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 (>> 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.

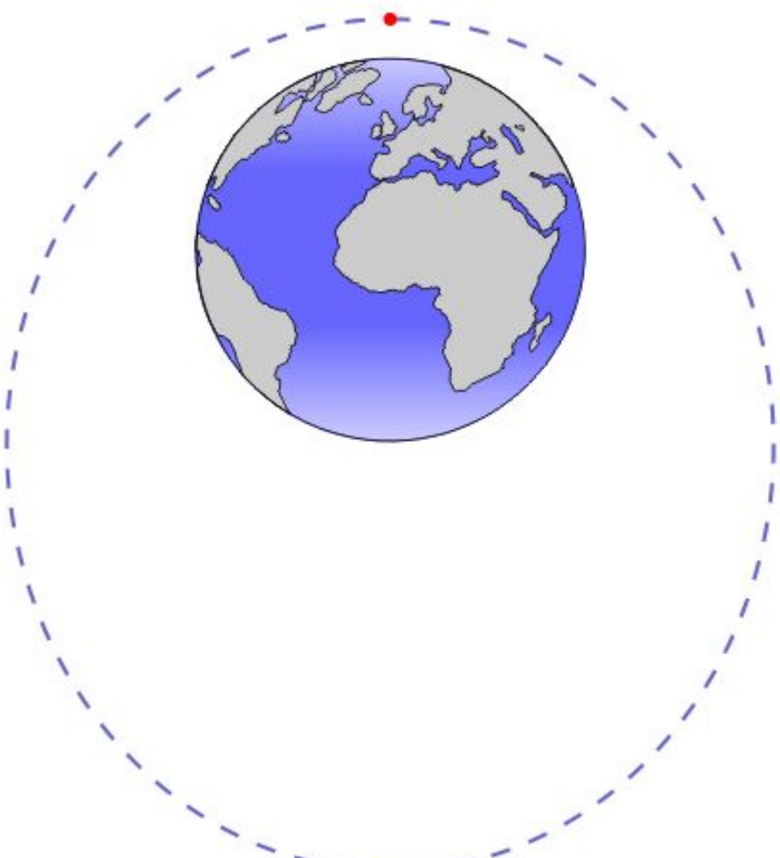
М а т е р и а л ь н а я   т о ч к а

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

Тело считается материальной точкой, если :

- ***расстояние, которое проходит тело > > размеров тела;***
- ***расстояние от тела до других тел > > 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
И

КИНЕМАТИКА

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

<u>без рассмотрения причин, по которым это движение происходит</u>.

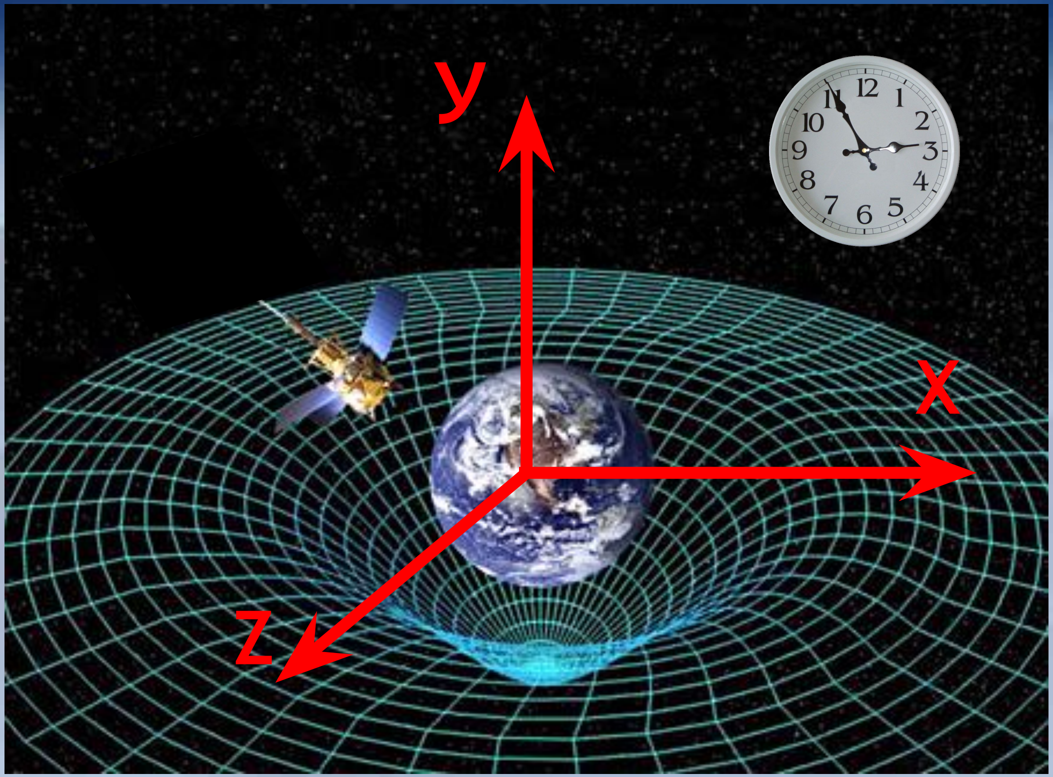
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КИНЕМАТИКИ

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

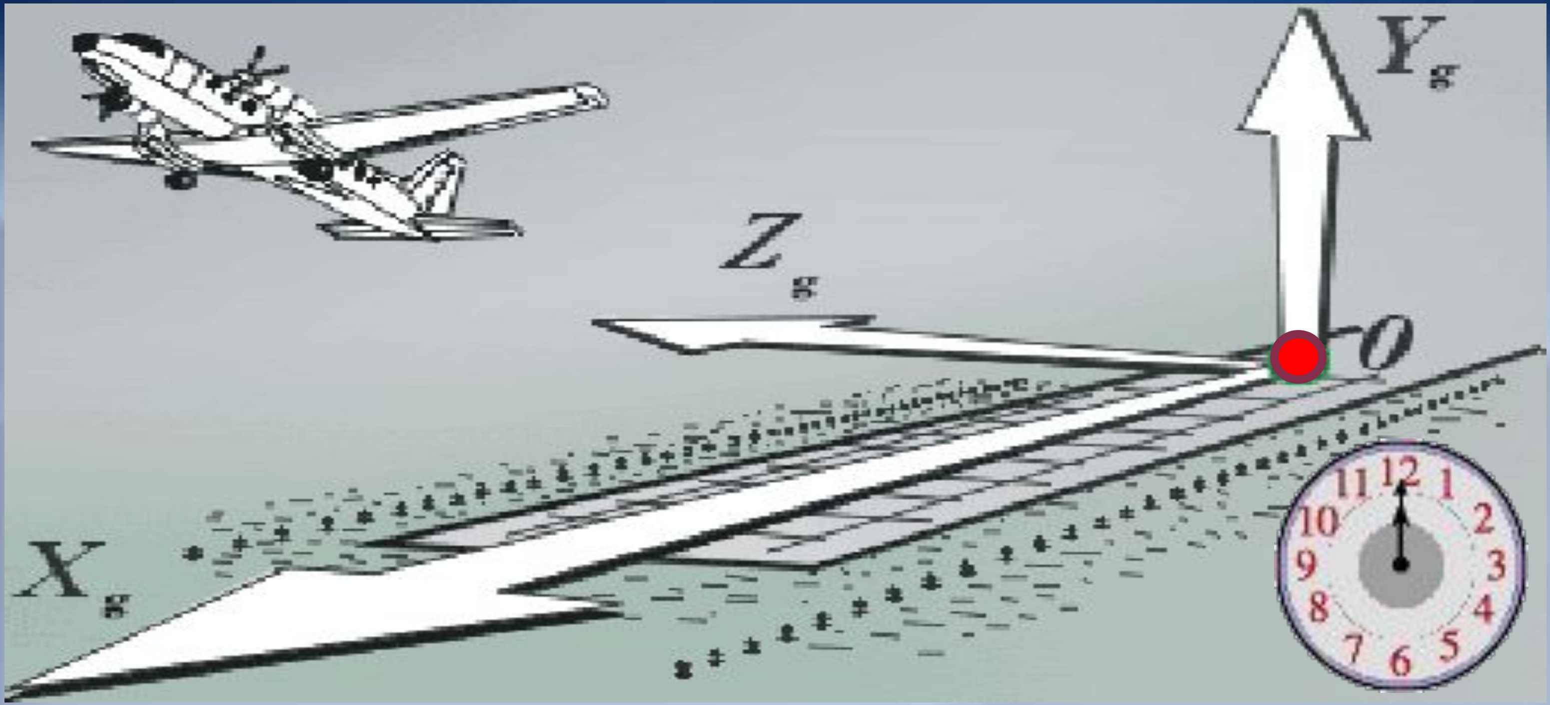
Механическое движение ***относительно***. Движение одного и того же тела относительно разных тел оказывается различным.

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:

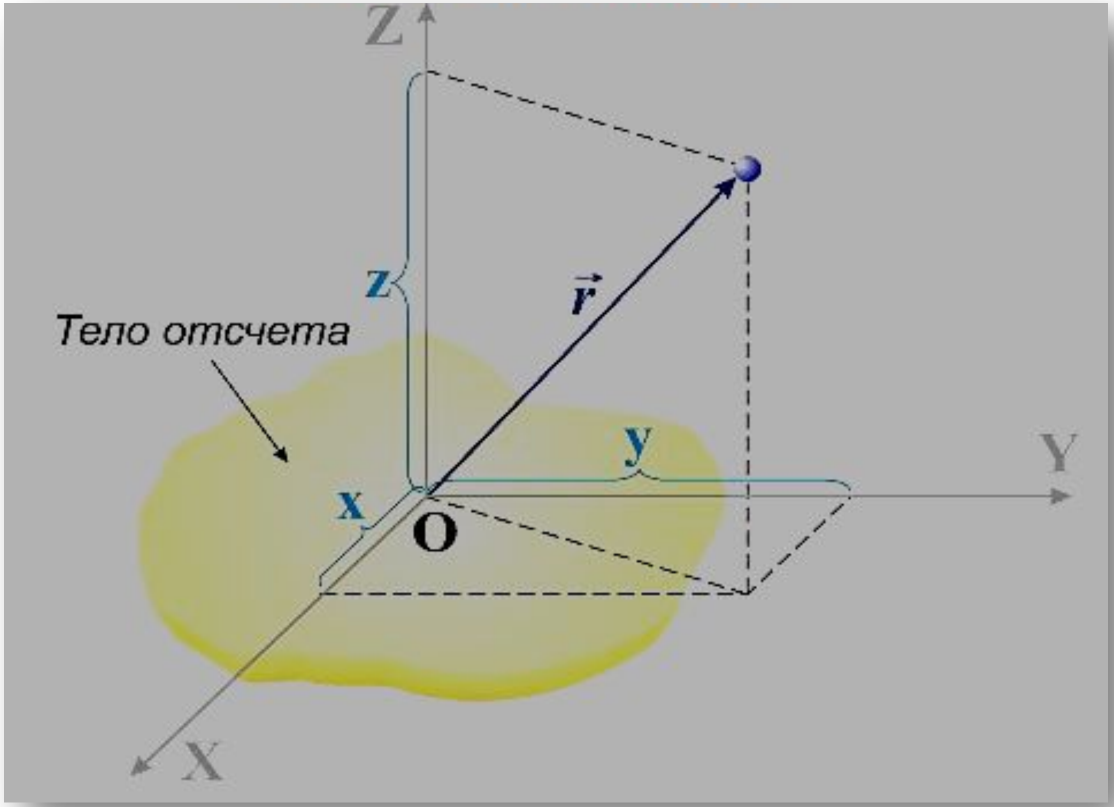
1. Выбрать объект, относительно которого будет рассматриваться движение, т.е. выбрать тело отсчета;
2. Выбрать систему координат, начало которой должно совпадать с одной из точек тела отсчета;
3. Выбрать начало отсчета времени.

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

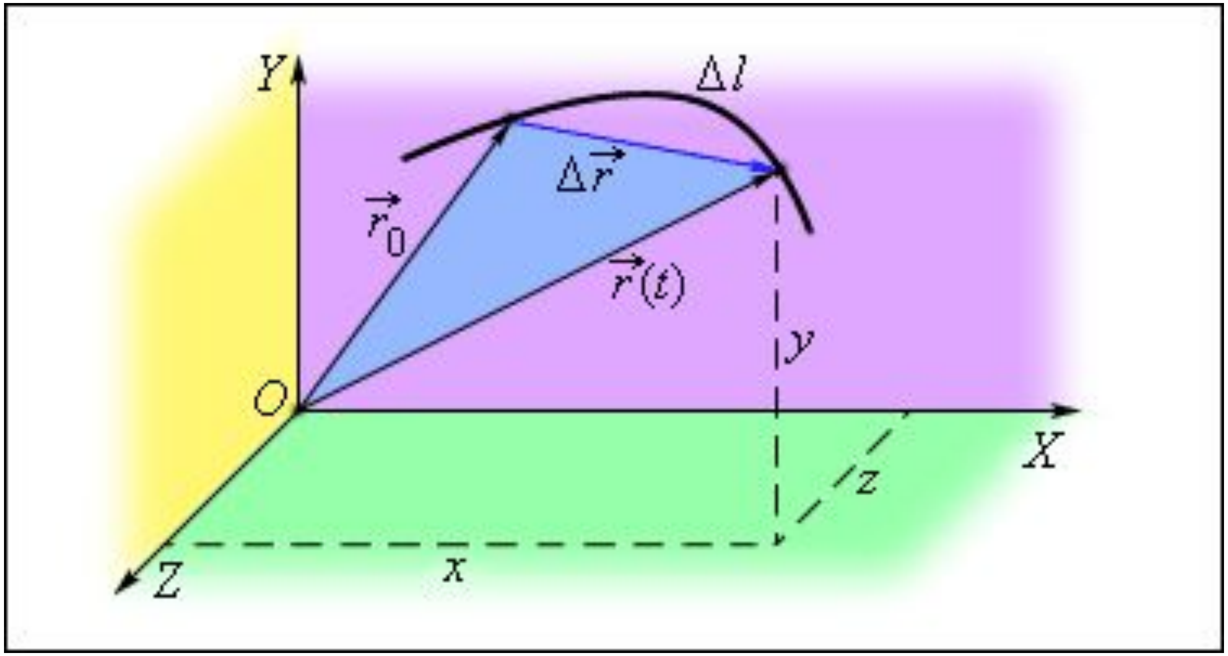
- Положение материальной точки в пространстве в любой момент времени (***закон движения***) можно определять:

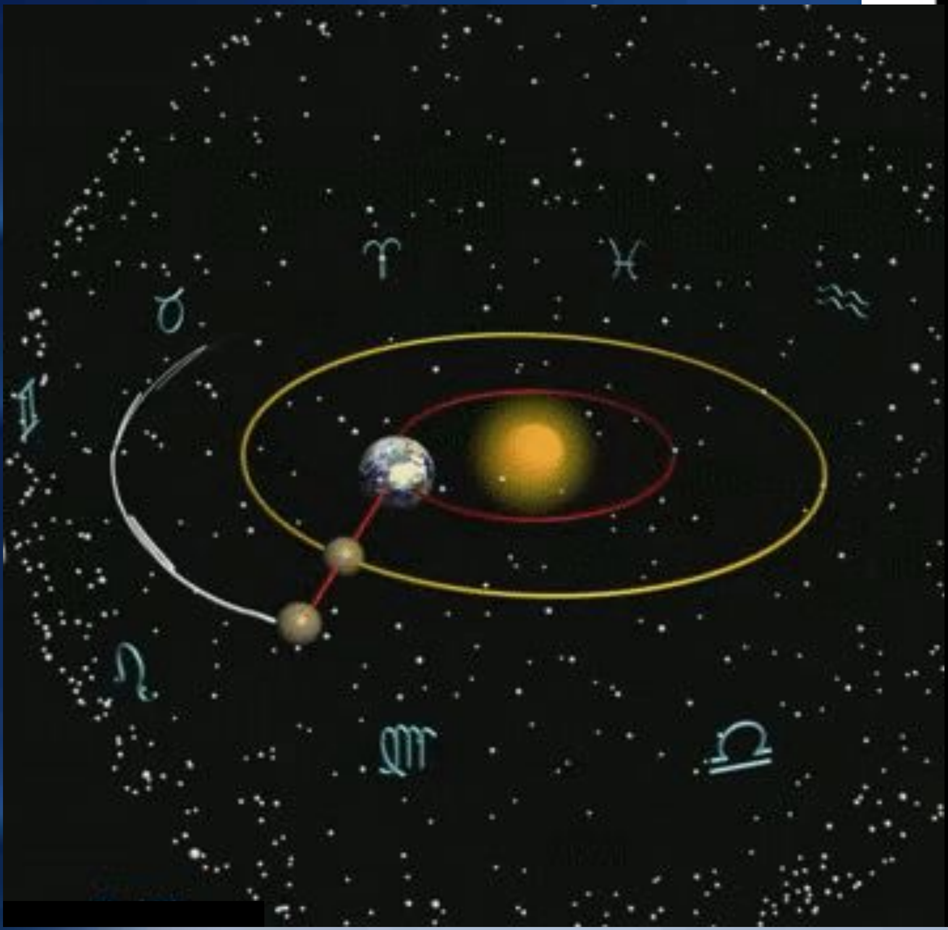
1. ***Координатный способ*** **(**с помощью зависимости координат от времени)

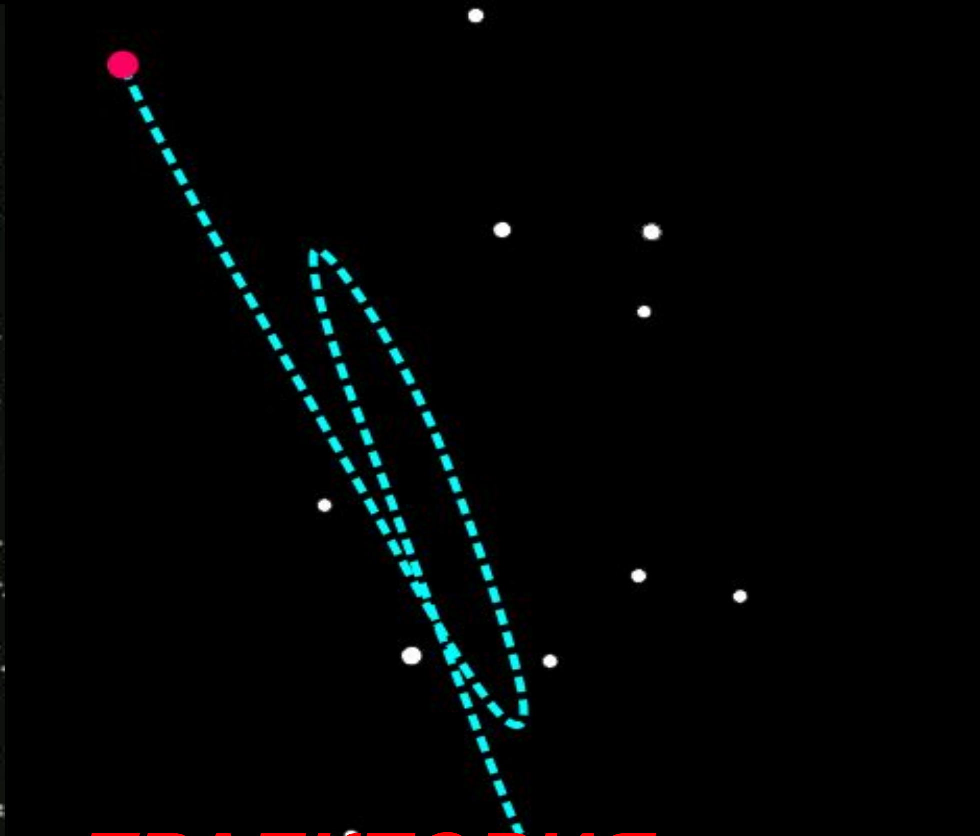
$$x = x\,(t), y = y\,(t),\ z = z\,(t)$$

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

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

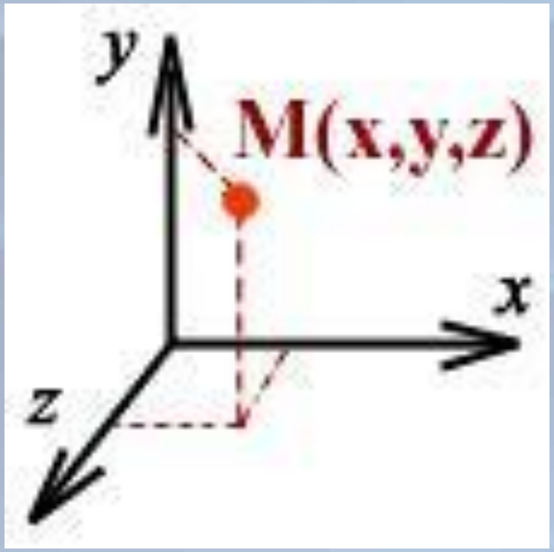


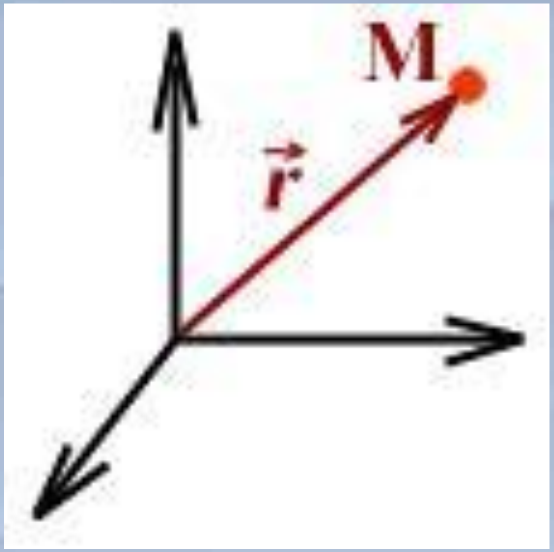




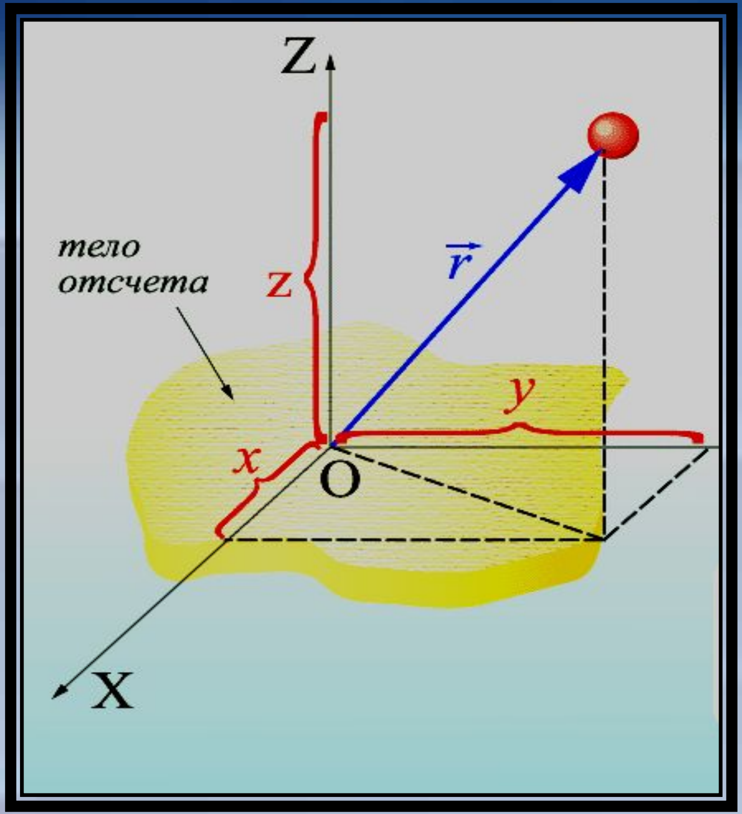
ТРАЕКТОРИЯ МАРСА

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

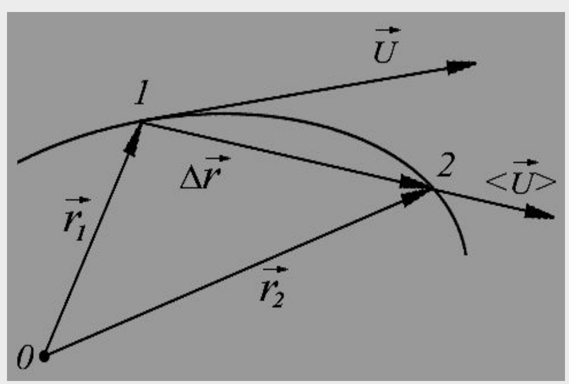
движение материальной точки (тела).

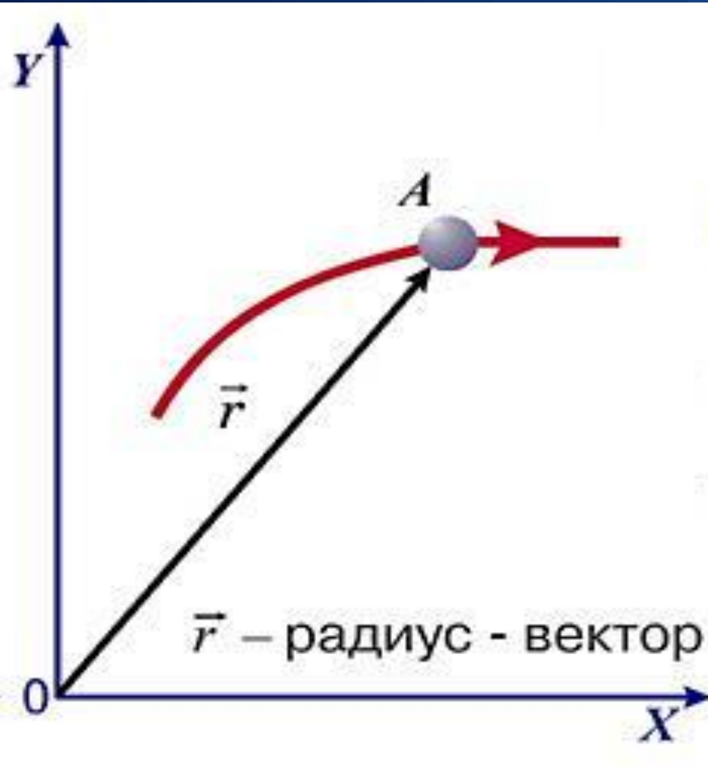
Для описания движения необходимо задать:

а) начало отсчета радиус - вектора $\vec{r}$;

б) начало отсчета времени t;

в) закон движения точки $\vec{r}$ (t).



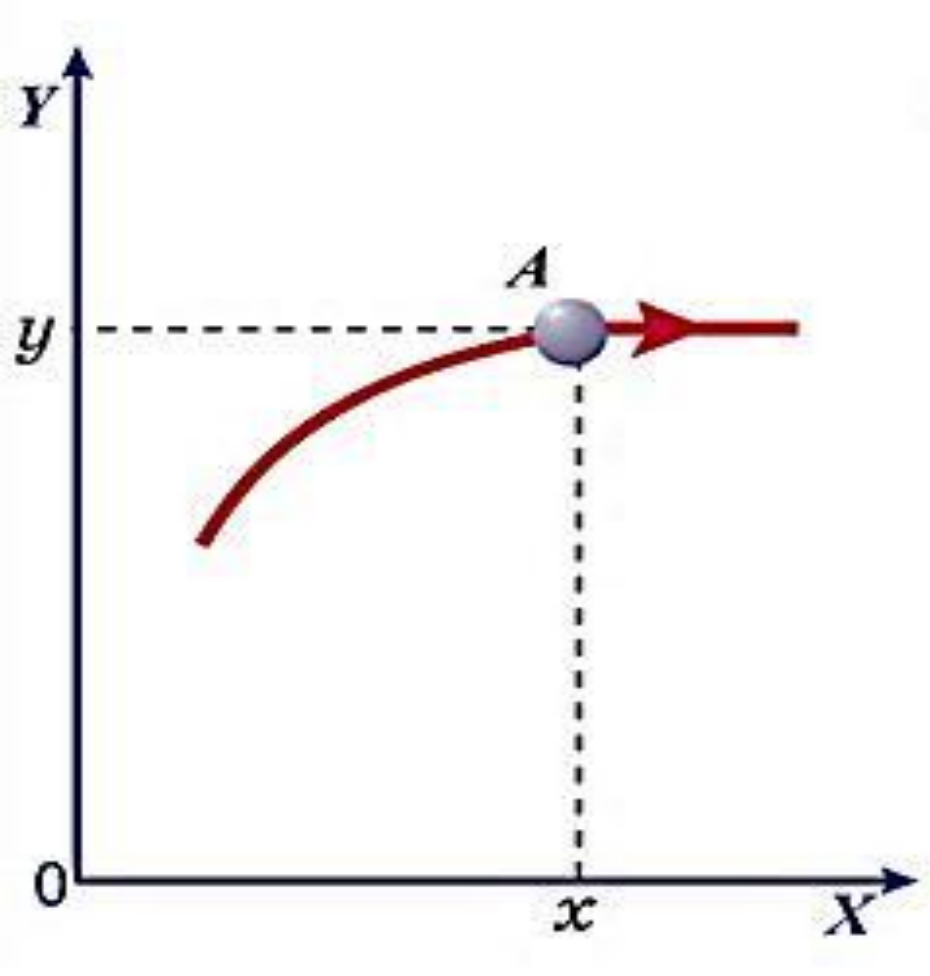


$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$$

Закон движения

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

Закон движения в координатной форме



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

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

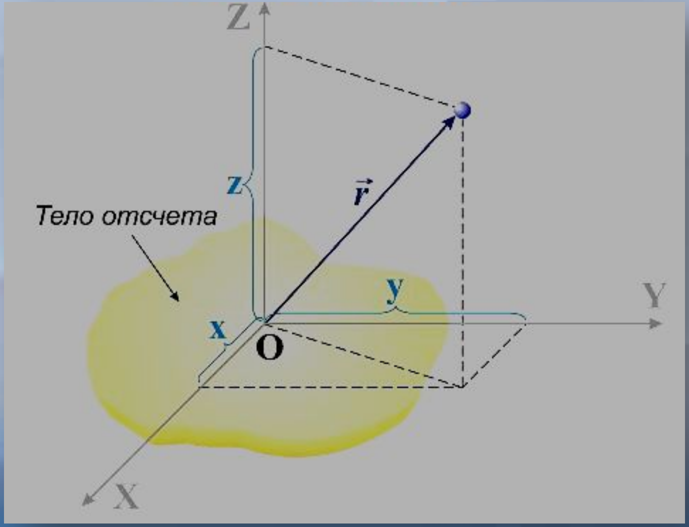
Это наиболее универсальный и часто используемый способ описания движения.

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***.

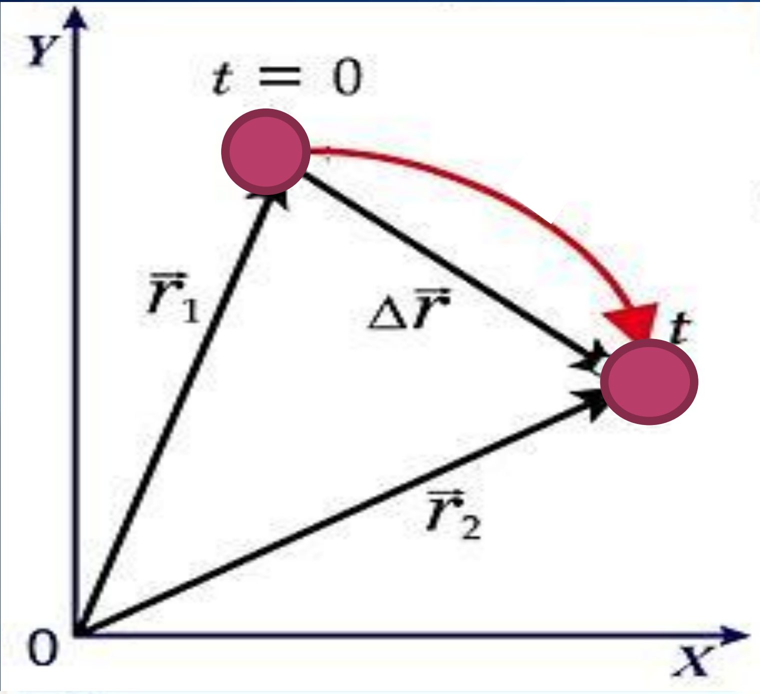
Перемещением тела $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r_0}$ называют направленный отрезок прямой, соединяющий начальное положение тела с его последующим положением.

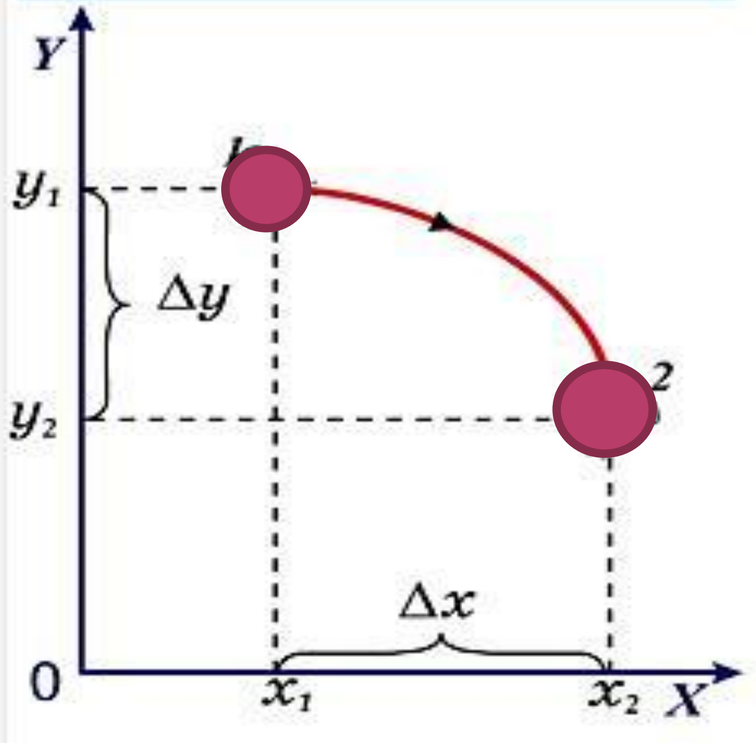
Перемещение - векторная величина.

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

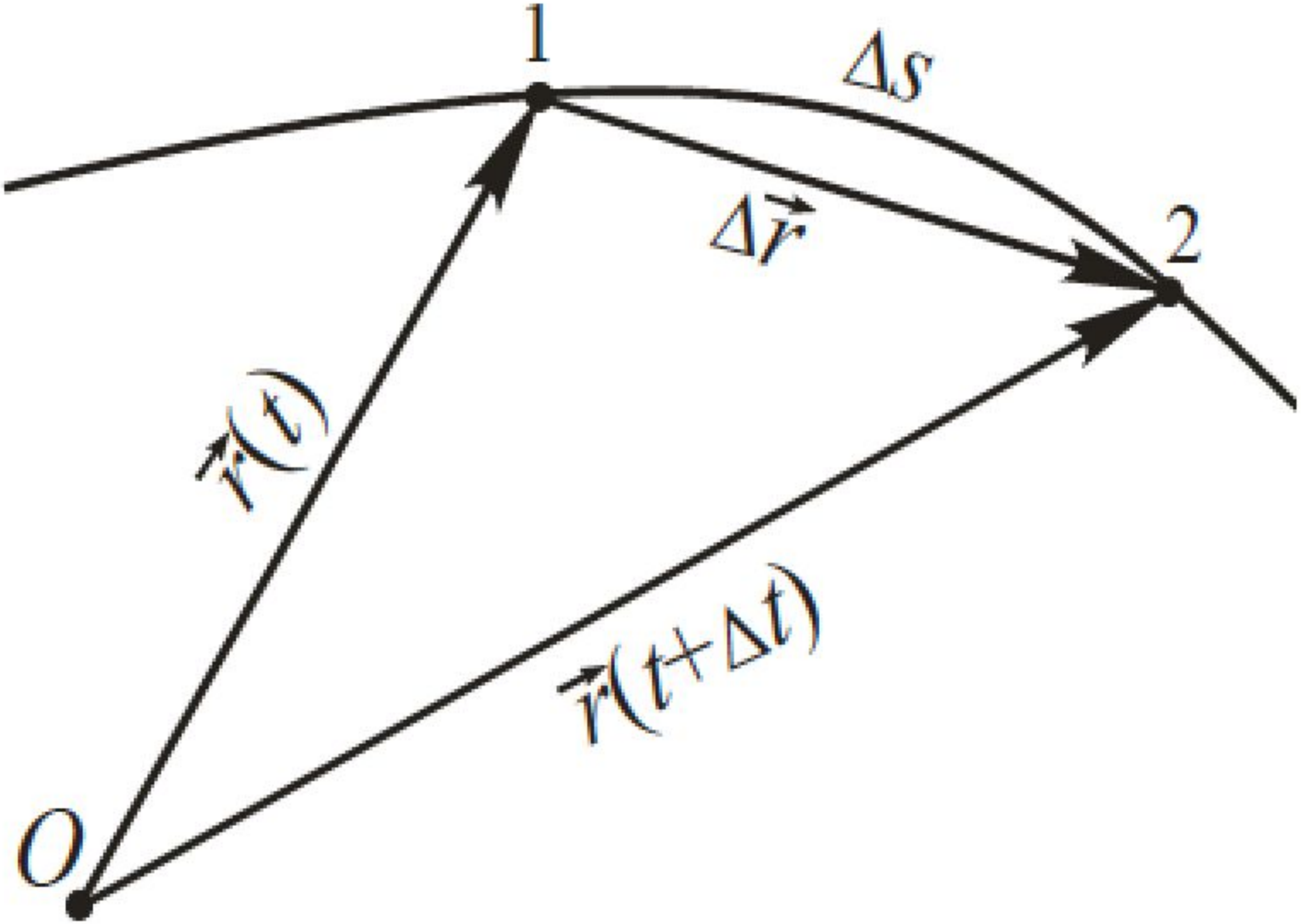
Путь – скалярная величина.

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





Движение можно описать, как измененением радиус – вектора, так и измененением координат материальной точки.



1
Δs
$\Delta\vec{r}$
2
$\vec{r}(t)$
$\vec{r}(t+\Delta t)$
O

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***:

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

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

Мгновенная скорость определяется первой производной радиуса-вектора движущейся точки по времени: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \overrightarrow{r'}$

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

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

$$\vec{v}(t) = v_x(t)\vec{e}_x + v_y(t)\vec{e}_y + v_z(t)\vec{e}_z$$

где v_x, v_y, v_z — компоненты скорости, т. е. проекции вектора $\vec{v}$ 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

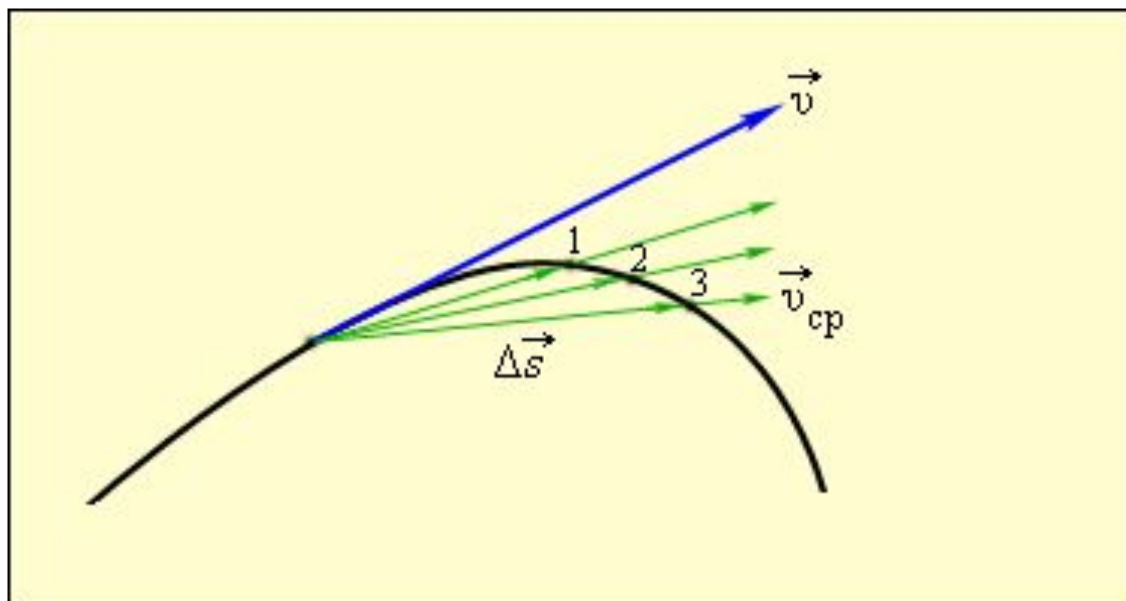
- Различие между средней и мгновенной скоростями показано на рисунке.

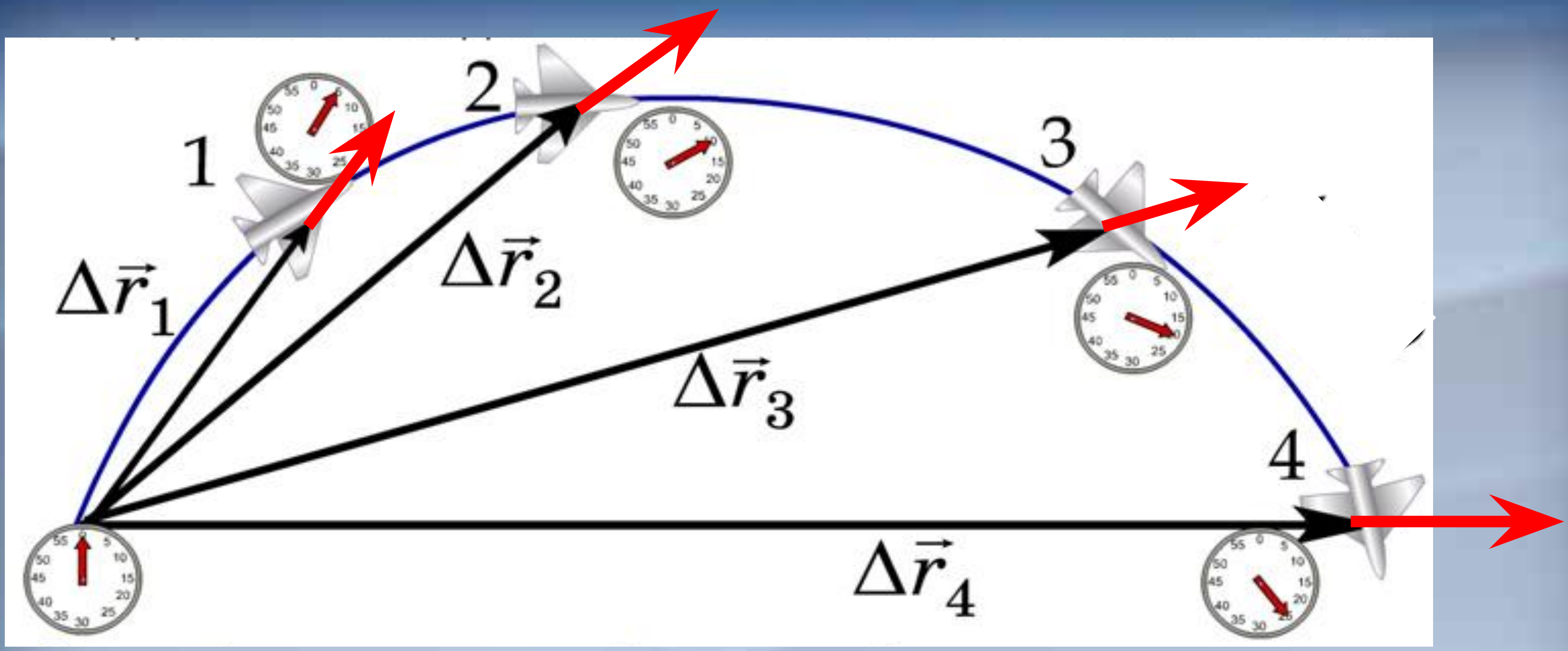
$\Delta\vec{s}_1$, $\Delta\vec{s}_2$, $\Delta\vec{s}_3$ – перемещения за времена $\Delta t_1 < \Delta t_2 < \Delta t_3$ соответственно. При $t \to 0$ $\overrightarrow{v_{\text{ср}}} \to \vec{v}$

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

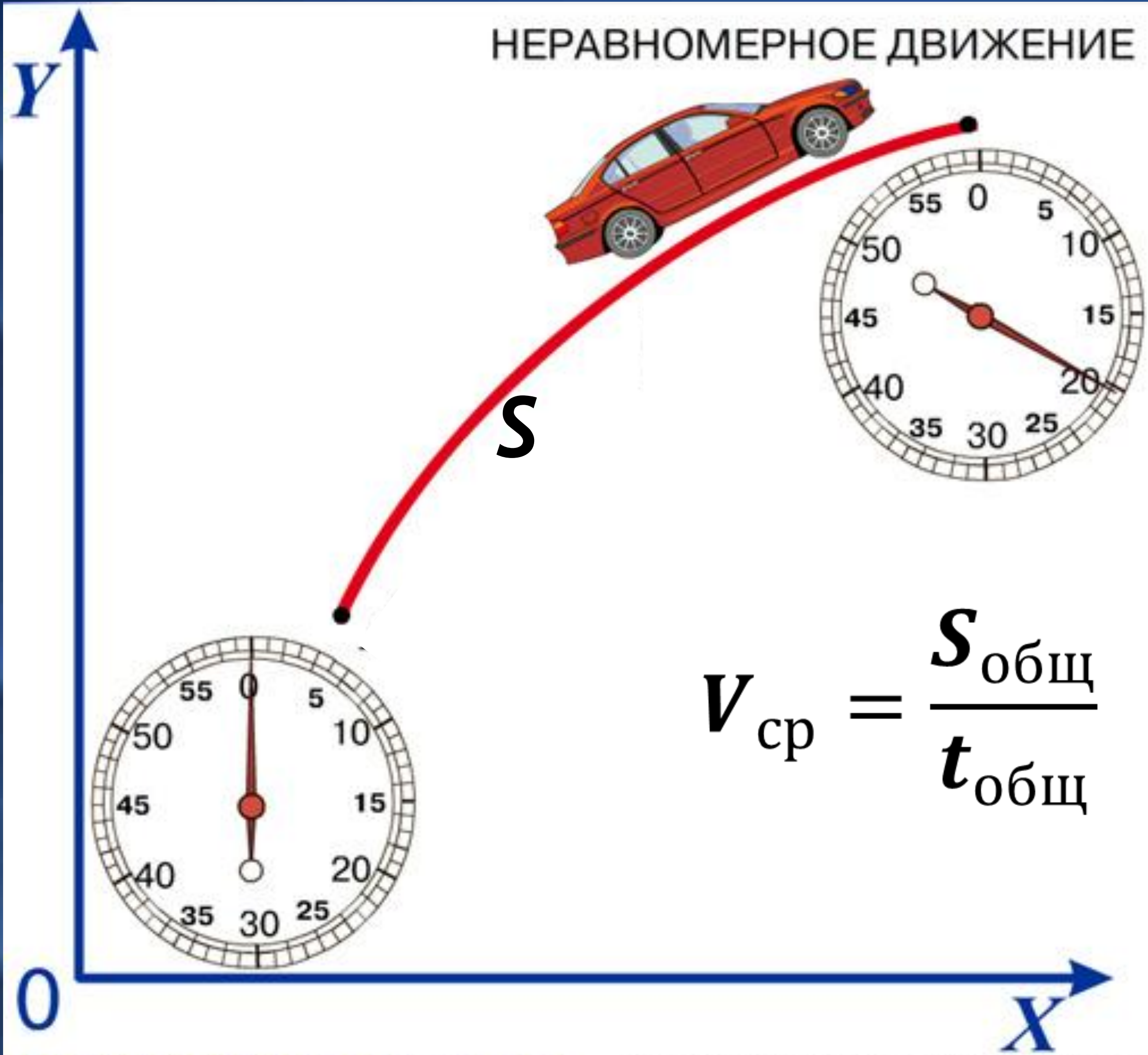
Модуль мгновенной скорости материальной точки равен первой производной ее пути по времени:

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





Направление вектора средней скорости совпадает с направлением вектора перемещения.



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

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.

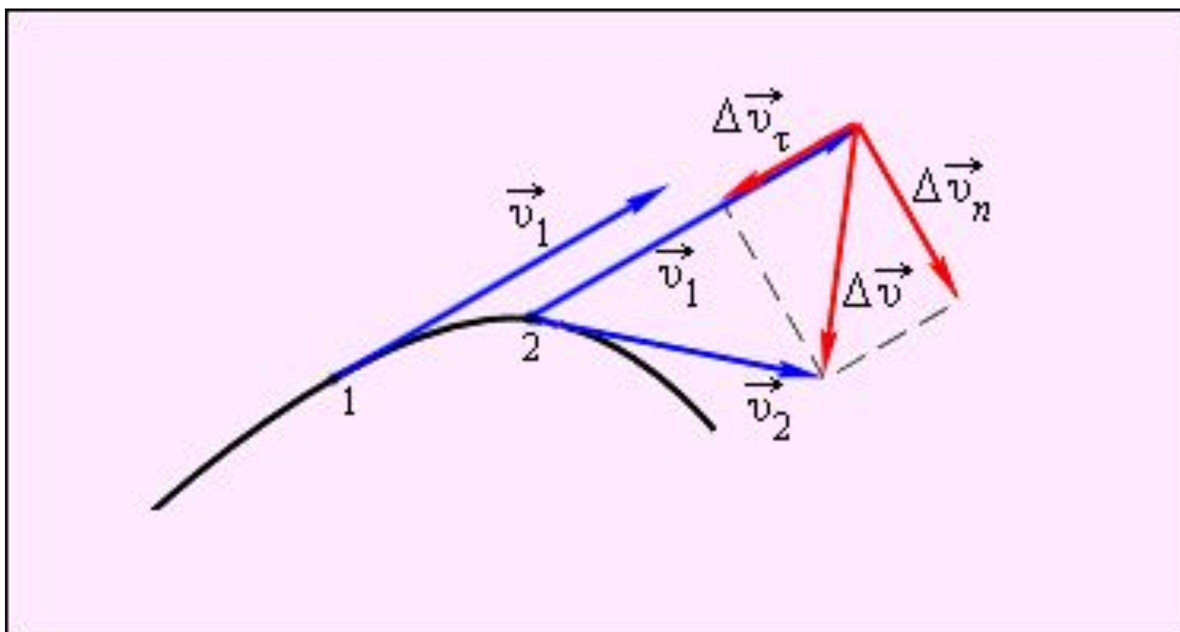
Изменение вектора скорости $\vec{v}$ за некоторый малый промежуток времени Δt можно задать с помощью вектора $\Delta\vec{v}$.

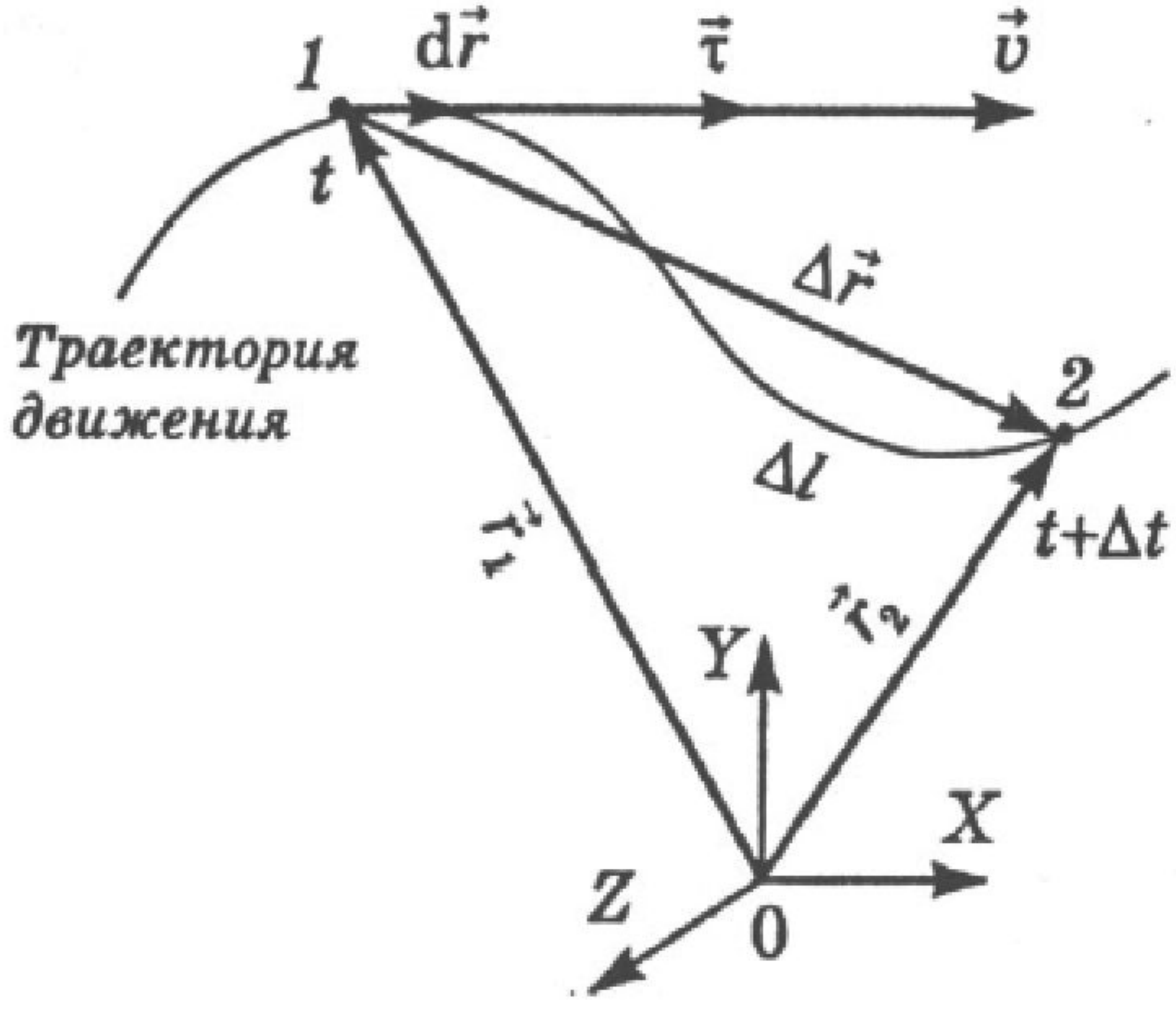
Вектор изменения скорости $\vec{v}$ за малое время Δt можно разложить на две составляющие:

$\overrightarrow{v_\tau}$ направленную вдоль вектора $\vec{v}$ (***касательная составляющая***),

$\overrightarrow{v_n}$ направленную перпендикулярно вектору $\vec{v}$ (***нормальная составляющая***).

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





1
d$\vec{r}$
$\vec{\tau}$
$\vec{v}$
t
$\Delta\vec{r}$
Траектория
движения
2
Δl
$\vec{r}_1$
$t+\Delta t$
$\vec{r}_2$
Y
X
Z
0

МГНОВЕННОЕ УСКОРЕНИЕ

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

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

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)*** $\overrightarrow{a_\tau}$ и ***нормальным*** $\overrightarrow{a_n}$ ускорениями.

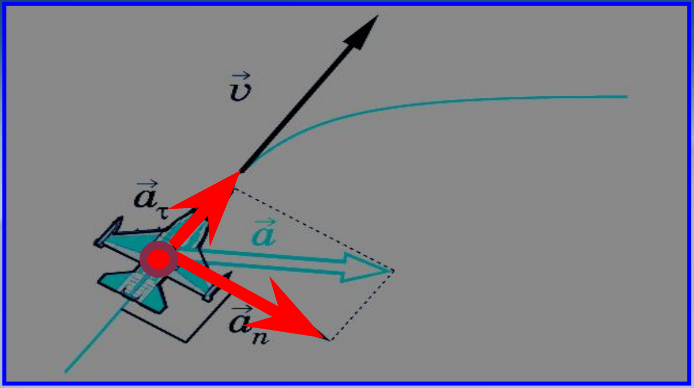
Касательное (тангенциальное) ускорение указывает, насколько быстро изменяется скорость тела по модулю:

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

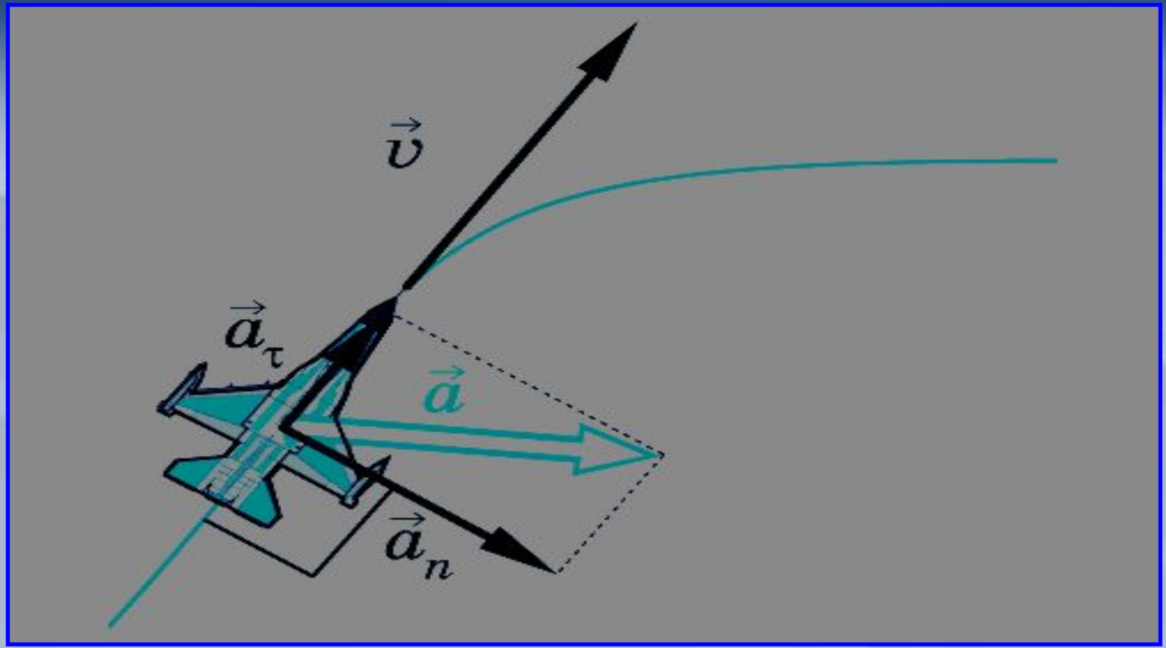
Вектор направлен по касательной к траектории.

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

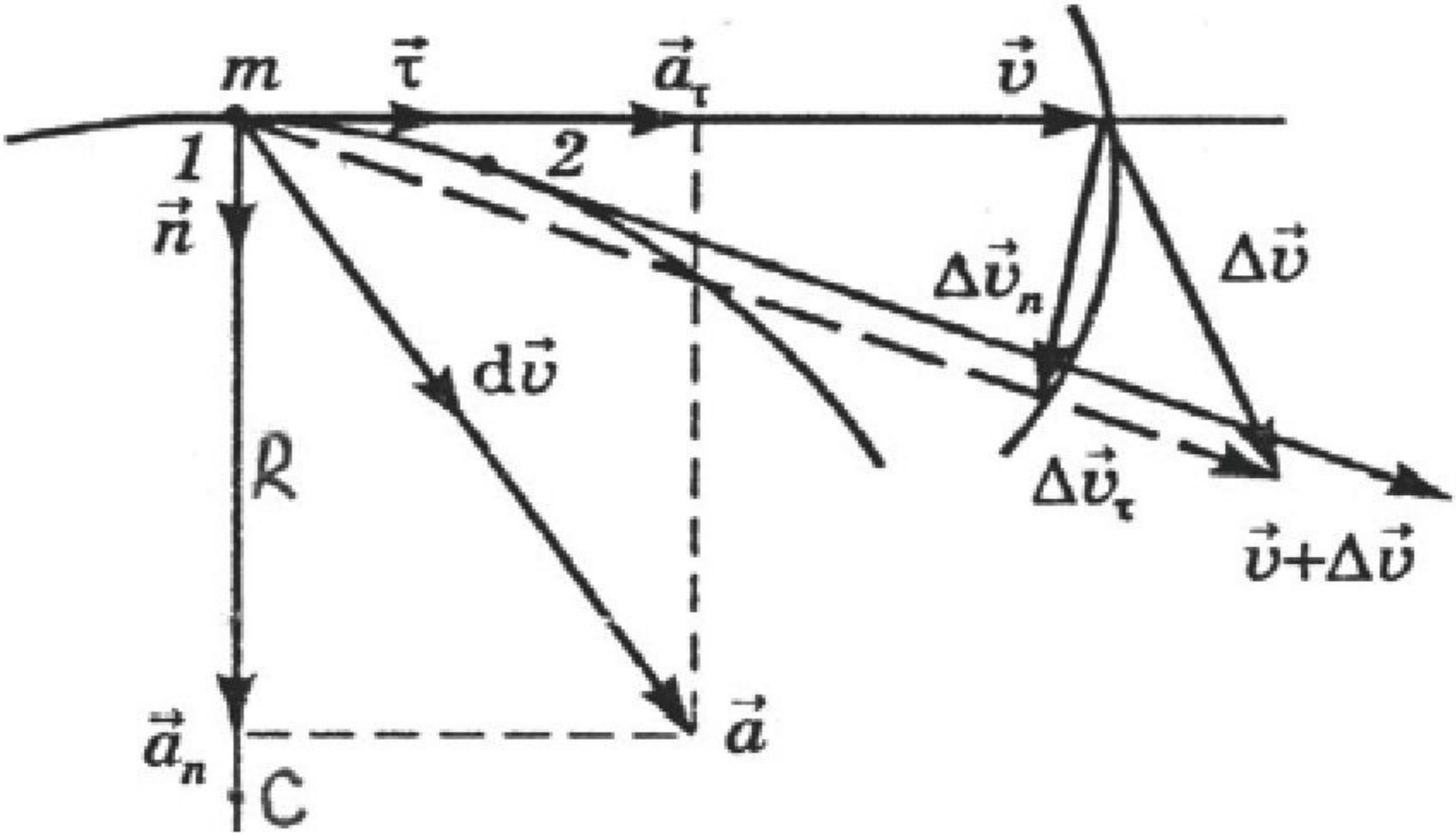
$$a_n = \frac{v^2}{r}$$



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

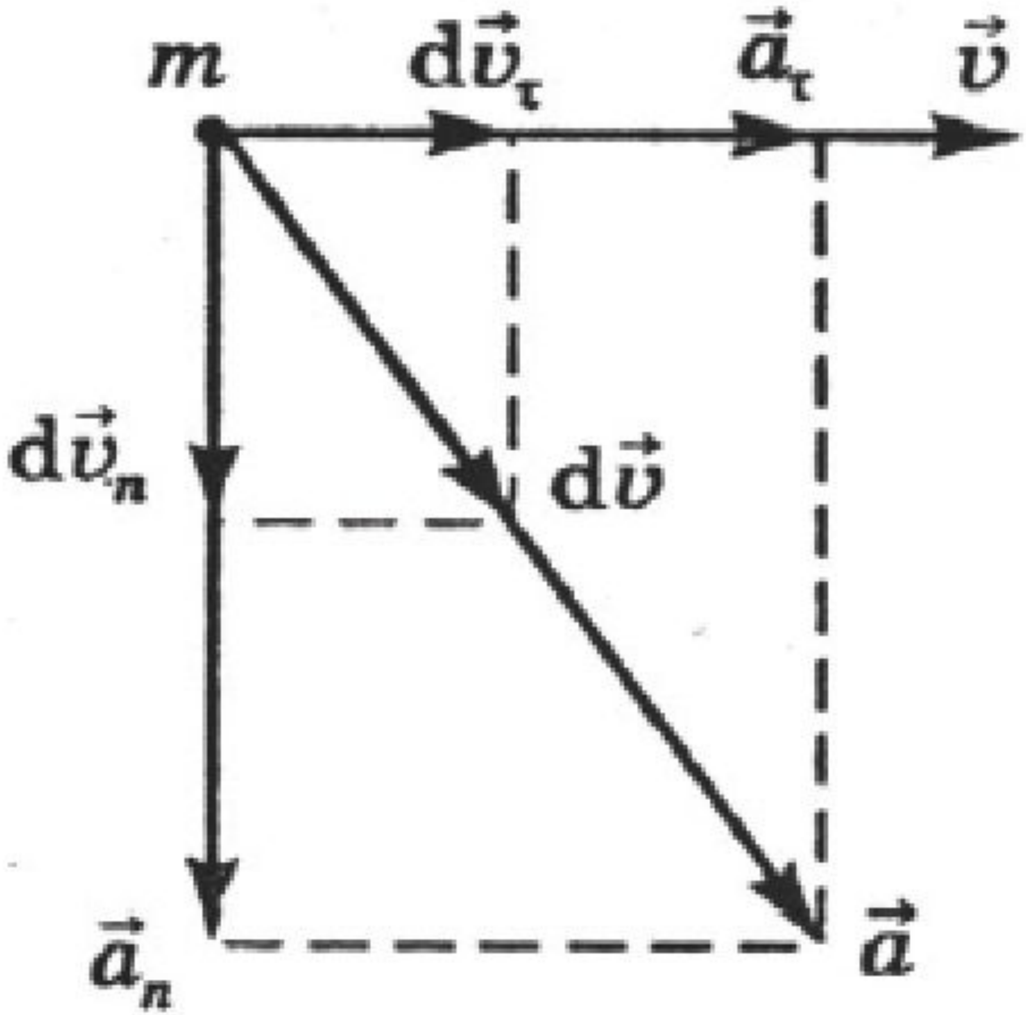


При криволинейном движении вектор мгновенного ускорения $\vec{a}$ в любой точке траектории направлен под некоторым углом к направлению мгновенной скорости $\vec{V}$ в этой точке.



m
$\vec{\tau}$
$\vec{a}_\tau$
$\vec{v}$
1
2
$\vec{n}$
$\Delta\vec{v}_n$
$\Delta\vec{v}$
$d\vec{v}$
R
$\Delta\vec{v}_\tau$
$\vec{v}+\Delta\vec{v}$
$\vec{a}$
$\vec{a}_n$
C

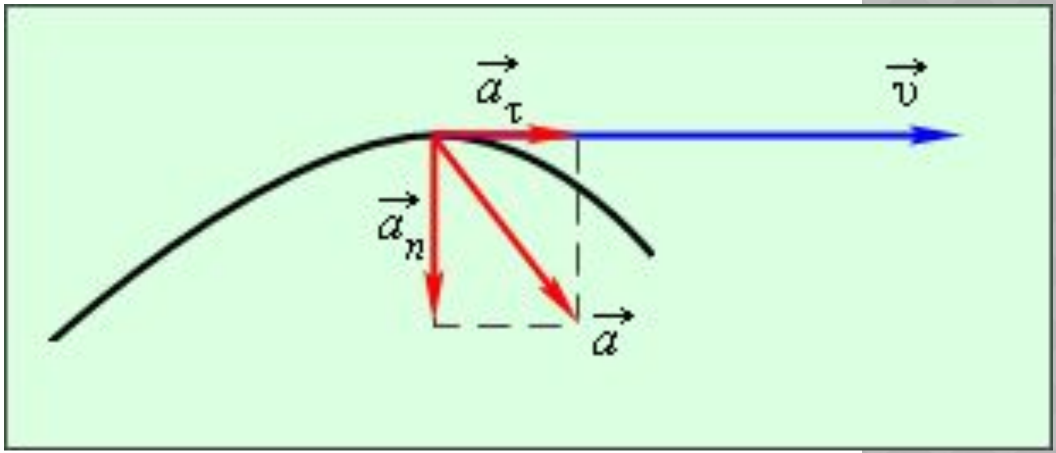
a



б

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:

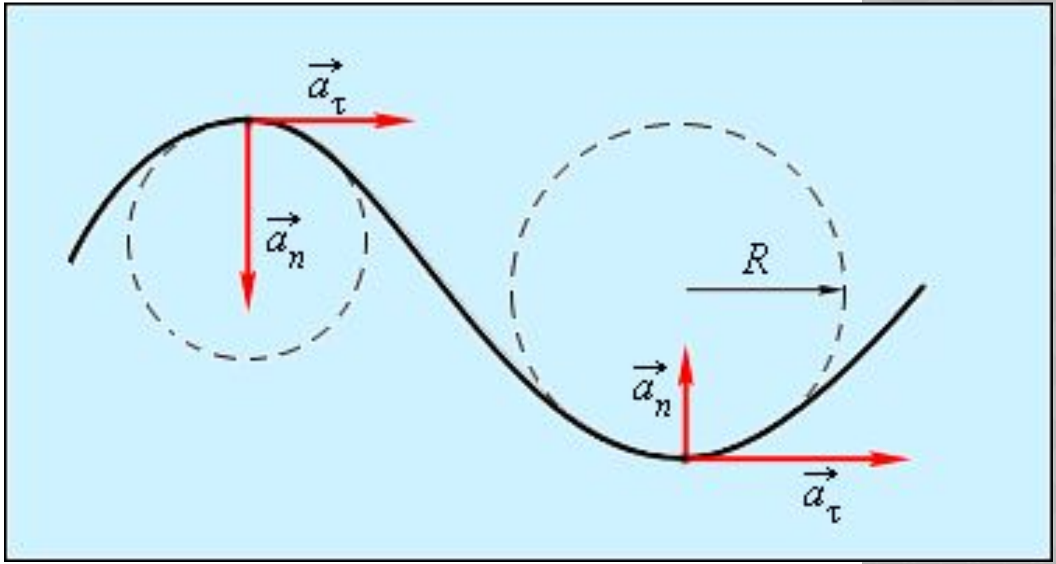
$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}.$$

Криволинейное движение можно представить как движение по дугам окружностей.

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

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

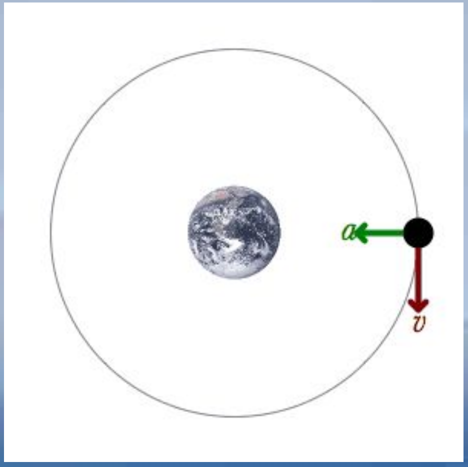
Вектор $\vec{a}_n$ всегда направлен к центру окружности.



В случае движения по окружности нормальное ускорение называется <u>центростремительным</u>.

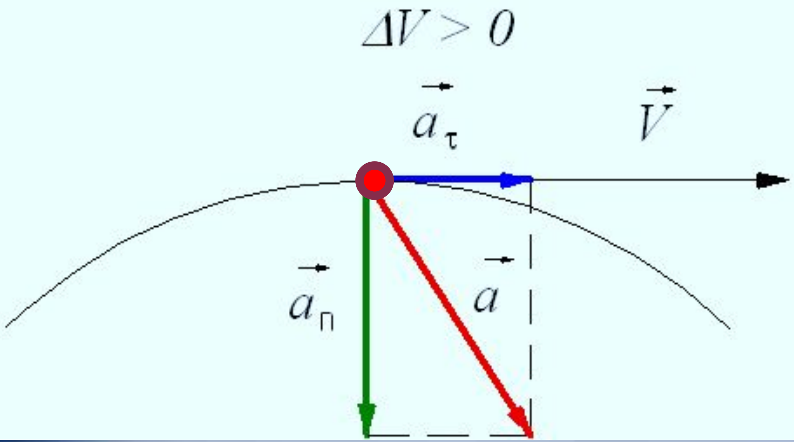
При движении по окружности с постоянной скоростью нормальное ускорение постоянно по модулю и направлено к центру окружности.

$$a_ц = \frac{v^2}{R}$$

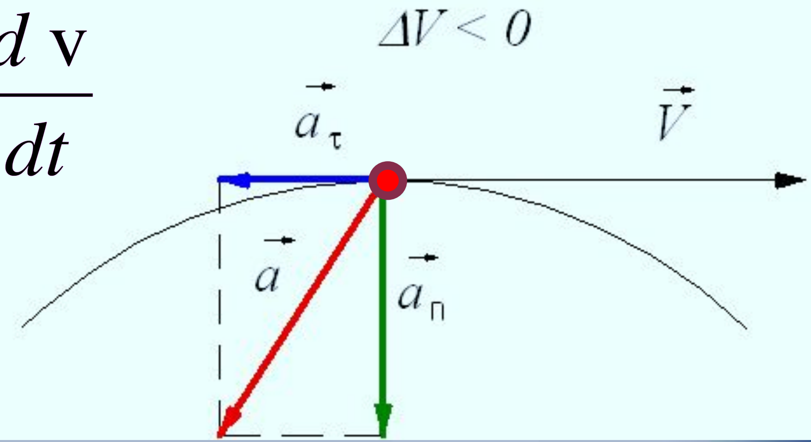


$$a_ц = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

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



$$a_\tau = \frac{d\,\mathrm{v}}{dt}$$



Вектор $\overrightarrow{a_\tau}$, 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) Равонопеременное 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

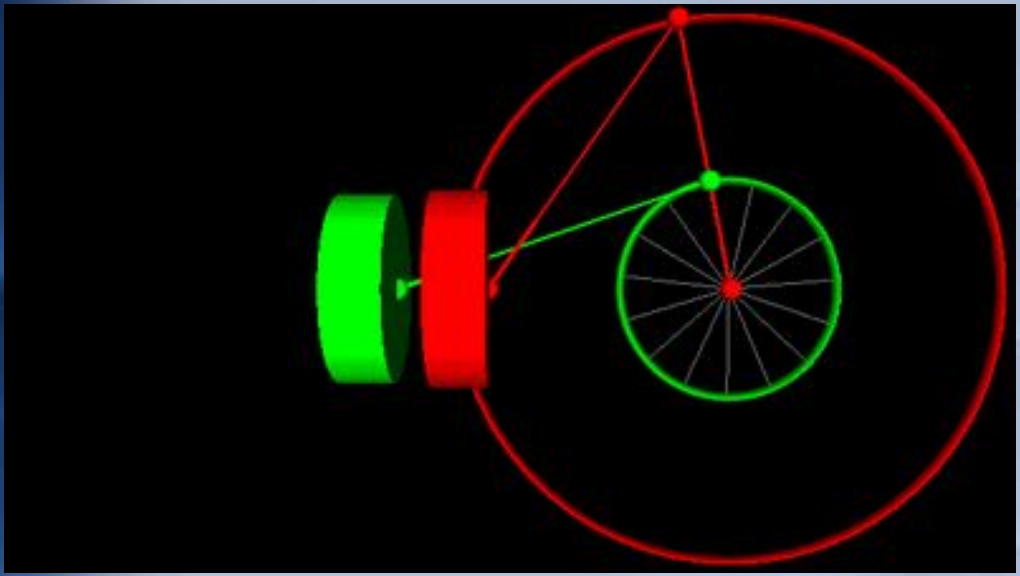
Движение твердого тела отличается от движения материальной точки. Обычно выделяют два простых вида движения тела:

- **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.

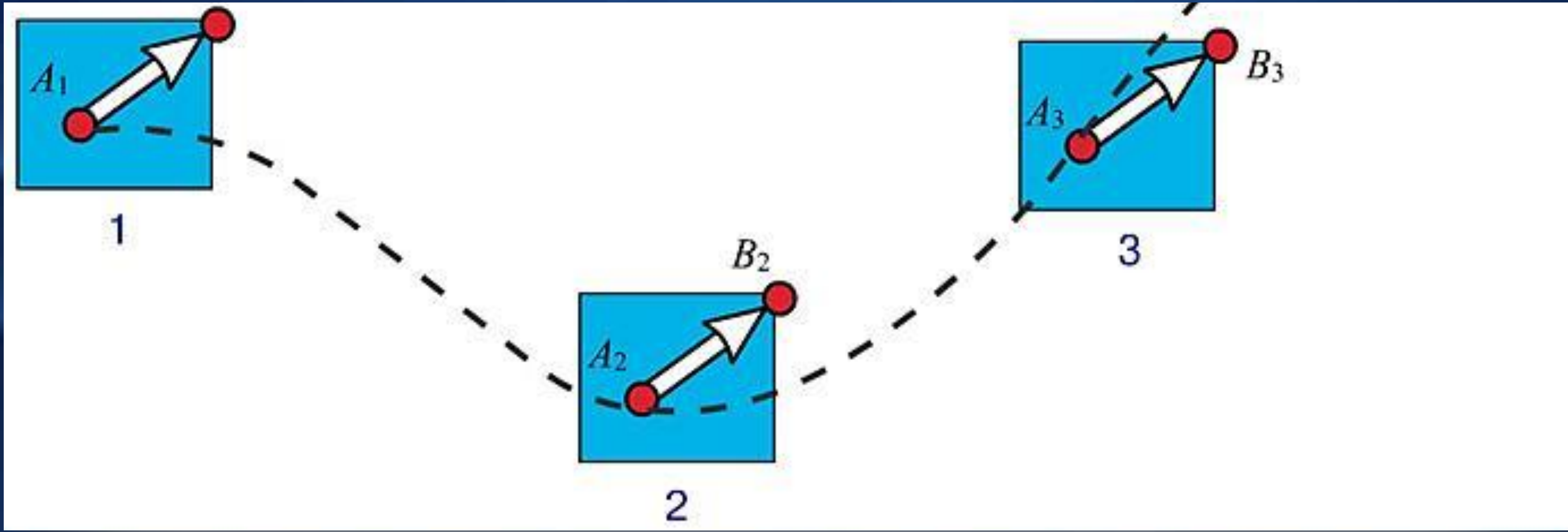
Сложное движение твердого тела – это совокупность поступательного и вращательного движений.

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

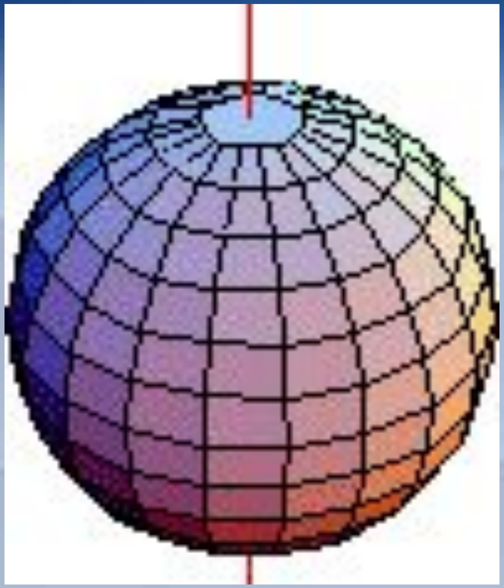
Движение абсолютно твердого тела



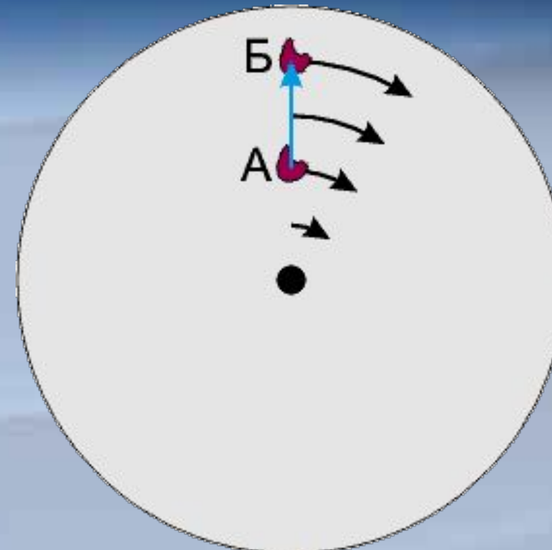
**Плоское движение абсолютно твердого тела можно представить как совокупность поступательного
о
и вращательного**



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.

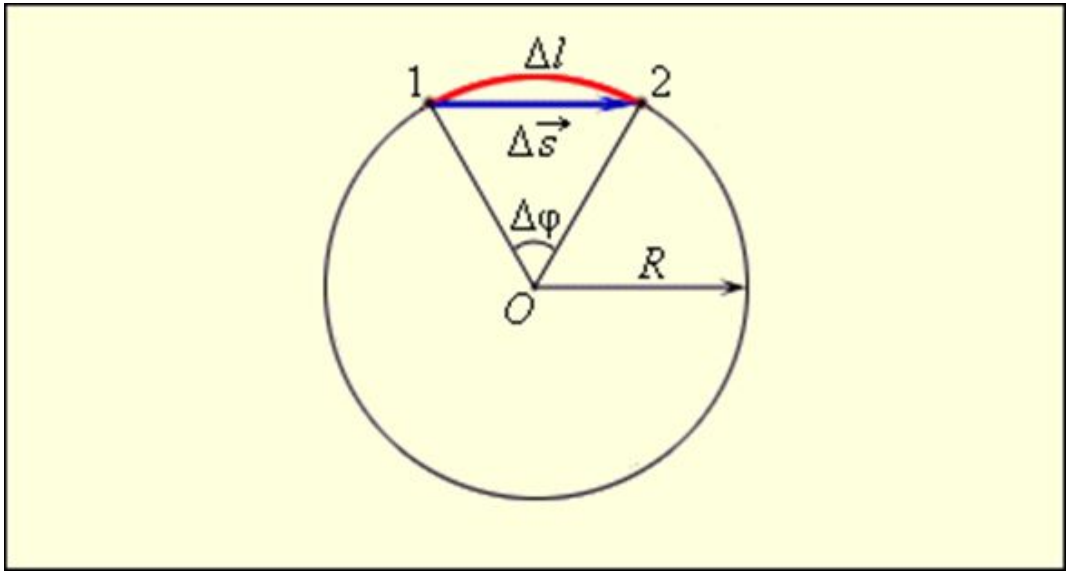
Угол поворота – это ***осевой (аксиальный) вектор***, направление которого определяется правилом правого винта (буравчика).

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.

$dS = Rd\varphi$ – 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:

$$\overline{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \overline{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\overline{\varphi}}{dt}.$$

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

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

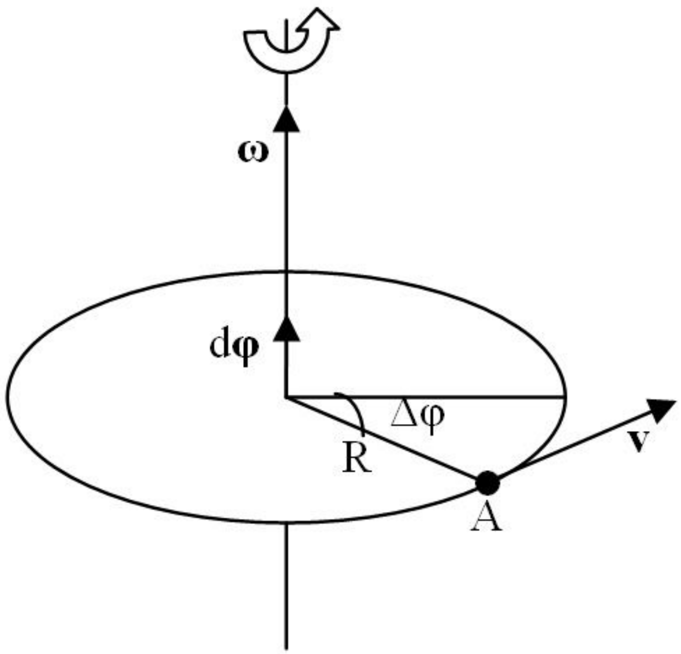
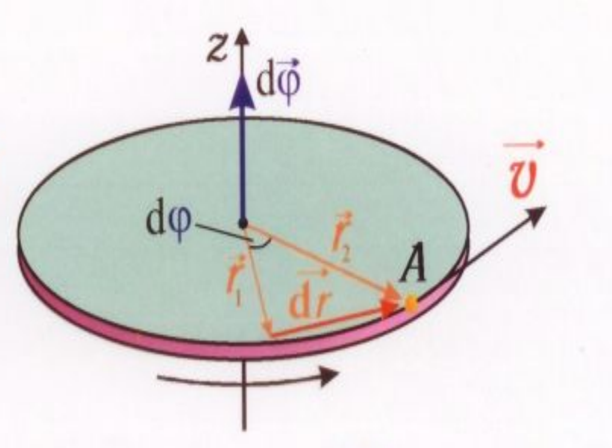


Рис. 1.6

Угловая скорость может быть связана с линейной скоростью $\boldsymbol{v}$ произвольной точки $\boldsymbol{A}$. Пусть за время $\boldsymbol{\Delta t}$ точка проходит по дуге окружности длину пути $\boldsymbol{\Delta s}$. Тогда линейная скорость точки будет равна:

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

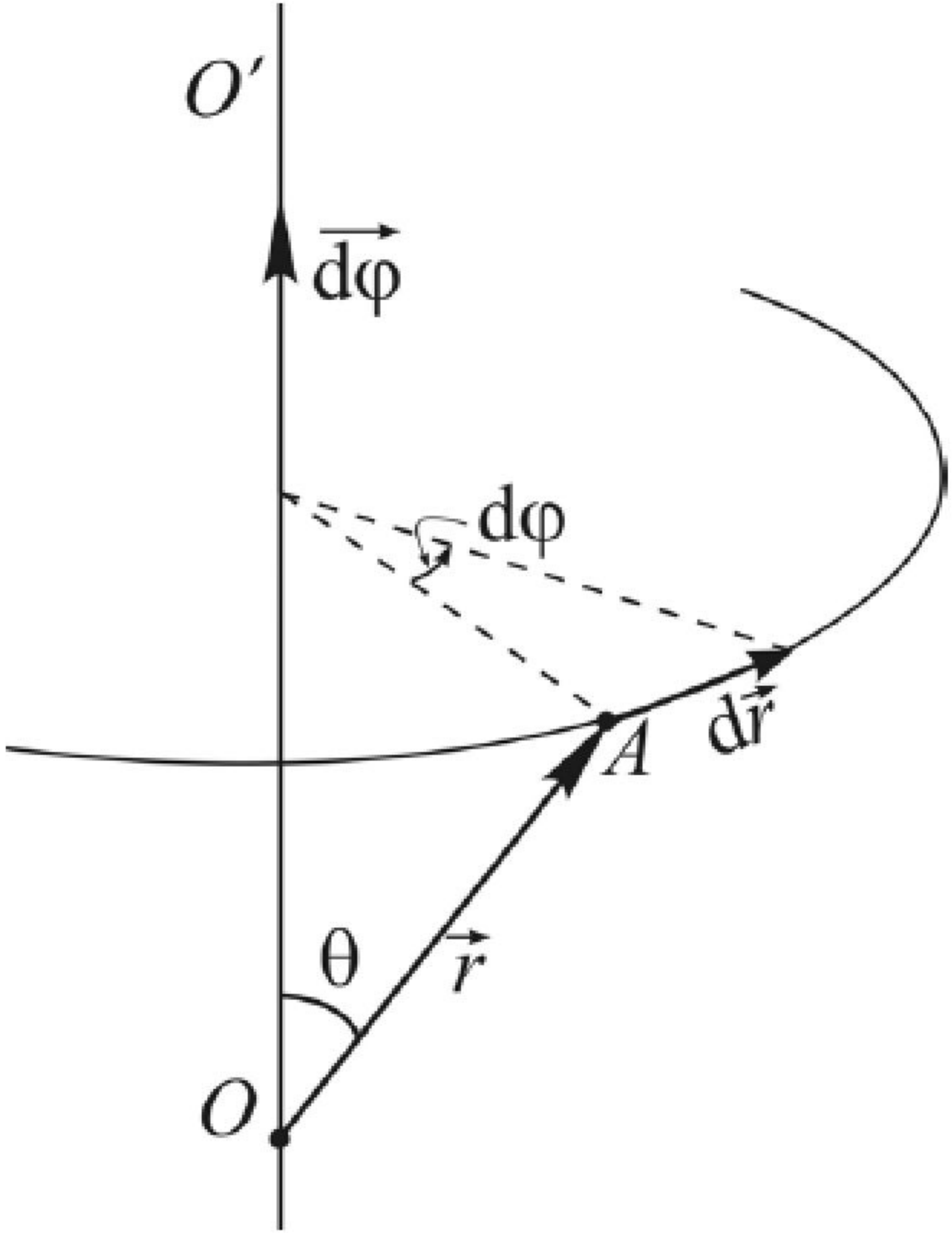
$$\vec{\omega} = d\vec{\varphi} \; / \; dt$$



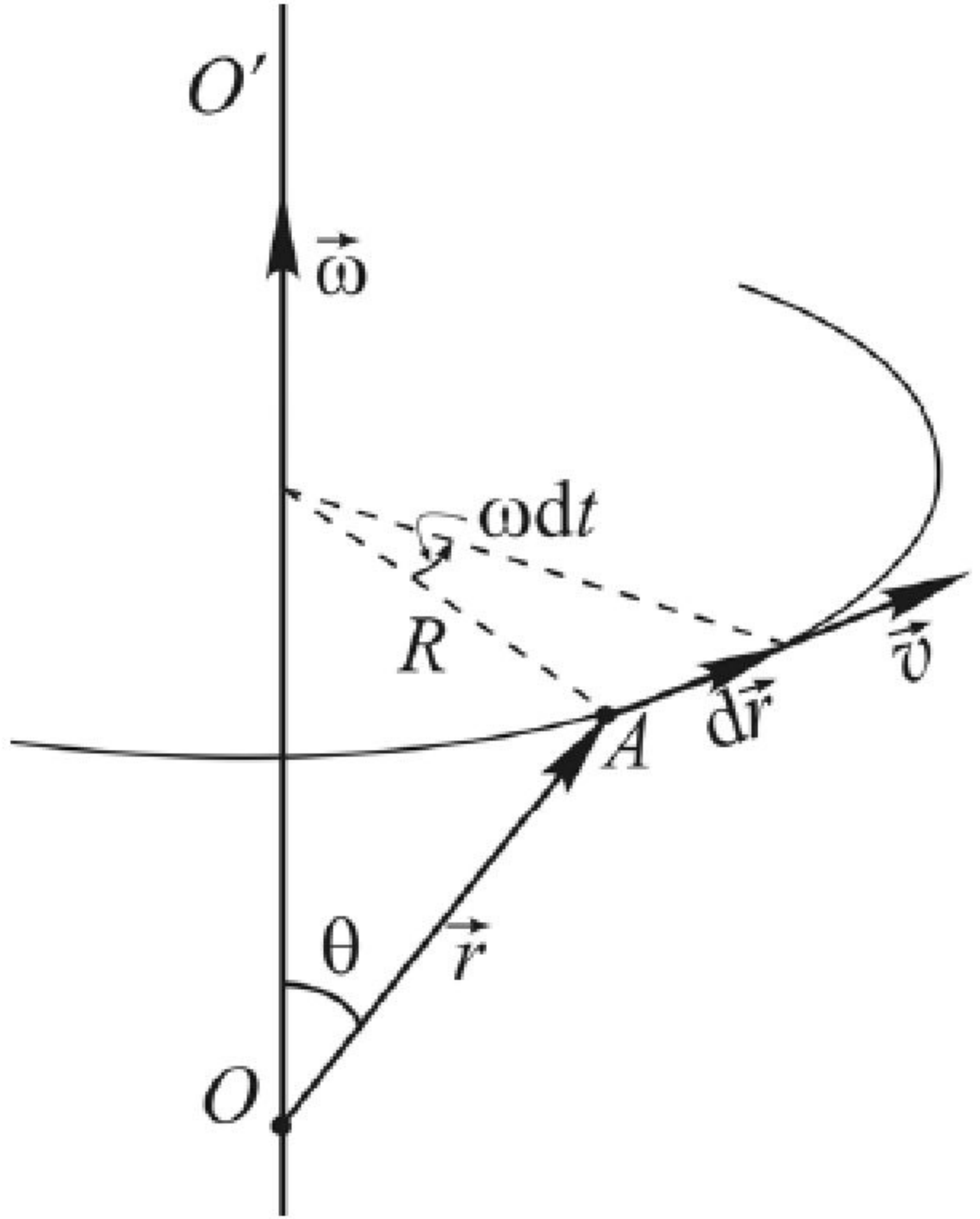
Угловая скорость $\vec{\omega}$

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

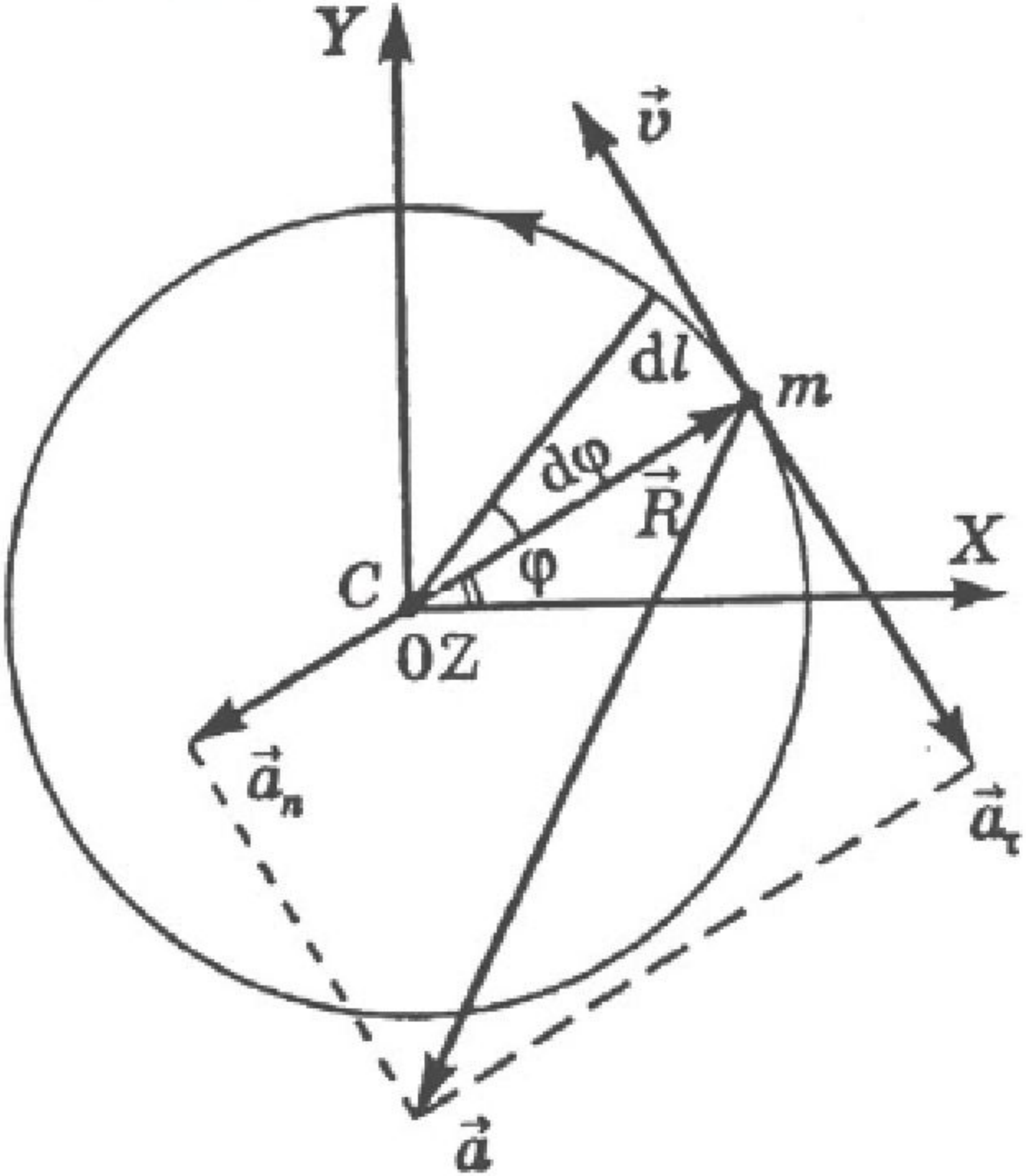
Угловая скорость показывает, на какой угол поворачивается тело за 1 секунду



O'
$\overrightarrow{d\varphi}$
$d\varphi$
$d\vec{r}$
A
$\vec{r}$
θ
O



O′
ω
ωdt
R
A
dr
v
θ
r
O



a

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАВНОМЕРНОГО ВРАЩЕНИЯ

Если $\boldsymbol{\omega}$ **=** ***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***:

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

УГЛОВОЕ УСКОРЕНИЕ

Для характеристики неравномерного вращения тела вводится понятие углового ускорения.

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

$$\vec{\boldsymbol{\varepsilon}} = \mathbf{lim}_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \qquad [\varepsilon] = [\text{рад}/\text{с}^2]$$

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

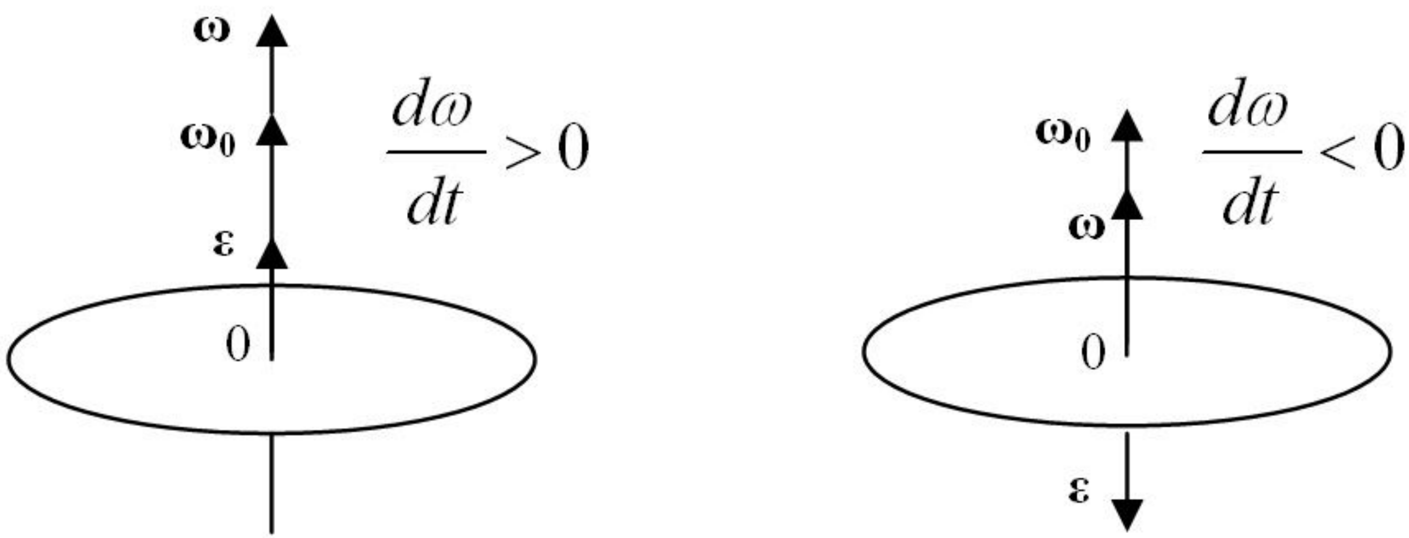


Рис. 1.7

Вектор $\vec{\varepsilon}$

направлен вдоль оси вращения.

Если модуль $\vec{\varepsilon}$ ***возрастает,***

то вектора $\vec{\varepsilon}$ ***и*** $\vec{\omega}$

совпадают по направлению,

если модуль вектора уменьшается

– то вектора $\vec{\varepsilon}$ ***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 $\boldsymbol{a_\tau}$, нормальное ускорение $\boldsymbol{a_n}$) и угловыми характеристиками (угол поворота $\boldsymbol{\varphi}$, угловая скорость $\boldsymbol{\omega}$, угловое ускорение $\boldsymbol{\varepsilon}$) выражается следующими формулами:

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

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

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

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

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

$$\boldsymbol{\omega = \omega_0 + \varepsilon t}$$

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

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

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

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="3">Описание положения и движения точечного тела и поступательного движения твердого тела</td><td rowspan="2">Описание движения точки по окружности и вращательного движения твердого тела угловыми величинами</td></tr>
<tr><td>Естественный способ описания движения</td><td colspan="2">Координатная и векторная формы описания движения</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td colspan="2">3</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Положение (местонахождение) тела в момент времени t</td><td rowspan="3">Задаются:
1) траектория движения;
2) пройденный к данному моменту времени t путь ℓ</td><td colspan="2">Выбираются тело отсчета О, система координат (с.к.), система отсчета (с.о.)</td><td rowspan="3">За тело отсчета О принимается центр окружности С.
Задаются:
1) ось вращения Oz
2) радиус окружности R
3) угол φ между R и осью Ox (ось Ox в плоскости окружности)</td></tr>
<tr><td>Задаются координаты точки x, y, z</td><td>Задается радиус- вектор точки $\overline{r}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Связь $\overline{r}$ с координатами:
$\overline{r} = \overline{i}\,x + \overline{j}\,y + \overline{k}\,z;\ r^2 = x^2 + y^2 + z^2;$
$x = r\cos\alpha;\ y = r\cos\beta;\ z = r\cos\gamma$</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Величина, характеризующая движение (свидетельствующая о движении тела)</td><td rowspan="2">Пройденный путь:
$\Delta\ell$ за время Δt
$d\ell$ за время dt</td><td>Изменения координат:
$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ за время Δt;
dx, dy, dz за время dt</td><td>Перемещение
$\Delta\overline{r} = \overline{r_2} - \overline{r_1}$
за время Δt;
$d\overline{r}$ за время dt</td><td rowspan="3">Угол поворота:
$\Delta\varphi$ за время Δt;
$d\varphi$ за время dt.
Угловое перемещение
$d\vec{\varphi} = \overline{k}\,d\varphi$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Связь $d\overline{r}$ с dx, dy, dz: $d\overline{r} = \vec{i}dx + \overline{j}\,dy + \overline{k}\,dz;$
$dr^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Связь $d\ell$ с $d\overline{r}$: $d\overline{r} = \overline{\tau}\,d\ell$; $d\ell = dr$,
при движении по прямой вдоль оси Ox $d\ell = dx$; $\Delta\ell = \Delta x$</td></tr>
<tr><td colspan="4">Связь линейных величин $\ell, d\ell, d\overline{r}$ с угловыми величинами $\varphi, d\varphi, d\vec{\varphi}$:
$\ell = R\varphi;\ \Delta\ell = R\Delta\varphi;\quad d\ell = Rd\varphi;\ d\overline{r} = d\vec{\varphi}\times\overline{R}$</td></tr>
</table>

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 $\overline{r}$ от t: $\overline{r} = \overline{r}\ (t)$ Конец вектора $\overline{r}$ описывает траекторию движения	Зависимость угла поворота от времени: $\varphi = \varphi\ (t)$
Величина, характеризующая быстроту движения	Скорость движения $\vec{\upsilon}$ Скорость прохождения пути (путевая скорость) υ Средняя скорость прохождения пути $\upsilon_c = \dfrac{\Delta\ell}{\Delta t}$ Модуль скорости движения (мгновенной) $\upsilon = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta\ell}{\Delta t} = \dfrac{d\ell}{dt} = \ell'_t$ Скорость движения $\vec{\upsilon} = \upsilon\overline{\tau}$	Скорость движения (быстрота изменения радиуса-вектора со временем) $\vec{\upsilon}$ Скорость движения (мгновенная) $\vec{\upsilon} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta\overline{r}}{\Delta t} = \dfrac{d\overline{r}}{dt} = \overline{r}'_t$ $\vec{\upsilon} = \overline{i}\,\upsilon_x + \overline{j}\,\upsilon_y + \overline{k}\,\upsilon_z$ $\vec{\upsilon} = \overline{i}\,\dfrac{dx}{dt} + \overline{j}\,\dfrac{dy}{dt} + \overline{k}\,\dfrac{dz}{dt}$ $\upsilon_x = \dfrac{dx}{dt};\ \upsilon_y = \dfrac{dy}{dt};\ \upsilon_z = \dfrac{dz}{dt}$ $\upsilon^2 = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 + \upsilon_z^2$		Угловая скорость ω Средняя угловая скорость $\omega_c = \dfrac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ Угловая скорость (мгновенная) $\omega = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \dfrac{d\varphi}{dt} = \varphi'_t$ Вектор угловой скорости $\overline{\omega} = \dfrac{d\vec{\varphi}}{dt} = \overline{k}\omega$
	Связь линейной скорости $\vec{\upsilon}$ с угловой скоростью ω и с вектором угловой скорости $\overline{\omega}$: $\upsilon = \omega R; \vec{\upsilon} = \overline{\omega} \times \overline{R}$.			

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

Величина, характеризующая быстроту изменения скорости движения	$\Delta\vec{\upsilon}=\vec{\upsilon}_2-\vec{\upsilon}_1$; $d\vec{\upsilon}$ Ускорение движения $\bar{a}=\dfrac{d\vec{\upsilon}}{dt}$ $\Delta\vec{\upsilon}=\Delta\vec{\upsilon}_\tau+\Delta\vec{\upsilon}_n$; $d\vec{\upsilon}=d\vec{\upsilon}_\tau+d\vec{\upsilon}_n$	Ускорение движения $\bar{a}$ $\bar{a}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}=\dfrac{d\vec{\upsilon}}{dt}$; $\bar{a}=\dfrac{d^2\bar{r}}{dt^2}$ $\bar{a}=\bar{i}\dfrac{d\upsilon_x}{dt}+\bar{j}\dfrac{d\upsilon_y}{dt}+\bar{k}\dfrac{d\upsilon_z}{dt}=$ $=\bar{i}\dfrac{d^2x}{dt^2}+\bar{j}\dfrac{d^2y}{dt^2}+\bar{k}\dfrac{d^2z}{dt^2}$ $a_x=\dfrac{d\upsilon_x}{dt}=\dfrac{d^2x}{dt^2}$; $a_y=\dfrac{d\upsilon_y}{dt}=\dfrac{d^2y}{dt^2}$; $a_z=\dfrac{d\upsilon_z}{dt}=\dfrac{d^2z}{dt^2}$ $\bar{a}=\bar{i}a_x+\bar{j}a_y+\bar{k}a_z$; $a^2=a_x^2+a_y^2+a_z^2$	-
Величина, характеризующая быстроту изменения модуля скорости движения	Тангенциальное (касательное) ускорение $\bar{a}_\tau$ $\Delta\upsilon_\tau=\Delta\upsilon$; $d\upsilon_\tau=d\upsilon$; $d\vec{\upsilon}_\tau=\bar{\tau}d\bar{\upsilon}$ $\bar{a}_\tau=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{\upsilon}_\tau}{\Delta t}=\bar{\tau}\dfrac{d\upsilon}{dt}$; $a_\tau=\dfrac{d\upsilon}{dt}$		Угловое ускорение $\bar{\alpha}$ $\bar{\alpha}=\lim\limits_{\Delta t\to\infty}\dfrac{\Delta\bar{\omega}}{\Delta t}=\dfrac{d\bar{\omega}}{dt}=\bar{k}\dfrac{d\omega}{dt}$ $\alpha=\dfrac{d\omega}{dt}$; $\vec{\alpha}=\bar{k}\alpha$
Величина, характеризующая быстроту изменения направления скорости движения	Нормальное ускорение $\bar{a}_n$ $\Delta\vec{\upsilon}_n$; $d\vec{\upsilon}_n$; $d\vec{\upsilon}_n=\bar{n}d\upsilon_n$ $\bar{a}_n=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{\upsilon}_n}{\Delta t}=\dfrac{d\vec{\upsilon}_n}{dt}=\bar{n}\dfrac{d\upsilon_n}{dt}$ $a_n=\dfrac{\upsilon^2}{R}$; $\bar{a}_n=\dfrac{\upsilon^2}{R}\bar{n}$		-
	Связи между $\bar{a}$, $\bar{a}_\tau$, $\bar{a}_n$: $\bar{a}=\bar{a}_\tau+\bar{a}_n$; $a^2=a_\tau^2+a_n^2$;		
	Связи $\bar{a}_\tau$, $\bar{a}_n$ с угловыми величинами: $a_\tau=\alpha R$; $\bar{a}_\tau=\bar{\alpha}\times\bar{R}$; $a_n=\omega^2R$; $\bar{a}_n=-\omega^2\bar{R}=\omega^2R\bar{n}=\bar{\omega}\times\vec{\upsilon}$		

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	
$s = f(t)$	$\varphi = f(t)$
$v = \frac{ds}{dt}$	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$