

3 семестра

1 семестр – зачет

18 часов лекций = 9 лекций в семестре

18 часов практик = 9 практик в семестре

18 часов ЛР = 4,5 ЛР в семестре

преподаватель:

к.т.н., доцент каф. инженерной физики

Будин Артемий Геннадьевич

## Рекомендуемая литература:

- Курс физики : учеб. пособие / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский
- Общий курс физики. Т.1 Механика. Т.2 Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин
- Курс общей физики / И.В. Савельев
- Физика. Современный курс / В.А. Никеров
- Физика для ВУЗов. Механика и молекулярная физика / В.А. Никеров

Серия роликов от «НАУЧФИЛЬМ», Фейнмановские лекции, Физика для всех/Ландау, Физика света/The Physics of Light [2014], серия фильмов «Механическая вселенная»



# Введение

Единица изм.	Сокращение	Величина	Определение
Метр	м	Длина	Метр — длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ секунды.
Килограмм	кг	Масса	Определяется через постоянную Планка.
Секунда	с	Время	Секунда — время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.
Ампер	А	Сила тока	Определен путём фиксации численного значения элементарного заряда равным $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ , когда он выражен единицей Кл, которая равна $A \cdot s$ , где секунда определена выше.
Кельвин	К	Термодинамическая температура	Один Кельвин определен через значение постоянной Больцмана, которая равна $1,380649 \times 10^{-23}$ Дж / К.
Моль	моль	Количество вещества	Устанавливается фиксацией численного значения постоянной Авогадро равным в точности $6,02214 \cdot 10^{23}$ , когда она выражена единицей СИ моль <sup>-1</sup> .
Кандела	кд	Сила света	Сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср

## Идеализации в механике

**Материальная точка** – это тело, обладающее конечной массой, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

**Абсолютно твердое тело** – тело, расстояние между двумя точками которого не меняется.

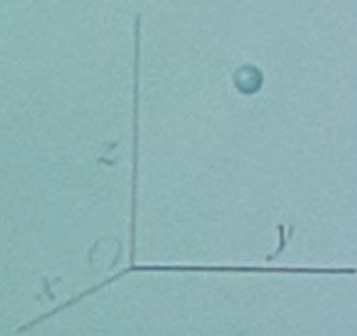


- Работа с формулами
- Работа с дробями
- Скаляры и векторы
- Сложение векторов
- Варианты векторного произведения
- Проецирование векторов
- Нахождение производных
- Нахождение интегралов

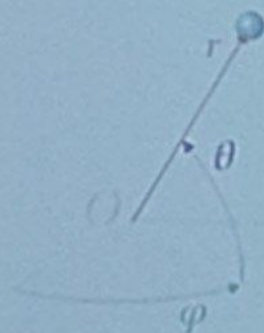
# Физические основы механики

**Система отсчёта** – совокупность системы координат, тела отсчёта и часов

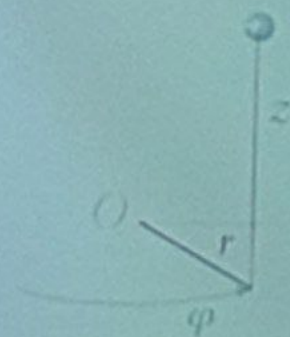
## Системы координат



прямоугольная



сферическая



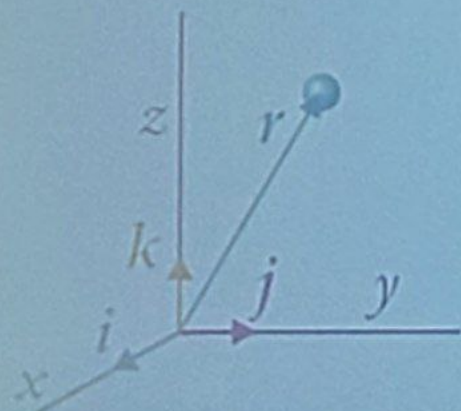
цилиндрическая



# Физические основы механики

Положение материальной точки  $M$  и определяется тремя координатами  $X, Y, Z$ , которые являются **проекциями** мат. точки на соответствующие оси.

**Радиус-вектор** – это вектор, проведенный из начала системы координат в ту точку, где в данный момент времени находится материальная точка.



$$\mathbf{r} = x \cdot \mathbf{i} + y \cdot \mathbf{j} + z \cdot \mathbf{k}$$

$\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  – орты

# Кинематика поступательного движения

**Кинематические** уравнения движения:

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

$$x = x_0 + v_0 t$$

Примеры: 
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$x = x_0 + v_0 t + \dots + ct^n$$

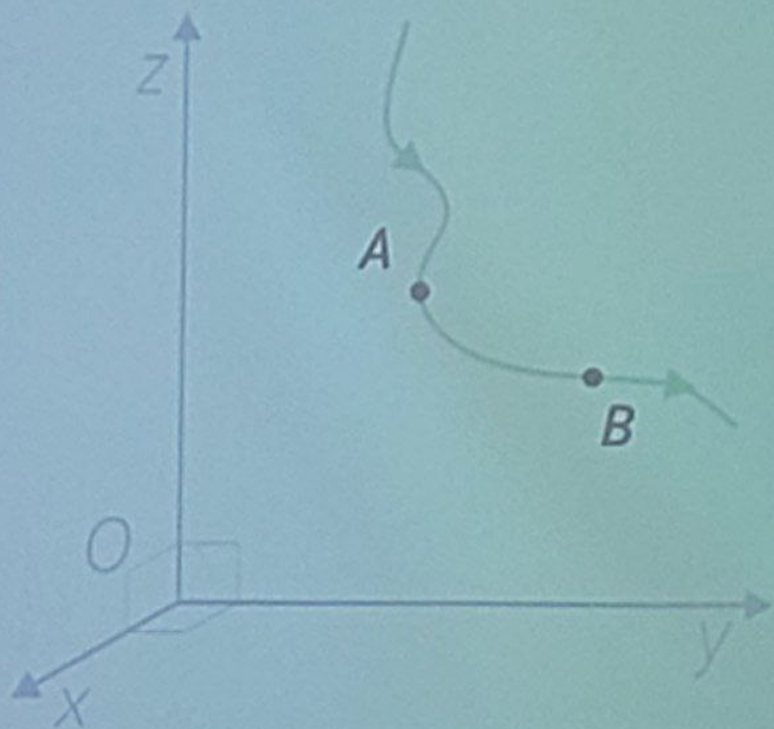
$$x = x(t)$$



## Кинематика поступательного движения

**Траектория** — линия, по которой движется тело (линия, описываемая этой точкой в пространстве).

**Путь  $\Delta S$**  — это длина траектории



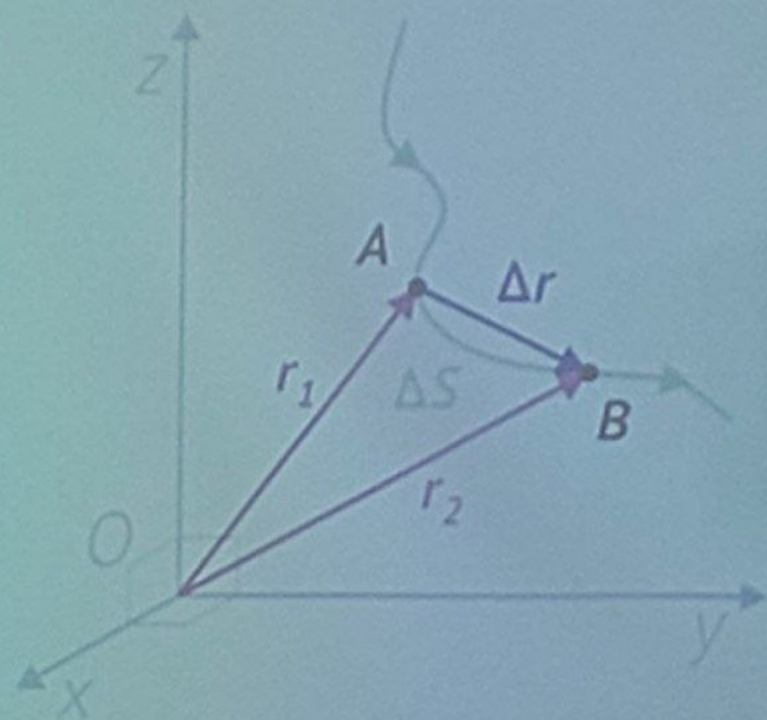
## Перемещение $\Delta \mathbf{r}$

– вектор, направленный из начального положения тела в конечное.

$$\mathbf{r}(t) + \Delta \mathbf{r}(\Delta t) = \mathbf{r}(t + \Delta t)$$

$$\Delta \mathbf{r}(\Delta t) = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)$$

Перемещение  $\neq$  путь





## Кинематика поступательного движения

**Скорость** – величина, показывающая как быстро изменяется положение (координата) тела

$$\Delta r = r_2 - r_1$$

$$v_{\text{сред}} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad - \text{средняя скорость}$$

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad - \text{мгновенная скорость}$$

Мгновенная скорость есть **производная от радиус-вектора по времени**.

$$S = \int_{t_1}^{t_2} v dt \quad - \text{путь}$$

## Кинематика поступательного движения

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \cdot \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \cdot \mathbf{j} + \frac{dz}{dt} \cdot \mathbf{k} = v_x + v_y + v_z$$

$$\mathbf{v} = v_x + v_y + v_z \quad \begin{cases} v_x = i \cdot \frac{dx}{dt} \\ v_y = j \cdot \frac{dy}{dt} \\ v_z = k \cdot \frac{dz}{dt} \end{cases}$$

**Равномерное движение** – движение с постоянной скоростью.

$$S = \int_{t_1}^{t_2} v dt = v \int_{t_1}^{t_2} dt = v(t_2 - t_1) = v\Delta t$$

$S = v\Delta t$  – путь при равномерном движении



**Ускорение** – это величина, показывающая как по времени изменяется скорость.

**Ускорение** – векторная величина, равная первой производной скорости по времени.

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

Следовательно, скорость при *равноускоренном* движении:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t,$$

где  $\mathbf{v}_0$  – скорость тела в начальный момент.

**Равноускоренное движение** – движение с постоянным ускорением.

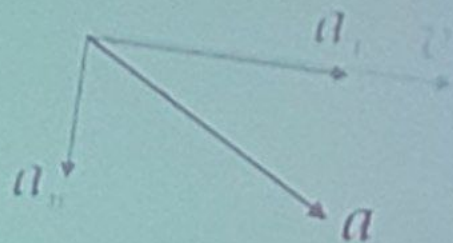
$$a = \text{const}$$

$$v = v_0 + at$$

$$S = \int_0^t v \cdot dt = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$



# Кинематика поступательного движения

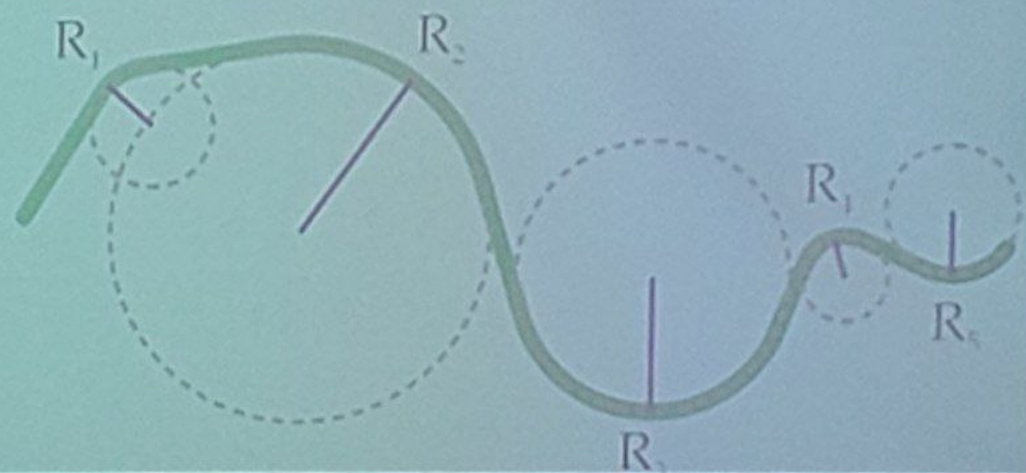


## Нормальное ускорение

определяет изменение скорости по направлению

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

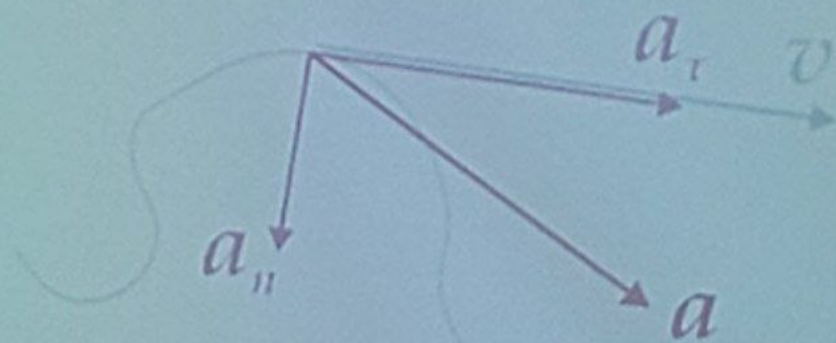
$R$  – радиус кривизны



## Полное ускорение

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

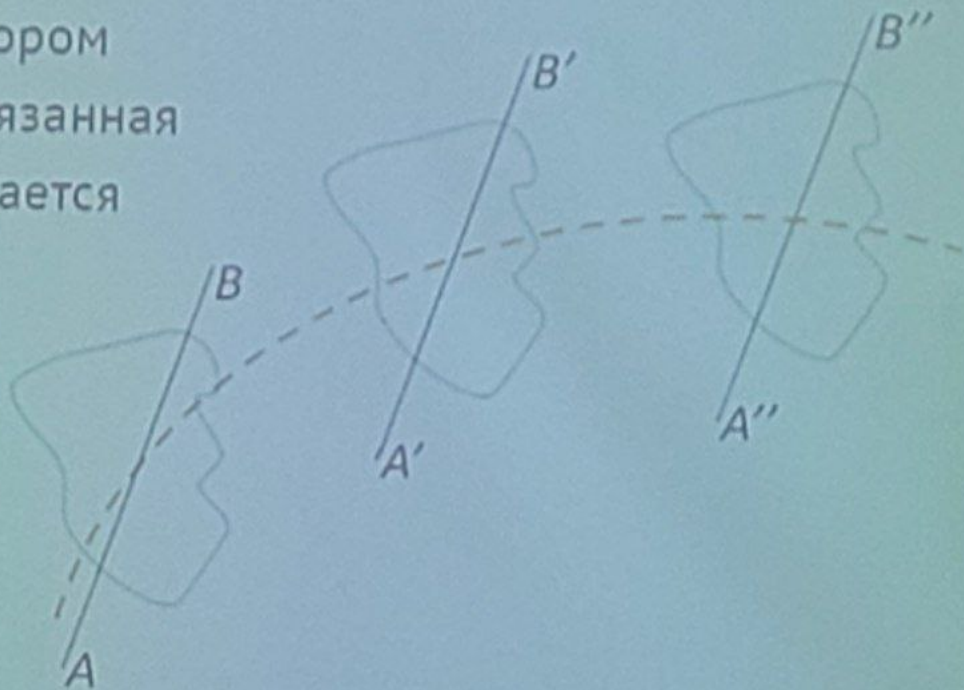
$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$



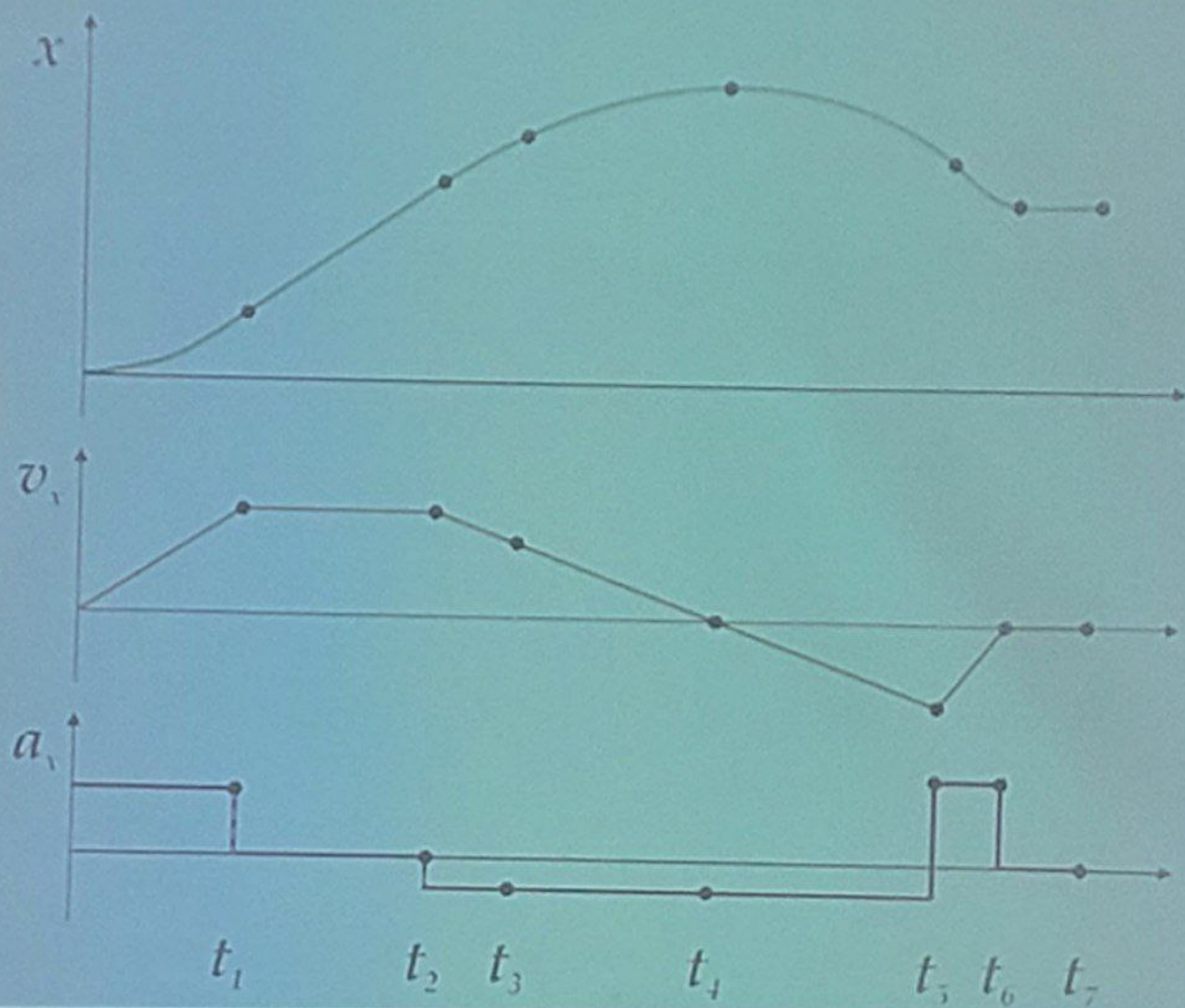


## Поступательное движение

— это движение, при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остается параллельной своему первоначальному положению

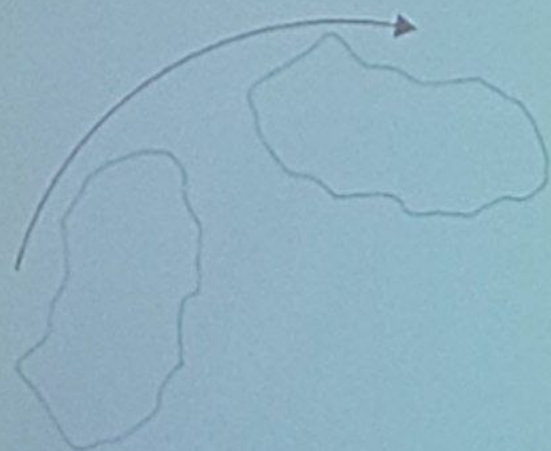


# Кинематика поступательного движения





## Вращательное движение

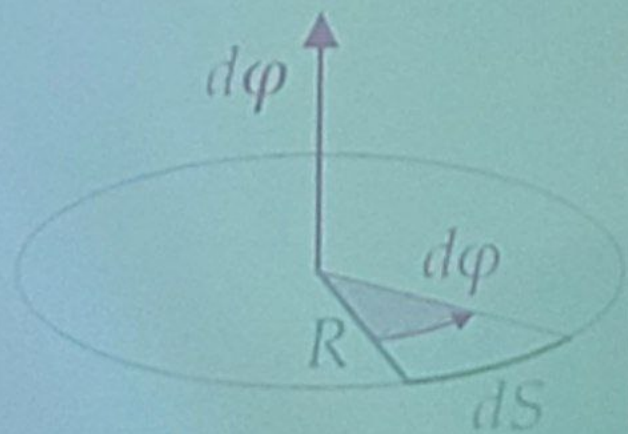


— это движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой осью вращения

# Кинематика вращательного движения

**Угол поворота  $\Delta\varphi$**  выступает в роли координаты при вращательном движении.

Модуль вектора  **$d\varphi$**  равен углу поворота, а его направление совпадает с направлением поступательного движения винта, рукоятка которого вращается в направлении движения точки по окружности, т.е. подчиняется **правилу правого винта**



Единица измерения угла в СИ  
– радиан (рад)

$$\pi \text{ рад} = 180^\circ$$

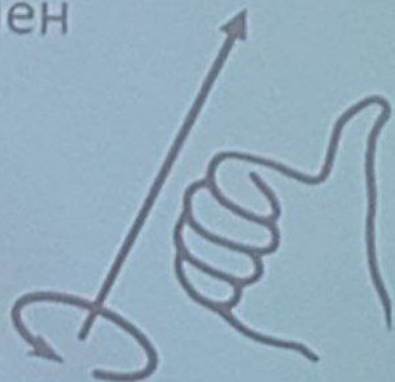
$$1 \text{ рад} = 57,296^\circ$$



## Кинематика вращательного движения

**Правило буравчика (винта):** Если вращать винт (буравчик) в том направлении, в котором вращается тело, он будет заворачиваться в ту сторону, куда направлен вектор  $d\varphi$  (и угловая скорость).

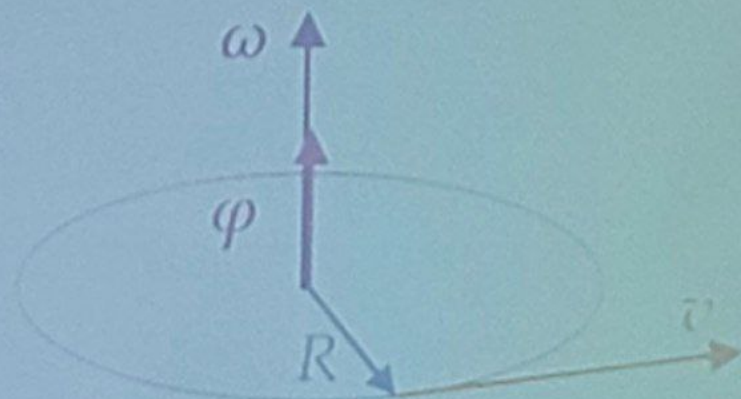
**Правило правой руки:** Если представить, что мы взяли тело в правую руку и вращаем его в направлении, куда указывают четыре пальца, то оттопыренный большой палец покажет в ту сторону, куда направлена угловая скорость (и вектор  $d\varphi$ ) при таком вращении.



# Кинематика вращательного движения

**Угловой скоростью** называется векторная величина, равная первой производной угла поворота тела по времени:

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



Линейная скорость точки

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R \Delta \varphi}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = R \omega$$

В векторном виде

$$\mathbf{v} = [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{R}] \quad |\mathbf{v}| = |\boldsymbol{\omega}| |\mathbf{R}| \sin(\boldsymbol{\omega} \wedge \mathbf{R})$$



## Кинематика вращательного движения

**Период вращения  $T$**  — время, за которое точка совершает один полный оборот, т.е. поворачивается на угол  $2\pi$

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

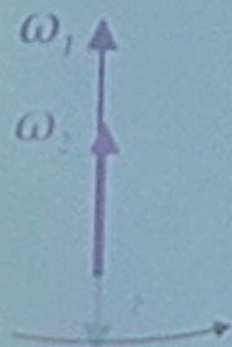
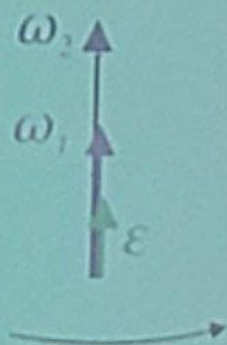
**Частотой вращения** — число полных оборотов, совершаемых телом при равномерном его движении по окружности в единицу времени:

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

$$\omega = 2\pi \cdot \nu$$

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

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



При ускоренном движении вектор  $\varepsilon$  сонаправлен вектору  $\omega$ , при замедленном — направлен противоположно ему.



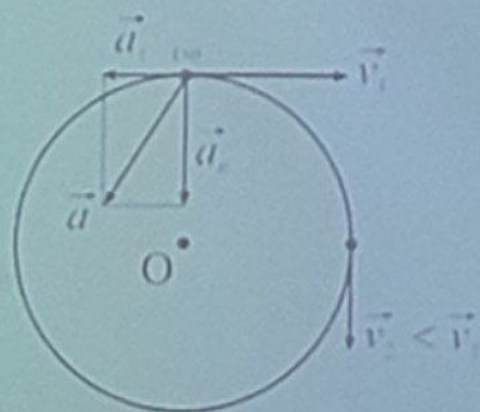
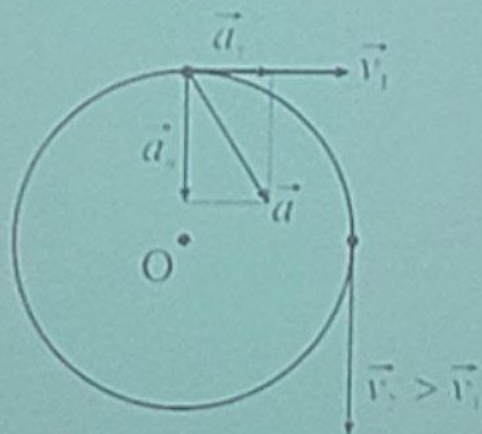
# Кинематика вращательного движения

## Тангенциальная составляющая ускорения

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

## Нормальная составляющая ускорения

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



## Аналогия между поступательным и вращательным движением

Поступательное движение		Вращательное движение	
Перемещение	$S$	Угловое перемещение	$\varphi$
Линейная скорость	$v = \frac{dS}{dt}$	Угловая скорость	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
Ускорение	$a = \frac{dv}{dt}$	Угловое ускорение	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$

$$S = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \rightarrow \varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$$



# Кинематика вращательного движения

## Поступательное

## Вращательное

### Равномерное

$$a = 0$$

$$\varepsilon = 0$$

$$v = \text{const}$$

$$\omega = \text{const}$$

$$s = vt$$

$$\varphi = \omega t$$

### Равнопеременное

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \text{const}$$

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \text{const}$$

$$v = v_0 + a_t t$$

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

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

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

$$v^2 - v_0^2 = 2a_t s$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\varepsilon \varphi$$

### Неравномерное

$$s = f(t)$$

$$\varphi = f(t)$$

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = s'(t)$$

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \varphi'(t)$$

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = v'(t)$$

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \omega'(t)$$