуют внешние силы, то существует система отсчета, в которой оно покоится.

Но если в одной системе тело покоится, то существует множество других систем отсчета, в которых тело движется с постоянной скоростью.

Следствием первого закона Ньютона является утверждение: если наблюдатель находится в инерциальной системе отсчета, а это удостоверяет покоящееся в ней тело, то все прочие тела, на которые не действуют силы, будут также находиться в покое или двигаться с постоянной скоростью.

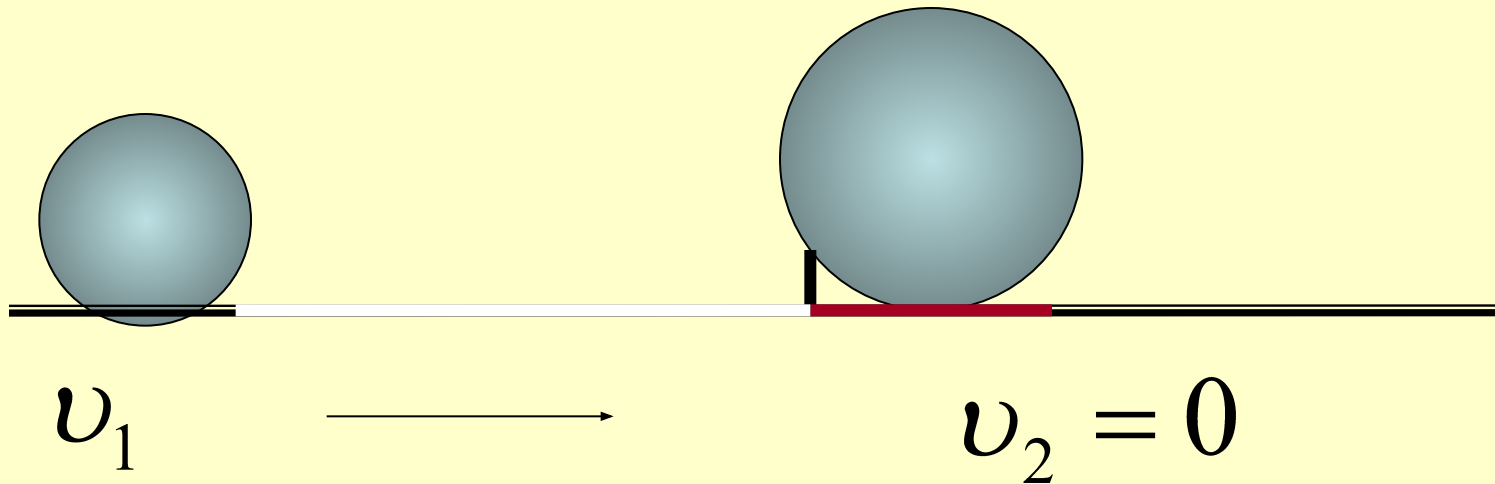
Взаимодействие тел

Согласно явлению инерции, тело само не может изменить скорость своего движения.

Для изменения скорости тела на него необходимо подействовать другим телом.

Действие тел друг на друга называют *взаимодействием*.

В результате взаимодействия оба тела изменяют свою скорость.



фундаментальные взаимодействия:

тип взаимодействия	величина константы взаимодействия G	расстояние взаимодействия r, м
1. Сильное (ядерное)	1	$\sim 10^{-13}$
2. Электромагнитное	1/137	$\sim \infty$
3. Слабое	10^{-14}	$\sim 10^{-13}$
4. Гравитационное	10^{-39}	$\sim \infty$

Физические поля

Если тела взаимодействуют без непосредственного соприкосновения, то говорят, что они взаимодействуют посредством поля

Поле - вид материи, посредством которого передается взаимодействие.

Некоторые виды полей:

- 1) гравитационное;
- 2) электромагнитное;

Второй закон Ньютона.

Основные понятия

Второй закон Ньютона количественно определяет: изменение состояние движения тела под действием внешних сил.

Под силой в механике понимают всякую причину, изменяющую состояние движения тела.

Всякое тело оказывает сопротивление при попытках привести его в движение или изменить модуль или направление его скорости. Это свойство тел называется *инертностью*.

Силой называется всякое воздействие на данное тело, сообщающее ему ускорение или вызывающее его деформацию.



F – сила

Единица измерения –

Н (Ньютон)



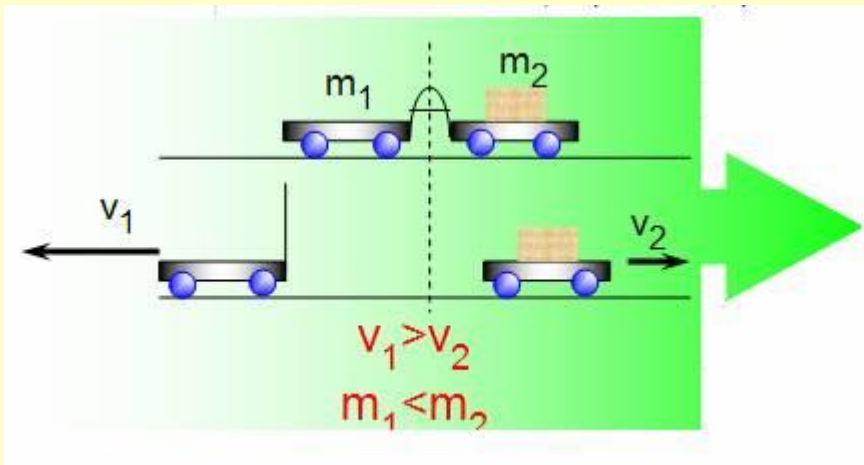
Полная характеристика силы включает следующую информацию:

- 1) природу взаимодействия;
- 2) тело, со стороны которого действует сила;
- 3) тело, на которое действует сила (точка приложения силы);
- 4) линия действия силы;
- 5) направление силы;
- 6) величина силы.

Свойство тел сопротивляться попыткам изменить их скорость называется **инертностью**.

Масса – это свойство, которое определяет величину ускорения a , приобретаемое телом под воздействием силы.

Масса тела – это физическая величина, являющаяся количественной мерой инертности тел, т.е. свойство сохранять приобретенную скорость движения V или состояние покоя ($V=0$).



$[m] = \text{кг}$ (килограмм), г, мг, т, ц

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2}$$



Неизвестную массу m можно сравнить с данной стандартной массой m_0 , поместив между ними небольшую сжатую пружину.

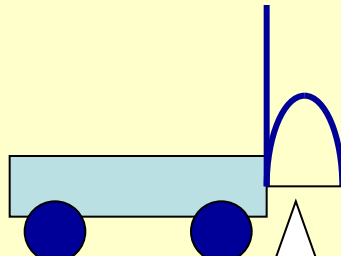
Отпустив пружину, мы заставим первоначально покоившиеся массы разлететься в противоположные стороны со скоростями \mathbf{v} и \mathbf{v}_0 соответственно.

При этом количественно неизвестную массу m можно определить следующим образом:

$$m = m_0 \mathbf{v}_0 / \mathbf{v} \text{ (определение инертной массы).}$$

Взаимодействие тел

$$v = 0$$

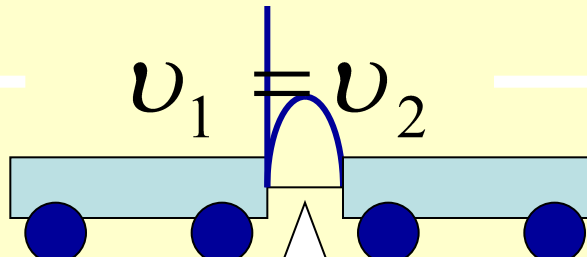


$$v = 0$$

$$v_1 = 0$$



$$v_1 = v_2$$

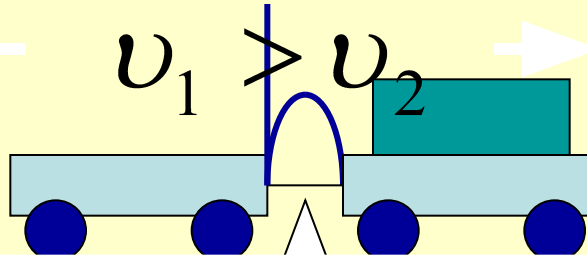


$$v_2 = 0$$

$$v_1 = 0$$



$$v_1 > v_2$$



$$v_2 = 0$$

При взаимодействии тел изменяется их скорость.

Таким образом, в инерциальной системе ускорение, которое сила сообщает телу (материальной точке), определяется формулой.

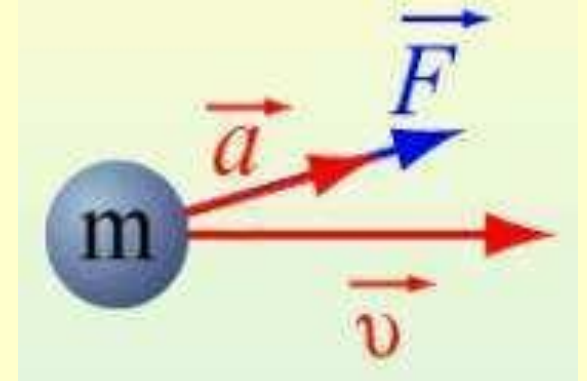
$$a = \frac{F}{m}$$

Это утверждение называется вторым законом Ньютона, а соответствующие ему уравнения — уравнениями движения материальной точки.

$$F = m \cdot a$$

Второй закон Ньютона

Ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей сил, приложенных к телу, и обратно пропорционально его массе

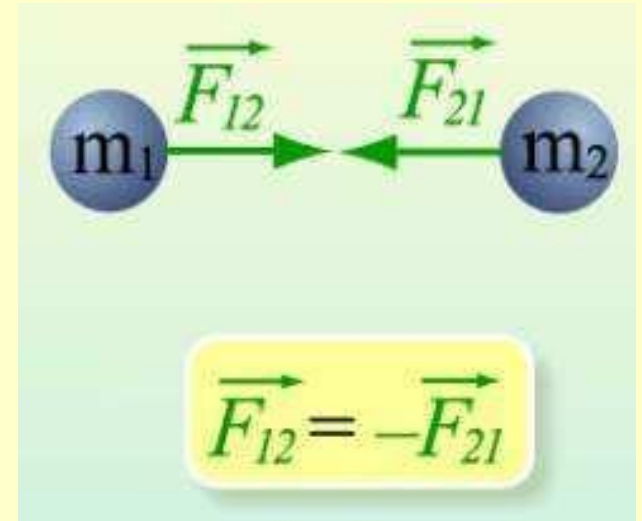


$$a = k \frac{F}{m}$$

m и k – скалярные величины

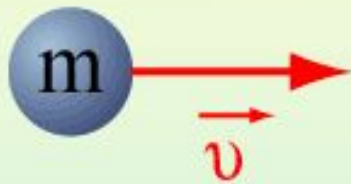
Третий закон Ньютона

Если одно тело действует на второе с некоторой силой F_{12} , то всегда имеет место обратное воздействие второго тела на первое с силой F_{21} , равной по величине F_{12} и противоположно направленной



Третий закон отражает тот факт, что *сила есть результат взаимодействия нескольких различных тел.*

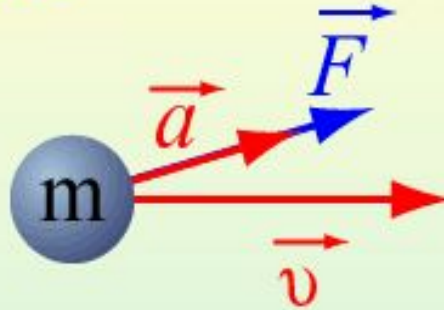
Законы Ньютона



$$\vec{v} = \text{const}, \\ \text{при } \vec{F} = 0$$

I закон

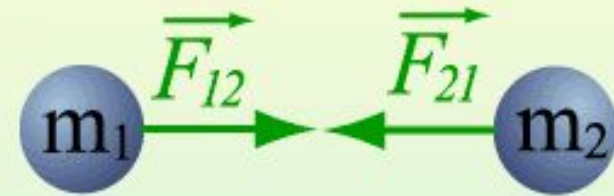
Существуют такие системы отсчета, в которых всякое тело будет сохранять состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока действие других тел не заставит его изменить это состояние.



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

II закон

Под действием силы тело приобретает такое ускорение, что его произведение на массу тела равно действующей силе.



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

III закон

Силы, с которыми взаимодействующие тела действуют друг на друга, равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны.

Закон всемирного тяготения

два точечных тела притягиваются друг к другу через пространство с силой, прямо пропорциональной их инертным массам и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.

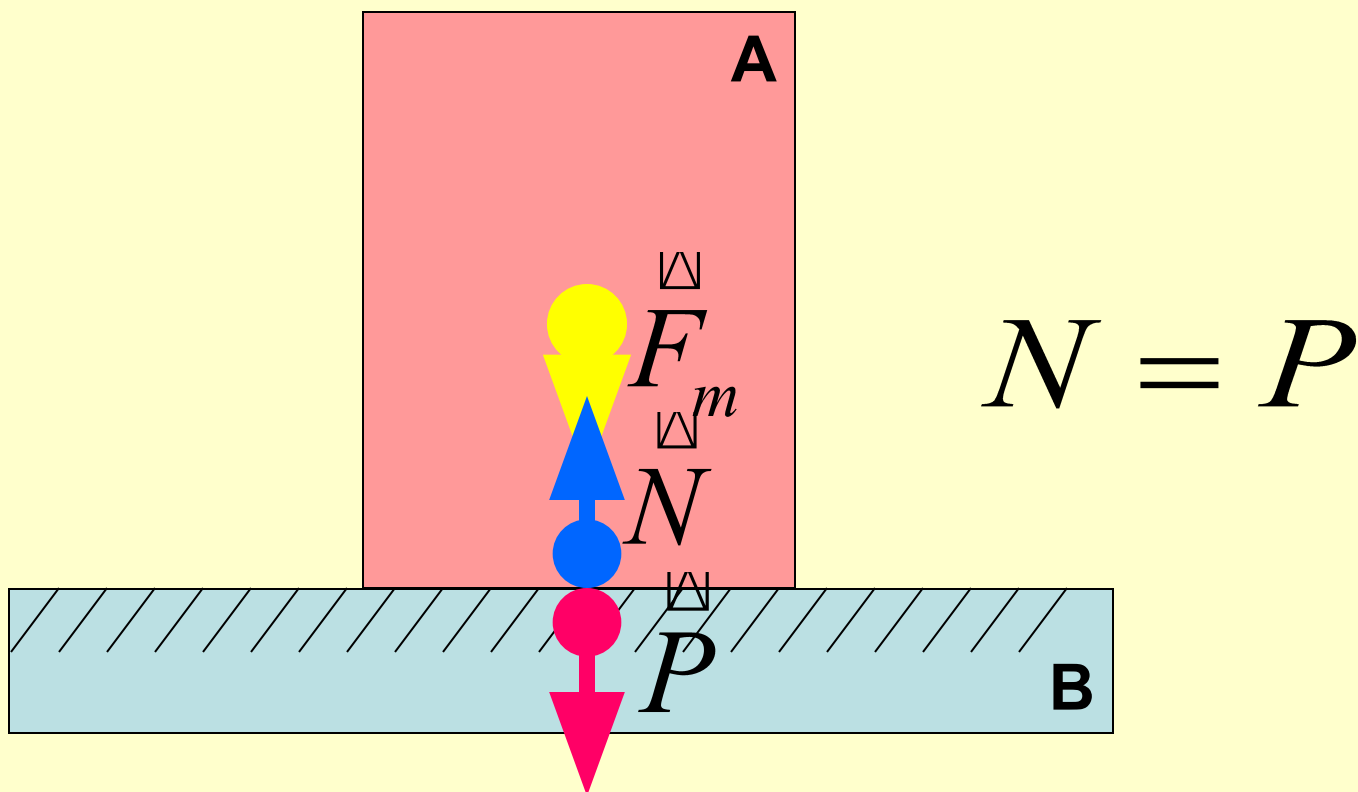
$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

γ – гравитационная постоянная

$$a = \frac{F}{m} = \frac{\gamma \cdot m \cdot M}{m \cdot (R + h)^2} = \frac{\gamma \cdot M}{R^2} = g$$

g - модуль напряженности гравитационного поля на поверхности Земли.

Когда тело покоится относительно поверхности Земли, сила ограничивается, по третьему закону Ньютона, реакцией опоры или подвеса. Сила, с которой тело действует на пружину (подвес) или опору равна весу, только если подвес и тело покоятся, либо движутся относительно Земли прямолинейно и равномерно.



Сила тяжести. Вес тела.

$$\overset{\square}{P} + \overset{\square}{f}_r = m \cdot \overset{\square}{w}$$

$\overset{\square}{w}$ - ускорение подвеса.

По III-му закону Ньютона тело действует на подвес с силой $\overset{\square}{f} = -\overset{\square}{f}_r$

$$\overset{\square}{P} - \overset{\square}{f} = m \cdot \overset{\square}{w}$$

$$m \cdot \overset{\square}{g} - \overset{\square}{f} = m \cdot \overset{\square}{w} \quad \longrightarrow \quad \overset{\square}{f} = m(\overset{\square}{g} - \overset{\square}{w})$$

$$\overset{\square}{g} = \overset{\square}{w}$$

$$g_{\text{ср}} \approx 9,81 \text{ м/с}^2$$

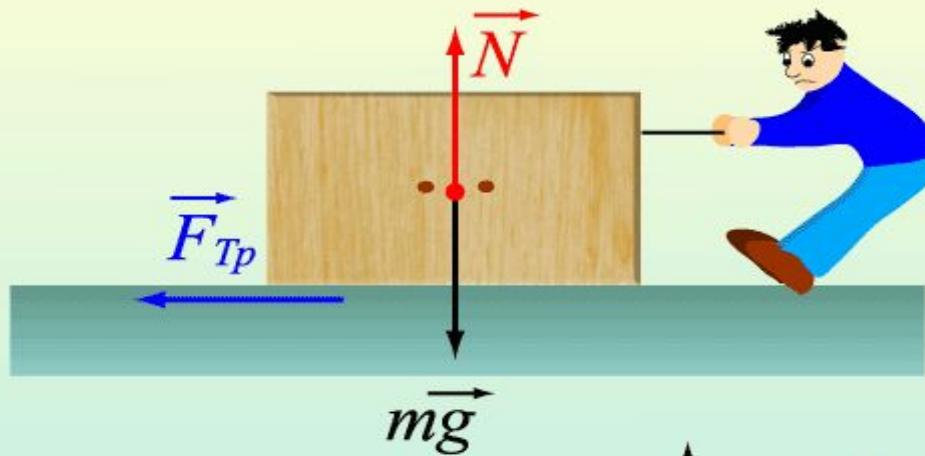
наступает состояние **невесомости**, - это означает, что тела не давят на опоры и, следовательно, на них не действует сила реакции опоры. Все происходит так, как если бы притяжение к Земле исчезло.

$$F = a \cdot m = \frac{\gamma \cdot m \cdot M}{(R + h)^2} = m \left[\frac{\gamma \cdot M}{R^2} \right] = m \cdot g = P$$

g- модуль напряженности гравитационного поля на поверхности Земли.

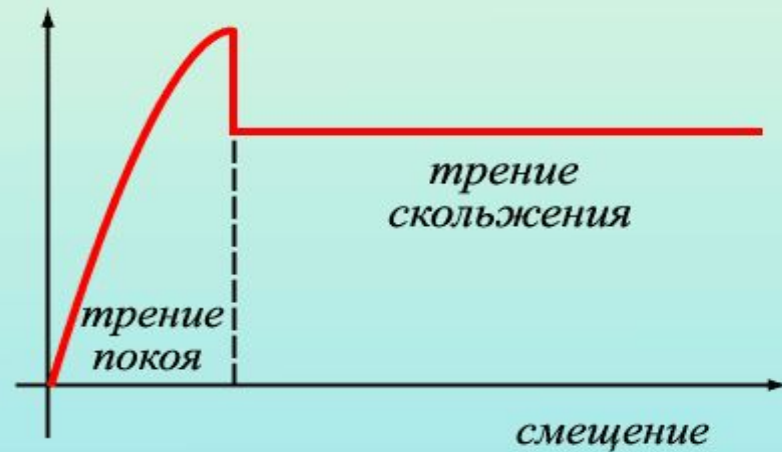
Сила трения

Сила трения



*Сила, возникающая
в плоскости
касания тел при их
относительном
перемещении*

$$F_{Tp} = \mu N$$



Импульс или количество движения

материальной точки - вектор, равный произведению массы точки на ее скорость:

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

Импульсом или количеством движения системы материальных точек назовем векторную сумму импульсов отдельных материальных точек, из которых эта система состоит.

Для системы из двух материальных точек

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

В инерциальной системе отсчета изменение импульса \mathbf{p} материальной точки со временем представляется уравнением

$$\Delta \mathbf{p} / \Delta t = \Delta(m \mathbf{v}) / \Delta t = m(\Delta \mathbf{v} / \Delta t) = m \mathbf{a} = \mathbf{F}.$$

если $m = \text{const}$

Величина \mathbf{F} , равная скорости изменения импульса во времени, называется силой, действующей на рассматриваемую материальную точку.

Очевидно, *сила \mathbf{F} есть вектор*, поскольку она равна изменению вектора \mathbf{p} со временем.

Импульс силы. Количество движения.

Согласно второму закону Ньютона $\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$ | x dt

$$\vec{F} \cdot dt = m \cdot d\vec{v} = d(m \cdot \vec{v}) \quad \text{если } m = \text{const}$$

$$\vec{F} \cdot dt \quad - \text{импульс силы.}$$

$$\vec{k} = m \cdot \vec{v} \quad - \text{импульс тела (количество движения)}$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} d(m\vec{v}) = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{k}_2 - \vec{k}_1$$

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{k}}{dt}$$

второй закон Ньютона

Во второй закон Ньютона входит результирующая сила. Поэтому прежде чем применять второй закон Ньютона, нужно сначала найти векторную сумму всех сил, действующих на данное тело.

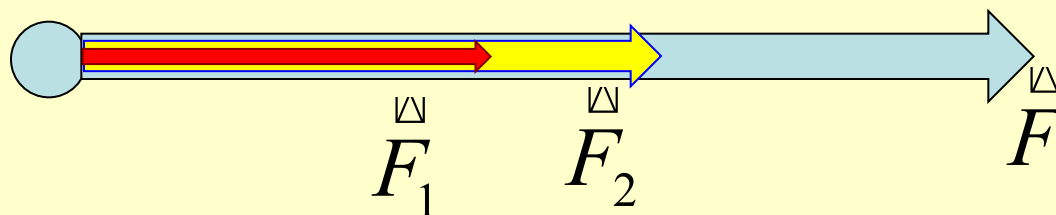
Это положение очень существенно, и оно имеет дополнительное физическое содержание, которое можно проверить экспериментально.

Сложение сил

Равнодействующая сила – сила, которая оказывает на тело то же воздействие, что и несколько сил.

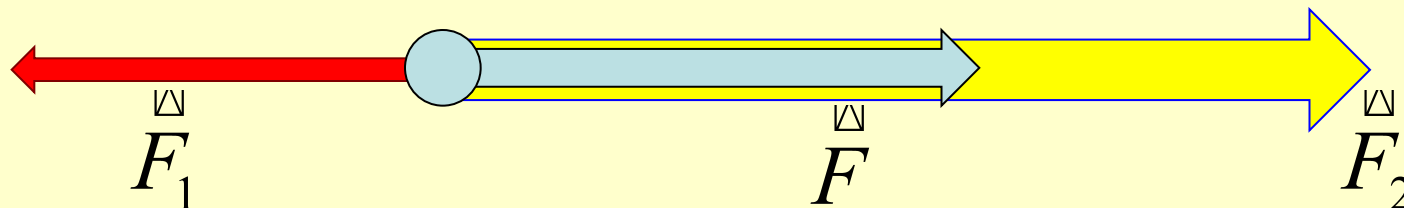
$$F = F_1 + F_2$$

Сложение сил, направленных вдоль одной прямой



Равнодействующая двух сил, направленных вдоль одной прямой в одну сторону, направлена в ту же сторону, а ее модуль равен сумме модулей слагаемых сил: $F = F_1 + F_2$.

Сложение сил, направленных вдоль одной прямой

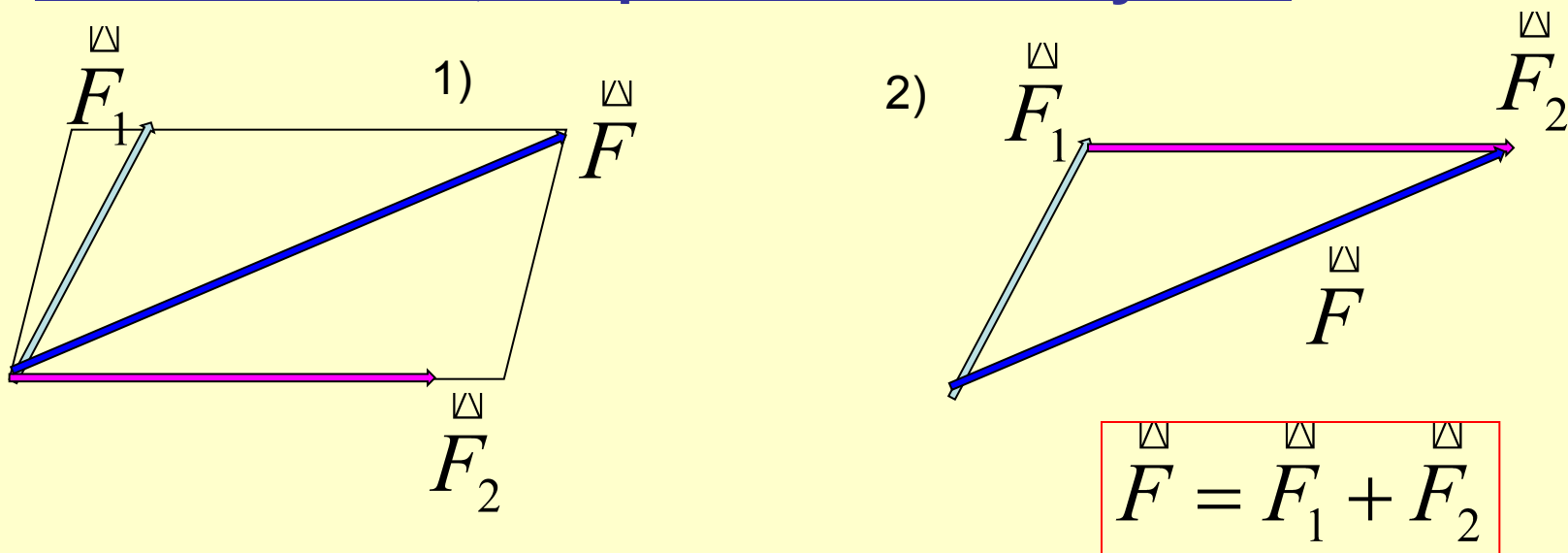


Равнодействующая двух сил, направленных вдоль одной прямой в противоположные стороны, направлена в сторону большей по модулю силы, а ее модуль равен разности модулей слагаемых сил:

$$F = F_2 - F_1.$$

$$F = F_1 + F_2$$

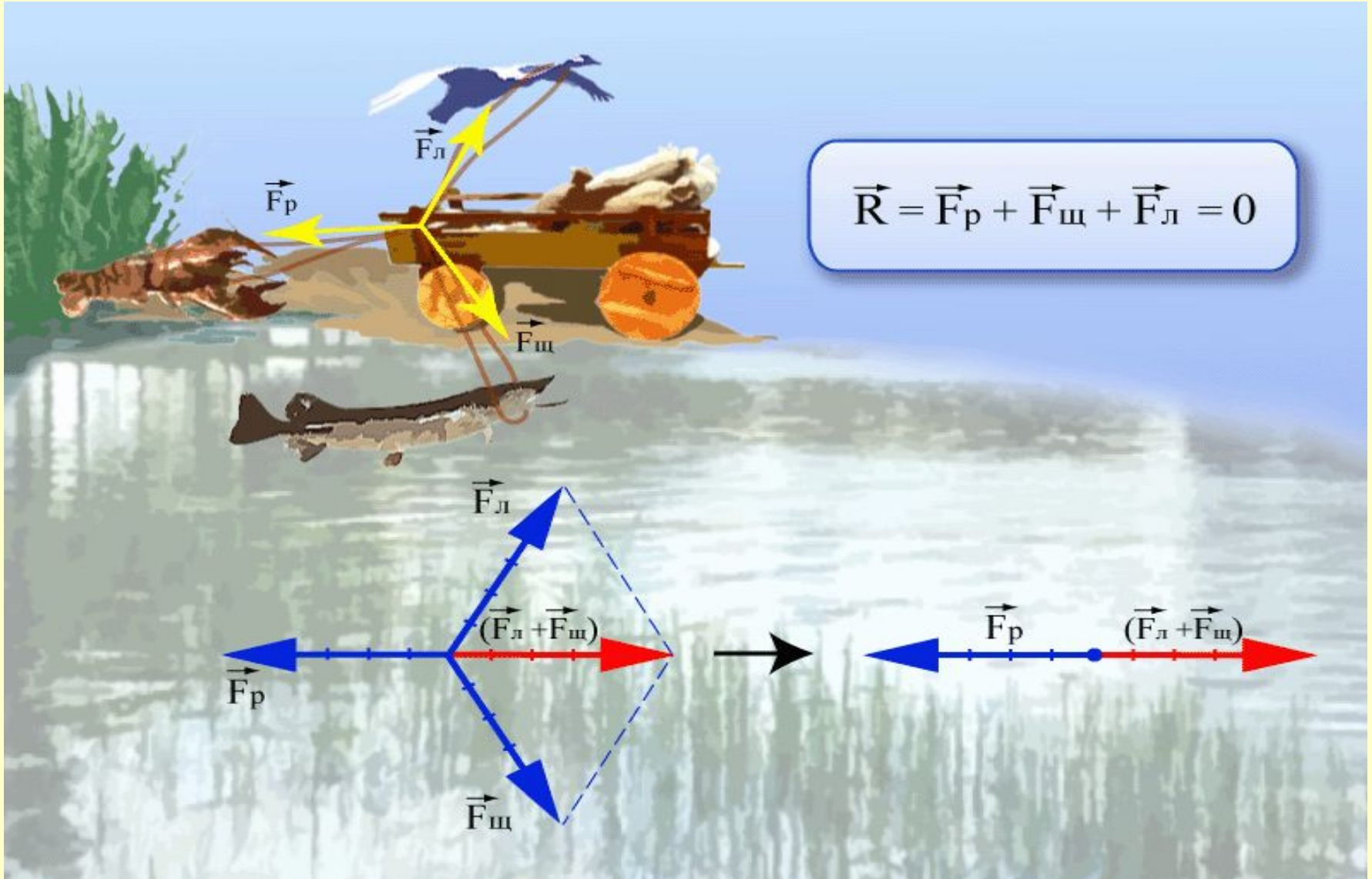
Сложение сил, направленных под углом



1) Правило параллелограмма: для нахождения равнодействующей двух сил, действующих под углом, надо построить параллелограмм на этих силах, как на сторонах и провести в нем из точки приложения сил диагональ. Длина и направление этой диагонали определяет модуль и направление равнодействующей.

2) Правило треугольника: с концом вектора F_1 совместить начало вектора F_2 и соединить начало первого с концом второго.

Принцип суперпозиции сил: если на материальную систему действуют несколько сил, то их равнодействующая равна векторной сумме этих сил.



Соотношение $ma = F_{\text{рез}}$ предполагает аддитивность (сложение) масс и векторный закон сложения сил.

Аддитивность масс означает, что если соединить вместе два тела с массами m_A и m_B , то масса такого тела будет равна

$$m = m_A + m_B.$$

Центр инерции. Закон сохранения количества движения.

внутренними – называются силы, с которыми на данное тело воздействуют остальные тела системы;

внешними – называются силы, обусловленные воздействием тел, не принадлежащих системе.

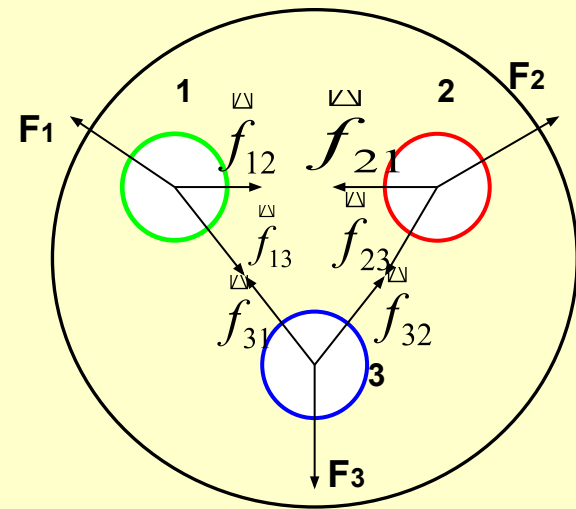
Центр инерции – это точка, положение которой задается радиус-вектором \vec{r}_c :

$$\vec{r}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + m_3 \vec{r}_3 + \dots + m_N \vec{r}_N}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_N} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{m}$$

где m_i – масса i -го тела, \vec{r}_i – его радиус – вектор, m – масса системы

Количество движения системы (k) равно произведению массы системы на скорость ее центра инерции.

$$k = m \cdot v_c$$



$$\frac{d}{dt} k_1 = f_{12} + f_{13} + F_1$$

$$\frac{d}{dt} k_2 = f_{21} + f_{23} + F_2$$

$$\frac{d}{dt} k_3 = f_{31} + f_{32} + F_3$$

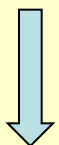
$$\frac{d}{dt} (k_1 + k_2 + k_3) = \frac{d}{dt} k = F_1 + F_2 + F_3$$

$$\frac{d}{dt} k = 0$$

закон сохранения количества движения: количество движения замкнутой системы не изменяется.

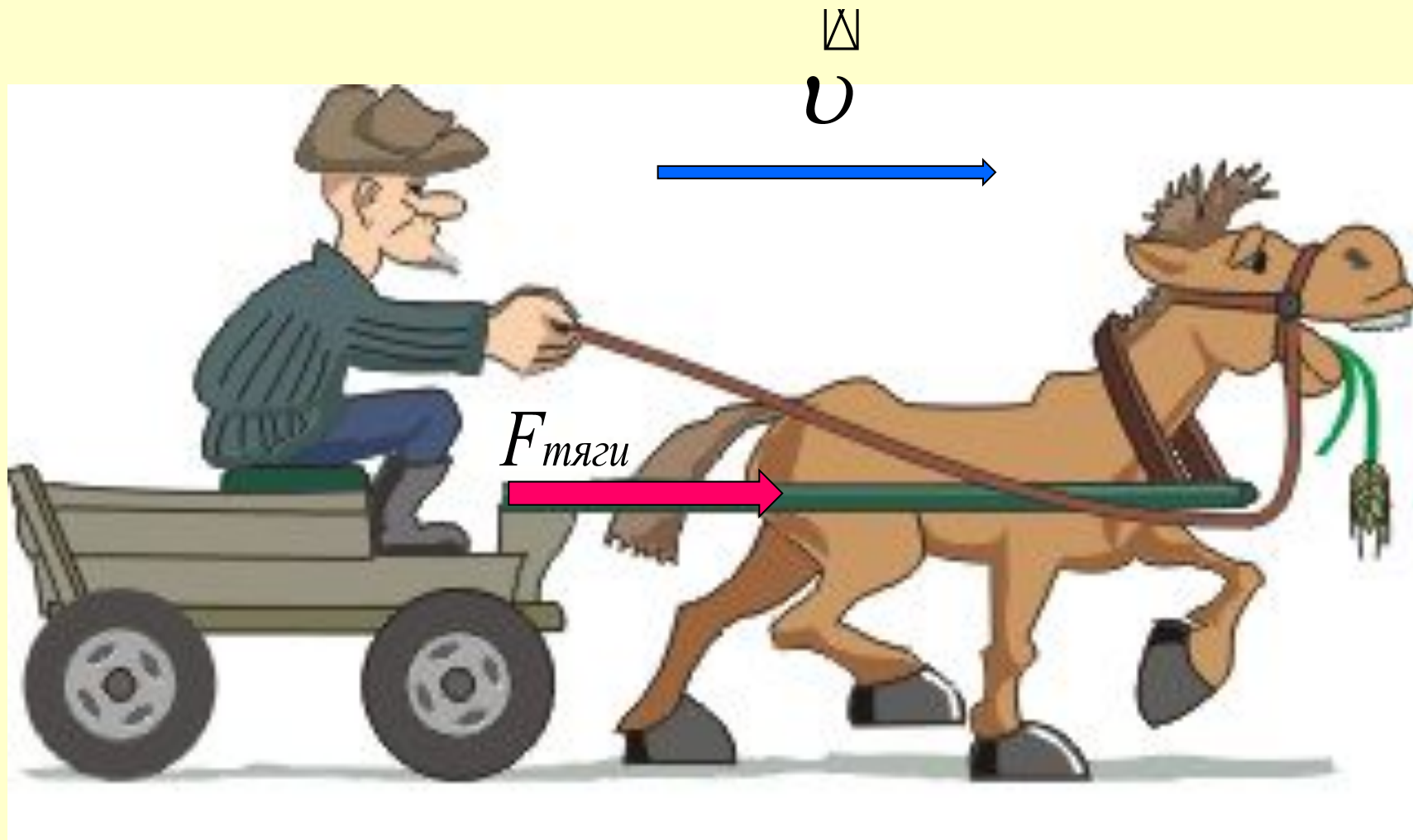
$$k = m \cdot v_c$$

центр инерции замкнутой системы либо движется прямолинейно и равномерно, либо остается неподвижным



Инерциальные системы отсчета

РАБОТА

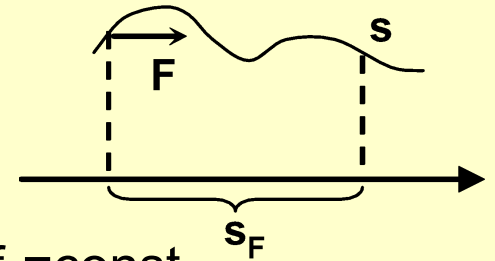


Работа.

работа – это скалярная величина, равная скалярному произведению проекции силы f на направление перемещения r и пути, проходимого точкой приложения силы:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2.$$

$$A = f \cdot r$$

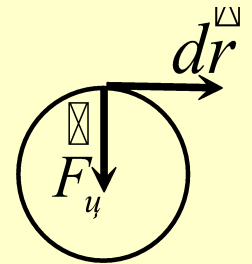
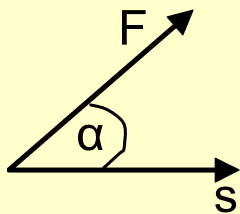


$A = f_s \cdot s = f \cdot s \cdot \cos \alpha$, если $\alpha = \text{const}$, то и $f_s = \text{const}$

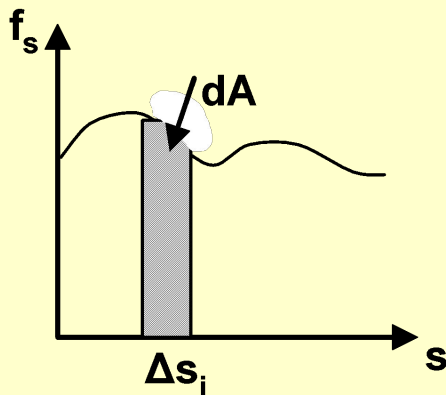
α – острый, то $\cos \alpha > 0$, следовательно $A > 0$.

α – тупой, $\cos \alpha < 0$ и работа $A < 0$

$\alpha = \pi/2$, $\cos \alpha = 0$, и работа $A = 0$



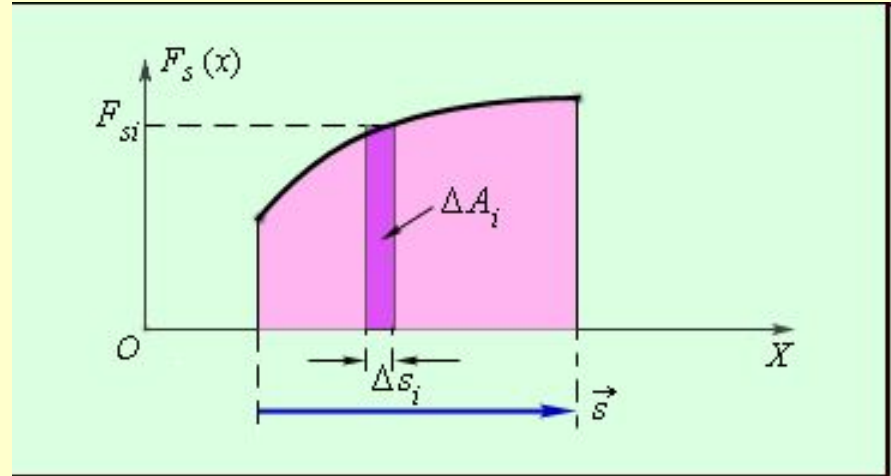
$$f_s \neq \text{Const}$$



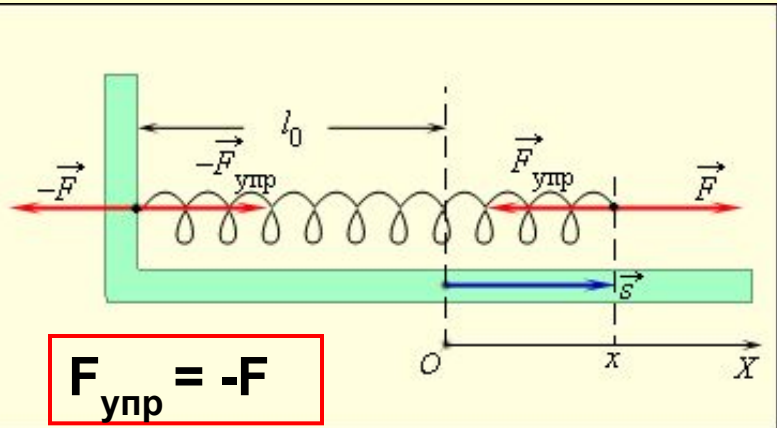
$$dA = \lim_{\Delta s_i \rightarrow 0} \sum f_{s_i} \Delta s_i \quad \longrightarrow \quad A = \int_s f_s \cdot ds$$

Графически работа определяется по площади криволинейной фигуры под графиком $F_s(x)$

$$\Delta A_i = F_{si} \Delta s_i$$



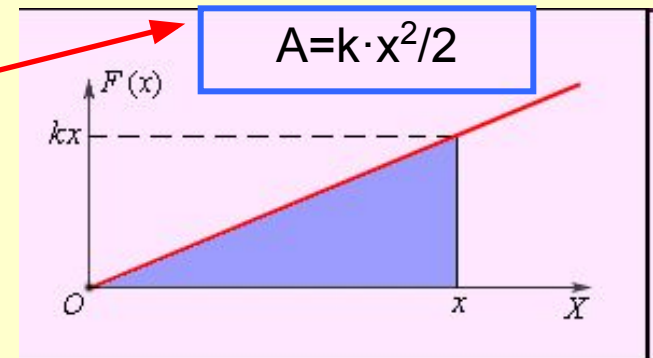
Растянутая пружина. Направление внешней силы совпадает с направлением перемещения k – жесткость пружины.



$$F_{\text{упр}} = -F$$

$$F_s = kx$$

Этой же формулой выражается работа, совершенная внешней силой при сжатии пружины. В обоих случаях работа упругой силы равна по модулю работе внешней силы и противоположна ей по знаку.



Зависимость модуля внешней силы от координаты при растяжении пружины

Единицы измерения работы

За единицу работы принимают работу A , совершаемую силой F в 1Н, на пути S , равном 1м

$$1 \text{ Джоуль} = 1 \text{ Ньютон} * 1 \text{ метр}$$

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж} \quad 1 \text{ Дж} = 0,001 \text{ кДж}$$

$$1 \text{ МДж} = 1000000 \text{ Дж}$$

Мощность.

мощность – величина, показывающая какая работа совершается в единицу времени и равная

$$W = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$1 \text{ Дж} / 1 \text{ сек} = 1 \text{ Вт.}$$

Мощность

Мощность N – это работа... за $t = 1\text{с}$

$$N = A/t$$

$$N = \vec{F} * \vec{V}$$

Единицы измерения мощности

За единицу мощности принимают работу A в 1 Джоуль, совершаемую за 1 секунду.

$$1 \text{ Ватт} = \frac{1 \text{ Джоуль}}{1 \text{ секунда}}$$

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$$
$$1 \text{ МВт} = 1000000 \text{ Вт}$$

Потенциальное поле сил.

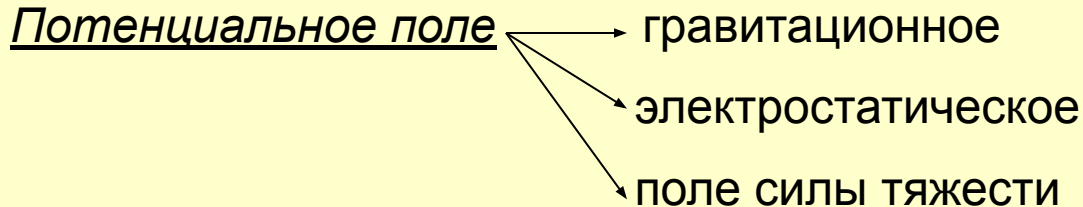
потенциальные - силы зависят только от положения тела в пространстве

Силы, работа которых определяется только начальным и конечным положением тела в пространстве называются консервативными

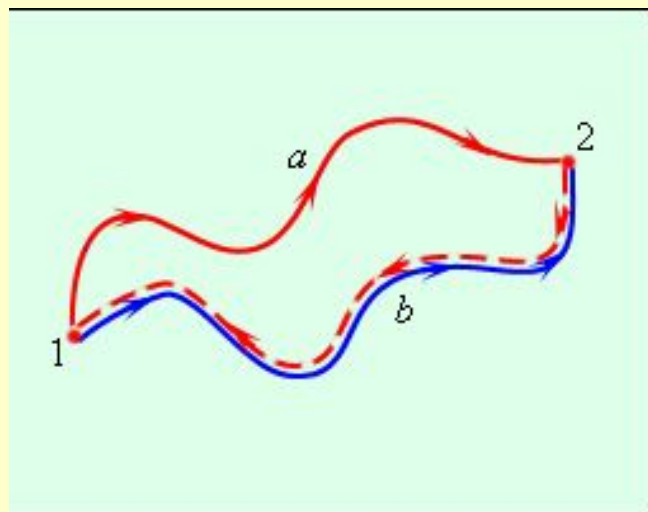
Силы, работа которых *зависит* от пути, по которому тело переходит из одного положения в другое, называются неконсервативными.

Консервативными системами называются такие системы, в которых действие внешних сил не приводит к переходу одного вида энергии в другой.

Диссипативными называются системы, в которых действие внешних сил приводит к переходу одного вида энергии в другой.



Работа консервативных сил на замкнутой траектории равна **нулю**.



Работа сил трения

$$\Delta A = \int \vec{F} \cdot \vec{v} \cdot \Delta t = -F \cdot v \cdot \Delta t \longrightarrow \mathbf{A < 0}$$

неконсервативная сила