

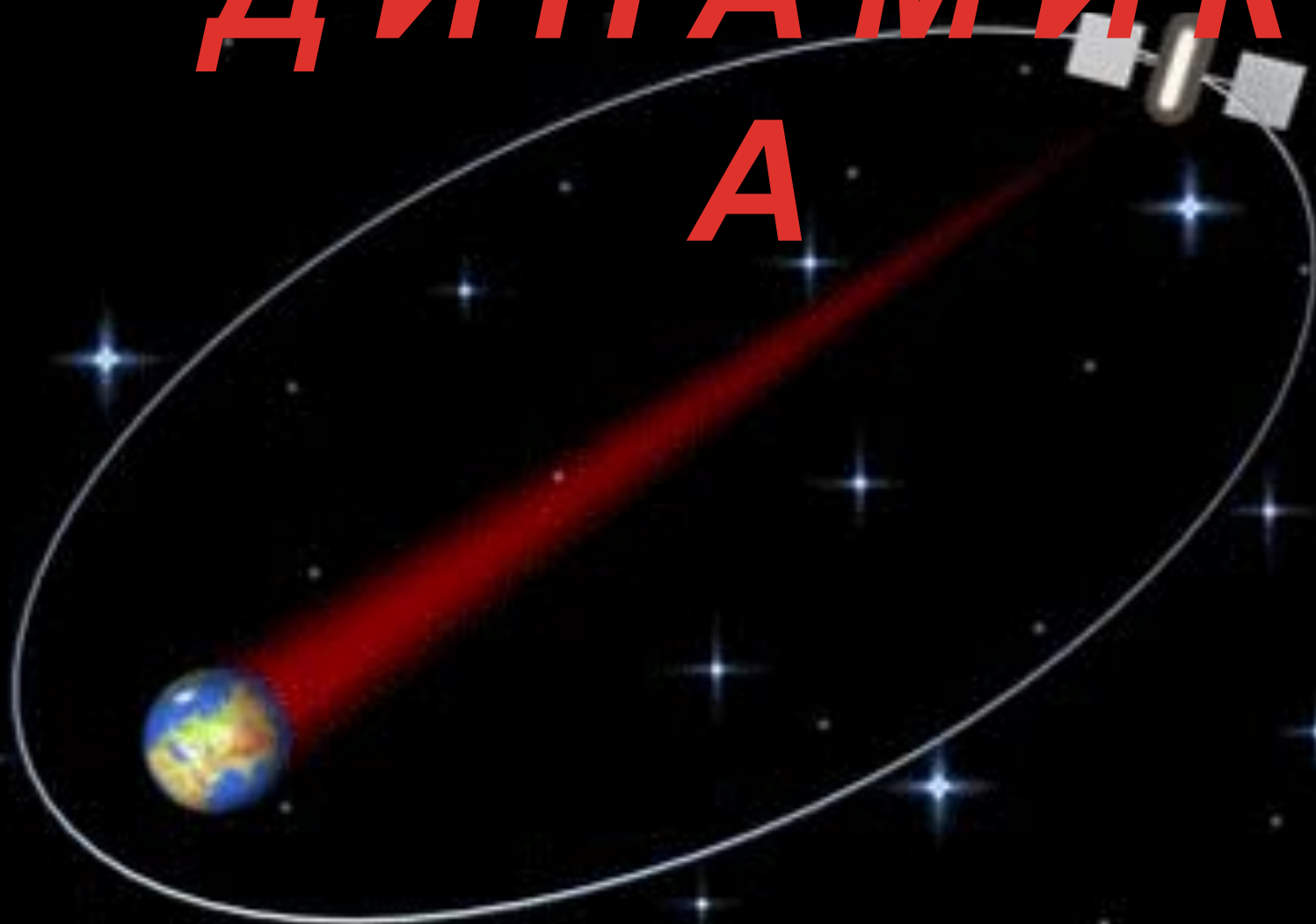


Ф И З И К А

л е к ц и я

2

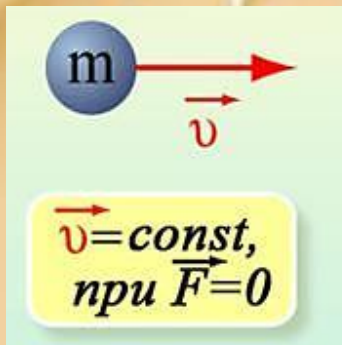
ДИНАМИКА



ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ И АБСОЛЮТНО ТВЕРДОГО ТЕЛА

***Динамика- раздел механики,
изучающий движение тел и
причины, их вызывающие.***

**В основе динамики лежат три закона
Ньютона, полученные
экспериментально**



Первый закон Ньютона

**Материальная точка (тело)
сохраняет состояния покоя
или равномерного
прямолинейного движения до
тех пор пока воздействие со
стороны других тел не
заставит ее (его) изменить
это состояние.**



Первый закон Ньютона показывает, что состояние покоя или равномерного прямолинейного движения для своего поддержания не требует каких-то внешних воздействий.

Инерция

— явление сохранения телом состояния покоя или равномерного прямолинейного движения при отсутствии внешних воздействий или при скомпенсированных внешних воздействиях.

Инерциальная система отсчета

**– система отсчета, в которой
тело,**

**не взаимодействующее с другими
телами, сохраняет состояния покоя**

или равномерного прямолинейного

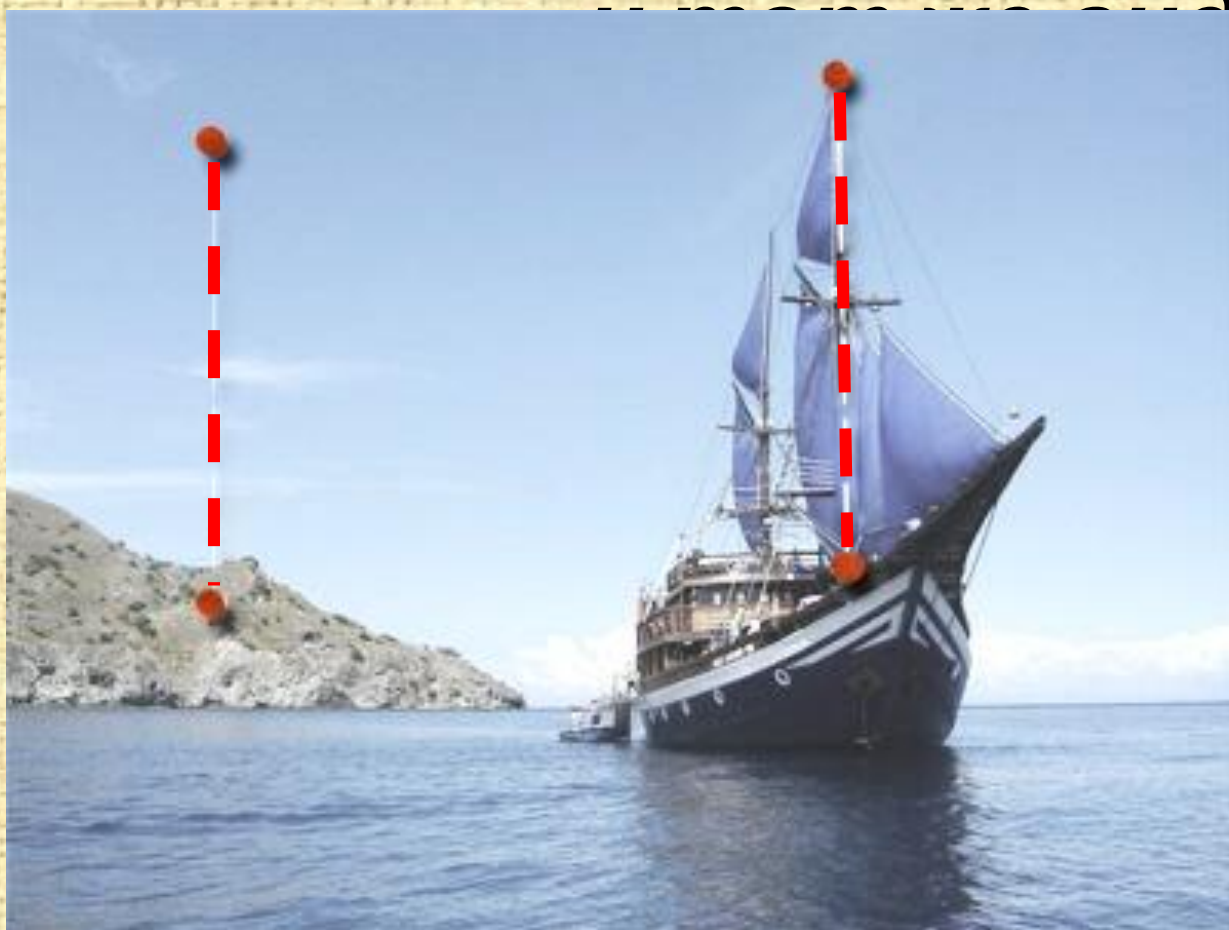
**Всякая система отсчета,
движущаяся относительно**

инерциальной равномерно и

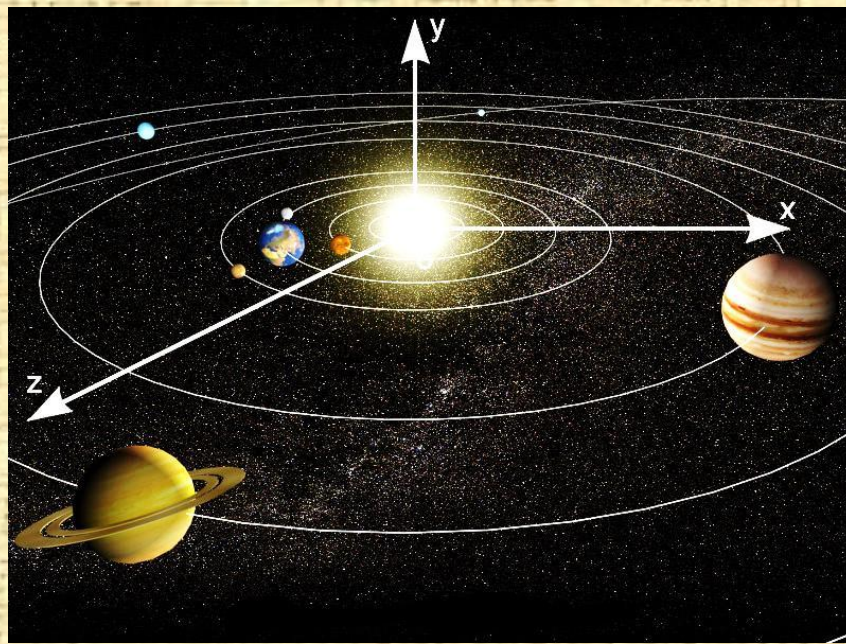
прямолинейно,

также является инерциальной

**Во всех инерциальных системах
законы классической динамики
имеют один**

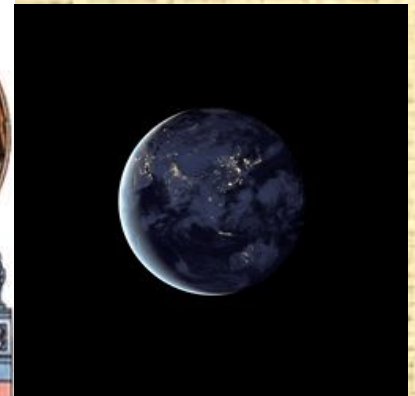
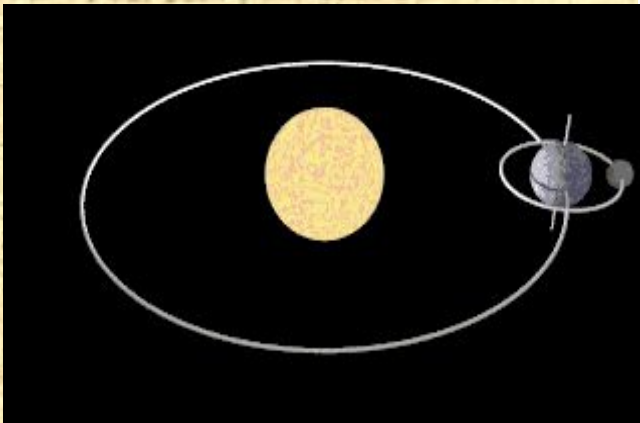


**Брошенное
тело падает
отвесно как в
неподвижной
системе
отсчета, так и
в системе,
движущейся
равномерно и
прямолинейн**



Опытным путём установлено, что инерциальной системой отсчёта можно считать гелиоцентрическую (звёздную) систему отсчёта. Начало координат находится в центре Солнца, а оси проведены в направлении определённых звёзд.

**Система отсчёта, связанная с Землей,
строго говоря, неинерциальная.
Однако эффекты, обусловленные
её неинерциальностью
(Земля вращается вокруг собственной
оси и вокруг Солнца), при решении многих
задач малы, и в этих случаях её можно
считать инерциальной.**



Основные динамические характеристики

1. Сила F

2. Масса m

3 Импульс P

1. Сила

- векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел, в результате которого тело изменяет свое движение или деформируется.

-вводится для характеристики действия тел друг на друга

Сила полностью определена, если заданы ее модуль, направление в пространстве, точка ее приложения

В динамике установлено, что причиной изменения данного характера движения тела является **взаимодействие** этого тела с другими телами.

Сила –количественная мера взаимодействия тел.

Сила является **векторной** величиной.

Векторная сумма всех сил, действующих на тело, называется **равнодействующей силой**.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

В Международной системе единиц (СИ) за единицу силы принимается сила, которая сообщает телу массой **1 кг** ускорение **1 м/с²**. Эта единица называется **ньютоном (Н)**.

$$1 \text{ Н} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

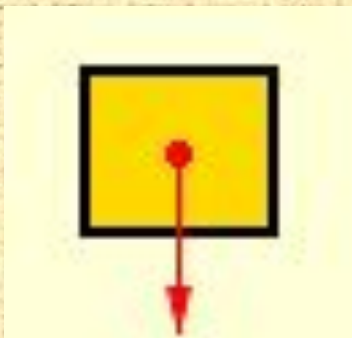
СИЛЫ

В МЕХАНИКЕ

- Принцип освобождаемости связей
- Несвободное тело можно считать свободным, если действие тел заменить их СВЯЗЯМИ.

Сила тяжести

**Сила тяжести – сила,
с которой тело притягивается к**

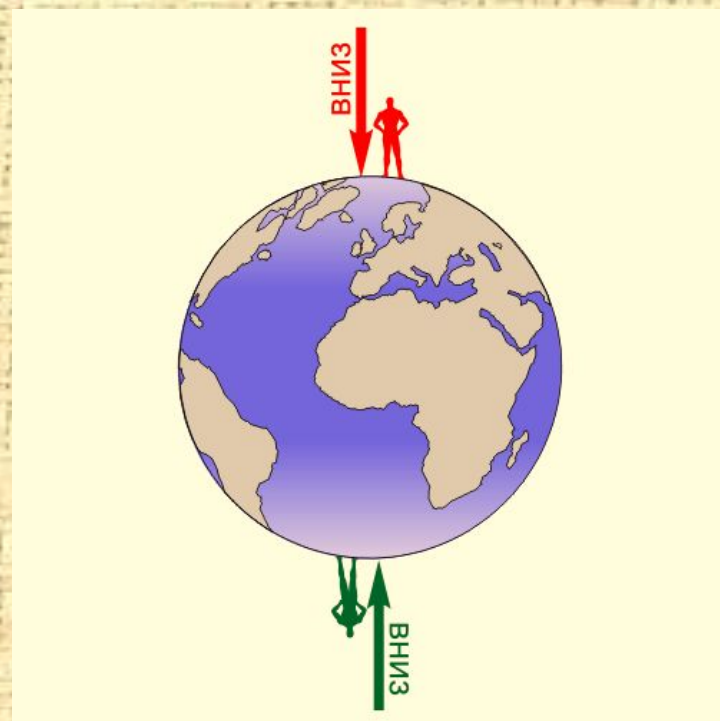


**Направление
– вертикально
вниз.**

**Точка приложения
– центр масс тела.**

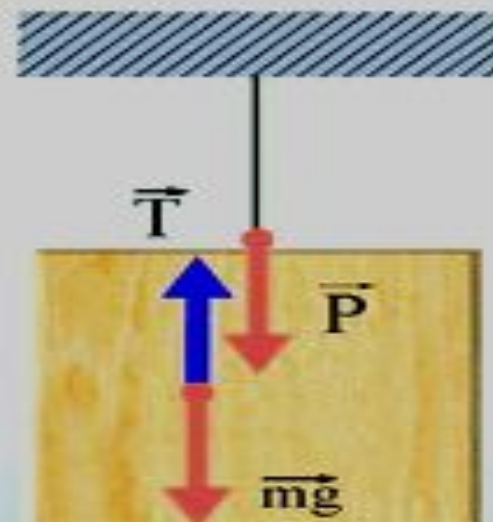
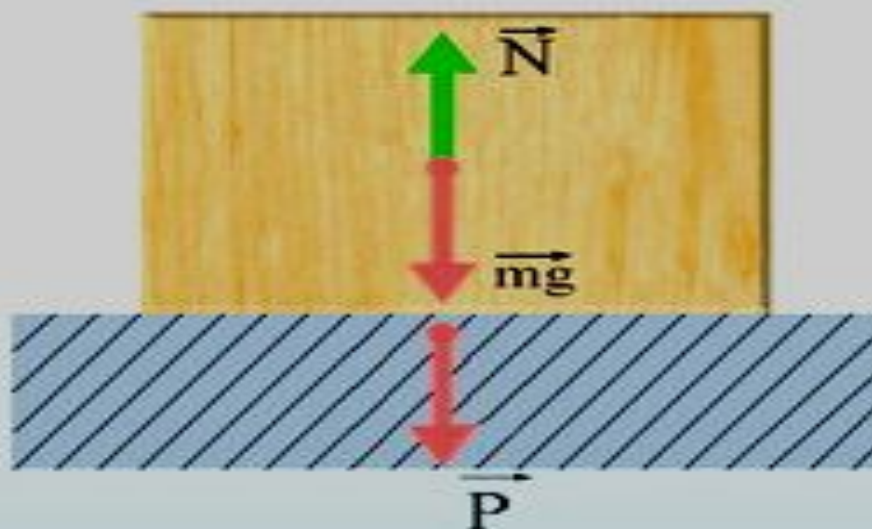
$$F_T = mg$$

$$F_T = mg.$$

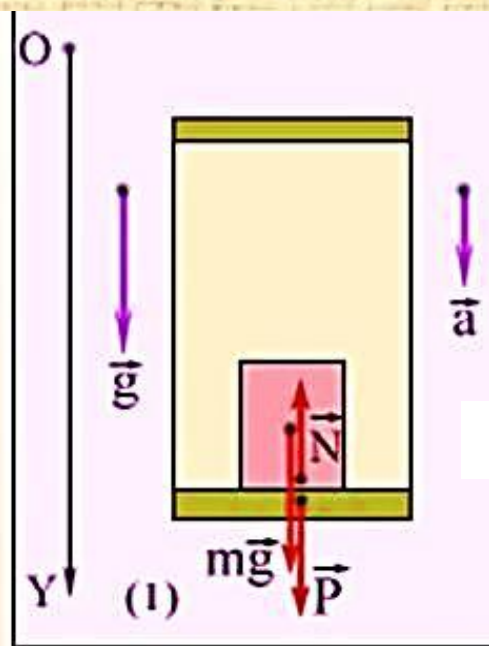


Вес тела

Вес тела – сила, с которой тело давит на горизонтальную опору или



**Если тело движется ускоренно,
то его вес зависит от значения
этого ускорения и от его
направления относительно
направления ускорения свободного
падения.**

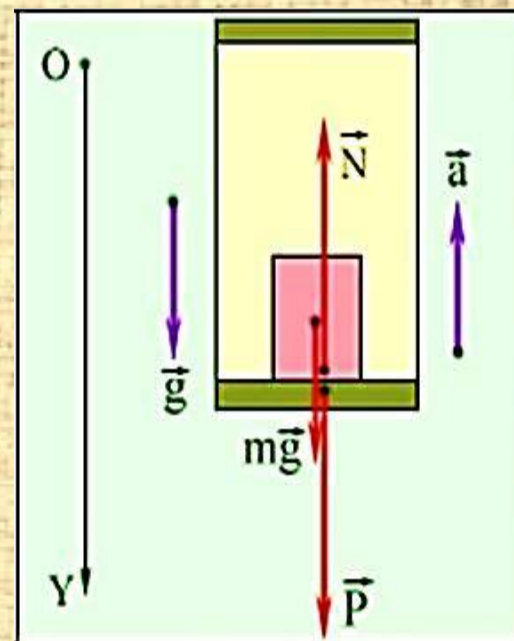


Вес тела, движущегося
с ускорением вверх

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

Вес тела, движущегося
с ускорением вниз

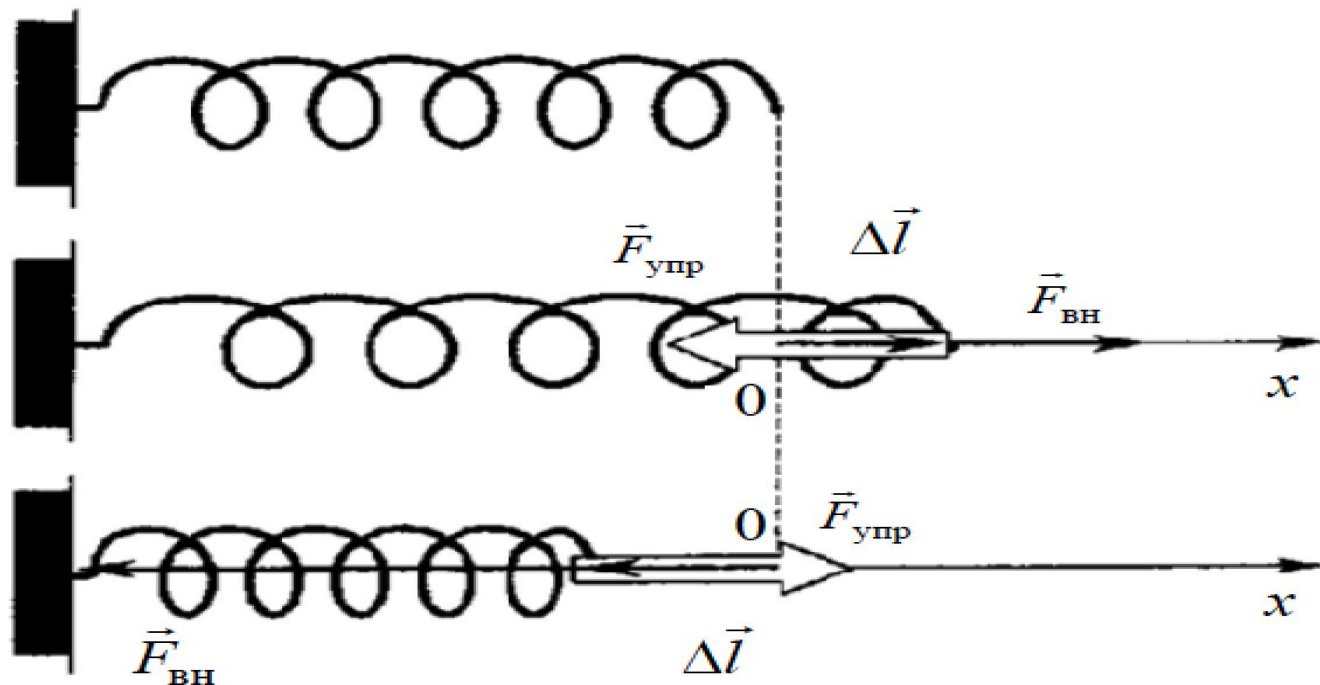
$$P = m(g - a)$$

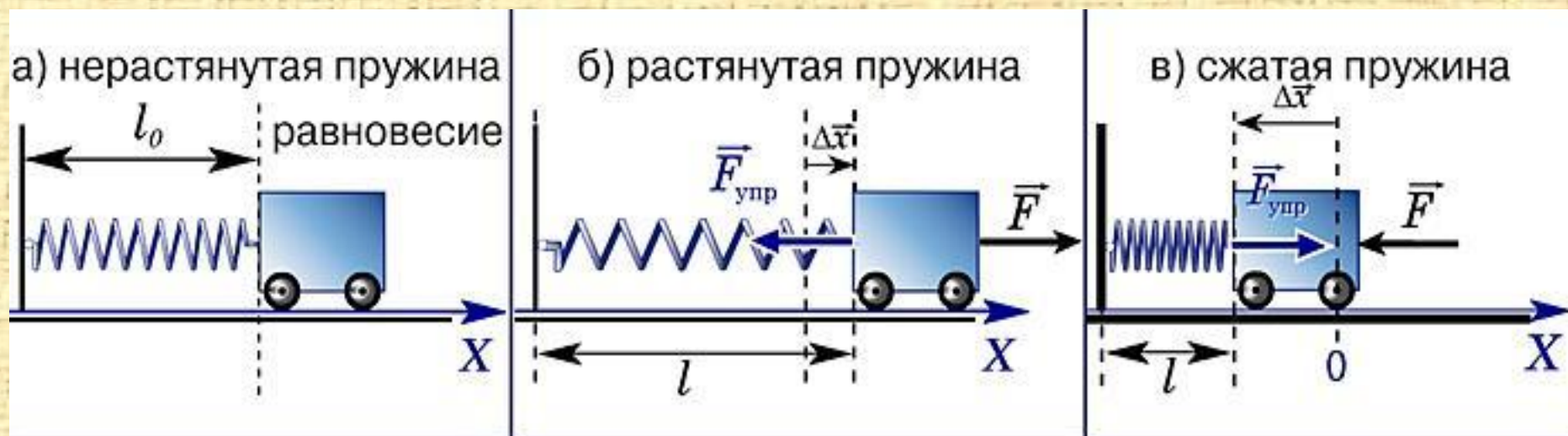


- Невесомость тела – падение со скоростью g

Сила упругости

Сила, возникающая при деформации тела и направленная противоположно направлению смещения частиц при деформации.





Модуль силы упругости $F_{\text{упр}}$, возникающей при деформации тела, пропорционален его удлинению Δl

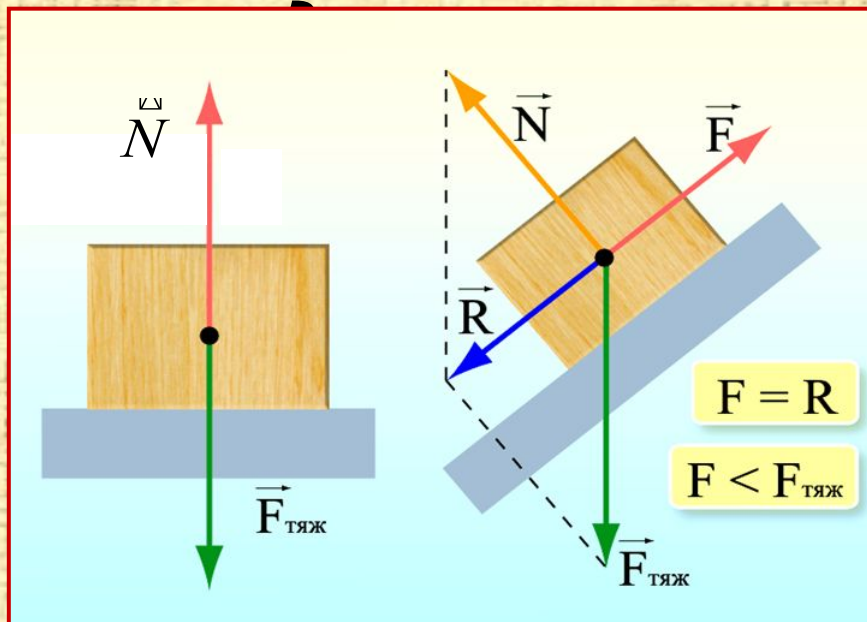
$$\vec{F}_{\text{упр}} = k\Delta l, \Delta l = |l - l_0| = |\Delta x|$$

Сила нормальной реакции опоры

$\vec{N}$ – сила, действующая на тело со стороны опоры.

По своей природе сила реакции опоры это сила упругости, возникающая при деформации поверхности, на которую тело оказывает воздействие. Направлена сила реакции опоры

опоре(проходит через тело)

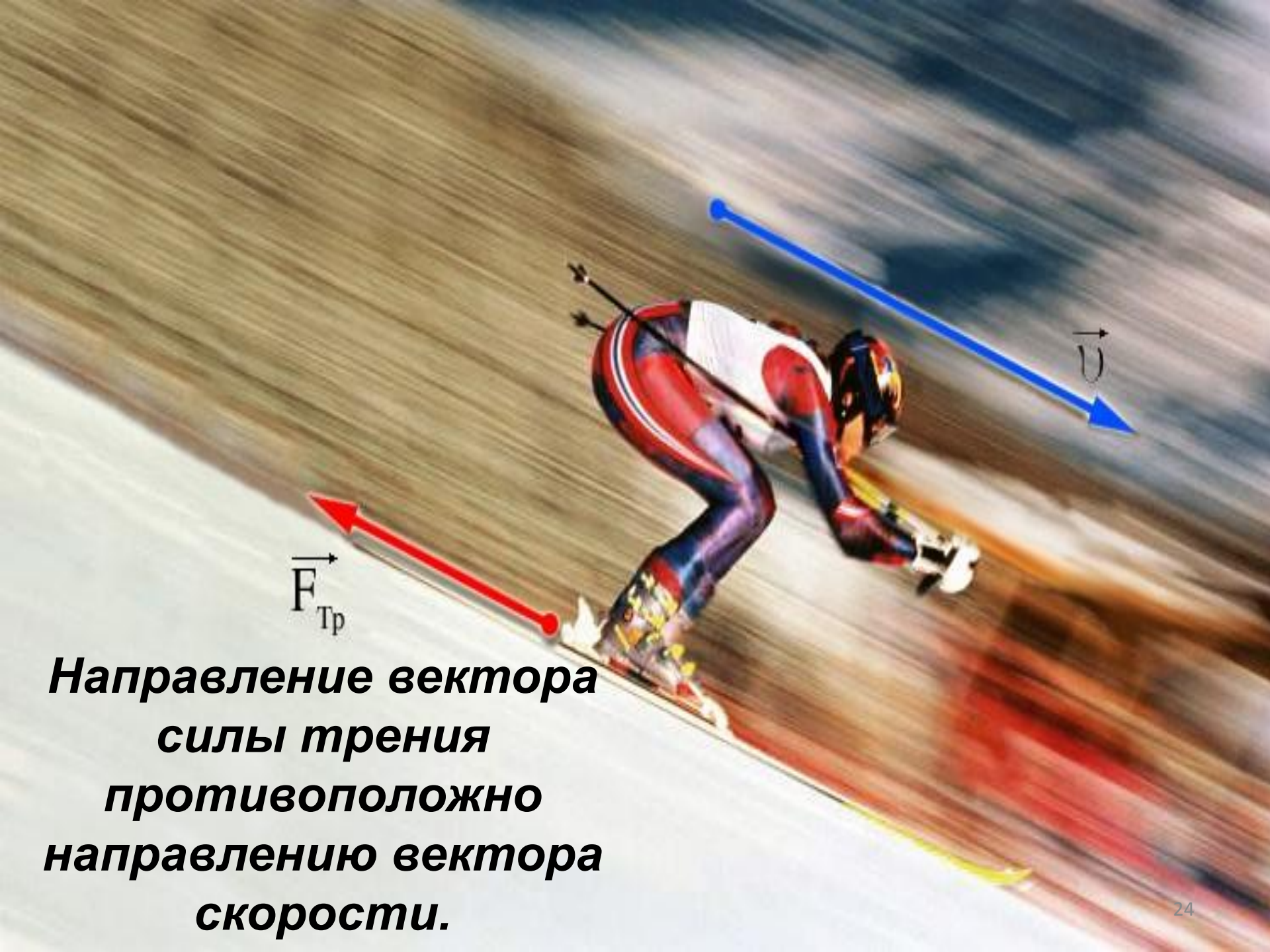


Сила трения скольжения

Сила трения - сила, возникающая в плоскости касания тел при их относительном перемещении.

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N$$

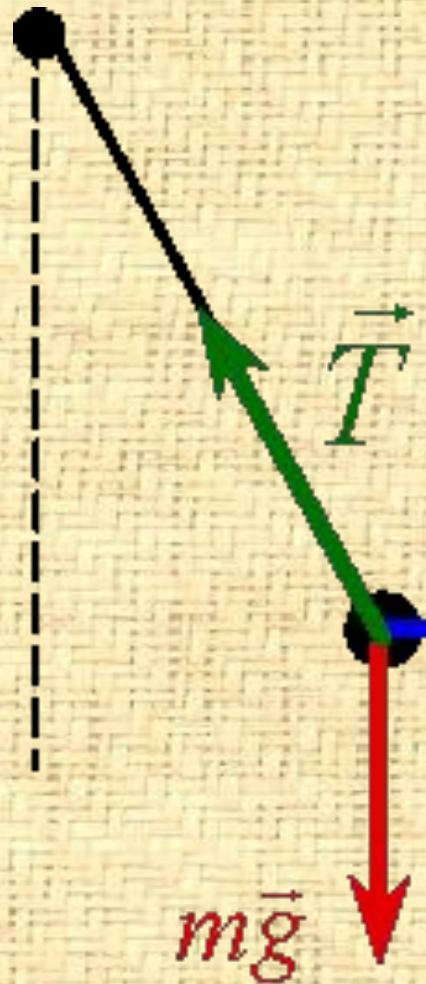
Сила трения зависит от силы давления тел друг на друга, от материалов трущихся поверхностей, от скорости относительного движения *не зависит от площади соприкосновения*



$\vec{F}_{\text{тр}}$

**Направление вектора
силы трения
противоположно
направлению вектора
скорости.**

Сила натяжения



Сила натяжения $\vec{T}$ () –

сила,

**с которой нить
действует на тело.**

**Точка приложения – точка
подвеса.**

**Направление – вдоль нити в
сторону закрепления нити.**

Сила тяготения

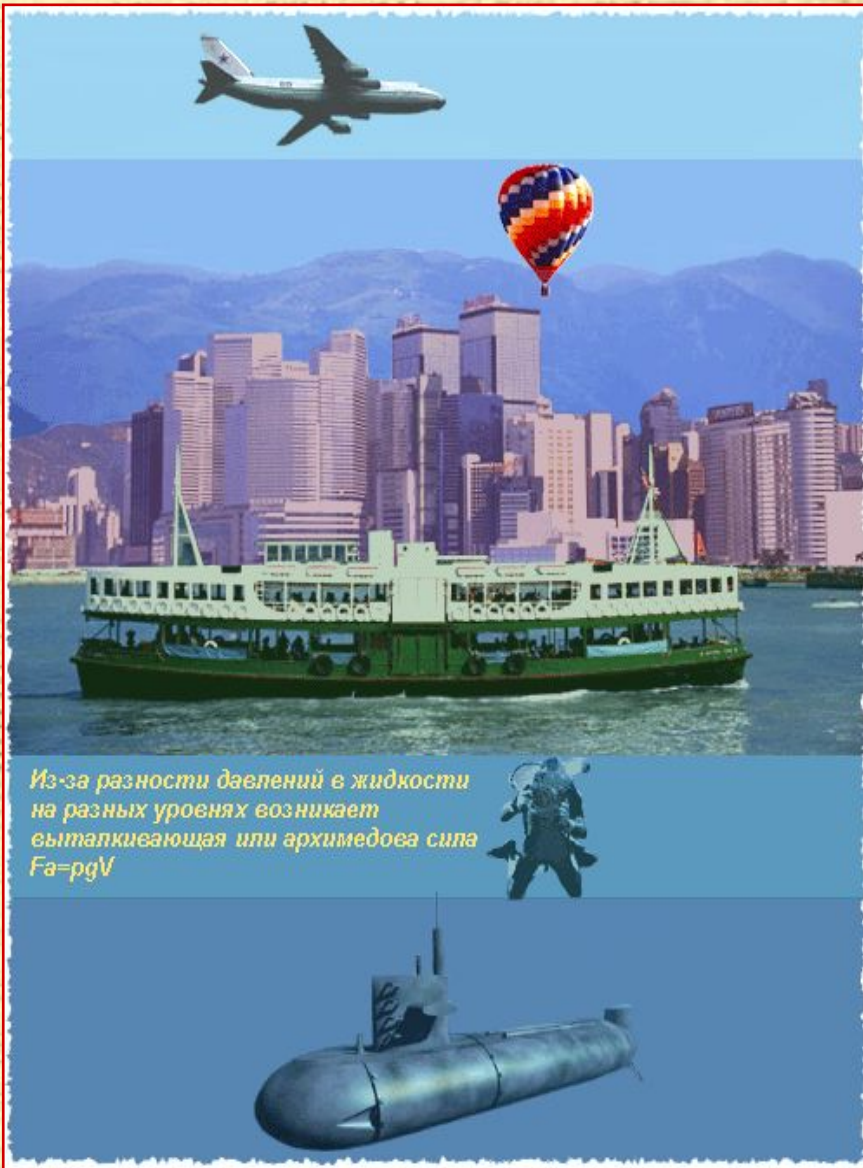
***сила прямо пропорциональная
произведению
масс обоих тел и обратно
пропорциональна квадрату
расстояния между ними***

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

Сила Архимеда

$$F_{\text{Ас}} = \rho_{\text{погр}} g V$$

**Выталкивающая
(архимедова) сила
является
равнодействующей
сил
давления,
действующих со всех
сторон на
погруженное в
жидкость**



- Силы можно квалифицировать по различным признакам:
 - Стационарные
 - Консервативные
 - Внутренние и внешние
 - Диссипативные
 - Центральные

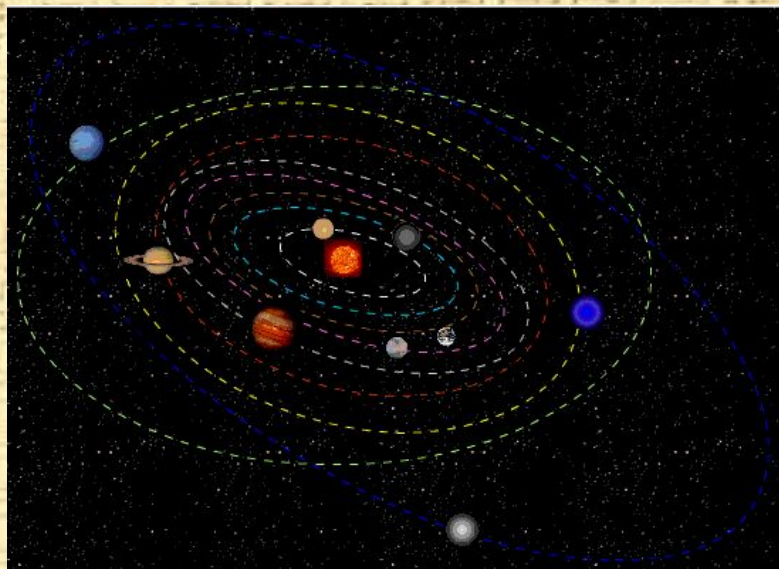
В механике не существенна природа сил. Все силы, встречающиеся в природе, могут быть сведены по виду их взаимодействия к четырем типам сил :

Существует четыре фундаментальных взаимодействия

Взаимодействие	Радиус	Относ. величина	Источники
Гравитационное	∞	10^{-40}	все
Электромагнитное	∞	$\frac{1}{137} (10^{-2})$	лептоны, адроны
Слабое	10^{-18} м	10^{-14}	лептоны, адроны
Сильное	10^{-15} м	1	адроны

1. Гравитационное

**Радиус действия не ограничен.
Оно очень слабое и составляет
примерно 10^{-40} от сильного.**

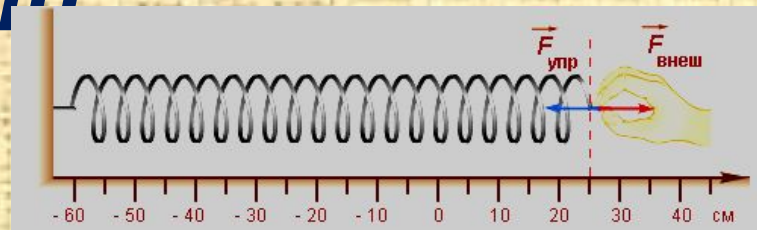
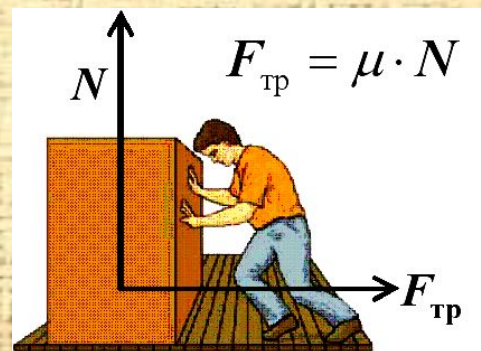


**Квантовая теория гравитационного
взаимодействия не разработана.**

2. Электромагнитное

Радиус действия неограничен,
или, как говорят, радиус действия
стремится к бесконечности: $r \rightarrow \infty$.
Составляет примерно 10^{-2}
от сильного.

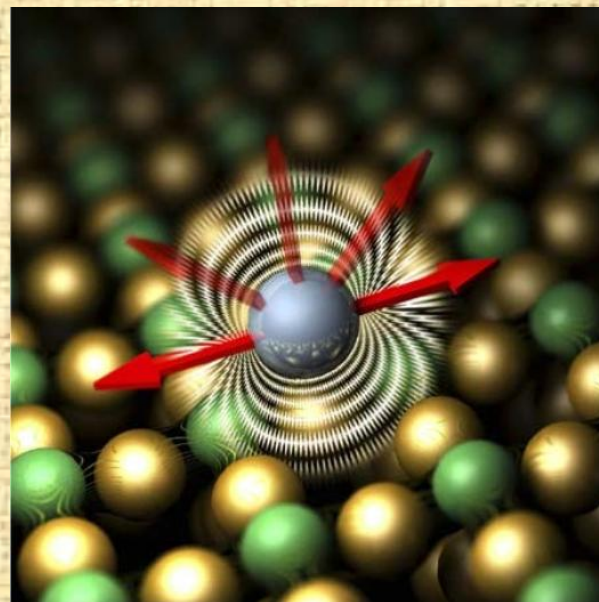
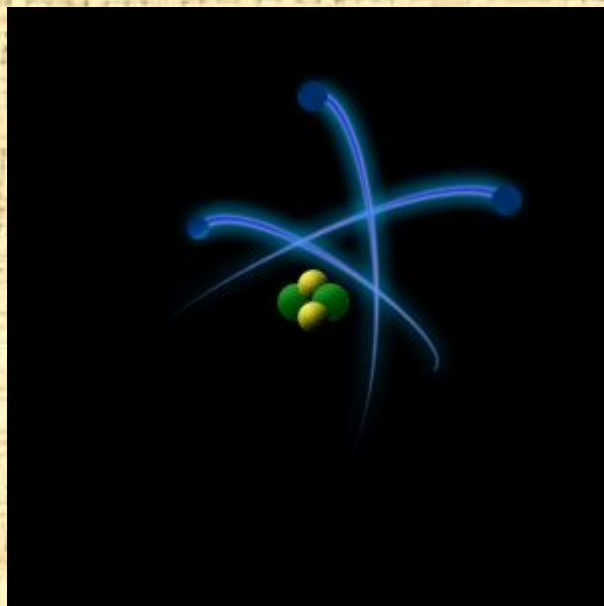
Силы
трения,
упругости



3. Слабое

Слабое взаимодействие присуще всем частицам, кроме фотонов. Наиболее известное его проявление – бета-превращения атомных ядер.

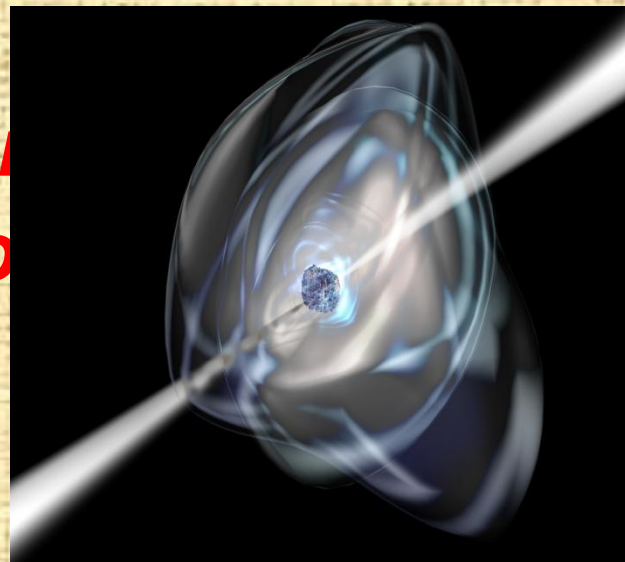
Оно же обеспечивает нестабильность многих элементарных частиц, например, нейтрона.



4. Сильное

Это действительно самое сильное из четырех видов взаимодействия, но радиус его действия очень мал и ограничивается размерами атомного ядра: $r \sim 10^{-15}$ м.

Сильное взаимодействие обеспечивает связь протонов и нейтронов в ядрах атома



Название силы	Формула
Сила всемирного тяготения (сила гравитационного взаимодействия частиц)	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
Сила тяжести	$\vec{F} = m \vec{g}$
Вес тела	$\vec{P} = m (\vec{g} - \vec{a})$
Гидростатическое давление	$p = \rho g h$
Сила Архимеда (выталкивающая сила)	$F = \rho V g$
Сила Кулона (сила электростатического взаимодействия частиц)	$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}; \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
Сила, с которой электрическое поле действует на покоящийся точечный заряд	$\vec{F} = q \vec{E}$
Магнитная составляющая силы Лоренца (сила, с которой магнитное поле действует на движущийся точечный заряд)	$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$
Сила Лоренца	$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
Сила Ампера (сила, с которой магнитное поле действует на элемент тока)	$d\vec{F} = J d\vec{\ell} \times \vec{B}$
Сила Ампера (для прямого проводника с постоянным током, находящегося в однородном магнитном поле)	$F = J \ell B \sin \alpha$
Сила Гука (сила упругости)	$F = -kx$
Сила трения скольжения	$F = \mu N$
Сила трения качения	$F = \frac{\mu'}{r} N = \mu N$
Сила внутреннего трения (сила вязкости)	$F = -\eta \frac{dv}{dx} S$
Уравнение Бернулли (давление в движущейся жидкости)	$p_0 = p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g h$
Сила сопротивления: при малых скоростях (сила Стокса)	$F = \alpha v; \quad F = 6\pi\eta r v$
при больших скоростях	$F = \beta v^2$
Сила поверхностного натяжения	$F = \sigma \ell$

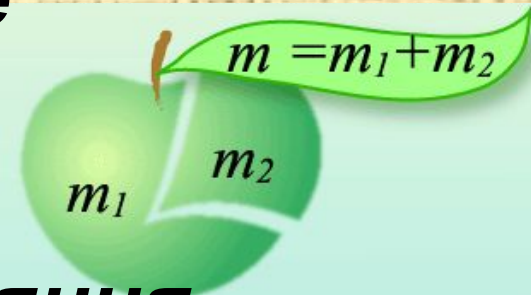
2. Масса

– скалярная физическая величина, одна из основных характеристик материи.

- является количественной мерой инертности тела и характеризует способность тела приобретать определенное ускорение под действием других тел.

Свойства массы

1. В классической механике выполняется закон сохранения массы. Масса замкнутой системы остается неизменной в любых проекциях.
2. Масса - величина аддитивная (масса системы равна сумме материальных точек тел, входящих в систему).
3. Масса не зависит от состояния движения точки и является ее неотъемлемой величиной.



$$m_{\text{системы}} = \sum_{i=1}^N m_i$$

3. Импульс P

- **Импульс $\vec{p}$** – физическая величина, которая определяет величину и направление силы $\vec{F}$, действующей на тело массы m определенного промежутка времени t , в результате чего движущееся тело останавливается, а покоящееся – начинает двигаться.

Импульсом тела (или количеством движения) называется векторная физическая величина, равная произведению массы тела на скорость его движения.

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Единицей измерения импульса в СИ является килограмм-метр в секунду (**кг·м/с**).

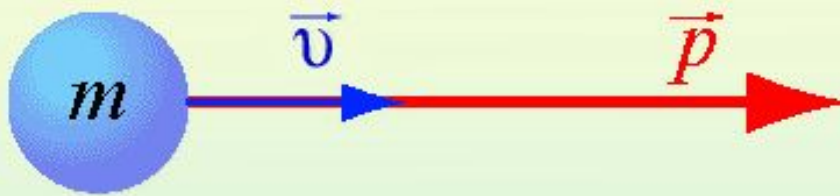
Физическая величина $\vec{F}t$, равная произведению силы на время ее действия, называется **импульсом силы**.

Импульс силы также является векторной величиной.

Импульс тела

**- векторная физическая величина,
равная произведению массы тела
на его скорость и имеющая
направление скорости.**

**Импульс тела
– мера механического движения**



$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Импульс силы

— это векторная физическая величина, равная произведению силы на время её действия.

Импульс силы - мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени.

**Единица импульса силы в
СИ**

$$\vec{F} \cdot dt$$

— ньютон-секунда (Н·с).

$$\vec{F} \cdot \Delta t$$

Второй закон

Ньютона В инерциальной системе отсчета ускорение тела прямо пропорционально векторной сумме всех действующих сил и обратно пропорционально массе

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



Второй закон Ньютона

Второй закон Ньютона – основной закон динамики. Этот закон выполняется только в инерциальных системах отсчета. Это фундаментальный закон природы, он является обобщением опытных фактов:

1) Ускорение $\vec{a}$, которое приобретает тело массы m при действии на него других тел, равно отношению векторной суммы всех сил $\sum_{i=1}^n \vec{F}$, действующих на это тело к его массе:

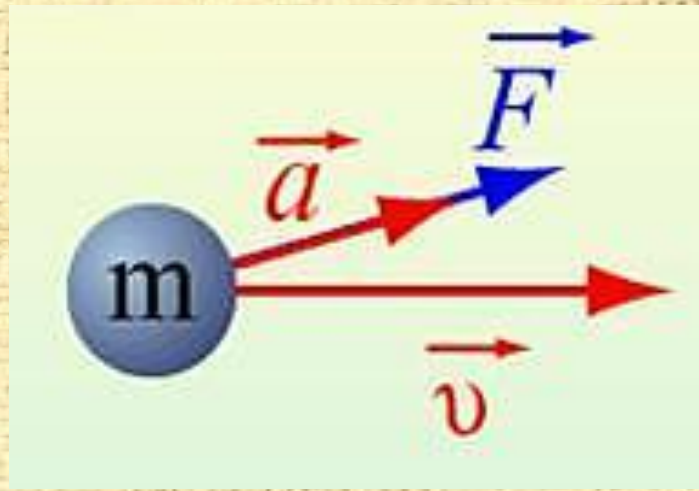
$$\vec{a} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}}{m} .$$

2) Скорость изменения импульса тела равна действующей на это тело результирующей силе:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}$$

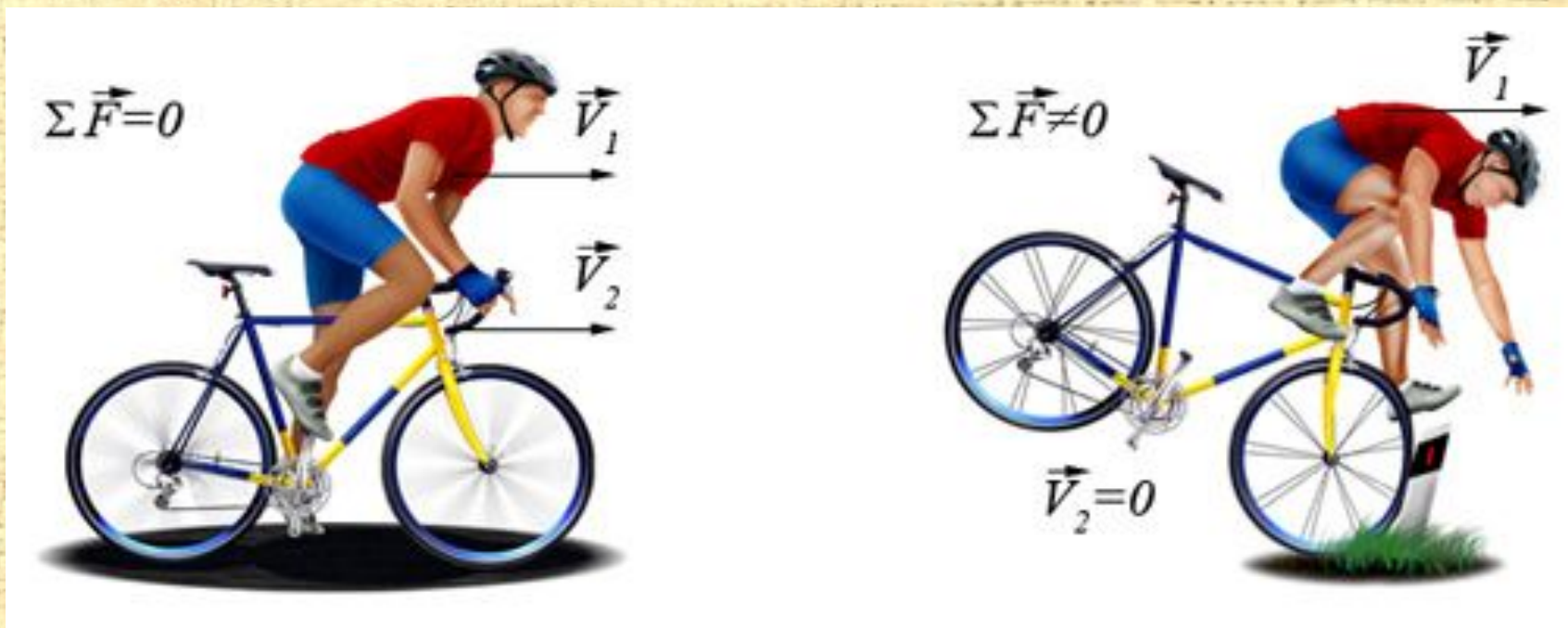
3) Импульс силы равен изменению импульса тела:

$$\vec{F}dt = d\vec{p}$$



Направление ускорения совпадает с направлением силы, независимо от направления скорости тела.

Коэффициент пропорциональности между силой и ускорением, для данного тела является постоянной величиной и характеризует меру инертности тела.



Инертность

– физическое свойство тела оказывать сопротивление изменению его скорости (как по модулю, так и по направлению)

- Второй закон Ньютона является основным законом динамики и динамическим уравнением движения. На его основе можно решить основную задачу механики, т.е. определить механическое состояние тела в любой момент времени, если заданы начальное состояние и действующие силы.

Второй закон Ньютона утверждает, что в инерциальных системах отсчета ускорение движения тела прямо пропорционально действующей на тело силе и обратно пропорционально массе тела: .

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

Согласно второму закону Ньютона, чтобы тело с массой двигалось с ускорением , на него должна

Из выражения $\vec{F} = m\vec{a}$

Получим $\vec{F} = \frac{m d\vec{V}}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt}$

Эти выражения являются более общей формулировкой второго закона Ньютона:

скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе:

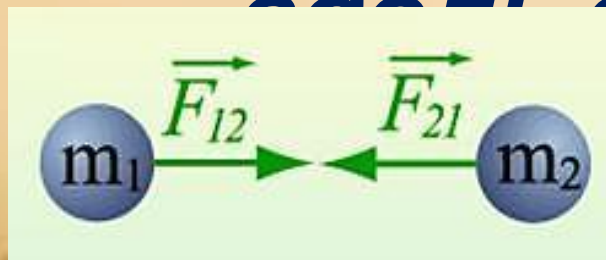
$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

Изменение импульса тела определяется импульсом силы, действующей на него:

$$\vec{F} dt = d\vec{P}$$

Третий закон

Силы с которыми два тела действуют друг на друга, равны по модулю, противоположны по направлению и действуют вдоль одной прямой, соединяющей эти тела



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



- Действие тел (материальных точек) друг на друга носит характер взаимодействия.

Тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению.

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

Силы, возникающие при взаимодействии тел (материальных точек), всегда имеют одинаковую природу и направлены вдоль прямой, соединяющей эти тела. Они приложены к разным телам и поэтому не могут уравнивать друг друга. Складывать по правилам векторного сложения можно только силы, приложенные к одному телу.

Закон утверждает, что силы возникают лишь попарно, причём любая сила, действующая на тело, имеет источник происхождения в виде другого тела. Иначе говоря, **сила всегда есть результат взаимодействия тел**. Существование сил, возникших самостоятельно, без взаимодействующих тел, невозможно.

Вид движения в зависимости от действующей силы

- 1. $F=0$, $a=0$

телo движется равномерно и прямолинейно или покоится

- 2. $F=\text{const}$ – движение равнопеременное

а) $F \parallel V$ - прямолинейное

$$F \parallel V \quad a > 0 \quad F_T = F$$

$$F \parallel V \quad a < 0$$

б) $F \perp V$ $F_n = F$ вращение

- 3) $F \sim \Delta l$ колебание

Принцип детерминизма

- Уравнения движения
- Нач. условия

Эффект бабочки

The background of the slide is a deep space image. It features a large, bright, yellowish-white spiral galaxy in the center, surrounded by numerous smaller, distant galaxies and star clusters. The colors are predominantly blue, purple, and white, representing the vastness of the universe. In the lower right corner, a portion of a planet, likely Earth, is visible, showing its curved horizon and dark surface.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Динамика вращательного движения описывает законы движения и взаимодействия материальных точек и объемных тел при вращении.

Описание движения под действием сил, вызывающих вращение тела требует перехода к иным *кинематическим и динамическим характеристикам*, отличным от характеристик поступательного движения.

В динамике поступательного движения материальной точки были введены в дополнение к кинематическим величинам, понятия *сила, масса, импульс*.

Аналогично, для изучения динамики вращательного движения тела, помимо рассмотренных кинематических характеристик, вводятся новые величины

Основные физические величины динамики вращательного движения

- *момент силы,*
- *момент инерции,*
- *момент импульса.*

- 1. **Момент силы**

***Различают момент силы
относительно***

- неподвижной точки и

- неподвижной оси вращения

Во вращательном движении **причиной** изменения характера движения (т.е. переход от равномерного движения или состояния покоя к движению с ускорением) является **момент силы**.

Моментом силы $\vec{F}$ относительно неподвижной точки O называется физическая величина, определяемая векторным произведением радиус-вектора $\vec{r}$, проведенного из $t. O$ в $t. A$ приложения силы, на силу $\vec{F}$:

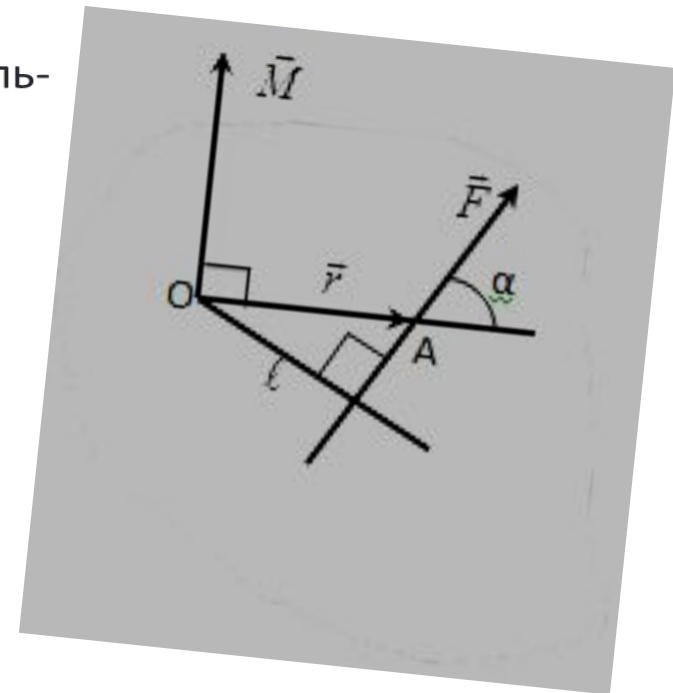
$$\vec{M} = [\vec{r}; \vec{F}]$$

Из этого определения следует, что $\vec{M}$ является аксиальным вектором. Его направление выбрано так, что вращение вокруг точки O в направлении вектора $\vec{F}$ образуют правовинтовую систему.

Модуль вектора $\vec{M}$ равен: $M = Fr \sin \alpha = Fl$,

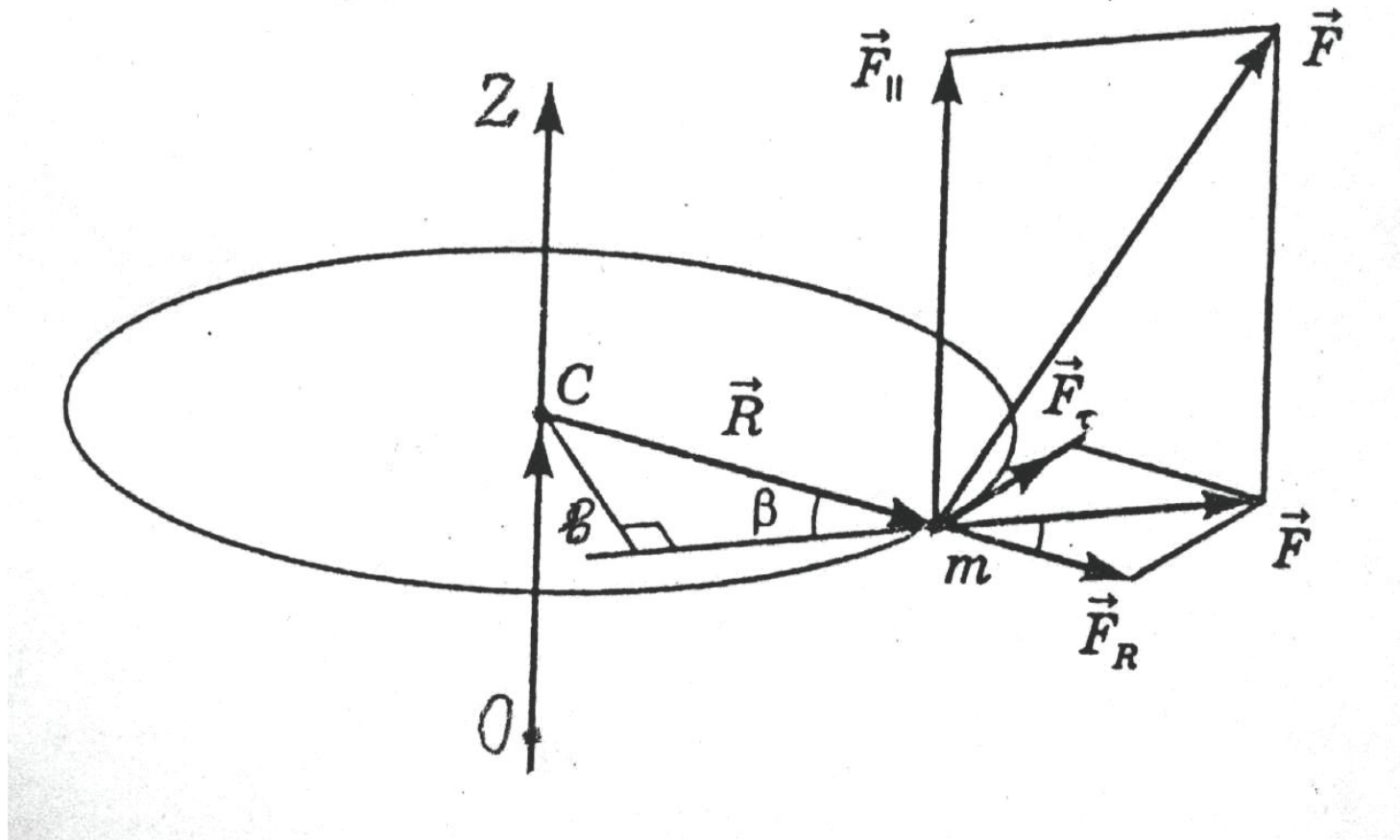
где α – угол между векторами $\vec{r}$ и $\vec{F}$

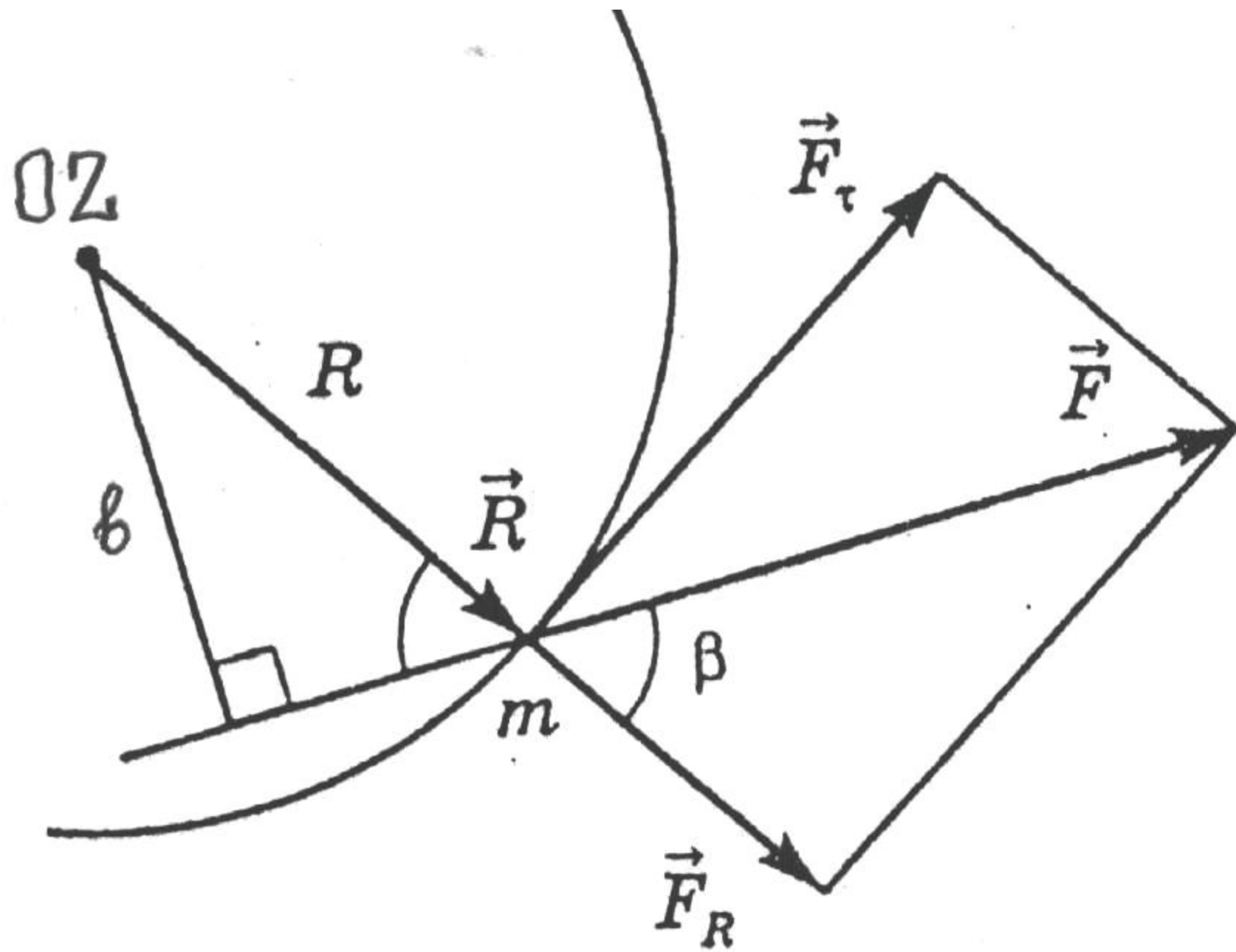
$l = r \sin \alpha$ - плечо вектора $\vec{F}$.



Согласно определению векторного произведения, момент силы характеризуется вектором, направленным перпендикулярно плоскости в которой лежат вектора $\vec{F}$ и $\vec{r}$ и направление которого определяется правилом правого винта.

Момент силы относительно неподвижной оси вращения





Момент силы относительно оси можно выразить через расстояние R от оси вращения до точки приложения силы и через тангенциальную составляющую F_T силы F

$$M_z = Fb, \quad M_z = FR\sin\beta, \quad M_z = F_T R.$$

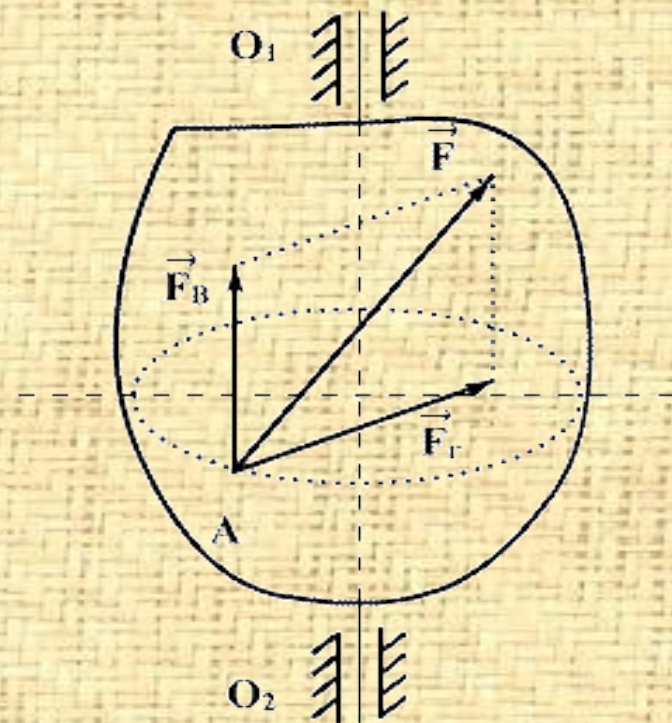
Из выражения $M_z = F_T R$ видно, что момент силы относительно оси учитывает действие только тангенциальной составляющей F_T силы F

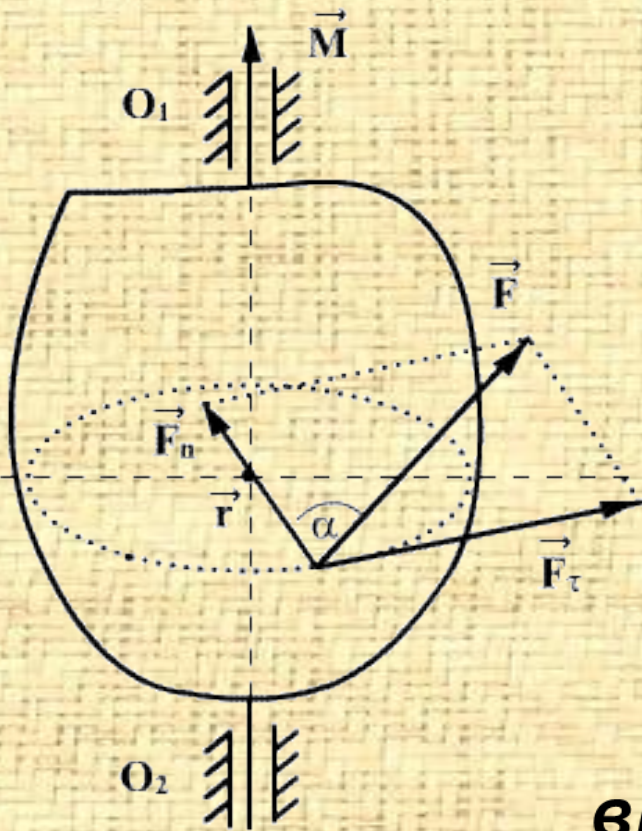
F_T - вращающая сила – сила, под действием которой при вращении тела точка

Вращательное движение твердого тела в инерциальной системе отсчета не возникает, если алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, равна нулю.

Момент силы — величина векторная: сила проявляет свое вращающее действие если линия действия силы не проходит через ось

Сила, совпадающая с осью или параллельная ей, не имеет плеча относительно оси, а следовательно, не имеет и момента.

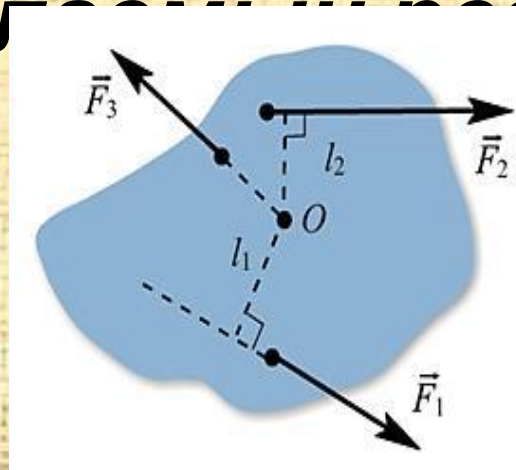




Сила $\vec{F}_n$ пересекает ось вращения и, следовательно, не влияет на вращение тела.

Только под действием составляющей $\vec{F}_\tau$ тело будет совершать вращательное движение вокруг оси O_1O_2 .

**Момент силы характеризует
вращающее действие силы.
Это действие зависит как от
силы, так и от плеча.
Чем больше плечо, тем меньшую
силу
надо приложить, чтобы получить
желанный результат,**



2. Момент инерции тела относительно оси

Способность тела сохранять вращательное движение зависит не только от массы тела, но и от расстояния до оси вращения, а для твердого тела – от распределения массы тела относительно оси вращения.

- Для характеристики распределения массы тела относительно оси и способности тел сохранять вращательное движение (сопротивляться изменению вращательного движения), вводится скалярная величина – момент инерции

Момент инерции вводят для характеристики

1. Распределения массы относительно неподвижной оси вращения
2. Способности тел сопротивляться вращению относительно неподвижной оси.

Момент инерции - мера инертности тела во вращательном движении вокруг неподвижной оси.

Оси инерции

1. свободные
2. главные оси (максимальное и минимальное значение для несимметричного тела)

Устойчивость при вращении твердых тел

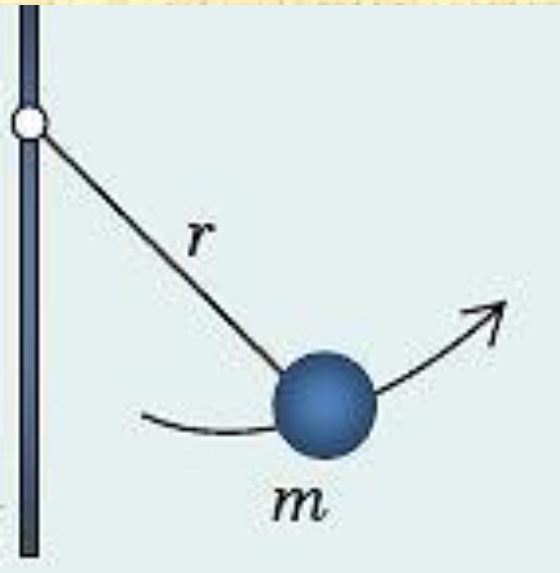
- Нет внешних воздействий – вокруг осей с $\min$ или $\max$ значением момента инерции
- Есть внешние воздействия – вокруг осей с $\max$ значением момента инерции

Момент инерции материальной точки

Произведение массы материальной точки m на квадрат ее расстояния r^2 до оси вращения называется

моментом инерции материальной точки относительно оси вращения:

$$I = mr^2$$

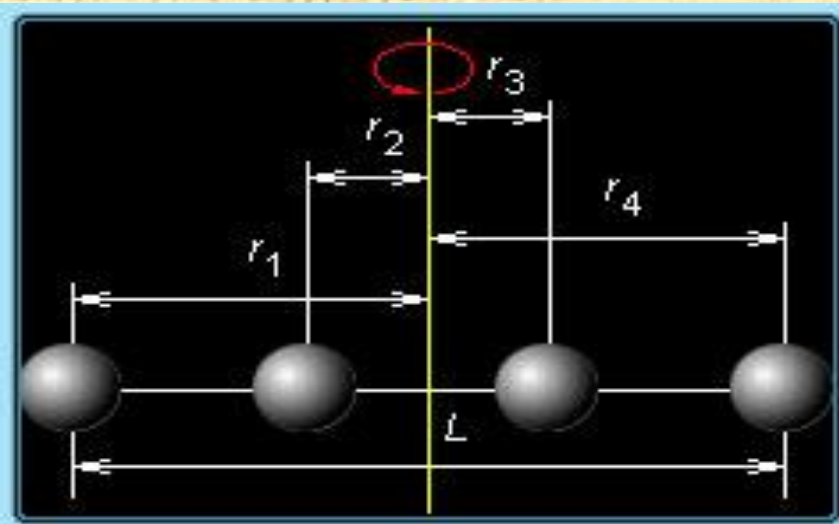


Момент инерции системы материальных точек

**Момент инерции системы
материальных**

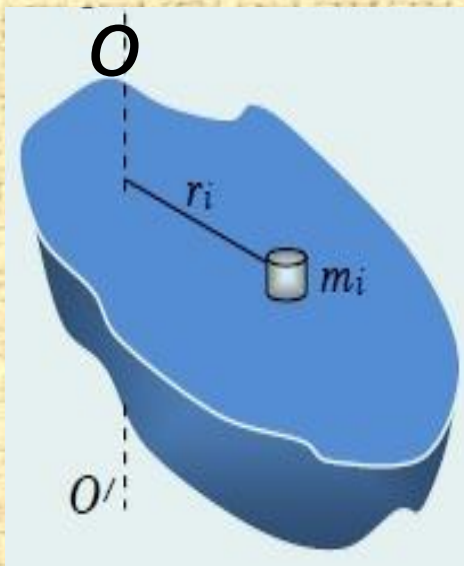
**точек равен сумме моментов инерции
отдельных точек.**

$$I = \sum I_i = \sum m_i r_i^2$$



$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots$$

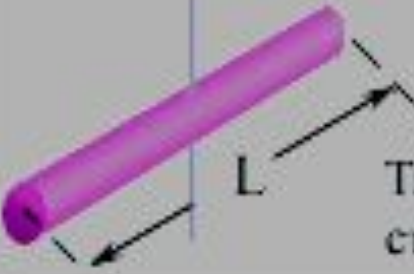
Любое тело можно представить как совокупность составляющих это тело материальных точек и, определив характеристики отдельных точек, применить полученные результаты ко всему телу.



Момент инерции тела с равномерным распределением массы определяют путем интегрирования

$$I = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV$$

Моменты инерции тел правильной геометрической формы с непрерывным распределением массы.

$I_c = \frac{1}{12} ML^2$  Твердый стержень	$I_c = \frac{2}{5} MR^2$  Шар	$I_c = \frac{2}{3} MR^2$  Тонкостенная сферическая оболочка
$I_c = MR^2$  Тонкостенный цилиндр	$I_c = \frac{1}{2} MR^2$  Диск	$I_c = \frac{1}{4} MR^2$  Диск

Теорема Штейнера.

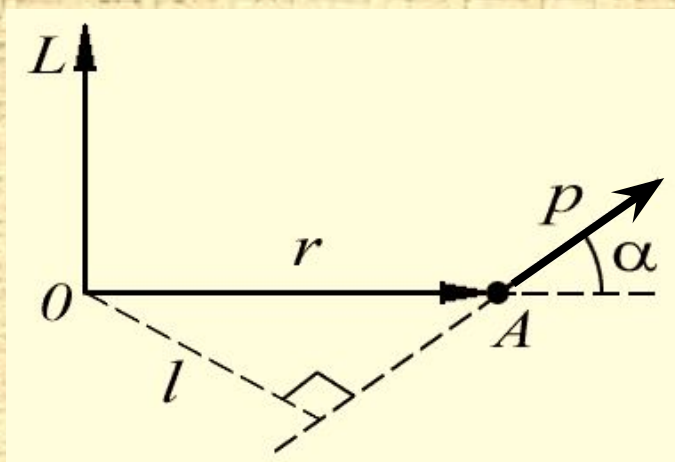
Момент инерции твердого тела произвольной формы относительно той или иной оси можно вычислить по теореме Штейнера:

Момент инерции I относительно произвольной оси z равен моменту инерции относительно оси параллельной данной и проходящей через центр масс C тела, плюс произведение массы m тела на квадрат расстояния d между осями:

$$I = I_c + md^2$$

3. МОМЕНТ ИМПУЛЬСА

- одна из важнейших динамических характеристик тела или системы тел



Моментом импульса $\vec{L}$ относительно неподвижной точки O называется физическая величина, определяемая векторным произведением радиус-вектора $\vec{r}$ на импульс $\vec{p}$:

$$\vec{L} = [\vec{r}; \vec{p}]$$

Из этого определения следует, что $\vec{L}$ является аксиальным вектором. Его направление выбрано так, что вращение вокруг точки O в направлении вектора $\vec{p}$ образуют правовинтовую систему.

Модуль вектора $\vec{L}$ равен:

$$L = pr \sin \alpha = pl.$$

где α – угол между векторами $\vec{r}$ и $\vec{L}$

$l = r \sin \alpha$ - плечо вектора $\vec{L}$.

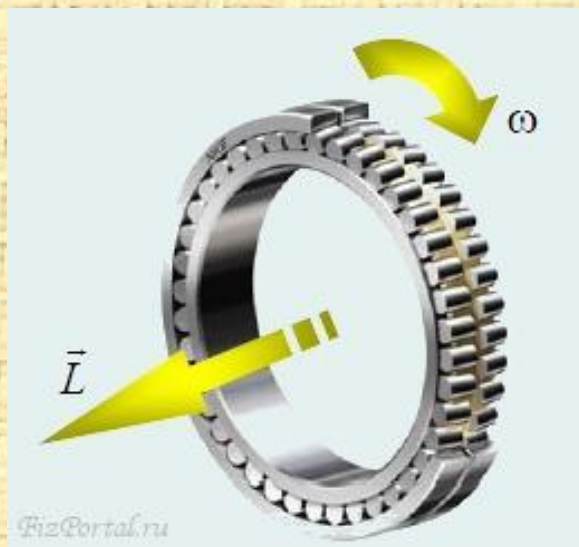
При вращении твердого тела вокруг неподвижной оси каждая отдельная точка тела движется по окружности постоянного радиуса r_i с некоторой скоростью v_i .

Момент импульса отдельной точки относительно оси z равен

$$L_{iz} = m_i v_i r_i.$$



Момент импульса твердого тела относительно оси есть сумма моментов импульса отдельных его точек:



$$L_z = \sum_{i=1}^n m_i v_i r_i.$$

Учитывая связь между линейной и угловой скоростями ($v_i = \omega r_i$), получим следующее выражение для момента импульса тела относительно неподвижной оси:

$$L = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \omega = \omega \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = I \omega$$

Момент импульса твердого тела относительно оси равен произведению момента инерции тела относительно той же оси на угловую скорость.

Основной закон динамики вращательного движения тел

- Основной закон динамики вращательного движения тел утверждает, что результирующий момент внешних сил относительно

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = I \vec{\varepsilon}$$

произведению момента инерции тела на
угловое ускорение

Или

- Скорость изменения момента импульса твердого тела относительно неподвижной оси вращения равна результирующему моменту всех внешних сил, действующих на него, относительно этой оси

Поступательное движение			Вращательное движение		
Кинематические характеристики движения					
Путь	S	м	Угол поворота	ϕ	рад
Время	t	с	Период	T	с
Скорость	V	м/с	Угловая скорость	ω	рад/с
Ускорение	a	м/с ²	Угловое ускорение	ε	рад/с ²
Динамические характеристики движения					
Масса	m	кг	Момент инерции	J	кг·м ²
Сила	F	Н	Момент силы	M	Н·м
Импульс	p	кг·м/с	Момент импульса	$L=J\omega$	кг·м ² /с
Второй закон Ньютона	$F=ma; F=dp/dt$		Уравнение динамики вращательного движения	$M=J\varepsilon; M=dL/dt$	
Работа	$dA=F\cdot dS$	Дж	Работа	$dA=M\cdot d\phi$	Дж
Кинетическая энергия	$E_K=(mV^2)/2$	Дж	Кинетическая энергия	$E_{KBP}=(J\omega^2)/2$	Дж
Мощность	$N=FV$	Вт	Мощность	$N=M\omega$	Вт