

# МЕХАНИКА

## Основы кинематики

**Основная задача механики** — определить положение (то есть координаты) тела в любой момент времени.

**Механическое движение** — изменение положения тела в пространстве с течением времени относительно других тел.

**Поступательное движение** — движение, при котором все части тела движутся одинаково.

**Материальная точка** — тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Размерами тела можно пренебречь в двух случаях:

- 1) если тело движется поступательно (не поворачивается и не вращается);
- 2) если проходимое телом расстояние во много раз превышает его размеры.

Положение тела в пространстве задается 1-й, 2-мя или 3-мя *координатами*, которые отсчитываются от *тела отсчета* (начала координат) вдоль выбранной координатной оси.

Системы координат:

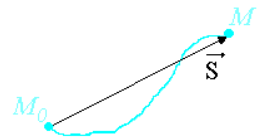


**Система отсчета** — тело отсчета, система координат, связанная с ним, и прибор для измерения времени (часы).

**Траектория** — линия, вдоль которой движется тело.

**Путь**  $L$  [м] — длина траектории.

**Перемещение**  $\vec{S}$  [м] — вектор, направленный из начального положения тела (точка  $M_0$  на рис.) в его конечное положение (точка  $M$ ).



**Скорость**  $\vec{v}$  — величина, показывающая, какой путь проходит тело за единицу времени. Вектор скорости всегда **направлен вдоль касательной** к траектории.

Механическое движение бывает равномерным и неравномерным.

### Равномерное прямолинейное движение

**Равномерным прямолинейным** (далее — *р/м п/л*) называют движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит по прямой одинаковые расстояния. (Тело движется с **постоянной скоростью**:  $\vec{v} = \text{const}$ ,  $a = 0$ )

**Скорость р/м п/л движения**  $\vec{v}$  [ $\frac{м}{с}$ ] — векторная величина, равная отношению перемещения тела к промежутку времени, за которое это перемещение совершено:

$$\boxed{\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t}} \quad \text{Всегда: } \vec{v} \uparrow \uparrow \vec{S}$$

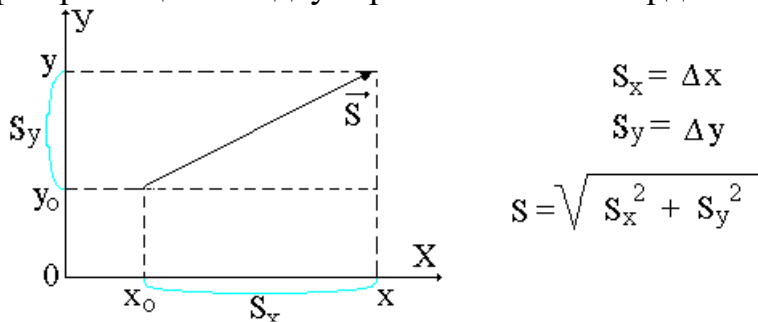
За единицу скорости  $[1 \frac{м}{с}]$  принимают скорость такого равномерного прямолинейного движения, при котором тело за 1 с перемещается на 1 м.

$$[\frac{км}{ч}] \xleftrightarrow[\times 3,6]{: 3,6} [\frac{м}{с}]$$

Если тело никуда не поворачивает, то  $L = S$  (то есть тогда путь равен перемещению).

Тогда путь, пройденный при р/м п/л движении:  $S = vt$

Рассмотрим вектор перемещения в двумерной системе координат:



(Проекция вектора на ось — это отрезок на этой оси, полученный между перпендикулярами, проведенными к этой оси из начала и из конца данного вектора)

Проекция  $S_x$  вектора перемещения на ось X:

$$S_x = v_x t \quad \text{или} \quad S_x = x - x_0 \quad \text{или} \quad S_x = \Delta x$$

Следовательно, при равномерном движении координата тела изменяется по следующей зависимости:

$$x = x_0 + v_x t$$

(это уравнение зависимости координаты от времени или уравнение р/м п/л движения)

(Здесь:  $x_0$  — начальная координата тела,  $x$  — координата в момент времени  $t$ ,  $v_x$  — проекция скорости на ось X).

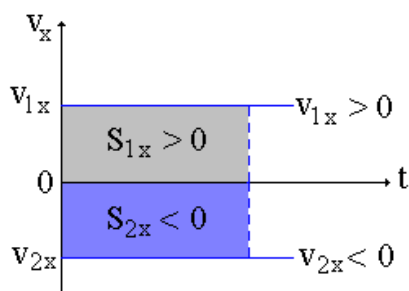
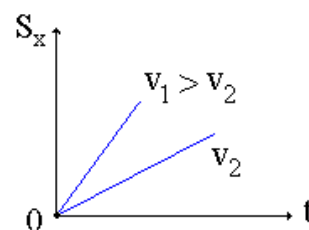
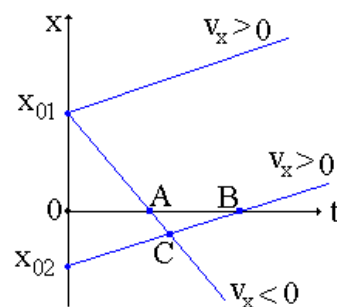
Графики зависимости координаты от времени при р/м п/л движении показаны на рисунке:

Точки A и B показывают, в какой момент времени тело проходит через начало координат. Точка C показывает время и место встречи тел, так как в данный момент времени сравнивались координаты тел. Находить значение  $v_x$  по графику  $x(t)$  удобно по формуле:

$$v_x = \frac{x - x_0}{\Delta t}$$

График зависимости проекции перемещения от времени:

Графики зависимости проекции скорости р/м п/л движения от времени:



### Геометрический смысл перемещения:

проекция перемещения  $S_x$  численно равна площади фигуры, заключенной между графиком скорости и осью времени.

## Неравномерное движение. Средняя скорость

**Неравномерное движение** — движение, при котором тело за равные промежутки времени проходит не равные расстояния. При неравномерном движении скорость тела в разные моменты времени различна по величине и (или) по направлению.

**Средняя скорость** тела при неравномерном движении определяется по формуле:

$$v_{cp} = \frac{S}{t} \quad \begin{aligned} S &= S_1 + S_2 + \dots \\ t &= t_1 + t_2 + \dots \end{aligned}$$

Здесь:  $S$  – **весь** пройденный **путь**,  $t$  – **все время** движения (с учетом времени остановок).

**Частные случаи\*** для определения средней скорости:

1) найти среднюю скорость, если известны скорость  $v_1$  движения на первой **половине пути** и скорость  $v_2$  движения на второй половине пути:  $v_{cp} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}$

2) найти среднюю скорость, если известны скорость  $v_1$  движения в первую **половину времени** и скорость  $v_2$  движения во вторую половину времени:  $v_{cp} = \frac{v_1 + v_2}{2}$

3) найти среднюю скорость **равноускоренного** движения:  $v_{cp} = \frac{v_0 + v}{2}$

(Здесь и далее «звездочкой» или синим цветом выделены формулы, которых **НЕТ** в Кодификаторе ОГЭ!)

## Равноускоренное прямолинейное движение

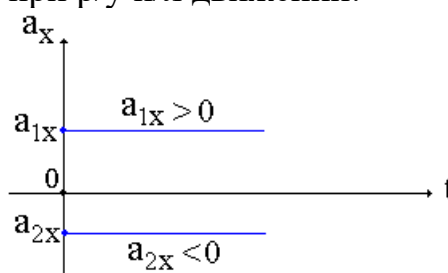
**Равноускоренным прямолинейным** (далее – *р/у п/л*) называют движение, при котором за любые равные промежутки времени скорость тела изменяется одинаково (тело движется с постоянным ускорением  $a = const$ ).

**Ускорение**  $\vec{a} [\frac{M}{c^2}]$  — векторная физическая величина, равная отношению изменения скорости тела к промежутку времени, за которое это изменение произошло (ускорение показывает, **как изменяется скорость за 1 секунду**).

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{t} \quad \vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} \quad a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

За единицу ускорения  $[1 \frac{M}{c^2}]$  принимают скорость такого равномерного прямолинейного движения, при котором скорость тела изменяется на  $1 \frac{M}{c}$  за 1 с.

Графики проекции ускорения при р/у п/л движении:



**Мгновенная скорость** (скорость в любой момент времени) при р/у п/л движении:

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

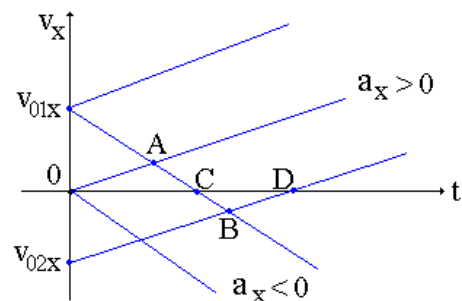
Если векторы  $\vec{v}_0$  и  $\vec{a}$  сонаправлены (то есть проекции этих векторов  $v_{0x}$  и  $a_x$  имеют одинаковые знаки), то модуль скорости с течением времени увеличивается (это равноускоренное движение).

Если же векторы  $\vec{v}_0$  и  $\vec{a}$  противоположно направлены (то есть проекции этих векторов  $v_{0x}$  и  $a_x$  имеют разные знаки), то модуль скорости уменьшается (это равнозамедленное движение).

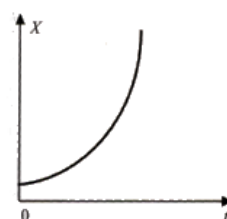
Графики проекции скорости при равноускоренном и равнозамедленном прямолинейном движении:

Точки **А** и **В** на графике означают, что в данные моменты времени скорости данных тел сравнивались.

Точки **С** и **Д** означают, что в данные моменты времени данные тела остановились и поменяли направление своего движения (так как в данные моменты времени проекция скорости  $v_x$  становится равной нулю и меняет знак).



Графики зависимости координаты и проекции перемещения от времени при равноускоренном и равнозамедленном движении имеют вид параболы (см. рис.)



Формулы для  $S_x$  и  $x$  при равнопеременном движении:

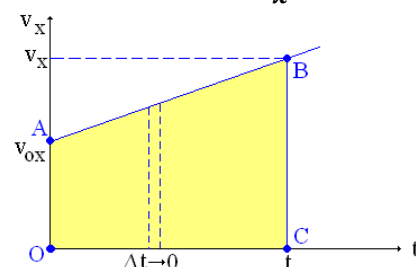
$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$S_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$S_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

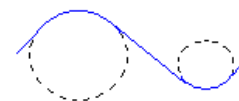
Для нахождения проекции перемещения  $S_x$  при р/у и р/з п/л движении можно использовать геометрический смысл перемещения. Например, на данном рисунке  $S_x$  = площади трапеции ОАВС:

$$S_x = \frac{(v_{0x} + v_x) t}{2}.$$



## Криволинейное движение

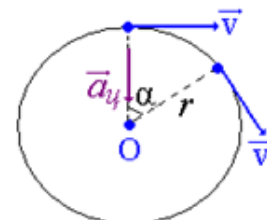
**Криволинейное движение** сводится к движению по дугам окружностей:



При движении по окружности численное значение скорости может и не изменяться, но поскольку обязательно изменяется направление скорости (а скорость — это векторная физическая величина, которая имеет не только численное значение, но и направление), то движение по окружности — это всегда движение с ускорением.

При **равномерном движении по окружности** это **ускорение** называют **центростремительным**, так как оно не меняет модуль скорости, а меняет только ее направление — поворачивает вокруг центра окружности — и всегда направлено к этому центру.

Итак, при движении по окружности векторы **линейной скорости**  $\vec{v}$  и **перемещения**  $\vec{S}$  направлены **по касательной** к окружности, а вектор **центростремительного ускорения**  $\vec{a}_ц$  — **по радиусу к ее центру**.



**Периодом обращения**  $T$  [с] называют время, в течение которого совершается один полный оборот тела по окружности. Период равен отношению времени  $t$  всех оборотов к их количеству  $N$ . За единицу периода принята 1 секунда.

**Частотой обращения**  $\nu$  [ $\text{с}^{-1} = \text{Гц}$ ] называют число оборотов материальной точки вокруг центра обращения в единицу времени. Частота равна отношению количества  $N$  всех оборотов ко времени  $t$ , за которое они совершены. За единицу частоты принят 1 оборот в секунду.

$$T = \frac{t}{N} \quad \nu = \frac{N}{t} \quad \nu = \frac{1}{T} \quad T = \frac{1}{\nu}$$

$$\nu = \frac{L}{t} \quad \nu = \frac{2\pi R}{T} \quad \nu = 2\pi R \nu \quad a_{\text{ц}} = \frac{\nu^2}{R}$$

**\*Угловой скоростью**  $\omega$  [ $\frac{\text{рад}}{\text{с}} = \text{с}^{-1} = \text{Гц}$ ] называется отношение угла поворота  $\alpha$  к промежутку времени  $t$ , за которое этот поворот был совершен. За единицу угловой скорости принята скорость такого равномерного движения тела по окружности, при котором совершается поворот на 1 рад (радиан) за 1 с.

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \omega = 2\pi \nu \quad \nu = \omega R \quad a_{\text{ц}} = \omega^2 R$$

### Свободное падение по вертикали

**Свободным падением** называется движение тела под действием только силы тяжести. Следовательно, это движение с постоянным по модулю и по направлению **ускорением свободного падения**  $g \approx 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

Таким образом, к свободному падению по вертикали можно применить все формулы равноускоренного прямолинейного движения:

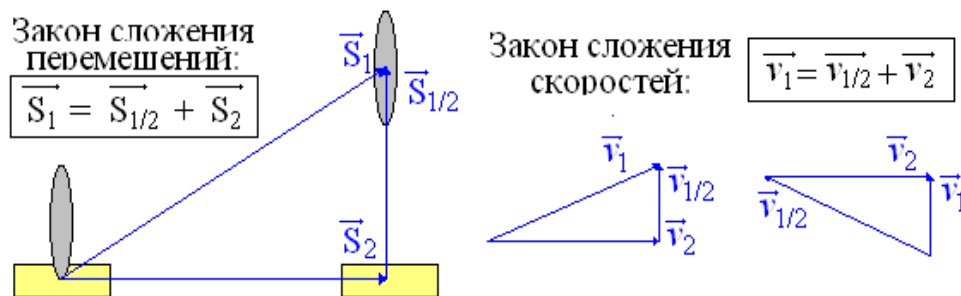
$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} \quad S_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} \quad S_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y} \quad v_y = v_{0y} + g_y t$$

### Относительность движения

**Относительность движения состоит в том**, что одно и то же тело может одновременно участвовать в разных видах движения относительно разных тел (в разных системах отсчета).

Например, яблоко, лежащее на столе вагона, движущегося со скоростью  $u$ , покоится относительно вагона, но движется со скоростью  $u$  относительно земли, а относительно встречного поезда оно движется уже с большей скоростью и т.д.

Рассмотрим, например, движение лодки (1) в двух системах отсчета: относительно берега и относительно плывущего по реке плота (2):



Здесь:

$v_1$  и  $S_1$  – скорость и перемещение *тела* (здесь – лодки) *относительно неподвижной системы отсчета* (берега, земли);

$v_{1/2}$  и  $S_{1/2}$  – скорость и перемещение *тела* *относительно подвижной системы отсчета* (здесь – скорость лодки *относительно* плота или воды);

$v_2$  и  $S_2$  – скорость и перемещение *подвижной системы отсчета* *относительно неподвижной* (здесь – скорость воды или плота *относительно* берега).

**В наиболее простых (частных) случаях относительного движения** (когда все вышеназванные скорости направлены вдоль одной прямой) можно использовать скалярные уравнения:

$$\begin{array}{ccc} \overrightarrow{v_1} & \overrightarrow{v_2} & \\ \text{---} & \text{---} & \\ \overrightarrow{v_1} & \overrightarrow{v_2} & \end{array} \quad v_{1/2} = v_1 + v_2$$

$$\begin{array}{ccc} \overrightarrow{v_1} & \overrightarrow{v_2} & \\ \text{---} & \text{---} & \\ \overrightarrow{v_1} & \overrightarrow{v_2} & \end{array} \quad v_{1/2} = |v_1 - v_2|$$

$$\begin{array}{ccc} \overrightarrow{v_{1/2}} & & \\ \text{---} & \overrightarrow{v_2} & \\ \text{---} & \overrightarrow{v_2} & \end{array} \quad v_1 = v_2 + v_{1/2}$$

$$\begin{array}{ccc} \overrightarrow{v_{1/2}} & & \\ \text{---} & \overrightarrow{v_2} & \\ \text{---} & \overrightarrow{v_2} & \end{array} \quad v_1 = |v_2 - v_{1/2}|$$

## Основы динамики

Динамика отвечает на вопрос: «Почему именно так движется тело?» Динамика изучает силы, действие которых определяет движение тела.

**Сила  $\vec{F}$  [Н]** – векторная физическая величина, характеризующая действие одного тела на другое, измеряется в ньютонах. 1 Н – это сила, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение 1 м/с<sup>2</sup>.

**Принцип суперпозиции сил:** действие нескольких сил можно заменить действием одной силы, называемой равнодействующей всех сил, она равна векторной (или геометрической) сумме всех сил, приложенных к телу:

$\vec{F}_p$  – равнодействующая сила

$$\vec{F}_p = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

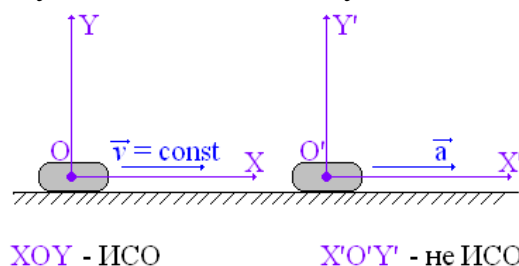
**Первый закон Ньютона (закон инерции):** существуют такие системы отсчета, в которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной ( $a = 0$ ), если на него не действуют другие тела, либо действие этих тел скомпенсировано ( $F_p = 0$ ).

Явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел называется **явлением инерции**.

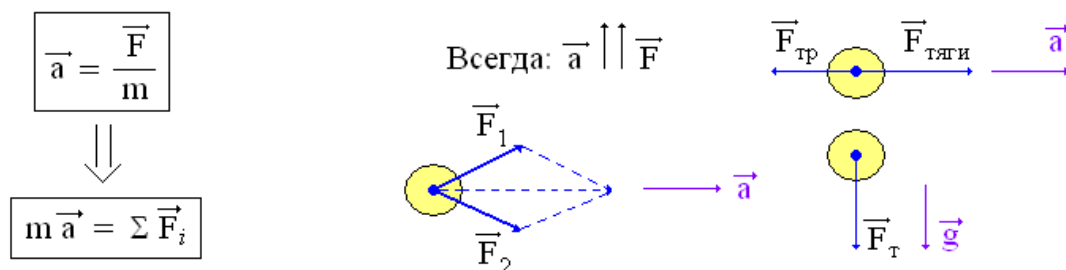
Системы отсчета, в которых выполняются I и II законы Ньютона, называют **инерциальными системами отсчета** (ИСО). Систему отсчета, связанную с землей, будем считать инерциальной системой отсчета.

Тогда любая другая с/о, которая относительно земли не имеет ускорения, тоже будет инерциальной.

Неинерциальной с/о является любая с/о, которая сама движется с ускорением относительно земли.

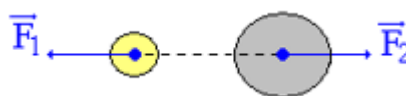


**Второй закон Ньютона:** ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей силе и обратно пропорционально массе этого тела:



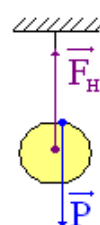
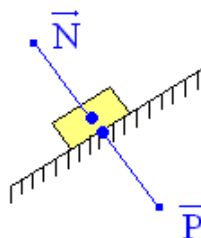
**Третий закон Ньютона:** тела действуют друг на друга силами, равными по модулю и противоположными по направлению:

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



Примеры  
проявления закона:

$$\begin{aligned} \vec{P} &= -\vec{N} & P &= N \\ \vec{P} &= -\vec{F}_H & P &= F_H \end{aligned}$$

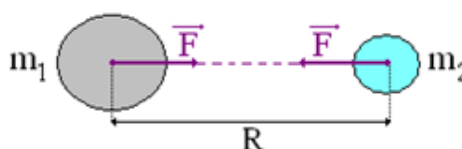


**Особенности сил противодействия:**

- эти силы действуют только парами;
- эти силы всегда одной природы;
- эти силы не компенсируют друг друга, так как приложены к разным телам.

**Закон всемирного тяготения** – все тела в мире притягиваются друг к другу силой, модуль которой прямо пропорционален произведению масс этих тел и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними:

$$F = \frac{G m_1 m_2}{R^2}$$

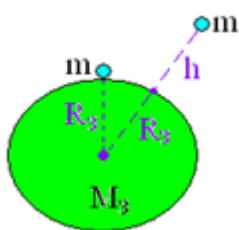
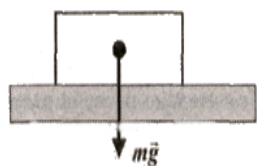


$G \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$  – гравитационная постоянная (или постоянная всемирного тяготения).

Ее физический смысл: два тела массами по 1 кг при расстоянии между ними 1 м притягиваются друг к другу силой, приблизительно равной  $6,7 \cdot 10^{-11}$  Н.



**Сила тяжести**  $\vec{F}_T$  – это сила, с которой все тела притягиваются к планете, (является частным случаем сил всемирного тяготения).



$$F_T = mg ; \quad F_T = \frac{G m M_3}{(R_3 + h)^2} ; \quad g = \frac{G M_3}{(R_3 + h)^2}$$

Если  $h \ll R_3$ , то:

$$F_T = \frac{G m M_3}{R_3^2} ; \quad g = \frac{G M_3}{R_3^2} = 9,8 \frac{M}{c^2}$$

Сила тяжести и ускорение свободного падения зависят от *широты места на планете; высоты  $h$  над поверхностью планеты; пород земной (для Земли) коры; от сплюснутости планеты.*

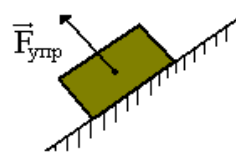
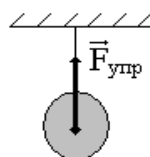
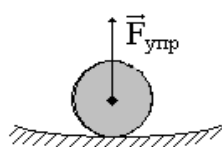
**Сила упругости**  $\vec{F}_{упр}$  – это сила, возникающая при деформации тела и направлена всегда противоположно этой деформации.

По **закону Гука**: при малых деформациях *сила упругости прямо пропорциональна величине деформации.*

### Деформацией

называют изменение формы или размеров тела.

$\vec{F}_{упр}$  всегда направлена против деформации

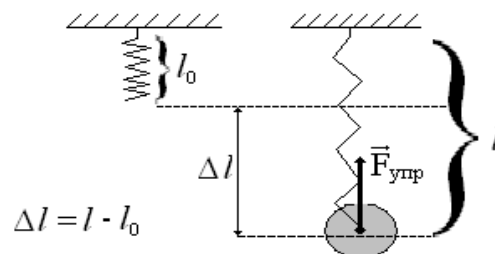


К силам упругости относятся также: сила натяжения, сила реакции опоры и вес тела.

$$F_{упр} = k |\Delta l| \quad \text{— закон Гука}$$

$k$  - жесткость  $[\frac{H}{M}]$

$|\Delta l|$  - величина деформации  $[м]$



**Сила реакции**  $\vec{N}$  со стороны опоры на тело возникает, когда тело кладут на какую-нибудь поверхность (опору). Если тело подвешивают на нити, то эта же сила называется **силой натяжения нити**  $\vec{T}$  или  $\vec{F}_H$ .

**Вес тела**  $\vec{P}$  — это сила, с которой тело действует на опору или подвес.

\*Если тело на опоре или подвесе **не имеет** вертикально направленного ускорения, то вес такого тела численно равен силе тяжести, действующей на это тело:  $P = F_T = mg$ .

\*Если тело на опоре или подвесе движется с ускорением, направленным **вверх**, то вес этого тела больше веса покоящегося тела:  $P = m(g+a)$ .

\*Если же тело движется с ускорением, направленным **вниз**, то его вес уменьшается:  $P = m(g-a)$ .

Если тело движется с ускорением, направленным **вниз**, и при этом  $a = g$ , то  $P = 0$ . Это **состояние невесомости**. Например, в состоянии свободного падения тело всегда в невесомости!



**Сила трения скольжения**  $\vec{F}_{\text{тр}}$  – это сила, возникающая при скольжении одного тела по поверхности другого, направлена всегда **против скорости** тела.

$$F_{\text{тр.}} = \mu N \quad \text{или} \quad F_{\text{тр.}} = \mu P$$

$\mu$  [–] – коэффициент трения, зависит только от материала и качества обработки соприкасающихся поверхностей.

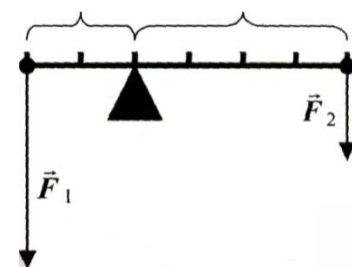
**Сила трения покоя**  $\vec{F}_{\text{тр.п.}}$  это сила, возникающая **при попытке скольжения** одного тела по поверхности другого, направлена всегда **против этой попытки**.

При увеличении силы тяги сила трения покоя тоже возрастает. Когда сила трения покоя достигает своего максимального значения, тело сдвигается с места и начинает скольжение, при этом *сила трения покоя превращается в силу трения скольжения*:

$$(F_{\text{тр.п.}})_{\text{max}} = F_{\text{тр.}} = \mu N$$

### Основы статики

**Рычаг** – твердое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси. **Плечо силы**  $l$  [м] – кратчайшее расстояние между точкой опоры и линией, вдоль которой действует сила.



**Условие равновесия рычага** – рычаг находится в равновесии, если отношение сил, действующих на плечи этого рычага, обратно пропорционально отношению плеч этих сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{или} \quad F_1 l_1 = F_2 l_2 \quad \text{или} \quad M_1 = M_2$$

Произведение модуля силы на ее плечо называется **вращательным моментом силы**:

$$M = F \cdot l \quad [M] = [Н \cdot м]$$

**«Золотое» правило механики**: ни один механизм не дает выигрыша в работе – получая выигрыш в силе, проигрываешь в расстоянии во столько же раз (и наоборот).

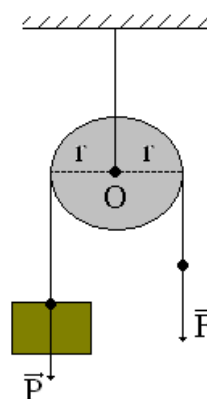
### Применение правила рычага к блокам:

$F$  - сила, приложенная к свободному концу веревки

$S$  - путь конца веревки

$h$  - путь груза

Неподвижный блок не дает выигрыша в силе, используется для изменения направления силы



$$M_1 = M_2$$

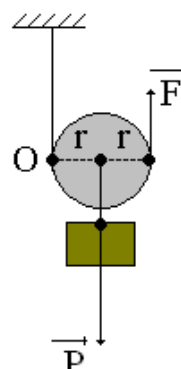
$$F l_1 = P l_2$$

$$l_1 = l_2 = r$$

$$F = P$$

$$S = h$$

Подвижный блок дает выигрыш в силе в 2 раза и проигрыш в расстоянии в 2 раза



$$M_1 = M_2$$

$$P r = F 2r$$

$$F = \frac{P}{2}$$

$$S = 2h$$

На практике обычно применяется комбинация неподвижного и подвижного блоков.

Неподвижный блок при этом применяется только для удобства, не давая выигрыша в силе, а изменяя только направление действия силы, а подвижный блок дает выигрыш в силе в 2 раза.

### *Давление твердых тел*

**Давление  $p$  [Па]** – величина, равная отношению силы  $F$ , действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности  $S$ :

$$p = \frac{F_{\text{дав.}}}{S}$$

За единицу давления *1 паскаль* принимается такое давление, которое производит сила в *1 Н*, действующая на поверхность площадью *1 м<sup>2</sup>* перпендикулярно этой поверхности:

$$1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Давление твердого тела зависит от площади опоры: чем больше  $S$ , тем меньше давление и наоборот. *Увеличить давление твердого тела можно, если увеличить силу давления  $F$  или уменьшить площадь опоры  $S$ .*

$$\text{Сила давления } F_{\text{дав.}} = pS$$

$$\text{Если тело давит своим весом, то } F_{\text{дав.}} = P$$

### *Давление жидкостей и газов*

**Давление газа** обусловлено ударами молекул о стенки сосуда. *Чем больше молекул газа в сосуде и чем быстрее они двигаются, тем больше давление газа. Увеличить давление газа, не меняя его массу, можно, если: уменьшить объем газа; увеличить его температуру.*

**Давление жидкости** плотностью  $\rho$  на глубине  $h$  (гидростатическое давление):

$$p = \rho gh$$

*Давление жидкости не зависит ни от площади дна сосуда, ни от формы сосуда, а зависит только от плотности и высоты столба жидкости.*

**Закон Паскаля:** давление, производимое на газ или жидкость, передается без изменения в каждую точку газа или жидкости.

Давление в жидкости на одной и той же глубине одинаково по всем направлениям.

Приборы для измерения давления жидкости или газа внутри сосуда называются **манометры**, они бывают *жидкостные* (в виде сообщающегося сосуда) или *металлические* (манометр-анероид).

### *Сообщающиеся сосуды*

В сообщающихся сосудах любой формы и сечения поверхности **однородной** жидкости устанавливаются **на одном уровне**.



Если в один из сообщающихся сосудов налить жидкость **одной плотности**, а во второй — **другой**, то при равновесии уровни этих жидкостей **не будут одинаковыми**.

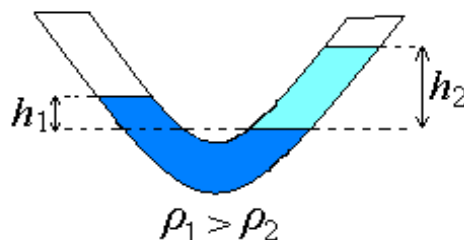
При равенстве давлений высота столба жидкости с большей плотностью будет меньше высоты столба жидкости с меньшей плотностью:

$$p_1 = p_2$$

$$g \rho_1 h_1 = g \rho_2 h_2$$

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

$$\boxed{\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}}$$



Принцип сообщающихся сосудов используется при сооружении шлюзов, водопроводов, фонтанов. Чайник и его носик тоже представляют собой сообщающиеся сосуды.

### Атмосферное давление

На воздух, как и на всякое тело, находящееся на Земле, действует сила тяжести, и поэтому воздух обладает весом. Воздушную оболочку, окружающую Землю, называют атмосферой. Высота атмосферы — несколько тысяч километров. Вследствие действия силы тяжести верхние слои воздуха сжимают нижние слои. В результате земная поверхность и тела, находящиеся на Земле, испытывают давление толщи воздуха, говорят — *испытывают атмосферное давление*.

Молекулы не улетают от Земли, так как притягиваются к ней. Небесные тела, которые не могут удержать молекулы около себя, атмосферами не обладают (например, Луна). С высотой плотность атмосферы уменьшается, значит, и *давление атмосферы уменьшается с высотой*.

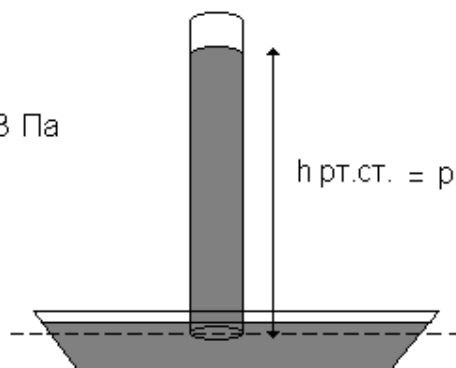
Четкой границы атмосферы не существует. Следовательно, рассчитать атмосферное давление по формуле для столба жидкости нельзя. Атмосферное давление можно измерить.

В XVII веке этот способ был предложен итальянским ученым *Торричелли*. Стекланную трубку длиной 1 м, запаянную с одного конца, наполняют ртутью. Затем, плотно закрыв другой конец этой трубки, ее переворачивают, опускают в чашку с ртутью и открывают конец трубки. Часть ртути выливается в чашку, часть остается в трубке. Высота столба ртути, оставшегося в трубке, примерно 760 мм. Над ртутью — безвоздушное пространство. Давление ртути уравнивается атмосферным давлением. Если бы давление атмосферы было больше, то ртуть поднималась бы в трубке. Если меньше, то опускалась бы. За единицу атмосферного давления в опыте Торричелли принимают 1 миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.). *Трубку Торричелли называют жидкостным барометром*.

$$p = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м} = 133,3 \text{ Па}$$

$$133,3 \text{ Па} = 1 \text{ мм рт. ст.}$$

$$101300 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.}$$



Нормальное атмосферное давление:

$$p_0 = 760 \text{ мм рт.ст.} = 101300 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па}$$

Под действием атмосферного давления вода поднимается за поршнем внутри цилиндра. Это положено в основу устройства *поршневого жидкостного насоса*.

На практике для измерения атмосферного давления используют *барометры (анероиды)*. Чем больше высота над уровнем моря, тем меньше атмосферное давление. На каждые 12 м подъема давление уменьшается на 1 мм рт.ст. или на 133,3 Па.

Зная зависимость давления от высоты, можно по показаниям барометра определить высоту над уровнем моря. Это используется приборами, которые называются *высотомерами*.

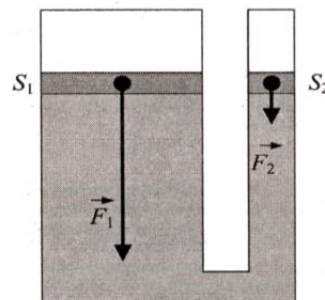
### Гидравлический пресс

**Гидравлические машины** — машины, действие которых основано на законах движения и равновесия жидкостей.

Основной частью машины служат два цилиндра, соединенные между собой и снабженные поршнями. Пространство под поршнями заполняют жидкостью, обычно маслом. Пока на поршни не действуют силы, высоты столбов жидкостей одинаковы. Одинаковы и давления жидкости под поршнями.

Если на меньший поршень (на рисунке – поршень площадью  $S_2$ ) действует сила  $F_2$ , то на больший поршень (на рисунке – площадью  $S_1$ ) действует сила  $F_1$ . По закону Паскаля давление во всех точках покоящейся жидкости одинаково:  $p_1 = p_2$ . Из этого условия следует формула гидравлического пресса:

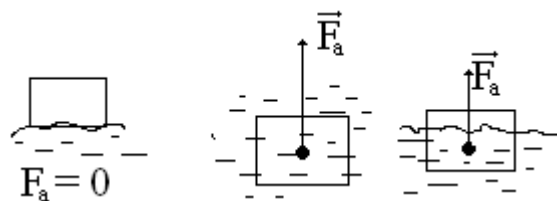
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$$



### Сила Архимеда

На любое тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, эта сила называется **силой Архимеда**.

Направлена эта сила вертикально вверх.



$$F_a = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_{\text{п}}$$

$V_{\text{п}}$  - объем тела (или части тела),  
погруженного в жидкость (или газ)

$$F_a = P - P_1$$

$P$  - вес тела в воздухе  $P_1$  - вес тела в жидкости

$$F_a = P_{\text{ж}}$$

$P_{\text{ж}}$  - вес жидкости, вытесненной телом при погружении

$$V_{\text{п}} = V_{\text{ж}}$$

$V_{\text{ж}}$  - объем вытесненной телом жидкости

**Закон Архимеда:** тело, погруженное в жидкость (или газ), теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость (или газ).

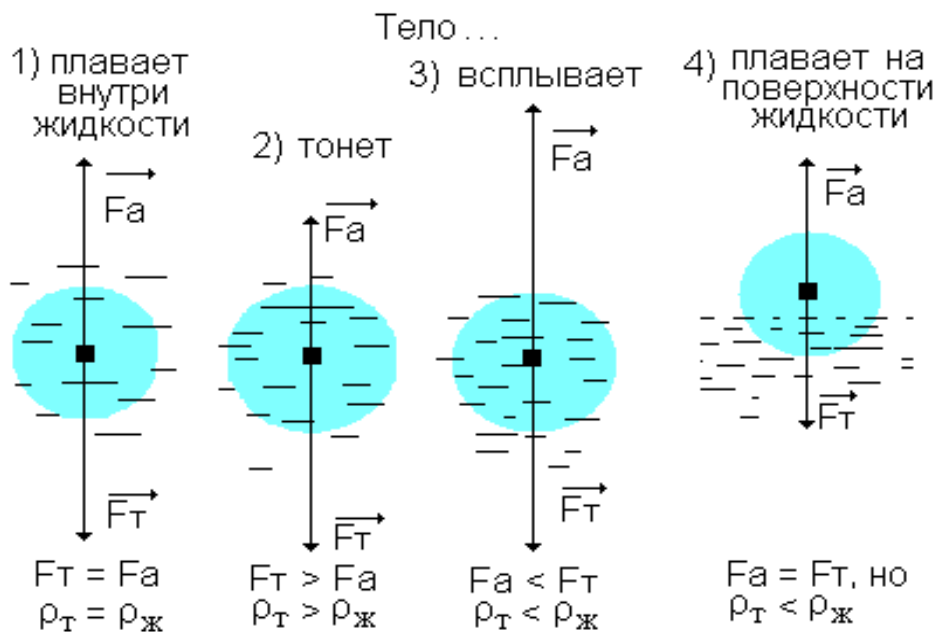
## Условия плавания тела

Если плотность тела равна плотности жидкости (в этом случае сила тяжести равна силе Архимеда), то тело плавает внутри жидкости (рисунок 1).

Если плотность тела больше плотности жидкости (сила тяжести больше силы Архимеда), то тело тонет (рисунок 2).

Если плотность тела меньше плотности жидкости (сила тяжести меньше силы Архимеда), то тело всплывает (рисунок 3).

После всплытия (когда сила Архимеда, уменьшающаяся из-за уменьшения  $V_{\text{п}}$ , сравнивается с силой тяжести) тело плавает на поверхности жидкости (рисунок 4).



Во всех случаях, когда тело плавает:  $F_A = F_m = mg$

При этом объем погруженной части тела так относится к объему всего тела, как относится плотность тела к плотности жидкости:

$$\frac{V_{\text{погр.}}}{V_{\text{тела}}} = \frac{\rho_{\text{тела}}}{\rho_{\text{жидкости}}}$$

Например, если погруженный объем равен половине объёма тела, то плотность тела равна половине плотности жидкости.