Взаимодействие тел. Второй закон Ньютона.

Второй закон Ньютона связывает *силу*, *массу* и *ускорение*. $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

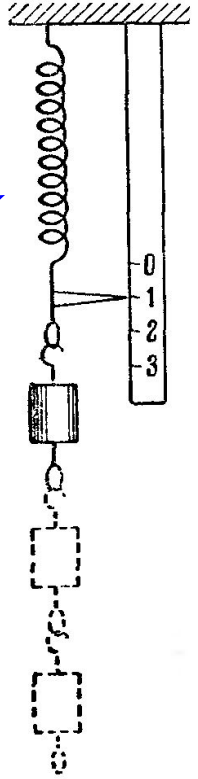
Сила даёт меру воздействия, оказываемого на данное тело со стороны других тел.

Масса отвечает за то как тело «отзывается» на данное воздействие , т.е. за его инертность.

Сила вызывает

изменение скорости тела и его деформацию.

Пример: сила вызывает деформацию пружины и эта деформация пропорциональна приложенной силе.



Прибор для измерения силы – динамометр.

Силу можно измерить и благодаря этому сравнивать силы разной природы, например, гравитационные, электромагнитные и др.

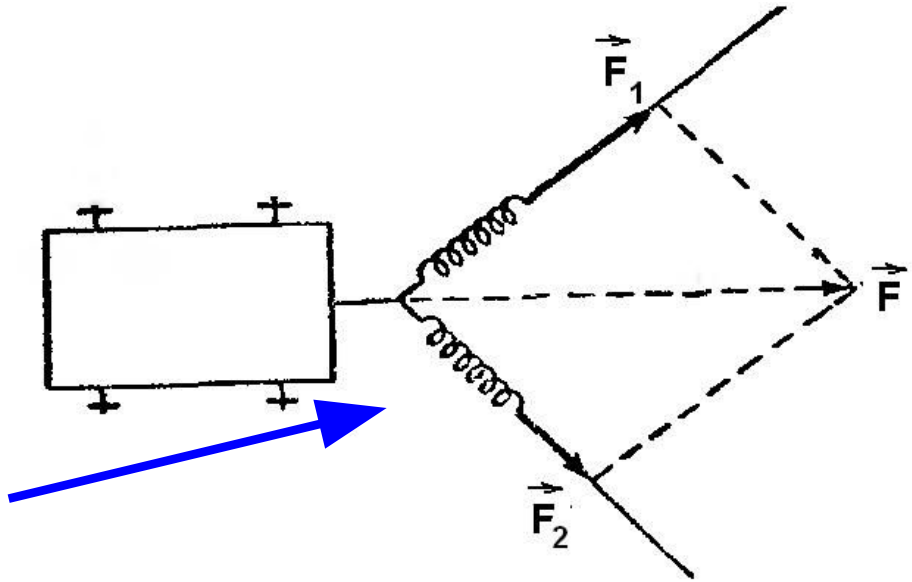
Взаимодействие тел. Второй закон Ньютона.

Сила – величина векторная ($\vec{F}$)

численное значение $|\vec{F}|$, *F*

направление в пространстве

точка приложения.



Силы складываются по правилу параллелограмма.

Силы возникают как при непосредственном контакте, так и через посредство создаваемых телами полей.

С учётом современных представлений об атомном строении тел, силы возникающие «при непосредственном контакте» также имеют полевую природу.

Взаимодействие тел. Второй закон Ньютона.

Силы бывают:

1. **Гравитационные**, действуют на любые массы и порождаются массой, действуя на расстоянии.

2. **Электромагнитные**, действуют на заряды и токи со стороны других зарядов и токов.

3. **Ядерные**, именно они скрепляют ядро, несмотря на сильное электростатическое отталкивание между протонами.

4. **Слабые силы**, имеющие малый радиус действия (ответственны за бета-распад).

Взаимодействие тел. Второй закон Ньютона.

Масса – определяет инерциальные и гравитационные свойства материи.

Современные физические представления ⟹ Масса – это просто количество материи.

Тела состоят из атомов, которые в свою очередь состоят из протонов, нейтронов и электронов.

m ~ (число протонов + число нейтронов + число электронов)

Чем больше в теле материи (протонов и нейтронов), тем труднее изменить его скорость в соответствии со вторым законом Ньютона.

(Инертная масса)

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

Ускорение, с которым движется материальная точка, равно отношению результирующей всех сил, действующих на нее, к ее массе.

Взаимодействие тел. Второй закон Ньютона.

Гравитационная масса

Чем больше в теле материи (протонов и нейтронов), тем оно сильнее притягивает другие тела в соответствии с законом всемирного тяготения .

$$F_g \propto \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

Гравитационная масса = инертной массе: $m_g = m_i$

$$F_g \propto m_g$$

$$a_g = \frac{F_g}{m_i} \propto \frac{m_g}{m_i} = const\,(m)$$

Взаимодействие тел. Второй закон Ньютона.

Другая форма записи второго закона Ньютона

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

$$m\vec{a} = m\frac{\mathrm{d}\vec{\upsilon}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\left(m\vec{\upsilon}\right)}{\mathrm{d}t} = \vec{F}$$

Вводя *импульс материальной точки*

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

приходим ко второму закону Ньютона в форме

$$\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \vec{F}$$

Скорость изменения импульса материальной точки во времени равна результирующей силе, действующей на материальную точку.

Второй закон Ньютона в таком виде справедлив в частности тогда, когда классическая физика уже не корректна – при скоростях сравнимых со скоростью света.

Взаимодействие тел. Второй закон Ньютона.

$$\frac{\mathrm{d}^2\vec{r}}{\mathrm{d}t^2} = \frac{\mathrm{d}\vec{\upsilon}}{\mathrm{d}t} = \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Второй закон ⟹ **описание механических движений** с помощью дифференциальных уравнений ⟹ положение тела и его скорость в любые моменты времени.

Взаимодействие тел. Второй закон Ньютона.

Единицы измерения

Основные механические величины в системе СИ:

время T, сек.

Секунда - интервал времени, равный 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133, находящегося в покое при 0 K.

длина L, м,

Метр — длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени 1/299 792 458 секунды.

масса M, кг,

Килограмм - единица массы, равная массе международного прототипа килограмма.

Все другие механические величины производятся из M, L и T с помощью соответствующих уравнений.

формула размерности

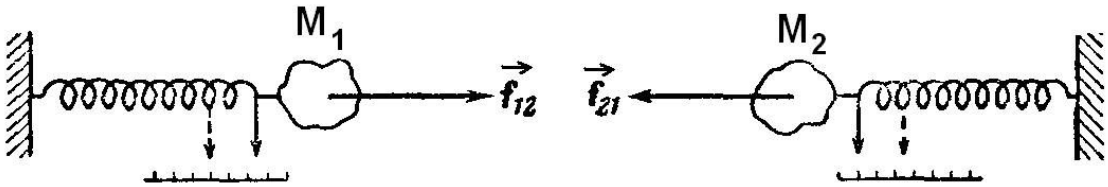
Например, $v=\Delta S/\Delta t \longrightarrow [v]=LT^{-1}$, $a=\Delta v/\Delta t \longrightarrow [a]=LT^{-2}$,

$F=ma \longrightarrow [F]=MLT^{-2}$ ⟹ кг м/сек^2 ⟹ Ньютон

Размерности в левой и правой части уравнения - одинаковые!!

Третий закон Ньютона, закон изменения и сохранения импульса системы материальных точек

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



Силы всегда возникают попарно.

Материальные точки взаимодействуют друг с другом силами, имеющими одинаковую природу, направленными вдоль прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению.

Эти силы *не уравновешивают* друг друга - они приложены к разным телам.

Закон изменения и сохранения импульса для материальной точки

Пусть материальная точка движется под действием некоторой результирующей силы $\vec{F}$.

По второму закону Ньютона: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \Rightarrow d\vec{p} = \vec{F}dt \Rightarrow$

$$\Rightarrow \int_{\vec{p}_1}^{\vec{p}_2} d\vec{p} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt \Rightarrow \boxed{\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \Delta\vec{p} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt}$$

$\vec{p}_1$ — Импульс материальной точки в момент t_1

$\vec{p}_2$ — Импульс материальной точки в момент t_2

импульс силы

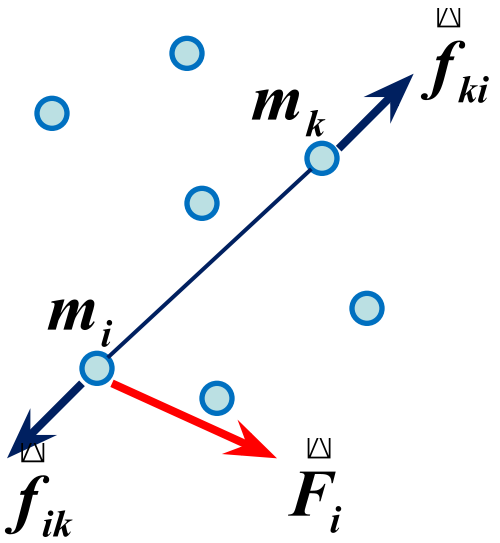
Изменение импульса материальной точки $\Delta\vec{p}$ равно импульсу результирующей силы, действующему на материальную точку за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$.

1-й закон Ньютона

⇒ ***Импульс материальной точки сохраняется, если результирующая сила равна 0.***

Закон изменения и сохранения импульса для системы материальных точек

$$m_1, m_2, \ldots m_i \ldots m_k \ldots m_N$$
$$\vec{p}_1, \vec{p}_2, \ldots \vec{p}_i \ldots \vec{p}_k \ldots \vec{p}_N$$



$\vec{f}_{ik}$ - *внутренняя* сила, действует со стороны м.т. массой m_k на м.т. с массой m_i.

$\vec{F}_i$ - результирующая всех *внешних* сил, действующих на *i*-ю м.т.

Второй з-н Ньютона для *i*-й м.т.:

$$\frac{d\vec{p}_i}{dt} = \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{N} \vec{f}_{ik} + \vec{F}_i$$

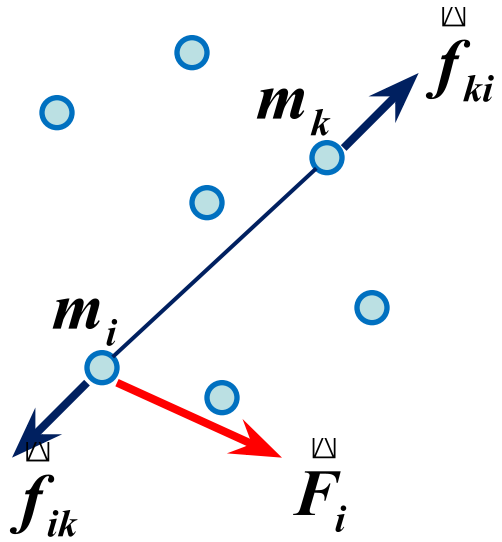
Напишем такие же уравнения для всех м.т. и просуммируем по i от 1 до N:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{d\vec{p}_i}{dt} = \sum_{i=1}^{N} \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{N} \vec{f}_{ik} + \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_i$$

=0

По III закону Ньютона: $\vec{f}_{ik} = -\vec{f}_{ki} \Longrightarrow \sum_{i=1}^{N} \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{N} \vec{f}_{ik} = 0$

Закон изменения и сохранения импульса для системы материальных точек



$$\sum_{i=1}^{N} \frac{d\vec{p}_i}{dt} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_i \quad \Rightarrow \quad \frac{d\sum_{i=1}^{N} \vec{p}_i}{dt} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_i$$

$\sum_{i=1}^{N} \vec{p}_i = \vec{P}$ Импульс системы материальных точек

$\sum_{i=1}^{N} \vec{F}_i = \vec{F}$ Результирующая всех внешних сил

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

Скорость изменения импульса системы м.т. (тел) равна результирующей всех *внешних* сил.

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

$$\int_{\vec{P}_1}^{\vec{P}_2} d\vec{P} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt \Longrightarrow \vec{P}_2 - \vec{P}_1 = \Delta\vec{P} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt$$

$\vec{P}_1$ — Импульс системы материальных точек в момент t_1

$\vec{P}_2$ — Импульс системы материальных точек в момент t_2

Закон изменения импульса:

Изменение импульса системы материальных точек за некоторый промежуток времени равно импульсу результирующей всех внешних сил, действующих на систему за этот промежуток времени.

Третий закон Ньютона, закон изменения и сохранения импульса

$$\vec{P}_2 - \vec{P}_1 = \Delta\vec{P} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,\mathrm{d}t$$

$$\vec{F} = 0 \longrightarrow \Delta\vec{P} = 0$$

Импульс системы материальных точек есть величина постоянная, если векторная сумма всех внешних сил, действующих на систему, равна нулю.

Частный случай: $\vec{P} = const$ **в замкнутой (изолированной) системе**

Пример: **реактивное движение**

Если $\vec{F}_i = 0$,
то такая система
называется замкнутой.

Закон изменения и сохранения импульса

Закон сохранения импульса в замкнутой системе – фундаментальный закон физики.

Закон сохранения импульса в замкнутой системе - справедлив не только в классической, но и в релятивистской и квантовой механике.

Закон сохранения импульса в замкнутой системе можно вывести из однородности пространства, не прибегая к III закону Ньютона.

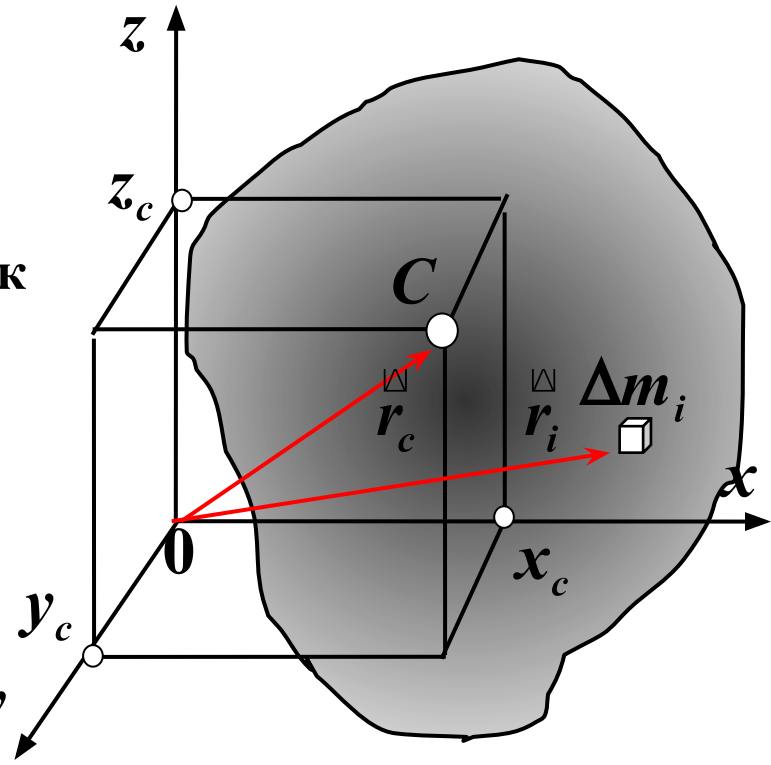
Тогда III закон Ньютона получится как следствие закона сохранения импульса или следствие однородности пространства.

Движение центра инерции (массы) тела (системы тел)

Представим тело (систему тел), как систему N материальных точек с массой Δm_i , где $i = 1 \ldots N$.

Введем радиус-вектор некоторой точки C как

$$\vec{r}_C = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N} \Delta m_i \, \vec{r}_i$$



Δm_i – масса i-й материальной точки;

$\vec{r}_i$ – радиус-вектор i-й м. т.

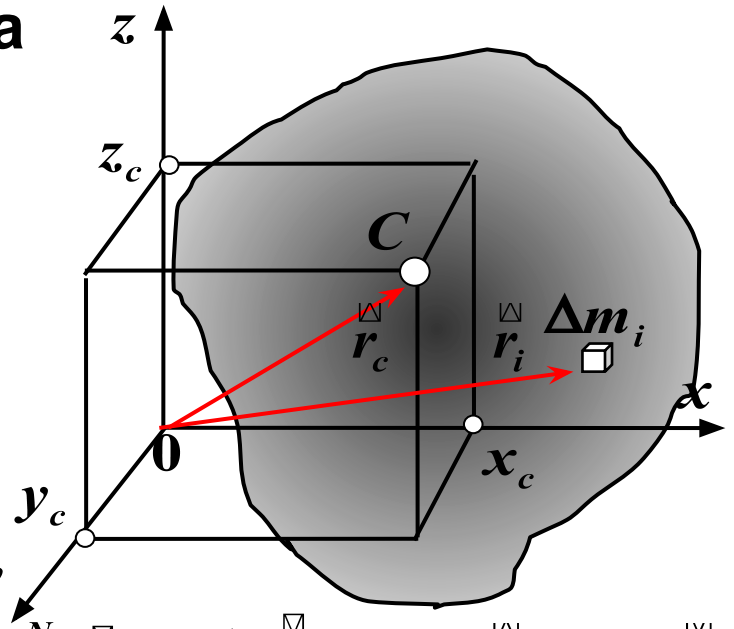
$$m = \sum_{i=1}^{N} \Delta m_i$$ - масса тела (системы тел).

$$x_C = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N} \Delta m_i \, x_i \qquad y_C = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N} \Delta m_i \, y_i \qquad z_C = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N} \Delta m_i \, z_i$$

Точка C называется центром инерции или центром масс тела (системы тел) или центром тяжести (последнее в однородном поле гравитации).

Движение центра инерции тела (системы тел)

$$\vec{r}_C = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N} \Delta m_i \, \vec{r}_i$$



Скорость центра инерции

$$\vec{\upsilon}_c = \frac{d\vec{r}_c}{dt} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N} \Delta m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N} \Delta m_i \vec{\upsilon}_i = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N} \vec{p}_i = \frac{1}{m}\vec{P} \longrightarrow \vec{P} = m\vec{\upsilon}_c$$

Полный импульс системы материальных точек (тела) равен произведению массы системы материальных точек (тела) на скорость центра инерции.

Для изменения полного импульса системы найдено

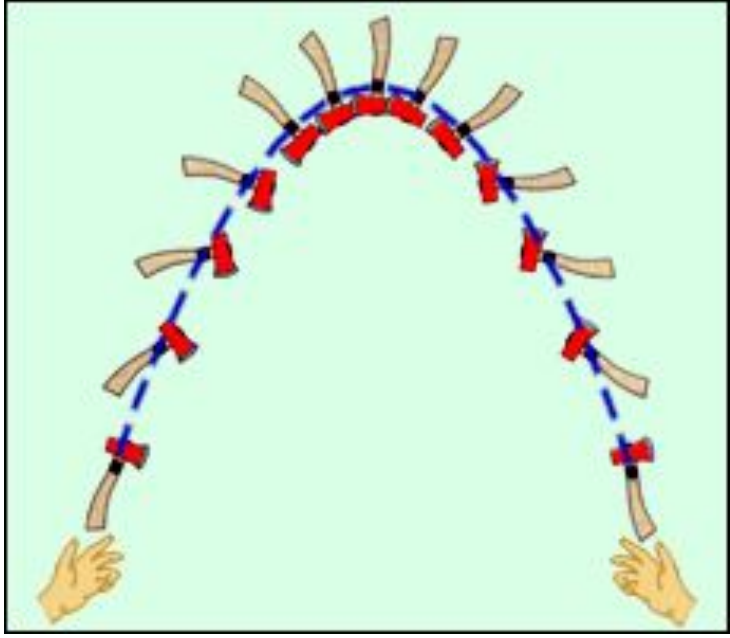
$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F} = \frac{d\left(m\,\vec{\upsilon}_C\right)}{dt} = m\frac{d\vec{\upsilon}_C}{dt} = m\vec{a}_C$$

Центр инерции тела (системы тел) движется так же, как двигалась бы материальная точка с массой m под действием результирующей всех внешних сил, приложенных к телу (системе тел).

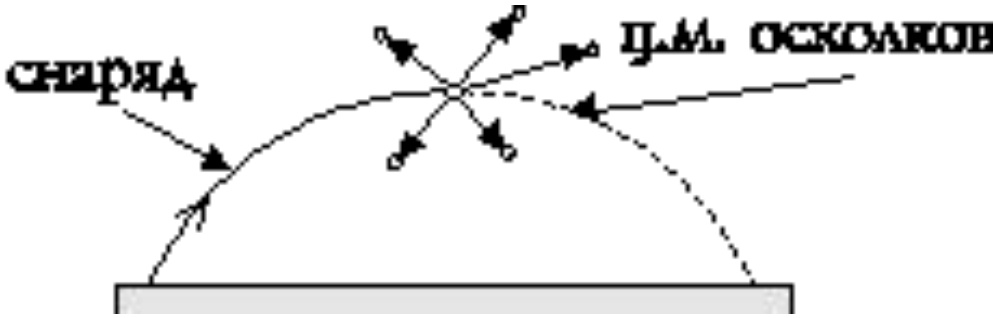
Пример:

Топор совершает сложное движение.

Однако в соответствии с теоремой о движении центра масс, его ц.м. движется так как двигалась бы материальная точка в поле силы тяжести, если она имела начальную скорость направленную под углом к горизонту.



Пример . В некоторой точке траектории снаряд разрывается на множество осколков. Как будет двигаться их центр масс?

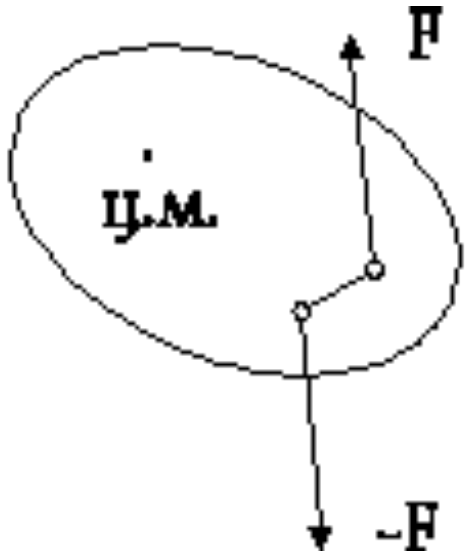


По той же траектории (парабола).

Сколь долго это продолжится?

Пока первый осколок не достигнет земли (добавится внешняя сила реакции земли).

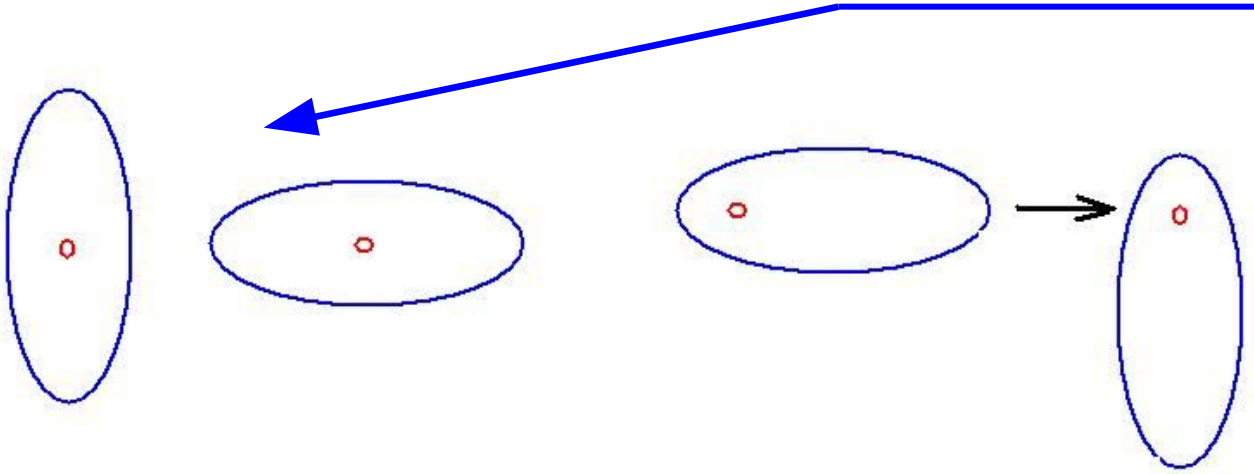
Пример. На покоящееся тело начинает действовать "пара" сил F и F*. Как будет двигаться тело?



Геометрическая сумма внешних сил равна нулю ⇒ ускорение центра масс также равно нулю - он останется в покое.

Будет ли тело двигаться?

Оно будет вращаться вокруг оси проходящей через неподвижный центр масс.

Центр тяжести.

В однородном поле тяготения равнодействующая сил тяжести приложена к центру масс тела (системы тел). ⇔ Если тело подвешено за центр масс, то оно находится в безразличном состоянии равновесия.