

ФИЗИКА

1. Савельев И. В. Курс общей физики [Текст]: учеб. пособие для вузов: в 3 т. Т.1. Механика. Молекулярная физика. / И. В. Савельев. – Изд. 10-е, стер. – СПб. [и др.] : Лань, 2008 – 432 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики [Текст]: учеб. пособие для вузов: в 3 т. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. / И. В. Савельев. – Изд. 10-е, стер. – СПб. [и др.] : Лань, 2008 – 496 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. [Текст]: учебное пособие для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений/ Т. И. Трофимова. – 21-е изд., стер. – Москва: Академия, 2015. – 549 с.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики [Текст]: для студентов технических вузов/ В. С. Волькенштейн. Изд. 3-е, испр. и доп. – Санкт-Петербург: Книжный мир, 2013. – 327 с.
5. Дмитриева Е.И. Физика для инженерных специальностей [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Дмитриева Е.И.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2012.— 142 с.

ФИЗИКА

1. Механика – кинематика, динамика
2. Электричество – электростатика, магнитостатика, электромагнетизм
3. Оптика – Волновая (интерференция, дифракция, поляризация), квантовая
4. Молекулярная физика и термодинамика, явления переноса

МЕХАНИКА

изучает движение тел , т.е. изменение положения тела или его частей в пространстве относительно друг друга

МЕХАНИКА

1. Классическая (неквантовая) механика

ньютоновская (нерелятивистская)
механика

$$v \ll c$$

*Тела любых размеров, области
движения большие ($\gg 10^{-10}$ м),
движение планет, электронов в
электронно-лучевой трубке*

релятивистская механика

$$v \approx c$$

*Тела любых размеров,
движение электронов в
ускорителе*

2. Квантовая (нерелятивистская) механика
 $v \ll c$, области движения малые (порядка 10^{-10} м),
движение электронов в атоме.



***В механике используют две модели:
материальная точка
и абсолютно твердое тело.***

Материальная точка

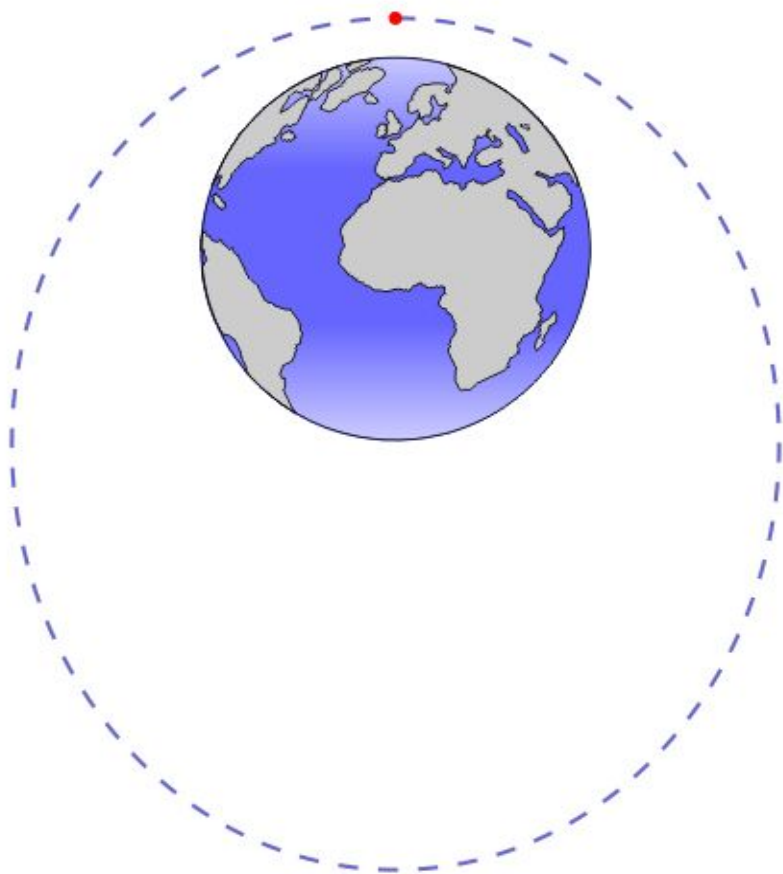


- это тело, обладающее массой, размерами и формой которого можно пренебречь в условиях данной задачи.

Тело считается материальной точкой, если :

- расстояние, которое проходит тело $\gg$ размеров тела;
- расстояние от тела до других тел $\gg$ размеров тела.

**Например:
движение спутника вокруг Земли;
трансконтинентальный полет**





Абсолютно твердое тело
- тело деформациями которого можно
в условиях данной задачи пренебречь.

КИНЕМАТИК

А



**МАТЕРИАЛЬНО
Й**

ТОЧК

КИНЕМАТИКА



- раздел механики, в котором изучается механическое движение материальной точки (тела)

без рассмотрения причин, по которым это движение происходит.



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КИНЕМАТИКИ

Механическим движением тела называют изменение его положения в пространстве относительно других тел с течением времени.

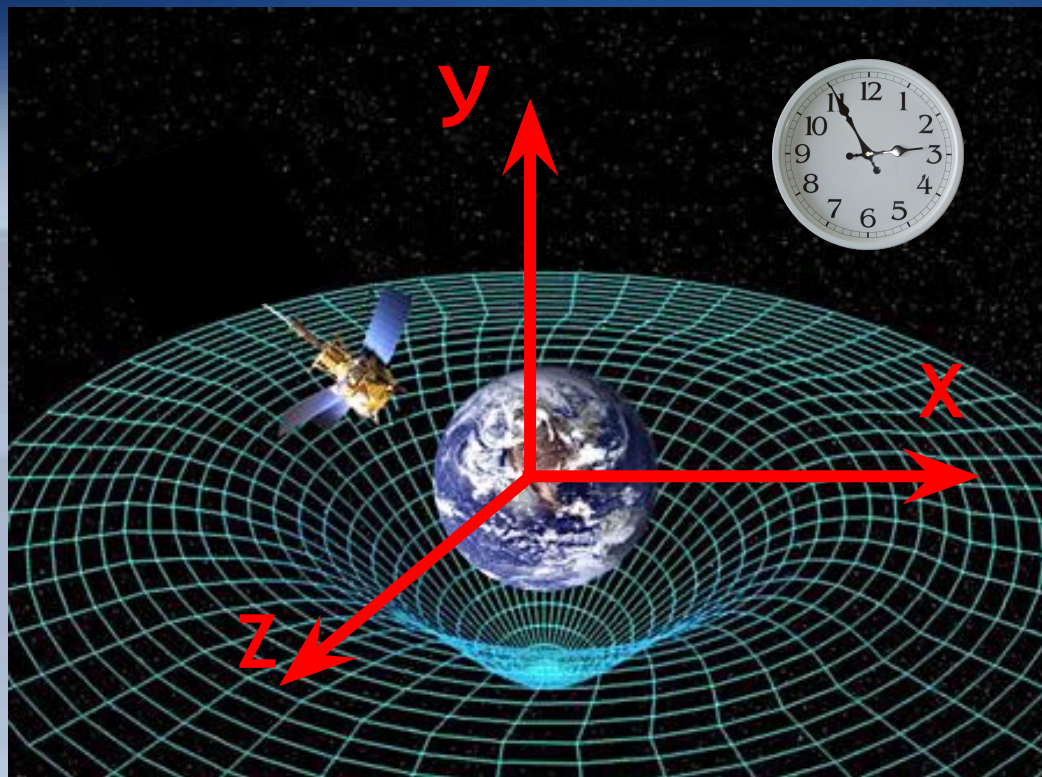
Механическое движение *относительно*. Движение одного и того же тела относительно разных тел оказывается различным.

Механическое движение тела

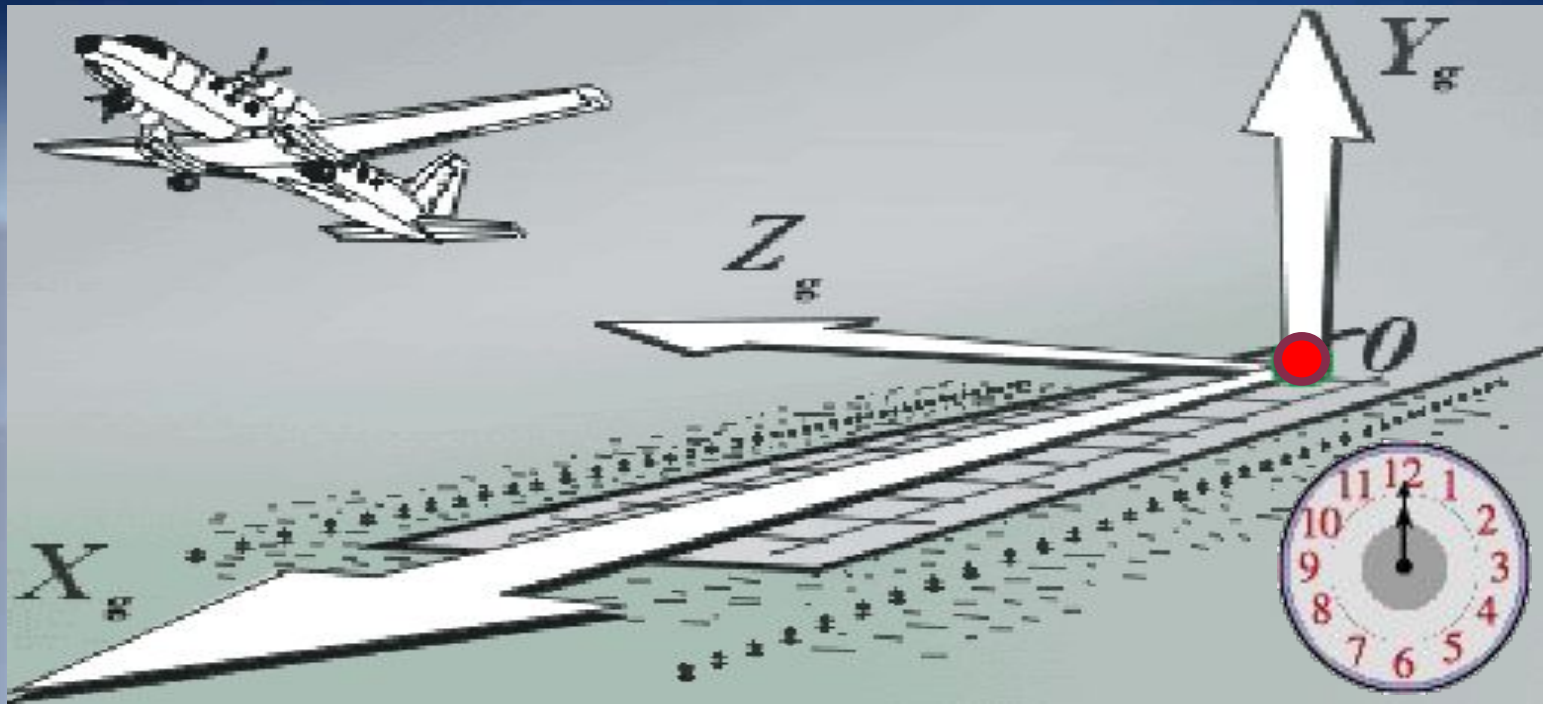


- процесс, при котором с течением времени изменяется положение тела или частей тела в пространстве относительно других тел.





**Для определения положения
материальной точки в
пространстве
и описания ее движения
необходимо выбрать систему**



Система отсчета

***состоит из тела отсчета,
связанной с ней системой координат
и часов, неподвижных
относительно тела отсчета.***

Для того, чтобы выбрать систему отсчета нужно:

- 1. Выбрать объект, относительно которого будет рассматриваться движение, т.е. выбрать тело отсчета;**
- 2. Выбрать систему координат, начало которой должно совпадать с одной из точек тела отсчета;**
- 3. Выбрать начало отсчета времени.**



Тело отсчета

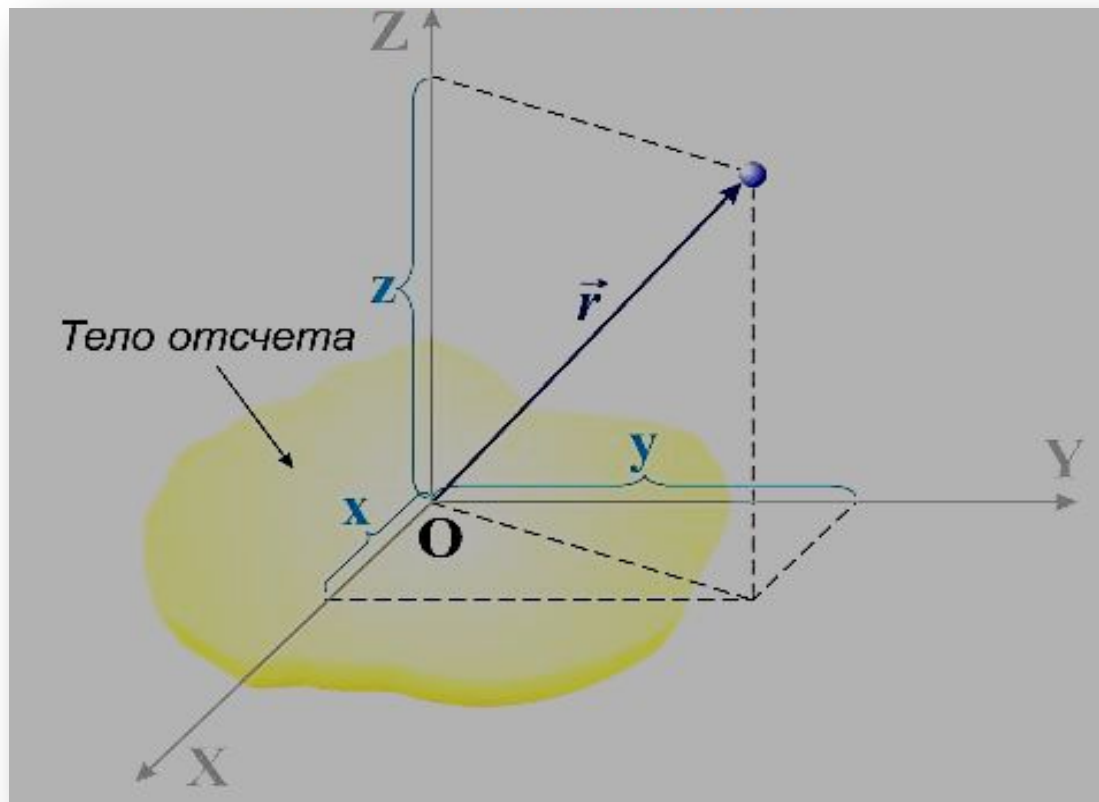
***- произвольно выбранное тело,
относительно которого определяется
положение других (движущихся тел).***



***Положение любого движущегося тела
определяется по отношению
к телу отсчета.***

***Поэтому механическое движение
всегда относительно.***

*Чаще всего в физике
используют декартову
систему координат*



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ В ПРОСТРАНСТВЕ

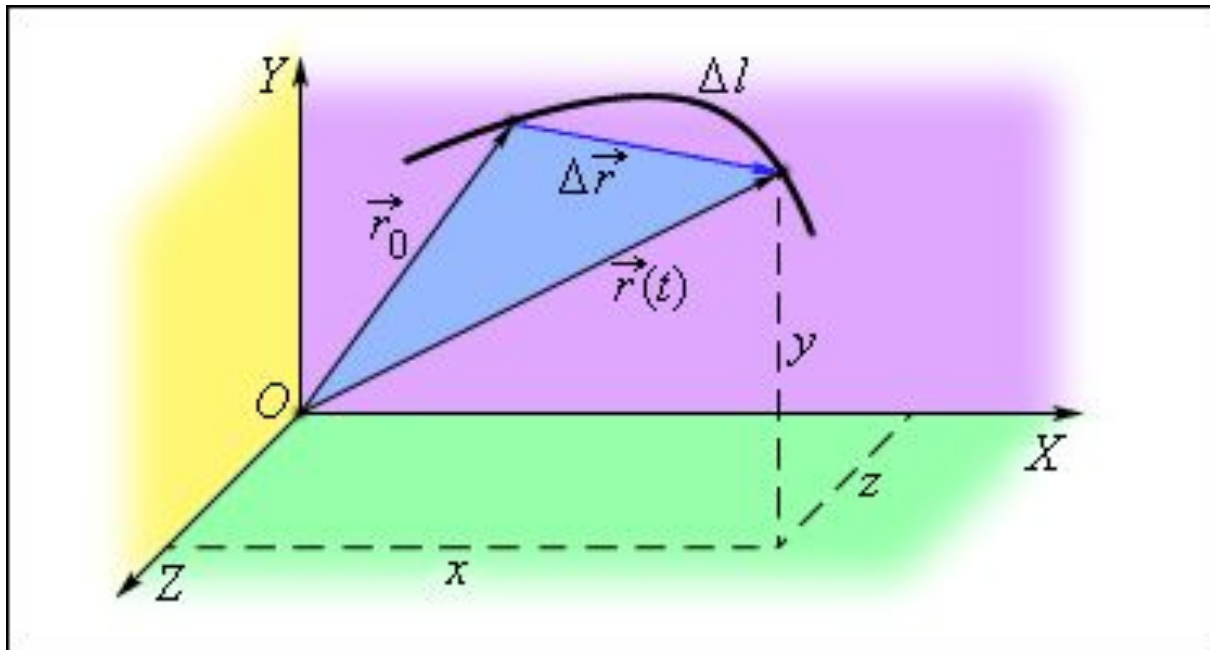
Положение материальной точки в пространстве в любой момент времени (закон движения) можно определять:

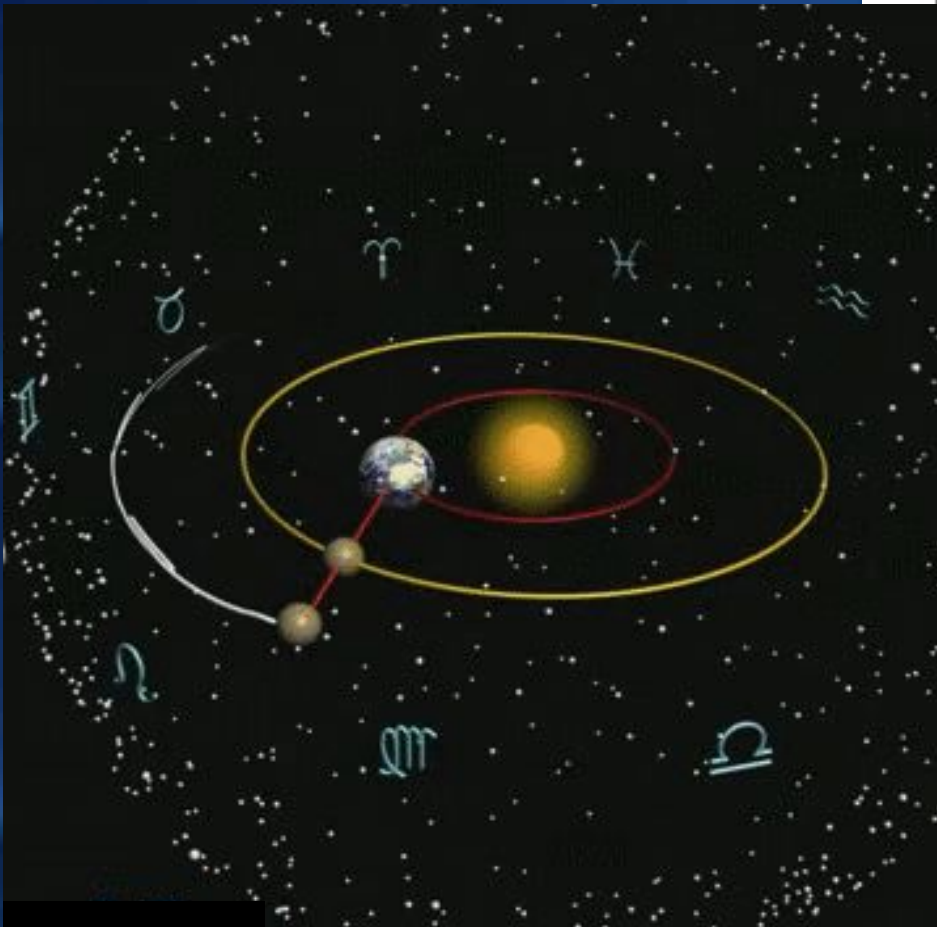
1. **Координатный способ** (с помощью зависимости координат от времени)

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t)$$

2. **Векторный способ** (при помощи зависимости от времени радиус-вектора проведенного из начала координат до данной точки)

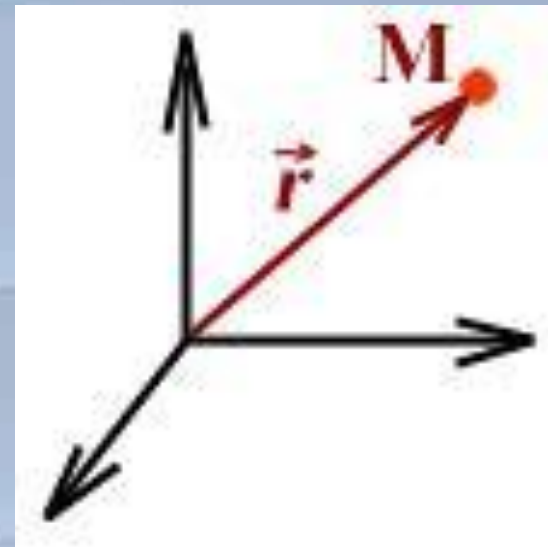
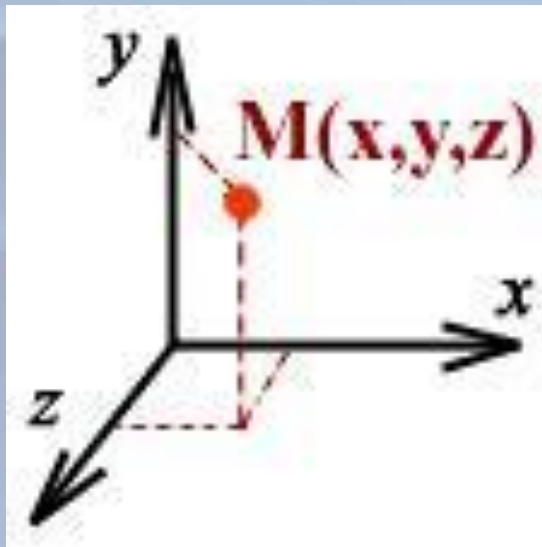
$$\vec{r} = \vec{r}(t)$$



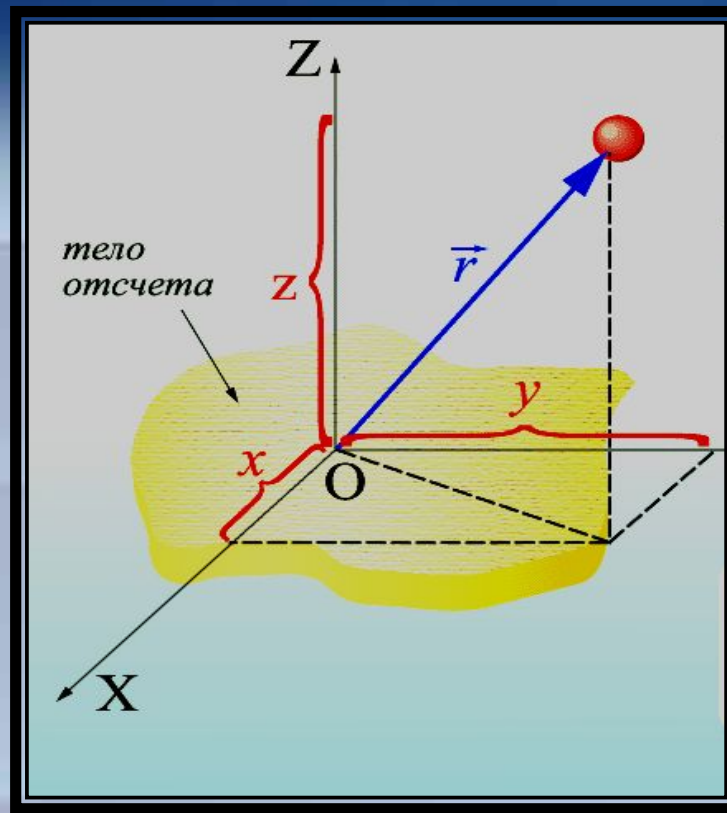


ТРАЕКТОРИЯ МАРСА

*Движение одного и того же объекта
в разных системах отсчета
выглядит по-разному.*



**Положение материальной точки
в данной системе отсчета
определяется или ее
координатами
или радиусом - вектором.**



Радиусом – вектором $\vec{r}$
точки называется вектор,
проведенный из начала координат
в данную точку.

При движении материальной точки относительно выбранной системы отсчета она последовательно занимает различные положения, которые следуют непрерывно одно за другим, т.е. материальная точка описывает воображаемую линию - траекторию.



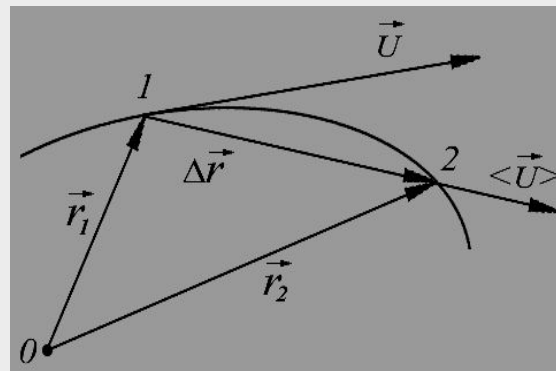
Траектория - это линия,
которую описывает
материальная точка при

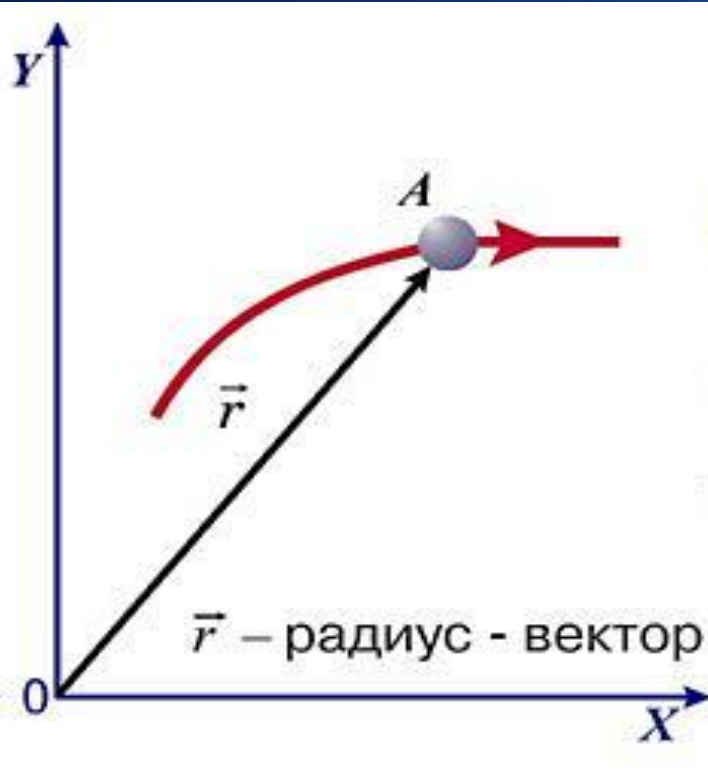


В зависимости от формы траектории различают
прямолинейное и **криволинейное**
движение материальной точки (тела).



**Для описания движения
необходимо задать:**
**а) начало отсчета
радиус - вектора $\vec{r}$;**
б) начало отсчета времени t ;
в) закон движения точки $\vec{r}(t)$.





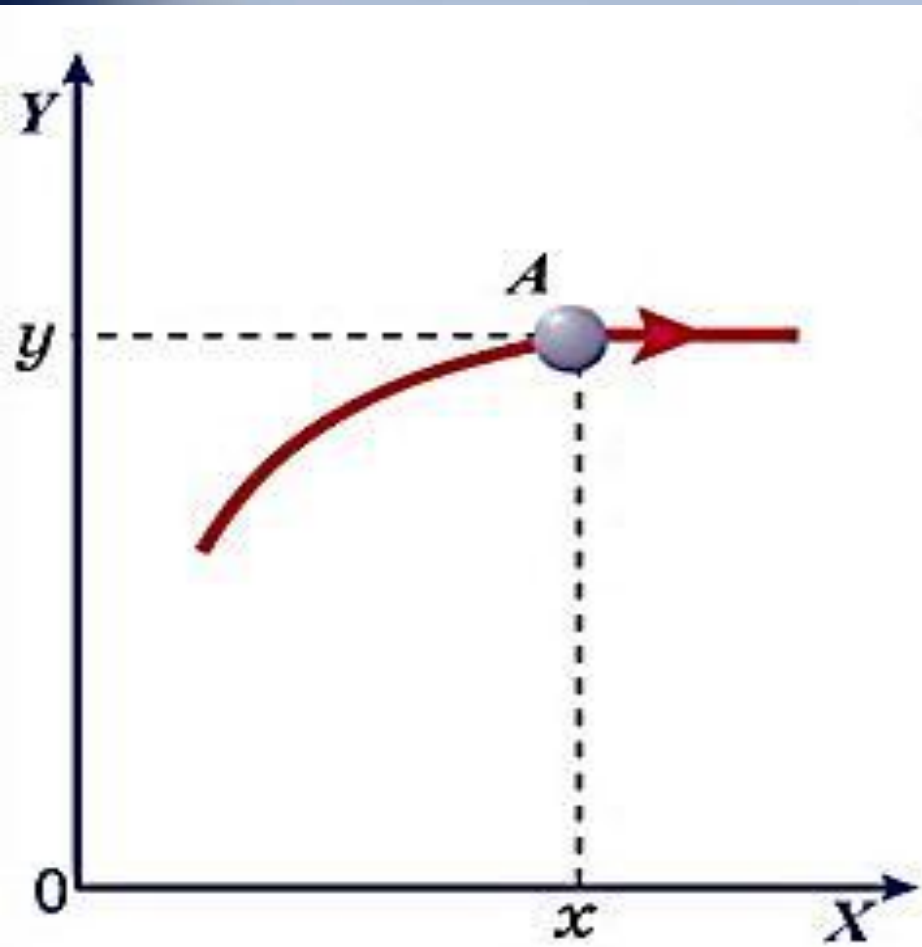
$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$$



Закон движения

- уравнение в векторной форме,
показывающее зависимость
радиус - вектора от времени.

Закон движения в координатной форме



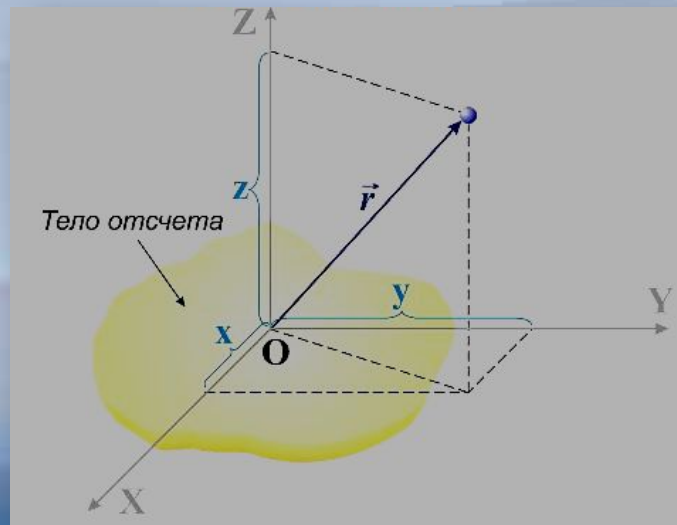
$$X = X_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$Y = Y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}$$

Это наиболее универсальный и часто используемый способ описания движения.

Он предполагает задание:

- а) системы координат ;**
- б) начала отсчета времени t ;**
- в) закона движения точки.**



КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ

- Траектория
- Путь
- Перемещение
- Скорость
- Ускорение

Перемещаясь с течением времени из одной точки в другую в выбранной системе отсчета, тело (материальная точка) описывает некоторую линию, которую называют *траекторией движения тела*.

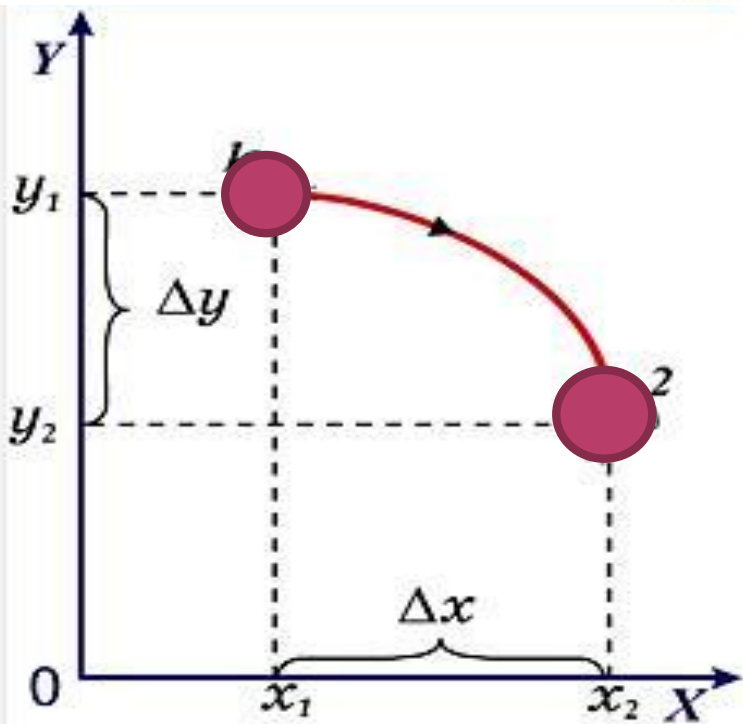
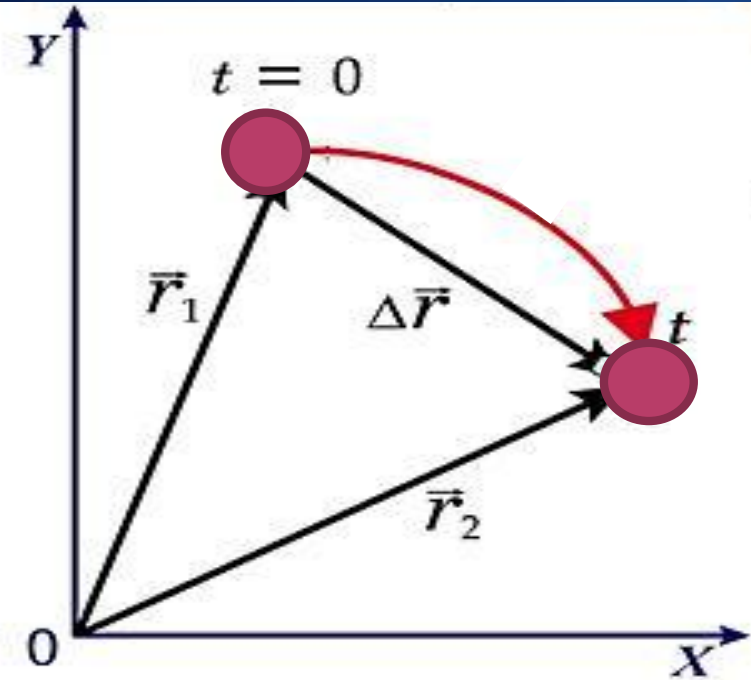
Перемещением тела $\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$ называют направленный отрезок прямой, соединяющий начальное положение тела с его последующим положением.

Перемещение - векторная величина.

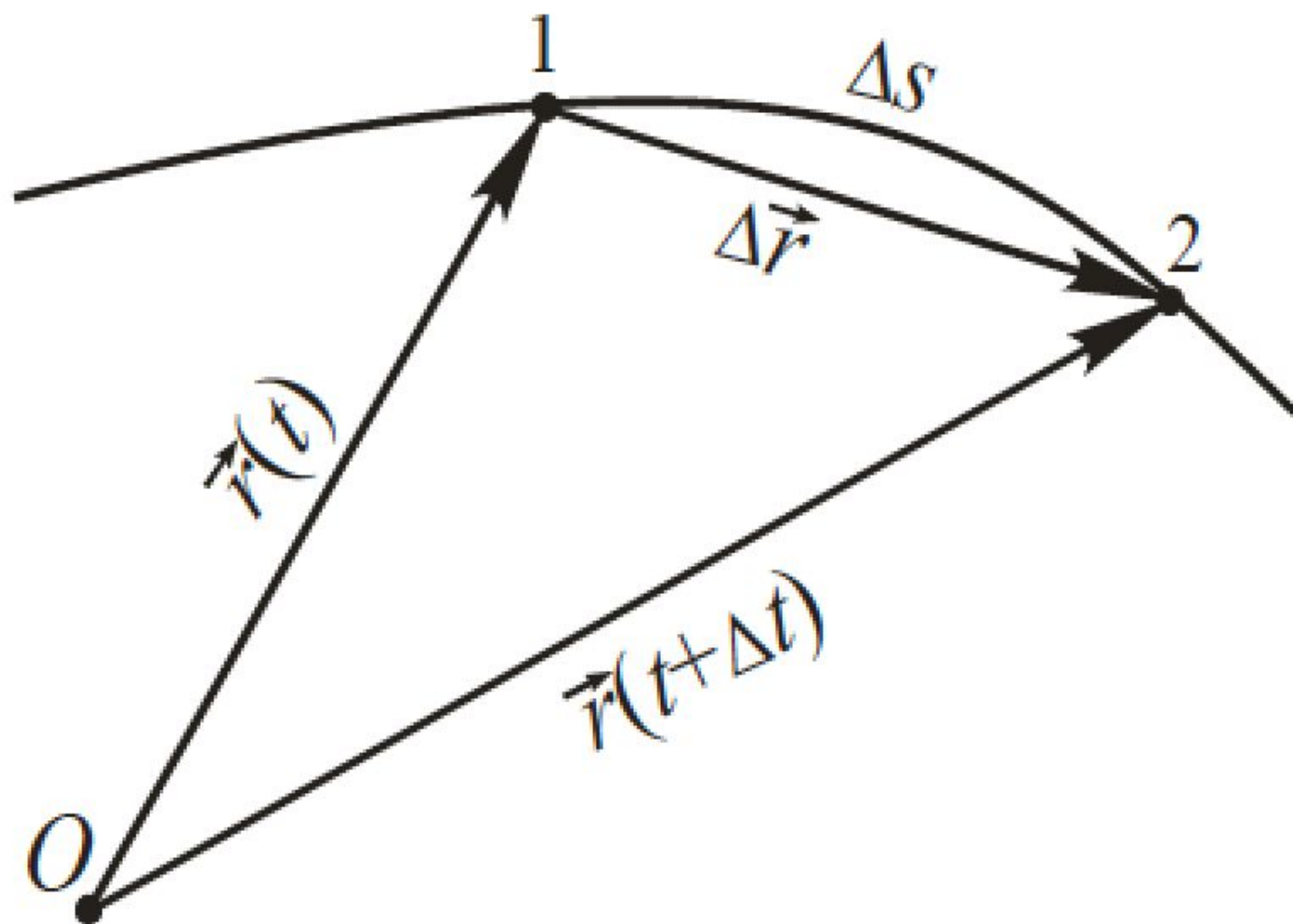
Пройденный путь l равен длине дуги траектории, пройденной телом за некоторое время t .

Путь – скалярная величина.

Если движение тела рассматривать в течение достаточно короткого промежутка времени ($\Delta t \rightarrow 0$), то вектор перемещения окажется направленным по касательной к траектории в данной точке, а его длина будет равна пройденному пути.



Движение можно описать, как изменением радиус - вектора, так и изменением координат материальной точки.



СКОРОСТЬ

Для характеристики движения вводится понятие **вектора средней скорости**:

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

В физике наибольший интерес представляет не средняя, а **мгновенная скорость**, которая определяется как предел, к которому стремится вектор средней скорости на бесконечно малом промежутке времени Δt :

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

В математике такой предел называют **производной** и обозначают $\frac{d\vec{r}}{dt}$ или $\vec{r}'(t)$.

Мгновенная скорость определяется первой производной радиуса-вектора движущейся точки по времени:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}'$$

В декартовых координатах, **радиус-вектор** зависит от времени:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) = x(t)\vec{e}_x + y(t)\vec{e}_y + z(t)\vec{e}_z$$

$$\dot{\vec{r}} = v_x \vec{e}_x + v_y \vec{e}_y + v_z \vec{e}_z$$

где v_x , v_y , v_z — компоненты скорости, т. е. проекции вектора $\dot{\vec{r}}$ на координатные оси.

$$v_x = \dot{x} = \frac{dx}{dt}, v_y = \dot{y} = \frac{dy}{dt}, v_z = \dot{z} = \frac{dz}{dt}$$

компоненты скорости равны производным соответствующих координат по времени



**Быстрота изменения положения
материальной точки в
пространстве
с течением времени
характеризуется *средней и
мгновенной* скоростью**

СРЕДНЯЯ И МГНОВЕННАЯ СКОРОСТИ

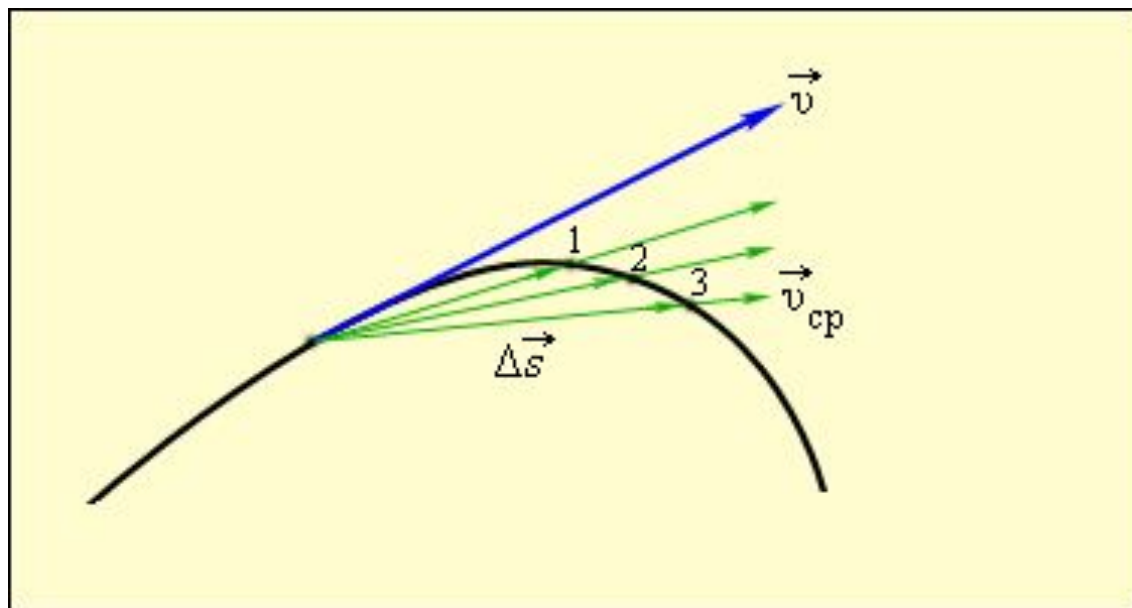
Различие между средней и мгновенной скоростями показано на рисунке.

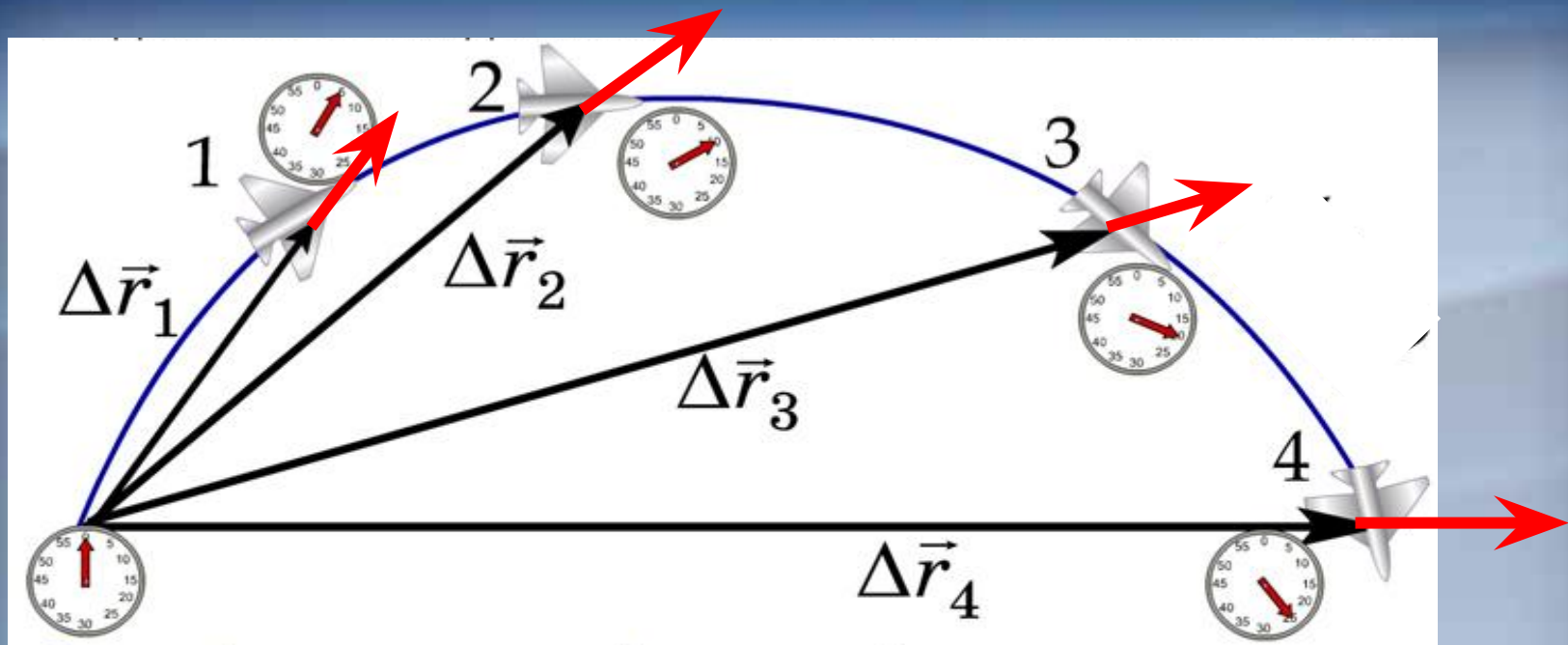
$\Delta \vec{s}_1$, $\Delta \vec{s}_2$, $\Delta \vec{s}_3$ — перемещения за времена $\Delta t_1 < \Delta t_2 < \Delta t_3$ соответственно. При $t \rightarrow 0$ $\vec{v}_{\text{ср}} \rightarrow \vec{v}$

Мгновенная скорость тела в любой точке криволинейной траектории направлена *по касательной к траектории* в этой точке.

Модуль мгновенной скорости материальной точки равен первой производной ее пути по времени:

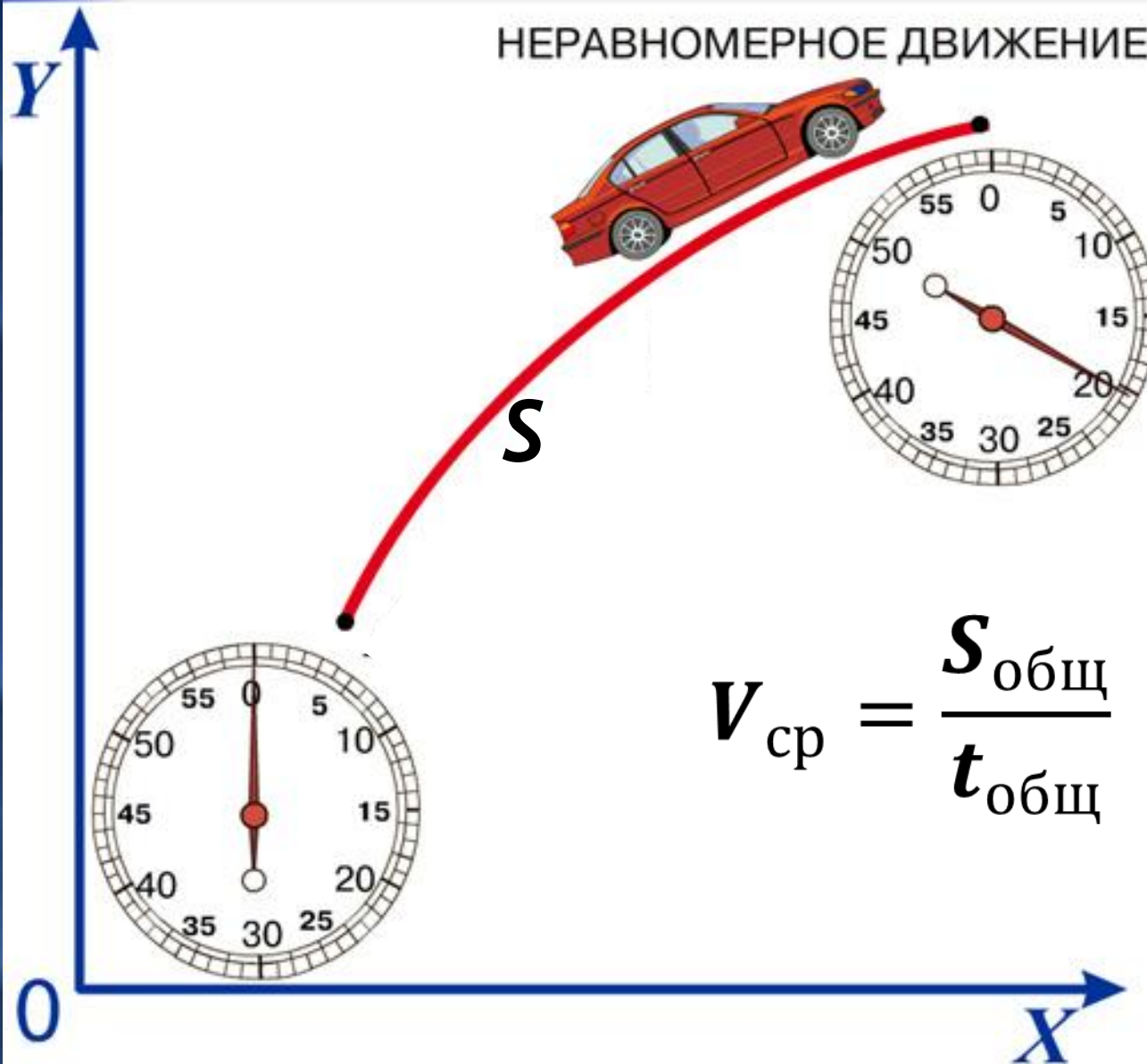
$$v = \frac{ds}{dt}.$$





Направление вектора средней скорости совпадает с направлением вектора перемещения.

НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ



$$V_{\text{ср}} = \frac{s_{\text{общ}}}{t_{\text{общ}}}$$

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

ИЗМЕНЕНИЕ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ПО ВЕЛИЧИНЕ И НАПРАВЛЕНИЮ

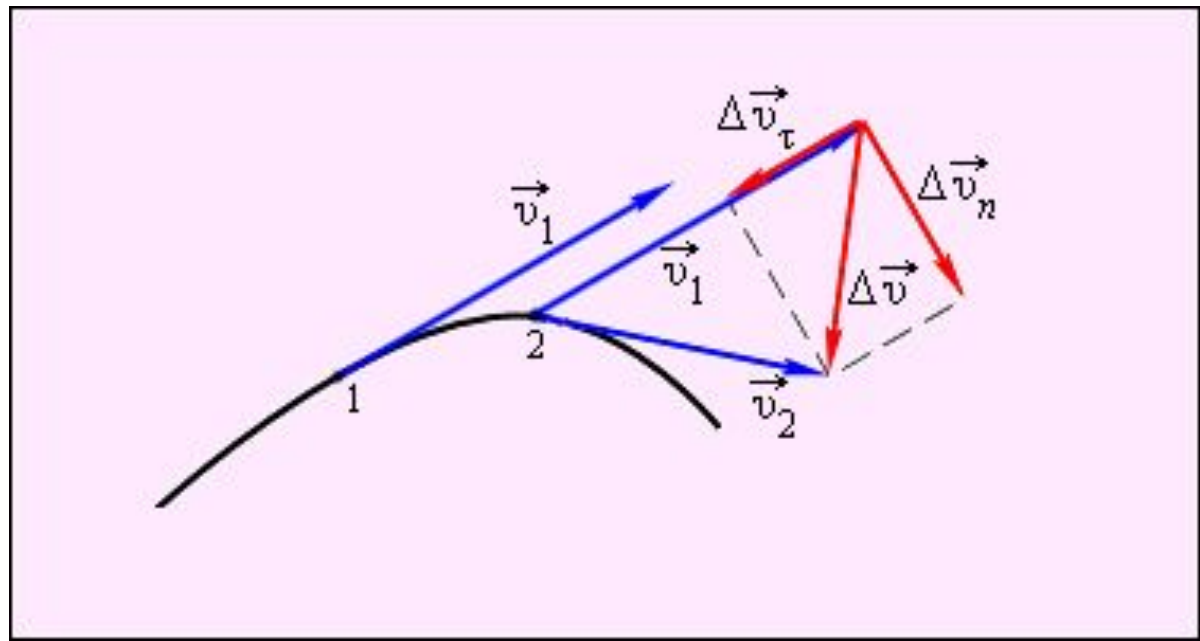
При движении тела по криволинейной траектории его скорость $\vec{v}$ изменяется по модулю и направлению.

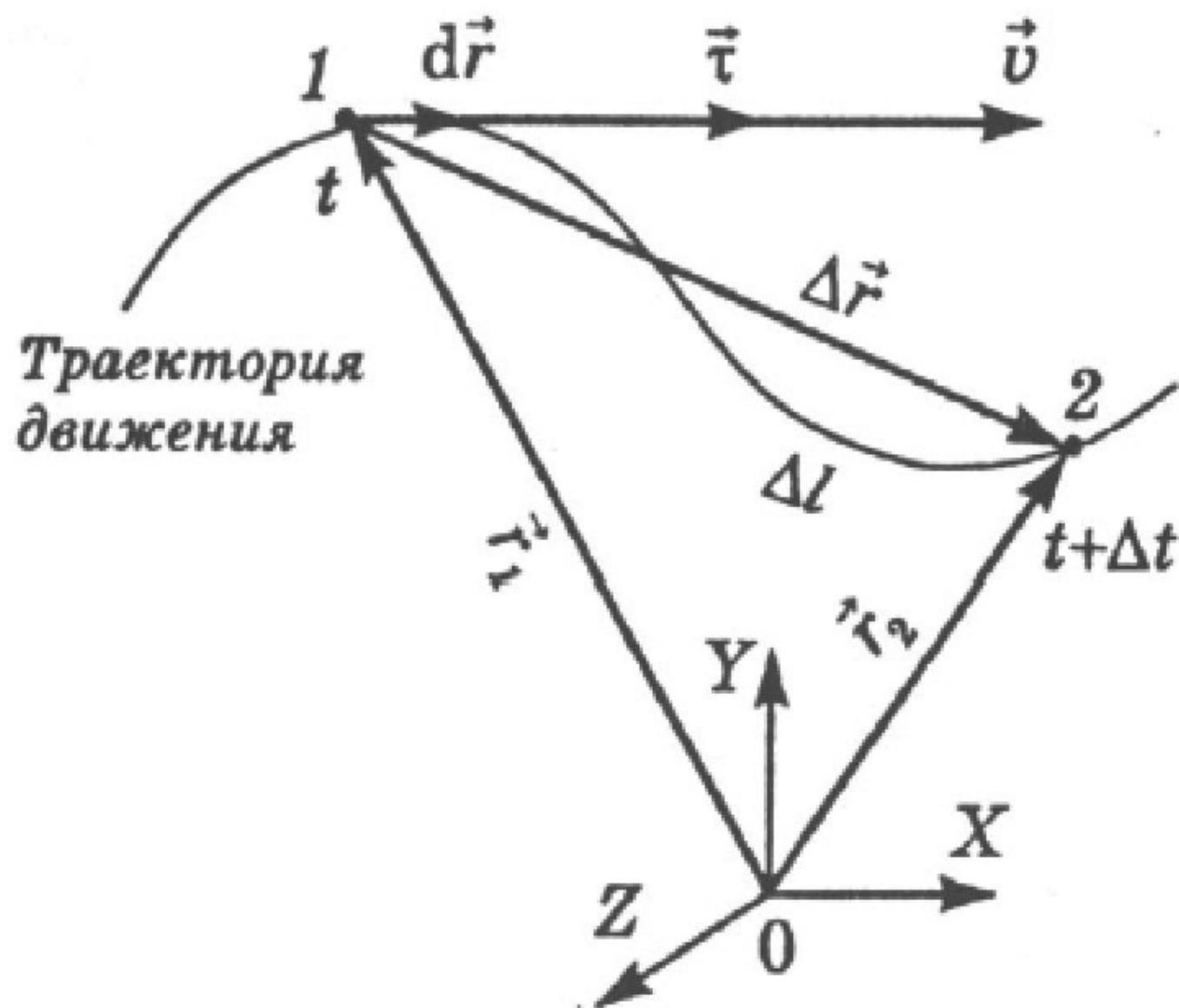
Изменение вектора скорости $\vec{v}$ за некоторый малый промежуток времени Δt можно задать с помощью вектора $\Delta \vec{v}$.

Вектор изменения скорости $\vec{v}$ за малое время Δt можно разложить на две составляющие:

$\vec{v}_\tau$ направленную вдоль вектора $\vec{v}$ (*касательная составляющая*),
 $\vec{v}_n$ направленную перпендикулярно вектору $\vec{v}$ (*нормальная составляющая*).

$$\Delta \vec{v} = \Delta \vec{v}_\tau + \Delta \vec{v}_n$$





МГНОВЕННОЕ УСКОРЕНИЕ

Мгновенным ускорением $\vec{a}$ тела называют предел отношения малого изменения скорости $\Delta\vec{v}$ к малому промежутку времени Δt , в течение которого происходило изменение скорости:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v}'$$

Направление вектора ускорения $\vec{a}$ в случае криволинейного движения не совпадает с направлением вектора скорости $\vec{v}$.

Составляющие вектора ускорения $\vec{a}$ называют касательным (тангенциальным) $\vec{a}_\tau$ и нормальным $\vec{a}_n$ ускорениями.

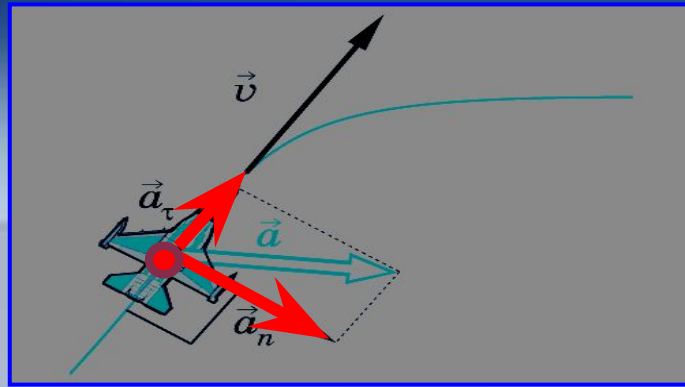
Касательное (тангенциальное) ускорение указывает, насколько быстро изменяется скорость тела по модулю:

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}$$

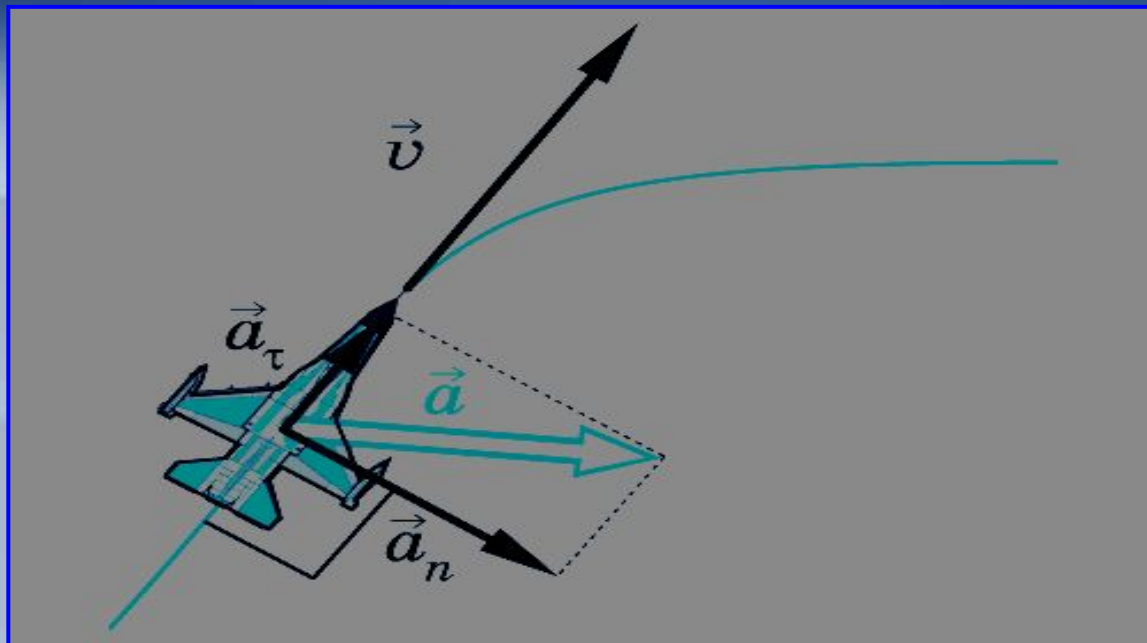
Вектор $\vec{a}_\tau$ направлен по касательной к траектории.

Нормальное ускорение характеризует быстроту изменения скорости по направлению (направлено к центру кривизны траектории):

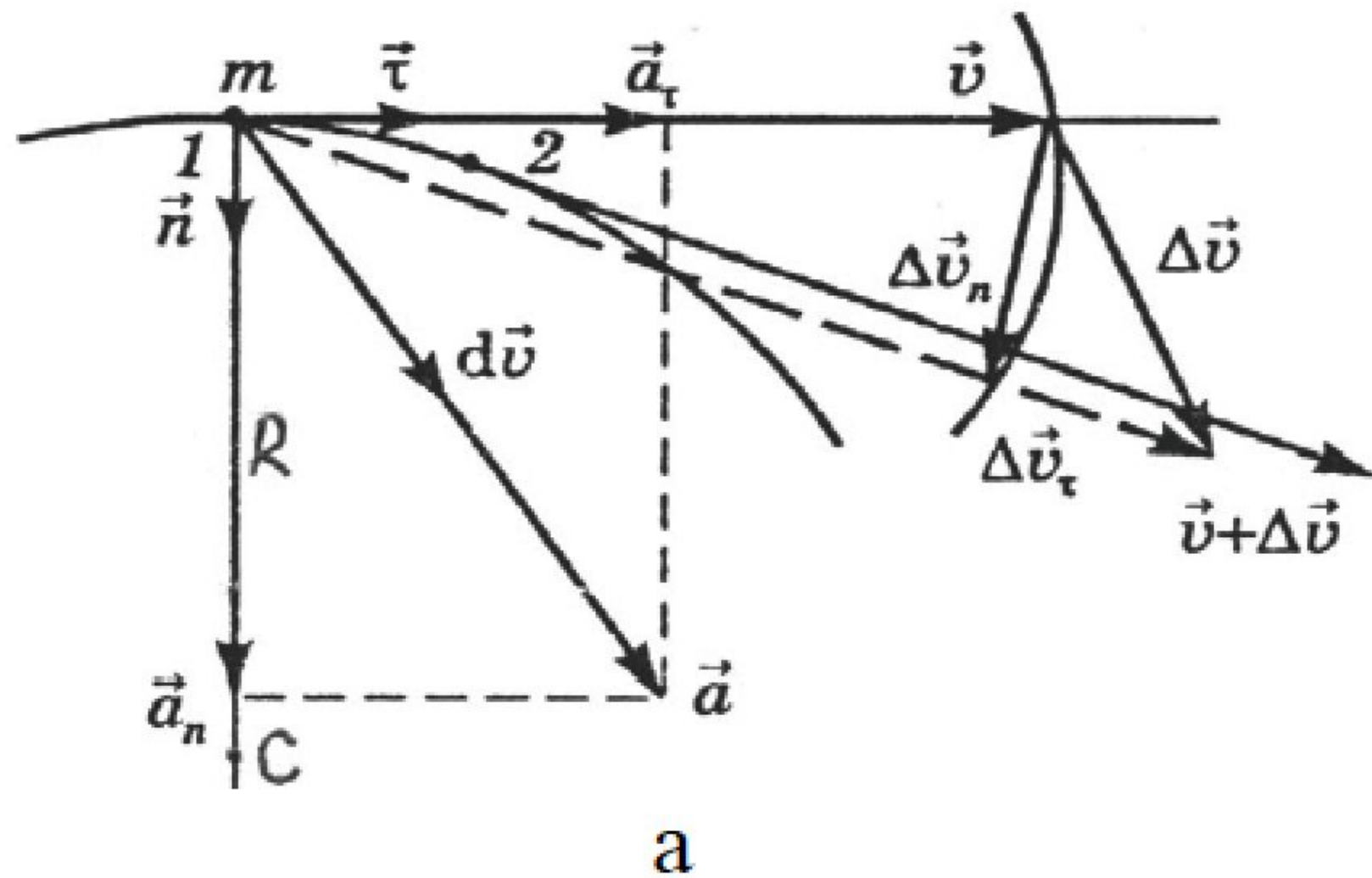
$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

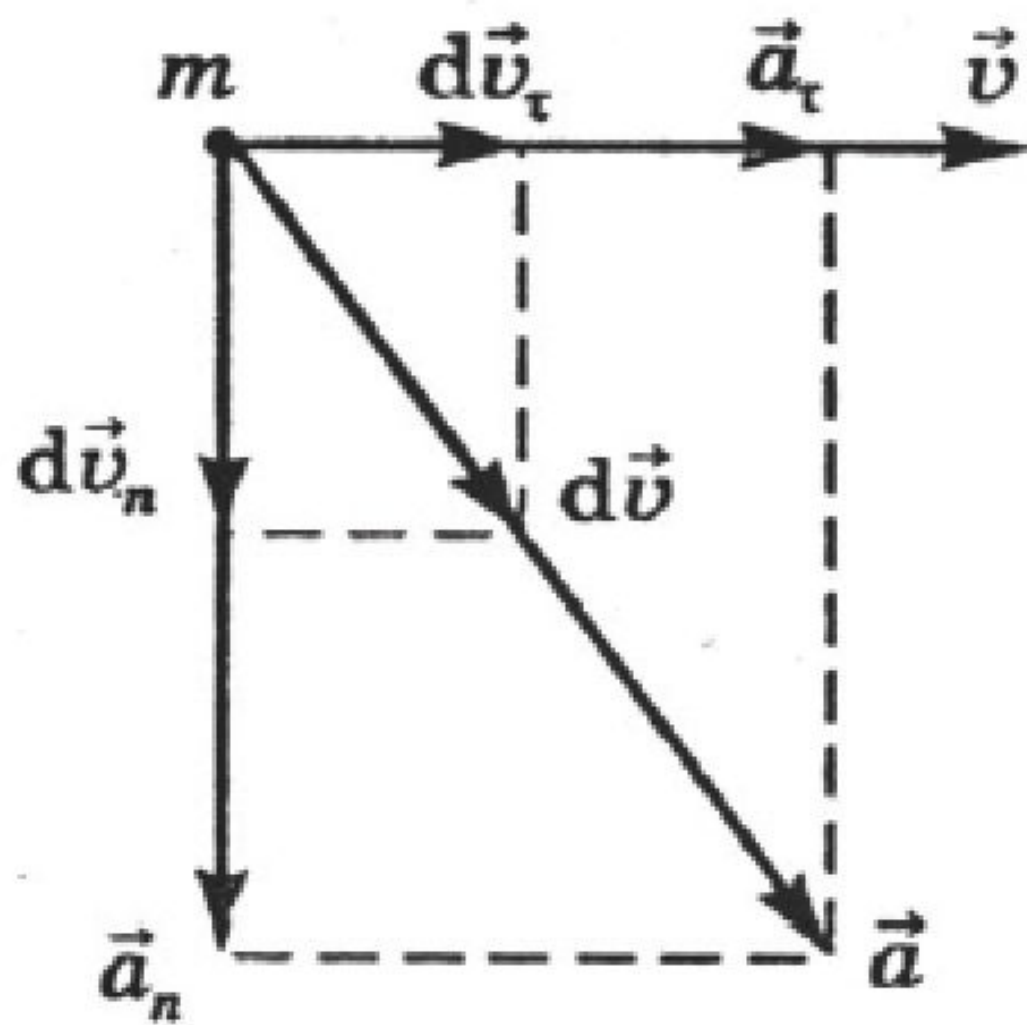


Удобно и целесообразно вектор $\vec{a}$ разложить на два составляющих вектора: на тангенциальное ускорение $\vec{a}_\tau$ (характеризующее изменение скорости по модулю) и нормальное ускорение $\vec{a}_n$ (характеризующее изменение скорости по направлению).



При криволинейном движении вектор мгновенного ускорения $\vec{a}$ в любой точке траектории направлен под некоторым углом к направлению мгновенной скорости $\vec{V}$ в этой точке.





КАСАТЕЛЬНОЕ И НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЯ

Полное ускорение при криволинейном движении — геометрическая сумма тангенциальной и нормальной составляющих: $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$

Модуль полного ускорения равен:

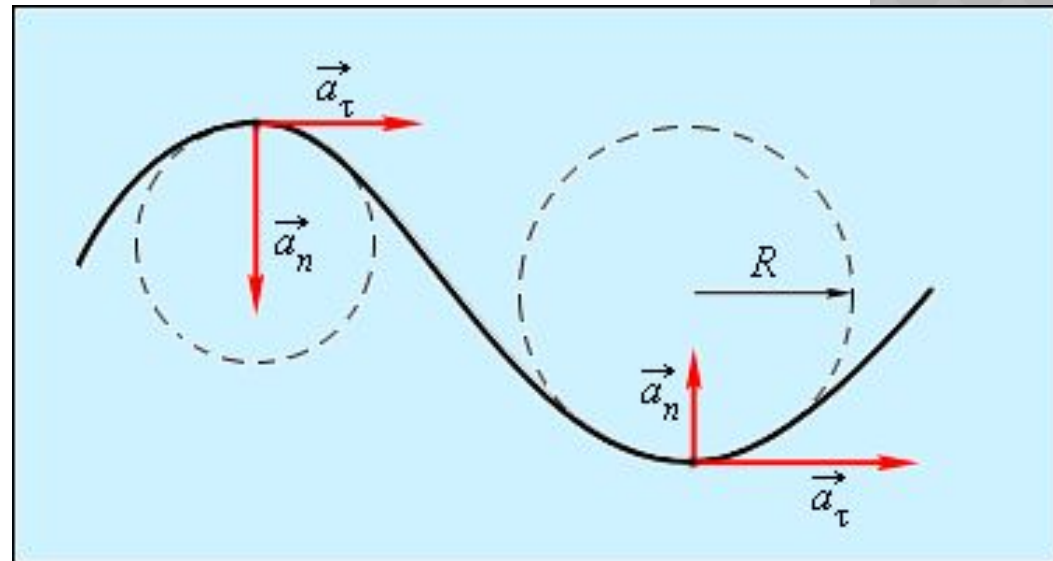
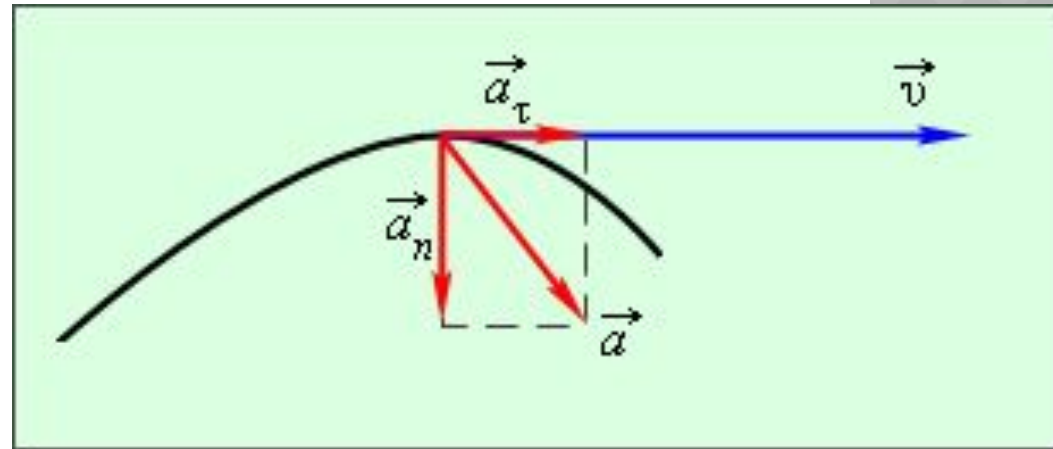
$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}.$$

Криволинейное движение можно представить как движение по дугам окружностей.

Нормальное ускорение зависит от модуля скорости v и от радиуса R окружности, по дуге которой тело движется в данный момент:

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

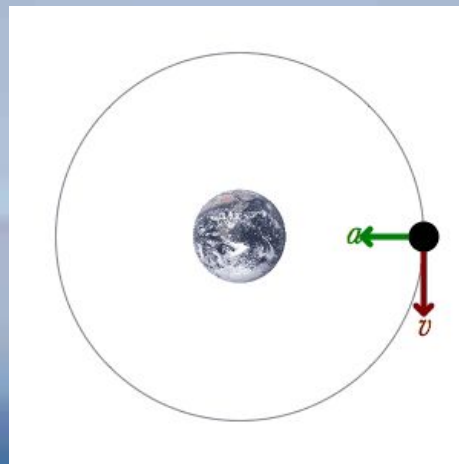
Вектор $\vec{a}_n$ всегда направлен к центру окружности.



В случае движения по окружности нормальное ускорение называется центростремительным.

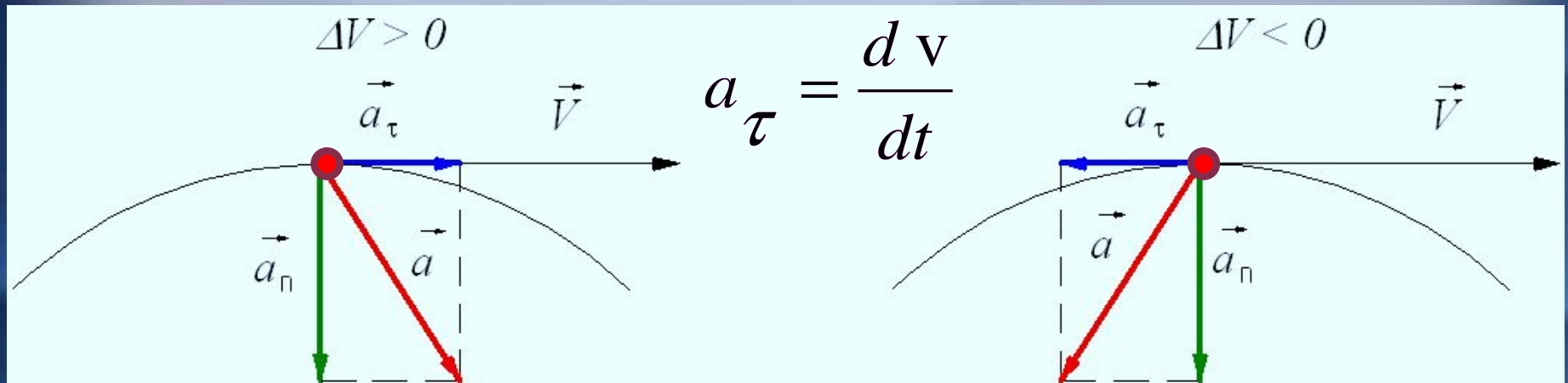
При движении по окружности с постоянной скоростью нормальное ускорение постоянно по модулю и направлено к центру окружности.

$$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}$$



$$a_{\text{ц}} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

Направление вектора тангенциального ускорения совпадает с направлением линейной скорости или противоположно ему.



Вектор $\vec{a}_\tau$, как и вектор скорости, направлен по касательной к траектории.

ПРОСТЕЙШИЕ ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ

$$\bar{a} = \bar{a}_\tau + \bar{a}_n$$

1) Равномерное прямолинейное движение

$$\bar{a}_n = 0 \quad \bar{a}_\tau = 0 \quad \bar{a} = 0$$

2) Равнопеременное прямолинейное движение

$$\bar{a}_n = 0 \quad \bar{a}_\tau \neq 0 \quad \bar{a} = \bar{a}_\tau$$

3) Равномерное криволинейное движение

$$\bar{a}_n \neq 0 \quad \bar{a}_\tau = 0 \quad \bar{a} = \bar{a}_n$$

4) Равнопеременное криволинейное

$$\bar{a}_n \neq 0 \quad \bar{a}_\tau \neq 0 \quad \bar{a} \neq 0$$

$$\bar{a} = \bar{a}_\tau + \bar{a}_n$$

КИНЕМАТИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА



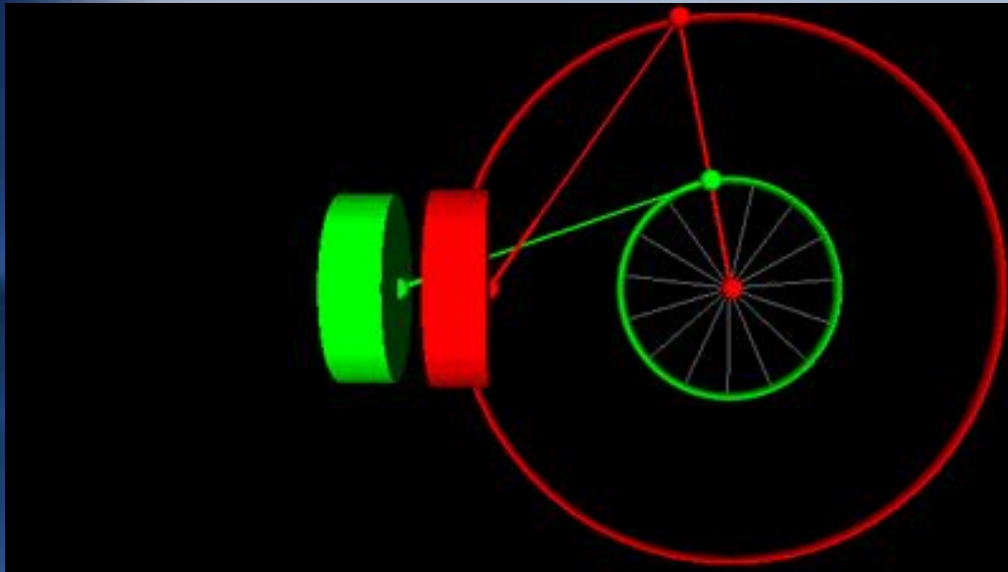
Движение твердого тела отличается от движения материальной точки. Обычно выделяют два простых вида движения тела:

- **Поступательное** - это движение, при котором любая прямая, проведенная в теле, перемещается параллельно самой себе так, что все точки тела описывают одинаковые траектории.
- **Вращательное** - это движение, при котором все точки тела двигаются по окружностям разных радиусов, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения.

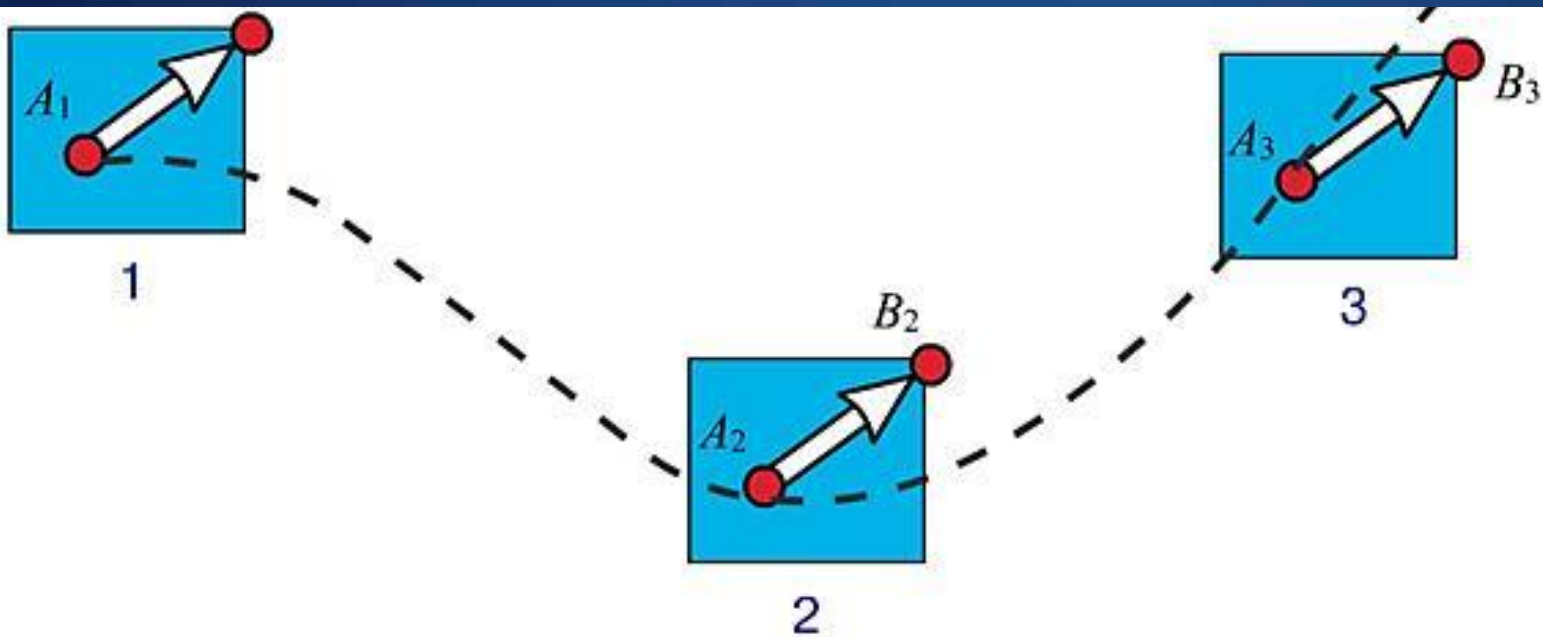
Сложное движение твердого тела – это совокупность поступательного и вращательного движений.

Абсолютно твердым называется тело, конфигурация которого не меняется при любых воздействиях на него.

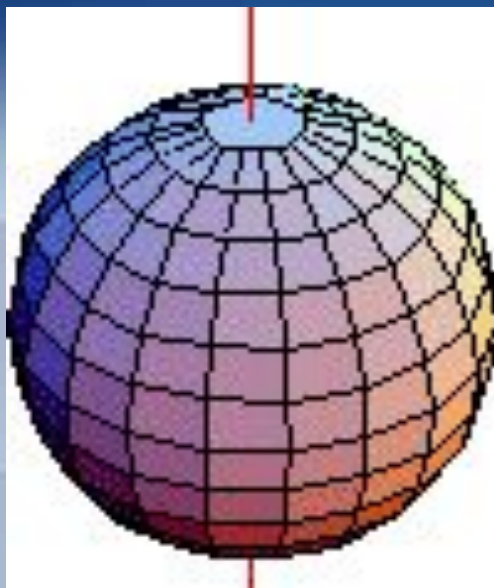
Движение абсолютно твёрдого тела



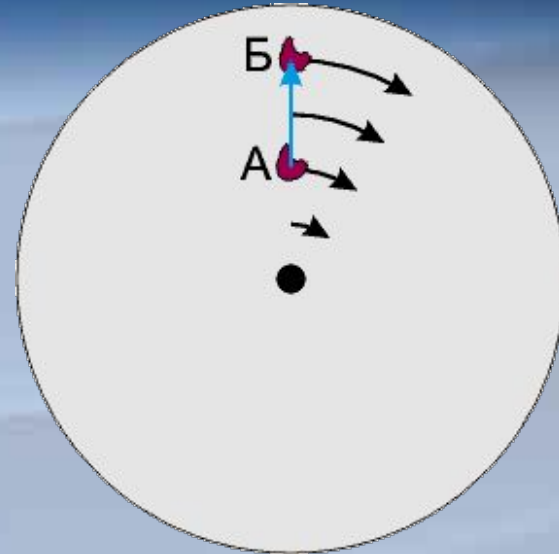
Плоское
движение
абсолютно
твёрдого тела
можно
представить как
совокупность
поступательного
и вращательного



Поступательным движением называется такое движение, при котором траектории всех точек тела одинаковы, или при котором любой отрезок, проведенный в теле перемещается параллельно самому



Вращательным движением называется такое движение, при котором траектории всех точек тела - это окружности, а центры этих окружностей лежат на одной прямой называемой осью



**При вращательном движении,
в отличие от поступательного,
скорости разных точек тела
неодинаковы.**

**Поэтому скорость какой-либо точки
вращающегося тела не может служить
характеристикой движения всего тела.**

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

- ⊙ 1. Угол поворота
- ⊙ 2. Угловая скорость
- ⊙ 3. Угловое ускорение

УГОЛ ПОВОРОТА

Угол поворота (угловое перемещение) – это угол $\Delta\varphi$, на которое за время Δt повернулась точка тела находящаяся на расстоянии R от оси вращения.

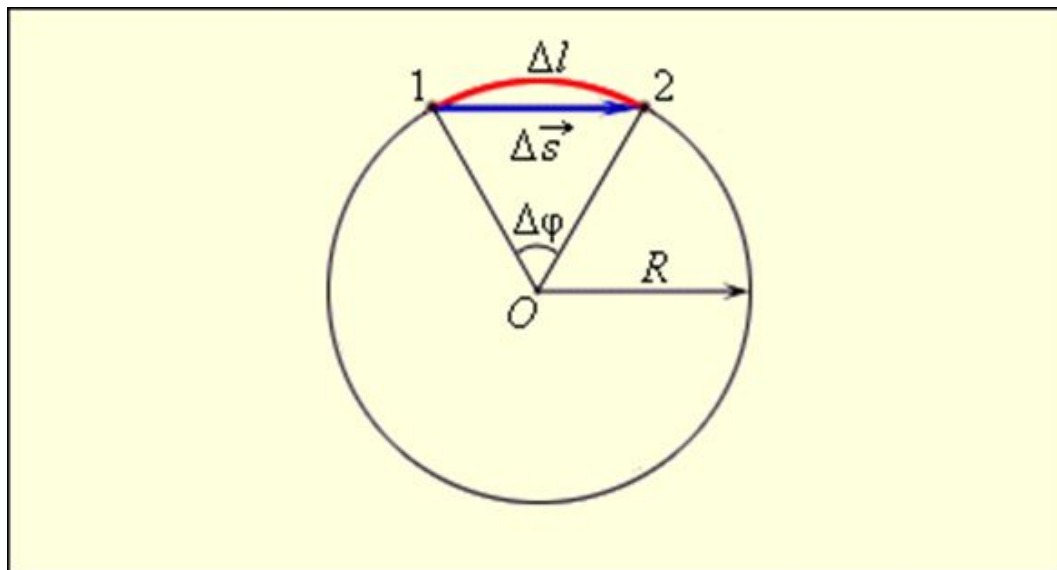
Угол поворота – это *осевой (аксиальный) вектор*, направление которого определяется правилом правого винта (буравчика).

Угол поворота измеряется в **радианах**.

Длина дуги Δl связана с углом поворота $\Delta\varphi$ соотношением:

$\Delta l = R \Delta\varphi$ – в элементарных, но конечных величинах.

$dS = R d\varphi$ – в бесконечно малых величинах.



УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ

Угловой скоростью $\vec{\omega}$ называется вектор, численно равный первой производной угла поворота тела по времени и направленный вдоль оси вращения по правилу правого винта:

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

Единица измерения угловой скорости
радиан в секунду (рад/с).

Вектор $\vec{\omega}$ определяет направление и быстроту вращения.

Угловая скорость может быть связана с линейной скоростью v произвольной точки A . Пусть за время Δt точка проходит по дуге окружности длину пути Δs . Тогда линейная скорость точки будет равна:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R \Delta \varphi}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = R \cdot \omega.$$

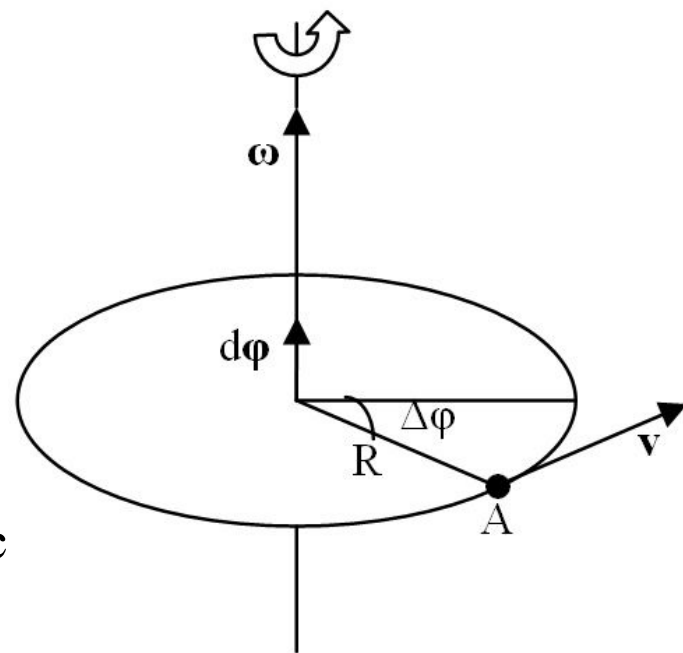
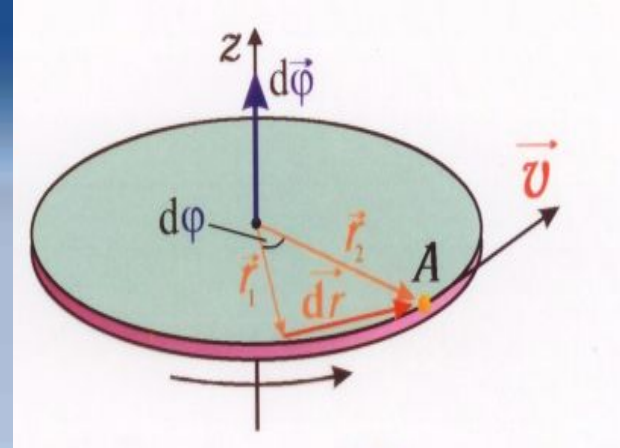


Рис. 1.6



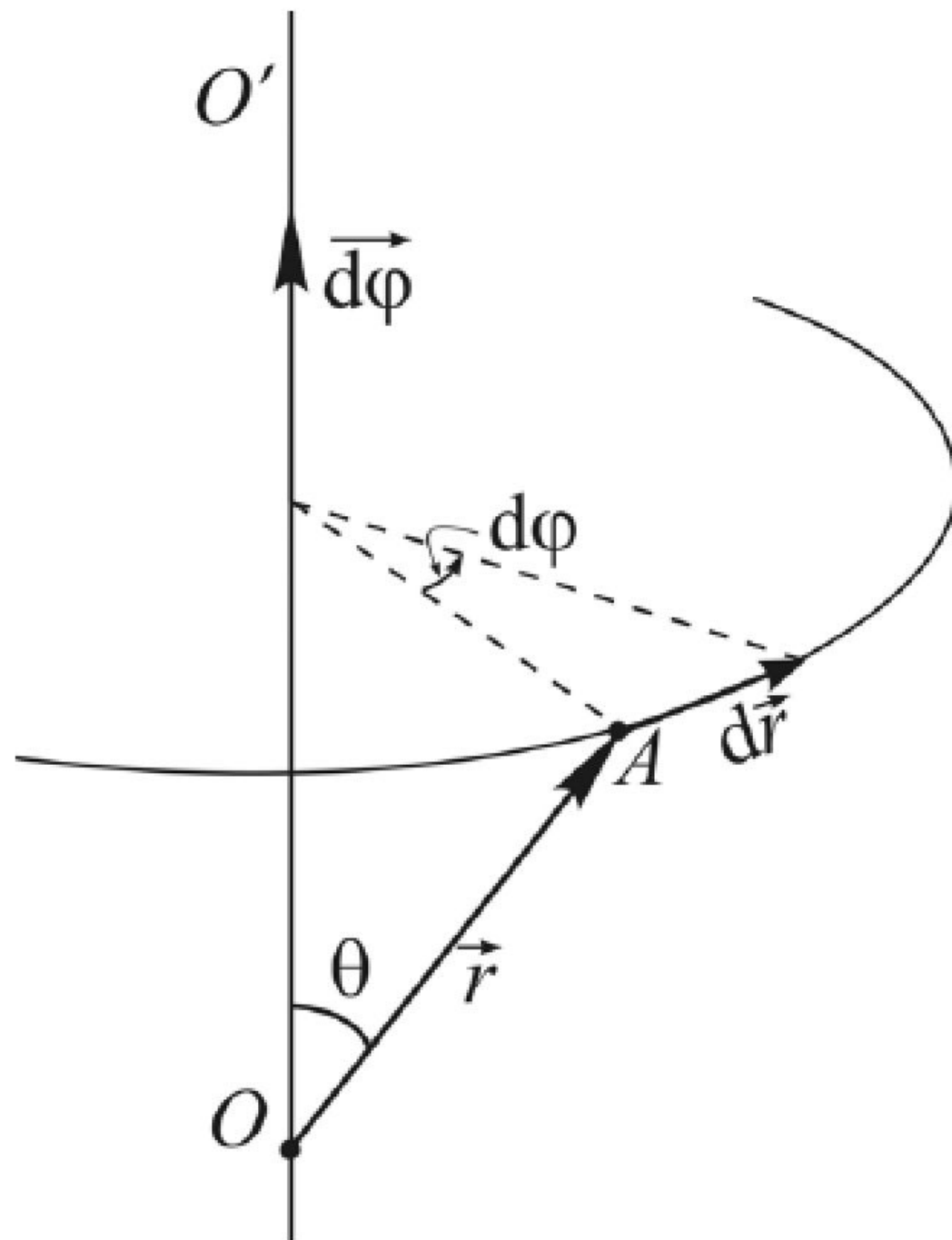
$$\vec{\omega} = d\vec{\varphi} / dt$$

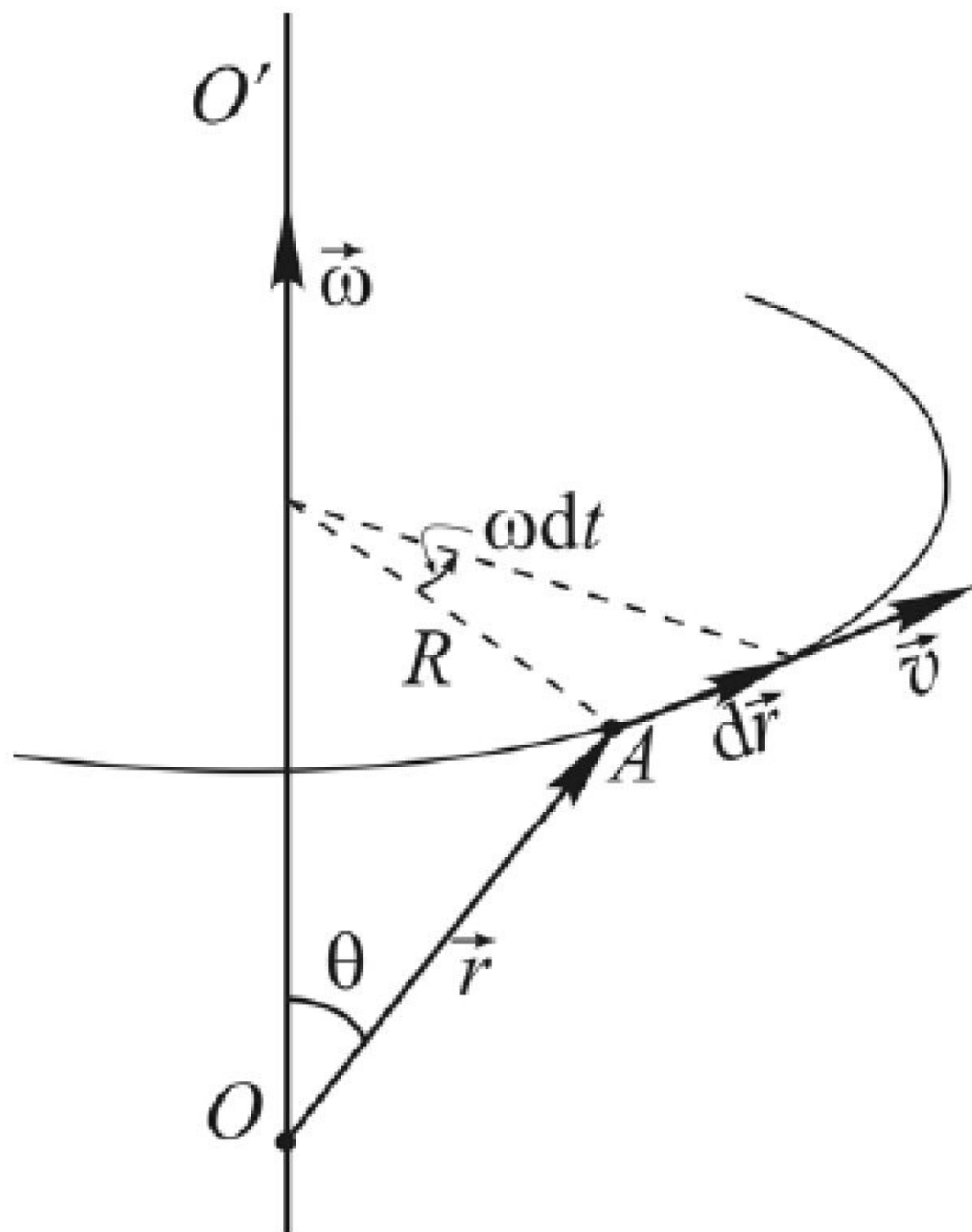


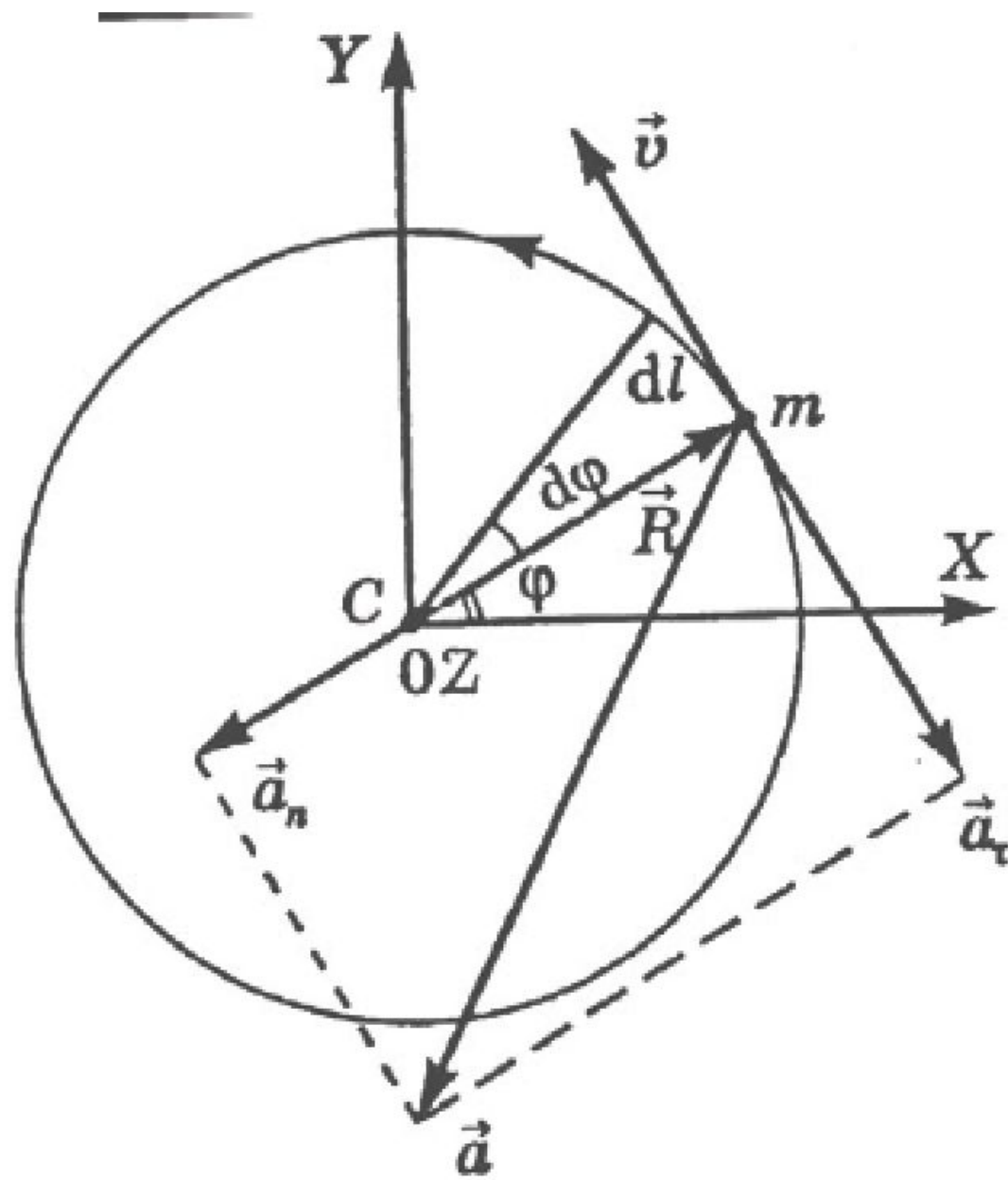
Угловая скорость $\vec{\omega}$

– векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения угла поворота радиус – вектора, равная производной угла поворота по времени и направлена так же, как и $d\vec{\varphi}$.

Угловая скорость показывает, на какой угол поворачивается тело за 1 секунду







a

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАВНОМЕРНОГО ВРАЩЕНИЯ

Если $\omega = \text{const}$, то вращение называется *равномерным*.

Равномерное вращение можно характеризовать *периодом вращения* T – временем, за которое точка тела совершает один полный оборот, т.е. поворачивается на угол 2π :

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

Число полных оборотов, совершаемых телом при равномерном движении по окружности, в единицу времени называется *частотой вращения*:

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

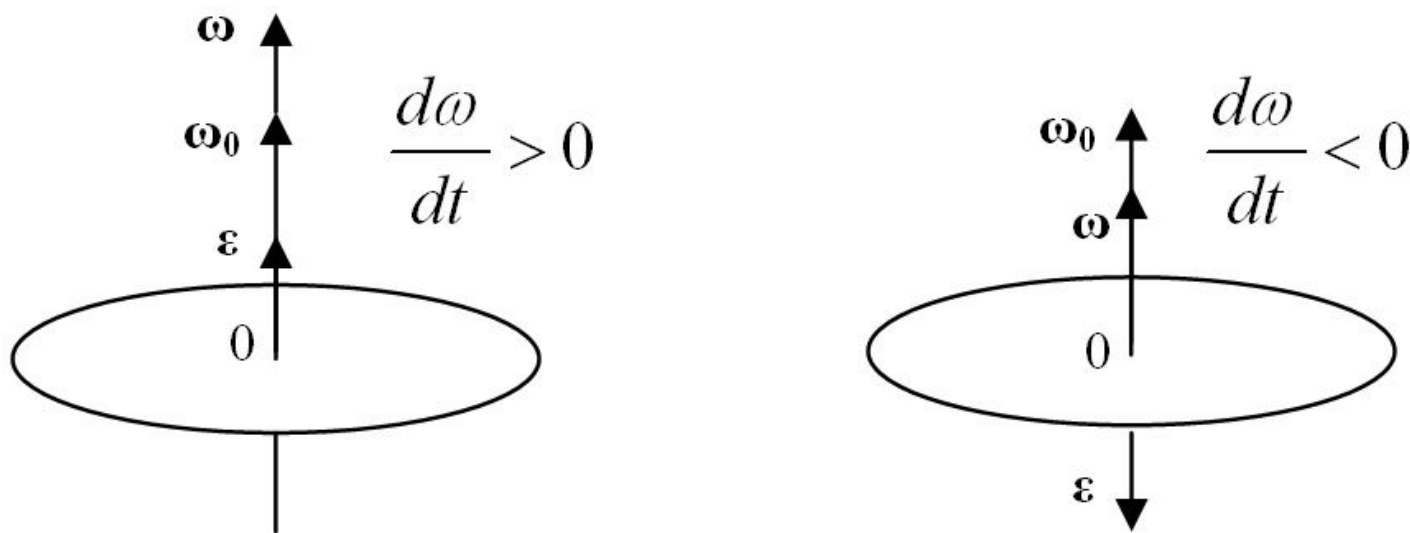
УГЛОВОЕ УСКОРЕНИЕ

Для характеристики неравномерного вращения тела вводится понятие углового ускорения.

Угловым ускорением называется векторная величина, равная первой производной угловой скорости по времени:

$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad [\varepsilon] = [\text{рад/с}^2]$$

При вращении тела вокруг неподвижной оси вектор углового ускорения направлен вдоль оси вращения:



Вектор $\vec{\epsilon}$

направлен вдоль оси вращения.

Если модуль $\vec{\epsilon}$ возрастает,

то вектора $\vec{\epsilon}$ и $\vec{\omega}$

совпадают по направлению,

если модуль вектора уменьшается

– то вектора $\vec{\epsilon}$ и $\vec{\omega}$ направлены

в противоположные стороны

СВЯЗЬ МЕЖДУ ЛИНЕЙНЫМИ И УГЛОВЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Выразим тангенциальную и нормальную составляющие ускорения точки A вращающегося тела через угловую скорость и угловое ускорение:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R \cdot \varepsilon;$$

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

Связь между линейными (длина пути s , пройденного точкой по окружности радиуса R , линейная скорость v , тангенциальное ускорение a_{τ} , нормальное ускорение a_n) и угловыми характеристиками (угол поворота φ , угловая скорость ω , угловое ускорение ε) выражается следующими формулами:

$$s = R\varphi, \quad v = \omega R, \quad a_{\tau} = R\varepsilon, \quad a_n = \omega^2 R.$$

***По аналогии с уравнениями
поступательного движения можно
записать уравнения для
вращательного движения***

$$s = v_0 t + \frac{a_{\tau} t^2}{2}$$

$$v = v_0 + a_{\tau} t$$

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

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$$

Поступательное движение		Вращательное движение	
Определения			
Координата	$x, \text{ м}$	Угол поворота	$\varphi, \text{ рад}$
Скорость	$v_x = \frac{dx}{dt}, \text{ м/с}$	Угловая скорость	$\omega_z = \frac{d\varphi}{dt}, \text{ рад/с}$
Ускорение	$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \text{ м/с}^2$	Угловое ускоре- ние	$\varepsilon_z = \frac{d\omega_z}{dt}, \text{ рад/с}^2$
Законы равнопеременного движения			
$a_x = \text{const}$		$\varepsilon_z = \text{const}$	
$v_x = v_{0x} + a_x t$		$\omega_z = \omega_{0z} + \varepsilon_z t$	
$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$		$\varphi = \varphi_0 + \omega_{0z} t + \frac{\varepsilon_z t^2}{2}$	

**По аналогии с уравнениями
поступательного движения можно
записать уравнения для
вращательного движения**

Прямолинейное движение		Вращательное движение	
Перемещение	$\Delta \mathbf{r}$	Угол поворота	$\Delta \varphi$
Линейная скорость	$v = \frac{ds}{dt}$	Угловая скорость	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
Линейное ускорение	$a = \frac{dv}{dt}$	Угловое ускорение	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$
	$a = \frac{d^2s}{dt^2}$		$\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$

	Описание положения и движения точечного тела и поступательного движения твердого тела		Описание движения точки по окружности и вращательного движения твердого тела угловыми величинами
	Естественный способ описания движения	Координатная и векторная формы описания движения	
1	2	3	
4			
Положение (местонахождение) тела в момент времени t	Задаются: 1) траектория движения; 2) пройденный к данному моменту времени t путь ℓ	Выбираются тело отсчета O , система координат (с.к.), система отсчета (с.о.) Задаются координаты точки x, y, z Связь $\vec{r}$ с координатами: $\vec{r} = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z$; $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$; $x = r \cos\alpha$; $y = r \cos\beta$; $z = r \cos\gamma$	За тело отсчета O принимается центр окружности C . Задаются: 1) ось вращения Oz 2) радиус окружности R 3) угол φ между R и осью Ox (ось Ox в плоскости окружности)
Величина, характеризующая движение (свидетельствующая о движении тела)	Пройденный путь: $\Delta \ell$ за время Δt $d\ell$ за время dt	Изменения координат: $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ за время Δt ; dx, dy, dz за время dt Связь $d\vec{r}$ с dx, dy, dz : $d\vec{r} = \vec{i}dx + \vec{j}dy + \vec{k}dz$; $d\ell^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$	Перемещение $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ за время Δt ; $d\vec{r}$ за время dt
	Связь $d\ell$ с $d\vec{r}$: $d\vec{r} = \vec{\tau} d\ell$; $d\ell = dr$, при движении по прямой вдоль оси Ox $d\ell = dx$; $\Delta \ell = \Delta x$		
Связь линейных величин $\ell, d\ell, d\vec{r}$ с угловыми величинами $\varphi, d\varphi, d\vec{\varphi}$: $\ell = R\varphi$; $\Delta \ell = R\Delta\varphi$; $d\ell = R d\varphi$; $d\vec{r} = d\vec{\varphi} \times \vec{R}$			

Описание движения (задание положения движущегося тела в любой момент времени t)	1) Траектория (уравнение траектории) движения 2) Зависимость ℓ от t : $\ell = \ell(t)$	Зависимости координат от времени: $x=x(t); y=y(t); z=z(t)$	Зависимость $\vec{r}$ от t : $\vec{r} = \vec{r}(t)$ Конец вектора $\vec{r}$ описывает траекторию движения	Зависимость угла поворота от времени: $\varphi = \varphi(t)$
Величина, характеризующая быстроту движения	Скорость движения $\vec{v}$ Скорость прохождения пути (путевая скорость) v Средняя скорость прохождения пути $v_c = \frac{\Delta \ell}{\Delta t}$ Модуль скорости движения (мгновенной) $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \ell}{\Delta t} = \frac{d\ell}{dt} = \ell'$ Скорость движения $\vec{v} = v\vec{r}$	Скорость движения (быстрота изменения радиуса-вектора со временем) $\vec{v}$ Скорость движения (мгновенная) $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}'_t$ $\vec{v} = \vec{i}v_x + \vec{j}v_y + \vec{k}v_z$ $\vec{v} = \vec{i} \frac{dx}{dt} + \vec{j} \frac{dy}{dt} + \vec{k} \frac{dz}{dt}$ $v_x = \frac{dx}{dt}; v_y = \frac{dy}{dt}; v_z = \frac{dz}{dt}$ $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$	Угловая скорость ω Средняя угловая скорость $\omega_c = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ Угловая скорость (мгновенная) $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \varphi'_t$ Вектор угловой скорости $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \vec{k}\omega$	
Связь линейной скорости $\vec{v}$ с угловой скоростью ω и с вектором угловой скорости $\vec{\omega}$: $v = \omega R; \vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R}$				



	Описание положения и движения точечного тела и поступательного движения твердого тела		Описание движения точки по окружности и вращательного движения твердого тела угловыми величинами
	<i>Естественный способ описания движения</i>	<i>Координатная и векторная формы описания движения</i>	
1	2	3	
Положение (местонахождение) тела в момент времени t	Задаются: 1) траектория движения; 2) пройденный к данному моменту времени t путь ℓ	Выбираются тело отсчета O , система координат (с.к.), система отсчета (с.о.) Задаются координаты точки x, y, z Задается радиус-вектор точки $\vec{r}$ Связь $\vec{r}$ с координатами: $\vec{r} = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z$; $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$; $x = r \cos\alpha$; $y = r \cos\beta$; $z = r \cos\gamma$	За тело отсчета O принимается центр окружности C . Задаются: 1) ось вращения Oz 2) радиус окружности R 3) угол φ между R и осью Ox (ось Ox в плоскости окружности)
Величина, характеризующая движение (свидетельствующая о движении тела)	Пройденный путь: Δl за время Δt dl за время dt	Изменения координат $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ за время Δt dx, dy, dz за время dt	Перемещение $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ за время Δt $d\vec{r}$ за время dt
		Связь $d\vec{r}$ с dx, dy, dz : $d\vec{r} = \vec{i}dx + \vec{j}dy + \vec{k}dz$; $dr^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$	Угол поворота $\Delta\varphi$ за время Δt ; $d\varphi$ за время dt . Угловое перемещение $d\vec{\varphi} = \vec{k}d\varphi$
	Связь $d\ell$ с dr : $d\vec{r} = \vec{r} d\ell$; $d\ell = dr$; при движении по прямой вдоль оси Ox $d\ell = dx$		
	Связь линейных величин $\ell, d\ell, d\vec{r}$ с угловыми величинами $\varphi, d\varphi, d\vec{\varphi}$: $\ell = R\varphi$; $\Delta\ell = R\Delta\varphi$; $d\ell = R d\varphi$; $d\vec{r} = d\vec{\varphi} \times \vec{R}$		



Величина, характеризующая быстроту изменения скорости движения	$\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1; d\vec{v}$ Ускорение движения $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ $\Delta \vec{v} = \Delta \vec{v}_x + \Delta \vec{v}_y; d\vec{v} = d\vec{v}_x + d\vec{v}_y$	Ускорение движения $\vec{a}$ $\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}; \vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$ $\vec{a} = \vec{i} \frac{dv_x}{dt} + \vec{j} \frac{dv_y}{dt} + \vec{k} \frac{dv_z}{dt} =$ $= \vec{i} \frac{d^2 x}{dt^2} + \vec{j} \frac{d^2 y}{dt^2} + \vec{k} \frac{d^2 z}{dt^2}$ $a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}; a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2};$ $a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2}$ $\vec{a} = \vec{i} a_x + \vec{j} a_y + \vec{k} a_z;$ $a^2 = a_x^2 + a_y^2 + a_z^2$	-
Величина, характеризующая быстроту изменения модуля скорости движения	Тангенциальное (касательное) ускорение $\vec{a}_\tau$ $\Delta v_\tau = \Delta v; dv_\tau = dv; d\vec{v}_\tau = \vec{\tau} dv$ $\vec{a}_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_\tau}{\Delta t} = \vec{\tau} \frac{dv}{dt}; a_\tau = \frac{dv}{dt}$	Угловое ускорение $\vec{\alpha}$ $\vec{\alpha} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{k} \frac{d\omega}{dt}$ $\alpha = \frac{d\omega}{dt}; \vec{\alpha} = \vec{k} \alpha$	
Величина, характеризующая быстроту изменения направления скорости движения	Нормальное ускорение $\vec{a}_n$ $\Delta \vec{v}_n; d\vec{v}_n; d\vec{v}_n = \vec{n} dv_n$ $\vec{a}_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_n}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}_n}{dt} = \vec{n} \frac{dv_n}{dt}$ $a_n = \frac{v^2}{R}; \vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n}$	$\vec{a} = \vec{i} a_x + \vec{j} a_y + \vec{k} a_z;$ $a^2 = a_x^2 + a_y^2 + a_z^2$	-
	Связи между $\vec{a}, \vec{a}_\tau, \vec{a}_n; \vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n; a^2 = a_\tau^2 + a_n^2;$ Связи $\vec{a}_\tau, \vec{a}_n$ с угловыми величинами: $a_\tau = \alpha R; \vec{a}_\tau = \vec{\alpha} \times \vec{R}; a_n = \omega^2 R; \vec{a}_n = -\omega^2 \vec{R} = \omega^2 R \vec{n} = \vec{\omega} \times \vec{v}$		

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ

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