

ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА. ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА.



Исаак Ньютон

- В отличие от кинематики, **динамика** - это раздел механики, изучающий движение тел в связи с теми причинами (взаимодействиями между телами), которые обуславливают тот или иной характер движения.
- **Динамика** - основной раздел механики, в основе которого лежат **3 закона Ньютона**.
- **Первый закон Ньютона** гласит: существуют такие системы отсчета, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела или действие всех тел компенсируется.

- Свойство тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения при отсутствии внешних воздействий (со стороны других тел) называется инерцией (от латинского "inertia" - бездействие).
- 1 закон Ньютона называют **законом инерции**, а движение тела, свободного от внешних воздействий движением по инерции $\Sigma \vec{F}_i = 0$..
- Справедливость его подтверждается многочисленными опытными фактами. Так как механическое движение относительно и его характер зависит от системы отсчёта, то возникает вопрос: о каком покое или равномерном прямолинейном движении идёт речь? Как надо выбирать систему отсчёта, чтобы выполнялся 1 закон Ньютона?

- Системы отсчёта в которых выполняется 1 закон Ньютона называются **инерциальными системами отсчёта**.
- *Пример:* предметы лежащие на полках в неподвижном вагоне, могут упасть при движении поезда с ускорением или при повороте.
- Системы отсчёта в которых 1 закон Ньютона не выполняется называются **неинерциальными системами отсчёта**.
- *Пример:* Инерциальной является, так называемая, гелиоцентрическая система отсчёта, центр которой совпадает с центром Солнца. С менее высокой степенью точности можно считать инерциальной системой отсчёта, связанную с Землёй (так как Земля вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца). Но её ускорение настолько мало, что при решении многих задач её можно считать инерциальной.

□ Следовательно, в 1 законе Ньютона содержатся 2 утверждения :

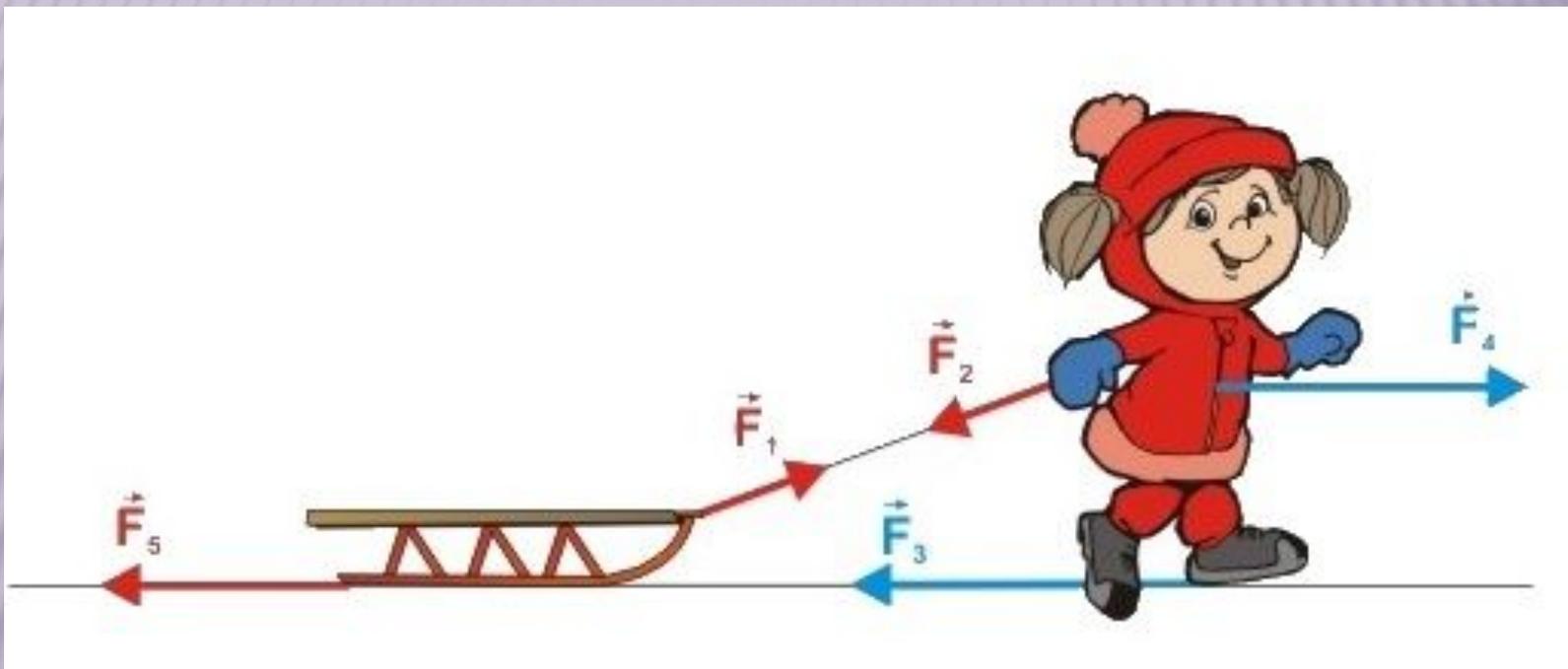
□ 1) всем телам присуще свойство инертности (инерции)

□ 2) можно указать инерционные системы отсчёта

□ Свободные от внешних воздействий тело должно иметь в любых инерционных системах отсчёта. Поэтому любые две инерционные системы отсчёта либо взаимно неподвижны, либо движутся друг относительно друга поступательно, причём равномерно и прямолинейно.

ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА. СИЛА, МАССА, ИМПУЛЬС ТЕЛА.

- Под действием сил тела либо изменяют свою скорость v (приобретая ускорение), в этом заключается динамическое проявление сил, либо деформируются (меняют форму и размеры) - статическое проявление сил.
- Сила полностью задана, если указаны её модуль F , направление в пространстве и точка приложения.
- Сила - это векторная физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело, со стороны других тел или полей в результате которого тело получает ускорение или деформируется.
- Прямая, вдоль которой направлена сила, называется линией действия силы.



- 2 закон Ньютона - основной закон динамики поступательного движения - отвечает на вопрос, как измениться \vec{a} материальной точки (тела) под действием приложенных к ней сил.
- Опыты показали, что если на тело действуют n сил
- $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$, приложенные к одной точке тела, то их действие эквивалентно действию одной силы, равной геометрической (векторной) сумме:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

- \vec{F} - равнодействующая (результатирующая) всех сил, приложенная в этой же точке тела, что и $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$.

□ Опытами установлено, что $\vec{a} \sim \vec{F}$ (ускорение пропорционально приложенной силе и совпадает с ней по направлению).

□ Если на разные тела действовать одинаковыми силами, то они приобретают различные ускорения. Следовательно, ускорение зависит не только от \vec{F} , но и от некоторого объективного свойства, присущего самому телу и характеризующего его инертность. В качестве меры инертности в механике вводится положительная скалярная величина m - масса тела. Именно благодаря инертности (массы) тело изменяет свою скорость не мгновенно, а постепенно, приобретая под действием силы постоянное ускорение.

□ ***Масса - мера инертности тела поступательного движения.***

□ Масса тела $= \sum_i m_i$

□ ~~Масса системы тел $= \sum_k m_k$ всех тел, входящих в систему.~~

□ Итак, **2 закон Ньютона** гласит:

□ $\vec{a} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{m}$ - основной закон динамики поступательного движения.

□ *Формулировка:* Ускорение тела (материальной точки) пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе тела (материальной точке).

□ 2 закон Ньютона справедлив только в инерционных системах отсчёта.

- 1 закона Ньютона может быть получен из 2:
- действительно при $\sum_i \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{a} = 0 \Rightarrow \vec{v} = const$
- В системе СИ единицей силы являются 1Н - это сила, которая единицы массы сообщает ускорение 1 м/с^2 .
- $1\text{Н} = 1\text{кг} \cdot 1\text{м/с}^2$

□ Импульс тела.

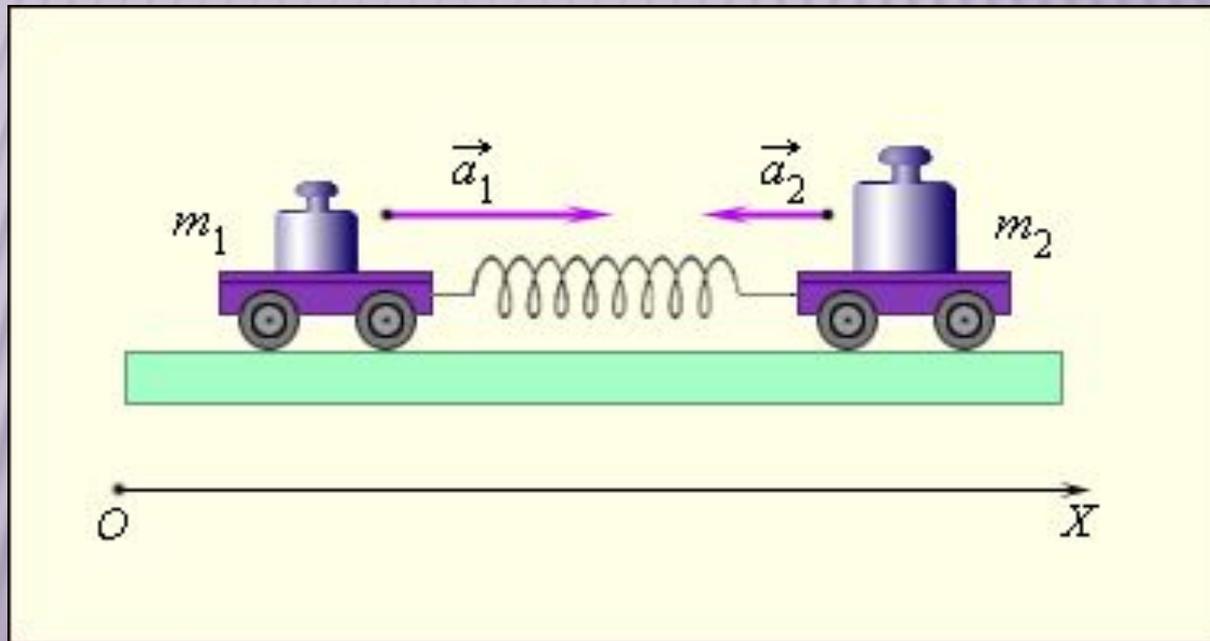
- Импульсом или количеством движения материальной точки (тела) называется вектор \vec{p} , определяемый выражением $\vec{p} = m\vec{v}$ (направлен как \vec{v} и по касательной).

□

□ Тогда

$$m\vec{a} = \frac{m d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n F_i = \vec{F}$$

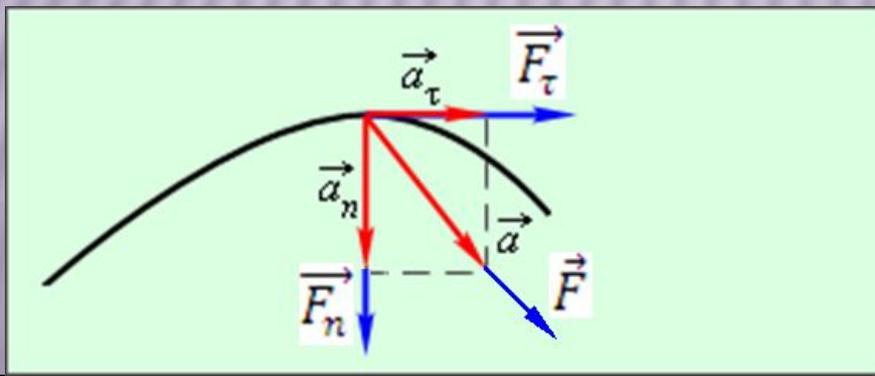
□ Скорость изменения импульса (количества движения) материальной точки (тела) равна действующей на него силе.



ПРИНЦИП НЕЗАВИСИМОСТИ ДЕЙСТВИЯ СИЛ

- На основании опытных данных был сформулирован принцип независимости действия сил: *если на материальную точку одновременно действует несколько сил, то каждая из них сообщает материальной точке такое же ускорение, как если бы других сил не было.*
- Согласно этому принципу, силы и ускорения можно разложить на составляющие, что позволяет упростить решение задач:

$$\vec{F} = \vec{F}_\tau + \vec{F}_n$$



$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad \vec{a}_\tau = \frac{\vec{F}_\tau}{m}, \quad \vec{a}_n = \frac{\vec{F}_n}{m}$$

$$F_\tau = m \frac{dv}{dt}, \quad F_n = m \frac{v^2}{R}$$

□ **Закон изменения импульса:**

□ Запишем закон Ньютона в виде:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}, \text{ т.к. } \vec{p} = m\vec{v}, \text{ то } \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F}$$

$\Rightarrow d(m\vec{v}) = \vec{F} dt$ закон изменения импульса тела.

Если $m = const$ и $F = const$, то

$$\begin{aligned} m d\vec{v} &= \vec{F} dt \\ m \int d\vec{v} &= \int \vec{F} dt \\ m\vec{v} \Big|_{\vec{v}_1}^{\vec{v}_2} &= \vec{F} t \Big|_{t_1}^{t_2} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F}(t_2 - t_1)$$

□ или $\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \vec{F}\Delta t$ - **2-й закон Ньютона** через импульс.

□ Изменение импульса тела (материальной точки) постоянной массы равно импульсу действующей на него силе.

□ **3-й закон Ньютона.**

□ Рассматривая взаимодействие тел и обобщив опытные данные Ньютон сформулировал свой 3-й закон движения: , т.е.

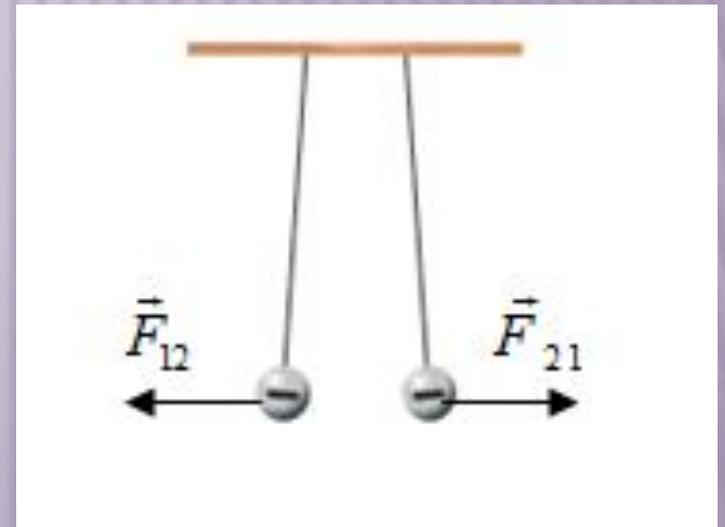
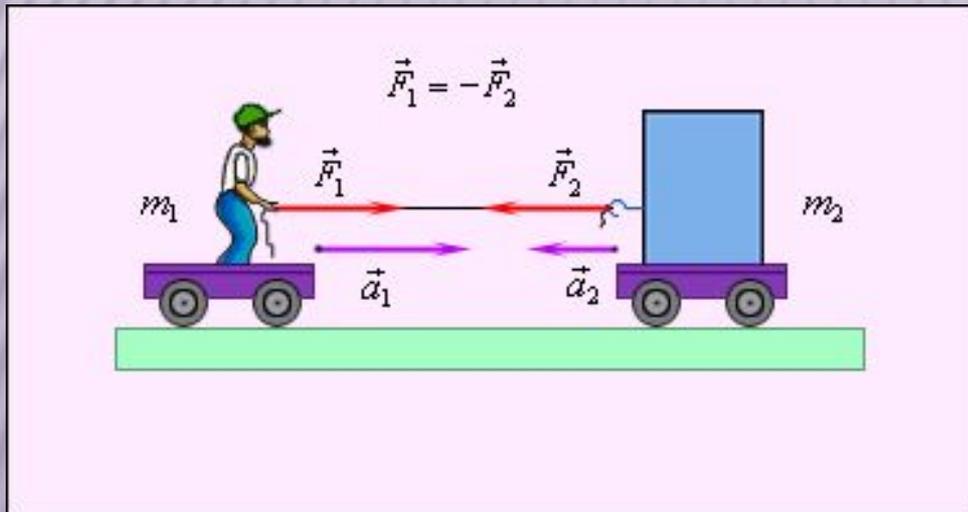
□ Два тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и направленными в противоположные стороны вдоль соединяющей эти тела прямой. Эти силы одной природы, никогда не уравновешивают друг друга, т.к. приложены к разным телам.

□ По 2-ому закону Ньютон $m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2$

$$\vec{F}_{12} = m_1 \vec{a}_2$$

□ $\vec{F}_{21} = -m_2 \vec{a}_2 \Rightarrow \vec{a}_1 = -\frac{m_2}{m_1} \vec{a}_2$

, то есть ускорения 2-х взаимодействующих тел обратно пропорциональны их массам и направлены в противоположные стороны.





ИСААК НЬЮТОН за работой

СИЛЫ

- Все силы в природе можно разделить условно на следующие категории: силы, обусловленные взаимодействием непосредственно соприкасающихся тел (силы удара, давления, тяги и др.) и силы, которые связаны с особой формой материи, названной полем и осуществляющей взаимодействия между телами без их непосредственного соприкосновения.

□ В основе многообразия взаимодействия в природе лежат 4 функциональных взаимодействий:

- 1. гравитационные;
- 2. электромагнитные;
- 3. слабые;
- 4. сильные.

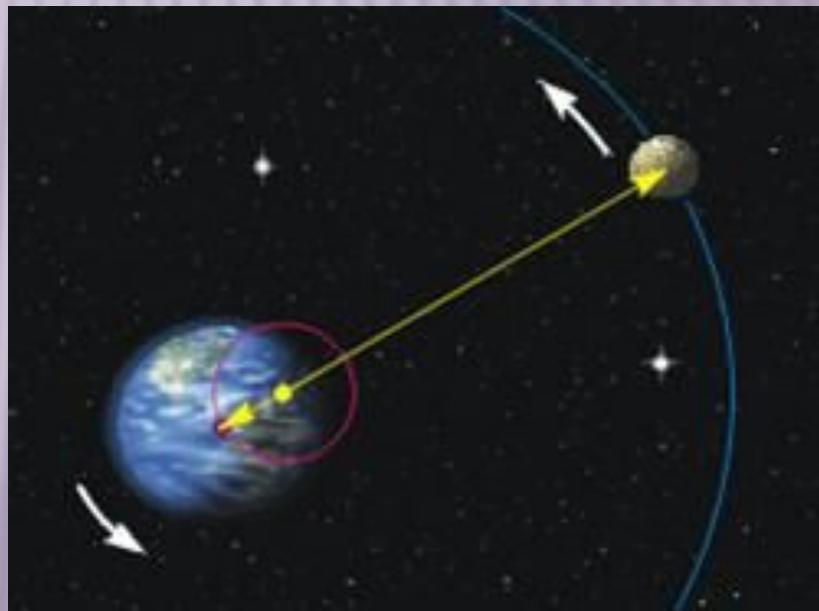
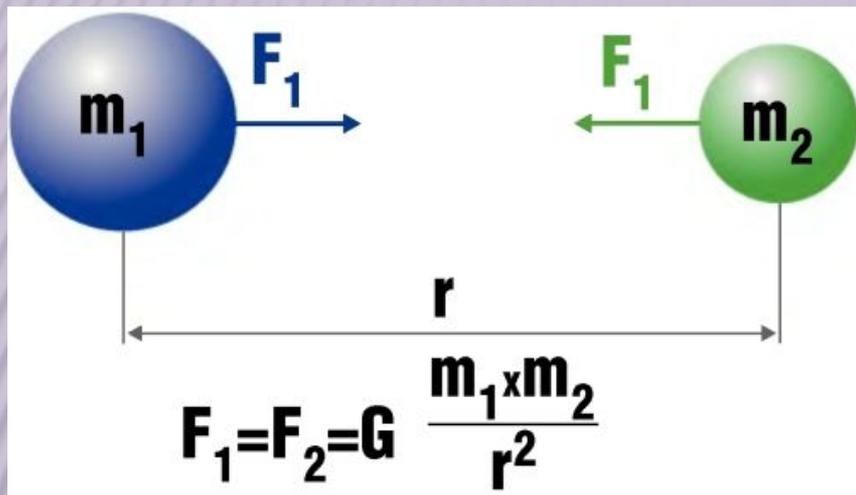
□ Гравитационные силы проявляют себя, когда взаимодействуют тела с большими массами (движение планет). К ним относятся силы тяжести и тяготения.

□ Электромагнитные взаимодействия проявляются между телами, содержащими заряженные частицы. К ним относятся силы трения и силы упругости.

□ Слабые взаимодействия осуществляются между элементарными частицами.

□ Сильные взаимодействия - между кулонами в ядре. К ним относятся ядерные силы.

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ



□ Две любые материальные точки с массами m_1 и m_2 притягиваются по направлению друг к другу с силой F , прямо пропорциональной произведению их массе и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

□ $G = 6,6745 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$ - универсальная постоянная,

□ r - расстояние между двумя взаимодействующими телами.

□ G показывает, что сила гравитационного взаимодействия может быть значительной только в случае больших масс.

□ Формула справедлива в случае, если взаимодействующие тела являются либо материальными точками, либо однородными шарами.

□ $\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{l}_{12}$ - в векторном виде.

- Для тела, находящегося на поверхности Земли:

$$F_{\text{тяг}} = G \frac{M_3 m}{R_3^2} = mg$$

- M_3 и R_3 - масса и радиус Земли.

$$R_3 \sim 6400 \text{ км}$$

- $g = G \frac{M_3}{R_3^2} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ - для тел находящихся на поверхности Земли.

- $g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$ - для тел находящихся на высоте h от поверхности Земли.

- На величину ускорения свободного падения на Земле влияют 2 причины:

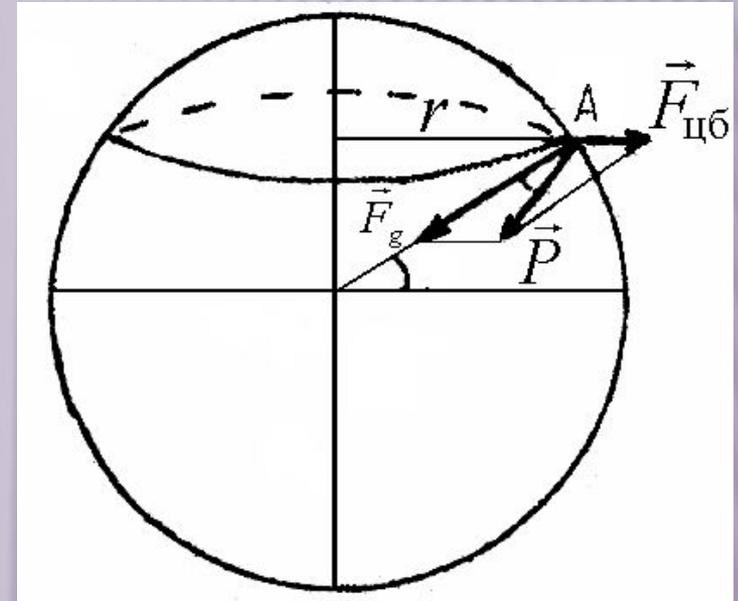
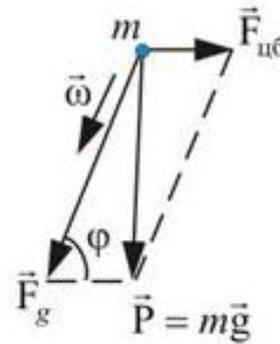
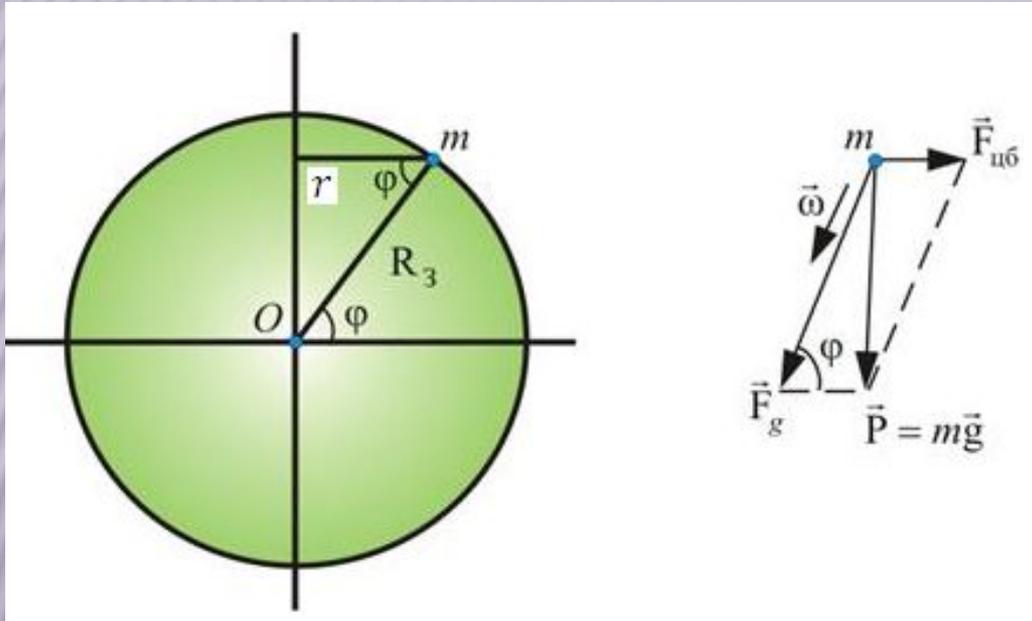
- 1. сплюснутость Земли у полюсов,

- 2. суточное вращение Земли.

- Рассмотрим тело, находящееся на поверхности Земли.

ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА ИНЕРЦИИ

- Все мы (и физические приборы тоже) находимся на Земле, вращающейся вокруг оси, следовательно, в неинерциальной системе



- $R = R_3 \cos \varphi$, φ – широта местности); ω – угловая скорость вращения Земли.
- Сила тяжести есть результат сложения двух сил
- Направлено g точно к центру Земли. $\vec{F}_{тяж} = \vec{F}_{тяг} + \vec{F}_{цб.и.}$ полюсе и на экваторе.

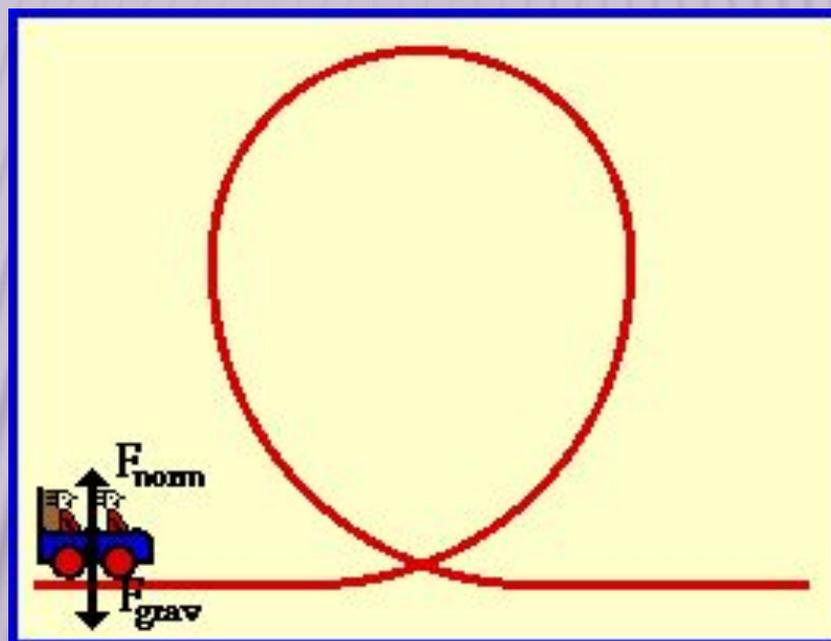
$$\vec{F}_{\text{цб.и.}} = m \frac{v^2}{r} = \frac{m(\omega r)^2}{r} = m\omega^2 r$$

$$\vec{F}_{\text{цб.и.}} = m\omega^2 r = m\omega^2 R \cos \varphi$$



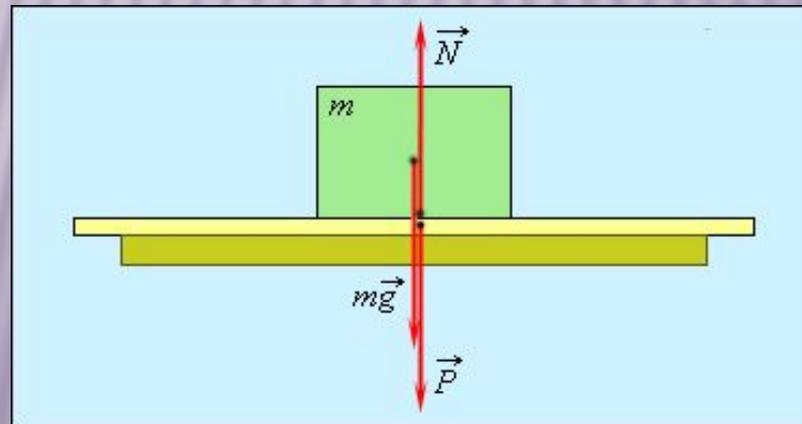
СИЛА ГРАВИТАЦИОННОГО ПРИТЯЖЕНИЯ НАПРАВЛЕНА К ЦЕНТРУ
ЗЕМЛИ.

СИЛА РЕАКЦИИ ОПОРЫ (НОРМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ) НАПРАВЛЕНА
ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО К ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖЕНИЯ.



СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС ТЕЛА. НЕВЕСОМОСТЬ.

- Сила mg , обусловленная притяжением тела к Земле, называется силой тяжести.
- Следует различать силу тяжести и вес тела.
- Вес тела - это сила, с которой тело действует на опору или подвес, ограничивающие его движения в поле земного тяготения.
- Т.е. вес тела приложен к опоре, а сила тяжести приложена к самому телу они приложены к разным телам.



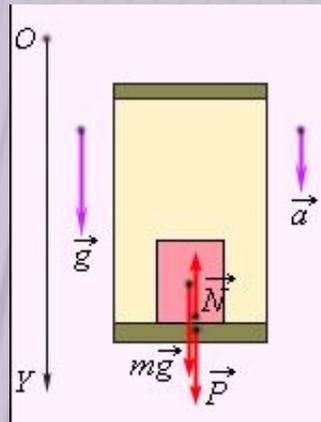
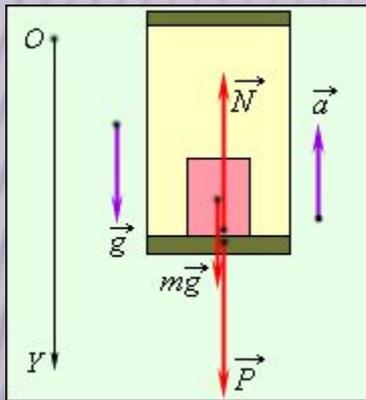
□

□

□ $F = mg$ а P может быть как $> mg$, так $< mg$, если опора или подвес движутся с ускорением $a \neq 0$ вверх или вниз.

□ Рассмотрим движение тела массой m находящейся в лифте, движущейся с ускорением:

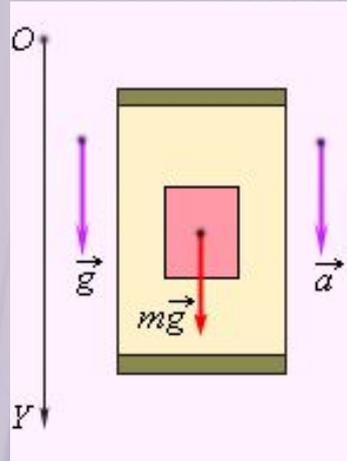
□ а) $P = m(g + a)$ - при движении вверх с ускорением .



□ б) $P = m(g - a)$ - при движении вниз с ускорением .

□ в) $P = mg$ - состояние покоя , т.е. тело или покоится или движется прямолинейно и равномерно.

- И вес тела стекает равным нулю, т.е. наступает состояние невесомости. Причина невесомости в том, что сила тяжести сообщает телу и его опоре одинаковые ускорения.



Сила трения.

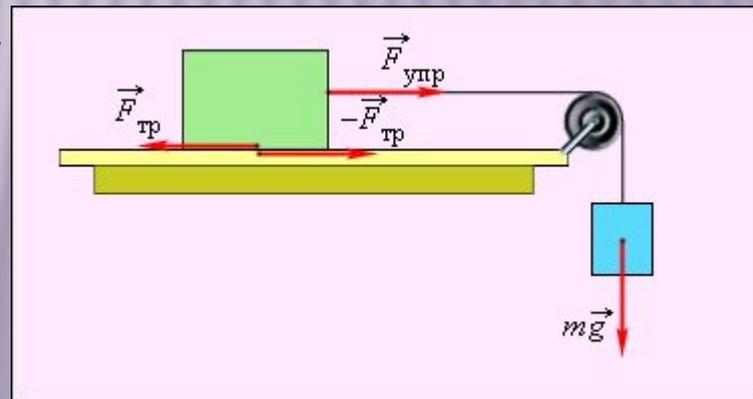
- Всякое тело, движущееся по горизонтальной поверхности другого тела, при отсутствии действия на него со стороны других тел, с течением времени остановится в соответствии с законами динамики, это можно объяснить существованием некоторой силы, которая препятствует движению.

□ Эта сила - сила сопротивления или трения, направленная противоположно относительно перемещению данного тела и приложенная по касательной к соприкасающимся поверхностям.

□ *Силами сухого трения* называют силы, возникающие при соприкосновении двух твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки. Они всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям.

Сухое трение, возникающее при относительном покое тел, называют **трением покоя**. Сила трения покоя всегда равна по величине внешней силе и направлена в противоположную сторону.

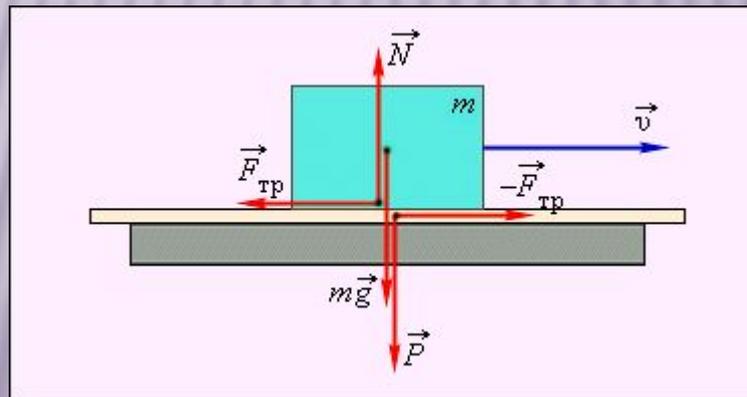
Сила трения покоя ($v = 0$).



Сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления.

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

- μ - коэффициент трения скольжения, зависящий от материалов соприкасающихся тел и от качества обработки поверхностей.
- N - сила реакции опоры.
- При скольжении сила трения направлена по касательной к соприкасающимся поверхностям в сторону, противоположную относительной скорости.

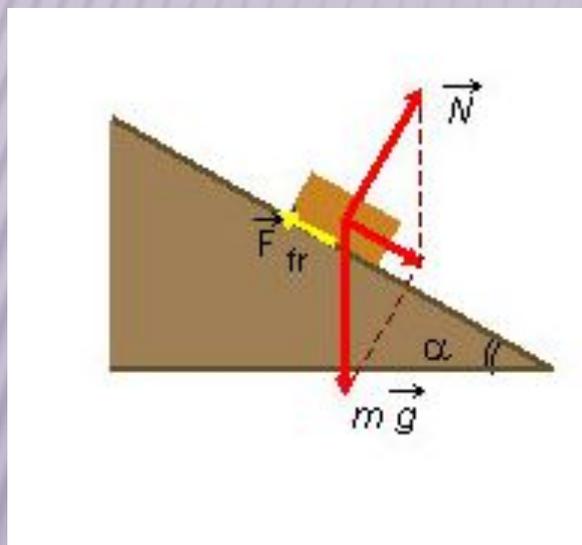


Силы трения при скольжении ($v \neq 0$).

- Найден коэффициент трения: если тело находится на наклонной плоскости с углом наклона α , то оно приходит в движение, только когда тангенциальная составляющая силы тяжести больше силы трения:

$$(mg)_x \geq F_{\text{тр}}$$

- или в предельном случае



$$mg \sin \alpha = \mu N$$
$$mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha$$
$$\mu = \operatorname{tg} \alpha$$

- Коэффициент трения равен тангенсу угла, при котором начинается скольжение тела по наклонной плоскости.

ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ ИЛИ ВЯЗКОСТЬ.

- При движении твердого тела в жидкости или газе возникает сила вязкого трения. Сила вязкого трения значительно меньше силы сухого трения. Она также направлена в сторону, противоположную относительной скорости тела. При вязком трении нет трения покоя.
- Сила вязкого трения сильно зависит от скорости тела. При этом коэффициенты пропорциональности в этих соотношениях зависят от формы тела.
- Для шарика, движущегося с малой скоростью в жидкости сила трения определяется формулой Стокса:

$$F = 6\pi r\eta v$$

- η - коэффициент трения (вязкость)
- r - радиус шарика
- v - скорость.

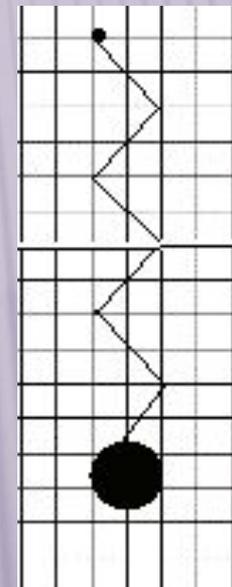
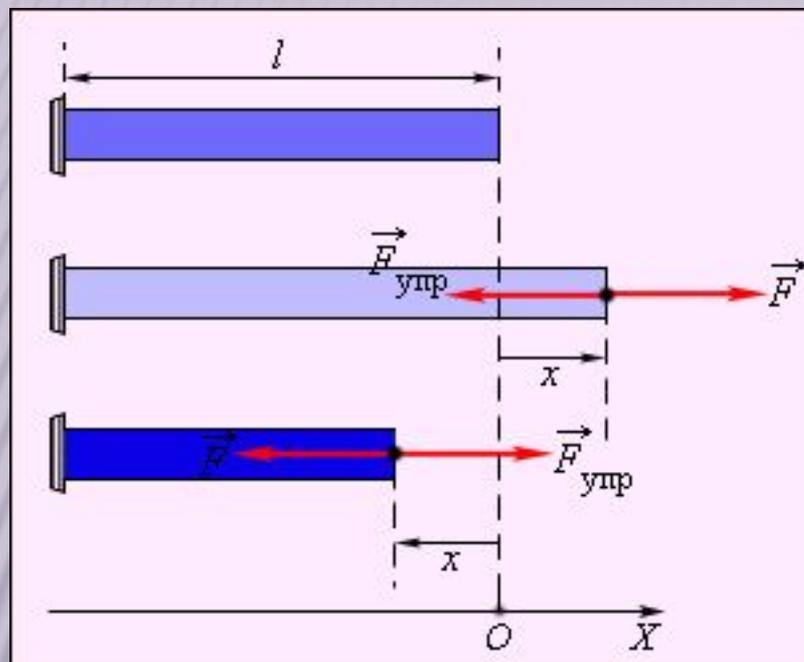
-
- Из-за отсутствия силы трения покоя можно малой силой сдвинуть с места большой корабль в воде.



СИЛА УПРУГОСТИ.

- Все реальные тела под действием приложенных сил деформируются.
- **Деформацией твёрдого тела** называется изменение его размеров и формы.
- **Деформация называется упругой**, если после прекращения действия внешних сил тело принимает первоначальные размеры и форму.
- **Деформации, которые сохраняются в теле после прекращения действия внешних сил, называются пластичными или остаточными.**
- Если деформации малы, то мы можем рассматривать упругие деформации.

□ Простейшим видом деформации являются деформации растяжения и сжатия



Деформация растяжения ($x > 0$) и сжатия ($x < 0$).

$$F_{\text{упр}} = -k\Delta l,$$

- где $x = \Delta l$ - величина деформации.
- Знак "-" показывает, что силы упругости всегда направлены в сторону, противоположную движению частиц тела при деформации.
- $k = \frac{ES}{L}$ - коэффициент упругости.
- E - модуль Юнга.
- S - площадь поперечного движения.
- L - длина стержня.



Конец!!!