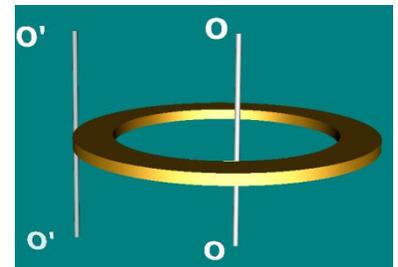


**Кинематика вращательного
движения. Динамика
поступательного движения.**

Вращательное движение.

- В случае равномерного вращения тела формой траектории его материальных точек являются окружности радиусов R_i , где i - порядковый номер выбранной точки тела. При этом модули их скоростей остаются постоянными $V_i = \text{const}$. При вращательном движении абсолютно твёрдого тела все его точки описывают окружности, расположенные в параллельных плоскостях. Центры всех окружностей лежат при этом на одной прямой, перпендикулярной к плоскостям окружностей и называемой *осью вращения*.

Ось вращения может располагаться внутри тела и за его пределами.

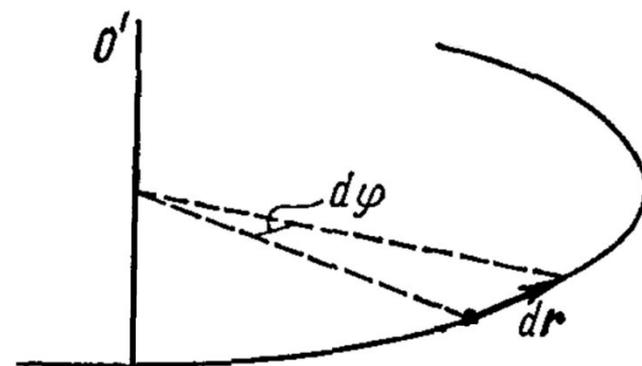


- Пусть твёрдое тело вращается вокруг неподвижной в данной системе отсчёта оси OO' .
- Δt - время бесконечно малого поворота на угол $d\varphi$.
- dr - элементарное перемещение точки A .

Закон вращательного движения тела выражается уравнением $\varphi = f(t)$. Т.е.

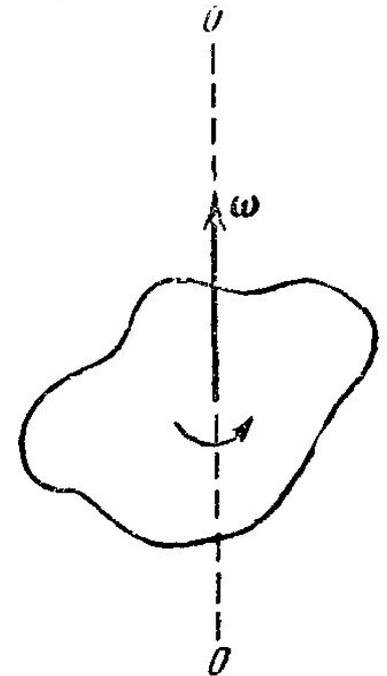
Вращательное движение, имеет одну степень свободы и его положение определяется углом φ между проведёнными через ось вращения неподвижной полуплоскостью и полуплоскостью, жёстко связанной с телом и вращающейся вместе с ним.

Основные кинематические характеристики вращательного движения тела — его **угловая скорость ω** и **угловое ускорение ε** .



Поступательное движение	Вращательное движение
Перемещение – dx [м]	Угол поворота $-\varphi$ [рад]
Линейная скорость – v [м/с]	Угловая скорость – ω [рад/с]
Ускорение – a [м/с ²]	Угловое ускорение – β [рад/с ²]
Масса – m кг	Момент инерции – I кг*м ²

- В поступательном движении направление векторов скорости и ускорения выбирали исходя из их природы. Вектора направление которых связывают с направлением вращения называются **аксиальными**. Вектор ω направлен вдоль оси, вокруг которой вращается тело, в сторону определяемую **правилом правого винта**, и является аксиальными вектором.



- **Угловая скорость** – векторная величина, характеризующая быстроту вращения твердого тела, определяемую как приращение угла поворота тела за промежуток времени.

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$$

- Модуль вектора угловой скорости равен $d\varphi/dt$. Вращение с постоянной угловой скоростью называется равномерным, при этом $\omega = \varphi/t$. Равномерное движение можно охарактеризовать периодом обращения T , под которым понимают время, за которое тело совершает один оборот: $\omega = \varphi/t = 2\pi/T$.

- Вектор угловой скорости ω может изменяться за счёт изменения скорости вращения тела вокруг оси (изменяется по величине) за счёт поворота оси вращения в пространстве (изменяется по направлению). Изменение вектора угловой скорости со временем характеризуется **угловым ускорением**:

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

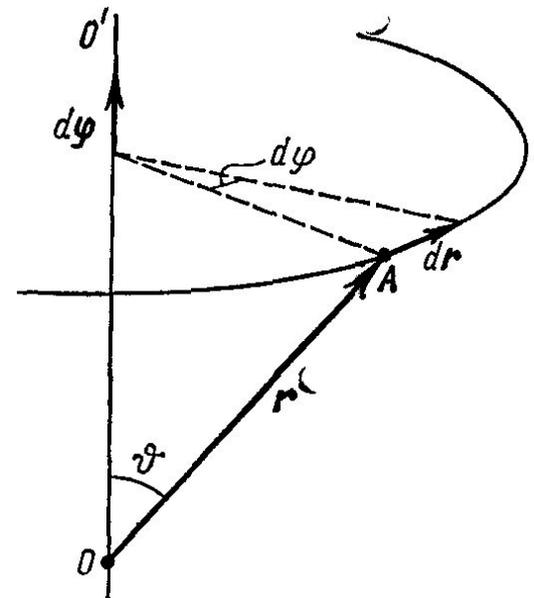
- **Угловое ускорение** - векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости тела. Вектор углового ускорения является аксиальным.
- **Вектор углового ускорения направлен** вдоль оси вращения: в ту же сторону, что и ω при ускоренном вращении и противоположно ω — при замедленном.

Поступательное движение	Вращательное движение
Равномерное	
$s = vt$ $v = \text{const}$ $a = 0$	$\varphi = \omega t$ $\omega = \text{const}$ $\varepsilon = 0$
Равнопеременное	
$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ $v = v_0 + at$ $a = \text{const}$	$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$ $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$ $\varepsilon = \text{const}$
Неравномерное	
$s = f(t)$ $v = \frac{ds}{dt}$ $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$	$\varphi = f(t)$ $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$

Связь линейных и угловых величин

- Найдём скорость v произвольной точки A твёрдого тела, вращающегося вокруг произвольной оси OO' с угловой скоростью ω . Пусть положение точки A относительно точки O оси вращения характеризуется радиус-вектором r . Тогда линейное перемещение радиус-вектора r связано с углом поворота $d\varphi$:

$$dr = [d\varphi, r]$$



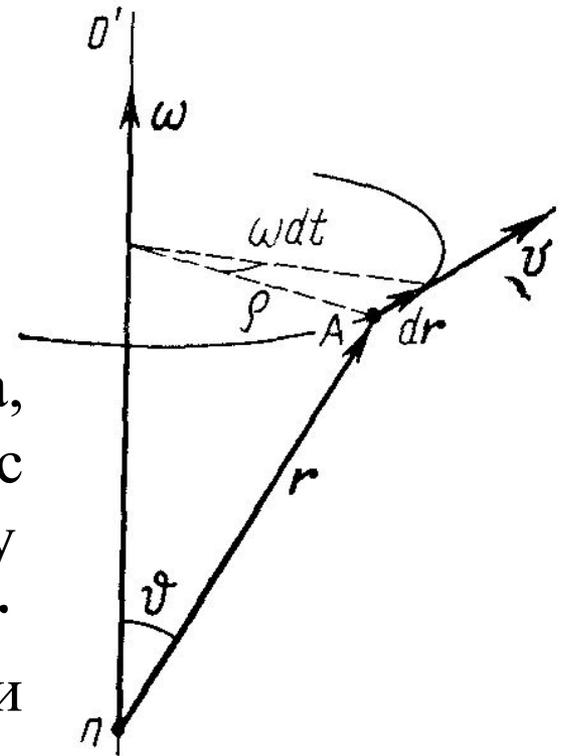
- Поделим на dt , и учитывая:

$$d\mathbf{r}/dt = \mathbf{v} \text{ и } d\varphi/dt = \omega.$$

получим:

$$\boxed{\mathbf{v} = [\omega \mathbf{r}]} \quad (*)$$

- Скорость v любой точки тела, вращающегося вокруг некоторой оси с угловой скоростью ω , равна векторному произведению ω на радиус-вектор \mathbf{r} точки относительно произвольной точки O оси вращения.



- Модуль вектора (ρ - радиус окружности):

$$v = \omega r \sin \vartheta \Rightarrow v = \omega \rho.$$

$$\mathbf{v} = [\omega \mathbf{r}]$$

- Продифференцируем по времени и найдём полное ускорение:

$$\mathbf{a} = [d\omega/dt, \mathbf{r}] + [\omega, d\mathbf{r}/dt] \Rightarrow \mathbf{a} = [\beta \mathbf{r}] + [\omega [\omega \mathbf{r}]]$$

- Т.к. ось вращения неподвижна, то $a_\tau = [\beta \mathbf{r}]$
- Второе слагаемое: $a_n = [\omega [\omega \mathbf{r}]]$
- Модули этих ускорений равны:

$$|a_\tau| = \beta \rho; \quad a_n = \omega^2 \rho.$$

- Тогда модуль полного ускорения:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \rho \sqrt{\beta^2 + \omega^4}$$

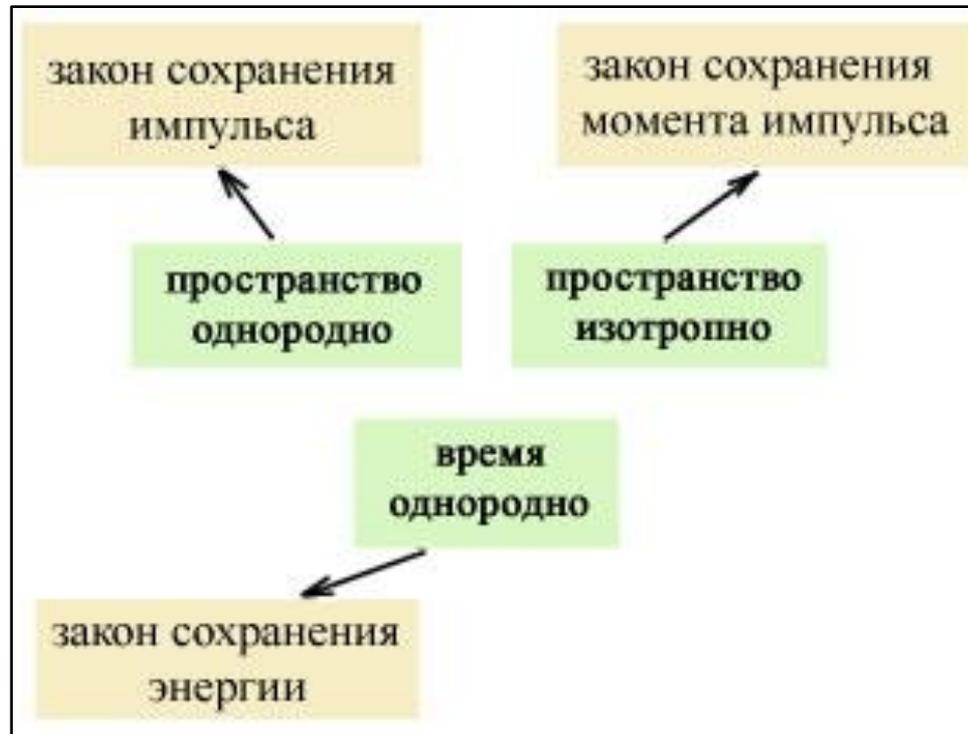
Инерциальные системы отсчёта

- **Динамика**- изучает законы движения тел. В различных системах отсчёта законы механики имеют разный вид. Задача: найти систему отсчёта наиболее удобную для описания механических явлений.
- **Галилей**: воздействие обуславливает не саму скорость, а её изменение, т.е. ускорение.
- Пусть существует такая система отсчёта, в которой **ускорение** материальной точки **обусловлено только взаимодействием** её с другими телами. Т.е. свободная материальная точка, **не подверженная действию никаких других тел**, движется относительно такой системы отсчёта прямолинейно и равномерно, или, **по инерции**. Такие системы отсчёта – **инерциальные системы отсчёта (ИСО)**.

- **Первый закон Ньютона – закон инерции:** скорость любого тела остаётся постоянной, пока во действие на это тело со стороны других тел не вызовет изменения. В инерциальных системах отсчёта выполняется первый закон Ньютона.
- Система отсчёта, в которой первый закон Ньютона не выполняется или движутся с ускорением относительно инерциальных систем называется **неинерциальной** системой отсчёта (НИО).
- **Инерциальных систем существует бесконечное множество.** Всякая система отсчёта, движущаяся относительно ИСО равномерно и прямолинейно, также является ИСО. Все ИСО равноправны и все законы физики инвариантны относительно перехода из одной ИСО в другую. Т.е. записи законов физики в различных ИСО имеют одинаковую форму.

- Предположение о существовании хотя бы одной ИСО в пространстве приводит к выводу о существовании **бесконечного множества** таких систем, движущихся друг относительно друга со всевозможными постоянными скоростями. Если ИСО существует, то **пространство будет однородным и изотропным, а время – однородным. Однородность пространства – свойства пространства одинаковы в различных точках. Изотропность пространства – свойства в каждой точке одинаковы во всех направлениях, т.е. если поворот системы отсчета на произвольный угол не приведет к изменению результатов измерений.**
- **Однородность времени** – протекание физических явлений (в одних и тех же условиях) в разное время их наблюдения одинаково.
- По отношению к ИСО пространство будет неоднородным и неизотропным, время- неизотропным.

- Однородность пространства относительно сдвигов даст закон сохранения импульса, изотропность приведёт к сохранению момента импульса, а однородность времени — к сохранению механической энергии движущегося тела.



ВЫВОД: сам по себе ход времени или перемещение и поворот в пространстве не могут вызвать изменения физического состояния системы, для этого необходимо взаимодействие данной системы с другими системами.

- Пример однородности пространства, измерим период колебаний маятника, полученный результат обозначим как T_1 . Теперь перенесем маятник в соседнюю комнату, и проведем то же измерение. Результат запишем как T_2 . Оказывается, что $T_1 = T_2$, то есть исход эксперимента не зависит от нашего положения, это и есть проявление однородности пространства. Нет такой точки в пространстве, относительно которой существует некоторая «выделенная» симметрия, все точки равноправны, поэтому рассматриваемый эксперимент не зависит от нашего выбора точки отсчета.

- Для количественной характеристики и оценки направления воздействия, оказываемого на данное тело со стороны других тел, вводятся понятие **силы**, т.е. сила-влияние другого тела на рассматриваемого тело, вызывающее ускорение данного тела. Причина ускорения тела – сила.
- СИ: ньютон (Н) - $1 \text{ н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/сек}^2$

Условное деление сил в механике:



- Силы, возникающие при непосредственном контакте тел (сила давления, трения)

- Силы, возникающие через посредство создаваемых взаимодействующими телами полями (силы гравитационные, электромагнитные)

- Из опыта: всякое тело «оказывает сопротивление» при любых попытках изменить его скорость по модулю или направлению. Свойство, выражающее неподатливость тела к изменению его скорости, называют **инертностью**. У различных тел оно проявляется в разной степени. Мерой инертности является **масса**. Тело с большей массой является более инертным.
- Рассмотрим тележку, движущуюся прямолинейно и равномерно-ускоренно:

$$a \sim F$$

- Ускорения, приобретаемые каким-либо телом под действием двух сил подчиняются соотношению:

$$F_1/F_2 = a_1/a_2$$

- Для разных тел величина F/a будет различной в зависимости от инертности тела:

$$m \sim F/a$$

- Тогда, для двух тел обладающих разным ускорением при действии на них равной силы справедливо:

$$m_1/m_2 = a_1/a_2$$

- Соотношение $\mathbf{m}\mathbf{a}$ зависит как от состояния материальной точки, так и от состояния окружающих тел. Произведение массы материальной точки на её ускорение является функцией положения этой точки относительно окружающих тел, а иногда и функцией её скорости. Эту функцию называют силой.
- **Второй закон Ньютона:** произведение массы материальной точки на её ускорение равно действующей на неё силе:

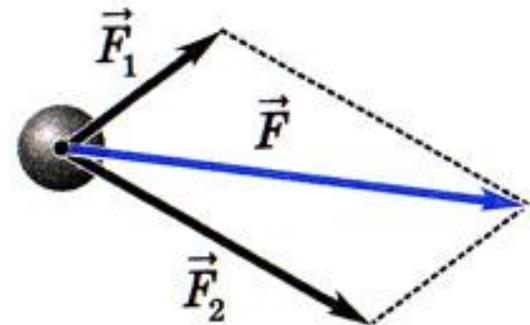
$\mathbf{F}=\mathbf{m}\mathbf{a}$ – уравнение движения материальной точки. Второй закон Ньютона может быть также записан в терминах изменения импульса материальной точки \mathbf{P} :

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

- **Принцип суперпозиции:** результат воздействия на частицу нескольких внешних сил есть векторная сумма воздействия этих сил:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

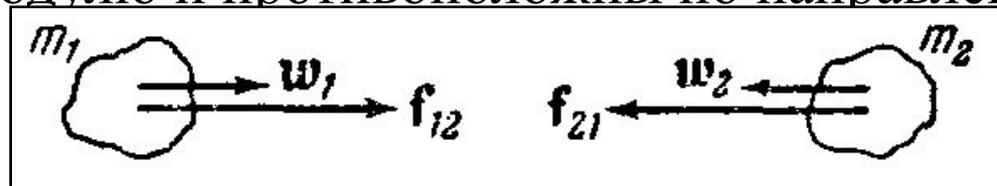
где \mathbf{F} – равнодействующая сил.



- Действие тел друг на друга носит характер взаимодействия: если тело А сообщает ускорение телу В, то в опыте непременно обнаруживается, что тело В сообщает ускорение телу А.
- **Третий закон Ньютона:** силы с которыми две материальные точки действуют друг на друга, всегда равны по модулю и направлены в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющей эти точки, т.е.

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

- Силы взаимодействия всегда проявляются парами и имеют одну природу.
- Пример: два тела массами m_1 и m_2 изолированы от внешнего воздействия, несут разноименные электрические заряды и притягиваются друг к другу. Под действием сил \mathbf{F}_{12} и \mathbf{F}_{21} тела приобретают ускорения \mathbf{a}_{12} и \mathbf{a}_{21} соответственно. Силы будут равны по модулю и противоположны по направлению.



Силы в классической механики

Силы в Физике или их баланс суть причина всего, что происходит, или однозначно не происходит в материальном мире.

Силы в физике по своему происхождению могут иметь различную природу: электрические, магнитные, гравитационные, осмотические, силы Ван дер Ваальса и т.д. и т.п. Все они могут быть сведены к трём фундаментальным силам:

электрические

сила, с которой электрическое поле действует на внесенный в него заряд, называется *электрической силой*.

гравитационные

это силы притяжения, которые подчиняются закону всемирного тяготения.

силы слабого взаимодействия,

проявляющиеся лишь в масштабах атомного ядра