ТЕМА 2: Динамика материальной точки

Динамикой *называется раздел механики, изучающий закономерности механического движения тел, обусловленные действующими на них силами.*

Основные понятия динамики

Механическим взаимодействием тел *называется взаимодействие, в результате которого тела изменяют свою скорость или деформируются.*

Деформацией *называется явление изменения формы или размеров тела под влиянием внешних воздействий.*

Сила $\vec{F}$

Для описания механического действия одного тела на другое ввели понятие силы.

Силой $\vec{F}$ *называется векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело других тел или физических полей и характеризующая величину и направление этого воздействия.*

Масса тела m

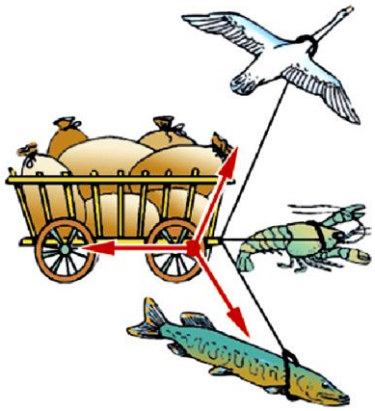
Массой тела m *называется скалярная величина, которая характеризует инертные и гравитационные свойства тела.*

Масса тела – ***величина аддитивная*** (то есть масса тела равна сумме масс всех его частей: $m = m_1 + m_2 + ... + m_n = \sum m_i$).

Законы Ньютона

Первый закон Ньютона (закон инерции)

В инерциальной системе отсчёта, тело находится в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано.



Физический смысл первого закона Ньютона:

1. он «говорит» о том, когда тело движется без ускорения, то есть $\vec{a} = 0$, если $\sum \vec{F}_i = 0$;
2. он «вводит» в рассмотрение понятие инерциальной и неинерциальной систем отсчёта.

Инерциальная система отсчёта - *это система отсчёта, которая движется без ускорения* (то есть $\vec{a} = 0$**).**

Неинерциальная система отсчёта - *это система отсчёта, которая движется с ускорением* (то есть $\vec{a} \neq 0$).

Любая система отсчёта, которая движется относительно инерциальной без ускорения (то есть равномерно и прямолинейно или покоится), тоже является инерциальной.

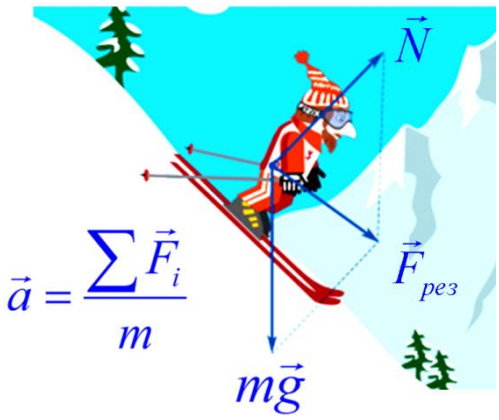
Обычно в качестве инерциальной системы отсчёта выбирают поверхность Земли (вообще-то, любой участок поверхности участвует в суточном вращении Земли и, поэтому его нельзя считать инерциальной системой, однако его центростремительное ускорение настолько мало, что им обычно пренебрегают).

Следует помнить, что все законы Ньютона справедливы только в инерциальных системах отсчёта.

Второй закон Ньютона

(основное уравнение динамики поступательного движения)

В инерциальной системе отсчёта векторная сумма всех сил, действующих на тело $\sum \vec{F}_i$, *равна произведению массы этого тела* m *на сообщённое ему ускорение* $\vec{a}$:



$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a} \quad \text{или} \quad \vec{F}_{рез} = m\vec{a}, \qquad (2.1)$$

где $\vec{F}_{рез} = \sum \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$ - ***результирующая всех сил, действующих на тело***.

Здесь $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots, \vec{F}_n$ - все силы, действующие на данное тело.

Само выражение $\vec{F}_{рез} = \sum \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$, является обобщением опытных данных и характеризует независимость действия сил. Оно называется принципом суперпозиции сил.

Следует отметить, что второй закон Ньютона в форме (2.1) можно применять только в том случае, когда масса тела при движении не изменяется. Если же масса тела при движении меняется, то необходимо пользоваться более универсальной записью закона, данной самим Ньютоном.

Его можно получить следующим образом:

$$\vec{F}_{рез} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\left(m\vec{v}\right)}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где $\vec{p} = m\vec{v}$ - называется ***импульсом тела***, $\left[p\right] = \frac{кг \cdot м}{с} = Н \cdot с$.

Тогда второй закон Ньютона можно сформулировать так:

В инерциальной системе отсчёта результирующая сила $\vec{F}_{рез}$, *действующая на тело, равна скорости изменения импульса этого тела* $\frac{d\vec{p}}{dt}$:

$$\vec{F}_{рез} = \frac{d\vec{p}}{dt}. \qquad (2.2)$$

Физический смысл второго закона Ньютона:

1. он «говорит» о том, когда тело движется с ускорением, то есть

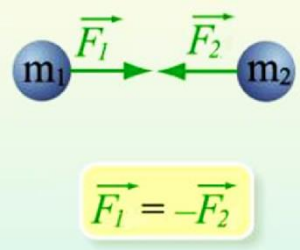
$$\vec{a} \neq 0, \quad \text{если} \quad \sum \vec{F}_i \neq 0;$$

2. вводит размерность силы: $\left[F\right] = \frac{кг \cdot м}{с^2} = Н$, Ньютон.

Из векторного характера второго закона Ньютона $\vec{F}_{рез} = m\vec{a}$ следует, что ускорение тела $\vec{a}$ всегда сонаправлено с результирующей всех сил $\vec{F}_{рез}$, действующих на тело.

Третий закон Ньютона

(закон действия и противодействия)



Тела действуют друг на друга с силами равными по величине и противоположными по направлению:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 .$$

Физический смысл третьего закона Ньютона:

1. он «говорит» о том, что сила есть результат взаимодействия тел;
2. что силы всегда возникают парами, они одинаковой природы, равны по величине, приложены к разным телам и противоположно направлены.

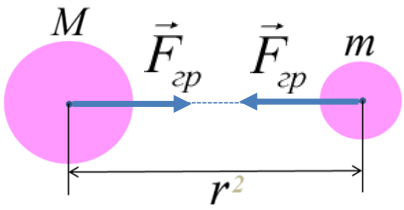
Принцип относительности Галилея

Во всех инерциальных системах отсчета законы классической механики имеют один и тот же вид.

Это означает, что при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую, все математические формулы, описывающие законы механики, не меняются, а сами физические явления, при неизменных условиях, протекают совершенно одинаково.

Силы в механике

Сила гравитации $F_{грав}$ (сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками).



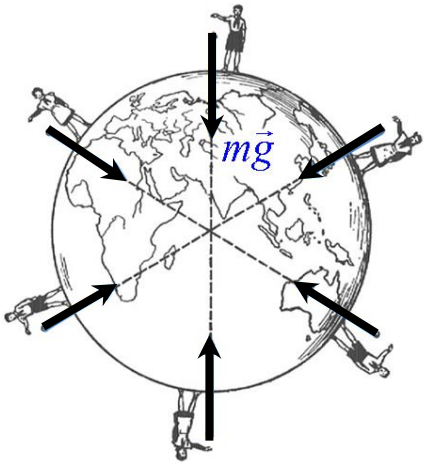
$$F_{грав} = G\frac{Mm}{r^2}$$ - Закон Всемирного тяготения,

где M и m - массы материальных точек, *кг*;

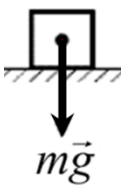
$$G = 6,67 \cdot 10^{-11}\frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$$ - гравитационная постоянная;

r - расстояние между материальными точками, *м*.

Сила тяжести $\vec{F}_{тяж}$ (сила, с которой гравитационное поле Земли притягивает к себе тело).



$$\vec{F}_{тяж} = m\vec{g},$$



где m - масса тела, *кг*;

$$g = 9.81\frac{м}{с^2}$$ - ускорение свободного падения.

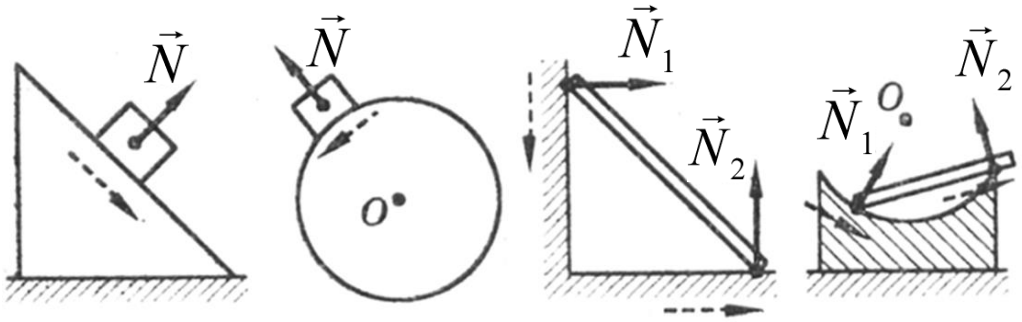
Особенность $\vec{F}_{тяж}$:

- сила тяжести приложена к центру тяжести тела и направлена всегда вертикально вниз.

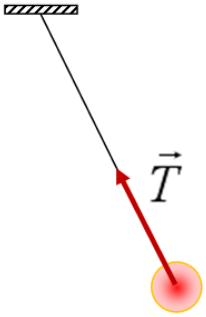
Сила реакции опоры $\vec{N}$ (эн) (сила, с которой опора действует на тело).

Особенность $\vec{N}$:

- приложена к телу и направлена перпендикулярно поверхности соприкосновения;
- величина $\vec{N}$ находится из законов Ньютона.



Сила натяжения нити $\vec{T}$ (тэ) (сила, с которой нить или подвес действуют на тело).



Особенность:

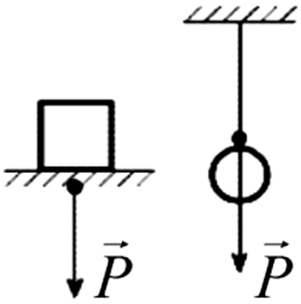
- сила натяжения нити приложена к телу и направлена от тела вдоль нити;
- сила натяжения $\vec{T}$ возникает при натяжении нити и её величина зависит от характеристик движения тела;
- величина T находится из законов Ньютона.

Вес тела $\vec{P}$ (сила, с которой тело, вследствие притяжения к Земле, давит на опору или растягивает подвес).

Особенность: - вес приложен к опоре или подвесу;

- величина веса тела зависит от характеристик движения тела;
- вес тела находится из законов Ньютона.

По третьему закону Ньютона $\vec{P} = -\vec{N}$ или $\vec{P} = -\vec{T}$.



Невесомость

Невесомостью *называется явление исчезновения веса тела при движении опоры с ускорением свободного падения.*

Состояние невесомости наблюдается, например, в космическом корабле при его движении вокруг Земли, так как это движение представляет собой непрерывное падение с ускорением свободного падения $\vec{g}$.

Перегрузка

При движении тела и опоры с ускорением, направленным вертикально вверх, вес тела оказывается больше действующей на него силы тяжести.

Перегрузкой *называется явление увеличения веса тела, вызванное ускоренным движением опоры или подвеса.*

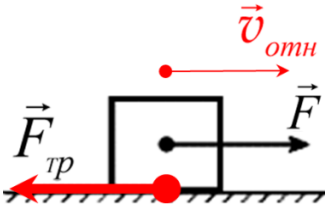
(определяется как отношение веса тела к его силе тяжести)

Действие перегрузки каждый испытывал на себе, находясь в лифте, на участке ускоренного движения лифта вверх. Перегрузки испытывают также космонавты, как при взлёте ракеты, так и на участке торможения корабля при входе в плотные слои атмосферы.

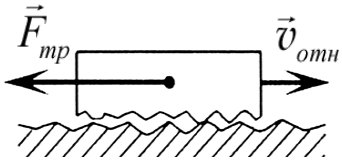
Силы трения

Сила трения скольжения $F_{тр}$ (это сила, возникающая между поверхностями соприкасающихся тел при их движении относительно друг друга и направленная в противоположную сторону вектора относительной скорости тела).

$$F_{тр} = \mu N \ ,$$



где μ (мю) - коэффициент трения скольжения, безразмерная (величина табличная, зависящая от материалов трущихся тел и состояния их поверхности); N - сила реакции опоры, *Н*.

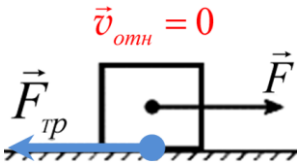


Силы трения возникают из-за шероховатостей на поверхностях соприкасающихся тел. Для уменьшения сил трения между телами применяют смазки, которые заменяют сухое трение на вязкое.

Особенность $F_{тр}$:

- величина силы трения скольжения не зависит от площади опоры, то есть, если тело повернуть на другую грань, то сила трения по величине не изменится;
- сила трения скольжения равна $F_{тр} = \mu mg$ только если тело движется по горизонтальной поверхности. В общем случае необходимо сначала определить силу реакции опоры N из законов Ньютона, а уже потом определить силу трения скольжения.

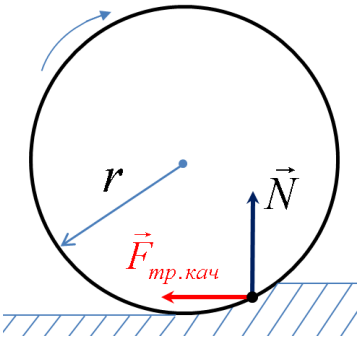
Сила трения покоя $\vec{F}_{тр.пок}$ (сила, возникающая между поверхностями соприкасающихся тел при попытке сдвинуть одно тело по поверхности другого и направленная в противоположную сторону возможного движения тела, то есть, если бы $\vec{F}_{тр.пок}$ не было).



Особенность $\vec{F}_{тр.пок}$: величина переменная и может изменяться в пределах:

$$0 < F_{тр.пок} \le F_{тр}^{мах} = \mu N \, .$$

Сила трения качения $\vec{F}_{тр.кач}$ (сила, возникающая между поверхностями соприкасающихся тел при качении одного тела по поверхности другого и направленная в противоположную сторону вектора относительной скорости тела).



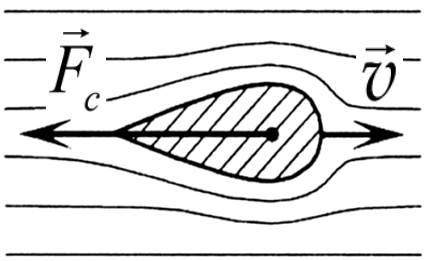
$$F_{тр.кач} = \mu_k \frac{N}{r} \, ,$$

где μ_k (мю ка) - коэффициент трения качения, *м*, метр, (величина табличная, зависящая от материалов соприкасающихся тел и состояния их поверхности);

N - сила реакции опоры, *Н*;

r - радиус катящегося тела, *м*.

Сила сопротивления $\vec{F}_c$ (сила, возникающая при движении тела в жидкости или газе и направленная в противоположную сторону вектора относительной скорости тела $\vec{v}$).



- Если относительная скорость тела v много меньше скорости звука в данной среде, то есть $v << v_{звука}$, то

$$F_c = \alpha v,$$

- если относительная скорость тела v приблизительно равна скорости звука в данной среде, то есть $v \approx v_{звука}$, то

$$F_c = \beta v^2.$$

- если относительная скорость тела v много больше скорости звука в данной среде, то есть $v >> v_{звука}$, то

$$F_c = \gamma v^3,$$

где α, β и γ - коэффициенты сопротивления, величина которых зависит от формы движущегося тела.

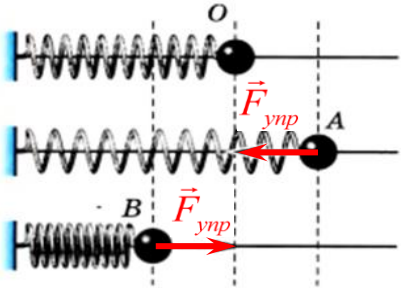
Силы упругости

Сила упругости $\vec{F}_{упр}$ (сила, возникающая при упругой деформации тела).

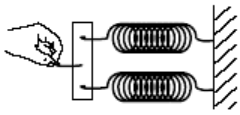
$F_{упр} = k\,x$ - закон Гука для упругой деформации,

где k (ка)- коэффициент упругости, $\frac{Н}{м}$;

x (икс)- величина деформации, $м$.



Жесткость системы пружин $k_{общ}$ при их параллельном соединении



$$k_{общ} = k_1 + k_1 + \ldots + k_n$$

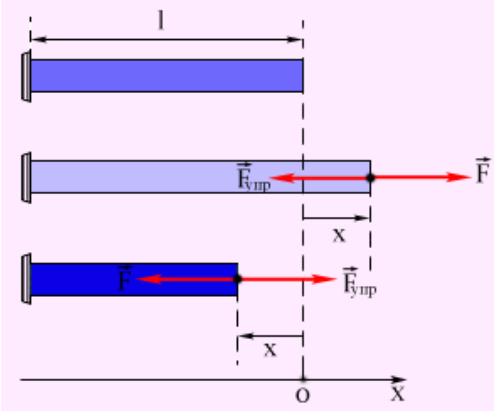
Жесткость системы пружин $k_{общ}$ при их последовательном соединении

$$\frac{1}{k_{общ}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \ldots \frac{1}{k_n}$$

Закон Гука для упругой деформации сжатия-растяжения однородного стержня

$$\sigma = \varepsilon E,$$

где σ (сигма) - нормальное напряжение, возникающее в деформированном стержне, $Па$.



$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{S},$$

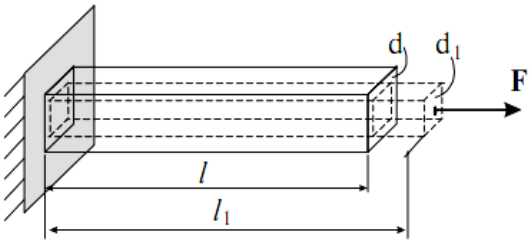
$F_{\perp}$ - перпендикулярная составляющая деформирующей силы, действующей на стержень, H;

S (эс)- площадь поперечного сечения стержня, $м^2$;

E (е) - модуль Юнга (величина табличная), $Па$.

Пример: сталь $E = 210 \cdot 10^9\ Па$,

медь $E = 120 \cdot 10^9\ Па$.



Величину деформации тела характеризует ***относительное продольное удлинение тела*** ε:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_1 - l}{l},$$

где ε (эпсилон) - относительное продольное удлинение тела, величина безразмерная;

$\Delta l = l_1 - l$ - абсолютное удлинение (то есть изменение длины тела при деформации), *м*; l - начальная длина тела, *м*; l_1 - конечная длина тела, *м*.

Относительное поперечное растяжение тела ε':

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d} = \frac{d_1 - d}{d},$$

где ε' (эпсилон штрих) - относительное поперечное растяжение тела, величина безразмерная;

$\Delta d = d_1 - d$ - абсолютное поперечное растяжение (то есть изменение диаметра стержня при деформации), *м*;

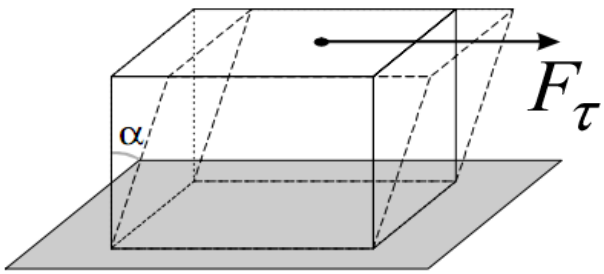
d -начальный диаметр стержня, *м*; d_1 - конечный диаметр стержня, *м*.

Причём $$\varepsilon' = -\mu\varepsilon,$$

где μ (мю) – коэффициент Пуассона (табличная величина), безразмерная.

Пример: сталь $\mu = 0,2$, медь $\mu = 0,3$.

Закон Гука для упругой деформации сдвига однородного прямоугольного параллелепипеда



$$\tau = \gamma G,$$

где τ (тау) - тангенциальное напряжение, *Па*.

$$\tau = \frac{F_\tau}{S},$$

где F_τ (эф тау) - касательная составляющая деформирующей силы, действующей на параллелограмм вдоль плоскости сдвига, H;

S (эс) - площадь сечения плоскости сдвига параллелограмма, $м^2$;

G (жэ) - модуль сдвига (величина табличная), *Па*.

Пример: сталь $G = 100 \cdot 10^9\ Па$, медь $G = 50 \cdot 10^9\ Па$.

Причём $$E = 2G(1+\mu).$$

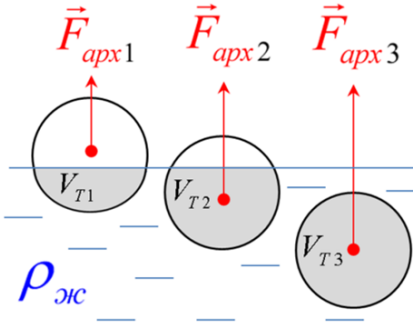
Величину деформации характеризует ***относительный сдвиг*** γ (гамма):

$$\gamma = tg\alpha,$$

где α - угол сдвига, *рад* (радиан).

Сила Архимеда $F_{арх}$ (выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и действующая на погружённое в жидкость или газ тело).

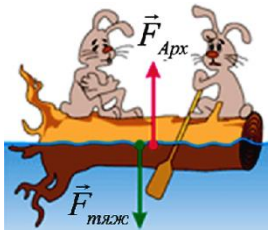
$$F_{арх} = \rho_{ж} g V_T,$$



где $\rho_{ж}$ (ро)-плотность жидкости (или газа), $\frac{кг}{м^3}$;

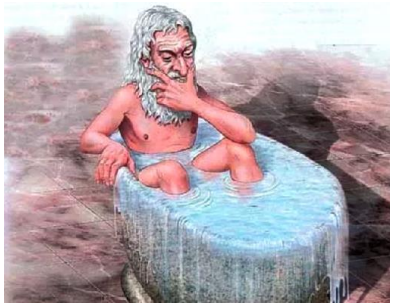
g (жэ) - ускорение свободного падения, $\frac{м}{с^2}$;

V_T - объём погружённой в жидкость или газ части тела, $м^3$.



Особенность $F_{арх}$: приложена к центру тяжести объёма вытесненной жидкости и направлена вертикально вверх.

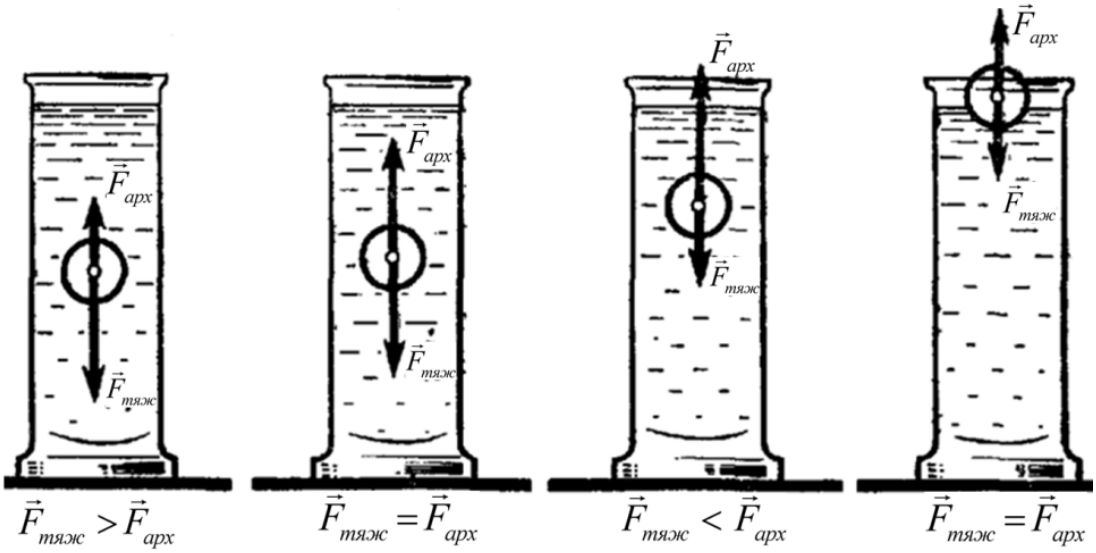
Закон Архимеда



На тело, погружённое в неподвижную жидкость (или газ), действует направленная вертикально вверх выталкивающая сила, равная весу жидкости (или газа) в объёме погружённой части тела.

Условия плавания тел

- если $\rho_{тела} \geq \rho_{жидкости}$, то тело тонет,
- если $\rho_{тела} \leq \rho_{жидкости}$, то тело всплывает,
- если $\rho_{тела} = \rho_{жидкости}$, то тело находится во взвешенном состоянии.



Правило определения сил, действующих на тело

Чтобы правильно определить количество сил, действующих на тело, необходимо придерживаться следующего правила:

Сколько физических полей (гравитационное, электрическое, магнитное, электромагнитное) и тел действует на данное тело, столько и сил (плюс силы трения и сопротивления, если они есть по условию задачи)

Основные свойства физических полей

- **гравитационное:** оказывает силовое воздействие на тела, обладающие массой (сила тяжести и сила гравитации),
- **электрическое:** оказывает силовое воздействие на неподвижные и движущиеся электрические заряды (сила Кулона),
- **магнитное:** оказывает силовое воздействие на магниты, проводники с током (сила Ампера) и движущиеся заряды (сила Лоренца),
- **электромагнитное:** обладает одновременно свойствами электрического и магнитного полей.

После нахождения количества сил, действующих на тело, нужно определить порядок величин этих сил. Теми силами, величина которых во много раз меньше остальных, обычно пренебрегают, так как они существенного влияния на ситуацию не оказывают, а решение задачи значительно усложняют.