

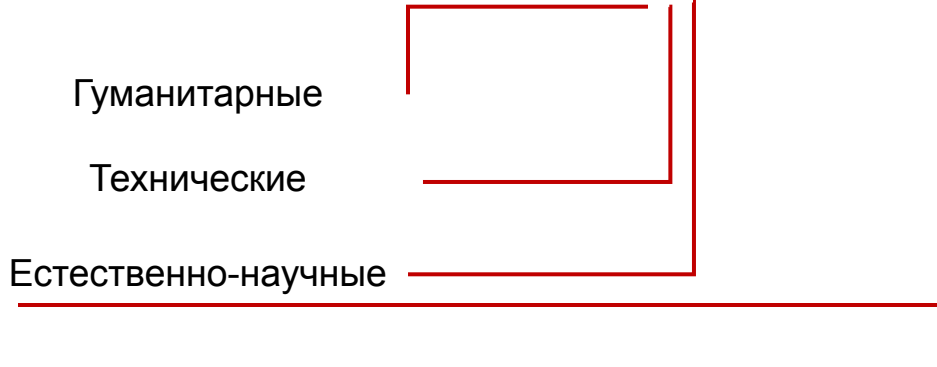
Лекция 1.1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Е.В. Феськова,
канд. пед. наук, доцент кафедры «Инженерный бакалавриат CDIO»

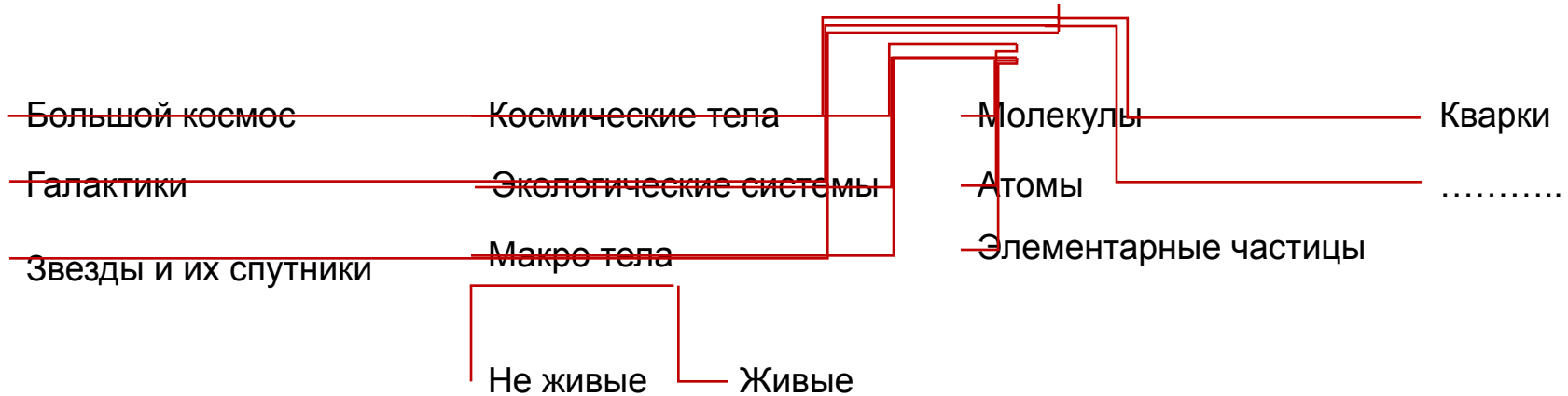
Красноярск 2022

СТРУКТУРА ФИЗИКИ

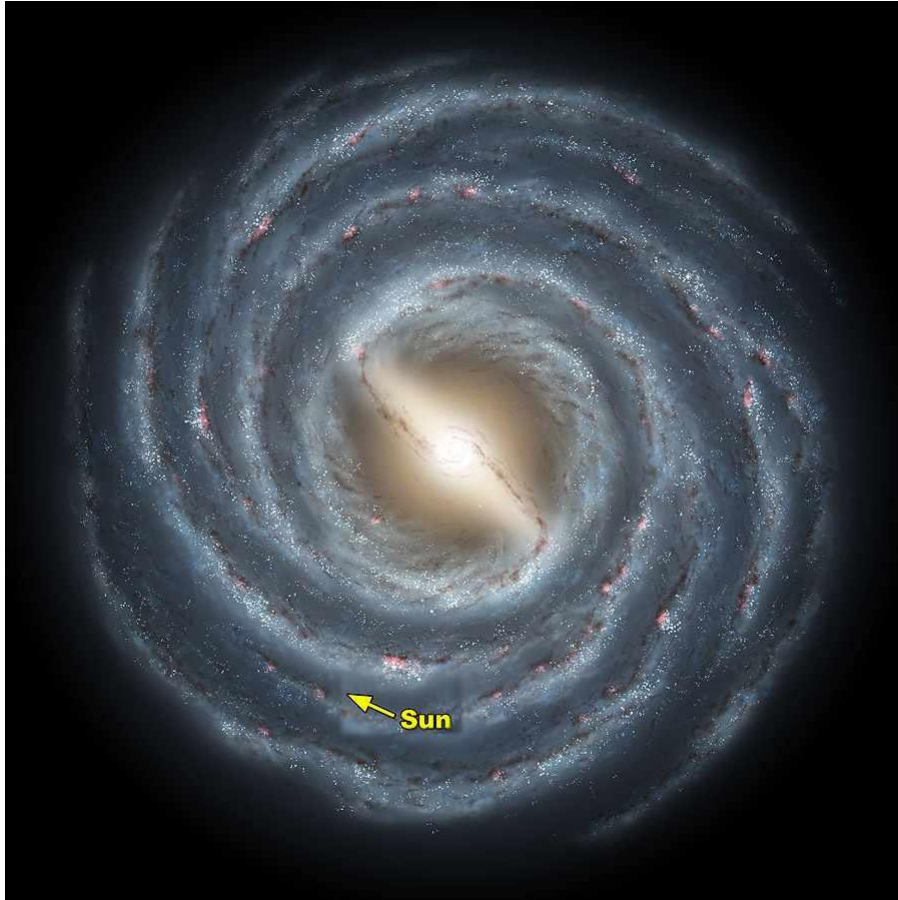
ЗНАНИЯ



по иерархии (сложности) внутренней структуры объектов



ФИЗИКА

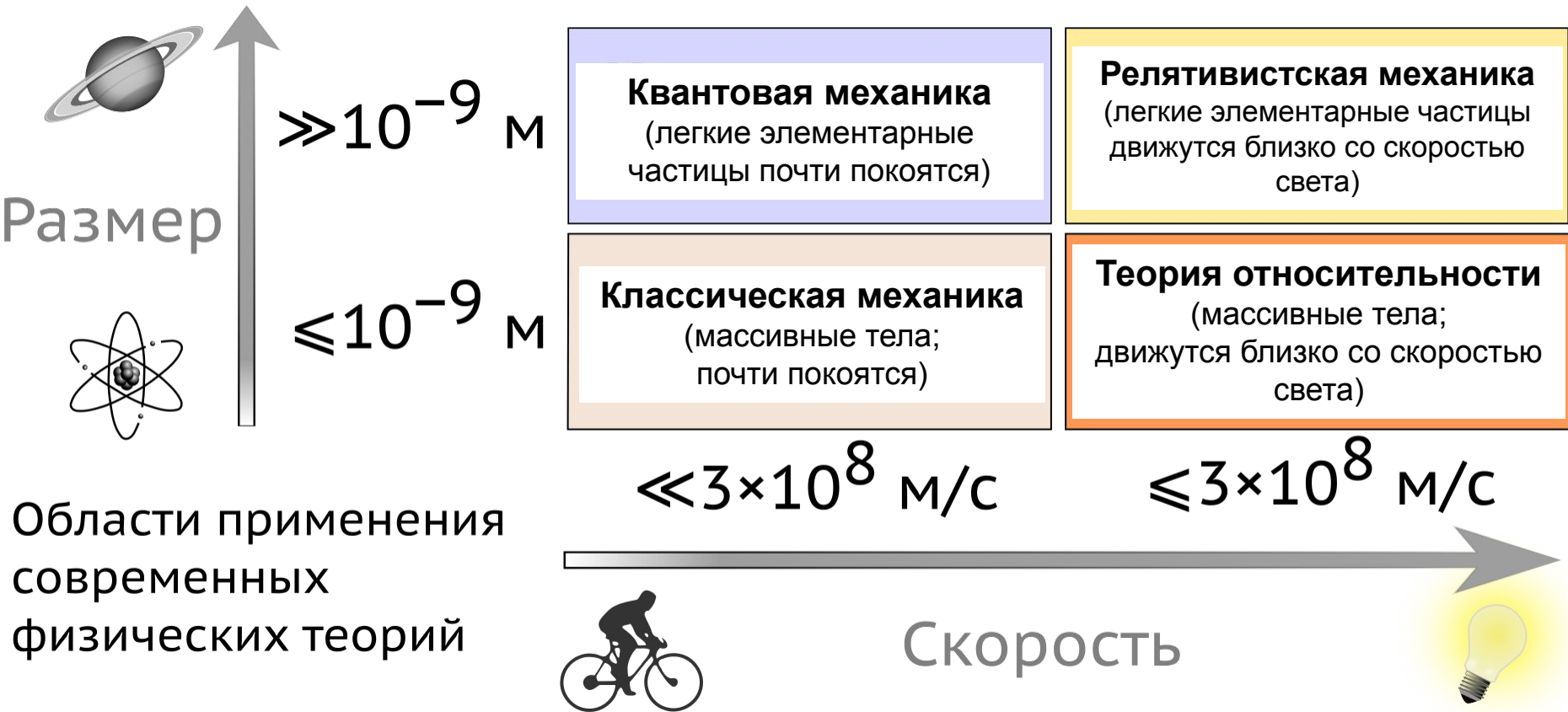


модель строения нашей Галактики
«Млечный путь»

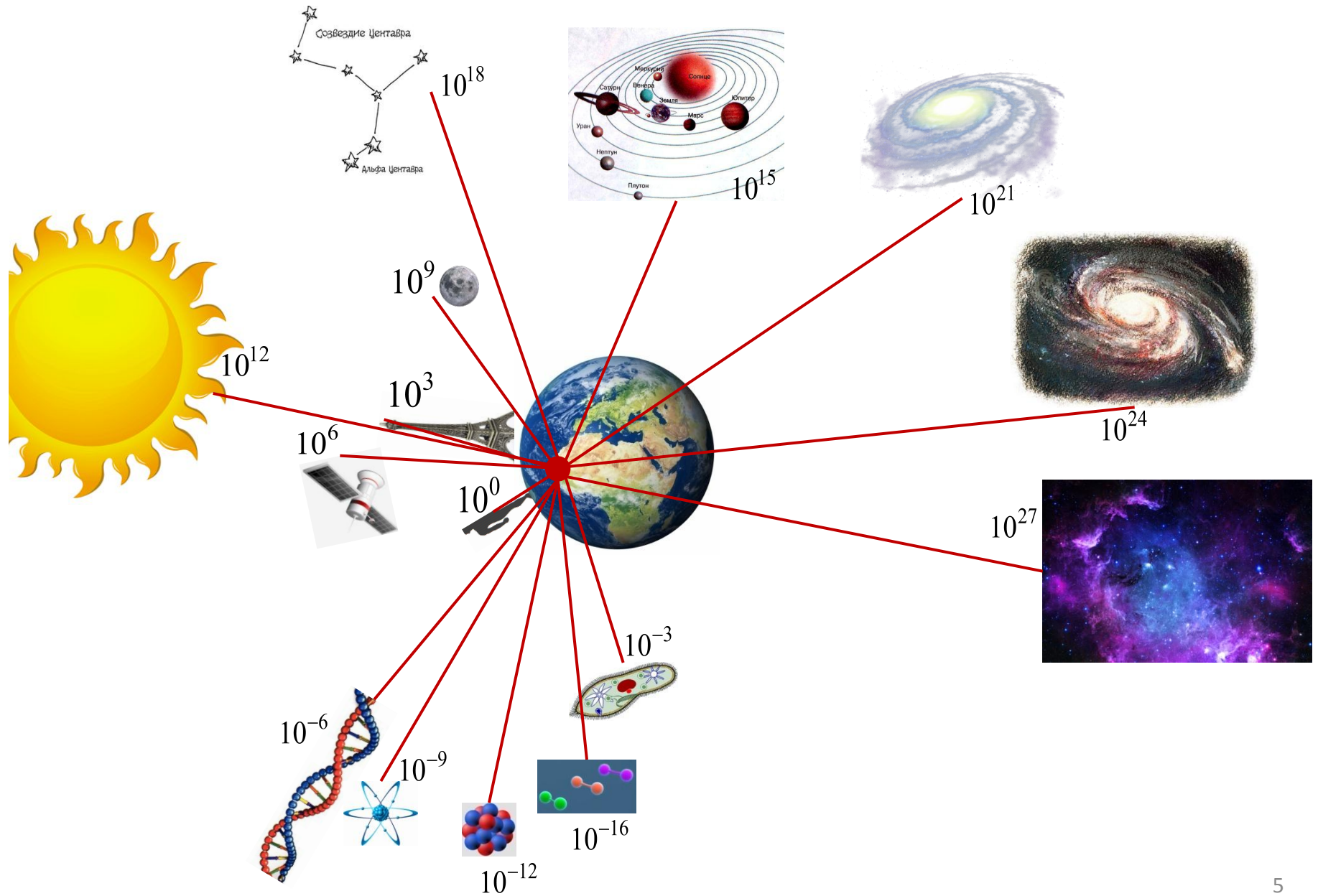
Первый вид материи – частицы
(вещество) – атомы, молекулы и
состоящие из них тела

Второй вид материи – физические
поля – осуществляют взаимодействия
между телами (частицами)

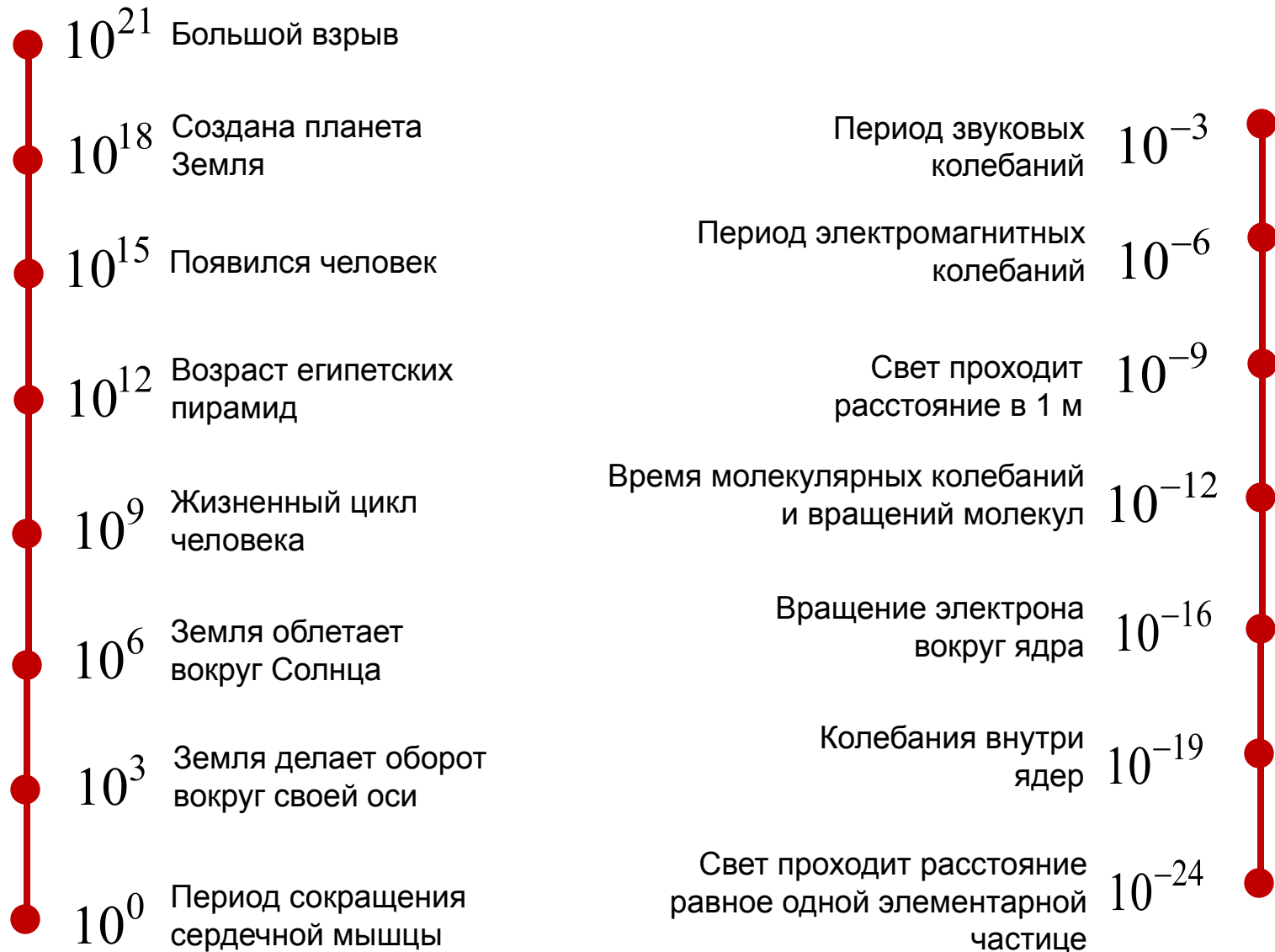
СТРУКТУРА ФИЗИКИ



ПРОСТРАНСТВО И ЕГО СВОЙСТВА



ВРЕМЯ И ЕГО СВОЙСТВА



МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Механика – часть физики, которая изучает закономерности механического движения и причины, вызывающие или изменяющие это движение

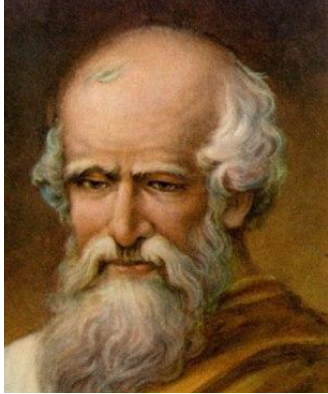
Движение (в широком смысле) – это любое изменение происходящее в системе

Разным уровням организации материи соответствуют **различные формы движения**

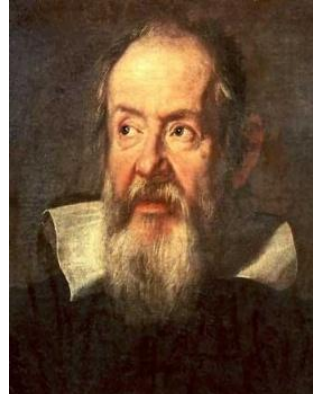
Более сложные формы движения включают в себя более простые

Механическое движение – это процесс изменения положения тел в пространстве, происходящее с течением времени

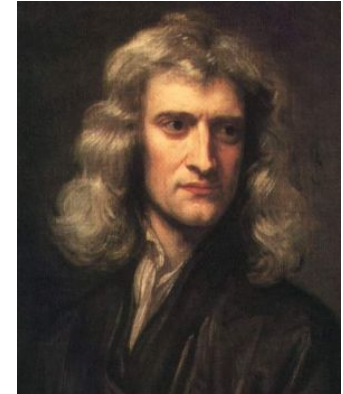
МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ



Архимед
древнегреческий
ученый
(287 – 212 до н.э.)



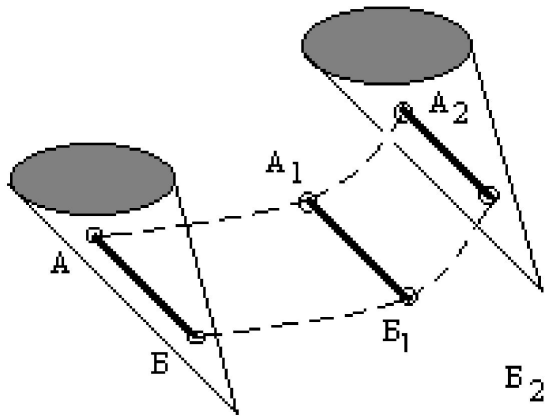
Г. Галилей
итальянский физик и
астроном
(1564 -1642)



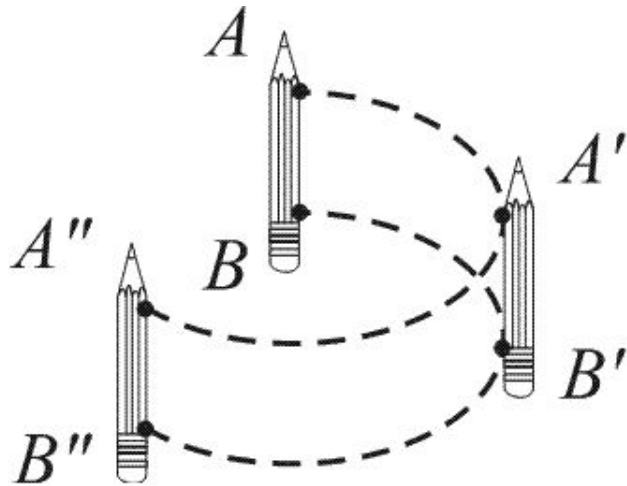
И. Ньютоном
английский ученый
(1643-1727)

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА МЕХАНИКИ – ЗНАЯ ПОЛОЖЕНИЕ И СКОРОСТЬ ТЕЛА В ЗАДАННЫЙ (НАЧАЛЬНЫЙ) МОМЕНТ ВРЕМЕНИ, РАССЧИТАТЬ ПОЛОЖЕНИЕ И СКОРОСТЬ ТЕЛА В ЛЮБОЙ ЗАДАННЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ



Поступательное механическое движение тела – это движение, при котором прямая, соединяющая две произвольные точки тела, перемещается, оставаясь параллельной своему первоначальному направлению



Вращательное механическое движение тела — это движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой **осью вращения**

МЕХАНИКА

Классическая механика

```
graph TD; A[Классическая механика] --> B[Кинематика - изучает движение тел в пространстве и времени без рассмотрения вызывающих это движение взаимодействий]; A --> C[Динамика - изучает движение тел, учитывая взаимодействия между телами, которые обуславливают тот или иной характер движения]; A --> D[Статика - изучает законы равновесия системы тел. Эти законы следуют из законов динамики];
```

Кинематика - изучает движение тел в пространстве и времени без рассмотрения вызывающих это движение взаимодействий

Динамика - изучает движение тел, учитывая взаимодействия между телами, которые обуславливают тот или иной характер движения

Статика - изучает законы равновесия системы тел. Эти законы следуют из законов динамики

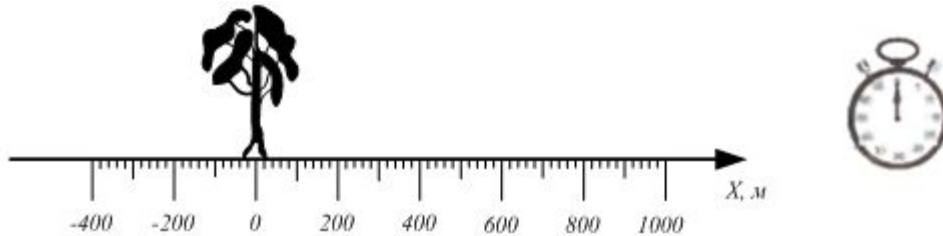
В классической механике пространство и время считалось абсолютным

В современной физике пространство и время считается относительным

СИСТЕМА ОТСЧЕТА В МЕХАНИКЕ

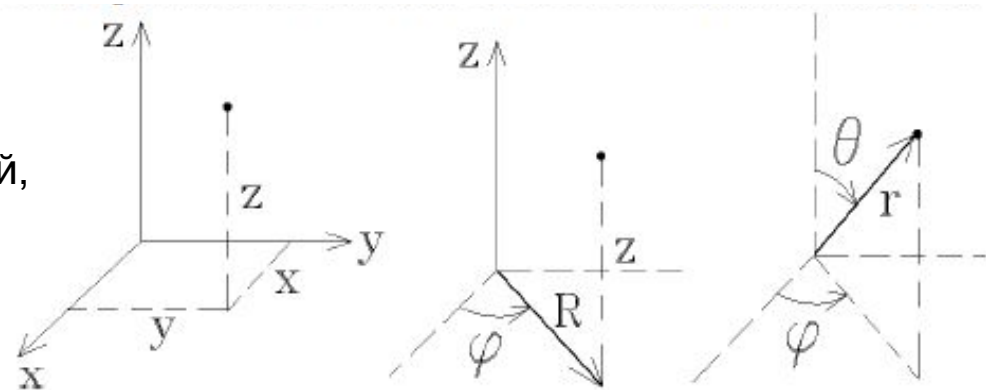
Тело отсчета - это тело, относительно которого определяют положение рассматриваемого нами тела (материальной точки) или системы тел

Система отсчета - это система координат, связанная с телом отсчета и выбранный способ измерения времени (часы). В модельном мире система отсчета превращается в трехмерную систему координат, положение которой связано с положением тела отсчета.



Материальная точка — тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь. **Массой – нельзя!**

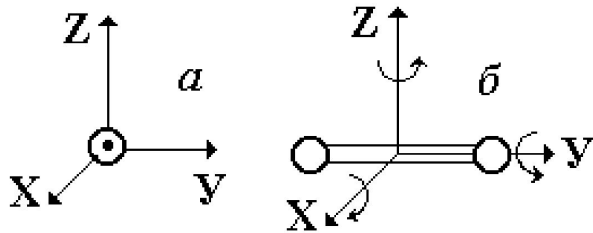
Система координат может быть декартовой, цилиндрической или сферической



ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Число независимых координат, полностью определяющих положение точки в пространстве, называется **числом степеней свободы**

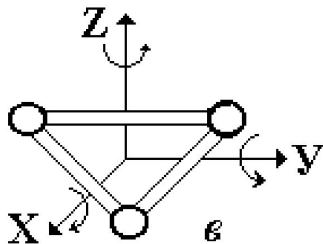
- ! Движение м.т. вдоль прямой — только одна степень свободы ($i = 1$)
- ! Движение м.т. на плоскости — две степени свободы ($i = 2$)
- ! Движение м.т. в пространстве — три степени свободы ($i = 3$)



Абсолютно твердое тело имеет **шесть степеней свободы**: три поступательных и три вращательных

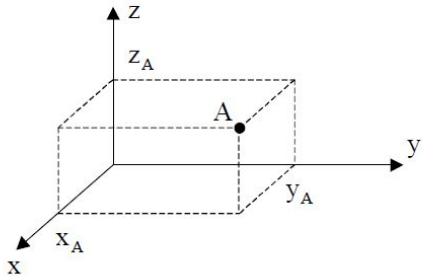
Общее число степеней свободы молекулы

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}} + 2i_{\text{кол}}$$



Если м. т. (тело) совершает колебательное движение, то происходит превращение кинетической энергии в потенциальную энергию и, наоборот, поэтому число колебательных степеней свободы удваивается

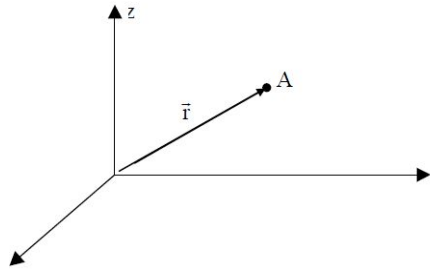
ПОЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ



Задать положение материальной точки в декартовой системе координат - это задать ее координаты (X, Y, Z)

Задать положение точки – задать радиус-вектор \vec{r} .

Радиус-вектор – это вектор, проведенный из начала координат в какую-либо точку пространства

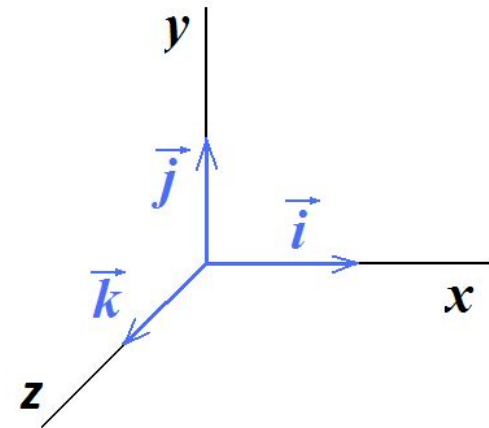


$$\vec{r} = r(t) \quad \text{единичные векторы направлений (орты)}$$

координаты точки

$$\vec{r} = xi + yj + zk$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad \text{длина радиус-вектора}$$



Такая тройка векторов полностью определяет систему координат, поэтому ее называют базисом координатной системы

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

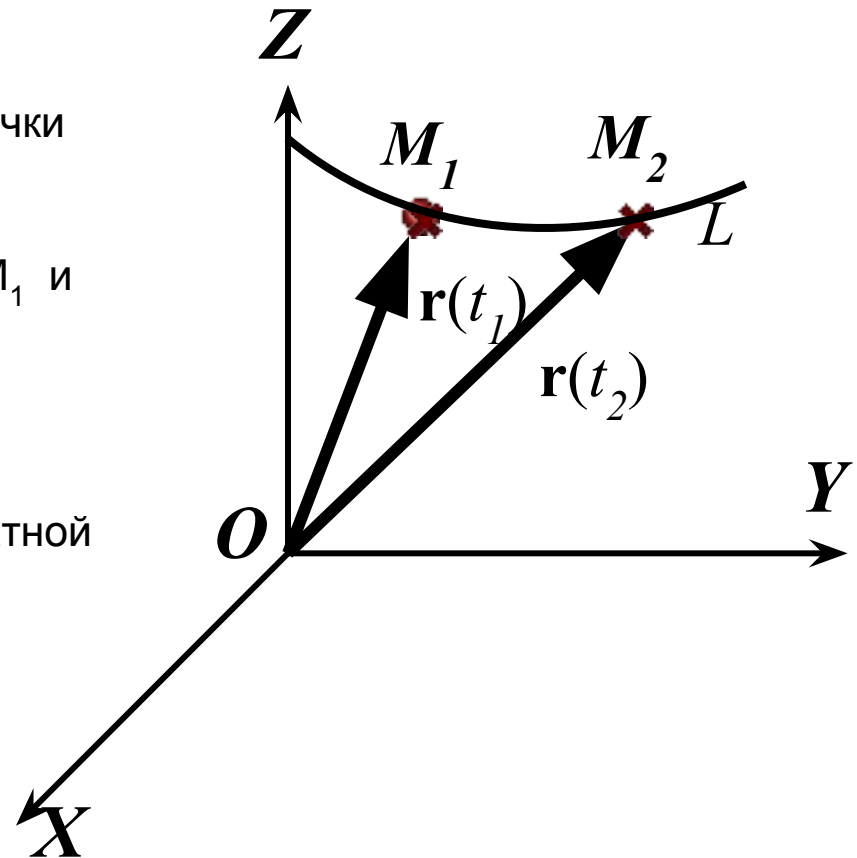
Рассмотрим движение материальной точки M

за некоторый промежуток времени материальная точка переместилась из точки пространства M_1 в точку M_2

Соединим начало координат с точками M_1 и M_2 - это радиус-векторы $r(t_1)$ и $r(t_2)$

Уравнения движения, описывающие положение материальной точки, можно записать в векторном виде или в координатной форме

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



Кинематические уравнения движения материальной точки

ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИКИ – НАПИСАТЬ УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ
УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ОПИСЫВАЮТ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ

ФОРМА ТРАЕКТОРИИ

Прямолинейное движение

Криволинейное движение

Траектория движения материальной точки — линия, описываемая в пространстве движущейся точкой

В зависимости от формы траектории различают движение прямолинейное и криволинейное

Траектория – понятие относительное (о форме траектории без указания системы отсчета говорить нельзя)

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

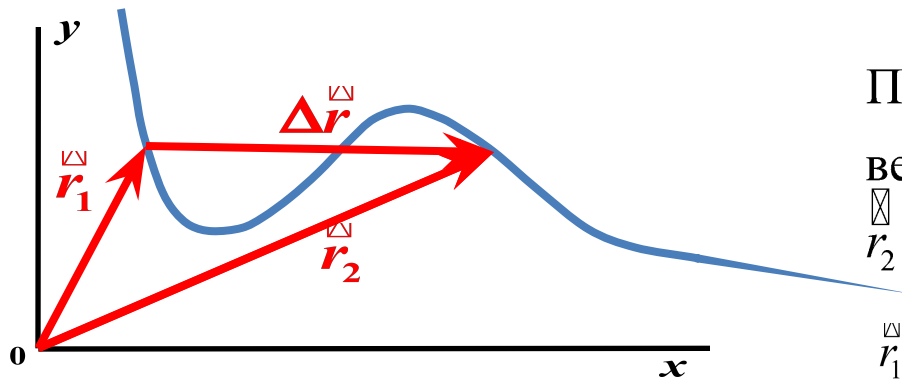
Если исключить время в этих уравнениях, получим уравнение траектории

Длина траектории – скалярная величина, равна пути, пройденного материальной точкой за рассматриваемый промежуток времени

ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Вектор, проведенный из начального положения материальной точки в конечное, называют **вектором перемещения**

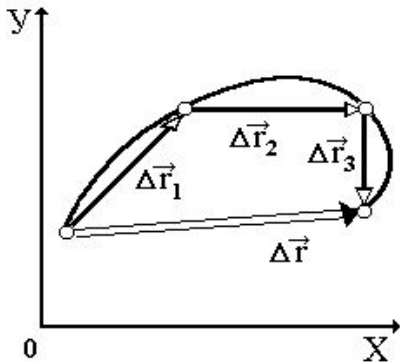
Вектор перемещения характеризует изменение радиус-вектора движущейся точки за рассматриваемый промежуток времени



Приращение радиус вектора $\Delta \vec{r}$ называют вектором перемещения

$$\vec{r}_2 = \vec{r}_1 + \Delta \vec{r}$$

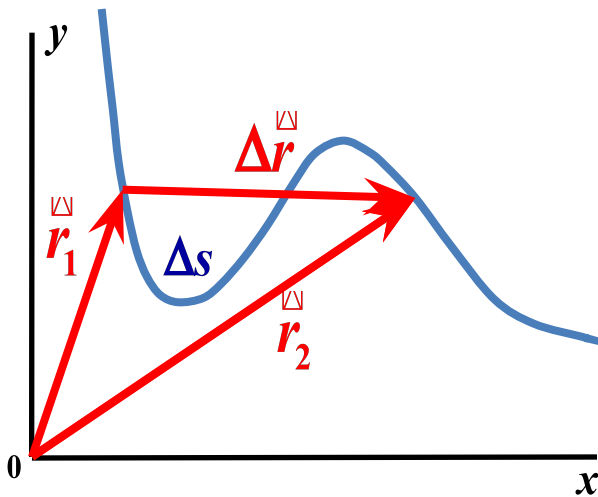
\vec{r}_1 и \vec{r}_2 - начальный и конечный радиус-вектор



Если материальная точка (тело) одновременно участвует в нескольких перемещениях, то, согласно принципу независимости движений, каждое совершается независимо одно от другого, т. е. выполняется закон сложения векторов перемещений

$$\Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}_1 + \Delta \vec{r}_2 + \dots$$

ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ



Длина участка траектории между двумя положениями материальной точки – это путь Δs

Путь и модуль вектора перемещения равны только в случае однонаправленного прямолинейного движения. Во всех других случаях путь больше

$$\Delta s \geq |\Delta \vec{r}|$$

Обе величины равны также при бесконечно малом перемещении

$$ds = |d\vec{r}|$$

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ (прямолинейное движение)

Скорость материальной точки



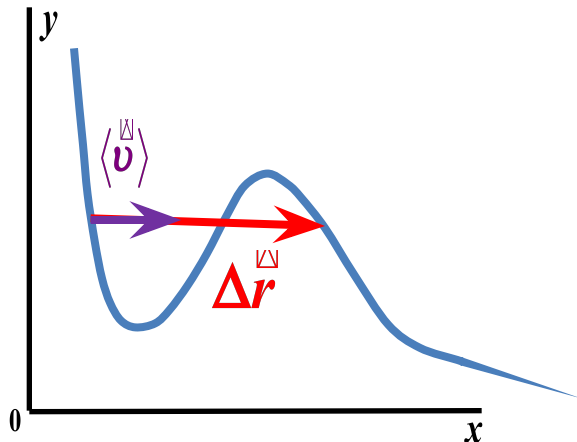
Быстрота движения
Направление движения
Направлена по касательной к траектории



Средняя скорость
Мгновенная скорость

Вектор **средней скорости** – это отношение приращения радиус-вектора точки к промежутку времени, за которое это приращение произошло

$$\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \langle \vec{v} \rangle \quad \langle \vec{v} \rangle \uparrow \uparrow \Delta \vec{r}$$

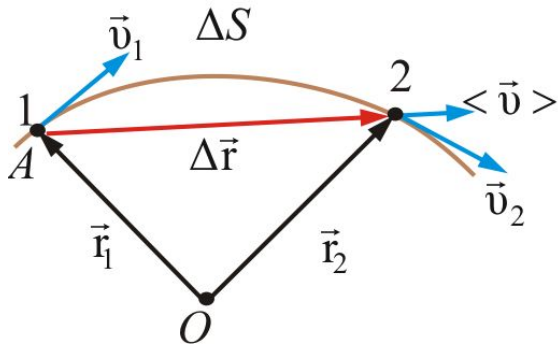


Средняя путевая скорость – (средний модуль скорости) равна отношению пути к промежутку времени, за который этот путь пройден

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \langle v \rangle$$

Мгновенная скорость – это средняя скорость за очень малый промежуток времени

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ (прямолинейное движение)



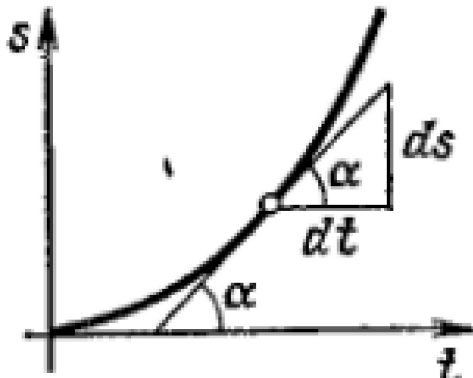
Вектор **мгновенной скорости** равен пределу отношения приращения радиус-вектора материальной точки к тому промежутку времени, за которое это приращение произошло, когда $\Delta t \rightarrow 0$ или равен **первой производной радиус-вектора по времени**

$$\vec{v} = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad \rightarrow \quad v = \frac{ds}{dt}$$

Вектор мгновенной скорости направлен по касательной к траектории

Физический смысл скорости: она показывает, какое перемещение совершает материальная точка за единицу времени

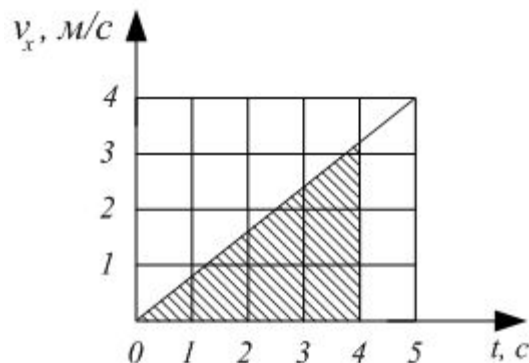
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ПУТИ И СКОРОСТИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ



Тангенс угла наклона касательной к графику зависимости пути, пройденного телом, от времени равен мгновенной скорости тела в данный момент времени

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

Геометрический смысл пути: путь, пройденный телом, равен площади под кривой графика изменения скорости этого тела от времени



УСКОРЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ (прямолинейное движение)

Ускорение
материальной точки



Быстрота изменения
скорости по модулю и
направлению



Среднее ускорение
Мгновенное ускорение

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Среднее ускорение – векторная физическая величина, равная отношению изменения скорости тела к промежутку времени, в течении которого это изменение произошло

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

Мгновенное ускорение – векторная физическая величина, равная пределу отношения скорости тела к промежутку времени, в течении которого это изменение произошло

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

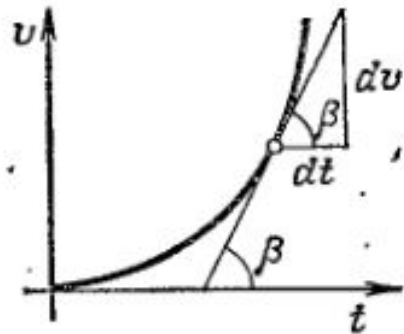
Мгновенное ускорение – первая производная скорости материальной точки по времени

При прямолинейном движении тела ускорение:

- сонаправлено с вектором скорости в случае ускоренного движения тела
- противоположно направлено вектору скорости при замедленном движении тела

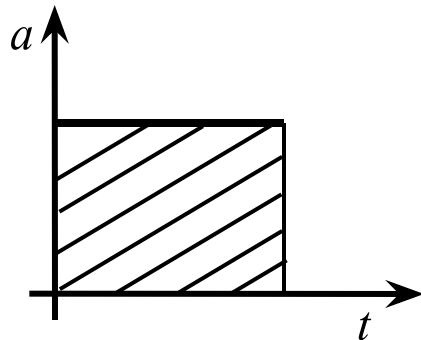
Физический смысл ускорения: оно показывает, на сколько метров в секунду изменяется скорость тела за единицу времени при равнопеременном движении

ГРАФИКИ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

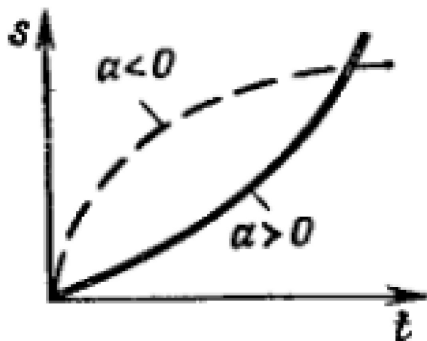


Тангенс угла наклона касательной к графику зависимости скорости тела от времени равен мгновенному ускорению тела в данный момент времени

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{dv}{dt} =$$



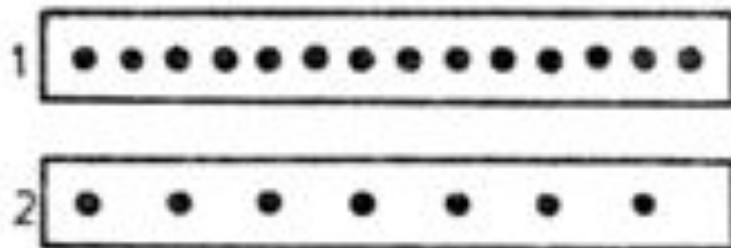
Геометрический смысл скорости: скорость, с которой движется тело, равна площади под кривой графика изменения ускорения этого тела от времени



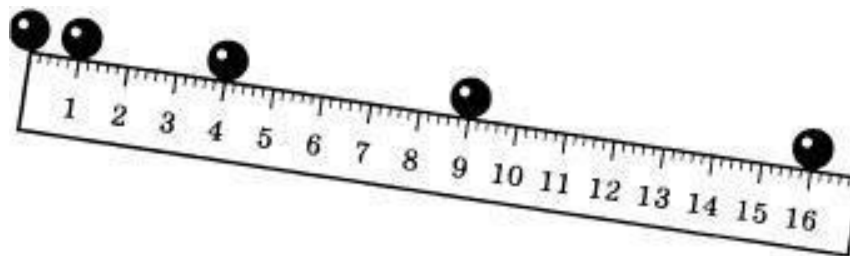
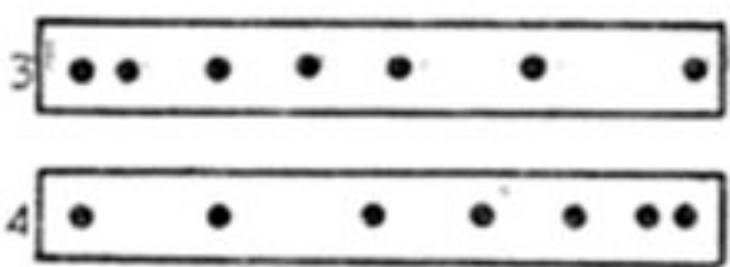
По изгибу графика зависимости пути, пройденного телом, от времени можно определить, как двигалось тело на данном участке: ускоренно ($a > 0$) или замедленно ($a < 0$)

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Если скорость тела не меняется по величине с течением времени, то такое движение называют **равномерным**



Если скорость тела изменяется каждую секунду на одну и ту же величину, то такое движение называется **равнопеременным**



При равномерном движении: мгновенная скорость постоянна

При неравномерном движении: мгновенная скорость изменяется

РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Равномерное прямолинейное движение – это движение с постоянной по модулю и направлению скоростью

Ускорение тела: $a_T = 0$ $a_n = 0$ $a_{\text{пол}} = 0$

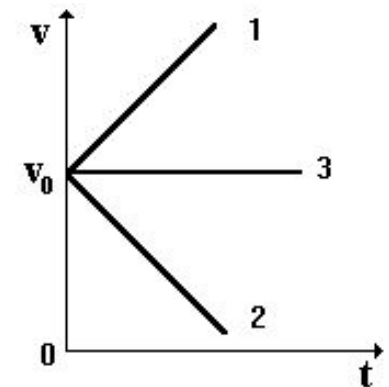
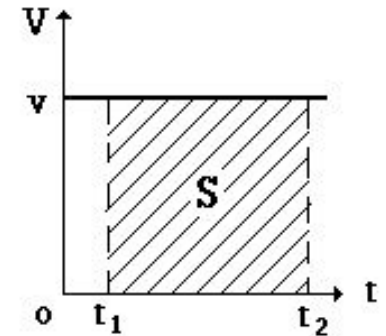
Скорость тела: $v = \text{const}$

Координата тела в любой момент времени: $x(t) = \pm x_0 \pm v \cdot t$

Путь, пройденный телом: $S = v \cdot t$

Формулы средней скорости движения тела:

$$\langle v \rangle = \frac{S_{\text{общ}}}{t_{\text{общ}}} \quad \langle v \rangle = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{если } t_1 = t_2$$
$$\langle v \rangle = \frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} \quad \text{если } S_1 = S_2$$

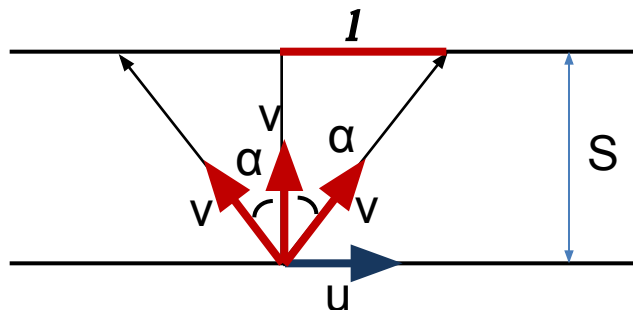


ЗАДАЧИ 1

1.1 Студент проехал половину пути на велосипеде со скоростью $v_1 = 16$ км/ч. Далее в течение половины оставшегося времени он ехал со скоростью $v_2 = 12$ км/ч, а затем до конца пути шел пешком со скоростью $v_3 = 5$ км/ч. Определить среднюю скорость движения студента на всем пути.

1.2 Моторная лодка проходит расстояние между двумя пунктами А и В по течению реки за время $t_1 = 3$ ч, а плот — за время $t = 12$ ч. Сколько времени t_2 затратит моторная лодка на обратный путь?

1.3 На лодке переплывают реку, отправляясь из пункта А. Скорость лодки в стоячей воде $v = 5$ м/с, скорость течения реки $u = 3$ м/с, ширина реки $S = 200$ м. В какой точке пристанет лодка к противоположному берегу, если держать курс перпендикулярно берегам? Какой курс следует держать, чтобы попасть в точку В? Для обоих случаев определите время переправы.



РАВНОПЕРЕМЕННОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Равнопеременное прямолинейное движение – это движение при котором скорость тела постоянно увеличивается / уменьшается на одну и ту же величину за единицу времени.

Ускорение параллельно скорости и постоянно по модулю

Ускорение тела: $a_T = a = \text{const}$ $a_n = 0$ $a_{\text{пол}} = a_T$

Движение равноускоренное: $\overset{\text{↯}}{a_{\text{пол}}}$ $\uparrow\uparrow$ $\overset{\text{↯}}{v}$ равнозамедленное $\overset{\text{↯}}{a_{\text{пол}}}$ $\uparrow\downarrow$ $\overset{\text{↯}}{v}$

Координата тела в любой момент времени: $x(t) = \pm x_0 \pm v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$

Путь, пройденный телом: $S = \int_0^t v dt = \int_0^t (v_0 \pm at) dt = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$

Скорость тела: $v = v_0 \pm at$

$$v^2 - v_0^2 = \pm 2aS$$

ЗАДАЧИ 2

2.1 Положение объекта на прямой линии (ось X) в зависимости от времени дается уравнением $x(t) = a \cdot bt^2 + ct^3$, $a = 1 \text{ м/с}$, $b = -2$, $c = 3$

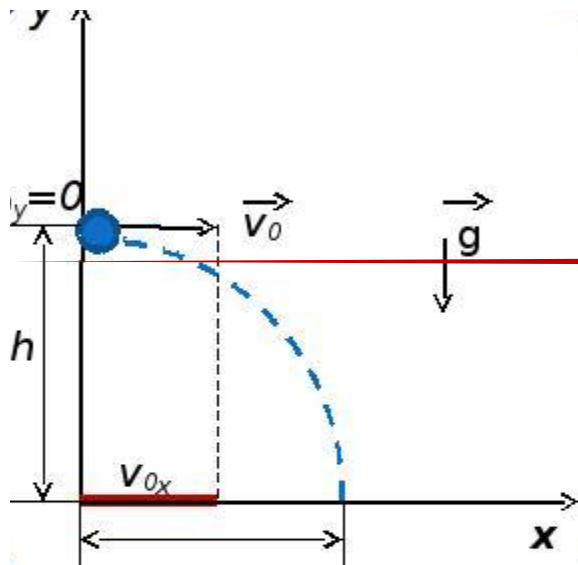
Найти среднюю скорость объекта на временном интервале от 2с до 4 с. Найти мгновенные скорости в эти моменты времени.

2.2 С аэростата, находящегося на высоте $h = 300$ м, упал камень. Через какое время t камень достигнет земли, если: а) аэростат поднимается со скоростью $v = 5$ м/с; б) аэростат опускается со скоростью $v = 5$ м/с; в) аэростат неподвижен?

2.3 Тело падает с высоты $h = 19,6$ м с без начальной скорости. Какой путь пройдет тело за первую и последнюю 0,1с своего движения?

2.4 Поезд движется со скоростью $v_0 = 36$ км/ч. Если выключить ток, то поезд, двигаясь равно замедленно, остановится через время $t = 20$ с. Каково ускорение поезда? На каком расстоянии до остановки надо выключить ток?

ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ ВДОЛЬ ГОРИЗОНТА



Движение материальной точки вдоль горизонта: по оси X – равномерное прямолинейное движение; по оси Y – свободное падение без начальной скорости

$$x(t) = v_0 t$$

дальность полета материальной точки

$$y(t) = \frac{gt^2}{2}$$

высота полета материальной точки

$$v_{пол}^2 = v_x^2 + v_y^2 = v_0^2 + (gt)^2$$

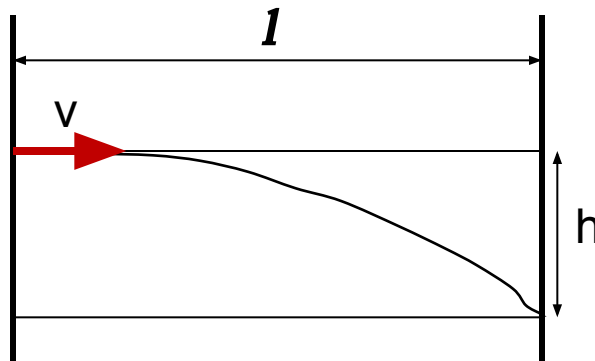
скорость материальной точки в любой момент времени

ЗАДАЧИ 3

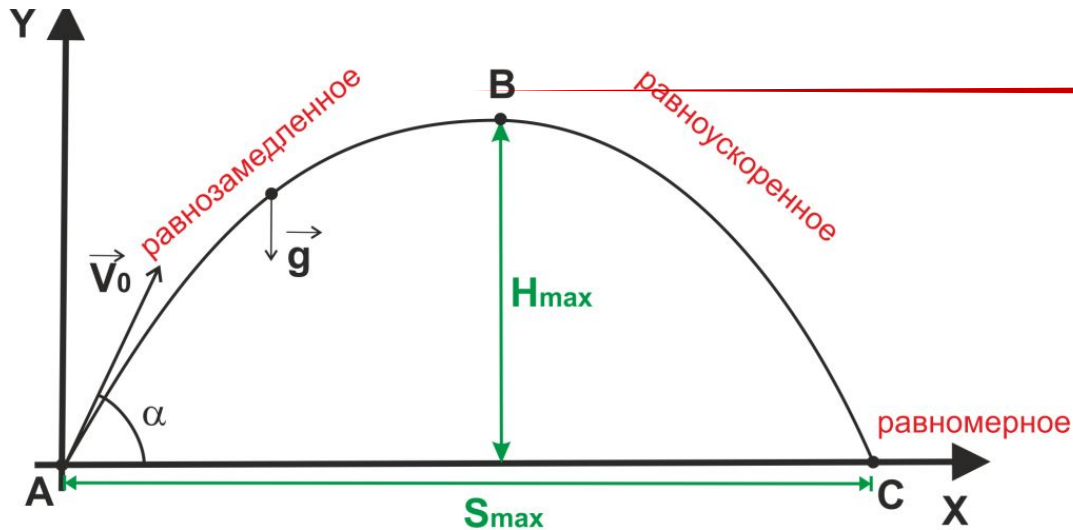
3.1 С вышки бросили камень в горизонтальном направлении. Через промежуток времени $t = 2$ с камень упал на землю на расстоянии $s = 40$ м от основания вышки. Определить начальную v_0 и конечную v скорости камня.

3.2 Тело, брошенное с башни в горизонтальном направлении со скоростью $v = 20$ м/с, упало на землю на расстоянии s (от основания башни), вдвое большем высоты h башни. Найти высоту башни.

3.3 Пистолетная пуля пробила два вертикально закрепленных листа бумаги, расстояние l между которыми равно 30 м. Пробоина во втором листе оказалась на $h = 10$ см ниже, чем в первом. Определить скорость v пули, если к первому листу она подлетела, двигаясь горизонтально. Сопротивлением воздуха пренебречь.



ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ, БРОШЕННОЙ ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ



$$x(t) = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$y(t) = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

Дальность полета материальной точки

$$S_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

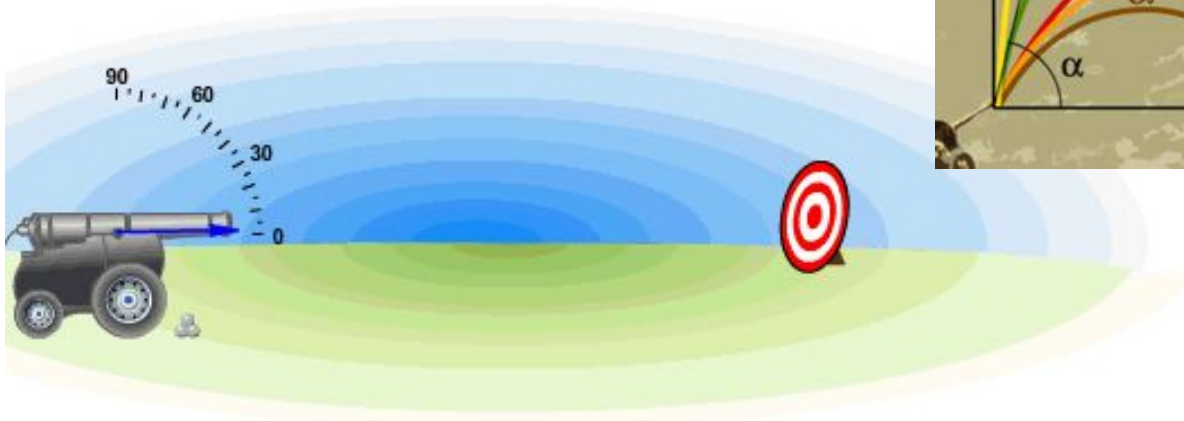
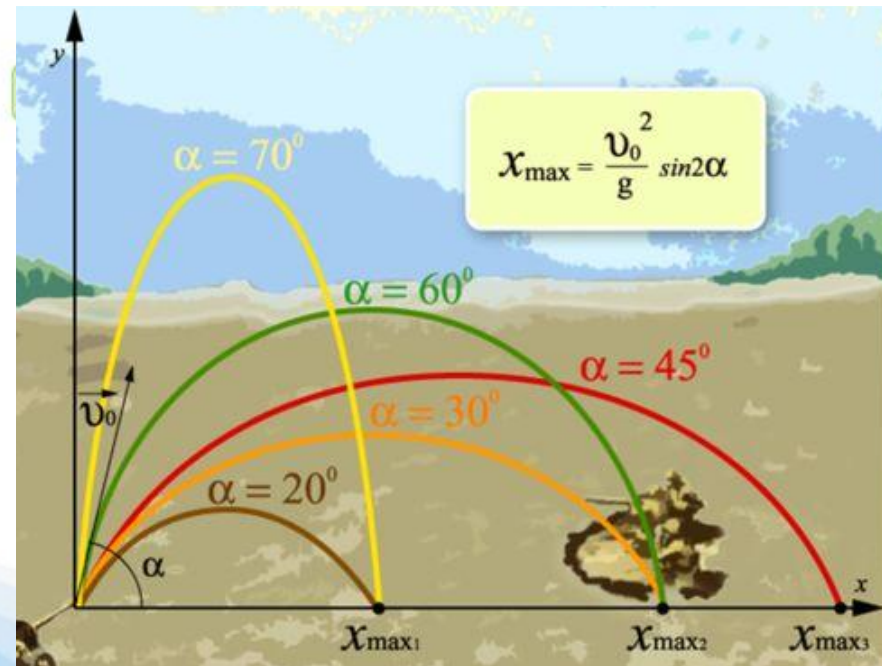
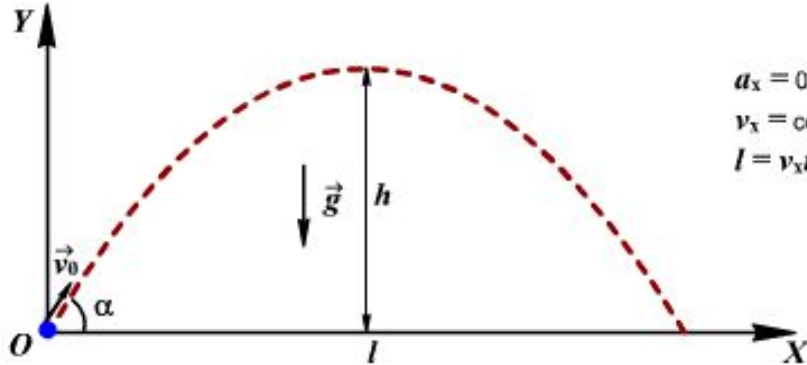
Максимальная высота подъема материальной точки

$$H_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Время полета материальной точки

$$t_{\max} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ, БРОШЕННОЙ ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ



ЗАДАЧИ 4

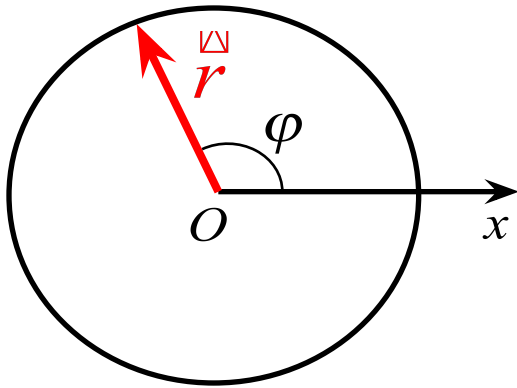
4.1 Тело брошено под углом к горизонту. Оказалось, что максимальная высота подъема $h = s/4$ (s – дальность полета). Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить угол, под которым тело брошено к горизонту.

4.2 Камень, брошенный со скоростью 12 м/с под углом 45° к горизонту, упал на землю на расстоянии от места бросания. С какой высоты h надо бросить камень в горизонтальном направлении, чтобы при той же начальной скорости он упал на то же место?

4.3 Тело брошено со скоростью $v_0 = 15$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите: 1) высоту h подъема тела; 2) дальность полета (по горизонтали) s тела; 3) время его движения.

ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПО ОКРУЖНОСТИ

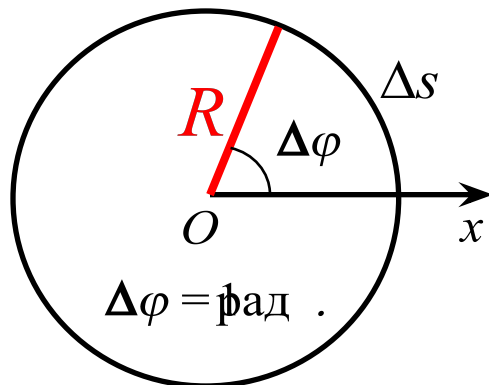
Движение называют **криволинейным**, если скорость м.т. изменяется и по величине, и по направлению



Движение точки по окружности задается зависимостью $\varphi(t)$
 φ – угол между радиус-вектором точки и осью x

Угол поворота (характеризует угол, на который поворачивается радиус-вектор м. т. при ее движении по окружности)

Углом в 1 радиан называют такой центральный угол, длина дуги которого Δs равна её радиусу R



Для произвольного угла поворота $\Delta\varphi$

Угол в 1 оборот равен 2π радиан

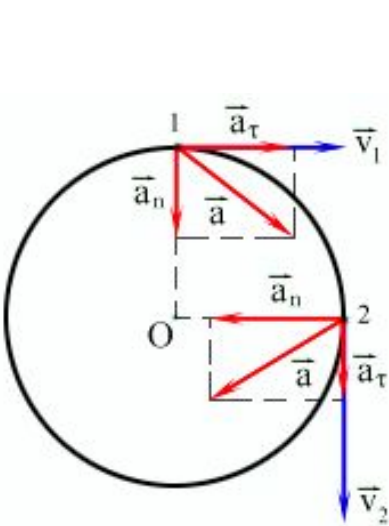
$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{R}$$

$$\Delta s = R \cdot \Delta\varphi$$

УСКОРЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ (криволинейное движение)

При криволинейном движении вектор ускорения образует с вектором мгновенной скорости некоторый угол

В этом случае вектор полного ускорения удобно разложить на составляющие:



$$a_\tau = \frac{dv}{dt} \text{ тангенциальное или касательное ускорение}$$

Характеризует быстроту изменения вектора скорости по величине

$$a_n = \frac{v^2}{r} \text{ нормальное или центростремительное ускорение}$$

Характеризует быстроту изменения вектора скорости по направлению

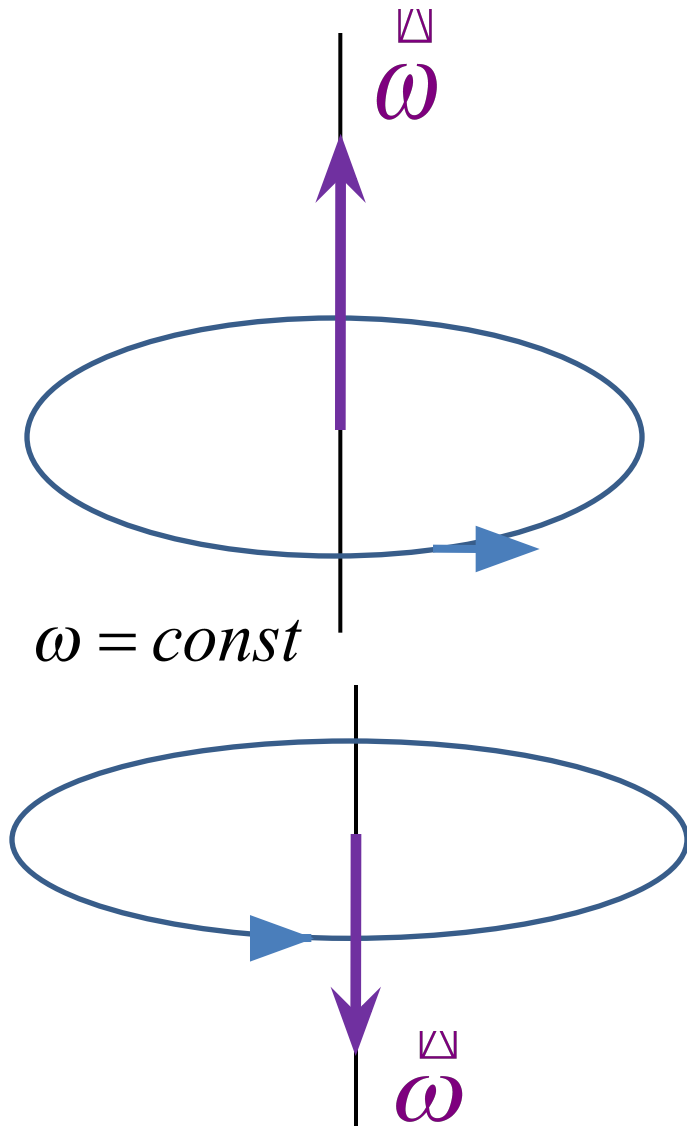
$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$$

При прямолинейном движении тела нормальное ускорение равно нулю, поэтому мгновенное ускорение совпадает с тангенциальным

$a_\tau = a$ **прямолинейное равномерное движение**

$a_\tau = a = const$ **прямолинейное равнопеременное движение**

ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПО ОКРУЖНОСТИ



Угловая скорость – векторная величина, равная первой производной угла поворота тела по времени

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

Вектор угловой скорости направлен как вектор угла поворота

$$v = \omega R$$

Физический смысл угловой скорости: она показывает, на какой угол поворачивается радиус-вектор любой точки тела за единицу времени при равномерном вращении.

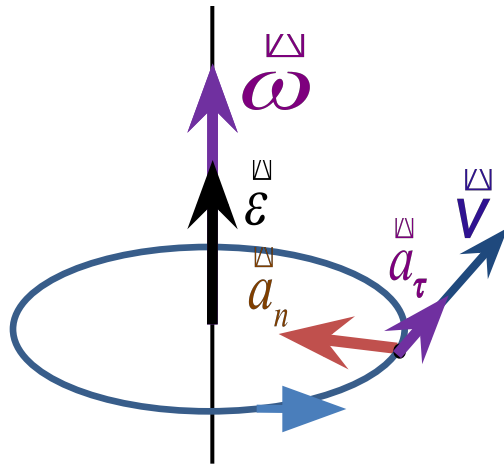
Период – время за которое точка совершает один полный оборот, т.е. поворачивается на угол 2π

Частотой вращения n называется число оборотов за единицу времени

$$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{n} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

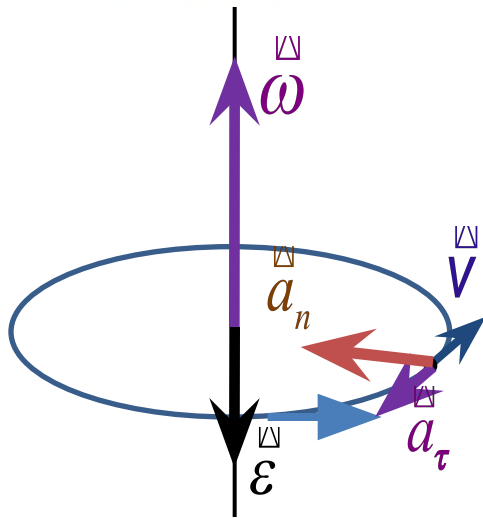
$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

УГЛОВОЕ УСКОРЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ



Если ω увеличивается, то

$$\vec{\varepsilon} \uparrow \uparrow \vec{\omega}$$



Если ω уменьшается, то

$$\vec{\varepsilon} \uparrow \downarrow \vec{\omega}$$

Угловое ускорение – называется векторная величина, определяемая первой производной угловой скорости по времени

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

Физический смысл углового ускорения – характеризует быстроту изменения угловой скорости со временем

$$\boxed{a_\tau} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon$$

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

$$\varepsilon = const$$

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$$

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

Связь линейных и угловых величин

$$S = R\varphi$$

$$v = R\omega$$

$$a_\tau = R\varepsilon = \frac{v}{t}$$

$$a_n = \omega^2 R$$

$$\omega = \varepsilon t$$

ЗАДАЧИ 5

5.1 Камень брошен горизонтально со скоростью $v_x = 15$ м/с. Найти нормальное a_n и тангенциальное a_t ускорения камня через время $t = 1$ с после начала движения.

5.2 Колесо вращается с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 3$ рад/с. Определить радиус колеса, если через время $t = 1$ с после начала движения полное ускорение колеса равно $a = 7,5$ м/с².

5.3 Якорь электродвигателя, имеющий частоту вращения $n = 50$ с⁻¹, после выключения тока, сделав $N = 628$ оборотов, остановился. Определить угловое ускорение ε якоря.

