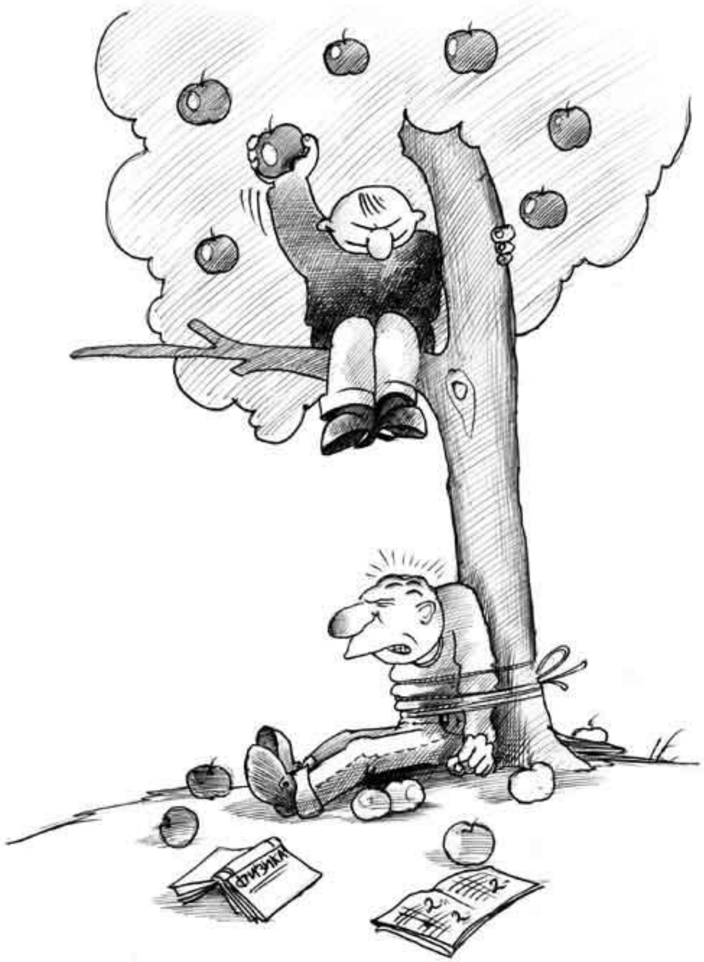
ЮЖНЫЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ



“Урок физики”

ФИЗИКА

доцент И.Б. Доценко
кафедра физики ИНЭП

Email: ibdocenko@sfedu.ru

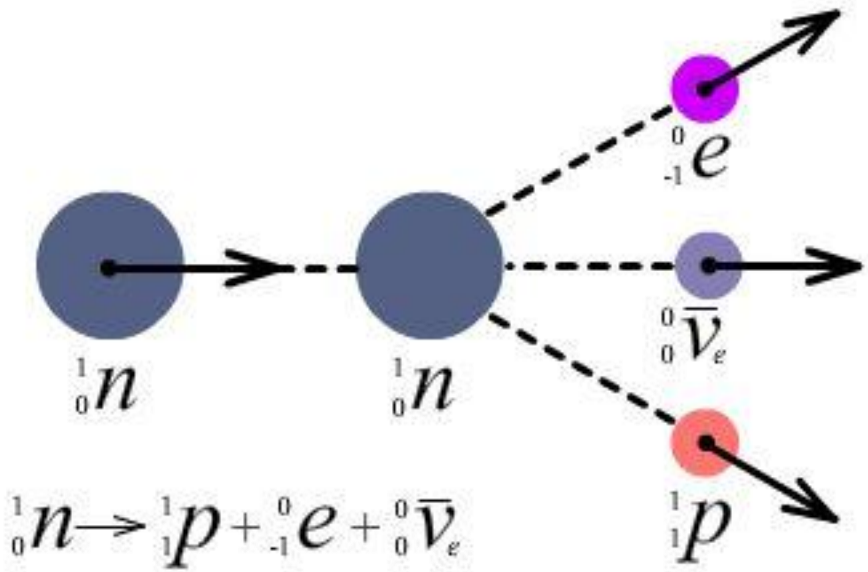
ЛИТЕРАТУРА

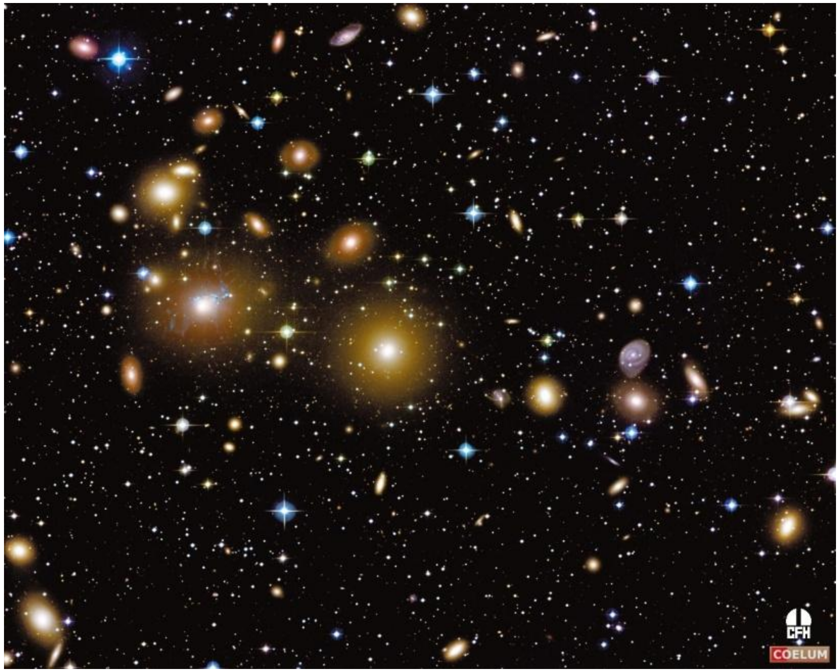
1. Савелььев И.В. Курс общей физики.
2. Уколов А.С. Лекции по общему курсу физики ч. 1-5. Заичкин Н.Н. ч. 6-7.
3. Трофимова Т.И. Курс физики.
4. Учебно-методическое пособие для выполнения индивидуального задания по дисциплине «Физика». №4956-1,2,3.
5. Иродов И.Е.; Сивухин Д.В.; Матвеев А.Н.; Фейнман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

ТЕМА I. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

§1. Основные понятия кинематики

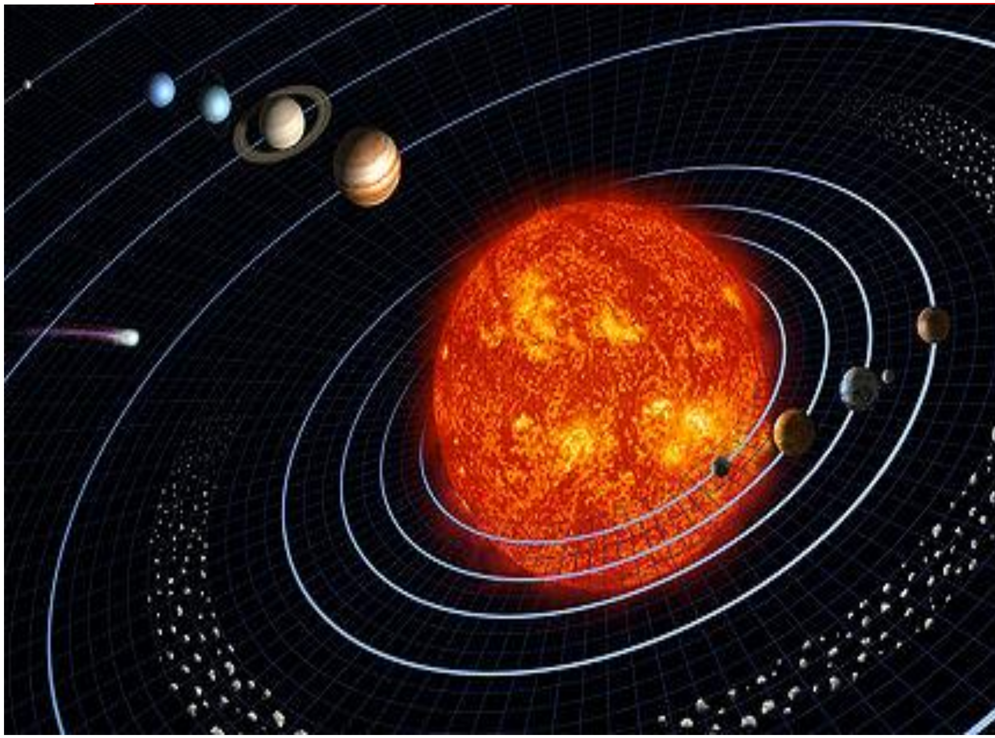
1.МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

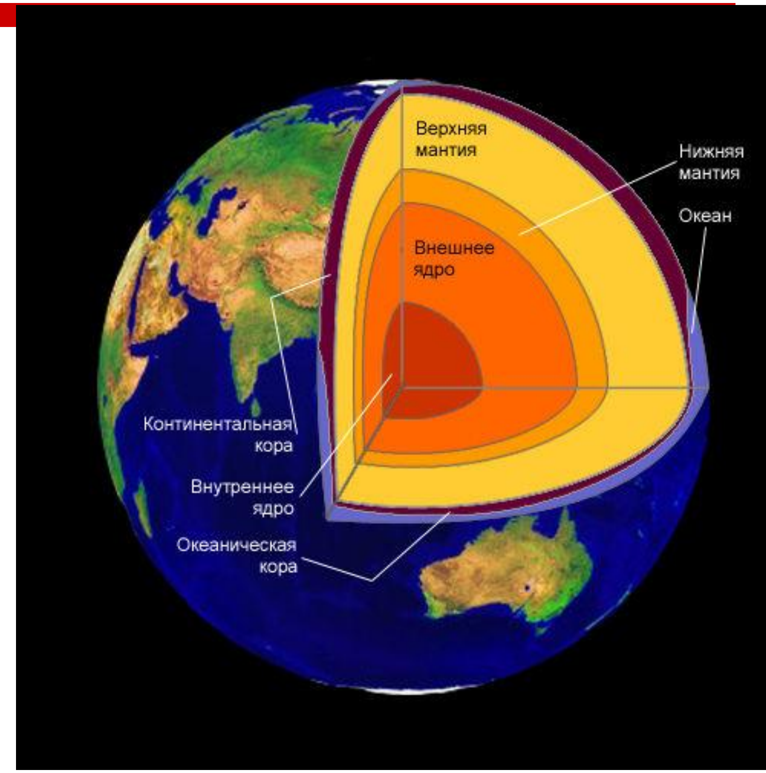




Механической системой называется любой объект (набор объектов), механическим движением которого мы интересуемся.

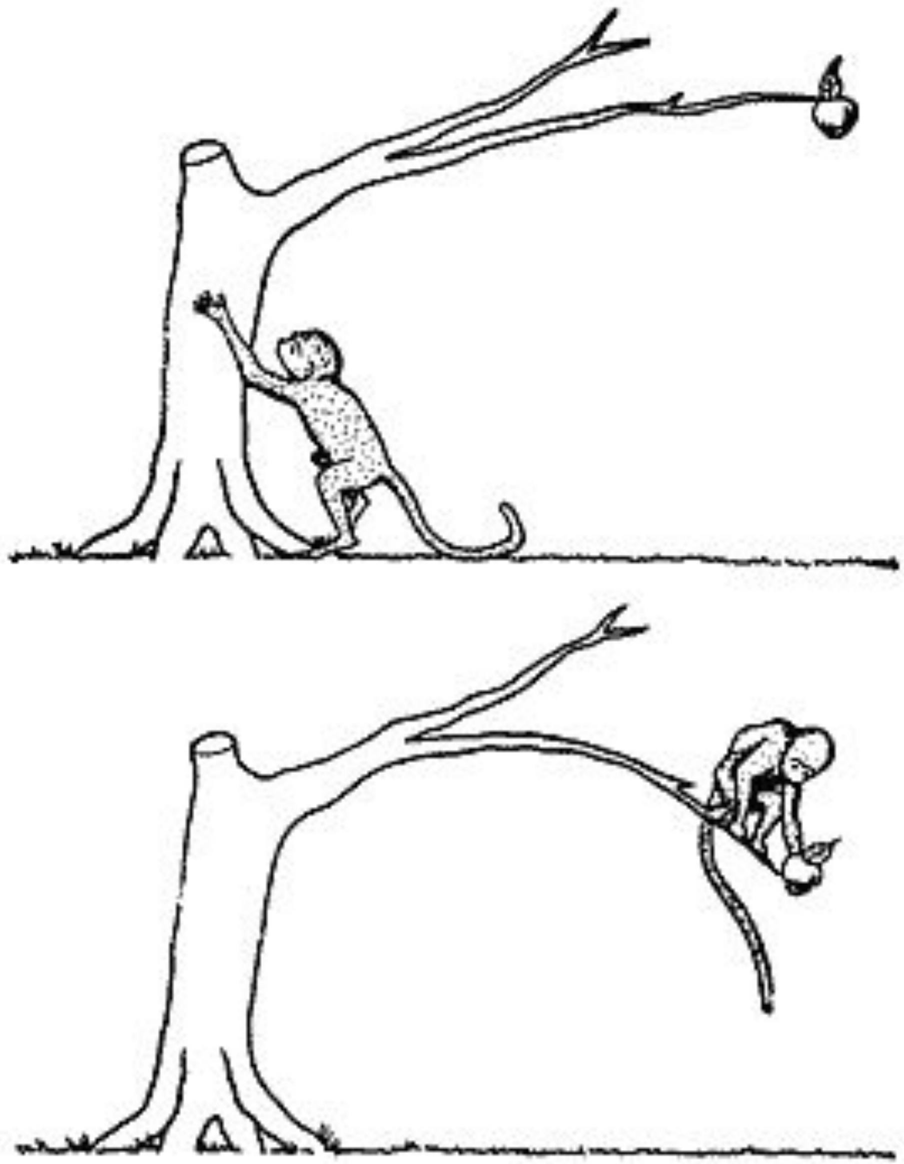
2. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА





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

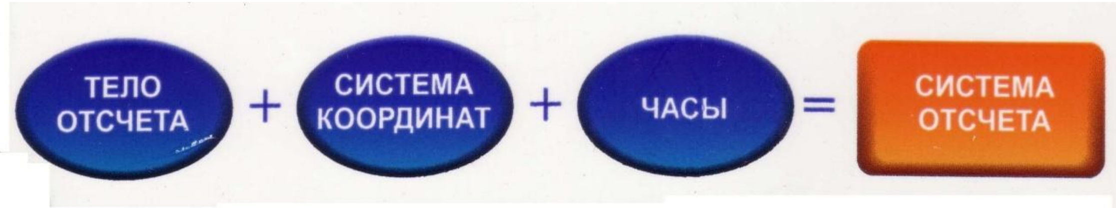
3. АБСОЛЮТНО ТВЕРДОЕ ТЕЛО



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

Абсолютно твёрдое тело – это система частиц, расстояния между которыми не изменяются.

4. СИСТЕМА ОТСЧЕТА



Система отсчета определяет положение частиц в пространстве и изменение этого положения с течением времени **(часы).**

Тело отсчёта считается условно неподвижным.

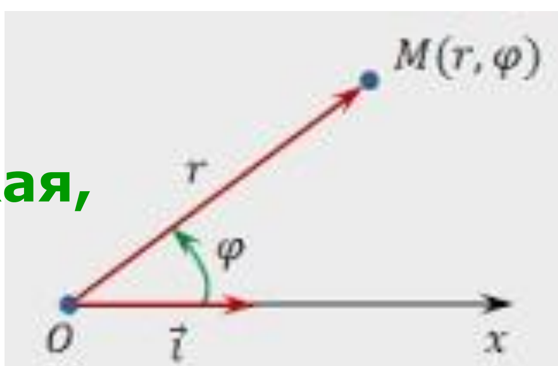
Система координат ″привязана″ к телу отсчёта.

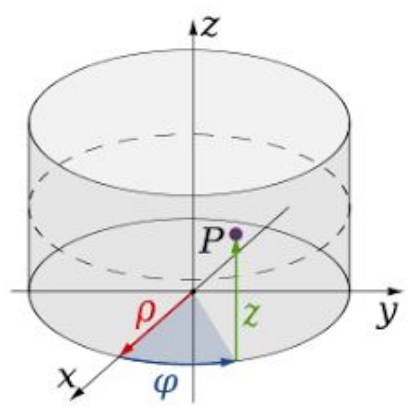
Выбор системы координат зависит от типа движения: **прямолинейного, плоского, объёмного;** и от симметрии движения:

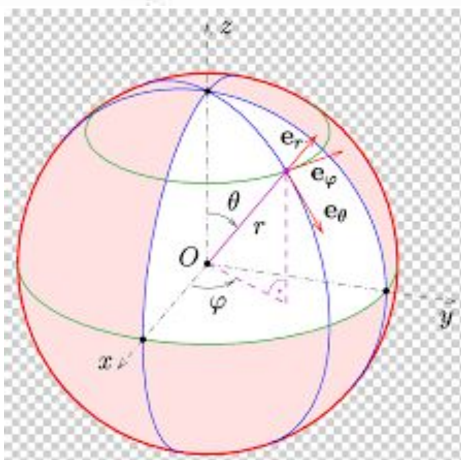
полярная,

цилиндрическая,

сферическая.

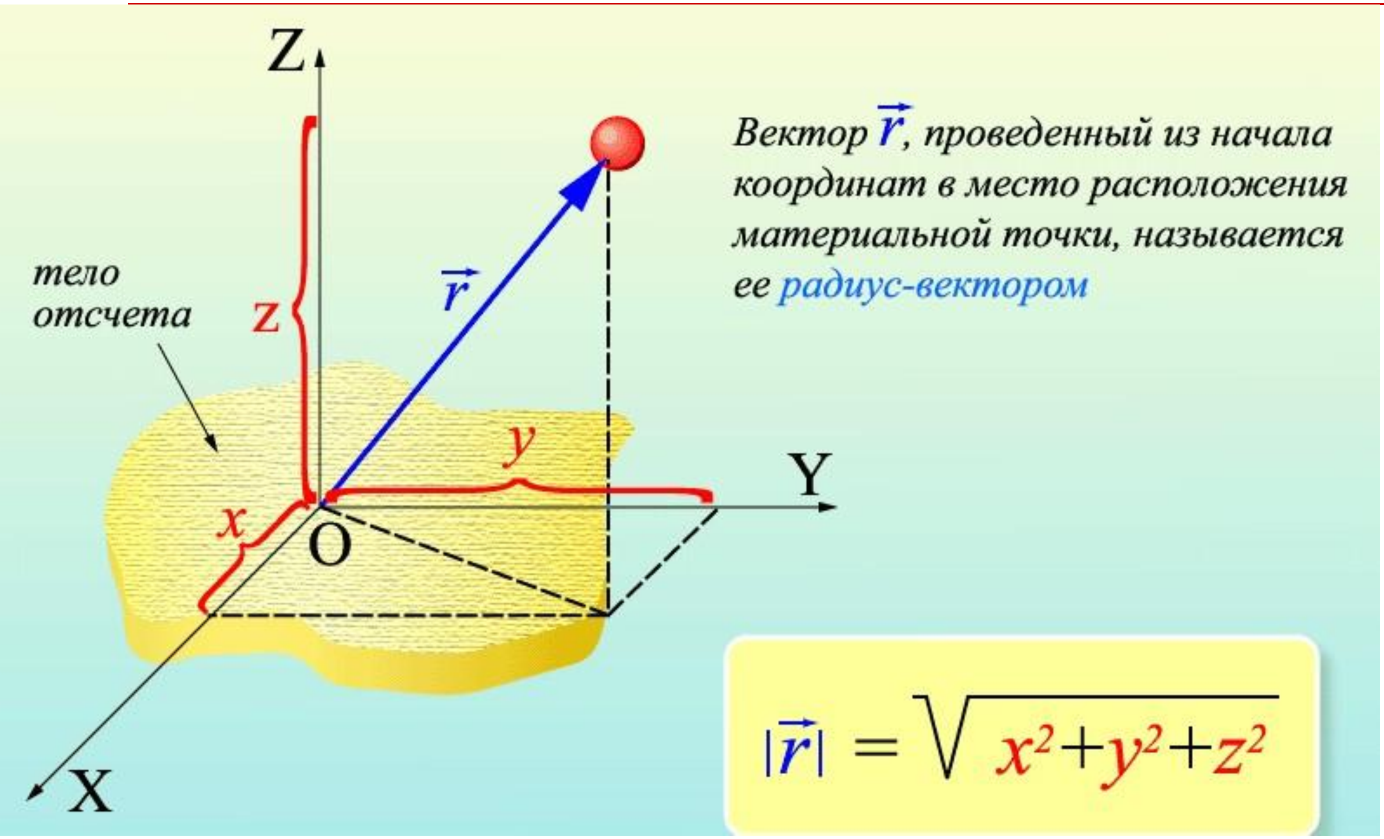




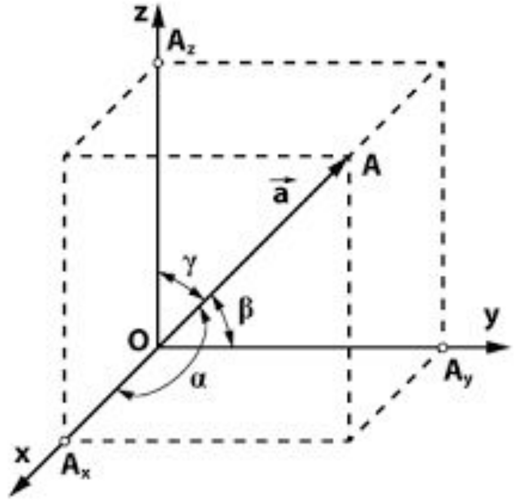


5. РАДИУС-ВЕКТОР

Проекции радиус-вектора частицы на координатные оси определяют положение этой частицы (её координаты):



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



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

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

Теорема о направляющих косинусах:

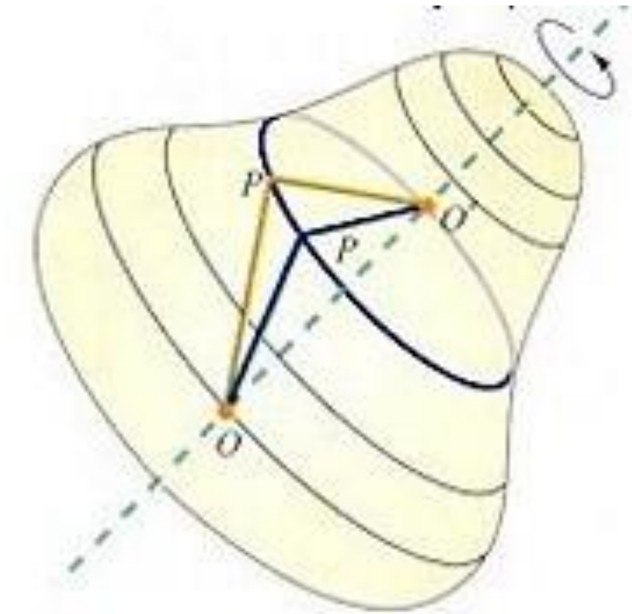
$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1.$$

6. ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

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

При поступательном движении все точки тела движутся **одинаково:**

1. Одинаковая **траектория.**
2. Одинаковая **скорость.**
3. Одинаковое **ускорение.**



7. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

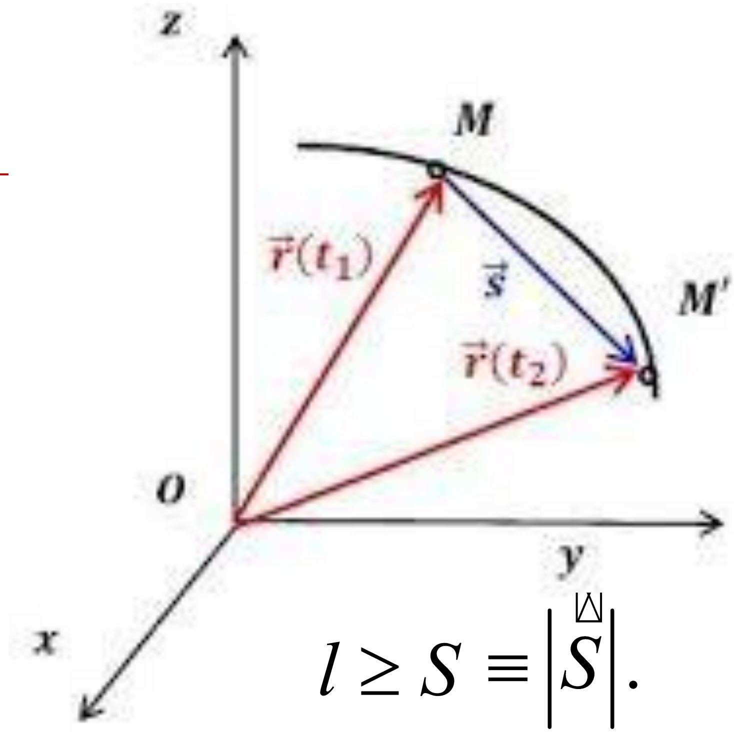
Вращательным называется такое движение,

при котором все точки твёрдого тела движутся по окружностям, находящимся в параллельных плоскостях.

Центры этих окружностей лежат на одной и той же прямой, называемой **осью вращения.**

Если ось вращения находится вне тела, то говорят что оно совершает **круговое движение.**

8. ТРАЕКТОРИЯ. ПУТЬ. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ



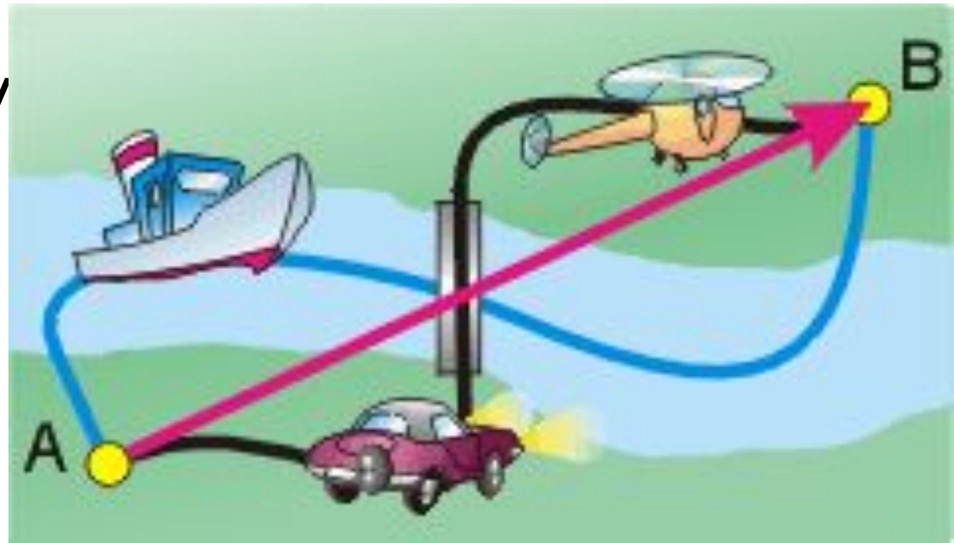
Траектория – линия, описываемая частицей при движении.

Путь – длина траектории.

$$l \geq S \equiv |\vec{S}|.$$

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

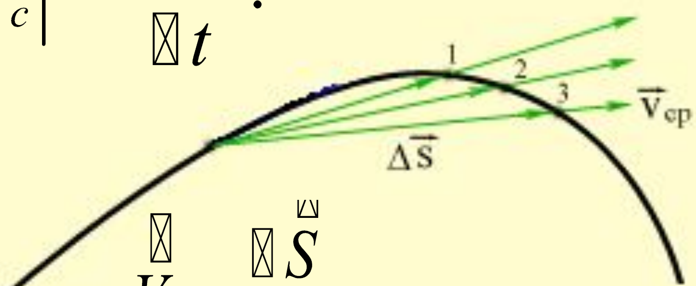
$$\vec{S} \equiv \Delta\vec{r} = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1).$$



§ 2. СКОРОСТЬ

1. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ. СРЕДНЕПУТЕВАЯ СКОРОСТЬ

$$\left|\vec{V}_c\right| = \frac{\left|\Delta \vec{S}\right|}{\Delta t}.$$



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

Средняя скорость – это скорость такого равномерного движения, при котором за то же время совершается то же перемещение

На замкнутой траектории $\vec{V}_c = 0.$

На практике используется **среднепутевая скорость (среднее значение модуля скорости)** – это скорость такого равномерного движения, при котором за то же время будет пройден тот же путь

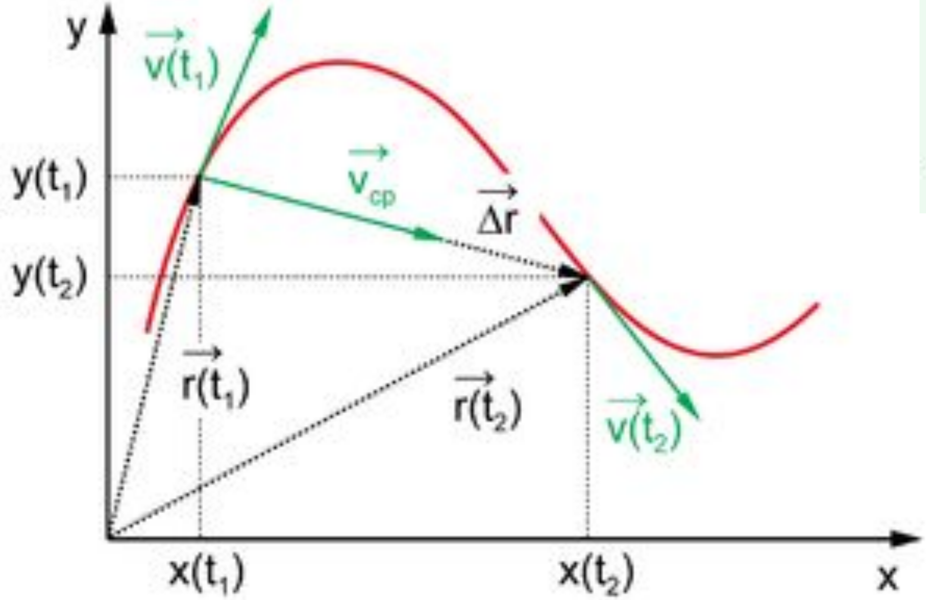
$$V_c = \frac{\Delta l}{\Delta t}.$$

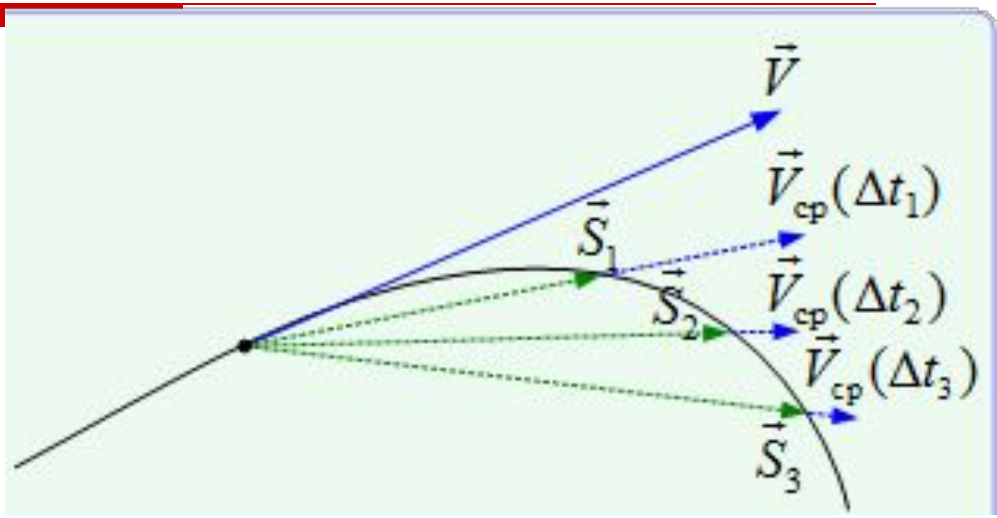
Т. к. пройденный путь не равен модулю перемещения $\Delta l \neq \left|\Delta \vec{S}\right|,$ то величины этих скоростей не равны: $V_c \neq \left|\vec{V}_c\right|.$

Мгновенная скорость – это предельное значение средней скорости за очень малый интервал времени:

2. МГНОВЕННАЯ СКОРОСТЬ

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{V}_c = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}.$$





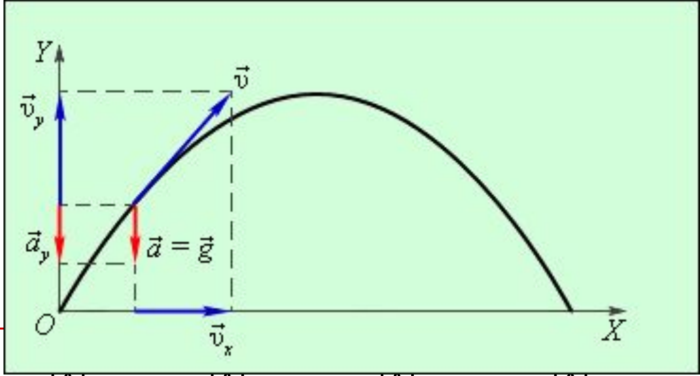
$$\Delta \vec{S} = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1) = \Delta \vec{r} \Rightarrow$$

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$$

Мгновенная скорость – производная радиус-вектора.

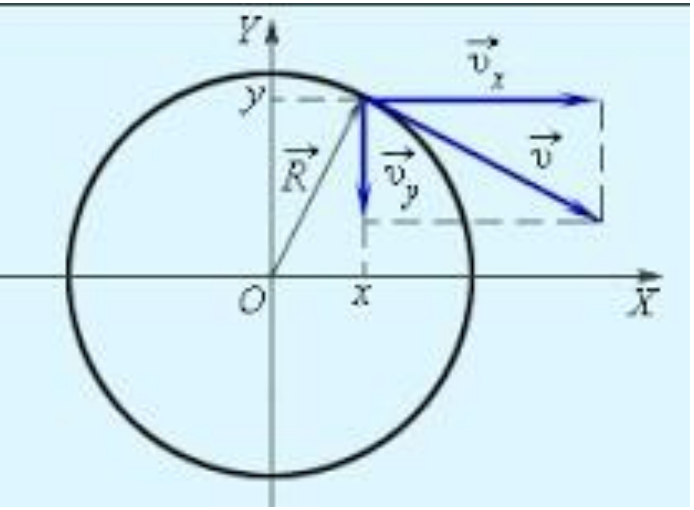
Она всегда направлена **по касательной** к траектории.

3. КОМПОНЕНТЫ И ПРОЕКЦИИ СКОРОСТИ

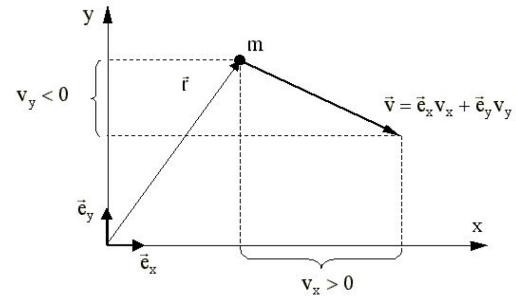


Скорость можно разложить вдоль осей координат на **компоненты:**

$$\vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y + \vec{V}_z .$$



Каждый компонент можно выразить через орты координатных осей:



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

$$\vec{e}_x \equiv \vec{i}, \quad \vec{e}_y \equiv \vec{j}.$$

$$|\vec{i}| = |\vec{j}| = |\vec{k}| = 1.$$

Коэффициенты разложения по базисным ортам - это проекции скорости на соответствующие оси координат:

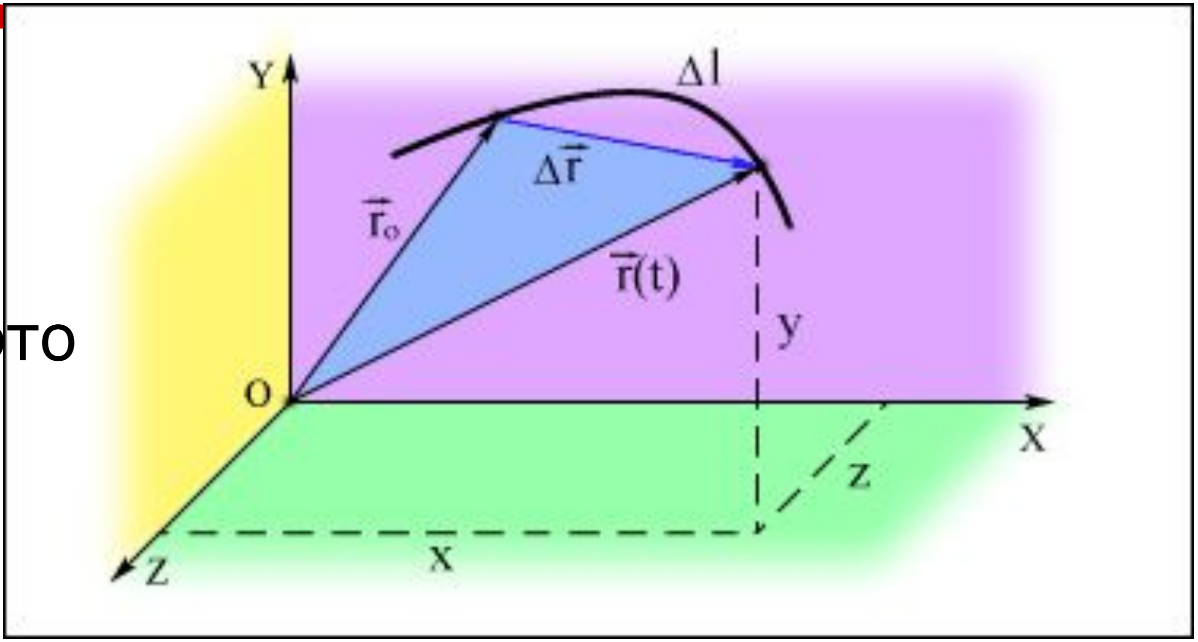
$$V_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}; \quad V_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}\ldots$$

Проекция скорости – это производная координаты.

4. МОДУЛЬ СКОРОСТИ

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

Модуль скорости – это производная пути.



Модуль скорости можно по теореме Пифагора выразить через проекции:

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

5. ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ

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

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

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

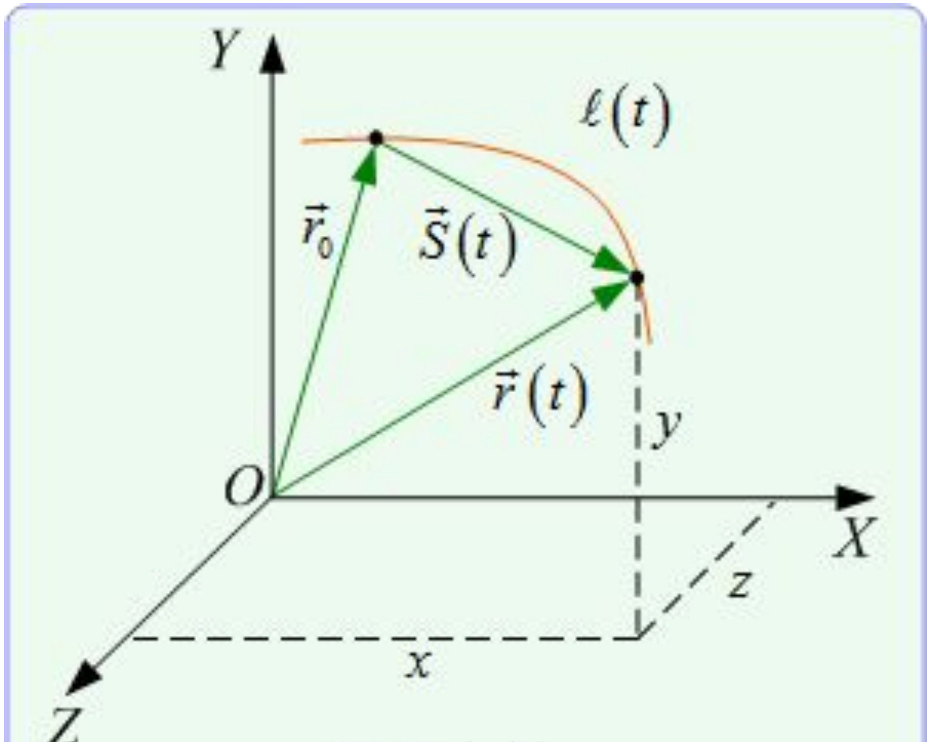


Рис. 1.11

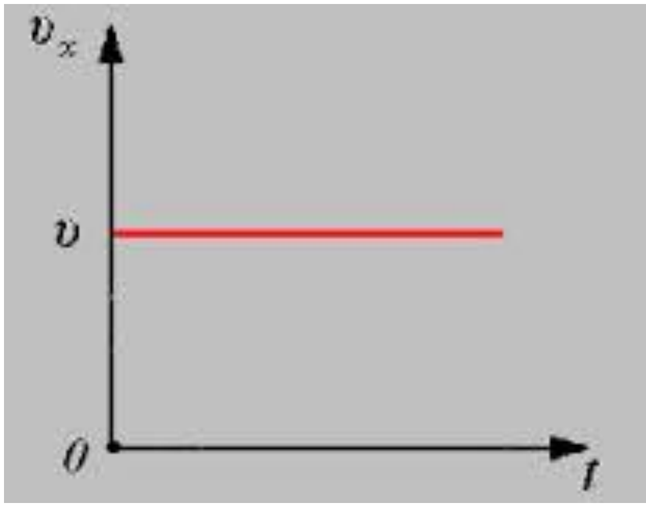
$$x(t) = x_0 + S_x(t),$$

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

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

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

6. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

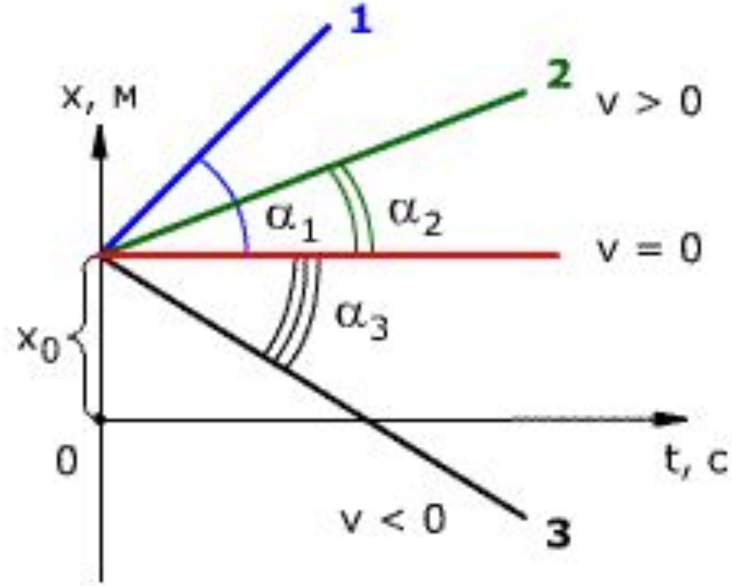


Прямолинейное равномерное движение – это такое движение, при котором скорость тела постоянна по величине и направлению: $V_x = const.$

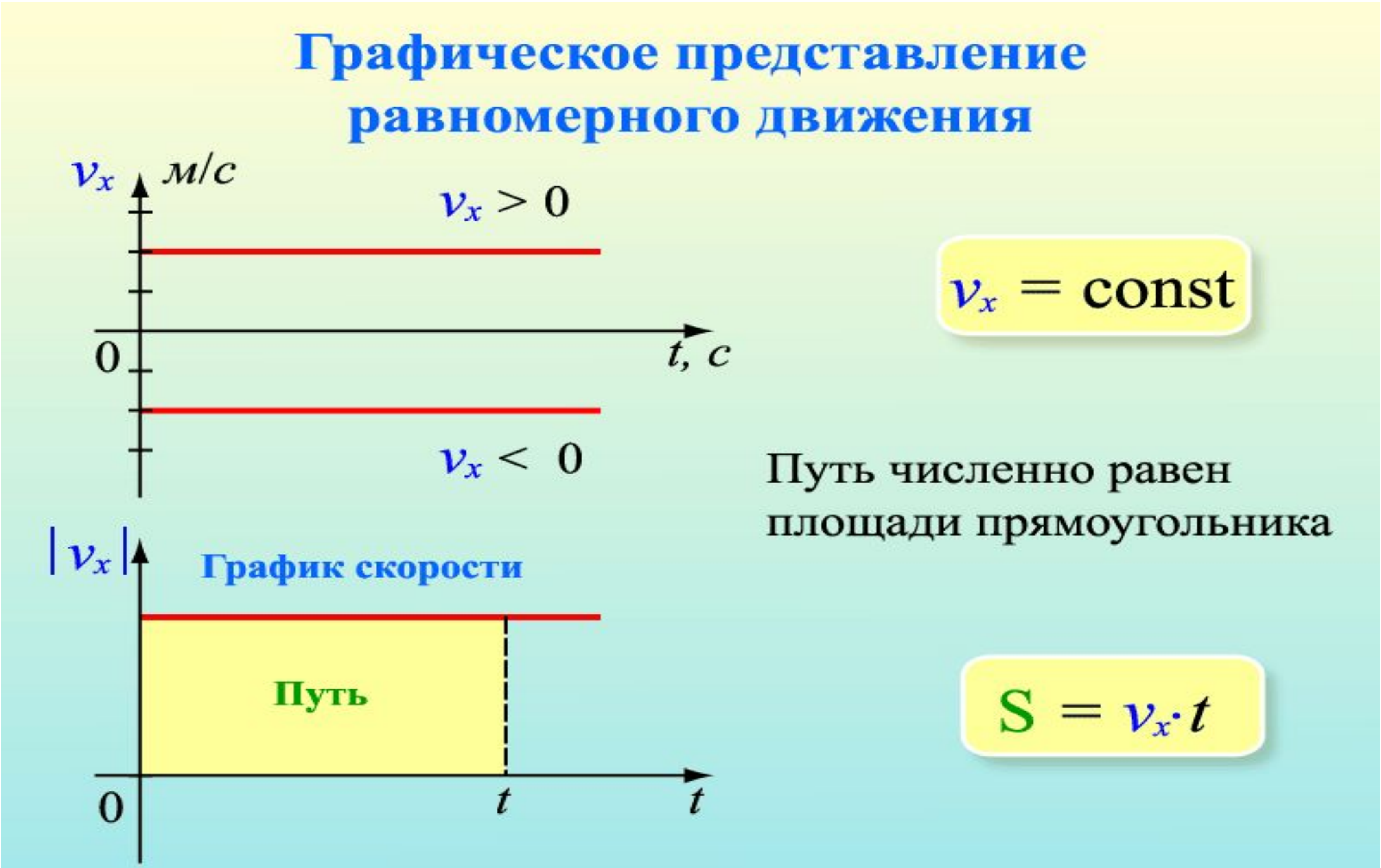
$$S_x = V_x \cdot t;$$

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

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



7. ГРАФИКИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ (I)



7. ГРАФИКИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ (II)

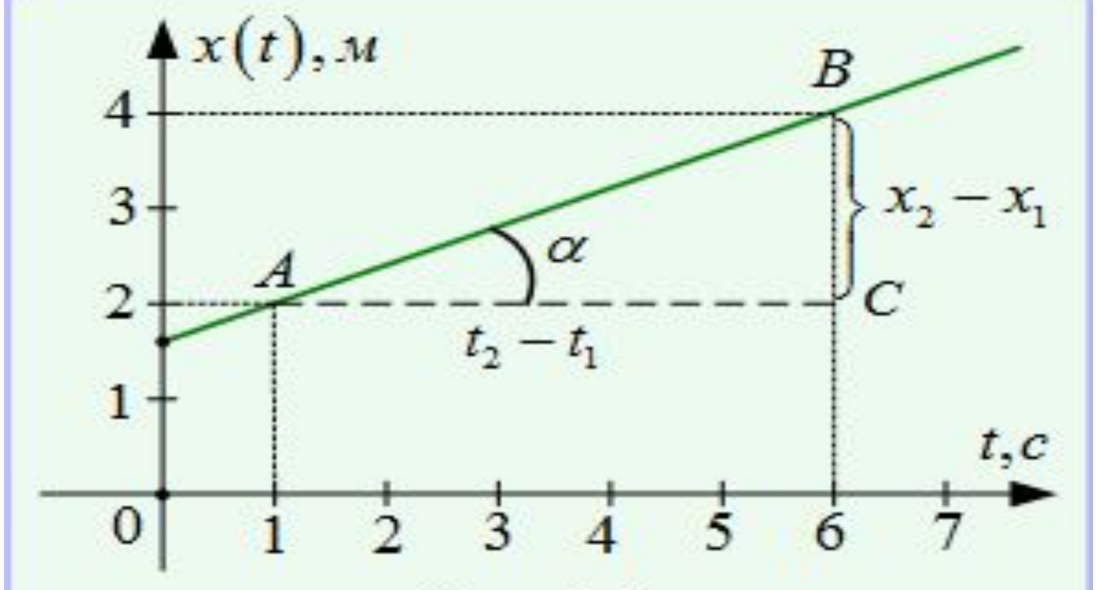


Рис. 2.1

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

Кусочно-непрерывное движение

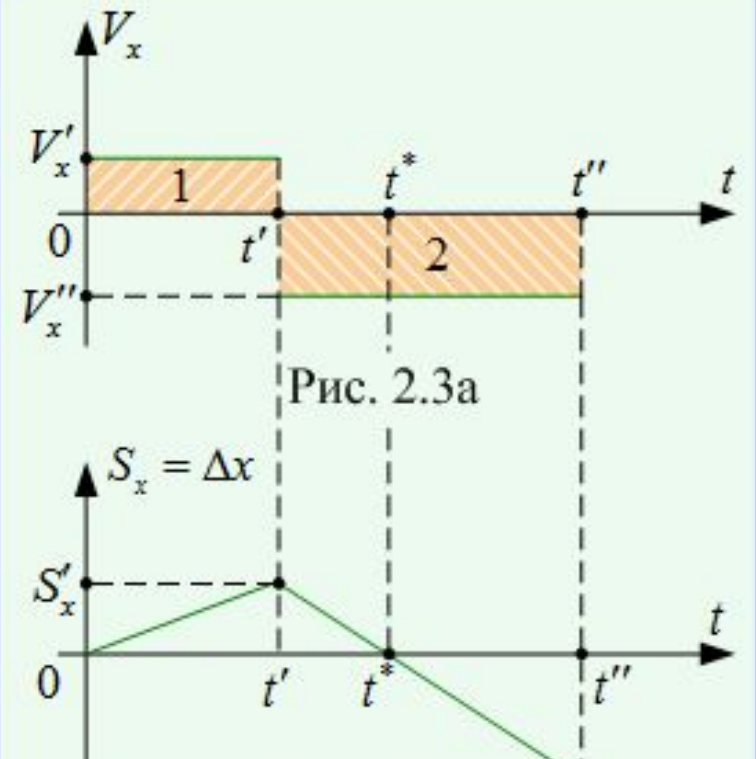


Рис. 2.3б

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.

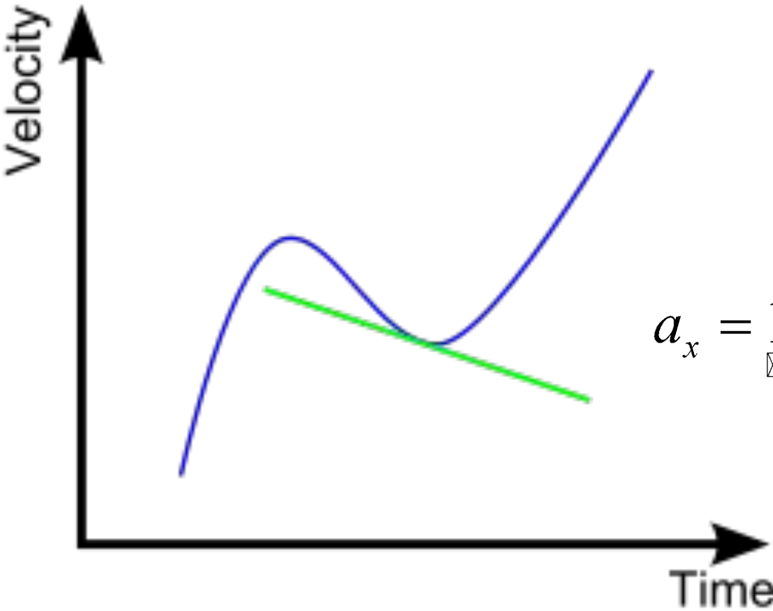
$$V_x = V_{1x} + V_{2x}$$

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

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

§3. УСКОРЕНИЕ

1. УСКОРЕНИЕ КАК ПРОИЗВОДНАЯ



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

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

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

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{\dot{V}_x^2 + \dot{V}_y^2 + \dot{V}_z^2};$$

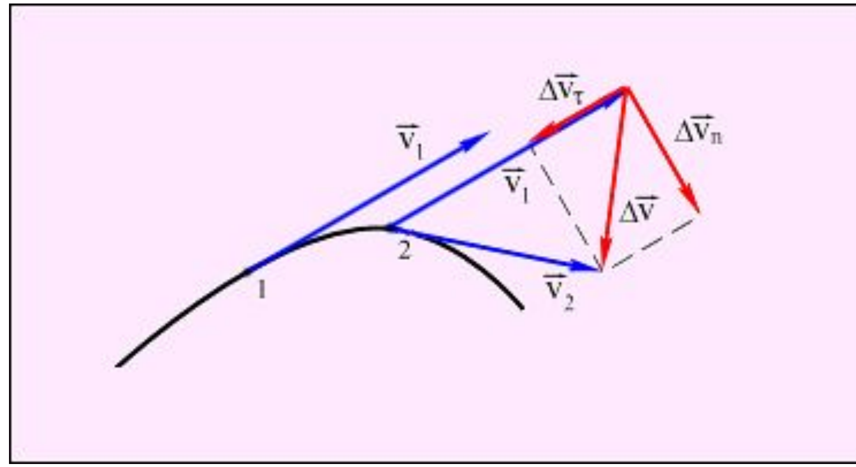
$$a = \sqrt{\ddot{r}_x^2 + \ddot{r}_y^2 + \ddot{r}_z^2} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2}.$$

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

2. ЕСТЕСТВЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ УСКОРЕНИЯ

$$\vec V = V\vec\tau; \qquad n = \tau = 1;$$

$$\vec n \perp \vec\tau; \qquad \Delta\vec V = \Delta\vec V_\tau + \Delta\vec V_n;$$

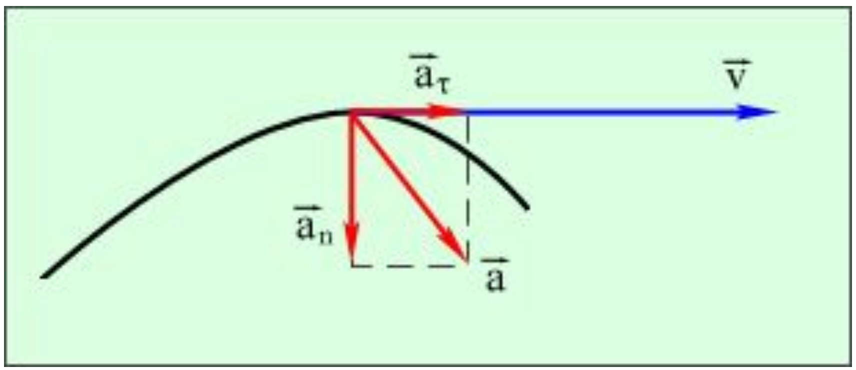


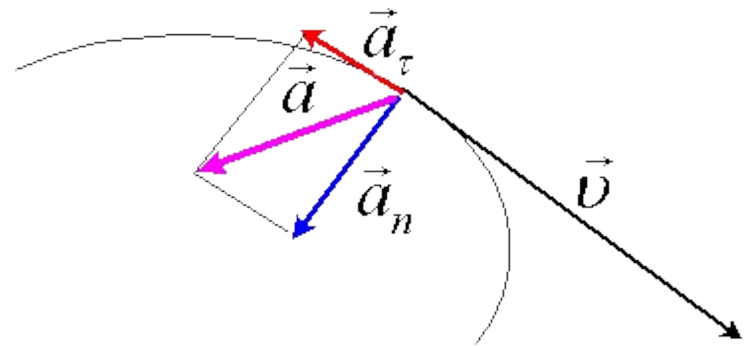
$$\Delta\vec V = \Delta V_\tau\vec\tau + \Delta V_n\vec n; \qquad \vec a = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec V}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta V_\tau}{\Delta t}\vec\tau\right) + \lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta V_n}{\Delta t}\vec n\right) \Rightarrow$$

$$\vec a = \vec\tau\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta V_\tau}{\Delta t} + \vec n\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta V_n}{\Delta t} = \vec a_\tau + \vec a_n; \qquad \vec a = \frac{d}{dt}\left(V\vec\tau\right) = \vec\tau\frac{dV}{dt} + V\frac{d\vec\tau}{dt} = \vec a_\tau + \vec a_n;$$

3. ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

Тангенциальное ускорение характеризует изменение скорости по величине.



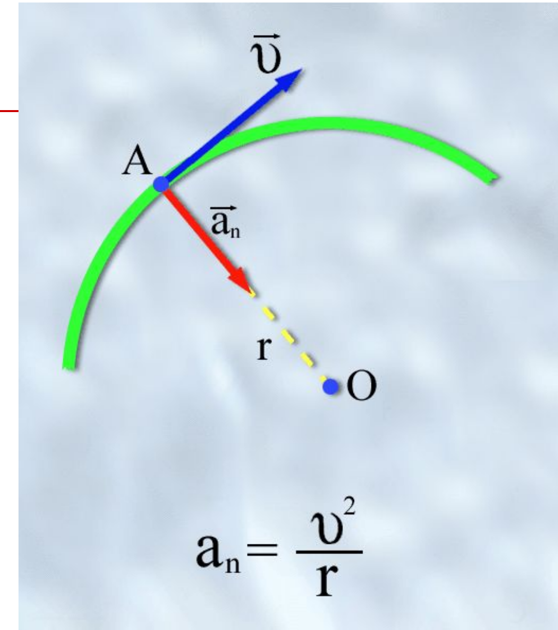


$$a_\tau > 0;$$

$$a_\tau < 0;$$

$$\vec{a}_\tau = a_\tau \vec{\tau}; \qquad a_\tau = \frac{dV}{dt} = \dot{V}; \qquad |a_\tau| = \left|\frac{dV}{dt}\right| = |\dot{V}|;$$

4. НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ



Нормальное ускорение характеризует изменение скорости по направлению.

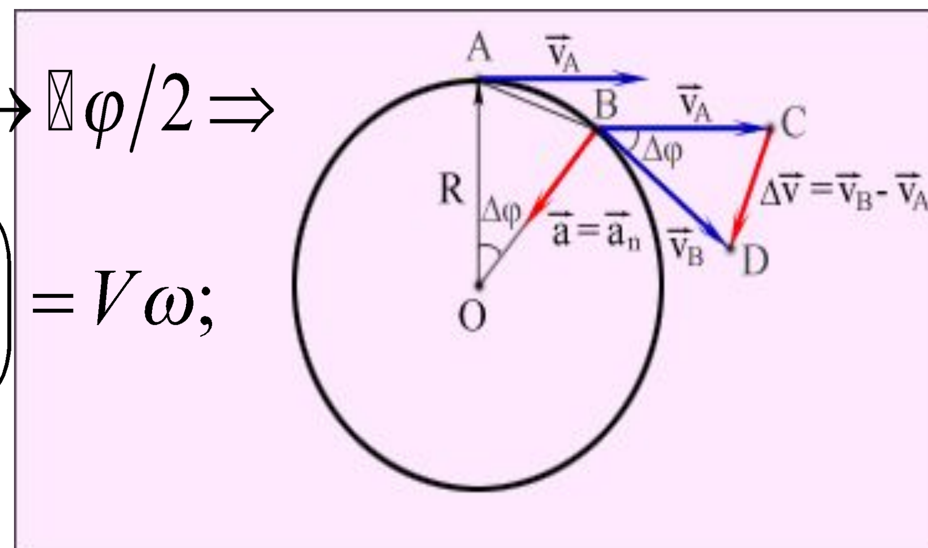
$$V = const \Rightarrow \left|\Delta \vec{V}\right| = 2V \sin\left(\Delta\varphi/2\right);$$

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

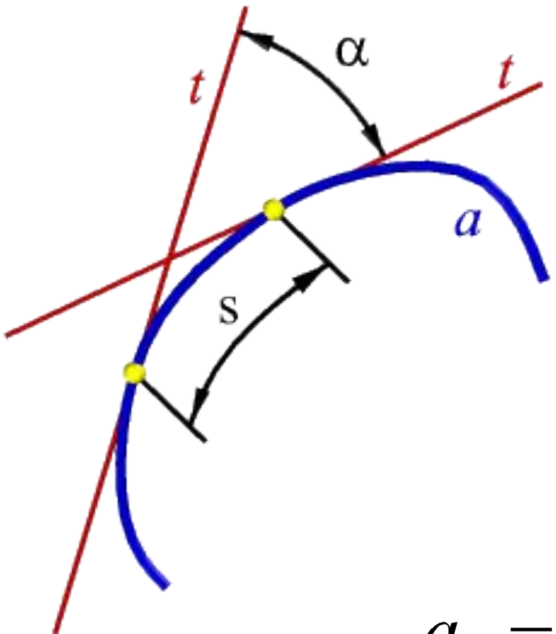
$$\Delta t \to 0 \Rightarrow \Delta\varphi \to 0 \Rightarrow \sin\left(\Delta\varphi/2\right) \to \Delta\varphi/2 \Rightarrow$$

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

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



5. КРИВИЗНА ТРАЕКТОРИИ



Кривизна траектории количественная характеристика кривой линии.

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

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

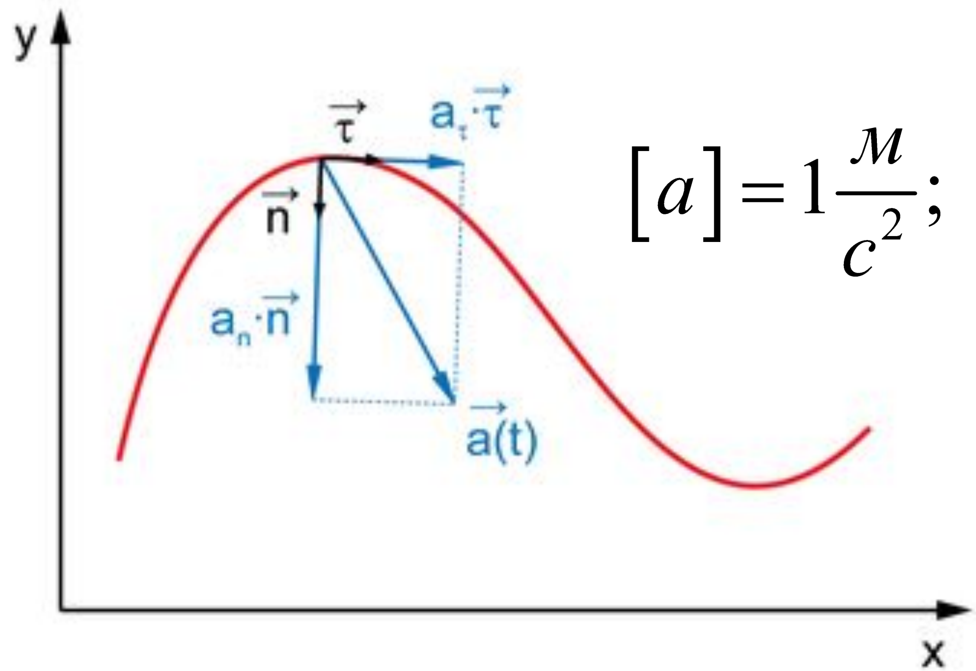
$$a_n=V\lim_{\Delta S\to 0}\left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta S}\right)\lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta S}{\Delta t}\right)=\frac{V^2}{R}.$$

6. ПОЛНОЕ УСКОРЕНИЕ

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

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

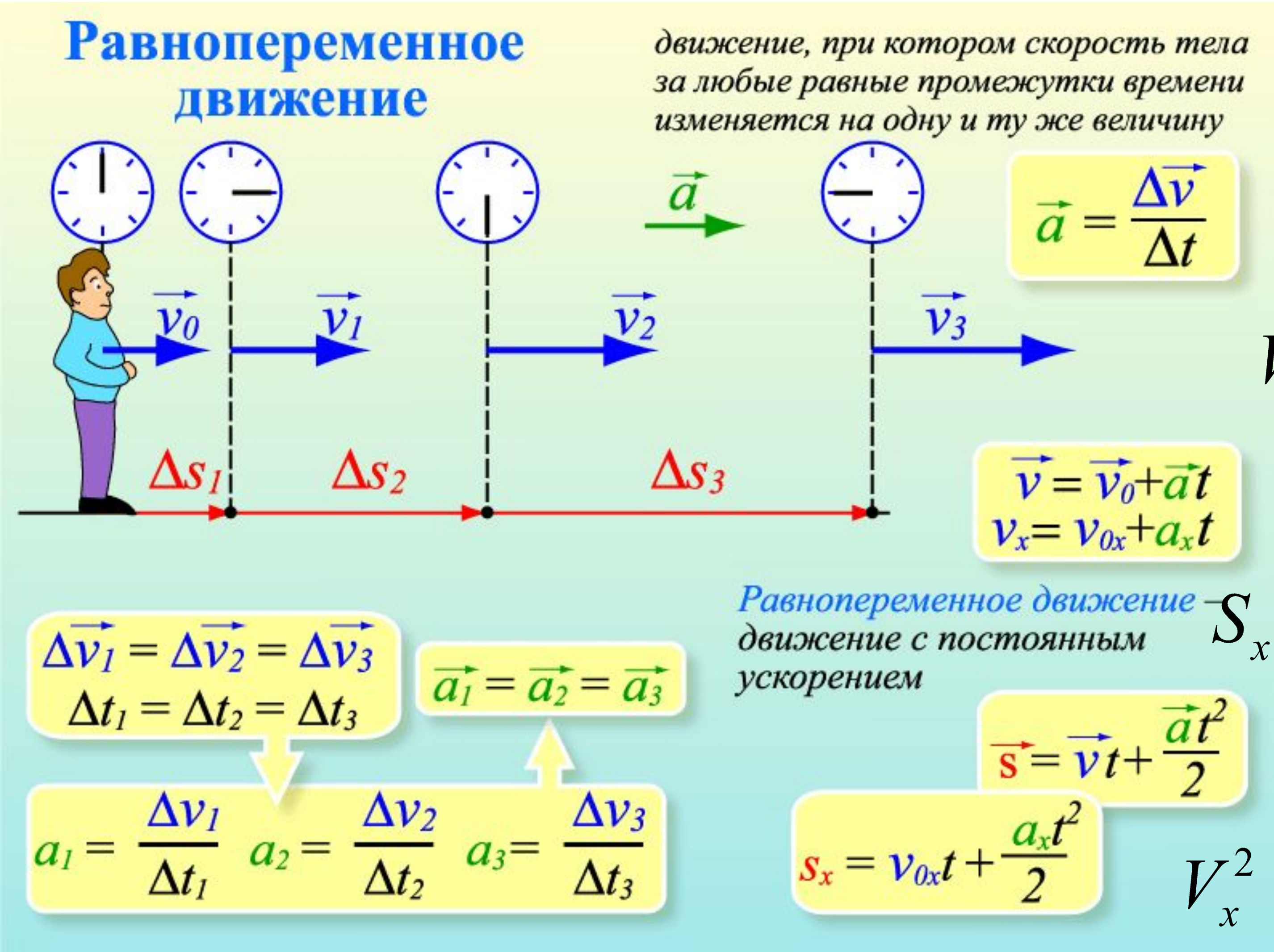
$$\vec{\tau} = \omega\vec{n};$$



$$[a] = 1\frac{м}{с^2};$$

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

7. РАВНОПЕРЕМЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ



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

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

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

8. ГРАФИКИ РАВНОПЕРЕМЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

$$V_x = V_0 - at;$$

$$V_x = V_0 + at;$$

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

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

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

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

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

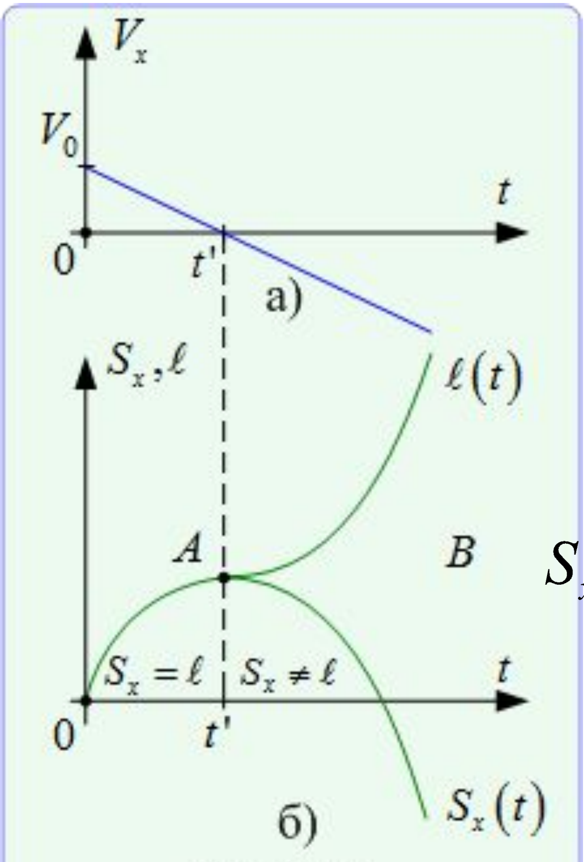


Рис. 3.10

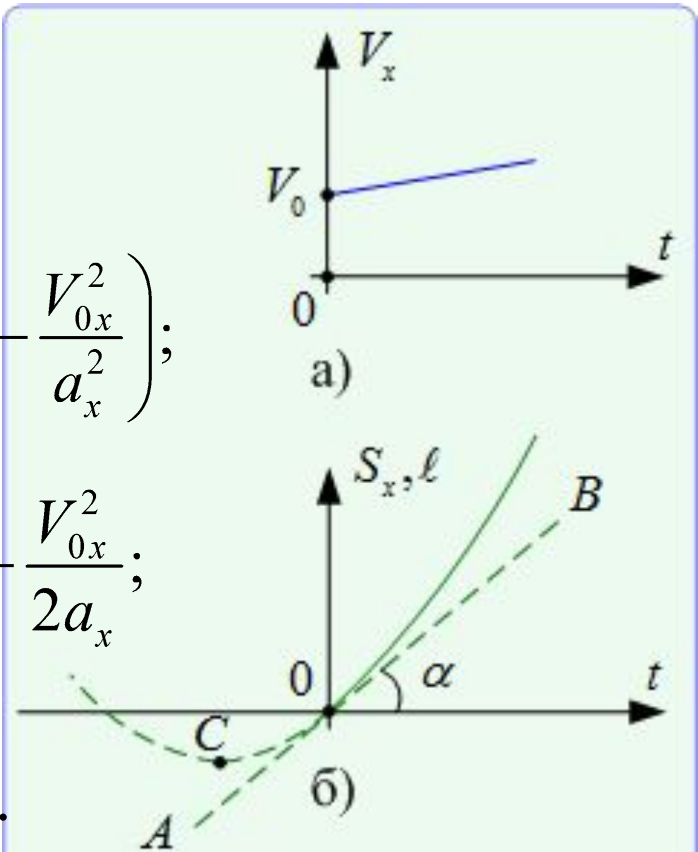


Рис. 3.9

9. СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ

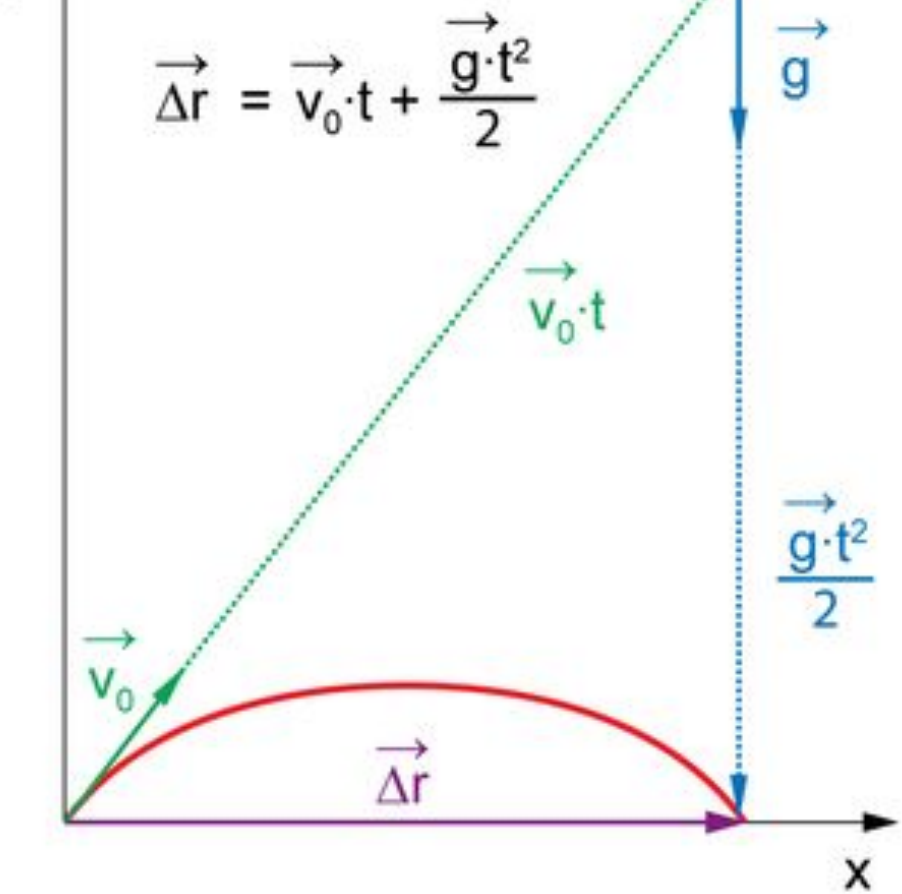
$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a}t;$$

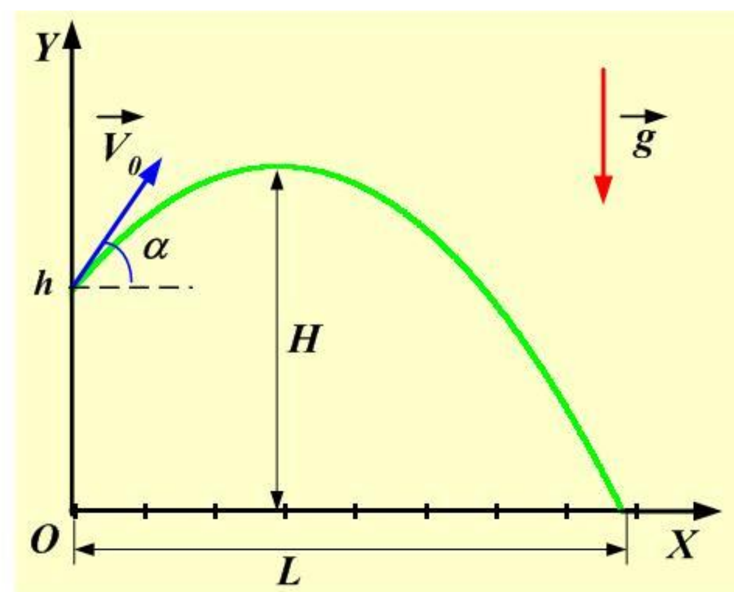
$$V_x = V_0 \cos\alpha;$$

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

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

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



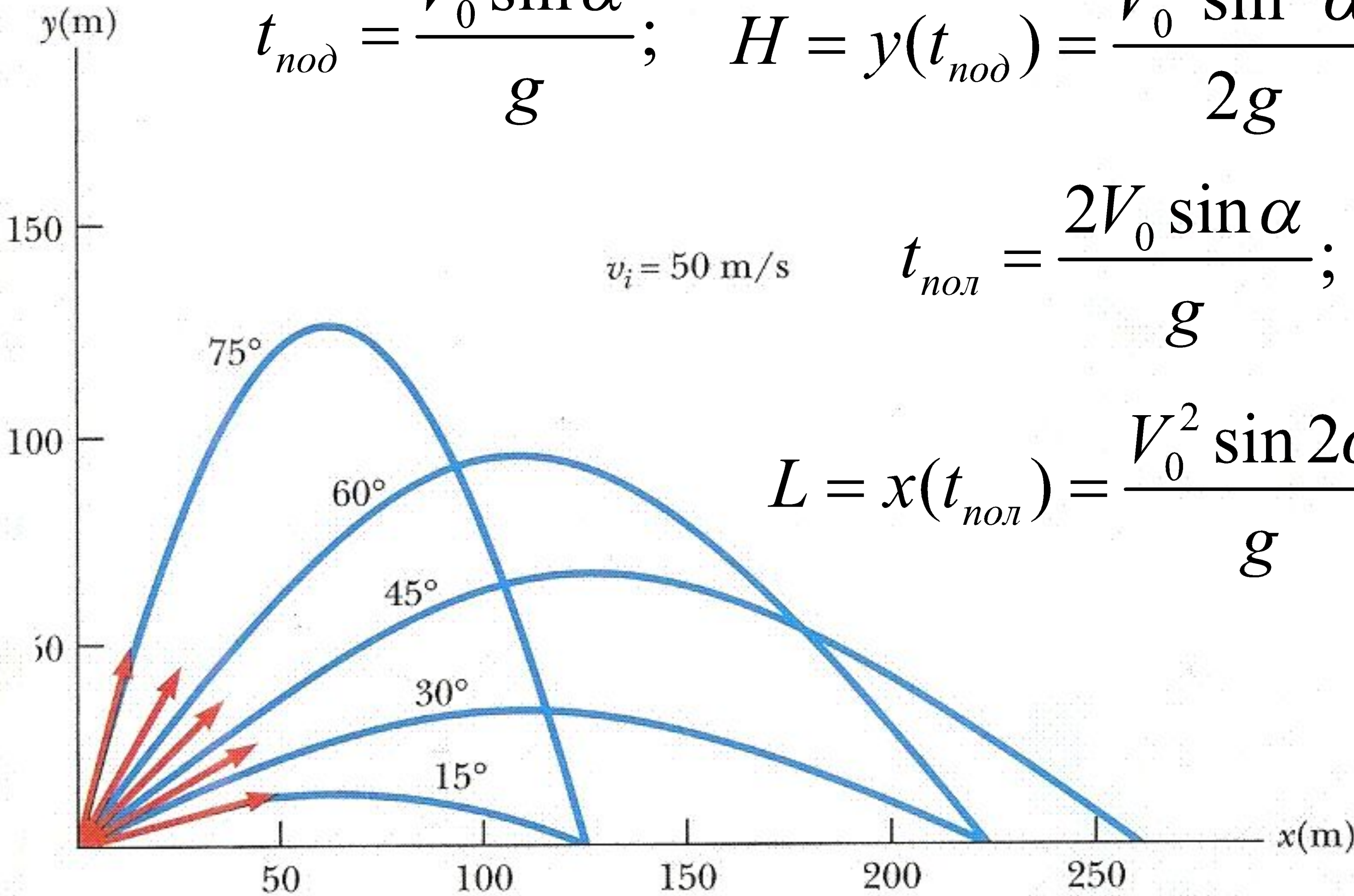


10. ДАЛЬНОСТЬ И ВЫСОТА ПОЛЕТА

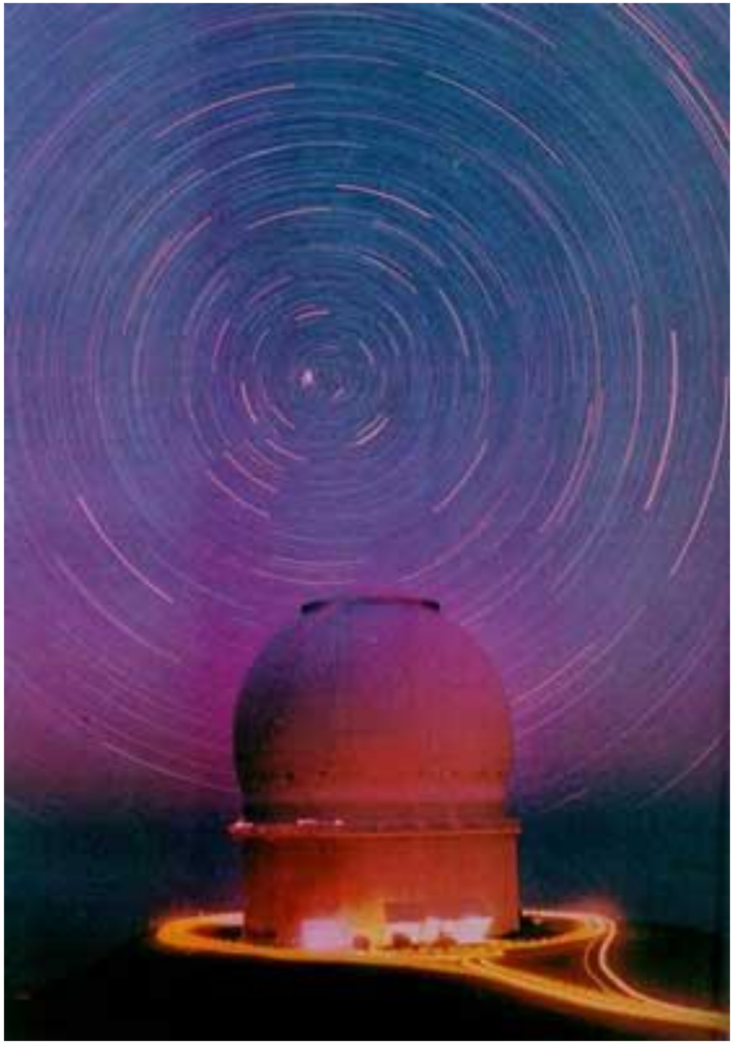
$$t_{под} = \frac{V_0 \sin\alpha}{g}; \quad H = y(t_{под}) = \frac{V_0^2 \sin^2\alpha}{2g}.$$

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

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



§4. КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ПО ОКРУЖНОСТИ



1. ПЕРИОД И ЧАСТОТА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

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

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

$$[T] = 1c; \quad [\nu] = 1\text{Гц} = 1c^{-1};$$

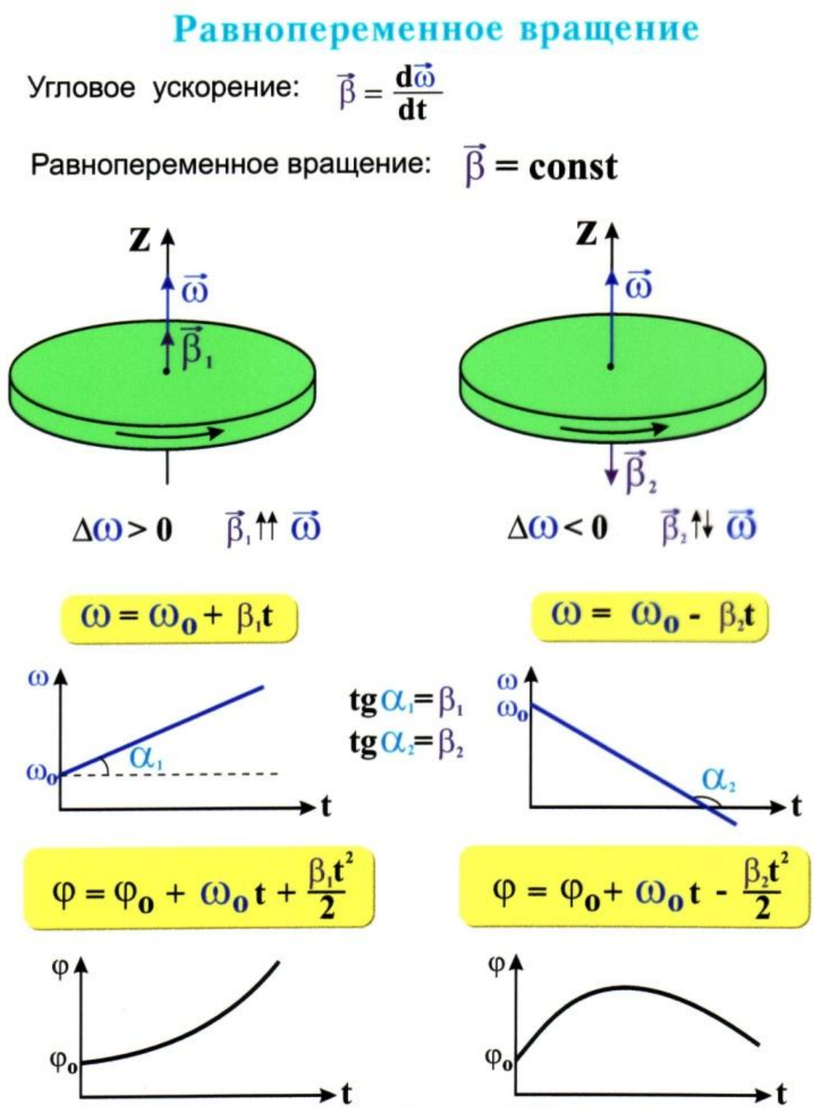
2. РАВНОМЕРНОЕ ВРАЩЕНИЕ

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

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

$$[\omega] = 1\frac{рад}{с};$$

3. РАВНОПЕРЕМЕННОЕ ВРАЩЕНИЕ



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

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

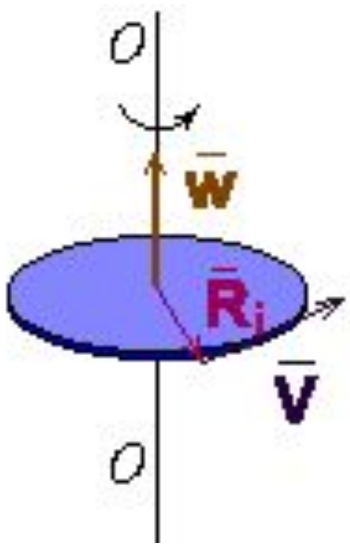
$$\beta = \left|\vec{\beta}\right| = \left|\beta_z\right|;$$

$$[\beta] = 1\frac{рад}{с^2}.$$

4. УГЛОВАЯ И ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТИ

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

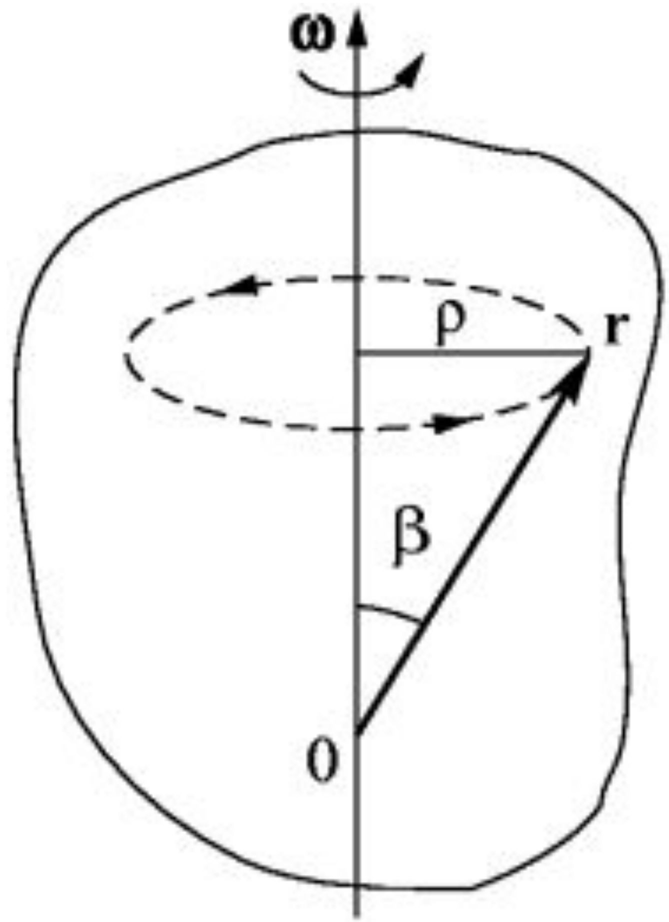
$$\rho = r\sin\beta \Rightarrow V = \omega r \sin\beta;$$



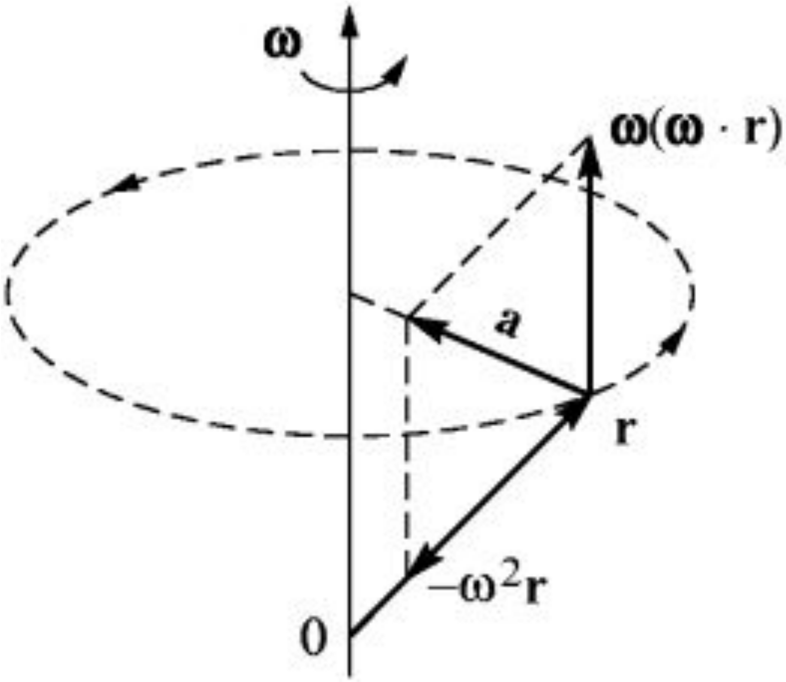
$$\left|\left[\vec{\omega}\times\vec{r}\right]\right| = \omega r \sin\beta;$$

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

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



5. УГЛОВОЕ И ЛИНЕЙНОЕ УСКОРЕНИЯ



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

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

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

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

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