| Основные единицы | |
|---|---|
| **Метр** (м) | — длина пути, проходимого светом в вакууме за $^1/_{299792458}$ с. |
| **Килограмм** (кг) | — масса, равная массе международного прототипа килограмма (платиноиридиевого цилиндра, хранящегося в Международном бюро мер и весов в Севре, близ Парижа). |
| **Секунда** (с) | — время, равное 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. |
| **Ампер** (А) | — сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого поперечного сечения, расположенных в вакууме на расстоянии 1 метр один от другого, создает между этими проводниками на каждый метр длины силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Ньютона. |
| **Кельвин** (К) | $^1/_{273,16}$ часть термодинамической температуры тройной точки воды. |
| **Моль** (моль) | — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в 12г изотопа углерода $^{12}C$. |
| **Кандела** (кд) | — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ герц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $^1/_{683}$ Вт/ср. |

| | |
|---|---|
| **Механика** | - раздел физики, занимающийся изучением закономерностей механического движения и взаимодействия тел.<br>Оформление механики как науки впервые в книге И.Ньютона (1687г.) «Математические начала натуральной философии».<br>Механика подразделяется на **кинематику, динамику и статику.** |
| **Кинематика** | – занимается пространственным описанием движения, не изучая его причин. |
| **Динамика** | – изучает движение тел в связи с теми причинами, которые обуславливают тот или иной его характер. |
| **Статика** | – рассматривает частный случай движения тел, а именно – их равновесие. |

**Современная механика – это:**

**Ньютоновская или классическая механика**, которая применима для макроскопических тел (тел, сравнимых с человеческим масштабом), движущихся со скоростями $v$ много меньшими, чем скорость света в вакууме с ($c \sim 3 \cdot 10^8$ м/с): $v << c$

**Релятивистская механика** применима при движении любых тел со скоростями $v$, сравнимыми со скоростью с: $v \sim c$ . Эта механика основана на теории относительности, созданной А.Эйнштейном в 1905-1914 гг. Релятивистская механика включает в себя как частный случай классическую механику.

**Квантовая механика**, она описывает движение микроскопических тел (молекулы, отдельные атомы, элементарные частицы), строение и свойства атомов и молекул. Год рождения квантовой физики, фундаментом которой является квантовая механика, принято считать 1900г., когда М.Планк сделал доклад об энергии теплового излучения.

| | |
|---|---|
| **Материальная точка** | – это тело, геометрическими размерами которого в условиях задачи можно пренебречь и считать, что вся масса тела сосредоточена в геометрической точке. |
| **Абсолютно твердое тело** | – это система, состоящая из совокупности материальных точек, расстояния между которыми в условиях задачи можно считать неизменными. |
| **Абсолютно упругое тело** | **–** тело, деформации которого подчиняются закону Гука, т.е. деформации пропорциональны вызывающим их силам. |
| **Физическое пространство** | – **трехмерно** (т.е. положение тела полностью определяется тремя числами - координатами), **изотропно** (свойства по всем выделенным направлениям одинаковы и не изменяются), **однородно** (свойства пространства во всех его точках одинаковы). |
| **Время** | **одномерно** (ось времени можно снабдить стрелкой, указывающей направление, стрела времени), **однородно** (свойства времени во всех точках на оси направления времени одинаковы), **одинаково текущее.** |
| **Механическое движение** | - это изменение взаимного расположения тел или их частей в пространстве с течением времени.<br>Механическое движение **относительно**.<br>Этот принцип впервые сформулирован **Г.Галилеем** до появления труда **И.Ньютона** «Математические начала натуральной философии». Относительность движения означает, что в разных системах отсчета движение будет описываться по- разному. |

| | |
|---|---|
| **Система отсчета** | – это система координат (прямоугольная, цилиндрическая и т.д.), снабженная часами и жестко связанная с абсолютно твердым телом (тело отсчета), по отношению к которому определяется положение других тел в различные моменты времени. |

**Радиус-вектор в декартовой системе координат.**

**Декартова система координат**— это три взаимно перпендикулярных оси $x$, $y$, $z$, О – тело отсчета и часы для отсчета времени (Рис.1) .

Положение материальной точки М относительно этой системы отсчета можно задать двумя способами:

- координатами x, y ,z
- радиус-вектором $\vec{r}$

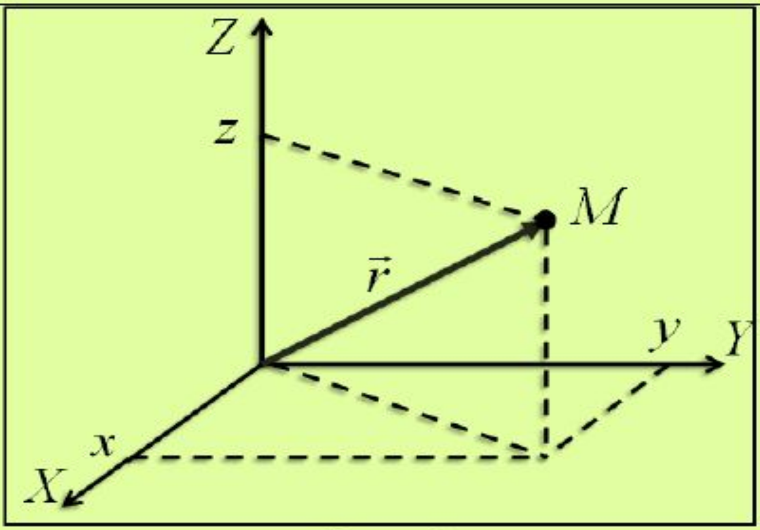



**Рис.1**

**Поступательное движение**

– это движение, при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остается параллельной своему первоначальному положению.

Признак поступательного движения – прямая, соединяющая две любые точки тела, остается параллельной самой себе. (Рис.2)

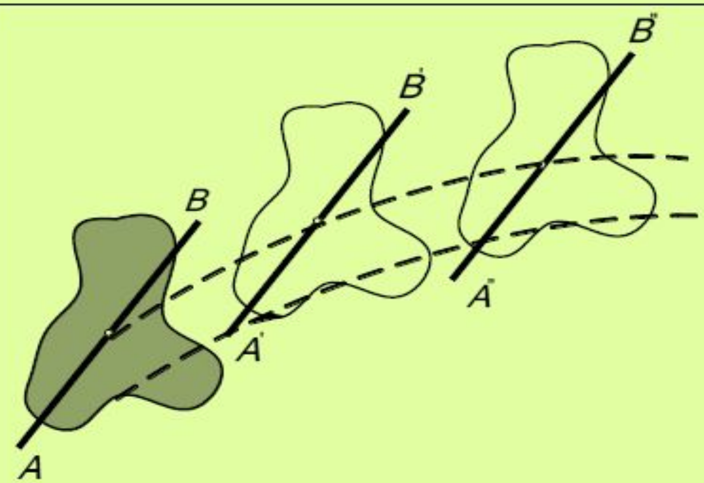



**Рис.2**

**Разложение радиус-вектора на составляющие вдоль координатных осей.** (Рис.3)

Если ввести три единичных вектора $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$, направленные вдоль координатных осей (**единичные орты**), то радиус-вектор *r* можно представить в виде суммы трех векторов:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$, где $|i| = |j| = |k| = 1$

Квадрат длины вектора равен сумме квадратов его проекций:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

$$|\vec{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

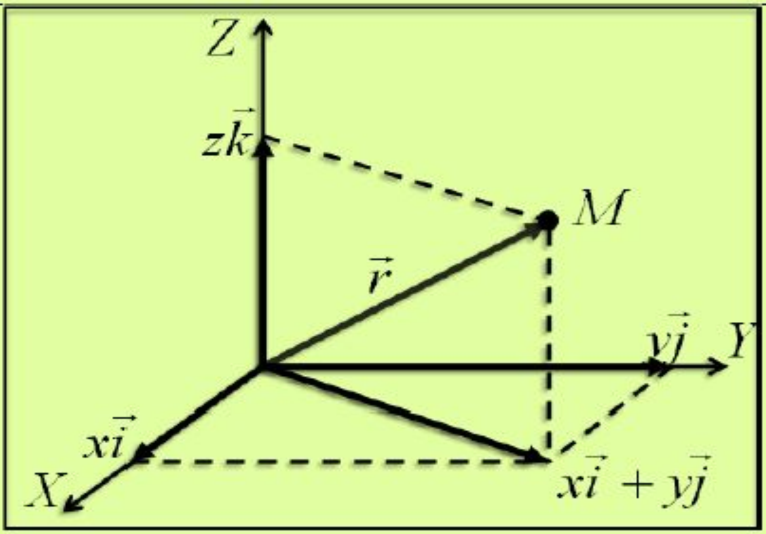



**Рис.3**

**Кинематические уравнения движения.** При движении материальной точки М ее координаты и радиус-вектор изменяются с течением времени t .

**Закон движения материальной точки** – это функциональная зависимость от времени t координат или радиус-вектора r.

Кинематические уравнения движения задают **траекторию** движения тела в параметрической форме, параметром служит время t.

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad \text{или} \quad \vec{r} = \vec{r}(t)$$

**Траектория материальной точки.**

**Траектория** – это линия, описываемая движущимся телом относительно выбранной системы отсчета. В зависимости от формы траектории движение подразделяют на **прямолинейное и криволинейное.** (Рис.4)

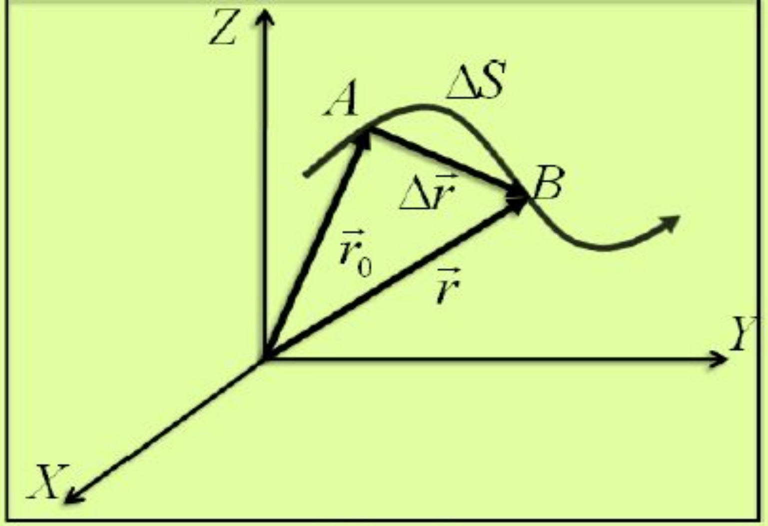



**Рис.4**

| | |
|---|---|
| **Длина пути точки** | -сумма длин всех участков траектории, пройденных этой точкой за рассматриваемый промежуток времени ***t***. Длина пути – **скалярная** функция времени. $\Delta S = \Delta S(t)$ (Рис.4) |
| **Вектор перемещения** $\Delta\vec{r}$ | - это вектор, проведенный из начального положения движущейся точки в положение в данный момент времени, т.е. приращение радиус-вектора материальной точки за рассматриваемый промежуток времени. $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{r}(t) - \vec{r}(t_0) = \Delta x \cdot \vec{i} + \Delta y \cdot \vec{j} + \Delta z \cdot \vec{k}$ В пределе $\Delta t \to 0$ длина пути по хорде $\Delta s$ и длина хорды $\Delta r = \lvert\Delta\vec{r}\rvert$ будут все меньше отличаться: $ds = \lvert d\vec{r}\rvert = dr$ |

| | |
|---|---|
| **материальной точки** | к траектории движения точки, и по модулю равная производной от пути по времени.<br>Она определяет как быстроту движения, так и его направление в данный момент времени. |
| **Средняя скорость движения**<br>$\langle\vec{v}\rangle = \dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ | - определяется как отношение вектора перемещения к промежутку времени, за который перемещение произошло и характеризует быстроту изменения радиус-вектора с течением времени.<br>**Вектор средней скорости направлен** также как вектор перемещения $\Delta$r - вдоль прямой, соединяющей точки А и В. |
| **Мгновенная скорость**<br>$\vec{v} = \lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \dfrac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$ | - определяется как скорость в конкретный момент времени t или в конкретной точке траектории.<br>**Мгновенная скорость** - величина, к которой стремится отношение $\Delta$r/$\Delta$t при стремлении $\Delta$t к нулю.<br>$\dfrac{d\vec{r}}{dt}$ - первая производная радиус-вектора материальной точки $\vec{r}$ по времени t.<br>**Вектор мгновенной скорости направлен** по касательной к траектории в данной точке в сторону движения тела, на рисунке скорость $v_1$ в точке А скорость $v_2$ в точке В (Рис.7). |
| **Модуль скорости**<br>$v = \dfrac{ds}{dt} \Rightarrow ds = v\cdot dt$ | - равен первой производной пройденного пути по времени, если движение происходит только вдоль одного направления. |

**Геометрический смысл мгновенной скорости**

На рисунке (Рис.5) показана зависимость пройденного пути $S$ от времени $t$. Вектор скорости $v(t)$ направлен по касательной к кривой $S(t)$ в момент времени $t$. Из рисунка видно, что угол наклона касательной к оси $t$ равен

$$\frac{ds}{dt} = tg\alpha$$

$$\boxed{v = \frac{ds}{dt} = tg\alpha}$$

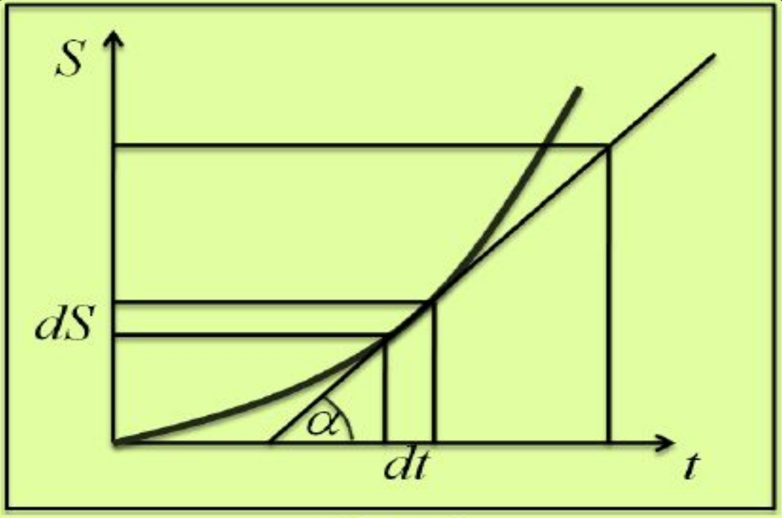



**Рис.5**

**Геометрический смысл перемещения.**

Интегрируя выражение $ds = v \cdot dt$ в интервале времени от $t_0$ до $t$, получим формулу, позволяющую вычислить путь, пройденный телом за время $t_2$-$t_1$ если известна зависимость от времени его скорости $v(t)$

$$\boxed{s = \int_{t_1}^{t_2} v(t)dt}$$

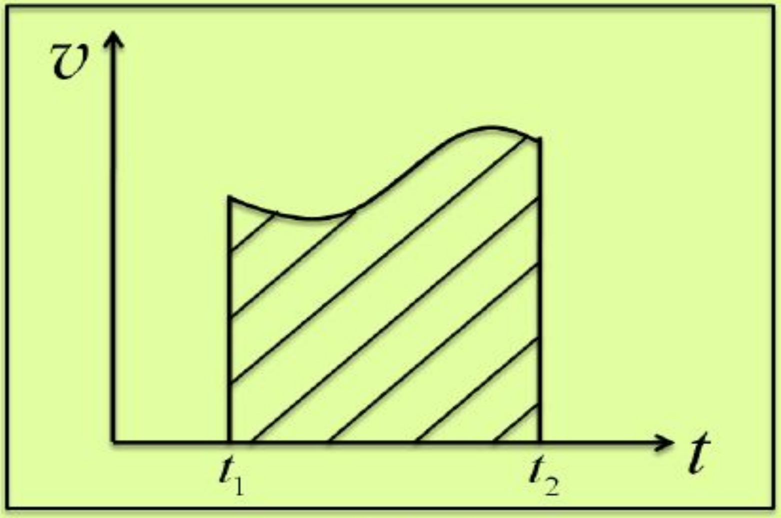



**Рис.6**

Геометрический смысл этой формулы ясен из рисунка (Рис.6) .

**По определению интеграла пройденный путь представляет собой площадь, ограниченную кривой $v = v(t)$ в интервале от $t_1$ до $t_2$.**

| | |
|---|---|
| **Прямолинейное движение** | - направление вектора скорости с течением времени остается неизменным. |
| **Равномерное движение** | - модуль скорости с течением времени остается постоянным. $$v = const$$ При этом перемещение равно $$\boxed{s = \int_{t_1}^{t_2} v dt = v \int_{t_1}^{t_2} dt = v(t_2 - t_1) = v\Delta t}$$ |
| **Неравномерное движение** | - модуль скорости изменяется с течением времени. При **неравномерном** движении длина пути S , пройденного точкой за промежуток времени от $t_1$ до $t_2$, задается интегралом $$\boxed{s = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt}$$ Если модуль скорости увеличивается с течением времени, |
| | то движение называется **ускоренным**, если убывает, то - **замедленным**. |

| | |
|---|---|
| **Криволинейное движение** | - направление вектора скорости меняется с течением времени. |

**Скорость при криволинейном движении.**

**Если движение происходит не только вдоль одного направления**, то модуль скорости определяется иначе. Вектор скорости можно разложить на составляющие по осям декартовой системы координат:

$$\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k},$$

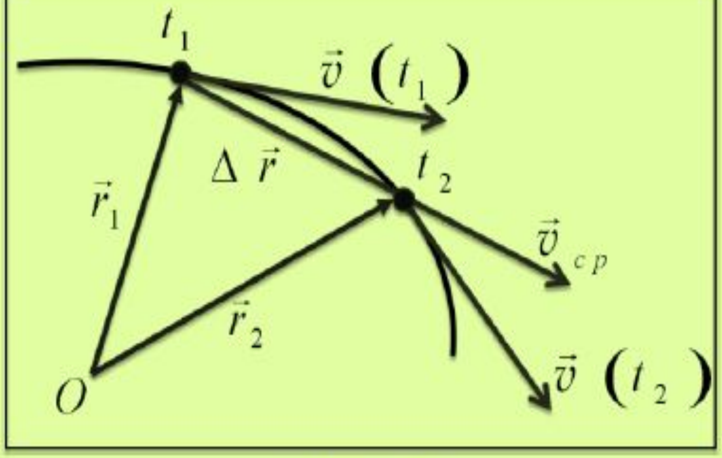



**Рис.7**

причем составляющие скорости по направлениям определяются как первые производные соответствующих координат по времени:

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

Модуль полной скорости определится с помощью теоремы Пифагора:

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

| | |
|---|---|
| **Ускорение** | Мгновенная скорость может изменяться как по модулю, так и по направлению, для характеристики быстроты изменения скорости служит **ускорение**. |
| **Среднее ускорение** $\langle\vec{a}\rangle = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ | - это приращение $\Delta\vec{v}$ мгновенной скорости за промежуток времени $\Delta$t. $\boxed{\langle\vec{a}\rangle = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}}$ |
| **Мгновенное ускорение** | **Мгновенное ускорение** получается, если промежуток времени сделать бесконечно малым $\Delta t \to 0$. **Мгновенное ускорение или ускорение в данный момент времени – это предельное значение среднего ускорения, которое является первой производной скорости по времени.** $$\boxed{\vec{a} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \frac{d^2 r}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}}$$ В разложении по зафиксированным осям ускорение запишется в виде $$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k} = \left(\frac{dv_x}{dt}\right)\vec{i} + \left(\frac{dv_y}{dt}\right)\vec{j} + \left(\frac{dv_z}{dt}\right)\vec{k} =$$ $$= \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)\vec{i} + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)\vec{j} + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)\vec{k}$$ |

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt}$$

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{d^2z}{dt^2}$$

$$a = \sqrt{a_x{}^2 + a_y{}^2 + a_z{}^2}$$

Если траектория точки - плоская кривая, то вектор ускорения лежит в этой плоскости.
Удобно **разложить на две составляющие** вдоль направлений n и τ.
(n - нормаль, τ - касательная к траектории в данной точке): **нормальное и тангенциальное ускорение (**Рис.8) **.**

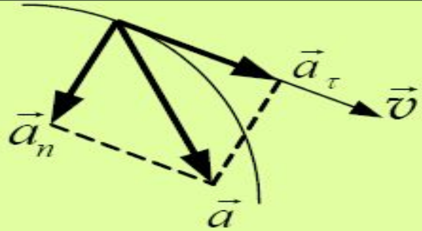


**Рис.8**

$\vec{a}_\tau$ - **тангенциальная составляющая,** направлена по касательной к траектории, совпадает с направлением скорости $\vec{v}$ и определяет быстроту изменения скорости **по модулю.**

$\vec{a}_n$ - **нормальная составляющая,** направлена к центру кривизны траектории, является центростремительным ускорением и характеризует изменение скорости **по направлению.**

В общем случае плоского криволинейного движения вектор ускорения удобно представить в виде **суммы двух проекций (**Рис.8):

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \quad \Rightarrow \quad a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}\ .$$

**Вывод формулы центростремительного ускорения при равномерном движении по окружности.**

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

$\vec{a}$ совпадает по направлению с $\overrightarrow{\Delta v}$ и направлено к центру закругления.

Треугольники построенные на векторах скоростей ($\vec{v}_0$, $\vec{v}$, $\overrightarrow{\Delta v}$) и на радиусах (OAB) подобны (Рис.9).

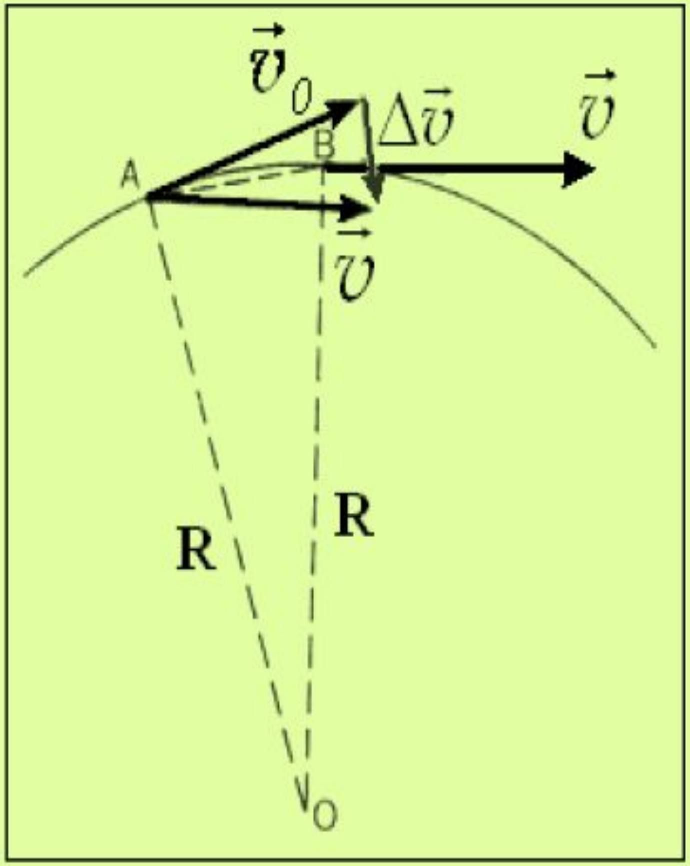


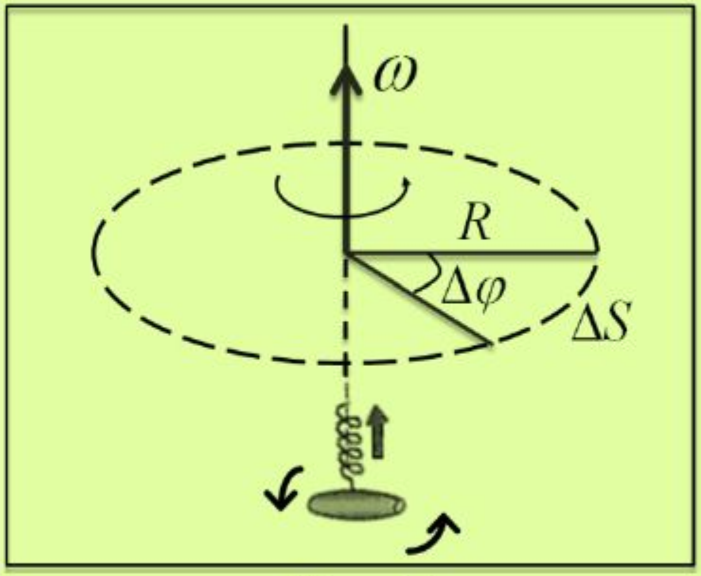

**Рис.9**

Из подобия составим отношение:

$$\frac{\Delta v}{AB} = \frac{v}{R} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta v}{v\Delta t} = \frac{v}{R} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R} \quad \Rightarrow$$

$\boxed{a_n = \frac{v^2}{R}}$ - **центростремительное ускорение;**

| Классификация движения с учетом тангенциальной и нормальной составляющих ускорения | |
|---|---|
| $a_\tau = 0$, $a_n = 0$ | **прямолинейное равномерное движение** |
| $a_\tau = a = const$, $a_n = 0$<br>$a_\tau = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t}$<br>$v = v_0 + at$<br>$s = \int_0^t (v_0 + at)\,dt = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ | **прямолинейное равнопеременное движение** |
| $a_\tau = f(t)$, $a_n = 0$ | **прямолинейное движение с переменным ускорением** |
| $a_\tau = 0$, $a_n = const = \frac{v^2}{R}$ | **равномерное движение по окружности** |
| $a_\tau = 0$, $a_n = f(t)$ | **криволинейное равнопеременное движение** |
| $a_\tau = const$, $a_n \neq 0$ | **равномерное криволинейное движение** |
| $a_\tau = f(t)$, $a_n \neq 0$ | **криволинейное движение с переменным ускорением** |

| Кинематика вращательного движения. | |
|---|---|
| При описании вращательного движения удобно пользоваться **полярными координатами** R и $\varphi$, где R —**радиус** — расстояние от полюса (центра вращения) до материальной точки, а $\varphi$ — полярный угол (угол поворота). (Рис.10)<br>**Элементарные повороты** (обозначаются $\Delta\vec{\varphi}$ или $d\vec{\varphi}$ ) можно рассматривать как **псевдовекторы.** | <br><br>**Рис.10** |
| **Угол поворота** $\Delta\vec{\varphi}$ | -физическая величина, измеряемая отношением длины дуги $\Delta S$, пройденной вращающейся точкой к радиусу R.<br>$\varphi$ измеряется в радианах - за 1 рад принимается такой центральный угол, длина дуги которого равняется $R$.<br>Полный угол $\varphi_0 = \dfrac{2\pi R}{R} = 2\pi$ или $\varphi_0 = 360^0$, поэтому<br>$1 рад = \dfrac{360^0}{2\pi} = 57{,}3^0$ |

| | |
|---|---|
| **Частота вращения** $n$ | — число полных оборотов, совершаемых телом при равномерном его движении по окружности, в единицу времени:<br>**Единица частоты вращения — герц (Гц).**<br>$[n]=[1Гц]=\left[\frac{1}{c}\right]$ |
| **Циклическая или круговая частота вращения**<br>$\omega=2\pi n$ | — число полных оборотов, совершаемых телом при равномерном его движении по окружности за время $2\pi$ секунд. $\omega=2\pi n$ |
| **Период вращения** | - время одного полного оборота .<br>**Единица периода вращения** - $[T]=[c]$ |
| **Угловое перемещение** $d\vec{\varphi}$ | — векторная величина, модуль которой равен углу поворота, а направление совпадает с направлением поступательного движения правого винта. |
| **Угловая скорость** | - векторная величина равная первой производной угла поворота тела по времени |
| $\vec{\omega}=\frac{d\vec{\varphi}}{dt}=\dot{\vec{\varphi}}$ | Вектор $\vec{\omega}$ **направлен** вдоль оси вращения так же как и вектор $d\vec{\varphi}$, т.е. по правилу правого винта.<br>**Единица угловой скорости** - $\left[\frac{град}{}, \frac{рад}{}, \frac{\pi}{}\right]$. |

**Угловое ускорение**

- векторная величина, равная первой производной угловой скорости по времени

$$\boxed{\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \dot{\vec{\omega}} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2} = \ddot{\vec{\varphi}}}$$

Вектор $\vec{\beta}$ направлен вдоль оси вращения в сторону вектора приращения угловой скорости (при ускоренном вращении вектор $\vec{\beta}$ сонаправлен вектору $\vec{\omega}$, при замедленном — противонаправлен ему). (Рис.11)

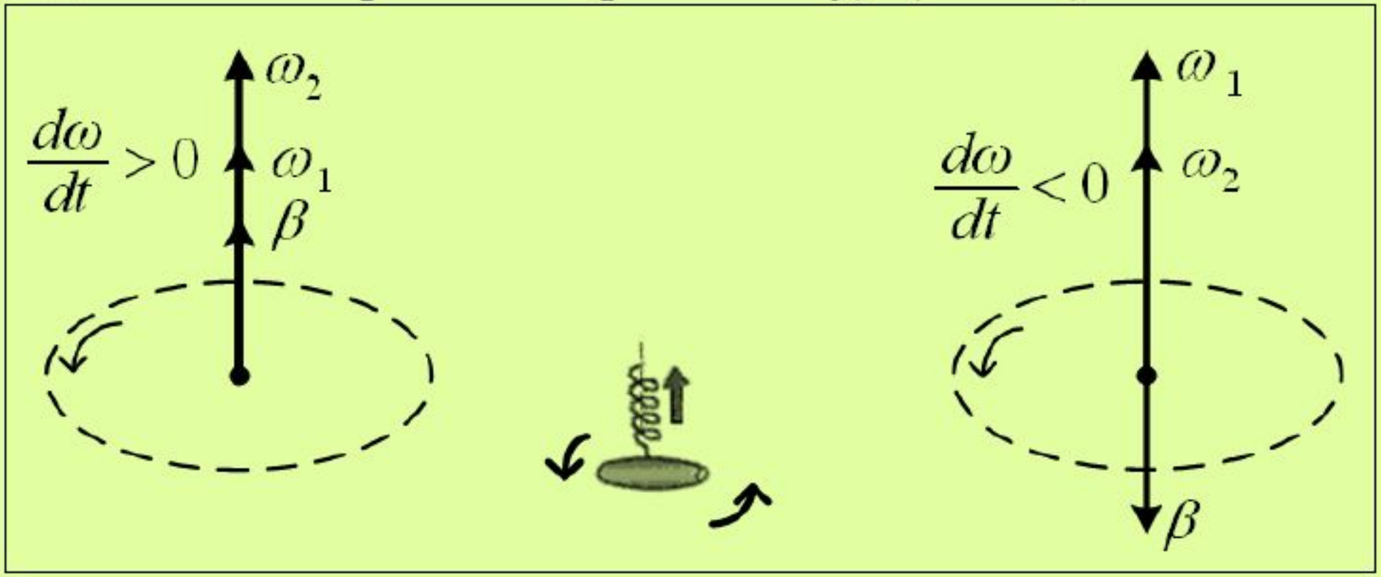



**Рис.11**

**Единица углового ускорения** - $\left[\frac{рад}{c^2}\right]$

| | |
|---|---|
| **Линейная скорость** | Линейная скорость точки связана с угловой скоростью и радиусом траектории соотношением $$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{R \cdot \Delta\varphi}{\Delta t} = R \cdot \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \omega R$$ В векторном виде формулу для линейной скорости можно написать как **векторное произведение**: $$\vec{v} = \left[\vec{\omega}, \vec{R}\right]$$ **По определению векторного произведения** его модуль равен $$\left\vert\vec{v}\right\vert = \omega R \sin\alpha$$ где $\alpha$ — угол между векторами $\vec{\omega}$ и $\vec{R}$, а направление совпадает с направлением поступательного движения правого винта при его вращении от $\vec{\omega}$ к $\vec{R}$. |

| | |
|---|---|
| **При равномерном вращении** | $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = const$, следовательно $\varphi = \omega \cdot t$.<br>Равномерное вращение можно характеризовать **периодом вращения** T — временем, за которое точка совершает один полный оборот,<br>$$\boxed{2\pi = \omega \cdot T \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}}$$<br>$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$ |
| **Связь ускорения и угловой скорости при равномерном вращении** | $a_n = \frac{v^2}{R} = v\omega = \omega^2 R$ $\qquad a_\tau = 0$ |

| | |
|---|---|
| **При равноускоренном вращении** | $\beta = const \qquad S = R\varphi \qquad \upsilon = R\omega$ <br> $\omega = \omega_0 + \beta t \qquad \varphi = \omega_0 t + \dfrac{\beta t^2}{2};$ <br> $a_n = \dfrac{\upsilon^2}{R} = \dfrac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R;$ <br> $a_\tau = \dfrac{d\upsilon}{dt} = \dfrac{d\left(\omega R\right)}{dt} = R\dfrac{d\omega}{dt} = R\beta;$ <br> $s = \int\limits_{t_1}^{t_2} \upsilon dt = \int\limits_{t_1}^{t_2} \omega R dt = \int\limits_{t_1}^{t_2} \dfrac{d\varphi}{dt} R dt = R\int\limits_0^{\varphi} d\varphi = R\varphi$ |