

# Динамика

# СОДЕРЖАНИЕ

1. Взаимодействие тел.

2. Сила. Принцип суперпозиции сил.

3. Законы динамики Ньютона.

4. Силы в природе.

5. Закон всемирного тяготения.

6. Сила тяжести.

7. Вес тела невесомость.

**Динамика** (от греч. *dynamikos* — сила) — раздел механики, посвященный изучению движения материальных тел под действием приложенных к ним сил.

Движения любых материальных тел (кроме микрочастиц), происходящие со скоростями, далёкими от скорости света, изучаются в так называемой **классической динамике**.

Классическая динамика базируется на трех основных законах, называемых законами Ньютона. К основным законам относят еще закон независимости действия сил, согласно которому при одновременном действии на материальную точку нескольких сил каждая из них сообщает точке такое же ускорение, какое она сообщила бы, если бы действовала одна.

**В динамике рассматриваются решения двух типов задач:**

**1) зная закон движения данного тела (т. е. уравнения, определяющие положение тела в пространстве в любой момент времени), найти силы, под действием которых это движение происходит;**

**2) зная силы, действующие на данное тело или систему тел, определить закон движения этого тела или системы.**

**Второй тип задач является в динамике основным.**

# **1. Взаимодействие тел.**

**Согласно современной *теории близкого действия* взаимодействие между телами осуществляется с конечной скоростью посредством соответствующих полей, окружающих тела и непрерывно распределенных в пространстве (т. е. поле является тем посредником, который передает действие одного тела на другое). Взаимодействие электрических зарядов — посредством электромагнитного поля, всемирное тяготение — посредством гравитационного поля.**

**На сегодняшний день физике известны четыре типа фундаментальных взаимодействий, существующих в природе (в порядке возрастания интенсивности): гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное взаимодействия.**

**Гравитационное взаимодействие универсально: в нем участвуют все тела в природе — от звезд, планет и галактик до микрочастиц: атомов, электронов, ядер.**

**Однако как для элементарных частиц микромира, так и для окружающих нас предметов макромира силы гравитационного взаимодействия настолько малы, что ими можно пренебречь.**

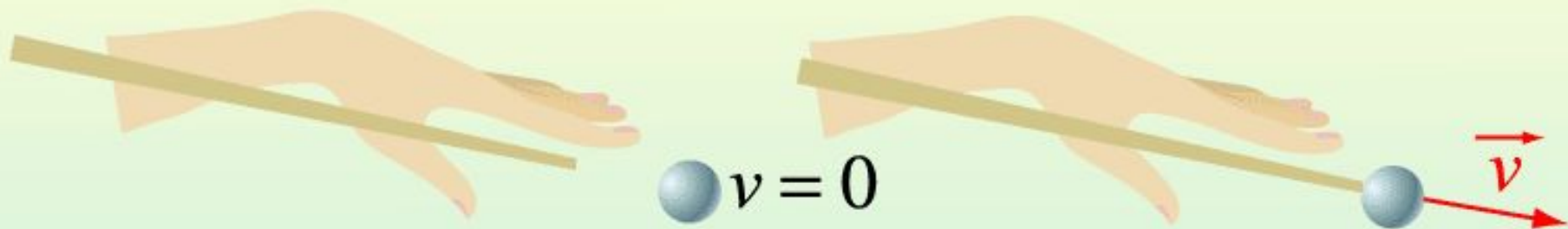
**Слабое взаимодействие** присуще всем элементарным частицам, кроме фотона. Оно отвечает за большинство ядерных реакций распада и многие превращения элементарных частиц.

**Электромагнитное взаимодействие** определяет структуру вещества, связывая электроны и ядра в атомах и молекулах, объединяя атомы и молекулы в различные вещества. Электромагнитное взаимодействие является причиной таких явлений, как упругость, трение, вязкость, магнетизм и составляет природу соответствующих сил.

**Сильное взаимодействие** осуществляется между частицами в ядре атома.

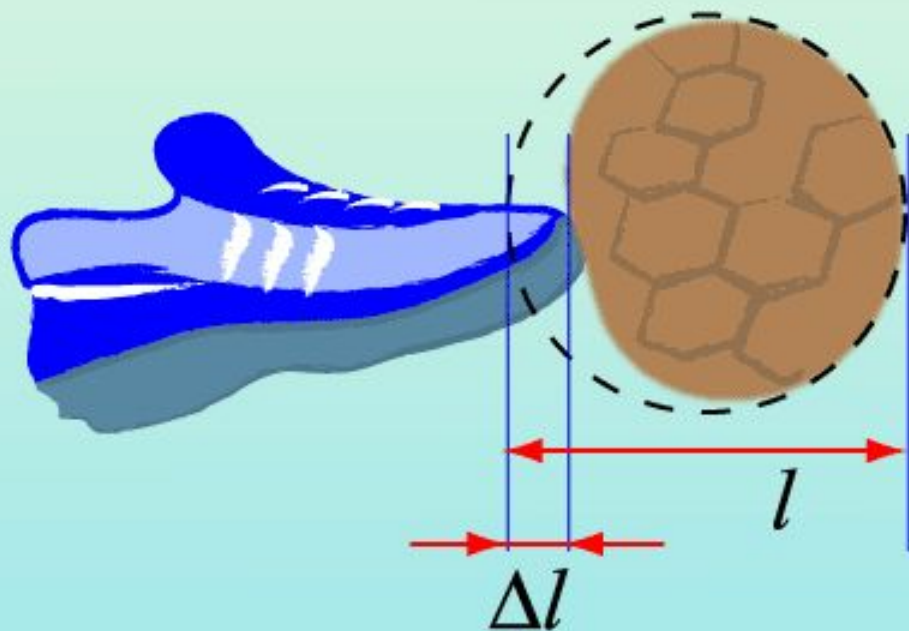


# Результат взаимодействия тел



*тела получают ускорение*

$$a \sim F$$

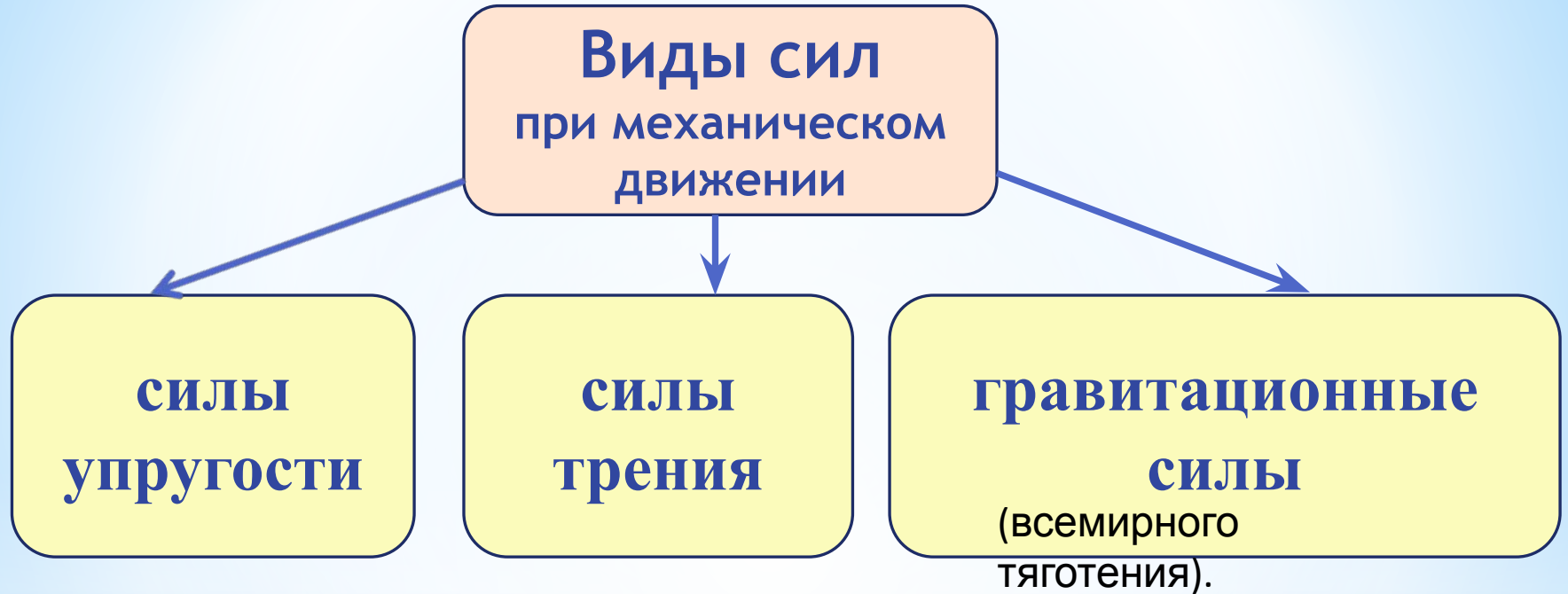


*тела деформируются*

$$\Delta l \sim F$$

## **2. Сила. Принцип суперпозиции сил**

**Сила** в механике — это величина, являющаяся мерой взаимодействия тел.



**Сила** — векторная величина, характеризующаяся численным значением, направлением в пространстве и точкой приложения.

Сила обычно обозначается буквой  $F$ , <sup>Δ</sup>Модуль силы — буквой  $F$  (без стрелки).

Прямая, вдоль которой направлена сила, называется *линией действия силы*. Когда говорят о силе, важно указать, к какой точке тела приложена действующая на него сила.

Проявлением действия силы является изменение ускорения тела.

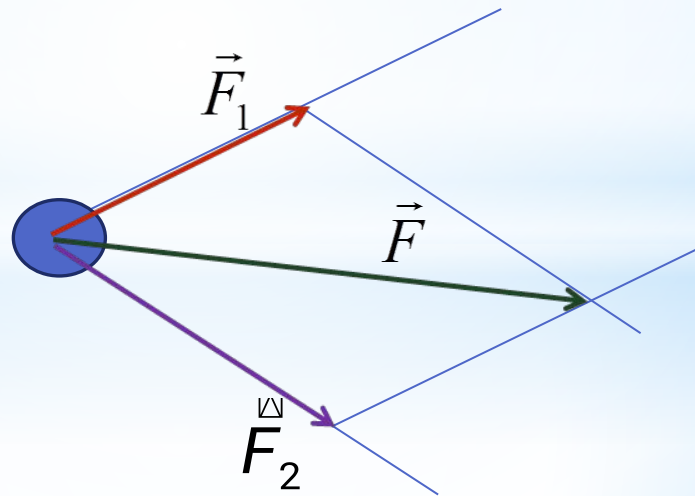
Единицей силы в СИ является ньютон (Н). Один ньютон (1 Н) — это сила, которая за 1 с изменяет скорость тела массой 1 кг на 1 м/с.

На практике применяются также килоньютоны и миллиньютоны:  $1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н}$ ,  $1 \text{ мН} = 0,001 \text{ Н}$ .

# Сложение сил

Сила  $\vec{F}$ , оказывающая на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих на это тело сил  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  и т.д. называется *равнодействующей этих сил*.

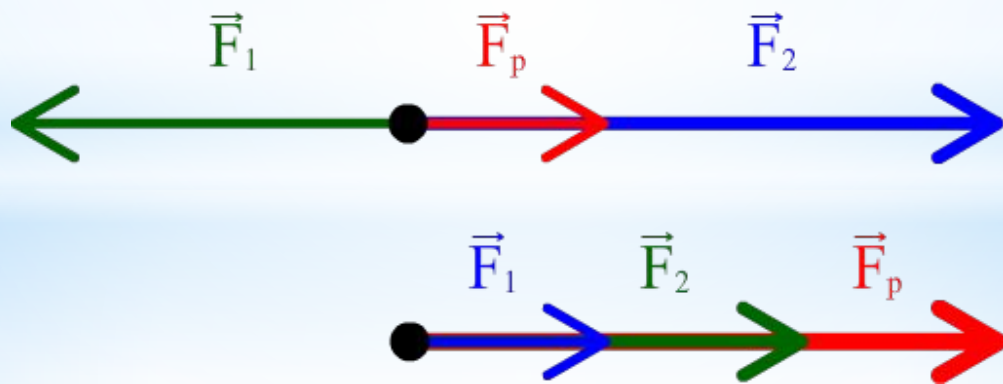
Например, равнодействующую двух сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , приложенных к одной точке тела, можно найти по правилу сложения векторов (правилу параллелограмма):



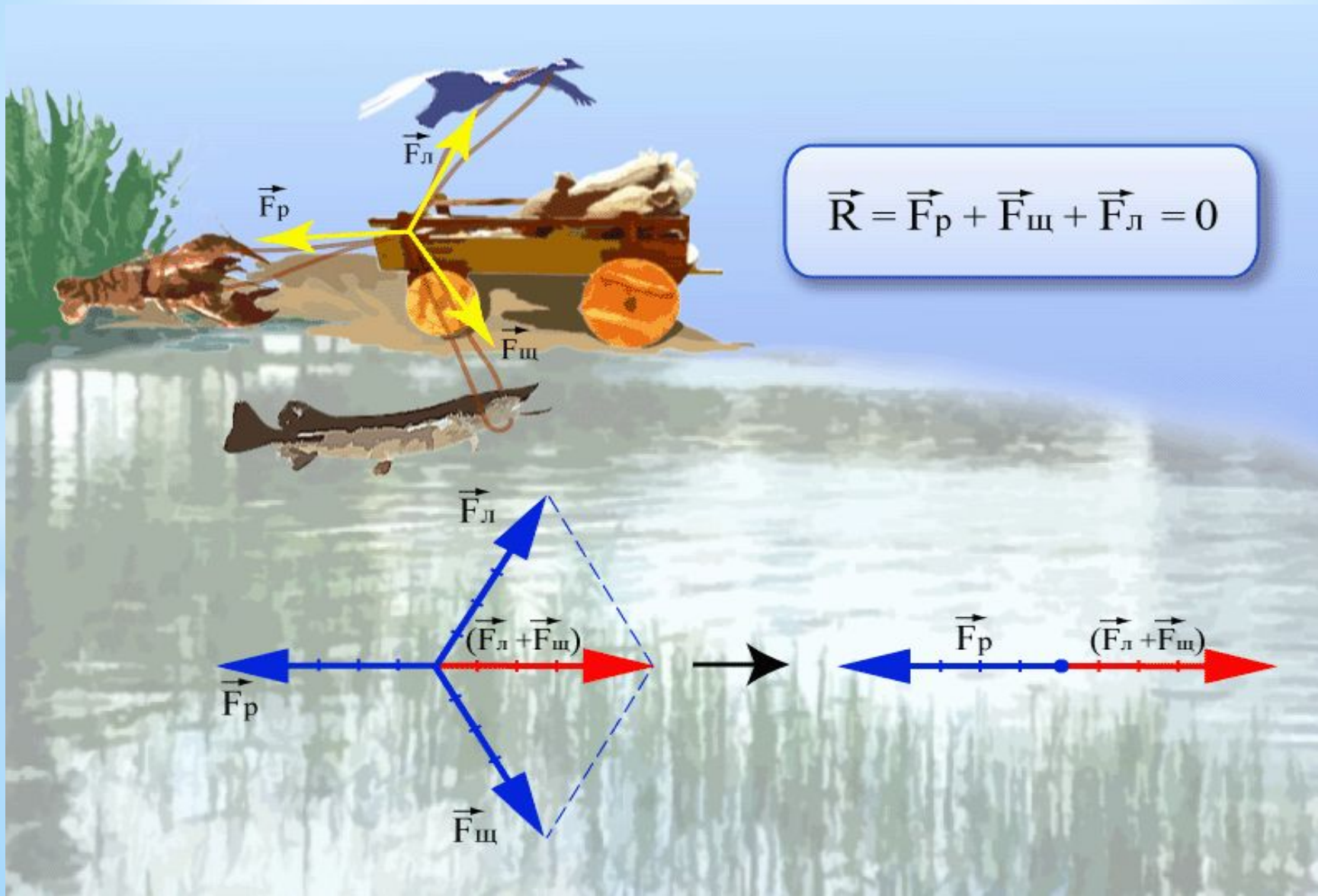
**Принцип суперпозиции:** при взаимодействии одного тела одновременно с несколькими телами каждое из тел действует независимо от других тел и равнодействующая сила является суммой  $\vec{F}$  векторов всех действующих сил:

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

**Примеры действия на тело двух сил вдоль одной прямой:**

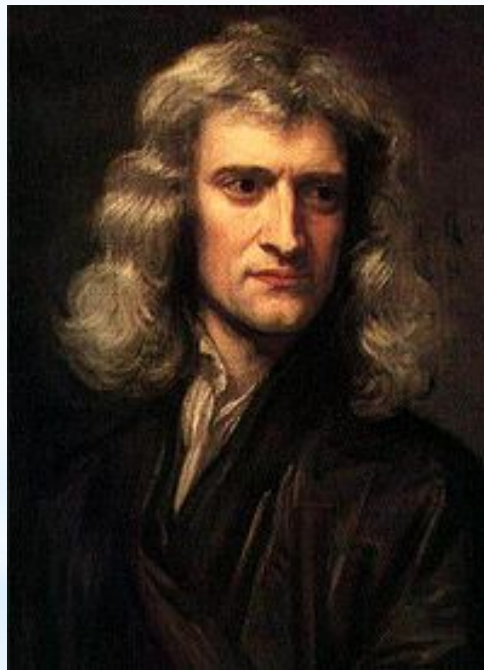


# Пример действия на тело нескольких сил, действующих по разным направлениям:



# 3. Законы динамики

## Ньютона



**Исаак НЬЮТОН (1643-1727)**



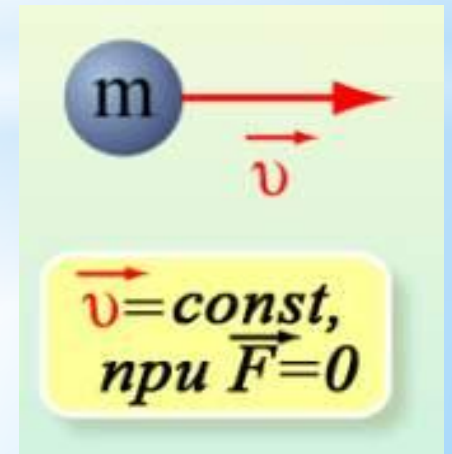
# Первый закон Ньютона

Существуют такие системы отсчёта, 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.

Первый закон Ньютона называют *законом инерции*. Системы отсчета, относительно которых выполняется 1-ый закон Ньютона, называются *инерциальными*.

Свойство тела сохранять состояние покоя или движения с постоянной скоростью называется инертностью тела.

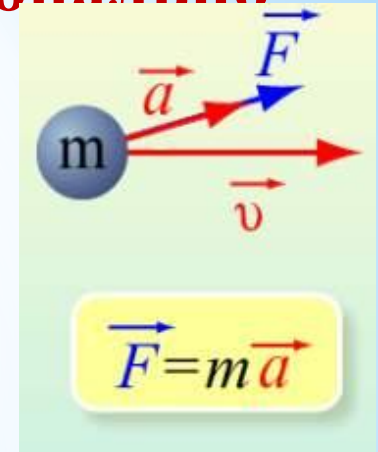
Масса – мера инертности тела.



# Второй закон Ньютона

Ускорение движения тела прямо пропорционально приложенной к нему силе и обратно пропорционально массе тела:

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



Если к телу приложено несколько сил, то ускорение  $\vec{a}$  тела прямо пропорционально равнодействующей  $\vec{F}_p$  всех сил и обратно пропорционально массе  $m$  тела:

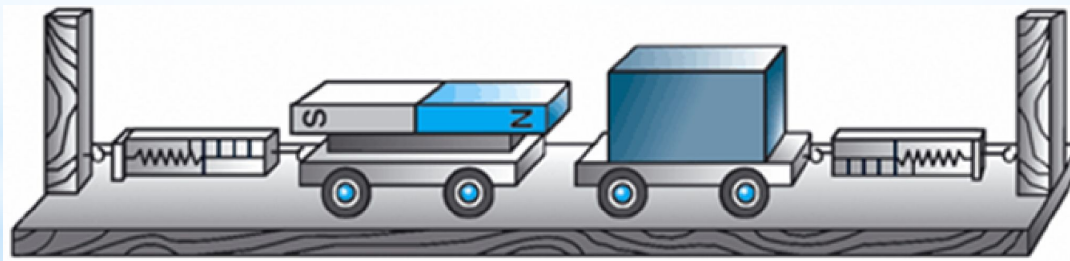
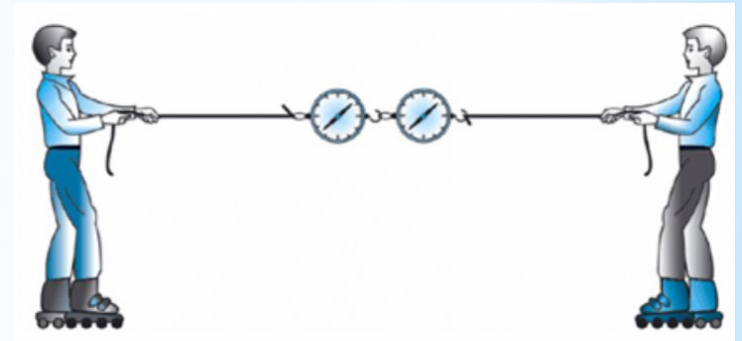
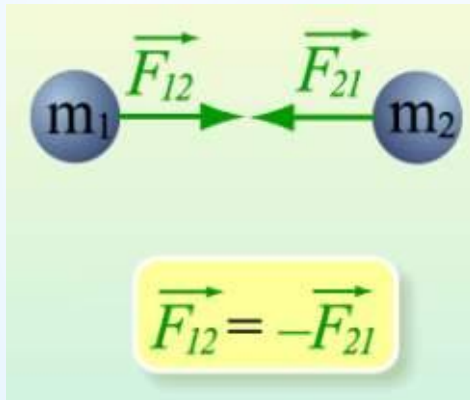
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_p}{m}$$

или, иначе:  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = m\vec{a}$

Второй закон механики выполняется только в инерциальных системах отсчёта.

# Третий закон Ньютона

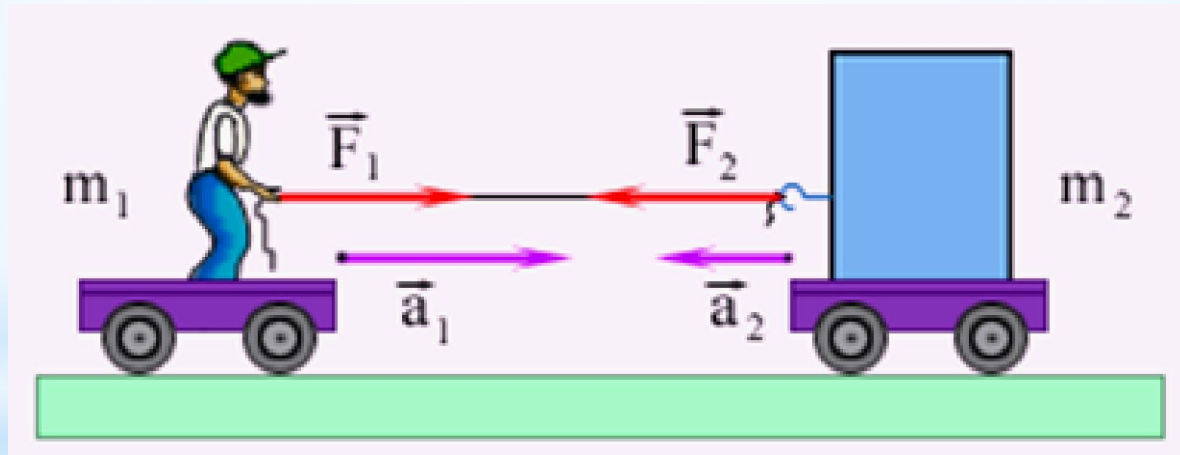
**Силы, с которыми тела взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны**



**Равные по модулю и противоположно направленные силы действия приложены к разным телам и поэтому не могут уравновешивать друг друга.**

При любом взаимодействии двух тел массами  $m_1$  и  $m_2$  отношение модулей приобретаемых телами ускорений остаётся постоянным и равным обратному отношению масс тел:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

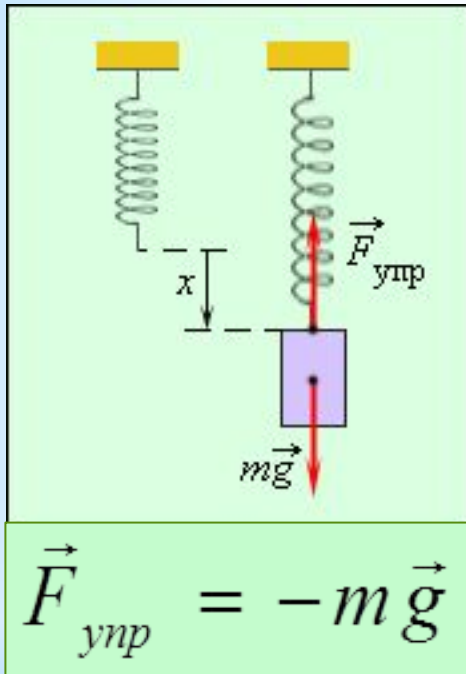


Третий закон механики также выполняется только в инерциальных системах отсчёта.

# 4. Силы в природе.

# Сила упругости

Силы, возникающие в результате деформации тел, называются силами упругости.



При малых деформациях стальной пружины сила упругости  $F_{упр}$  прямо пропорциональна деформации (закон Гука):

$$F_{упр} = -kx$$

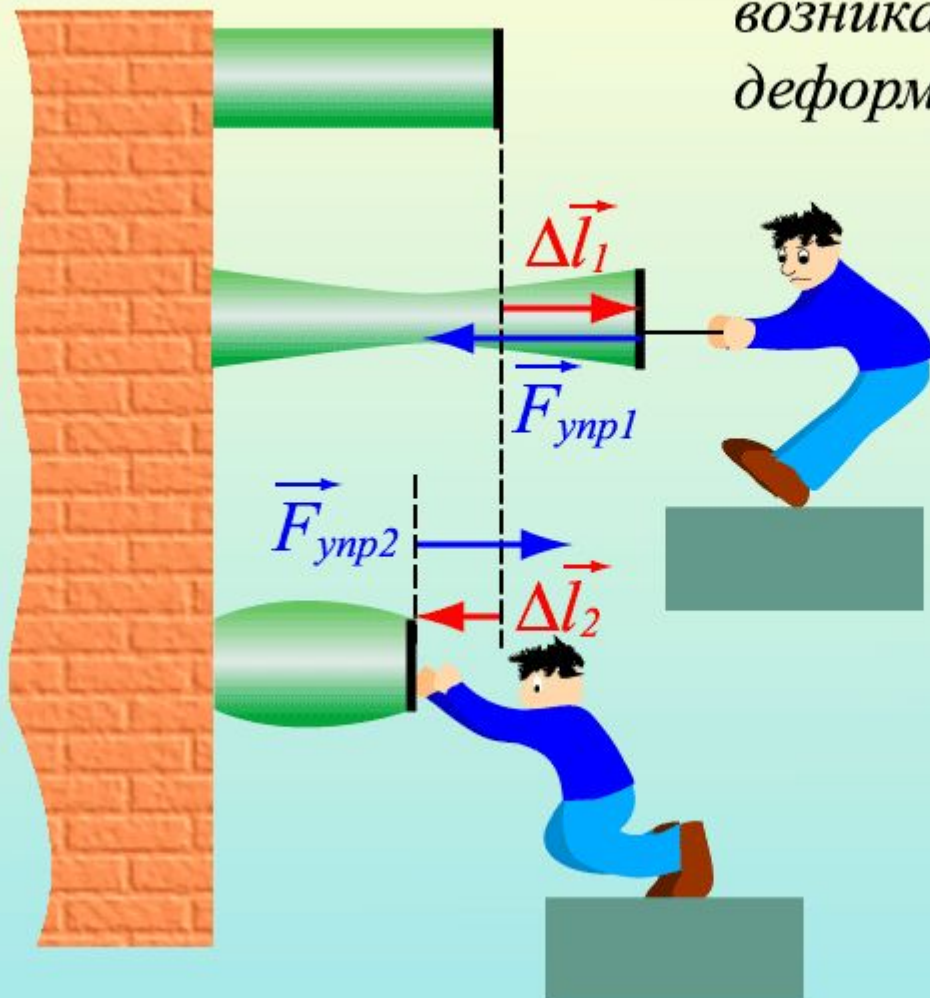
В данном примере сила упругости направлена противоположно

силе тяжести.

- $k$  - называется жесткостью пружины;  $[k]=1 \text{ Н/м}$ .
- знак «минус» указывает на то, что сила упругости направлена противоположно деформации тела;

# Сила упругости

Упругие силы – силы, возникающие при упругой деформации тел



Закон Гука

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta\vec{l}$$

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

Потенциальная энергия упруго деформированного тела

# Сила трения

**Сила трения** – это сила, которая возникает в том месте, где тела соприкасаются друг с другом, и препятствует перемещению тел.

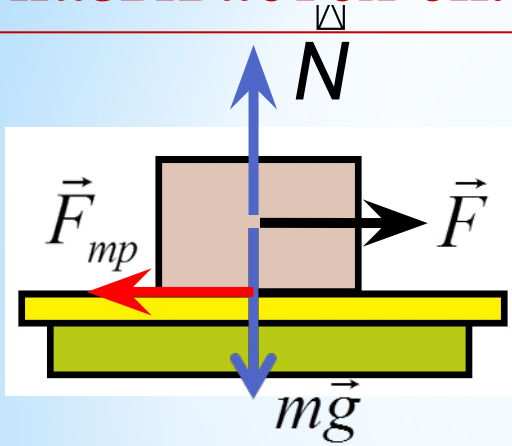
Возникновение силы трения объясняется двумя причинами:

- 1) Шероховатостью поверхностей.
- 2) Проявлением сил молекулярного взаимодействия.

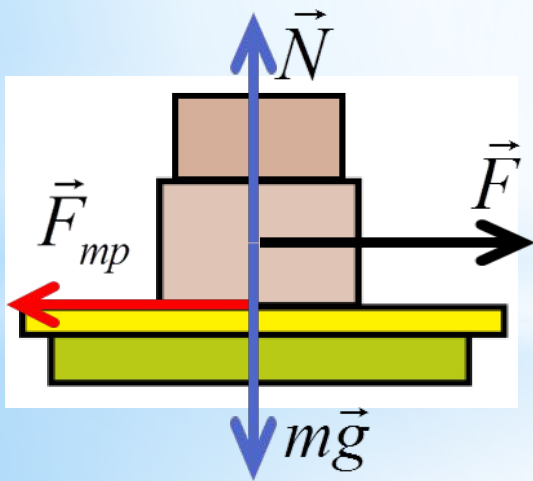
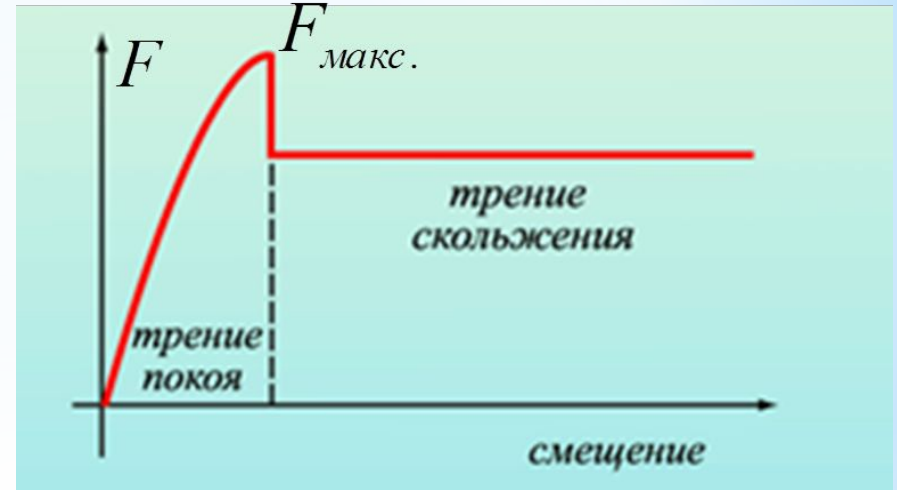
Силы трения всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям и подразделяются на **силы трения покоя, скольжения, качения.**



**Сила, возникающая на границе соприкосновения тел при отсутствии относительного движения тел, называется силой трения покоя.**



$$\vec{F}_{тр} = -\vec{F}$$



$$(F_{тр})_{\text{макс}} = \mu N$$

**Модуль максимальной силы трения покоя пропорционален силе нормального давления.**

$\mu$  - коэффициент пропорциональности, называется коэффициентом трения. Он характеризует не тело, а сразу два тела, трущихся друг о друга.

**Сила трения скольжения – это сила, которая возникает при скольжении предмета по какой-либо поверхности.**

По модулю она почти равна максимальной силе трения покоя. *Направление силы трения противоположно направлению движения тела.*

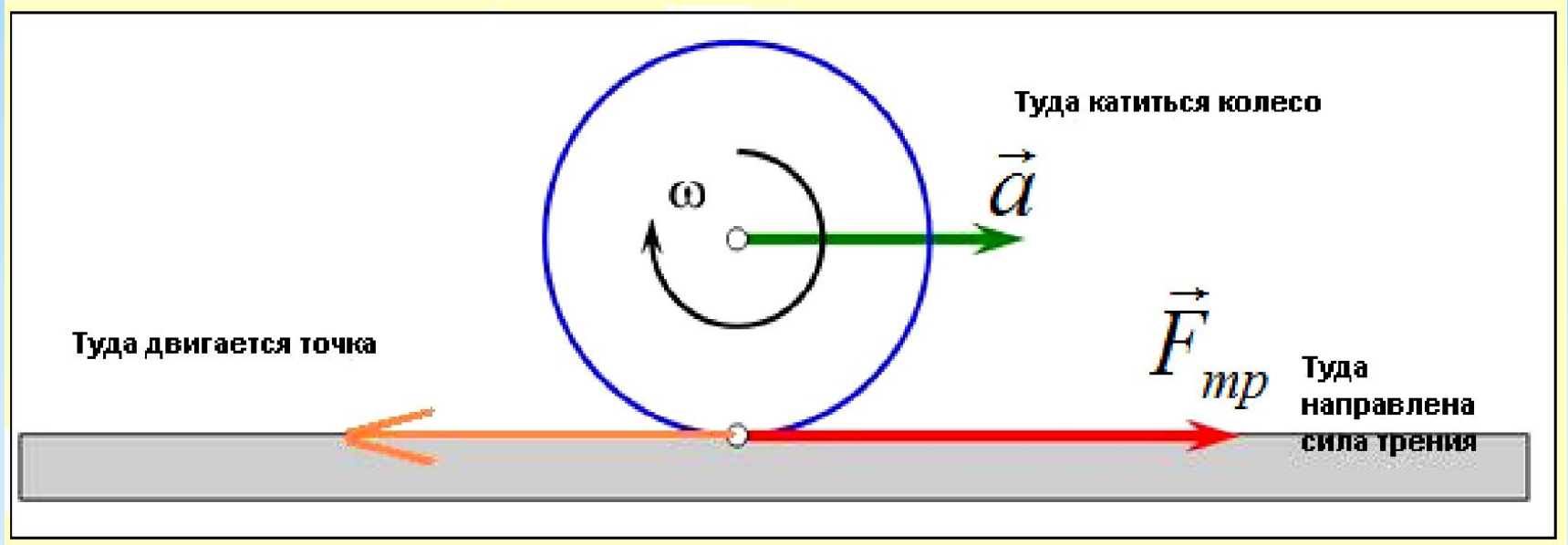
Сила трения в широких пределах не зависит от площади соприкасающихся поверхностей.

Сила трения скольжения также пропорциональна силе давления (силе реакции опоры):

$$F_{тр} = \mu N$$

**Силы трения возникают и при качении тела. При одинаковой нагрузке сила трения качения значительно меньше силы трения скольжения. Поэтому для уменьшения сил трения в технике применяются колеса, шариковые и роликовые подшипники.**

***Трение качения* возникает из-за того, что при движении колесо несколько вдавливается в дорогу, и ему приходится все время взбираться на небольшой бугорок, образующийся перед ним. Чем твёрже поверхность дороги, тем меньше колесо проваливается в грунт, тем меньше выступ перед колесом, и тем меньше, следовательно, трение качения.**



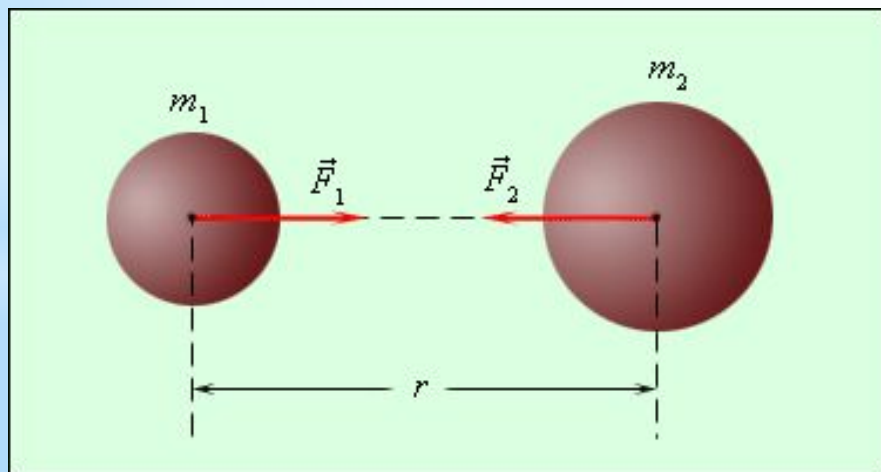
**Наука, изучающая трение, называется трибологией (от греческого слова "трибос", что означает трение).**

**Законы сухого трения (скольжения и качения) сформулировал в 1781 году выдающийся французский физик Ш. О. Кулон (1736-1806). Они были определены им опытным путем.**

# **5. Закон всемирного тяготения.**

Открыт Ньютоном в 1667 году на основе анализа движения планет (законы Кеплера) и, в частности, Луны.

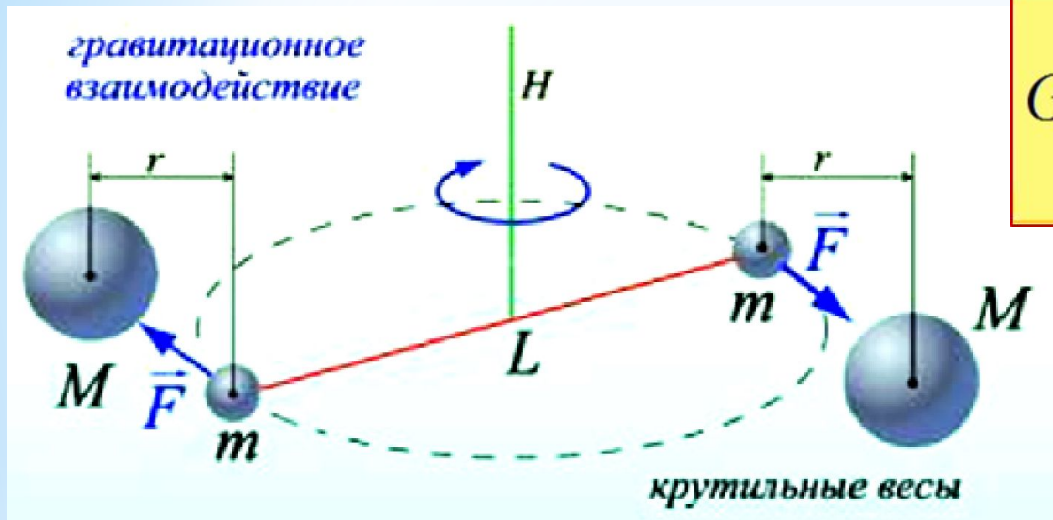
Все тела взаимодействуют друг с другом с силой, прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.



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

1. Сила направлена вдоль прямой, соединяющей тела.
2.  $G$  - постоянная всемирного тяготения (гравитационная постоянная).

Впервые прямые измерения гравитационной постоянной провел Г. Кавендиш с помощью крутильных весов в 1798 г.



$$G = \frac{F \cdot r^2}{M \cdot m} = 6,65 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{кг^2}$$

*H*-тонкая нить, *L*-двухметровый стержень, *m*- свинцовые шары (массой 775 г и диаметром 5 см), *M*- свинцовые шары (массой 49,5 кг и диаметром 20 см), *r*- расстояние между шарами.

## **Физический смысл гравитационной постоянной:**

*гравитационная постоянная численно равна модулю силы тяготения, действующей между двумя точечными телами массой по 1 кг каждое, находящимися на расстоянии 1 м друг от друга.*

## **Применение закона всемирного тяготения :**

- 1. Закономерности движения планет и их спутников. Уточнены законы Кеплера.**
- 2. Космонавтика. Расчет движения спутников.**



**Закон всемирного тяготения справедлив для:**

- 1. Однородных шаров.**
- 2. Для материальных точек.**
- 3. Для концентрических тел.**

**Гравитационное взаимодействие значительно при больших массах.**

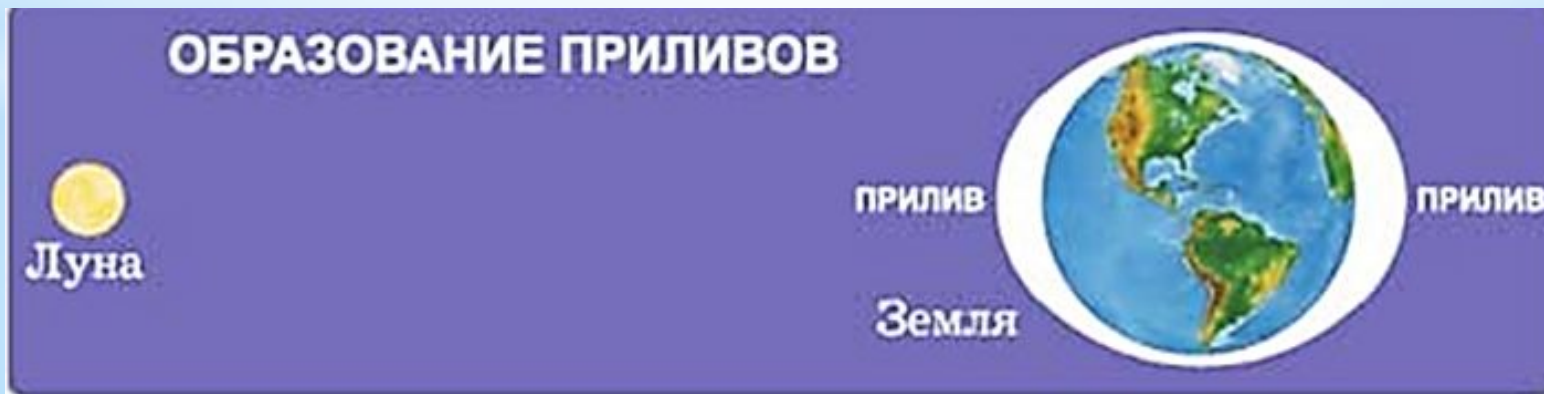
**Примеры:**

**Притяжение электрона к протону в атоме водорода**  
 **$2 \cdot 10^{-11} \text{ Н}$**

**Тяготение между Землей и Луной**       **$2 \cdot 10^{20} \text{ Н}$**

**Тяготение между Солнцем и Землей**       **$3,5 \cdot 10^{22} \text{ Н}$**

**Закон всемирного тяготения имеет всеобъемлющий характер. Притяжение существует не только между Землей и телами, находящимися на ней. Все тела притягиваются друг к другу. Притягиваются между собой Земля и Луна. Притяжение Земли к Луне вызывает приливы и отливы воды. Огромные массы воды поднимаются в океанах и морях дважды в сутки на много метров.**



# **6. СИЛА ТЯЖЕСТИ**

Одно из проявлений силы всемирного проявления – сила притяжения тела к Земле, называемая также *силой тяжести*.

Обозначим массу Земли через  $M_3$  массу тела –  $m$  у поверхности Земли через  $m$ .

Силу, действующую на тело, согласно закону всемирного тяготения, находим по формуле

$$F = G \frac{M_3 m}{R_3^2} \quad R_3 \text{ — это радиус Земли.}$$

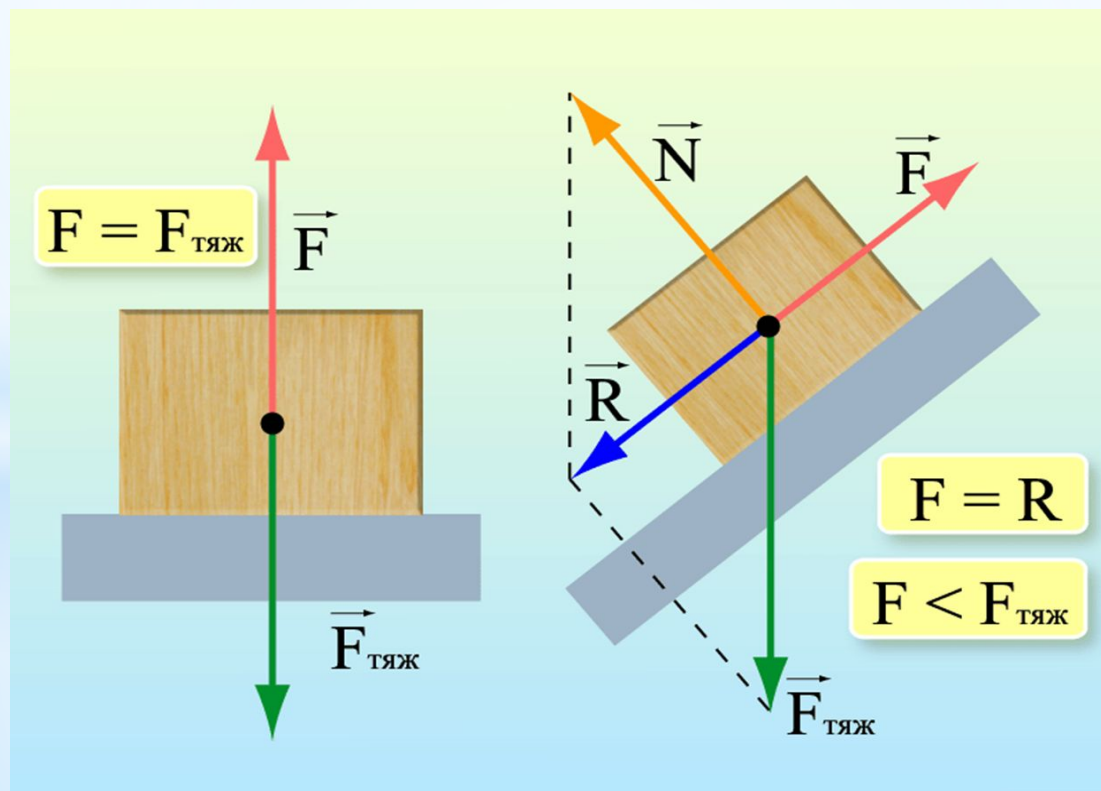
*Тогда ускорение тела, сообщаемое ему силой тяжести, - это и есть ускорение свободного падения.*

Его мы обозначаем буквой  $g$ .

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M_3}{R_3^2} \approx 9,8 \text{ м/с}^2$$

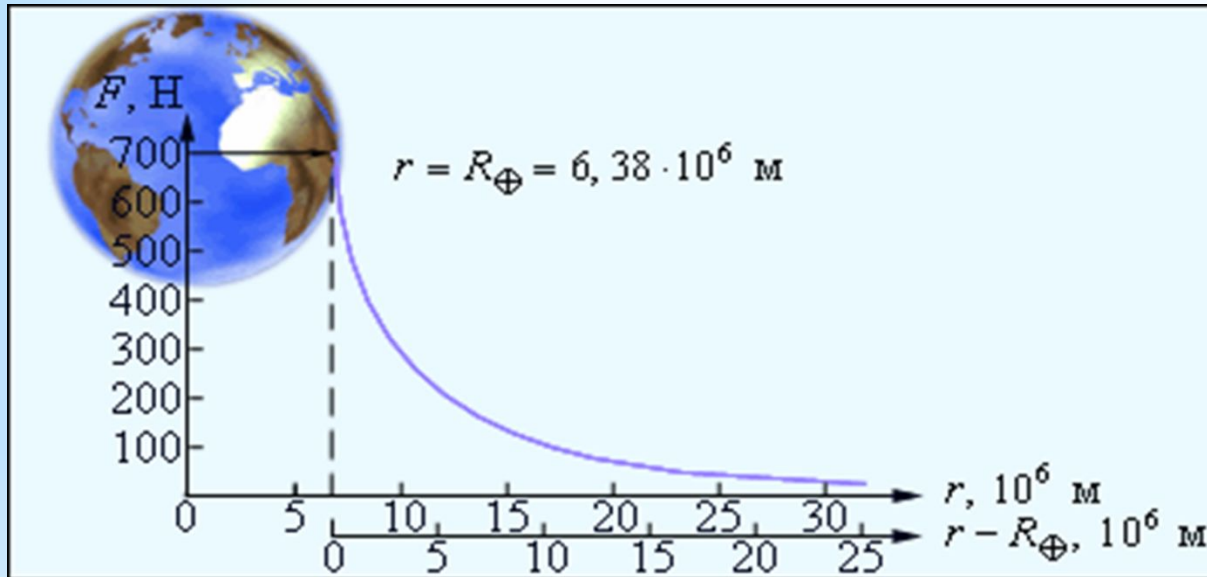
Сила тяжести всегда направлена вертикально вниз, к центру Земли. Обозначается она обычно латинской буквой  $F$  со значком «Т» (тяжесть) внизу —  $F_T$ . Сила тяжести приложена к центру тяжести тела и равна:

$$F_T = mg$$



Если тело находится на высоте  $h$  над Землёй, то

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$



Изменение силы тяготения, действующей на космонавта при удалении от Земли.

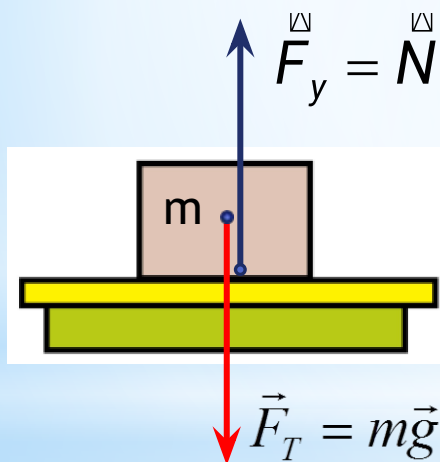
**Ускорение силы тяжести зависит** : от массы планеты, радиуса планеты, от высоты над поверхностью планеты, от географической широты (на полюсах – , на экваторе -  $9,83 \text{ м/с}^2$ , от залежей полезных ископаемых.  $9,79 \text{ м/с}^2$

# **7. Вес тела. Невесомость.**

Силу тяжести  $m\vec{g}$  с которой тела притягиваются к Земле, нужно отличать от веса тела.

**Весом тела называют силу, с которой тело вследствие его притяжения к Земле действует на опору или подвес.**

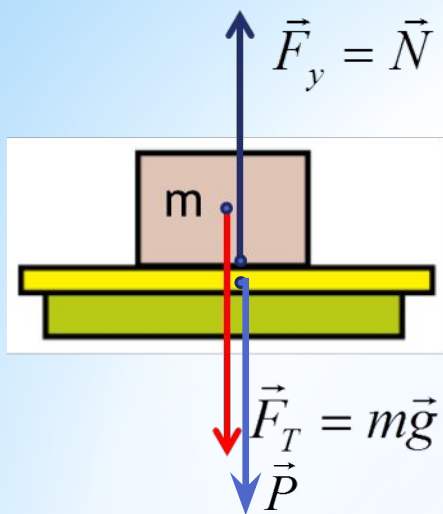
При этом предполагается, что тело неподвижно относительно опоры или подвеса.



На тело действуют сила тяжести направленная вертикально вниз, и сила упругости, с которой опора действует на тело.

**Силу  $\vec{N}$  называют силой нормального давления или силой реакции.**





Силы, действующие на тело, уравнивают друг друга:

$$\vec{F}_T = -\vec{F}_y = -\vec{N}$$

В соответствии с третьим законом Ньютона тело действует на опору с некоторой силой  $\vec{P}$ , равной по модулю силе реакции опоры и направленной в противоположную сторону:

$$\vec{P} = -\vec{N}$$

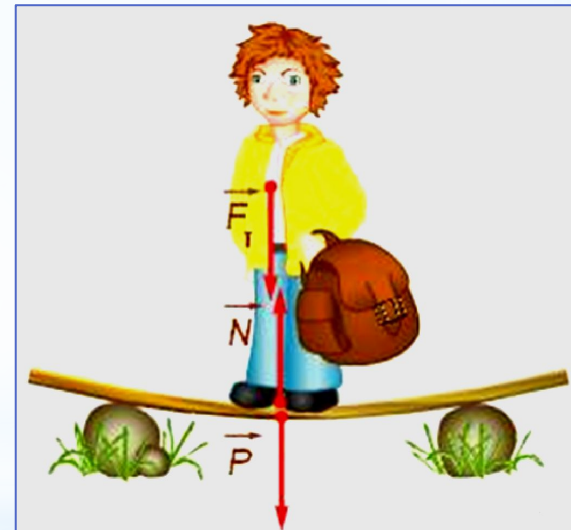
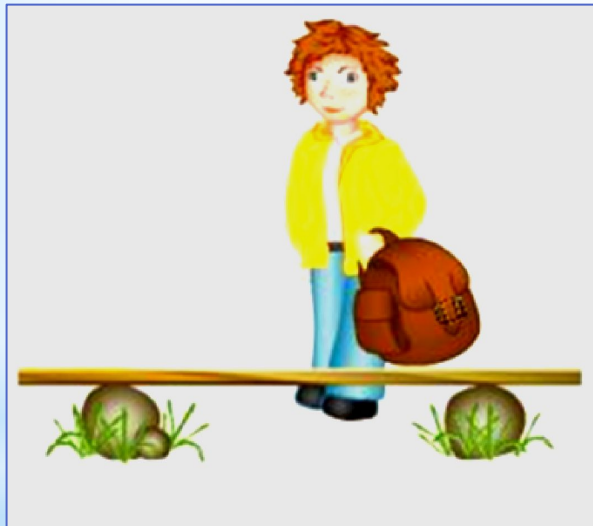
По определению, сила  $\vec{P}$  называется весом тела.

Из приведенных выше соотношений видно, что  $\vec{P} = \vec{F}_T = m\vec{g}$ , то есть вес тела  $\vec{P}$  равен силе тяжести  $m\vec{g}$ .

**Но эти силы приложены к разным телам!**

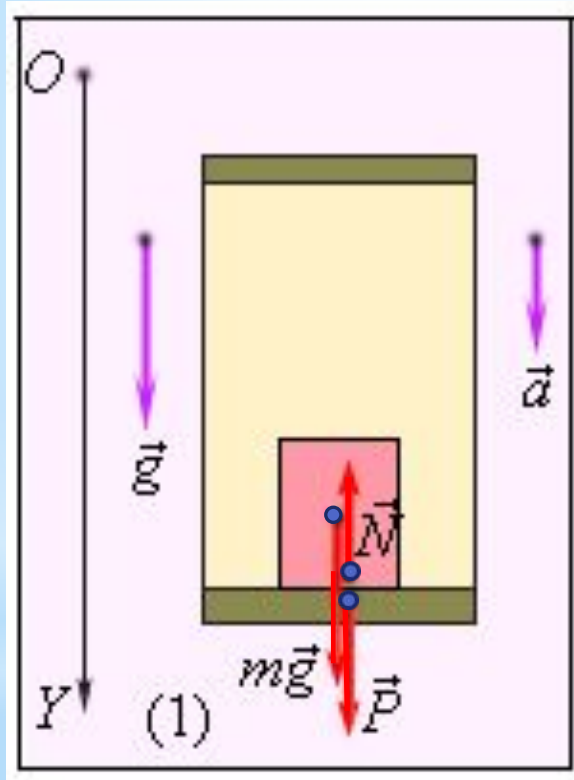
**ИТАК: весом  $\vec{P}$  называется сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес.**

**Сила тяжести  $\vec{F}_T = m\vec{g}$  и сила реакции  $\vec{N}$  со стороны опоры приложены к данному телу, а вес тела к опоре  $\vec{P}$**



**Если тело неподвижно висит на пружине, то роль силы реакции опоры (подвеса) играет упругая сила пружины.**

Рассмотрим теперь случай, когда тело лежит на опоре (или подвешено на пружине) в кабине лифта, движущейся с некоторым ускорением относительно Земли. Система отсчета, связанная с



лифтом, не является инерциальной.

На тело по-прежнему действуют сила тяжести  $\vec{P}$  и сила реакции опоры  $\vec{N}$ , но теперь **эти силы не уравнивают друг друга.**

По второму закону Ньютона:

$$mg + N = ma \quad \text{или} \quad N = m(a - g)$$

Сила  $\vec{P}$ , действующая на опору

со стороны тела, которую и называют весом тела, по третьему з-ну Н. равна ( ):-  $N$

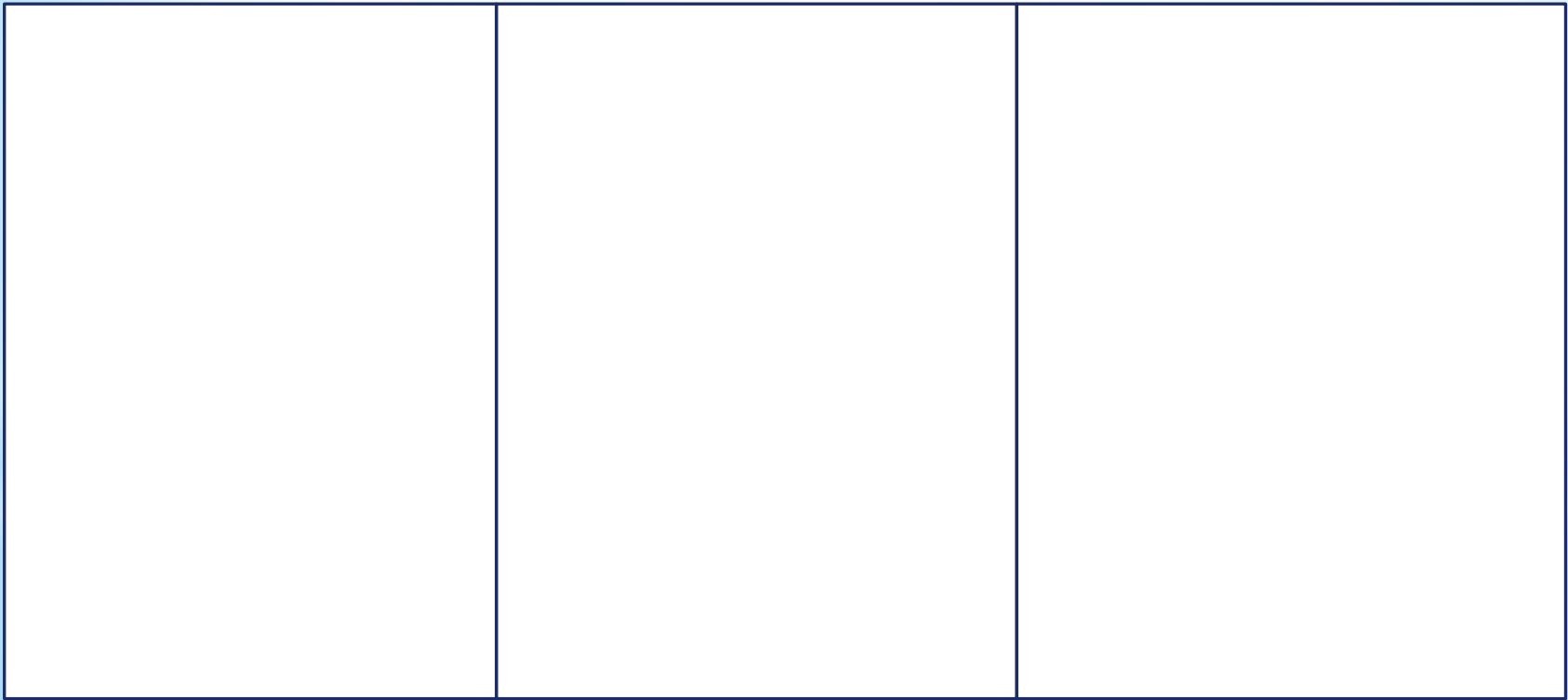
$$P = m(g - a)$$

**Итак, вес тела в ускоренно движущемся лифте есть**

$$P = m(g - a)$$

Если координатную ось  $OY$  направить вертикально вниз, то это векторное уравнение для случая  $a < g$ ,

можно переписать в скалярной форме:  $P = m(g - a)$

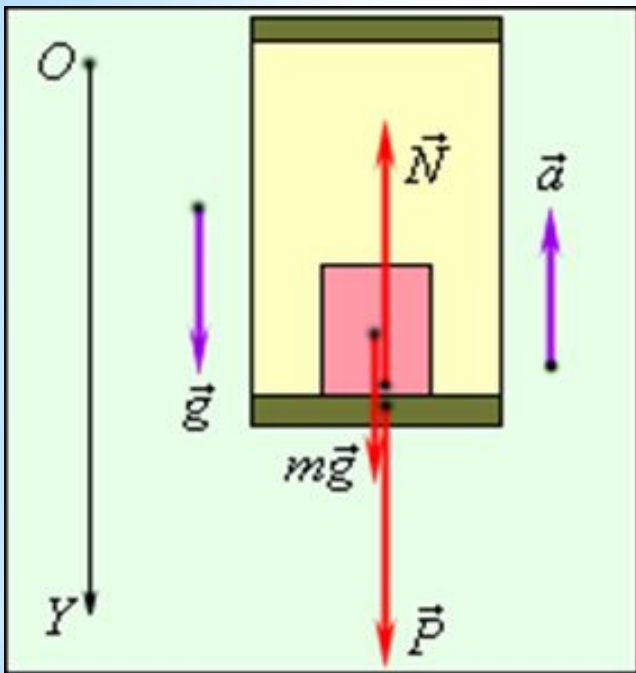


1)  $a < g$ ,  $P < mg$

2)  $a = g$ ,  $P = 0$   
(невесомость);

3)  $a > g$ ,  $P < 0$

**Если вектор ускорения направлен вертикально вверх, то  $a < 0$  и, следовательно, вес тела всегда будет превышать по модулю силу тяжести.**



Вес тела  $P = m(g + a)$  приблизительно в два раза превышает по модулю силу тяжести при  $a=g$  (двукратная перегрузка).

**Увеличение веса тела, вызванное ускоренным движением опоры или подвеса, называют перегрузкой.**

Действие перегрузки испытывают космонавты, при взлете космической ракеты и на участке торможения при входе корабля в плотные слои атмосферы, а также летчики при выполнении фигур высшего пилотажа.