



ФИЗИКА ОБЩИЙ КУРС

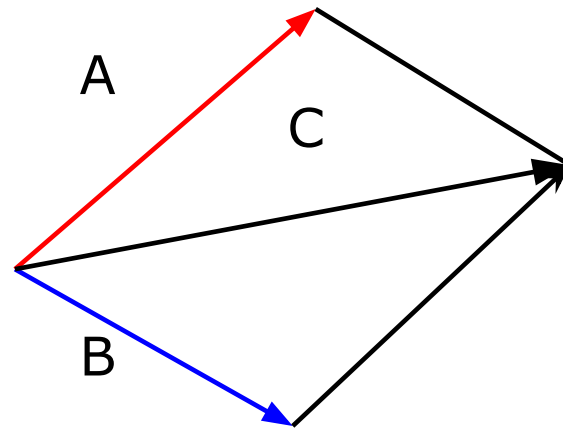
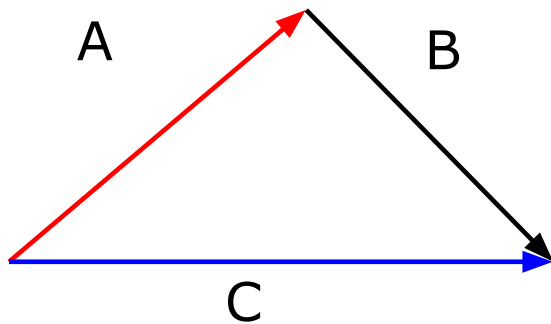
ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики.
2. Уколов А.С. Лекции по общему курсу физики ч. 1-5. Заичкин Н.Н. ч. 6-7.
3. Трофимова Т.И. Курс физики.
4. Учебно-методическое пособие для выполнения индивидуального задания по дисциплине «Физика». №4956-1,2,3.
5. Сивухин Д.В.; Матвеев А.Н.; Фейнман Р.Ф.

Векторы и скаляры

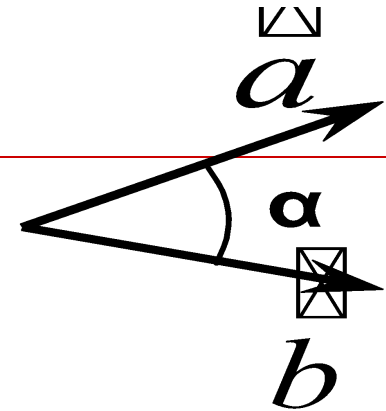
Величины, которые полностью определяются только числовыми значениями, называются **скалярами**.

Величины, для полной характеристики которых нужно знать не только их величину, но и направление – **векторы**.



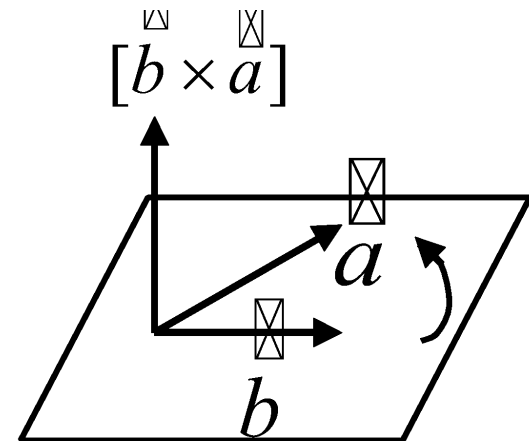
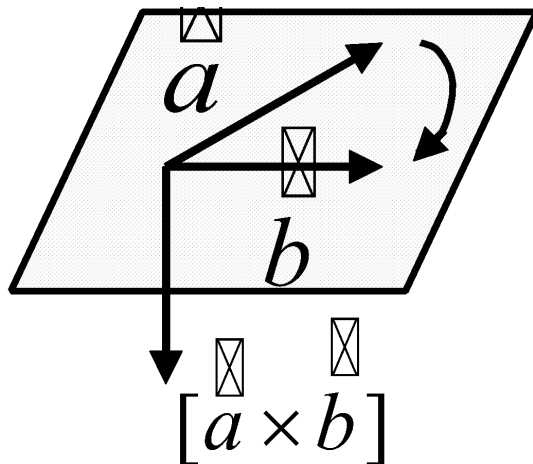
Скалярное произведение векторов - скаляр

$$(\vec{a} \cdot \vec{b}) = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \alpha$$



Векторное произведение векторов - вектор

$$[\vec{a} \times \vec{b}] = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin \alpha$$

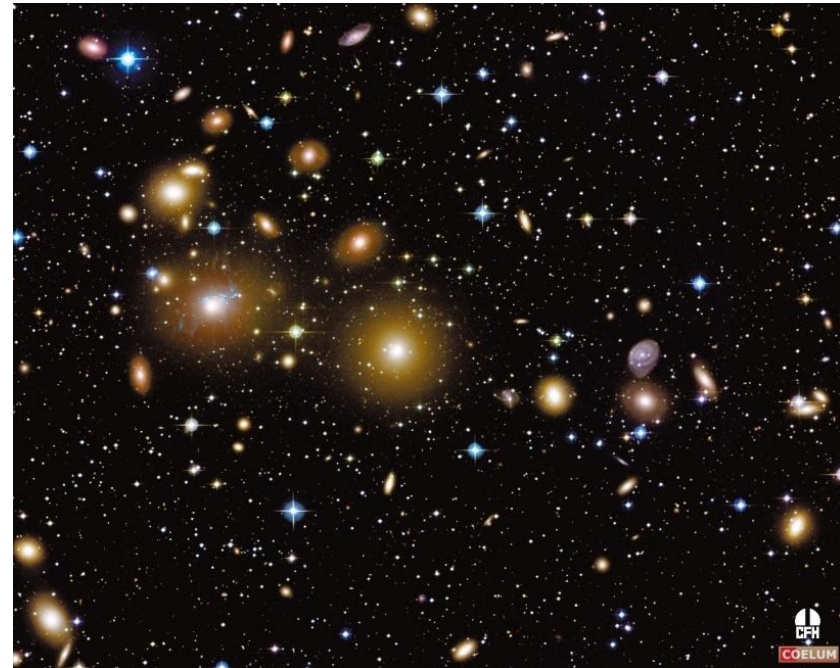
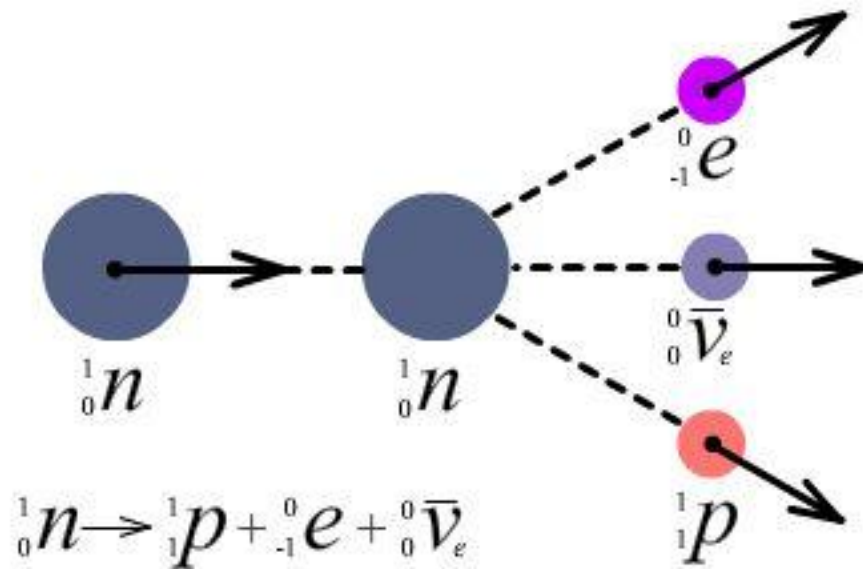


ТЕМА I. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

§1. Основные понятия кинематики

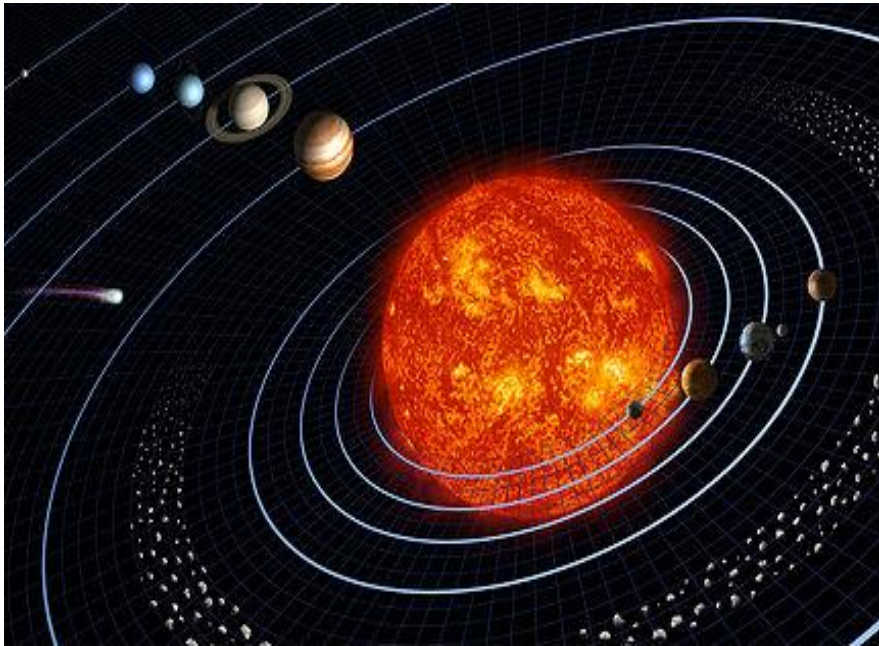


1. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА



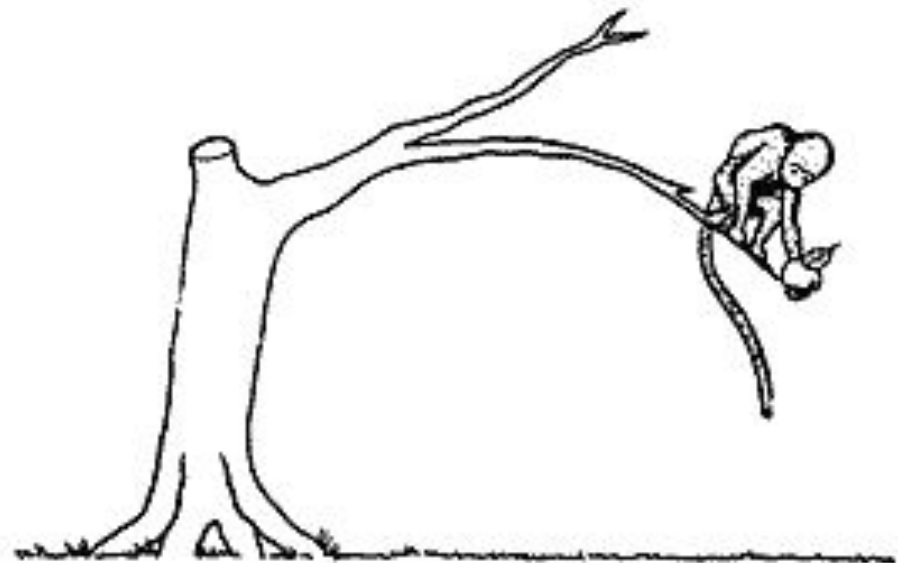
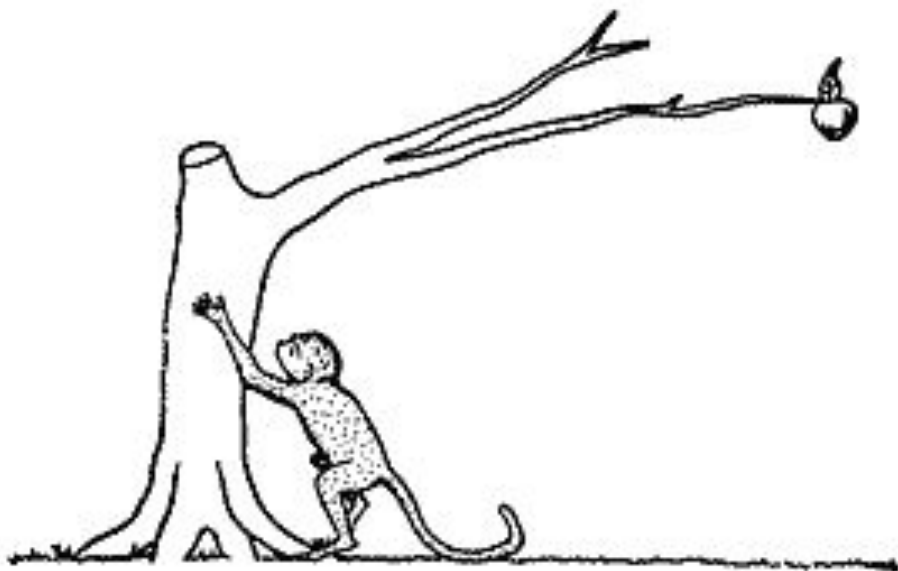
Механической системой называется любой объект (набор объектов), механическим движением которого мы интересуемся.

2. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА



Тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь, называется **материальной точкой (частицей)**.

3. АБСОЛЮТНО ТВЕРДОЕ ТЕЛО

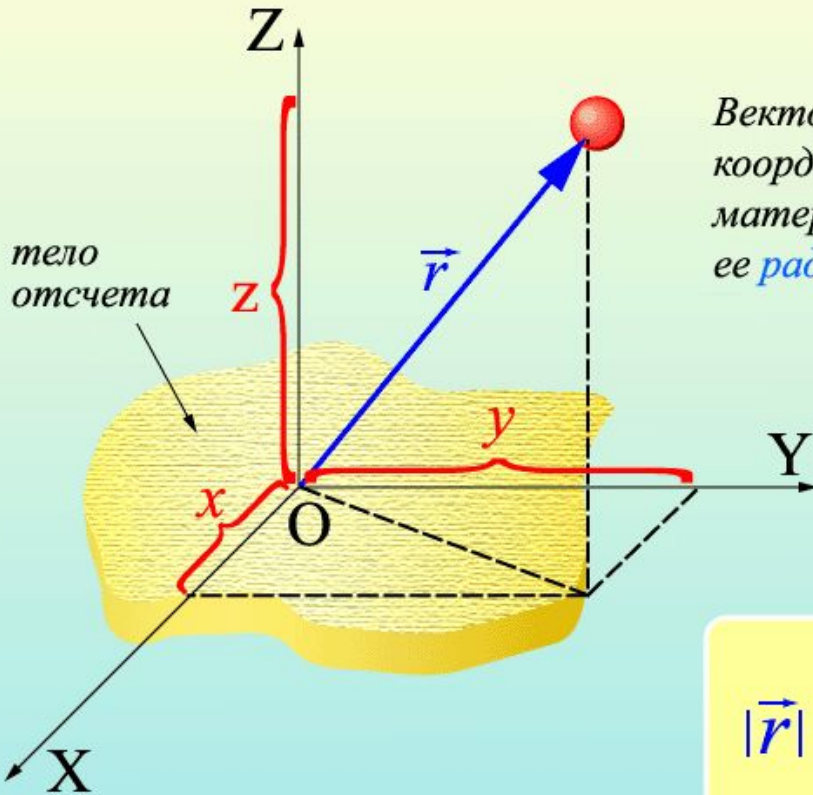


Тело называется **абсолютно твердым**, если его деформациями в условиях данной задачи можно пренебречь.

Система частиц, расстояния между которыми не изменяются.

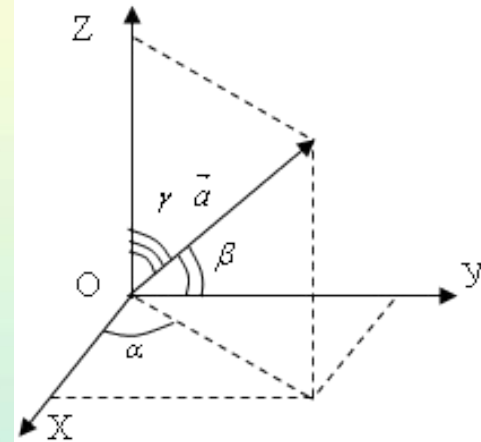
4. РАДИУС-ВЕКТОР

Радиус-вектор материальной точки



Вектор \vec{r} , проведенный из начала координат в место расположения материальной точки, называется ее радиус-вектором

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



$$x = r \cos \alpha;$$

$$y = r \cos \beta;$$

$$z = r \cos \gamma.$$

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1.$$

5. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

Система отсчета необходима для фиксации положения объектов в пространстве и определения изменения положения объектов с течением времени, то есть описания механического движения.

Движение - относительно, и для его описания необходимо:

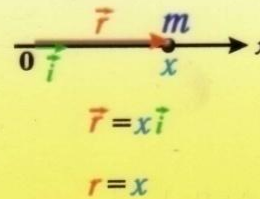
ТЕЛО ОТСЧЕТА

тело, которое в данной задаче принято за неподвижное

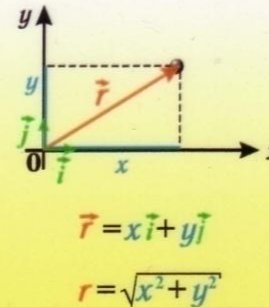
СИСТЕМА КООРДИНАТ

положение точки m в пространстве можно описать либо с помощью радиус-вектора \vec{r} , либо с помощью координат x, y, z .

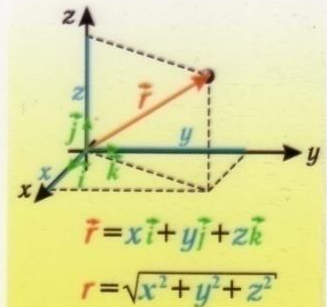
Прямолинейное движение



Плоское движение



Общий случай

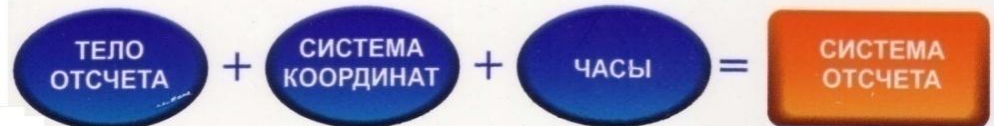


$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - единичные векторы (орты)

ЧАСЫ

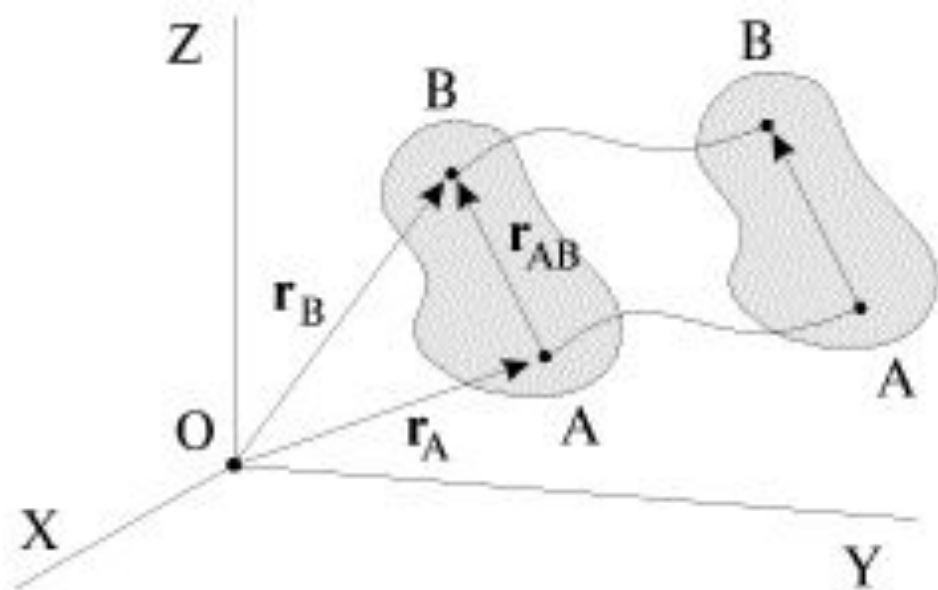


- для отсчета времени

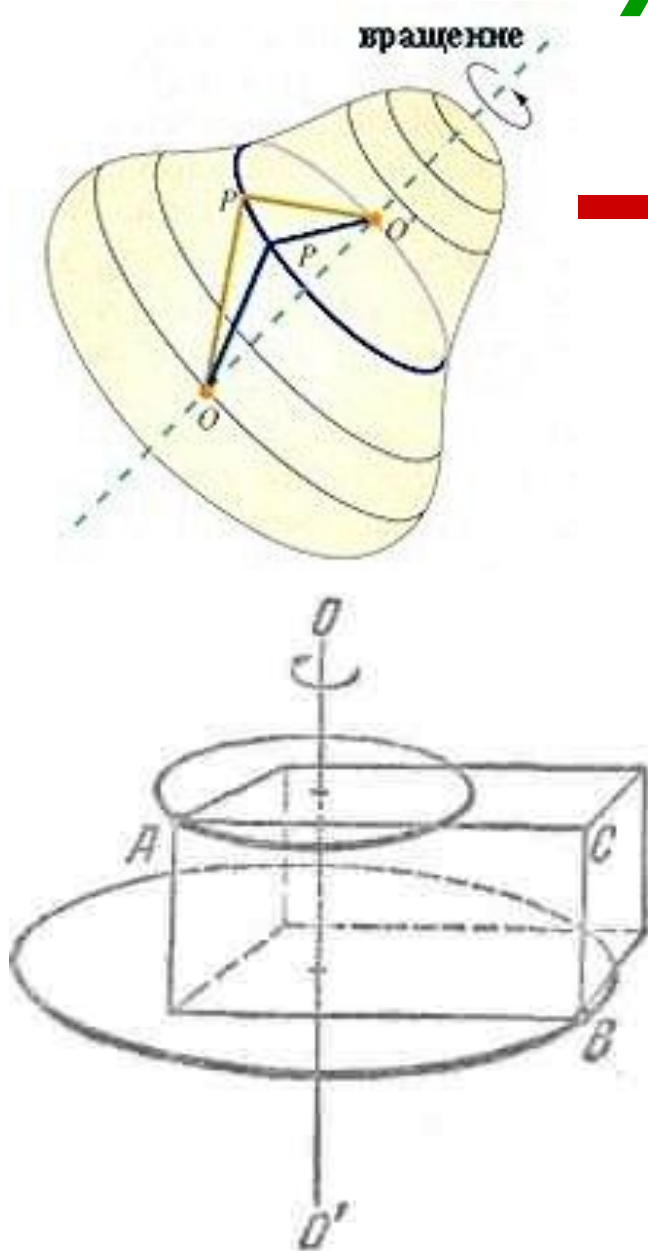


6. ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Поступательным называется такое движение, при котором любая прямая, связанная с движущимся телом, остается при движении параллельной самой себе.



7. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ



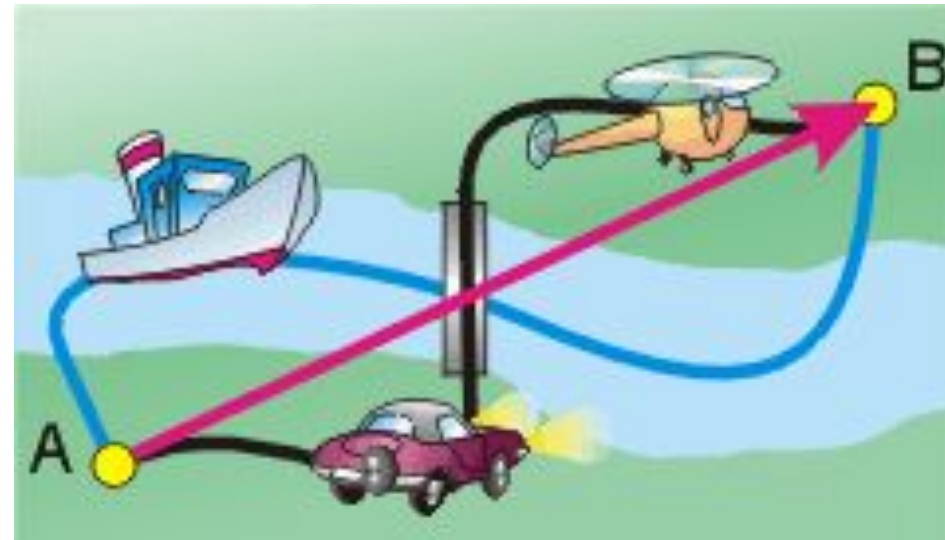
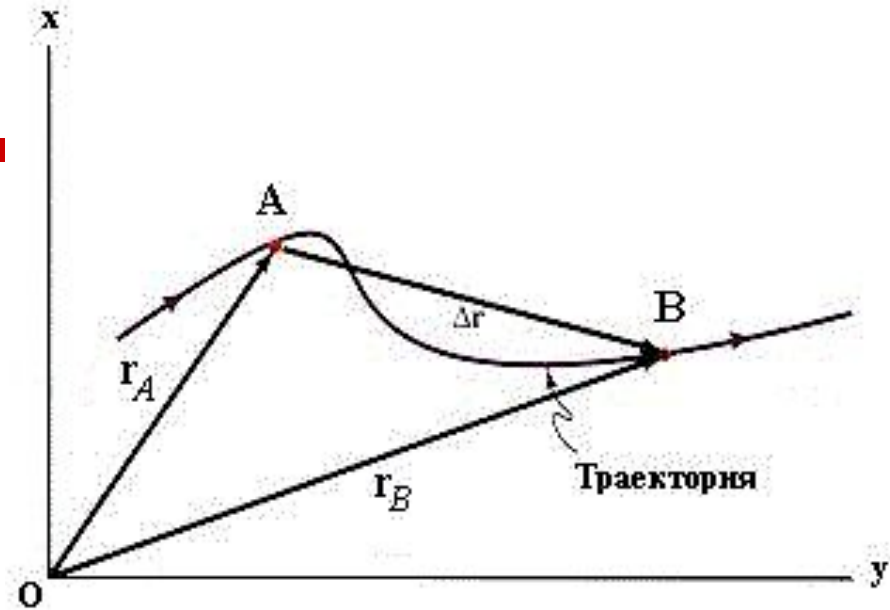
Вращательным называется движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой осью вращения.

8. ТРАЕКТОРИЯ. ПУТЬ. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

Траектория – линия, описываемая частицей при движении.

Путь – длина траектории.

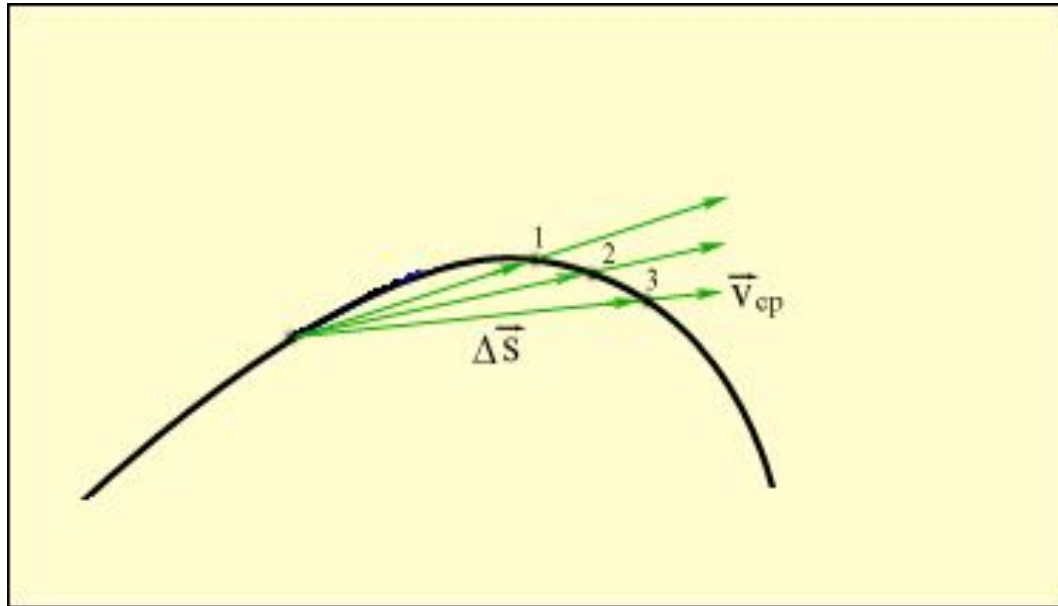
Перемещение – направленный отрезок, соединяющий начальную точку траектории с конечной.



§ 2. СКОРОСТЬ



1. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ. СРЕДНЕПУТЕВАЯ СКОРОСТЬ



$$\vec{V}_c = \frac{\vec{S}}{\Delta t};$$

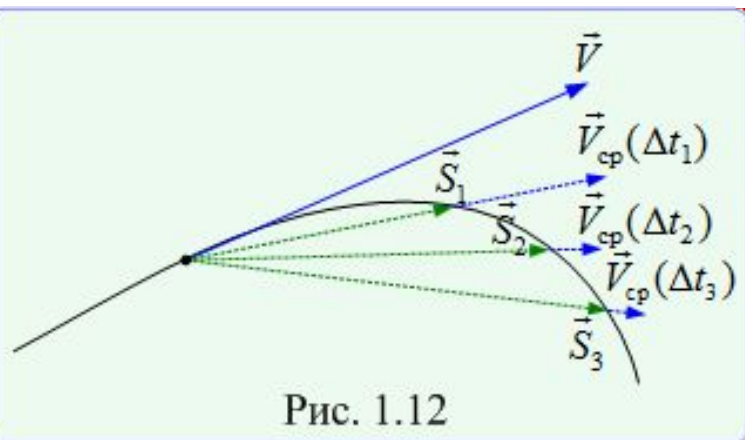
$$|\vec{V}_c| = \frac{|\vec{S}|}{\Delta t};$$

$$V_c = \frac{l}{t};$$

$$l \neq |\vec{S}| \Rightarrow V_c \neq |\vec{V}_c|$$

Средняя скорость – это скорость такого равномерного движения, при котором за то же время совершается то же перемещение (пройден тот же путь).

2. МГНОВЕННАЯ СКОРОСТЬ

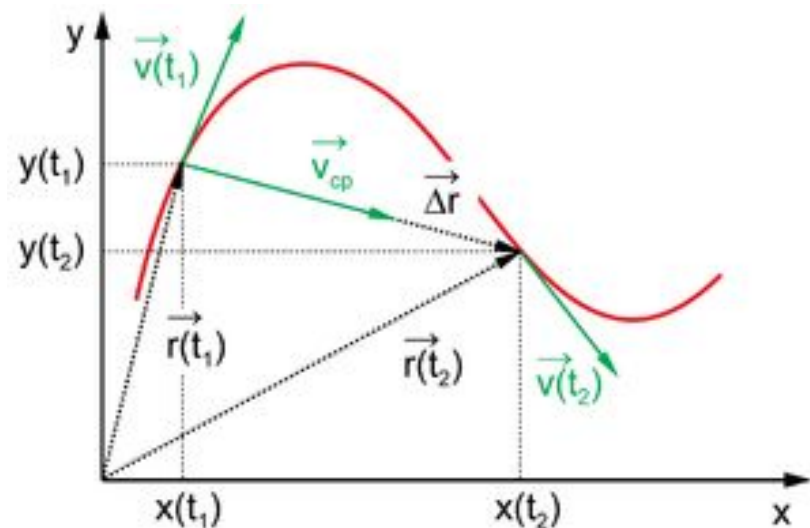


$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} V_c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

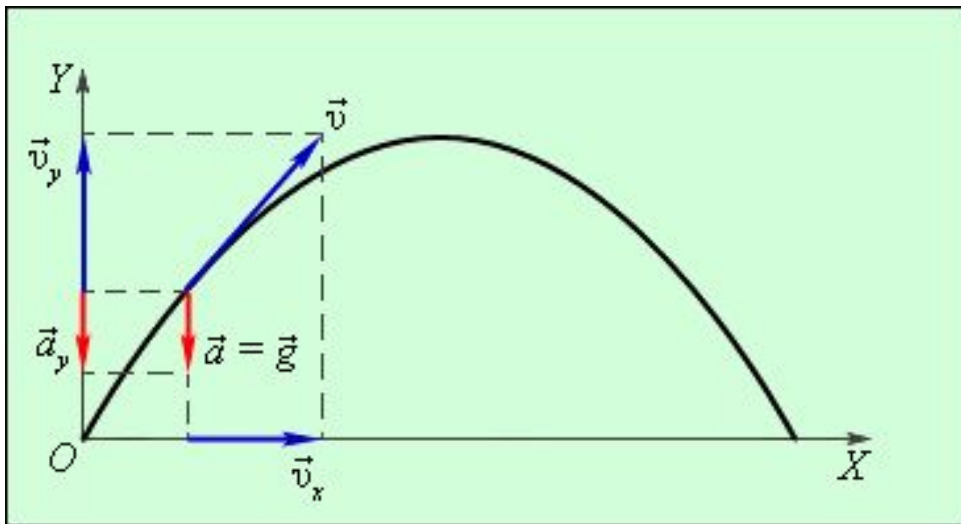
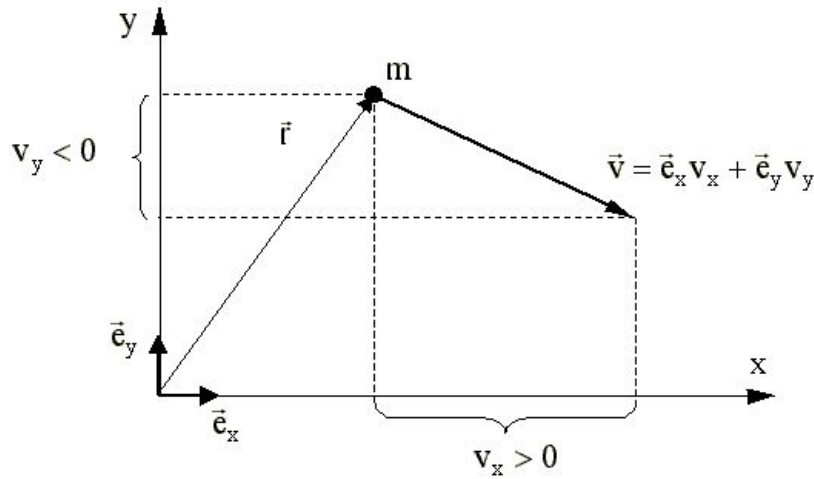
$$\Delta S = r(t) - r_0 = \Delta r \Rightarrow$$

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} = \dot{r}$$

Мгновенная скорость – это производная радиус-вектора.



3. КОМПОНЕНТЫ И ПРОЕКЦИИ СКОРОСТИ



$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k};$$

$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k};$$

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x};$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y};$$

$$V_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}.$$

Проекция скорости – это производная координаты.

4. МОДУЛЬ СКОРОСТИ

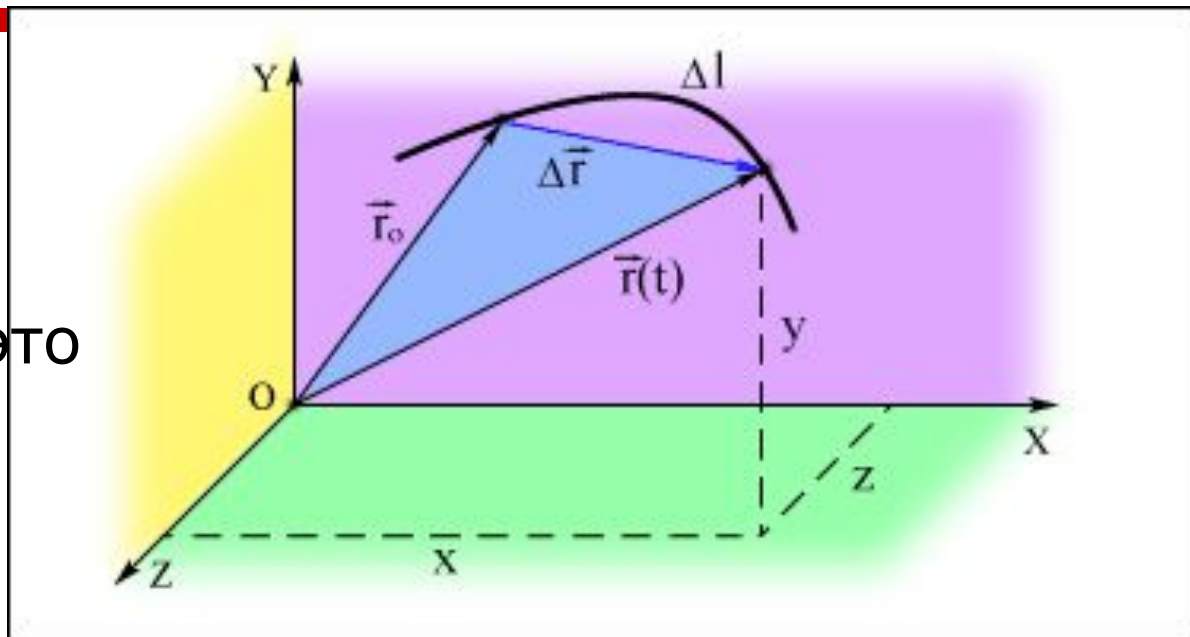
$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{dl}{dt} = \dot{l};$$

Модуль скорости – это производная пути.

Модуль скорости

можно по теореме Пифагора выразить через проекции:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \Rightarrow V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}.$$



5. ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ

Закон движения – это уравнение, определяющее положение тела в пространстве в любой момент времени.

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{S}(t);$$

$$d\vec{S} = \vec{V}dt \Rightarrow \vec{S} = \int_0^t \vec{V} dt.$$

$$x(t) = x_0 + S_x(t),$$

$$y(t) = y_0 + S_y(t),$$

$$z(t) = z_0 + S_z(t).$$

$$dS_x = V_x dt \Rightarrow S_x = \int_0^t V_x dt \dots$$

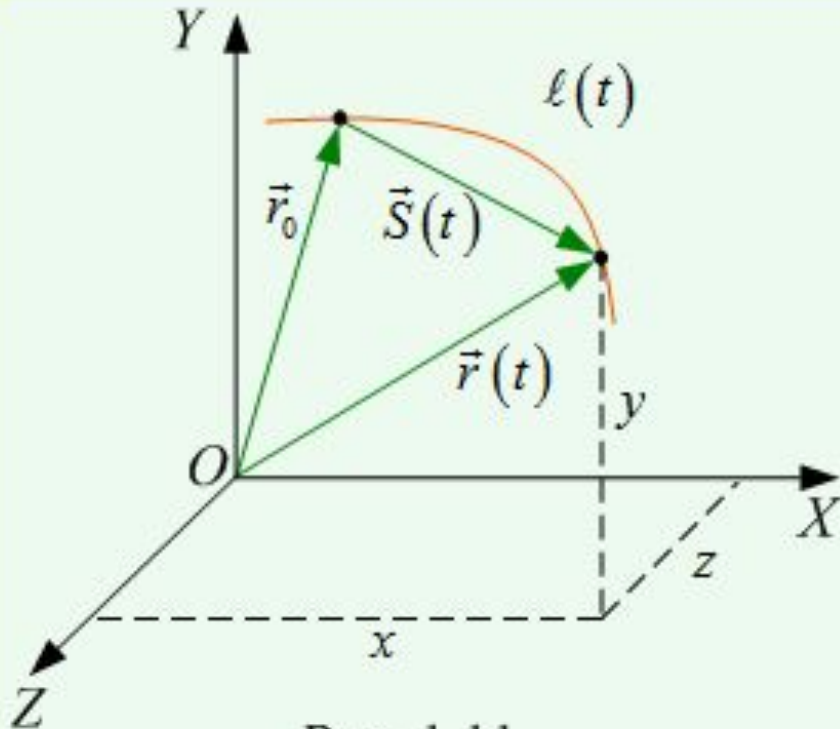
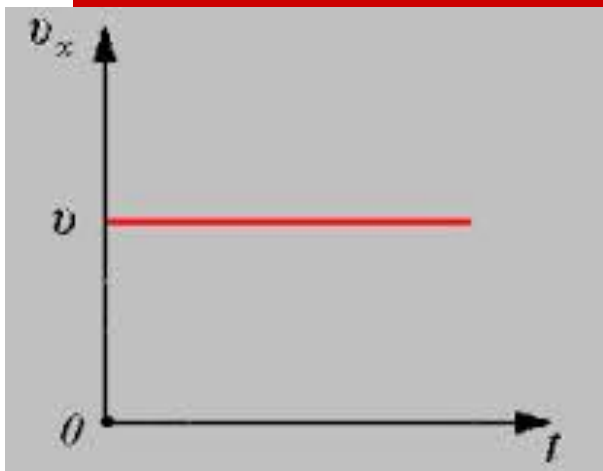


Рис. 1.11

6. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

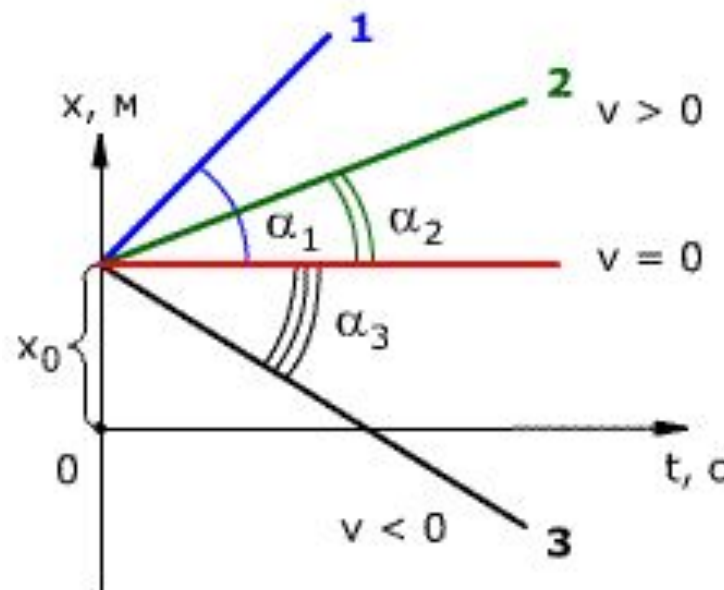


Прямолинейное равномерное движение – это такое движение, при котором скорость тела постоянна по величине и направлению: $V_x = const.$

$$S_x = V_x \cdot t;$$

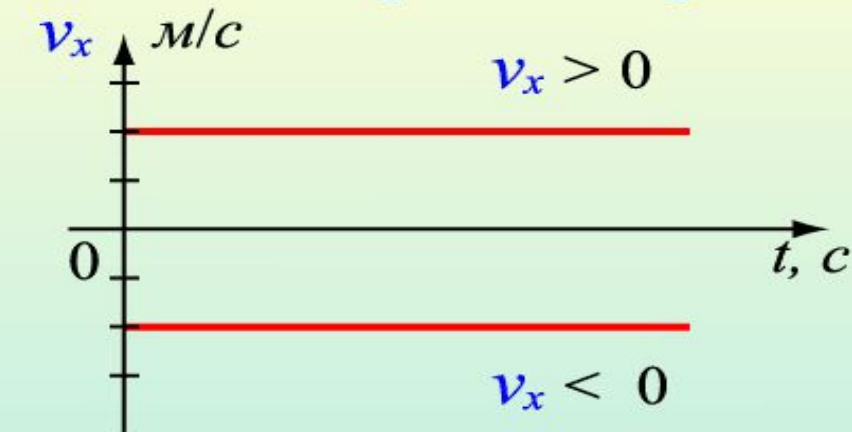
$$x(t) = x_0 + S_x(t);$$

$$x(t) = x_0 + V_x \cdot t.$$



7. ГРАФИКИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ (I)

Графическое представление равномерного движения



$$v_x = \text{const}$$

Путь численно равен площади прямоугольника



$$S = v_x \cdot t$$

7. ГРАФИКИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ (II)

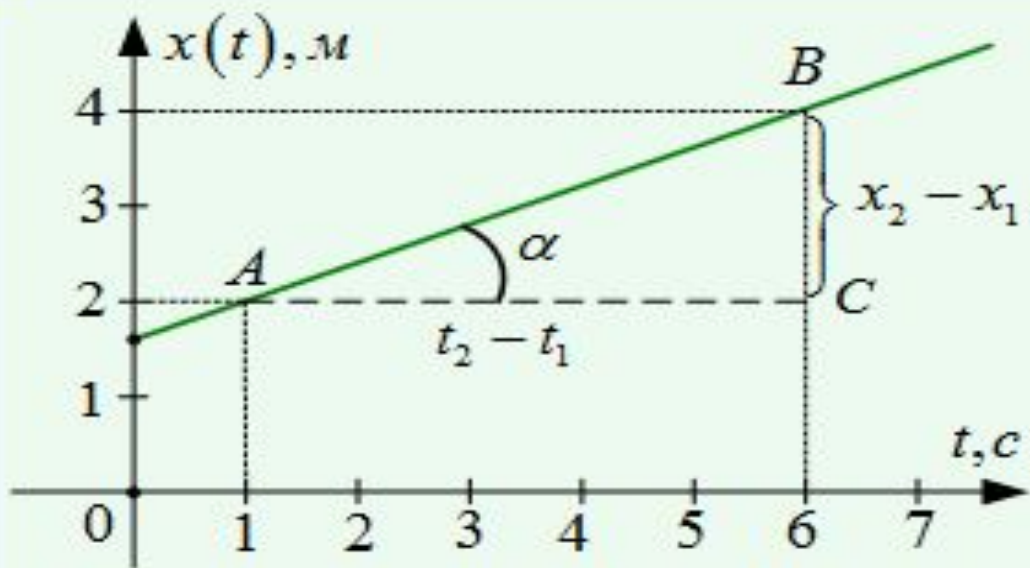


Рис. 2.1

$$V_x = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Кусочно-непрерывное движение

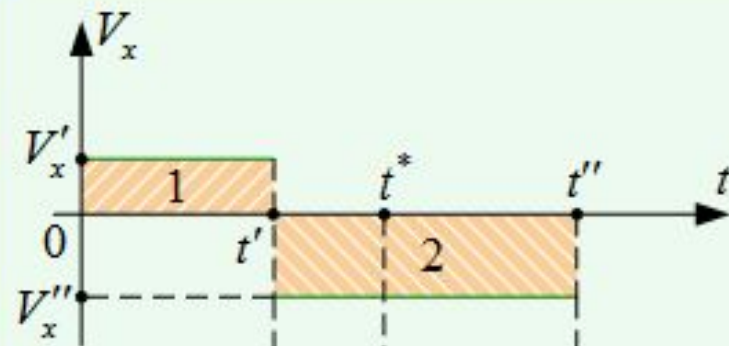


Рис. 2.3а

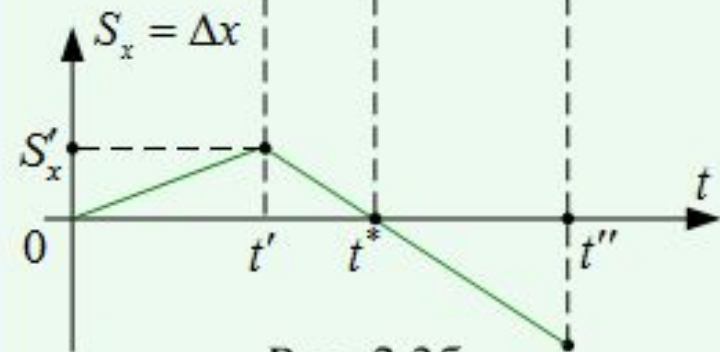


Рис. 2.3б

8. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$$

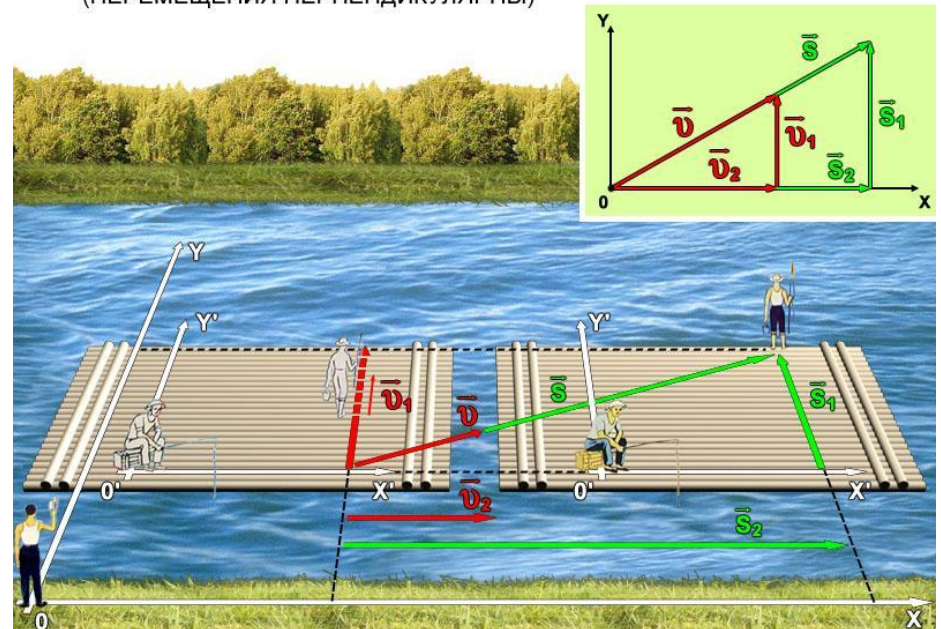
Скорость тела относительно неподвижной системы отсчёта равна сумме скорости тела относительно движущейся системы отсчёта и скорости движущейся системы относительно неподвижной.

$$V_x = V_{1x} + V_{2x}$$

$$V_y = V_{1y} + V_{2y}$$

$$V_z = V_{1z} + V_{2z}$$

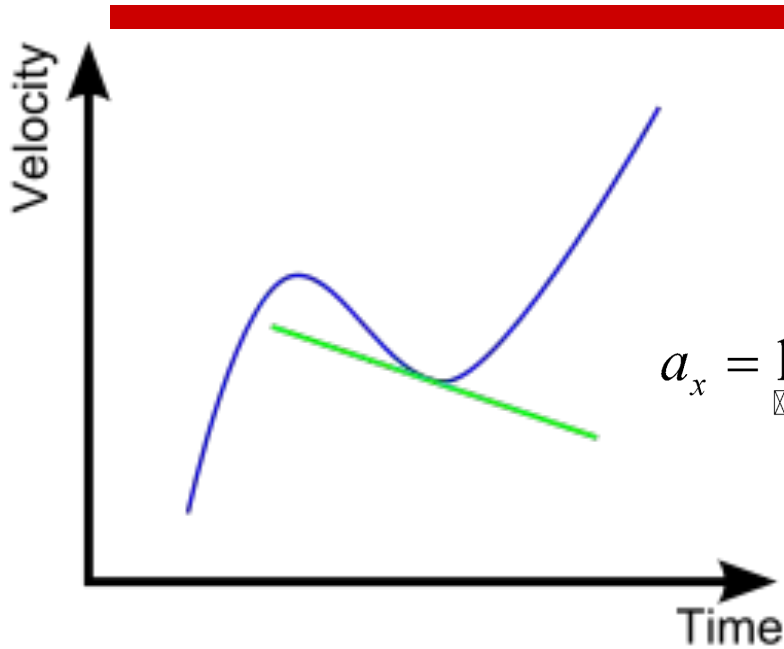
ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЙ
(ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫ)



§3. УСКОРЕНИЕ



1. УСКОРЕНИЕ КАК ПРОИЗВОДНАЯ



$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} = \dot{V} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dr}{dt} \right) = \frac{d^2 r}{dt^2} = \ddot{r}$$

$$a_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V_x}{\Delta t} = \frac{dV_x}{dt} = \dot{V}_x = \frac{d}{dt} \left(\frac{dr_x}{dt} \right) = \frac{d^2 r_x}{dt^2} = \ddot{r}_x = \ddot{x}$$

$$a = |a| = \left| \frac{dV}{dt} \right| = |\dot{V}| = \left| \frac{d^2 r}{dt^2} \right| = |\ddot{r}|$$

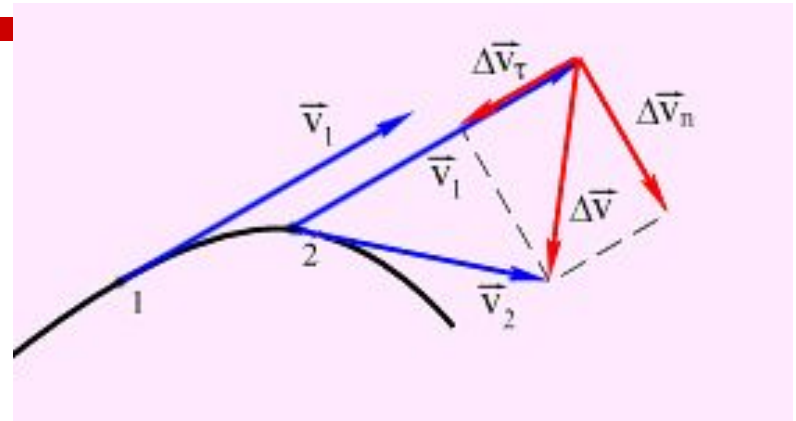
$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2};$$

$$a = \sqrt{\ddot{r}_x^2 + \ddot{r}_y^2 + \ddot{r}_z^2} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2}.$$

$$a_x = \dot{V}_x = \ddot{r}_x = \ddot{x}; \quad a_y = \dot{V}_y = \ddot{r}_y = \ddot{y}; \quad a_z = \dot{V}_z = \ddot{r}_z = \ddot{z}.$$

2. ЕСТЕСТВЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ УСКОРЕНИЯ

$$\begin{aligned} V &= V\tau; & n &= \tau = 1; \\ n &\perp \tau; & \vec{V} &= \vec{V}_\tau + \vec{V}_n; \\ \vec{V} &= V_\tau \tau + V_n n; \end{aligned}$$



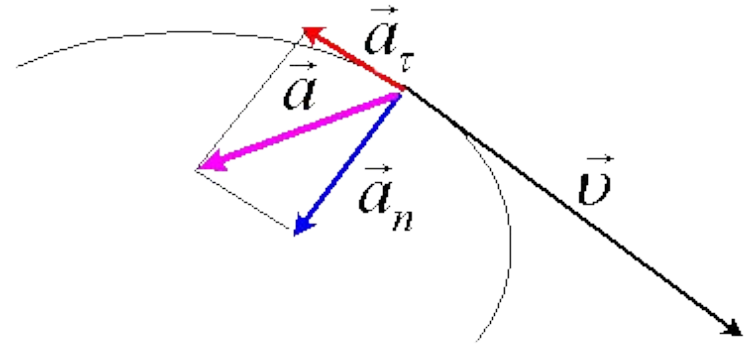
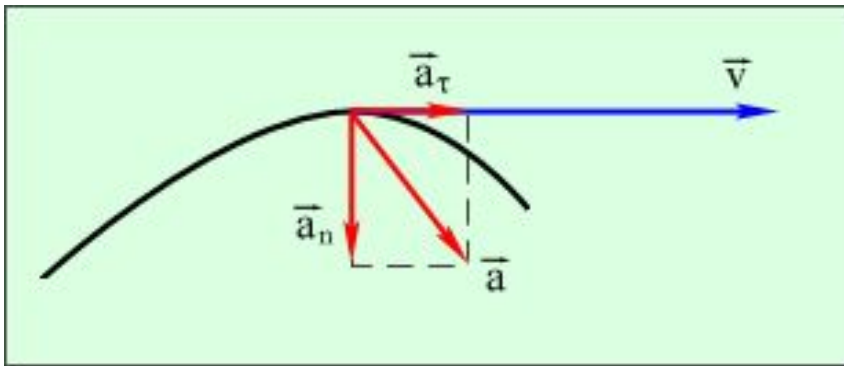
$$\vec{a} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\vec{V}}{t} = \lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{V_\tau}{t} \tau \right) + \lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{V_n}{t} n \right) \Rightarrow$$

$$\vec{a} = \tau \lim_{t \rightarrow 0} \frac{V_\tau}{t} + n \lim_{t \rightarrow 0} \frac{V_n}{t} = a_\tau + a_n;$$

$$\vec{a} = \frac{d}{dt} (V\tau) = \tau \frac{dV}{dt} + V \frac{d\tau}{dt} = a_\tau + a_n;$$

3. ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

Тангенциальное ускорение характеризует изменение скорости по величине.



$$a_\tau > 0;$$

$$a_\tau < 0;$$

$$\overset{\boxminus}{a}_\tau = a_\tau \overset{\boxminus}{\tau}; \quad a_\tau = \frac{dV}{dt} = \dot{V}; \quad |a_\tau| = \left| \frac{dV}{dt} \right| = |\dot{V}|;$$

4. НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

Нормальное ускорение характеризует изменение скорости по направлению.

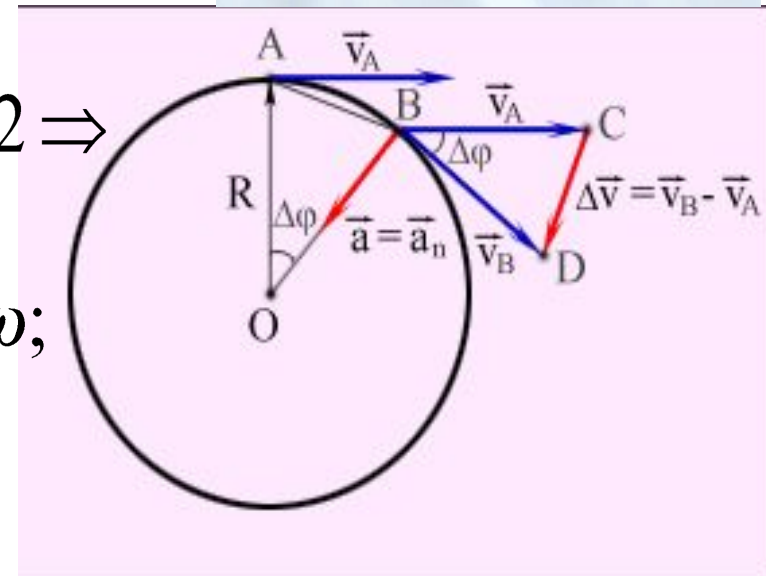
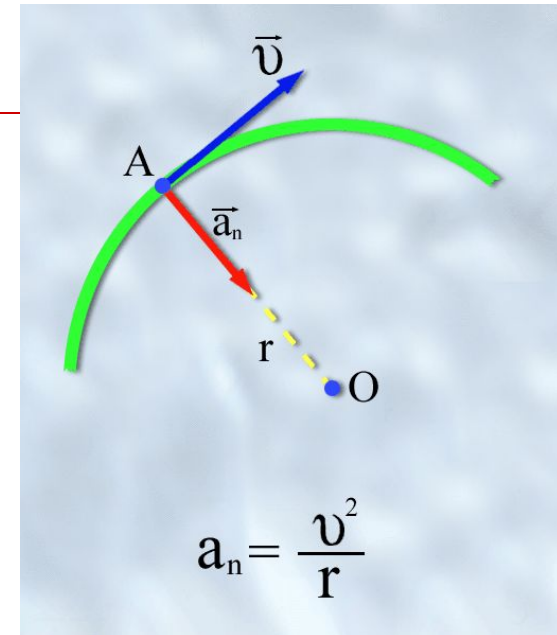
$$V = const \Rightarrow \left| \Delta \vec{V} \right| = 2V \sin(\Delta \varphi / 2);$$

$$a_n = a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{2V}{\Delta t} \sin\left(\frac{\Delta \varphi}{2}\right) \right];$$

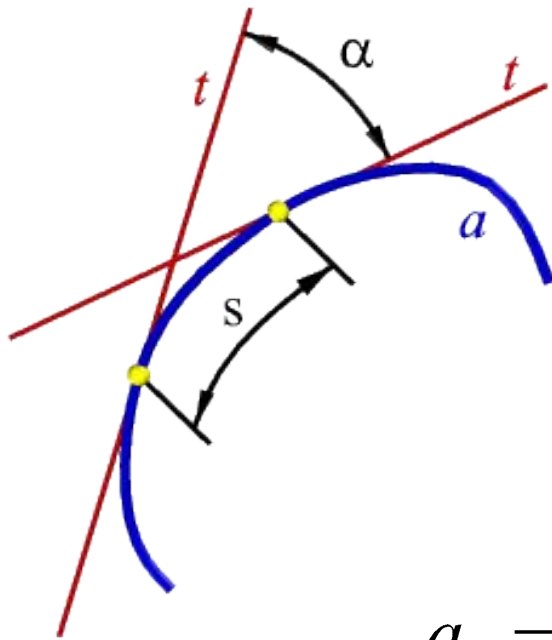
$$\Delta t \rightarrow 0 \Rightarrow \Delta \varphi \rightarrow 0 \Rightarrow \sin(\Delta \varphi / 2) \rightarrow \Delta \varphi / 2 \Rightarrow$$

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(V \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right) = V \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right) = V \omega;$$

$$\Delta \vec{V} \perp \vec{V} \Rightarrow \vec{a}_n \perp \vec{V};$$



5. КРИВИЗНА ТРАЕКТОРИИ



Кривизна траектории
количественная характеристика
кривой линии.

$$C = \frac{1}{R} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta S} = \frac{d\varphi}{dS};$$

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(V \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right) = V \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta S} \frac{\Delta S}{\Delta t} \right) \Rightarrow$$

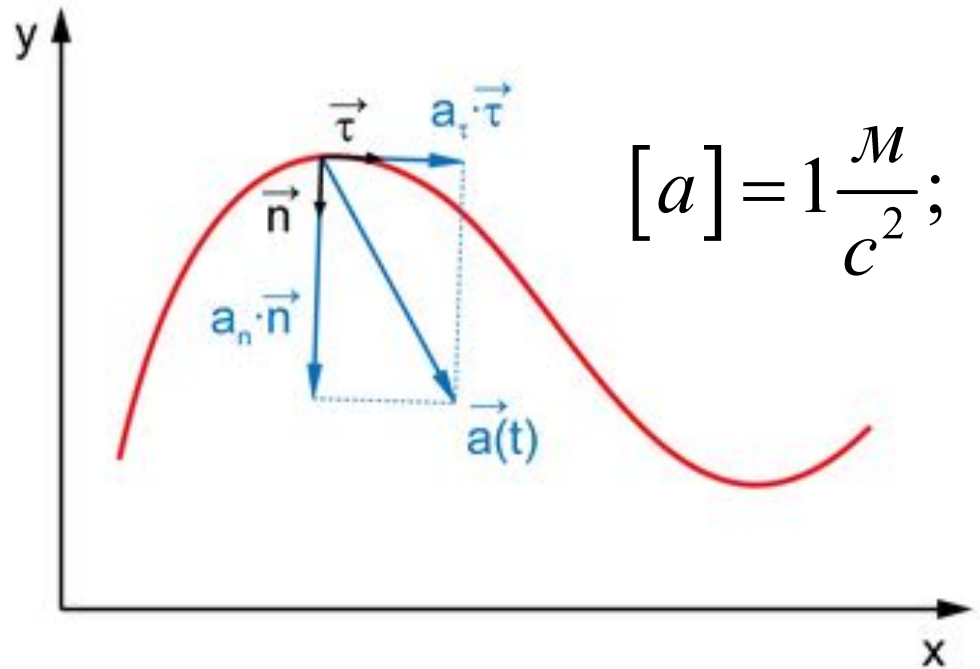
$$a_n = V \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta S} \right) \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta S}{\Delta t} \right) = \frac{V^2}{R}.$$

6. ПОЛНОЕ УСКОРЕНИЕ

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n = \dot{V}\vec{\tau} + V\dot{\vec{n}};$$

$$\vec{a}_n = V\omega\vec{n} = V\dot{\vec{n}} \Rightarrow$$

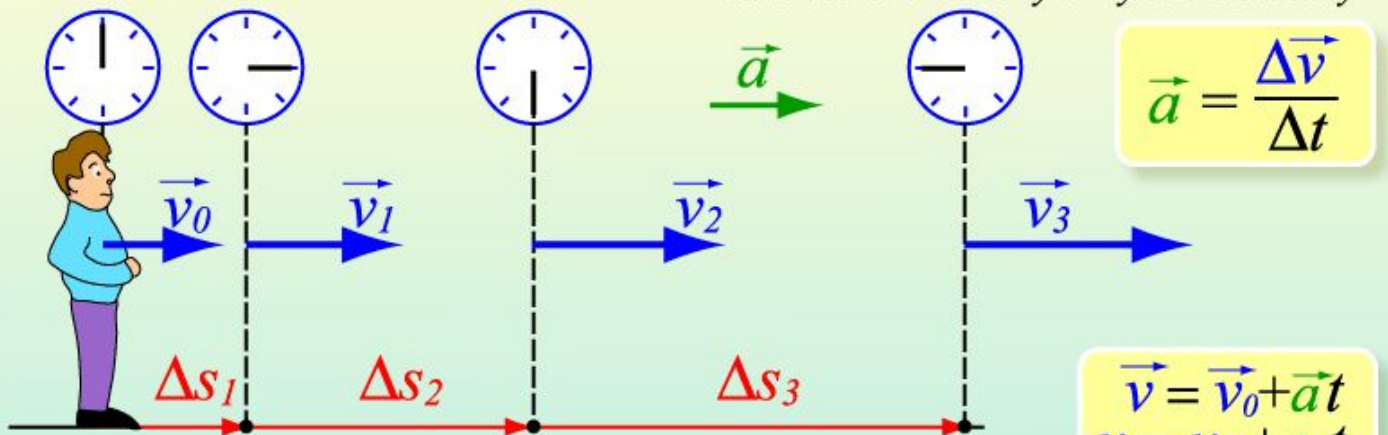
$$\vec{\tau} = \omega\vec{n};$$



$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{V^2 + V^2\omega^2} = \sqrt{V^2 + V^4/R^2}.$$

7. РАВНОПЕРЕМЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

Равнопеременное движение



$$V_x = V_{0x} + a_x t;$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

Равнопеременное движение — движение с постоянным ускорением

$$S_x = V_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$\Delta \vec{v}_1 = \Delta \vec{v}_2 = \Delta \vec{v}_3$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3$$

$$\vec{a}_1 = \vec{a}_2 = \vec{a}_3$$

$$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} \quad a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} \quad a_3 = \frac{\Delta v_3}{\Delta t_3}$$

$$\vec{s} = \vec{v}t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$$

$$S_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$V_x^2 - V_{0x}^2 = 2a_x S_x.$$

8. ГРАФИКИ РАВНОПЕРЕМЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

$$V_x = V_0 - at;$$

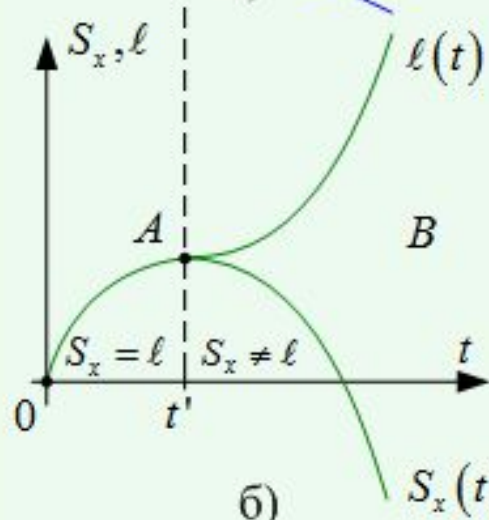
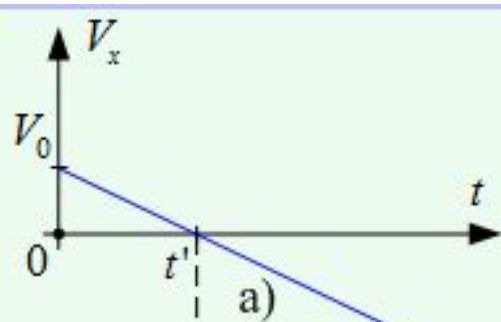


Рис. 3.10

$$S_x = V_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$S_x = \frac{a_x}{2} \left(t^2 + 2 \frac{V_{0x}}{a_x} t \right);$$

$$S_x = \frac{a_x}{2} \left(t^2 + 2 \frac{V_{0x}}{a_x} t + \frac{V_{0x}^2}{a_x^2} - \frac{V_{0x}^2}{a_x^2} \right);$$

$$S_x = \frac{a_x}{2} \left(t^2 + 2 \frac{V_{0x}}{a_x} t + \frac{V_{0x}^2}{a_x^2} \right) - \frac{V_{0x}^2}{2a_x};$$

$$S_x = \frac{a_x}{2} \left(t + \frac{V_{0x}}{a_x} \right)^2 - \frac{V_{0x}^2}{2a_x}.$$

$$V_x = V_0 + at;$$

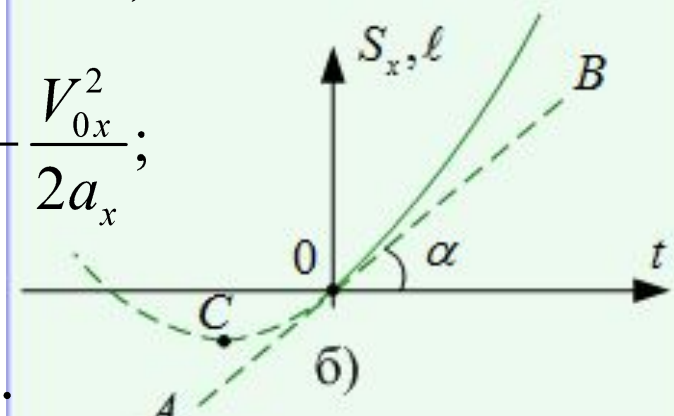
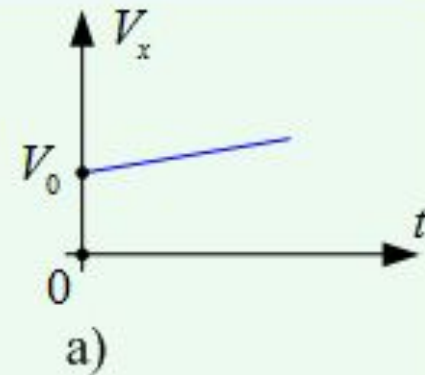
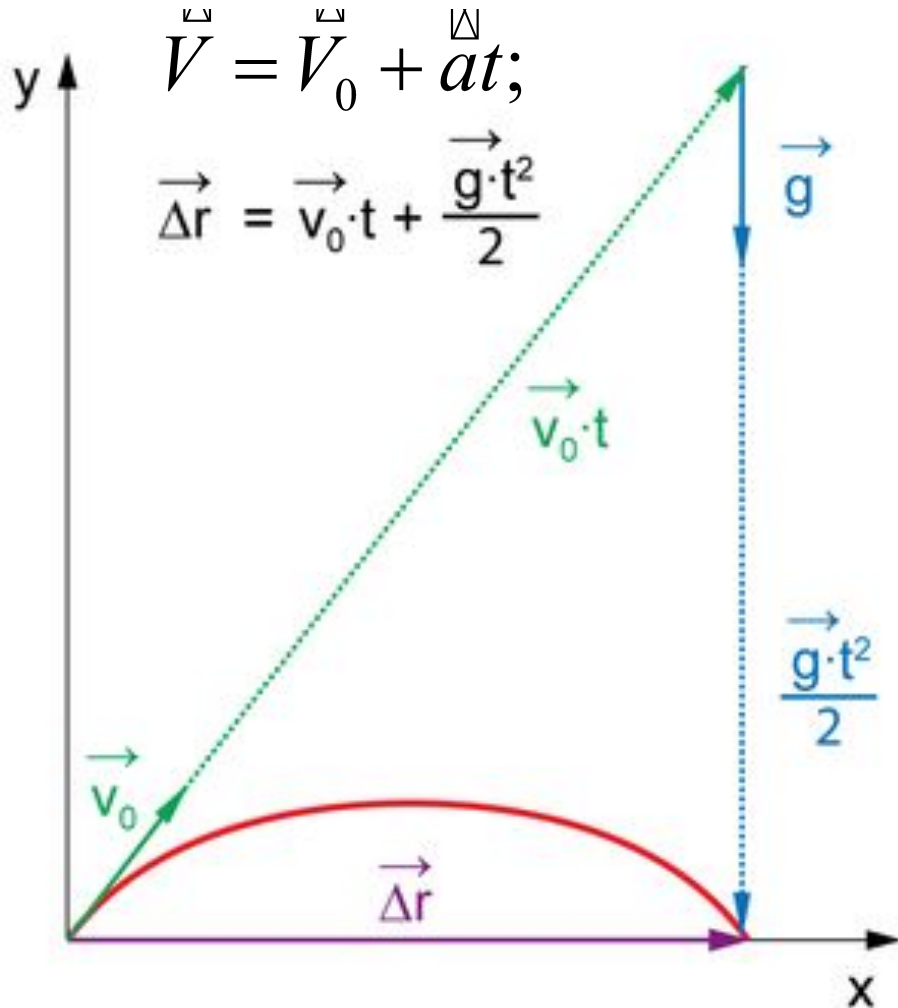


Рис. 3.9

9. СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ

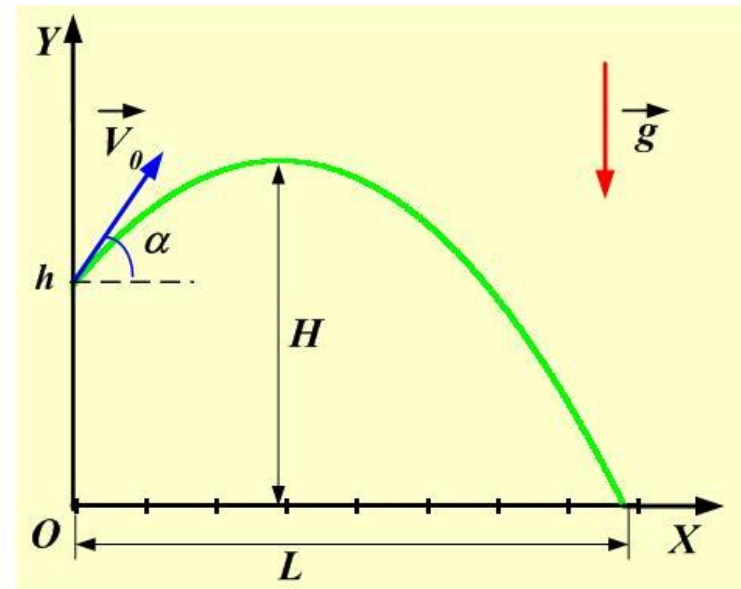
$$V_x = V_0 \cos \alpha;$$



$$V_y = V_0 \sin \alpha - gt;$$

$$x = x_0 + V_0 \cos \alpha \cdot t;$$

$$y = y_0 + V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}.$$

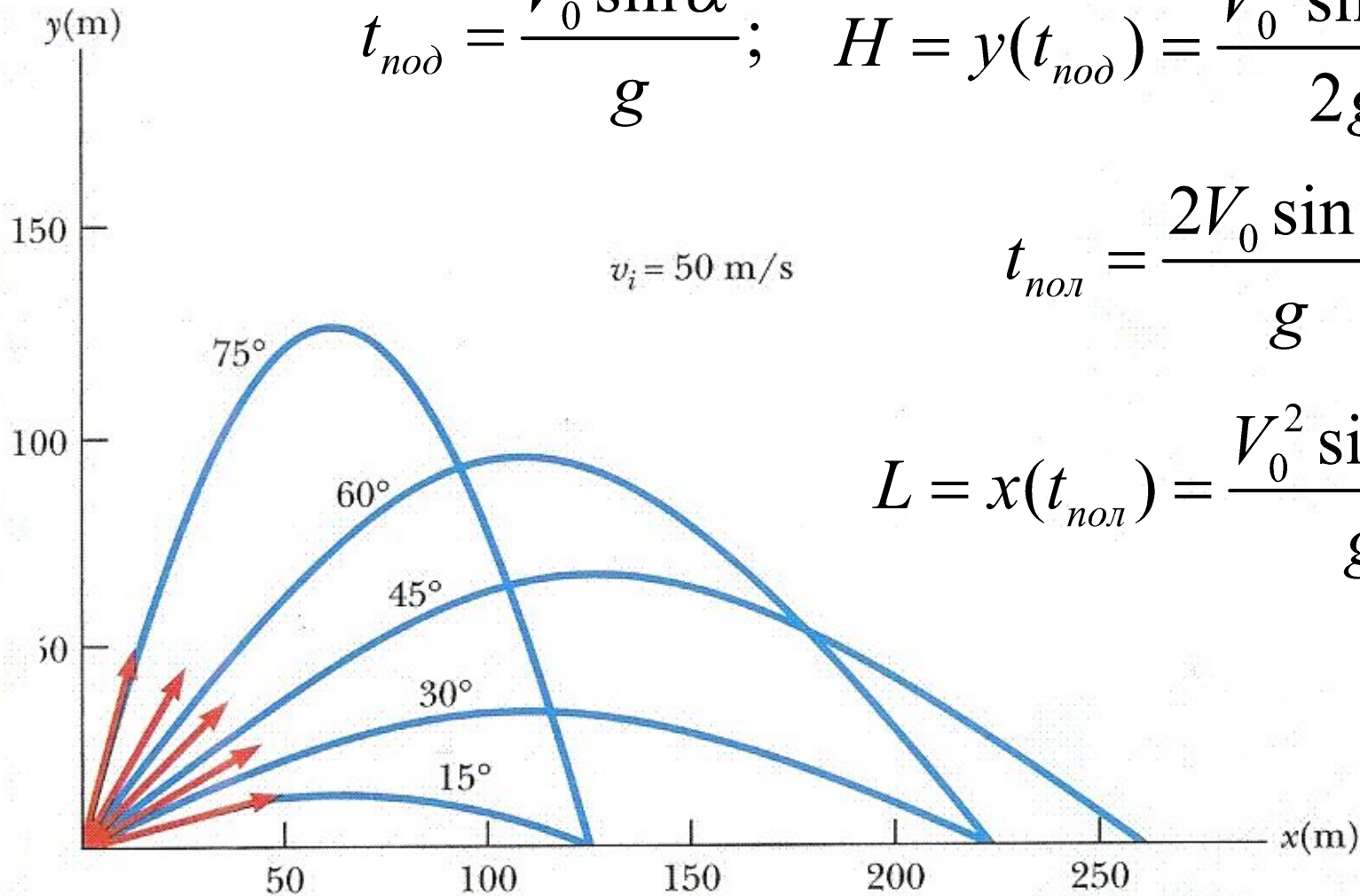


10. ДАЛЬНОСТЬ И ВЫСОТА ПОЛЕТА

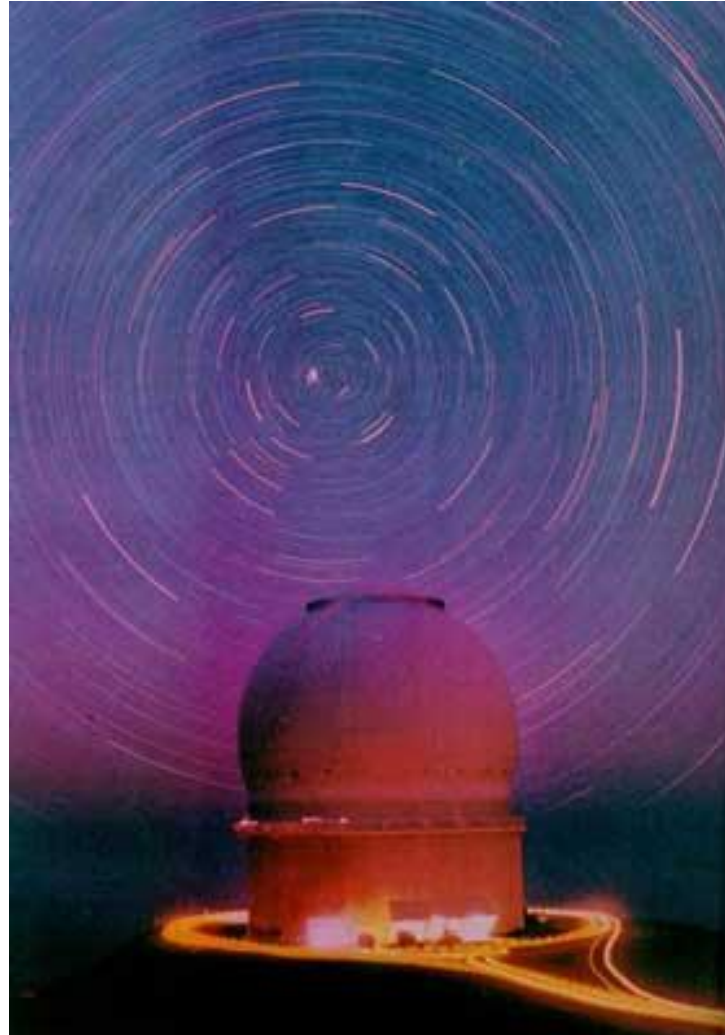
$$t_{\text{под}} = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}; \quad H = y(t_{\text{под}}) = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

$$t_{\text{пол}} = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g};$$

$$L = x(t_{\text{пол}}) = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$



§4. КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ПО ОКРУЖНОСТИ



1. ПЕРИОД И ЧАСТОТА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

$$T = \frac{dt}{dN}; \quad T = \frac{2\pi R}{V};$$



$$v = \frac{dN}{dt} \Rightarrow v = \frac{1}{T};$$

$$[T] = 1c; \quad [v] = 1\mathcal{E}y^1 = 1 \quad ;$$

2. РАВНОМЕРНОЕ ВРАЩЕНИЕ

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T};$$

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

$$[\omega] = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

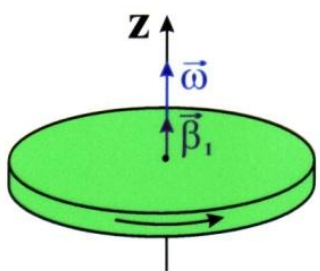


3. РАВНОПЕРЕМЕННОЕ ВРАЩЕНИЕ

Равнопеременное вращение

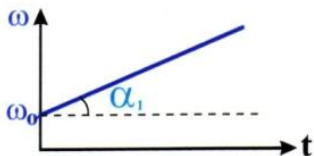
Угловое ускорение: $\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$

Равнопеременное вращение: $\vec{\beta} = \text{const}$



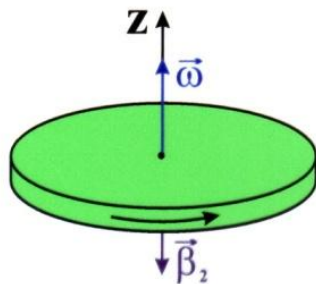
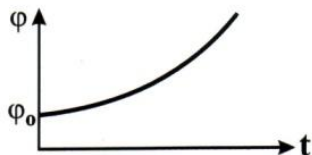
$\Delta\omega > 0$ $\vec{\beta}_1 \uparrow \uparrow \vec{\omega}$

$$\omega = \omega_0 + \beta_1 t$$



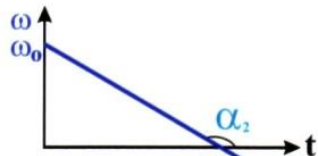
$\text{tg } \alpha_1 = \beta_1$
 $\text{tg } \alpha_2 = \beta_2$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\beta_1 t^2}{2}$$

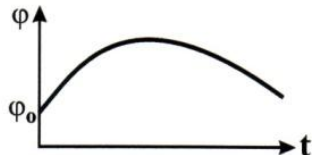


$\Delta\omega < 0$ $\vec{\beta}_2 \downarrow \downarrow \vec{\omega}$

$$\omega = \omega_0 - \beta_2 t$$



$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t - \frac{\beta_2 t^2}{2}$$



$$\beta = \varepsilon = \frac{d\omega}{dt};$$

$$\beta_z = \varepsilon_z = \frac{d\omega_z}{dt};$$

$$\beta = |\vec{\beta}| = |\beta_z|;$$

$$[\beta] = 1 \frac{\text{rad}}{c^2}.$$

4. УГЛОВАЯ И ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТИ

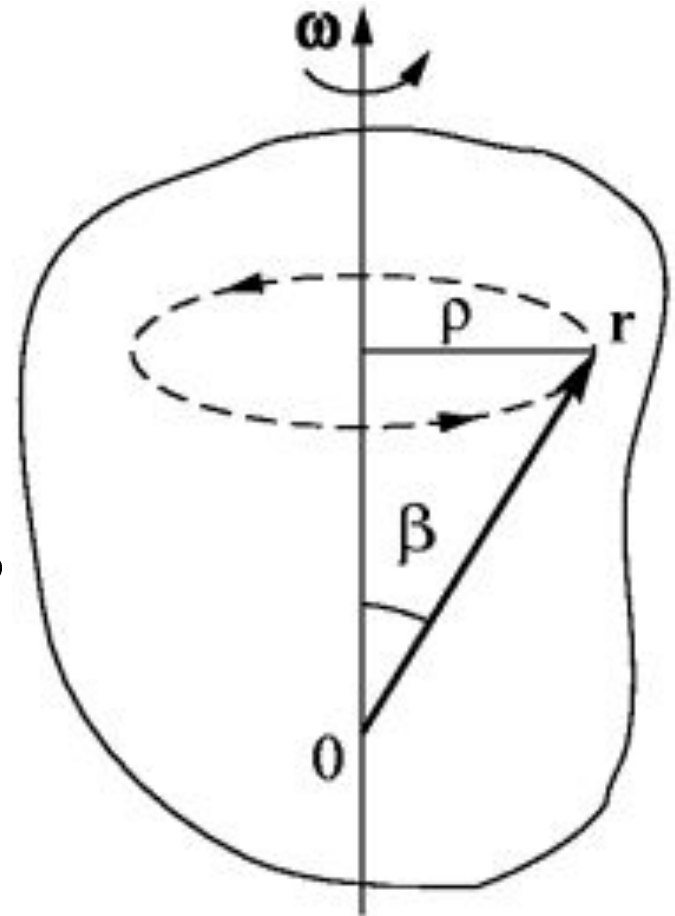
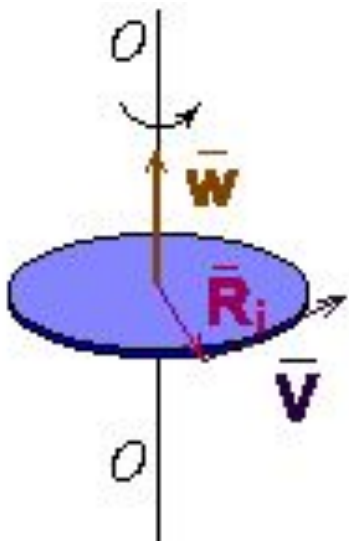
$$V = \frac{dl}{dt} = \frac{\rho d\varphi}{dt} = \rho\omega;$$

$$\rho = r \sin \beta \Rightarrow V = \omega r \sin \beta;$$

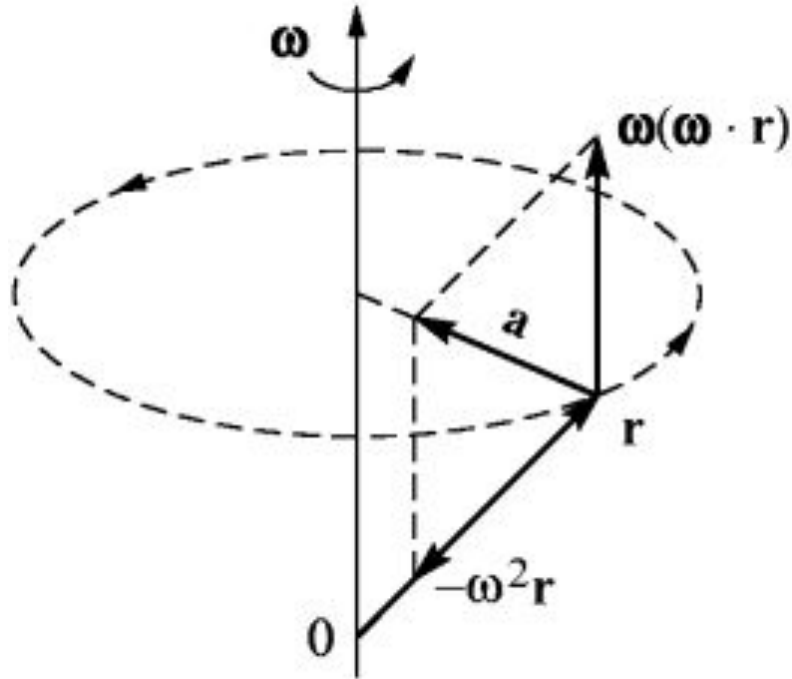
$$|\vec{\omega} \times \vec{r}| = \omega r \sin \beta;$$

$$\vec{V} \uparrow \uparrow [\vec{\omega} \times \vec{r}] \Rightarrow$$

$$\vec{V} = [\vec{\omega} \times \vec{r}];$$



5. УГЛОВОЕ И ЛИНЕЙНОЕ УСКОРЕНИЯ



$$a_n = V\omega = \omega R\omega = \omega^2 R;$$

$$a_\tau = \frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega_z R) \Rightarrow$$

$$a_\tau = R \frac{d\omega_z}{dt} = R\beta_z;$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt}[\vec{\omega} \times \vec{r}] \Rightarrow \vec{a} = \left[\frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r} \right] + \left[\vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt} \right] = [\vec{\beta} \times \vec{r}] + [\vec{\omega} \times \vec{V}];$$

$$\vec{a}_\tau = [\vec{\beta} \times \vec{r}]; \quad \vec{a}_n = [\vec{\omega} \times \vec{V}] = [\vec{\omega}[\vec{\omega} \cdot \vec{r}]] = \vec{\omega}(\vec{\omega} \cdot \vec{r}) - \vec{r}(\vec{\omega}^2);$$

Классификация движения в зависимости от тангенциальной и нормальной составляющих ускорения

$a_{\tau} = 0, a_n = 0$	прямолинейное равномерное движение
$a_{\tau} = a = const, a_n = 0$	прямолинейное равноускоренное движение
$a_{\tau} = f(t), a_n = 0$	прямолинейное движение с переменным ускорением;
$a_{\tau} = 0, a_n = const$	равномерное движение по окружности
$a_{\tau} = 0, a_n \neq 0$	равномерное криволинейное движение
$a_{\tau} = const, a_n \neq 0$	криволинейное равноускоренное движение
$a_{\tau} = f(t), a_n \neq 0$	криволинейное движение с переменным ускорением

Поступательное движение	Вращательное движение
<i>Равномерное</i>	
$S = v \cdot t$	$\varphi = \omega \cdot t$
$v = const$	$\omega = const$
$a = 0$	$\beta = 0$
<i>Равнопеременное</i>	
$S = v_0 \cdot t + at^2/2$	$\varphi = \omega_0 + \beta t^2/2$
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \beta t$
$a = const$	$\beta = const$
<i>Неравномерное</i>	
$S = f(t)$	$\varphi = f(t)$
$v = dS/dt$	$\omega = d\varphi/dt$
$a = dv/dt = d^2S/dt^2$	$\beta = d\omega/dt = d^2\varphi/dt^2$