

**Динамика** – это раздел механики, который рассматривает законы движения тел и те причины, которые его вызывают или изменяют.

**Инерция** – это явление сохранения скорости тела при отсутствии воздействия на него других тел или если их действие компенсировано.

## Законы Ньютона

**Первый закон Ньютона:** существуют такие системы отсчета, называемые инерциальными, в которых движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной или покоится, если на него не действуют другие тела или их действие компенсируется:

*Физический смысл закона:*

1. из всех систем отсчета первый закон выделяет только инерциальные системы отсчета;
2. закон утверждает, что будет происходить с телом, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано.

Согласно первому закону Ньютона, когда силы, действующие на движущееся тело, уравновесят друг друга, оно станет двигаться прямолинейно и равномерно, а если оно ранее покоилось, то и останется в покое.

**Следствие.** Если существует хотя бы одна инерциальная система отсчета, то существует и бесконечное множество таких систем.

Систему отсчета, связанную с Землей можно считать инерциальной. Любая система отсчета, которая покоится или движется прямолинейно и равномерно относительно Земли, также будет инерциальной.

**Важно!** Скорость движения тела постоянна, если на него не действуют другие тела или действие других тел компенсируется.

**Принцип относительности Галилея:** все механические явления протекают в инерциальных системах отсчета одинаково. Из принципа относительности следует, что нельзя с помощью никаких механических опытов отличить одну инерциальную систему отсчета от другой.

**Важно!** Преобразования Галилея вместе с утверждением о независимости течения времени от движения отражают суть классических представлений о пространстве – времени. Согласно этим представлениям расстояния между телами одинаковы во всех системах отсчета и течение времени одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

## Масса тела. Плотность вещества

При взаимодействии тела с другими телами у него либо изменяется скорость, либо тело деформируется. Свойство тел по-разному изменять свою скорость при взаимодействии называется инертностью. **Инертность** – это способность тела изменять свою скорость не мгновенно, а за определенный промежуток времени.

**Масса** – это скалярная физическая величина, являющаяся мерой инертности тела.

Чем больше масса тела, тем труднее изменить его скорость, тем более оно инертно и тем сильнее оно притягивает к себе другие тела. Свойства массы:

Обозначение –  $m$ , единицы измерения – кг ( $г$ ,  $мг$ ,  $т$ ).

$$1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}, \quad 1 \text{ мг} = 10^{-6} \text{ кг}, \quad 1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$$

**Плотность тела** – это физическая величина, равная отношению массы тела к его объему.

Обозначение –  $\rho$ , единицы измерения –  $\text{кг/м}^3$ .

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

## Сила

**Сила** – мера взаимодействия тел. Сила является векторной величиной.

Сила характеризуется:

- 1) модулем;
- 2) направлением;
- 3) точкой приложения.

Обозначение –  $F$ , единицы измерения –  $N$  (*Ньютон*). Физический смысл силы в 1 Ньютон заключается в том, что сила в 1 Н сообщает телу массой 1 кг ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ :

Существуют четыре вида сил различной природы: электромагнитные (взаимодействие заряженных частиц), гравитационные (притяжение между телами вследствие наличия у них массы), ядерные (удерживают нуклоны в ядре атома) и слабые (удерживают элементарные частицы от распада).

В механике рассматривается три вида сил: упругости (относятся к электромагнитным по природе), всемирного тяготения (или гравитационные) и силы трения (относятся к электромагнитным по природе).

## Принцип суперпозиции сил

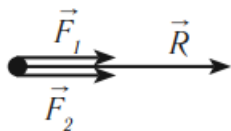
**Принцип суперпозиции сил:** если на тело действует несколько сил, то их можно заменить одной силой, которая называется равнодействующей

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

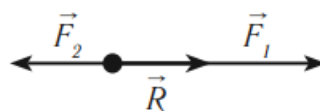
Равнодействующая сила равна геометрической сумме действующих на тело сил.

## Правила нахождения равнодействующей

Силы направлены вдоль одной прямой:

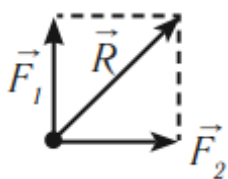


$$R = F_1 + F_2$$



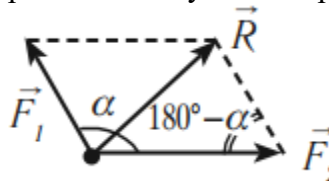
$$R = F_1 - F_2$$

Силы направлены перпендикулярно друг другу



$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

Силы направлены под углом  $\alpha$  друг к другу



$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos(180^\circ - \alpha)}$$

## Второй закон Ньютона

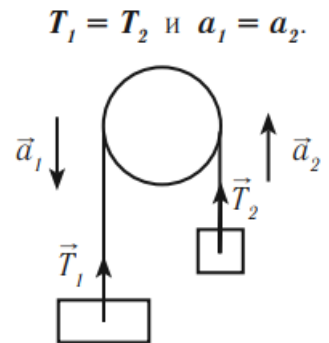
**Второй закон Ньютона:** ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей сил, приложенных к телу и обратно пропорционально массе тела. При решении задач обычно записывается в виде: равнодействующая сил, приложенных к телу, равна произведению массы тела на сообщаемое ему ускорение:

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

где  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$

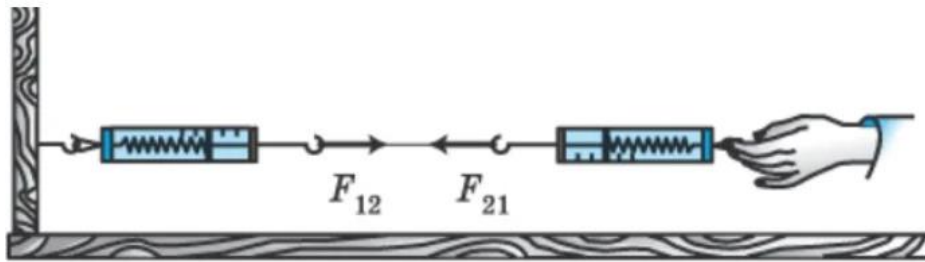
**Важно!** Направление ускорения всегда совпадает с направлением равнодействующей сил. Второй закон Ньютона применим для сил любой природы.

**Важно!** При решении задач на движение связанных тел часто употребляется модель «невесомая и нерастяжимая нить». Условие «невесомости» нити означает, что нить не рассматривается как отдельное тело и для нее пишется и для нее не записывается второй закон Ньютона. Поэтому силы натяжения нити, которые прикладываются к связанным телам, будут одинаковы по модулю. Из условия «нерастяжимости» следует, что связанные тела движутся с одинаковым ускорением:



## Третий закон Ньютона

**Третий закон Ньютона:** силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по модулю, противоположны по направлению и действуют вдоль прямой, соединяющей центры этих тел

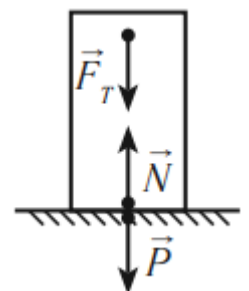


$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

*Физический смысл закона:*

1. закон к системе, состоящей из двух тел;
2. закон утверждает, не может быть одностороннего действия одного тела на другое при взаимодействии тел;
3. закон утверждает, что силы всегда возникают парами, это силы одной природы, они появляются и исчезают одновременно.

**Важно!** Силы, о которых говорится в третьем законе Ньютона не компенсируют друг друга, поскольку приложены к разным телам. Рассмотрим тело, которое покоится на горизонтальной поверхности. Это происходит потому, что сила тяжести, действующая на тело, компенсируется силой реакции опоры, которая возникает при взаимодействии самого тела и опоры и согласно третьему закону Ньютона равна по модулю и противоположна по направлению силе давления тела на поверхность.

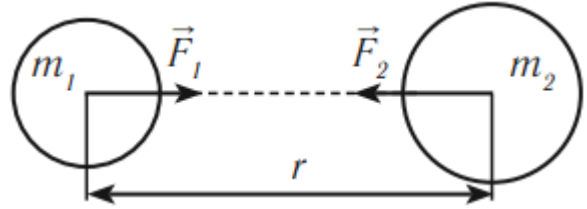


## Закон всемирного тяготения. Искусственные спутники Земли

Всякое тело, имеющее массу, является источником гравитационного поля – поля тяготения.

**Закон всемирного тяготения:** два тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален массам тел и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними. Силы притяжения направлены вдоль линии, соединяющей взаимодействующие тела. Формула дает точный результат для:

1. материальных точек;
2. однородных шаров;
3. материальной точки и шара;
4. концентрических тел.

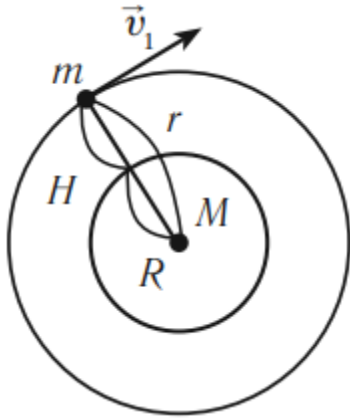


$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

где  $G$  – гравитационная постоянная. Гравитационная постоянная численно равна силе притяжения между двумя телами массой по 1 кг, расположенными на расстоянии 1 м:

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

*Искусственный спутник Земли* – это тело, которое обращается вокруг Земли. Траектория движения искусственных спутников – эллипс, но при рассмотрении задач считают, что они движутся по окружности. Линейная скорость такого движения называется первой космической скоростью. *Первая космическая скорость* – это горизонтально направленная минимальная скорость, с которой тело могло бы двигаться вокруг Земли по круговой орбите, т. е. стать искусственным спутником Земли.



На рисунке  $R$  – радиус Земли,  $H$  – высота спутника над поверхностью Земли:

$$v_1 = \sqrt{g(R_3 + H)}, \text{ при } H = 0 \text{ получаем } v_1 = \sqrt{gR_3} \approx 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3 + H}}$$

**Важно!** Все написанные формулы справедливы для любого небесного тела, имеющего форму шара.

### Полезные формулы:

$M_{\text{П}} = \rho V$  – масса планеты,  $\rho$  – плотность планеты,  $V$  – объем планеты

$V = \frac{4}{3} \pi R^3$  – объем планеты

$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_{\text{П}} + H)^3}{GM}}$  – период обращения искусственного спутника Земли

*Вторая космическая скорость* – это наименьшая скорость, которую надо сообщить телу, чтобы его орбита в поле тяготения Земли стала параболической, т. е. чтобы тело могло стать искусственным спутником Солнца

$$v_2 = \sqrt{2}v_1 \Rightarrow v_2 = 11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

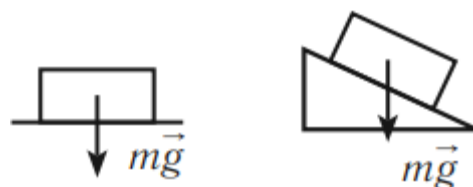
**Важно!** При решении задач следует помнить, что в законе всемирного тяготения расстояние берется от центра тела, а не от его поверхности.

## Сила тяжести

**Сила тяжести** – это сила, с которой Земля притягивает к себе тела вблизи своей поверхности. Модуль силы тяжести находится по формуле

$$F = mg$$

Точка приложения силы тяжести – центр тела. Сила тяжести всегда направлена к центру Земли, но на рисунках изображается направленной вертикально вниз.



Сила тяжести является частным случаем силы всемирного тяготения, поэтому

$$F = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$$

$$G \frac{M_3 m}{R_3^2} = mg \Rightarrow g = G \frac{M_3}{R_3^2}$$

где  $M_3$  – масса Земли,  $m$  – масса тела,  $R_3$  – радиус Земли. Из последней формулы следует, что ускорение свободного падения не зависит от массы тела, зависит от массы Земли и от расстояния от центра Земли до тела.

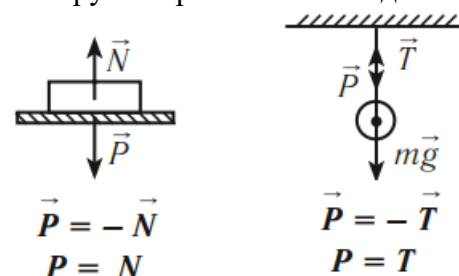
**Важно!** У поверхности Земли ускорение свободного падения не везде одинаково. Оно зависит от географической широты: на полюсах больше, чем на экваторе. Дело в том, что земной шар немного сплюснут у полюсов. Экваториальный радиус Земли больше полярного на 21 километр.

## Вес и невесомость

**Вес** – это сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле давит на опору или растягивает подвес. Обозначение –  $P$ .

Точка приложения веса – точка соприкосновения тела с опорой или подвесом. Вес тела всегда направлен против силы реакции опоры или силы натяжения и направлен перпендикулярно опоре. Модуль веса находится по третьему закону Ньютона.

Вес тела определяется по формуле:  $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$ .



Тело покоится	Тело движется с ускорением, направленным вертикально вниз	Тело движется с ускорением, направленным вертикально вверх
$P = mg$	$P = m(g - a)$	$P = m(g + a)$

**Невесомость** – состояние тела, при котором его вес равен нулю, наблюдается, когда тело свободно падает, т.е. движется с ускорением свободного падения.

Если тело движется с ускорением, направленным вертикально вверх (движение вверх с ускорением или вниз с замедлением), то его вес больше силы тяжести. В таком случае говорят, что тело испытывает перегрузку. Перегрузка ( $n$ ) показывает, во сколько раз вес движущегося тела больше его веса в покое

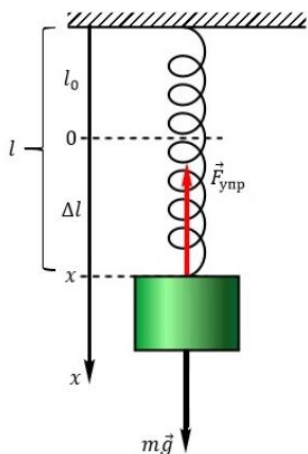
$$n = \frac{m(g + a)}{mg} = \frac{g + a}{g} = 1 + \frac{a}{g}$$

### Сила упругости. Закон Гука

**Сила упругости** – это сила, возникающая при упругой деформации тела.

**Деформация** – это изменение формы и объема тела в результате неодинакового смещения различных его частей под действием силы. Упругая деформация – это деформации, при которых после прекращения действия внешних сил тело принимает первоначальные размеры и форму (растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг). Пластические деформации – это деформации, которые сохраняются в теле после прекращения действия внешних сил.

**Абсолютное удлинение (сжатие)** – изменение размеров тела под действием силы  $x = \Delta l = |l - l_0|$ , где  $x$  или  $\Delta l$  - абсолютное удлинение (сжатие),  $l_0$  – начальная длина тела (до действия силы),  $l$  – длина деформированного тела (во время действия силы).



**Закон Гука:** сила упругости, возникающая при деформации тела, прямо пропорциональна удлинению тела и направлена в сторону, противоположную деформации:

в проекциях:  $F_{\text{упр}x} = -kx$ ;

в модулях:  $F_{\text{упр}} = kx$ .

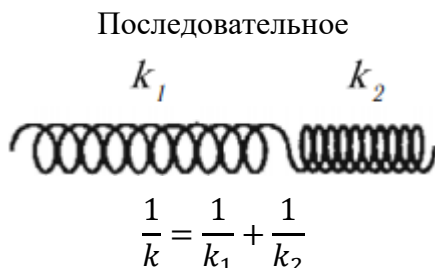
Величина  $k$  называется коэффициентом жесткости. Коэффициент жесткости определяется свойствами самой пружины (материалом, начальной длиной и т.д.)

### Виды силы упругости

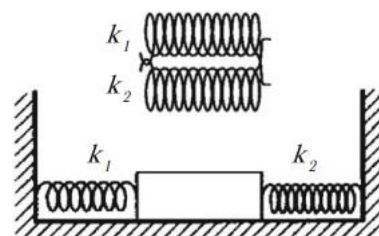
**Сила реакции опоры** – это сила, действующая на тело со стороны опоры. Обозначение –  $N$ .

**Сила натяжения** – это сила, действующая на тело со стороны подвеса. Обозначение –  $T$ .

**Важно!** Расчет жесткости при соединении пружин



Параллельное

$$k = k_1 + k_2$$


## Сила трения

**Сила трения** – это сила, возникающая при движении тел или при попытке сдвинуть их с места вследствие неровностей поверхностей соприкасающихся тел.

Сила трения действует на поверхности тел и затрудняет их перемещение относительно друг друга. Сила трения всегда направлена противоположно движению тела, т. е. против направления вектора скорости.

## Виды трения

**Сухое трение** – это трение, которое возникает при соприкосновении твердых тел. Виды сухого трения: покоя, скольжения и качения.

Сила трения покоя – возникает между соприкасающимися и покоящимися относительно друг друга поверхностями, а также при попытке сдвинуть тело с места. Сила трения покоя в зависимости от внешней приложенной силы, пытающейся сдвинуть покоящееся тело, может меняться от нуля до максимального значения. Если внешняя сила превысит максимальное значение трения покоя, то тело начнет двигаться.

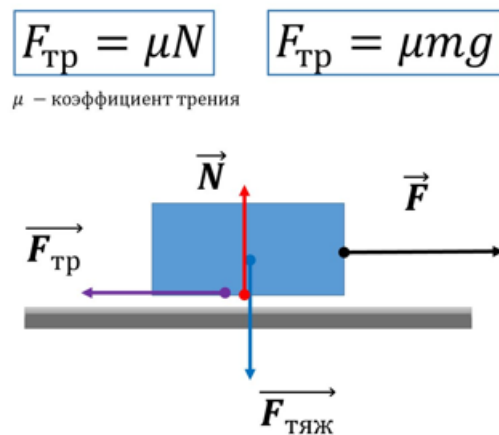
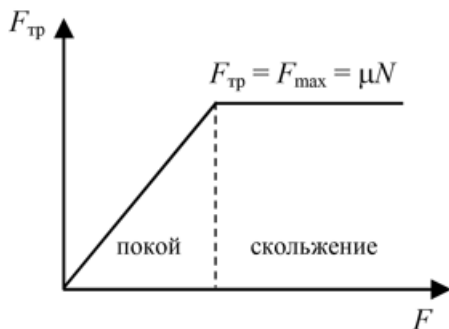
Если в условии задачи не говорится, что сила трения покоя максимальна, то ее надо находить через другие силы по второму закону Ньютона.

При решении задач, считается, что максимальная сила трения покоя равна силе трения скольжения.

*Сила трения скольжения* – это сила, которая возникает между соприкасающимися и движущимися относительно друг друга телами.

Величина силы трения скольжения зависит от рода соприкасающихся поверхностей (характеризует коэффициент трения –  $\mu$ ) и величины прижимающей силы (модуля силы реакции опоры –  $N$ )

График зависимости силы трения  
от внешней силы  $F$



$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

$$F_{\text{тр}} = \mu mg$$

$\mu$  – коэффициент трения

*Сила трения качения* – это сила, которая возникает между соприкасающимися и катящимися относительно друг друга телами. Величина силы трения качения обычно меньше величины трения скольжения.

**Внутреннее трение (жидкое или вязкое)** – между слоями жидкости или газа, скорости которых меняются от одного слоя к другому.

**Важно!** Если движение происходит по гладкой поверхности, то сила трения равна нулю.

**Важно!** Сила трения не зависит от площади соприкосновения трущихся поверхностей. Она зависит от относительной скорости тел. В этом ее главное отличие от сил тяготения и упругости, зависящих только от координат.

## Давление

**Давление** – это скалярная физическая величина, равная отношению модуля силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности.

Обозначение –  $p$ , единицы измерения – Па (Паскаль):

$$p = \frac{F}{S}.$$

Давление в 1 Па – это давление, которое производит сила 1 Н на перпендикулярную к ней поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>.

Наряду с Паскалем применяется единица измерения давления -1 мм рт. ст. (миллиметр ртутного столба) = 133,3 Па.

Нормальное атмосферное давление: 1 атм (атмосфера) = 100 кПа = 10<sup>5</sup> Па.

Давление возрастает, если увеличивается сила давления или уменьшается площадь, на которую оказывается давление.

Давление уменьшается, если уменьшается сила давления или увеличивается площадь, на которую оказывается давление.