



Глава 2

МЕХАНИКА

2.1 Механическое движение

Механика - раздел физики, изучающий закономерности механического движения и причины, вызывающие или изменяющие это движение..

Механическое движение - это изменение с течением времени взаимного расположения тел или их частей друг относительно друга.

2.2 Разделы механики

Классическая (ньютоновская) механика - изучает законы движения макроскопических тел, скорости которых малы по сравнению со скоростью света в вакууме.

Релятивистская механика - изучает законы движения макроскопических тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света в вакууме ($c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с).

Квантовая механика - изучает законы движения микроскопических тел (отдельных атомов, элементарных частиц).

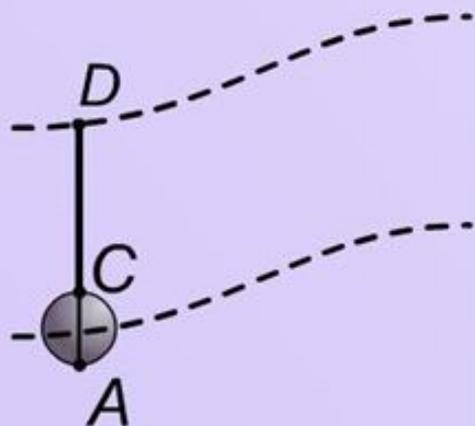
Классическая механика делится на три раздела:

Кинематика изучает движение тел, не рассматривая причины этого движения.

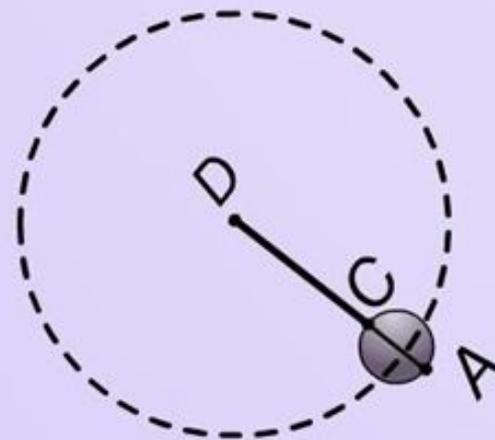
Динамика изучает причины, вызывающие движения тел.

Статика изучает законы равновесия системы тел.

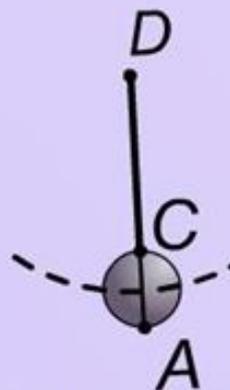
2.3 Виды механического движения



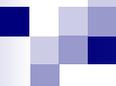
Поступательное движение



Вращательное движение



Колебательное движение



Поступательное движение – это движение, при котором любая прямая, связанная с телом, при его движении остается параллельной своему начальному положению.

Вращательным движением тела вокруг неподвижной оси называется такое его движение, при котором все точки тела движутся в плоскостях, перпендикулярных к неподвижной прямой, называемой осью вращения, и описывают окружности, центры которых лежат на этой оси.

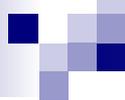
Колебательным движением называется процесс, при котором характеристики движения принимают одни и те же значения через некоторые промежутки времени.

2.4 Кинематика материальной точки

Предметом исследования классической механики является **материальная точка**.

Материальная точка - это тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.

Для количественного описания механического движения тела необходимо знать его положение в пространстве в любой момент времени.



Судить о движении тела можно, только сопоставляя его с каким-либо другим телом, которое принято называть **телом отсчета**.

Тело отсчета – это тело, которое в условиях данной задачи условно считается неподвижным и относительно которого рассматривается движение.

С телом отсчета связана **система координат**.

Совокупность **тела отсчета, системы координат** и **часов** составляют **систему отсчета**.

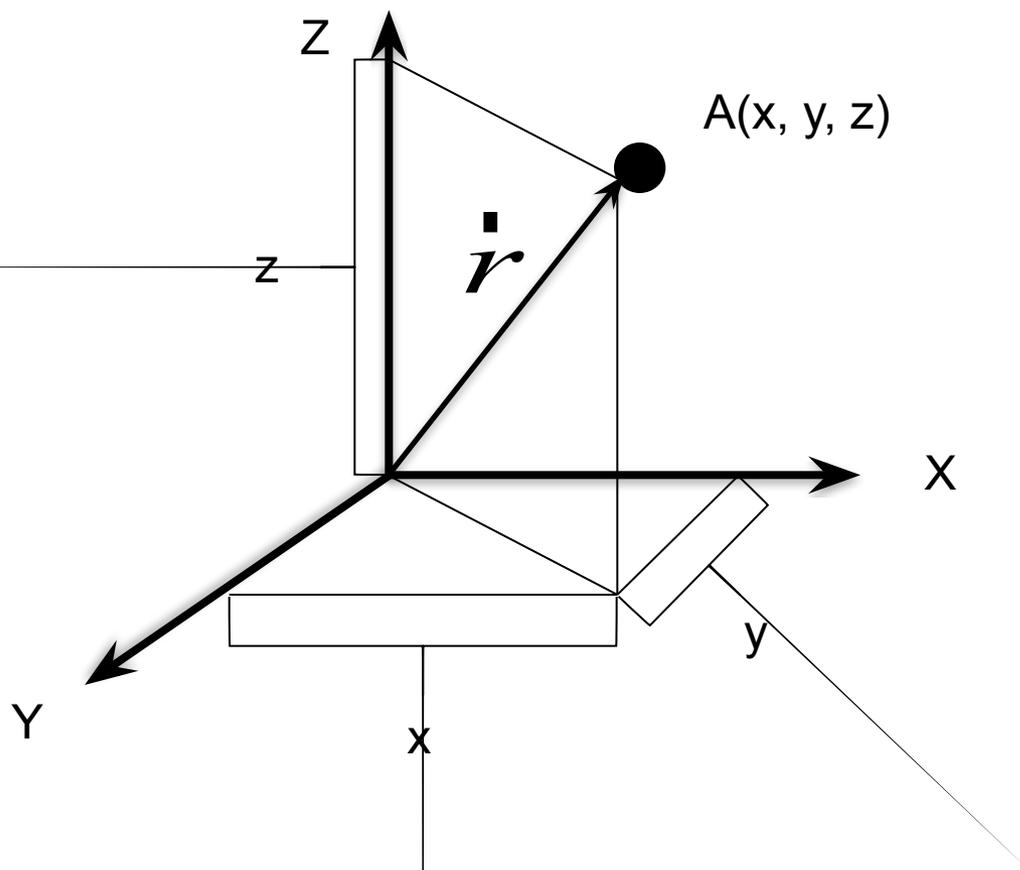


Рис. 1

При движении материальной точки ее координаты с течением времени изменяются и ее движение определяется **кинематическими уравнениями движения материальной точки:**

$$x = f_1(t), y = f_2(t), z = f_3(t).$$

В более общей записи:

$$\vec{r} = f(t), \text{ где } \vec{r} - \text{ радиус вектор}$$

2.5.1 Траектория, путь, перемещение

Траектория, путь, перемещение – это геометрические характеристики движения.

Совокупность всех последовательных положений материальной точки в пространстве представляет траекторию движения.

В зависимости от вида траектории различают **прямолинейное** и **криволинейное** движение.

Если траектория располагается в одной плоскости, то траектория называется **плоской**.

Расстояние, пройденное материальной точкой по траектории в течение некоторого промежутка времени, называют пройденным путем.

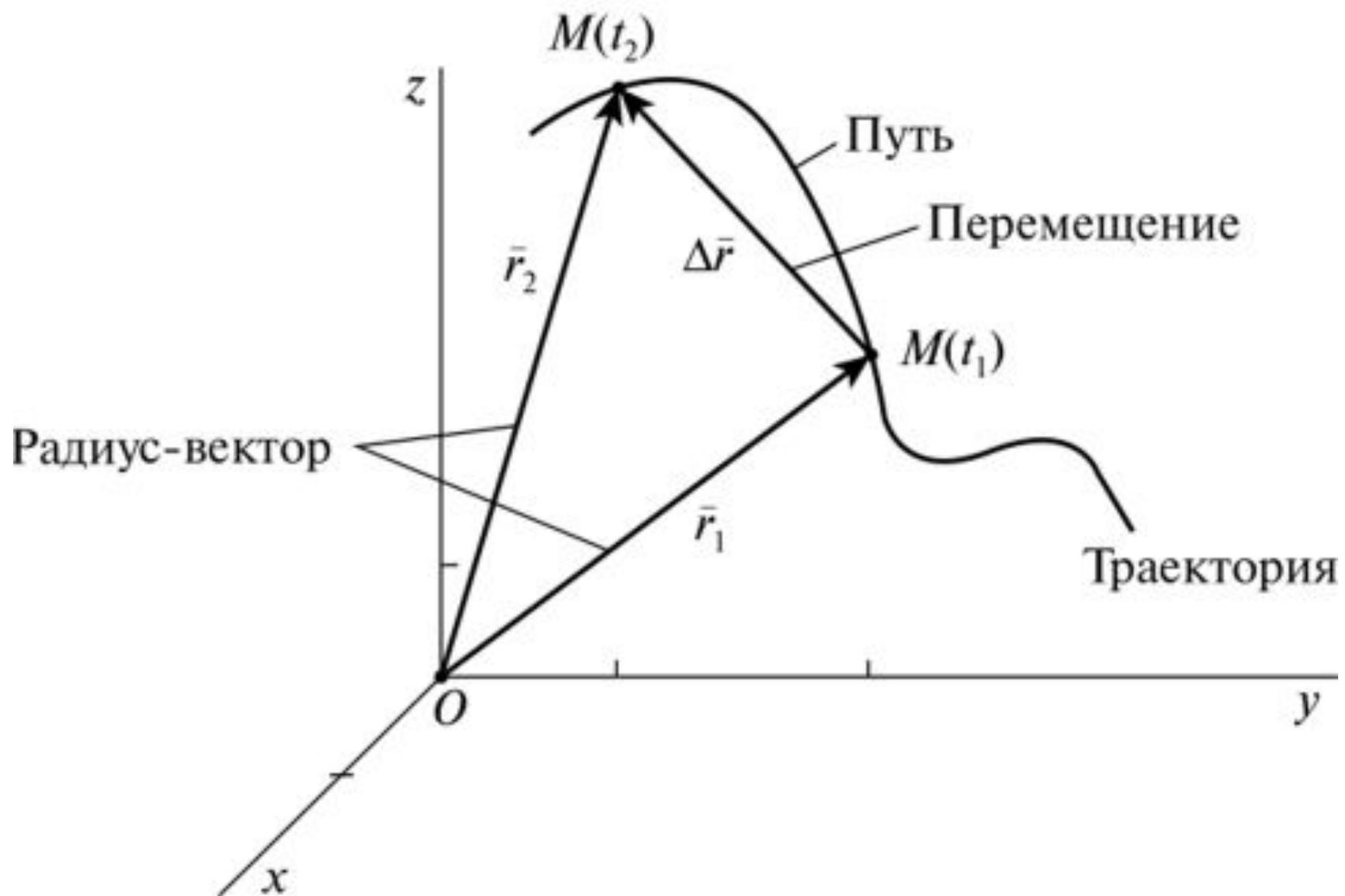
Пройденный путь (или просто путь) — физическая величина, ее принято обозначать буквой **S**.

Длина пути dS является скалярной функцией времени **$S(t)$** .

Вектор, $d\vec{r}$ соединяющий начальную и конечную точку траектории, называется **вектором перемещения или перемещением**.

Вектор перемещения является приращением радиуса-вектора.

При прямолинейном движении вектор $d\vec{r}$ совпадает с соответствующим участком перемещения и модуль перемещения равен пройденному пути **S**.



2.5.2 Скорость

Траектория, путь, перемещение полностью движение не описывают. Введем следующую физическую величину – скорость.

Скорость характеризует быстроту движения тела и его направление в данный момент времени. Скорость - векторная величина.

Так, запись \vec{V} означает, что скорость — векторная величина, имеющая направление, а запись V — модуль скорости, т. е. числовое значение скорости.

Предел отношения вектора перемещения к интервалу времени (при интервале времени стремящемся к нулю), равен скорости материальной точки:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Скорость – это производная от радиуса-вектора по времени:

$$\vec{v} = \frac{d \vec{r}}{d t}$$

Эта скорость называется **мгновенной**. Вектор скорости направлен по касательной к траектории движения материальной точки.

Можно получить **проекции** вектора скорости на оси:

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

Модуль скорости определяется выражением:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

Средняя скорость - скалярная величина, равная отношению пути к промежутку времени, затраченному на его прохождение

$$v_{cp} = \frac{l}{t}$$

За единицу скорости принимают скорость такого равномерного движения, при котором тело за единицу времени (1 с) проходит путь, равный единице длины (1 м).

Основной единицей скорости является метр в секунду (**1 м/с**).

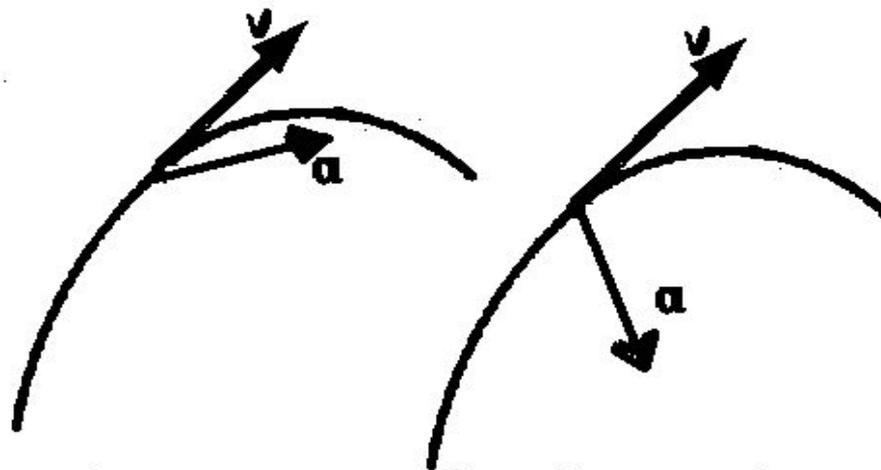
2.5.3 Ускорение

Скорость материальной точки с течением времени может меняться. Для характеристики такого изменения скорости вводится новая векторная величина – **ускорение**.

Ускорение \vec{a} характеризует быстроту изменения скорости по модулю и направлению, т.е. ускорение – векторная величина.

Мгновенное ускорение определяется как

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

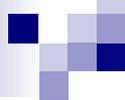


Ускоренное движение

Замедленное движение

При криволинейном движении точки вектор ее ускорения отклонен от касательной к траектории в сторону ее вогнутости:

при ускоренном движении угол между \vec{a} и \vec{v} острый, при замедленном движении - тупой.



Основной единицей ускорения является метр на секунду в квадрате (1 м/с^2).

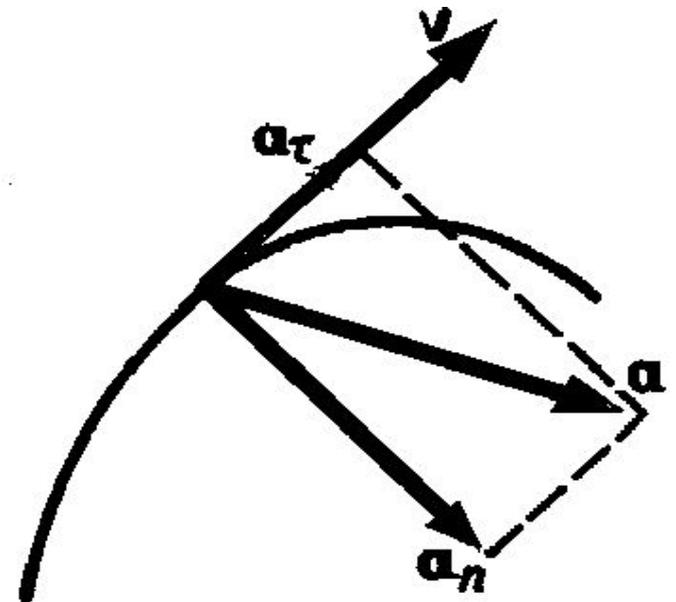
За единицу ускорения принимают ускорение такого равноускоренного движения, при котором за 1 с скорость изменяется на 1 м/с .

2.5.4 Нормальное и тангенциальное ускорение.

Для плоской траектории можно выделить два направления. Первое по касательной к траектории (орт $\overset{\curvearrowright}{\tau}$) и второе по главной нормали (орт $\overset{\curvearrowright}{n}$). **Рис.3**

Тогда вектор $\overset{\curvearrowright}{a}$ можно разложить на две составляющие вдоль этих направлений

$$\overset{\curvearrowright}{a} = \overset{\curvearrowright}{a}_\tau + \overset{\curvearrowright}{a}_n$$



Составляющая \vec{a}_τ называется **тангенциальным (касательным) ускорением**, она направлена по касательной к траектории (как и скорость) и характеризует быстроту изменения скорости по модулю.

При ускоренном движении вектор \vec{a}_τ совпадает по направлению с вектором скорости \vec{v} , а при замедленном движении эти векторы направлены в противоположные стороны.

Составляющая $\overline{a_n}$ называется **нормальным (центростремительным) ускорением**, она направлена по нормали к траектории к центру кривизны траектории и характеризует быстроту изменения скорости по направлению и равно по модулю:

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

Здесь r – радиус кривизны траектории.

Полное ускорение по модулю равно:

$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2}$$

И составляет угол α с вектором тангенциального ускорения, который определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_n}{a_{\tau}}$$

2.5.5 Виды движения в зависимости от составляющих ускорения

В зависимости от тангенциальной и нормальной составляющих ускорения возможны девять видов движения. Наиболее важные виды движения:

- Прямолинейное равномерное движение
- Прямолинейное равноускоренное (равнопеременное) движение (равноускоренное или равнозамедленное)
- Равноускоренное (равнопеременное) движение по окружности
- Равномерное движение по окружности

2.5.5.1 Прямолинейное равномерное движение

Равномерным называют такое движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути.

$$a_{\tau} = 0, a_n = 0,$$

кинематическое уравнение движения

$$S = V t.$$

2.5.5.2 Прямолинейное равноускоренное (равнопеременное) движение

Движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени увеличивается (или уменьшается) на одно и то же значение, называют равноускоренным.

$$a_{\tau} = a = \mathit{const}, a_n = 0,$$

кинематические уравнения движения

$$v = v_0 + at$$

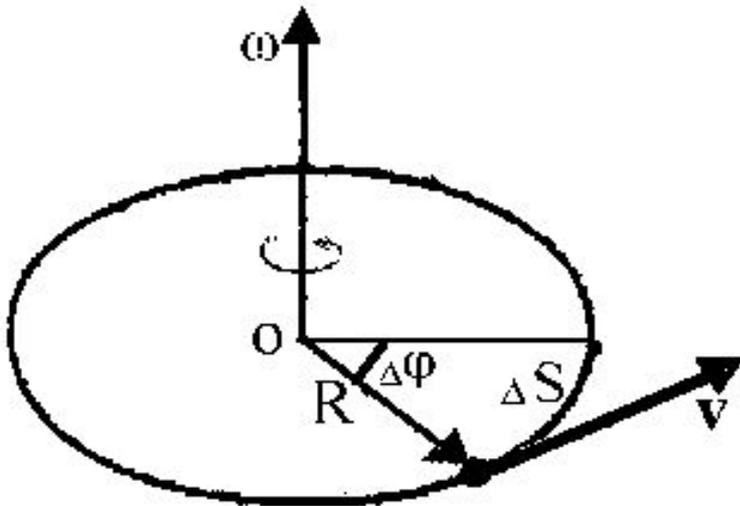
$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

здесь v_0 - скорость в начальный момент времени.

2.5.5.3 Равноускоренное (равнопеременное) движение по окружности

$$a_{\tau} = \text{const}, a_n \neq 0,$$

Имеет место движение по окружности радиуса R



$$a_n = \frac{V^2}{R}$$

Рис. 5

φ – угол между радиус-вектором \vec{r} и осью x
– угловое перемещение.

С течением времени угол поворота φ
меняется. Пусть за время dt \vec{r} повернется
на угол $d\varphi$.

Угловая скорость есть векторная величина,
равная

$$\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt}$$

здесь $d\varphi$ – угловое перемещение,

вектор $\vec{\omega}$ направлен вдоль оси вращения по
правилу правого винта.

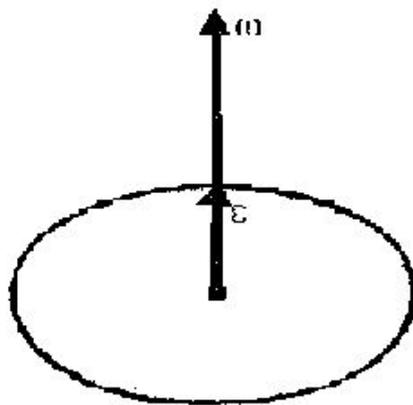
Единица измерения угловой скорости [рад/с].

Угловое ускорение есть векторная величина,

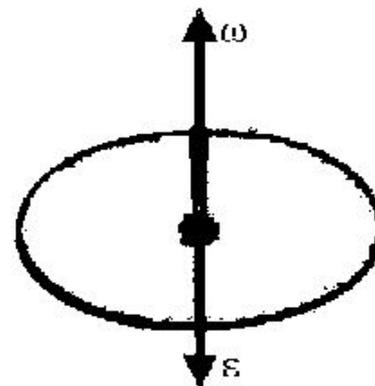
равная

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

причем вектор $\vec{\varepsilon}$ сонаправлен вектору $\vec{\omega}$ при ускоренном движении и направлен в противоположную сторону ему при замедленном движении.



Ускоренное движение



Замедленное движение

Связь между линейными и угловыми величинами:

$$v=R\omega, s = R\varphi, a_{\tau} =R\varepsilon,$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

Для равнопеременного движения по окружности ($\varepsilon = \text{const}$).

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$$

где ω_0 - начальная угловая скорость.

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

2.5.5.4 Равномерное движение по окружности

$$a_{\tau} = 0, a_n = \text{const},$$

Для равномерного движения по окружности $\omega = \text{const}$

кинематическое уравнение

$$\varphi = \omega t.$$

Связь между линейными и угловыми величинами:

$$s = R\varphi, \quad v = R\omega, \quad a_n = \omega^2 R,$$

где R - радиус окружности.

Промежуток времени в течение которого точка совершает один поворот, называется периодом вращения.

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Число полных оборотов, совершаемых телом в единицу времени, называется частотой вращения.

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Отсюда

$$\omega = 2\pi\nu$$

2.5.6 Преобразования Галилея. Сложение скоростей.

Механическое движение относительно. Т.е. координаты, перемещение, скорость имеют некоторые определенные значения в выбранной системе отсчета, но они различаются в других системах отсчета.

Установим связь между координатами некоторой точки в разных СО.

Рис.5