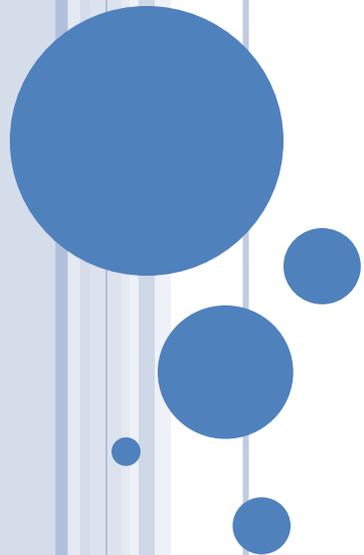


**ФГБОУ ВО
«Вологодский государственный университет»**

**КИНЕМАТИКА
ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И
ВРАЩАТЕЛЬНОГО
ДВИЖЕНИЯ**



МЕХАНИКА

▣ **Механика** – раздел физики, изучающий механическое движение тел и причины его вызывающие

▣ **Механическое движение тел** – это изменение положения тел в пространстве относительно друг друга с течением времени



КИНЕМАТИКА

Кинематика – раздел механики, изучающий движение тел, без учёта взаимодействия тел, физических причин или сил, вызывающих это движение



Виды механического движения

- ▣ **Поступательное движение** – это движение тела, при котором все его точки движутся одинаково (происходит параллельный перенос)
- ▣ **Вращательное движение** – это движение, при котором все точки тела совершают движение по окружностям, центры которых расположены на одной оси, называемой осью вращения



СИСТЕМА ОТСЧЕТА

- Тело отсчёта,
 - связанная с ним система координат и
 - прибор для измерения времени
- составляют

систему отсчёта



СИСТЕМА ОТСЧЕТА

- ▣ **Инерциальная система отсчёта (ИСО)** — система отсчета, в которой все свободные тела движутся прямолинейно и равномерно, либо покоятся
- ▣ **Тело отсчета** – это произвольно выбранное тело, относительно которого определяется положение движущейся материальной точки



СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

ПРЯМОУГОЛЬНАЯ (ДЕКАРТОВА) СИСТЕМА КООРДИНАТ

- **Прямоугольная система координат** - прямолинейная система координат с взаимно перпендикулярными осями на плоскости или в пространстве

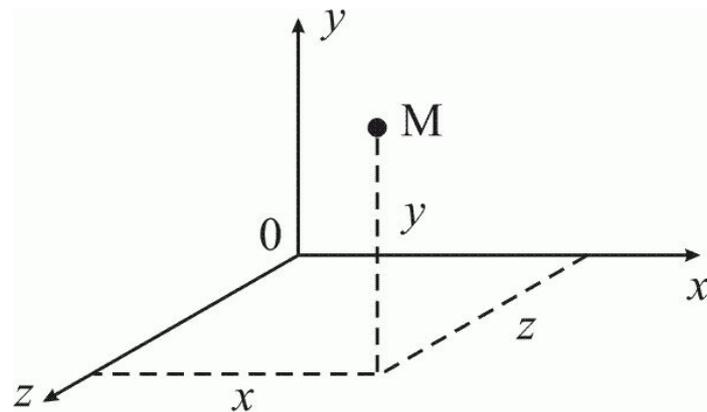


Рис.1

Наиболее простая и поэтому часто используемая система координат



СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

▣ Цилиндрической системой координат -

трехмерная система координат, являющаяся расширением полярной системы координат путем добавления третьей координаты z , которая задает высоту точки над плоскостью

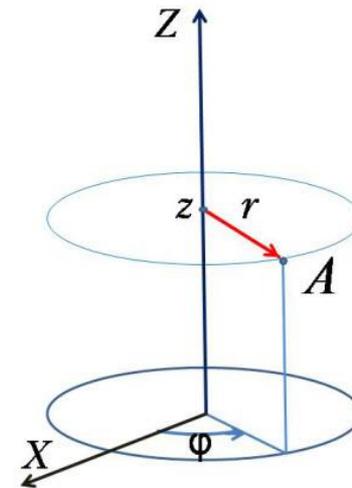


Рис.2



СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

СФЕРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

- Это система координат для отображения свойств геометрических фигур в трех измерениях путем задания трех координат (r, θ, φ) ,

где r – расстояние до начала координат,

θ и φ – зенитный и азимутальный углы соответственно

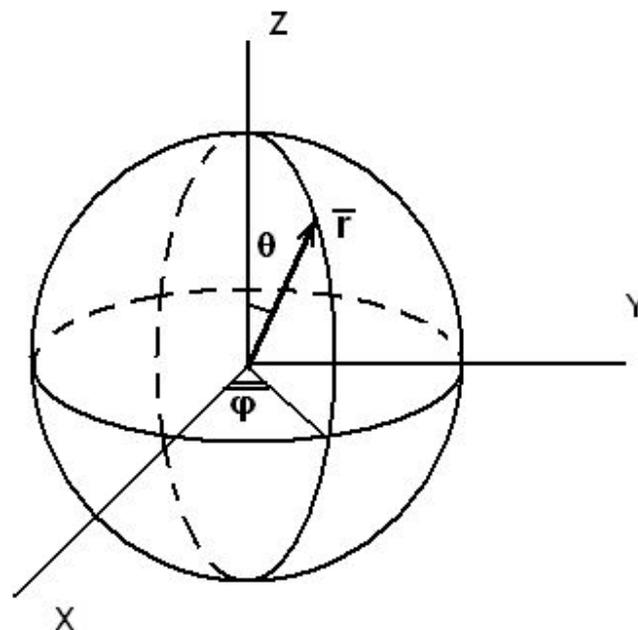


Рис.3



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КИНЕМАТИКИ

- Материальная точка – это тело, обладающее массой, размерами которого в данных условиях можно пренебречь



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КИНЕМАТИКИ

- Траектория – это линия, описываемая в пространстве движущейся точкой
- Путь – это длина траектории
- Перемещение – это вектор, проведенный из начального положения точки в ее положение в данный момент времени

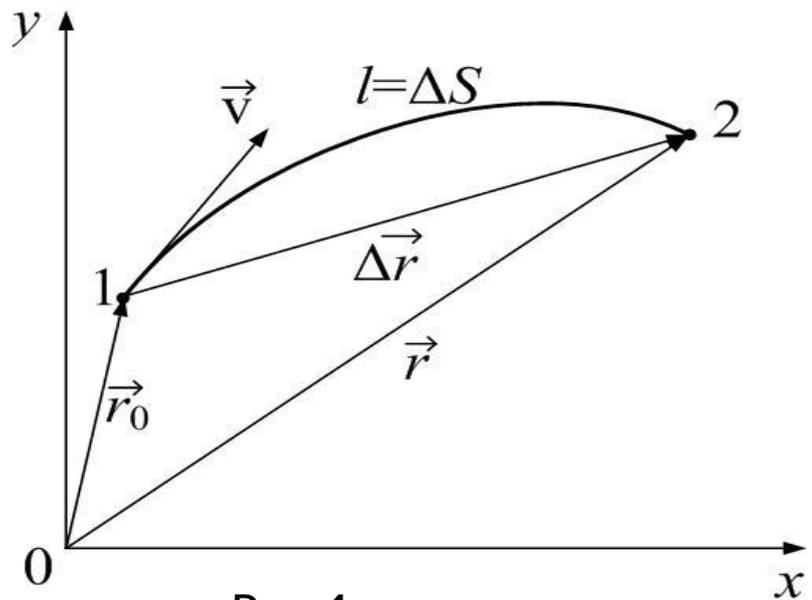


Рис.4



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

□ **Скорость** – физическая величина, характеризующая быстроту и направление движения

□ **Средняя скорость** - отношения перемещения к времени движения:

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

□ **Средняя путевая скорость**: это отношение модуля перемещения к времени движения тела:

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



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

□ **Мгновенная скорость** - предел отношения $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ при неограниченном

уменьшении промежутка времени до нуля:

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



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- **Мгновенная скорость** – величина векторная, направленная по касательной к траектории движения.
- Модуль мгновенной скорости определяется выражением:

$$v = |\vec{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}$$



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- ▣ **Ускорение** – это векторная физическая величина, которая характеризует быстроту изменения скорости по модулю и по направлению
- ▣ **Среднее ускорение** – это отношение изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло

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



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Мгновенное ускорение тела (материальной точки) – это физическая величина, равная пределу, к которому стремится среднее ускорение при стремлении промежутка времени к нулю

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



РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

□ В векторной форме уравнение равномерного прямолинейного движения имеет вид:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v} \cdot t$$

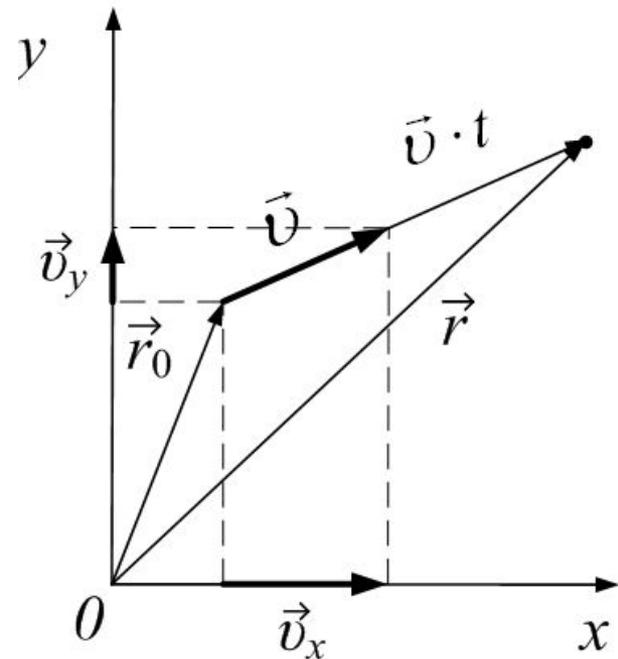


Рис.5



РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

- Нужно иметь в виду, что $v = \frac{dS}{dt}$, тогда путь можно определить:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} v \cdot dt$$

- При равномерном движении ($v = const$) интеграл легко рассчитать:

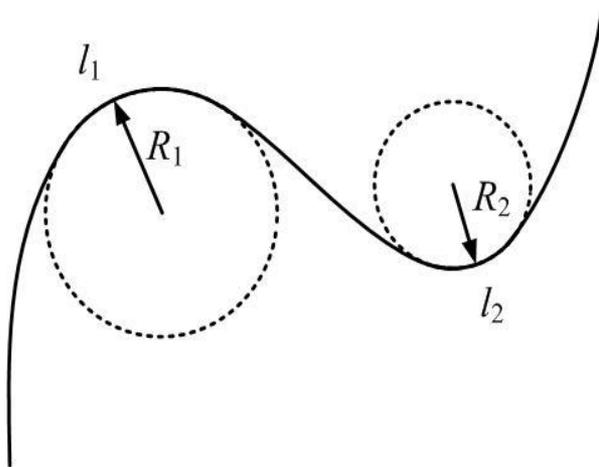
$$\Delta S = \int_{t_1}^{t_2} v \cdot dt = v(t_2 - t_1) = v \cdot \Delta t$$

- Путь можно определить графически как площадь под графиком функции $v = f(t)$



Криволинейное движение

□ Прямолинейное движение является частным случаем движения



В общем случае движение криволинейно, и его траектория - сложная пространственная кривая

Рис.6

Описание движения по окружности является важным звеном в описании криволинейного движения



УСКОРЕНИЕ ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

□ Пусть тело движется по окружности радиусом R и в момент времени t_1 находится в точке M_1 и имеет скорость

В момент времени t_2 тело занимает положение M_2 и имеет скорость

Векторы этих скоростей имеют разное направление и в общем случае различны по модулю

□ Поэтому полное ускорение раскладывают на две составляющих: нормальное ускорение и тангенциальное ускорение

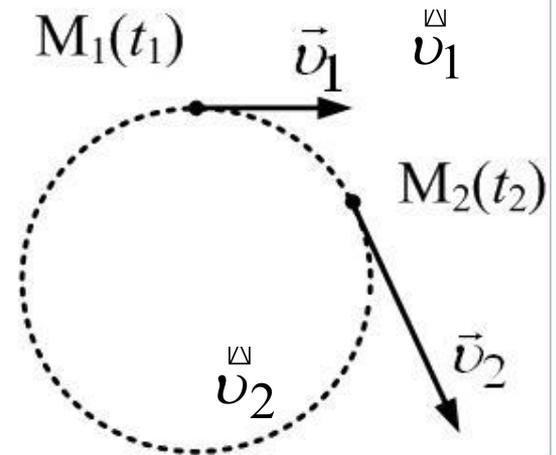


Рис.7



УСКОРЕНИЕ ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

- ▣ **Нормальное ускорение** - направлено перпендикулярно вектору скорости и характеризует изменение скорости по направлению.
- ▣ **Тангенциальное ускорение** - направлено по касательной к траектории и характеризует изменение скорости по модулю.
- ▣ Модуль **полного ускорения** определяется

выражением:

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

- ▣ В векторном виде:

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



РАВНОПЕРЕМЕННОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

- Равнопеременное прямолинейное движение – это движение, при котором за любые равные промежутки времени скорость тела изменяется на одинаковую величину. Ускорение постоянно по величине и по направлению: $\overset{\vee}{a} = const$
- Уравнение равнопеременного движения в координатной форме:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

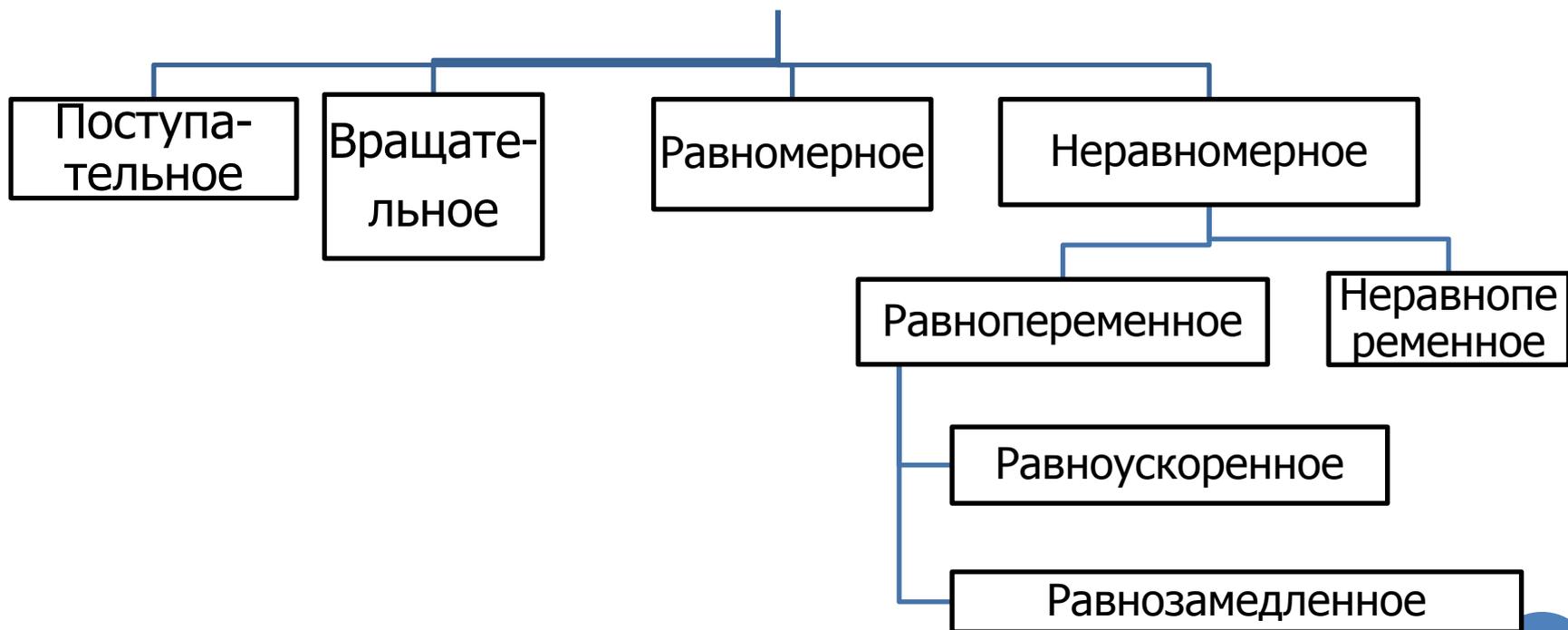
- В векторной форме:

$$\overset{\boxtimes}{r} = \overset{\boxtimes}{r}_0 + \overset{\boxtimes}{v}_0 \cdot t + \frac{\overset{\boxtimes}{a} \cdot t^2}{2}$$



Виды МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Движение



ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

При вращательном движении твёрдого тела любая его точка движется по окружности, центр которой лежит на оси вращения, а плоскость окружности перпендикулярна оси вращения

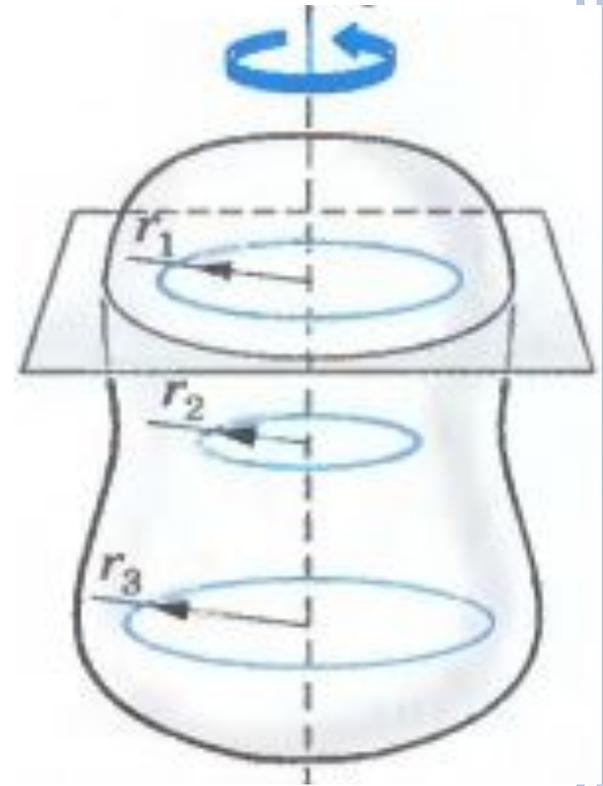


Рис.8



ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

- Пусть точка движется по окружности радиуса R .
- Угловое перемещение $\Delta\varphi$ – вектор, направленный по оси вращения по правилу буравчика и равный углу поворота.

Размерность $[\Delta\varphi] = \text{рад}$.

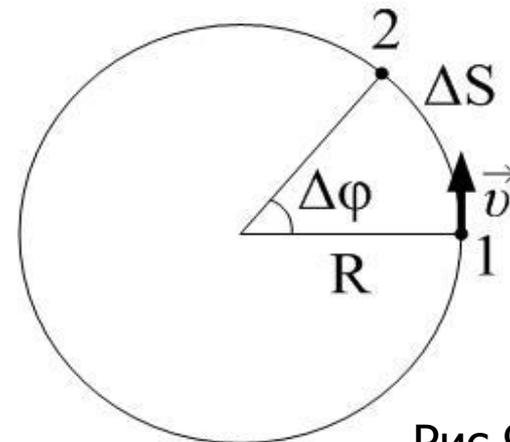


Рис.9

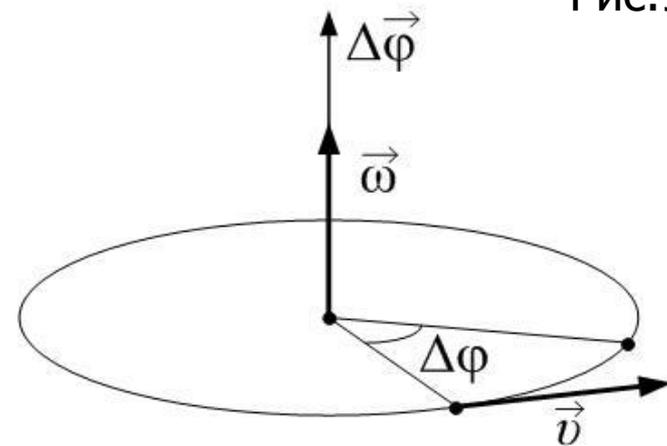


Рис.10



ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

- Длина дуги и угол поворота связаны соотношением

$$dS = r \cdot d\varphi$$

- Поделим это выражение на время поворота :

$$\frac{dS}{dt} = r \cdot \frac{d\varphi}{dt}$$

- Отсюда $\vec{v} = [\vec{\omega} \times \vec{r}]$

- Производная угла поворота по времени есть **угловая скорость**:

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

- Её **физический смысл – угловое перемещение за единицу времени**; её размерность:

$$[\omega] = \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$



ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

- Производная величины угловой скорости по времени называется **угловым ускорением**:

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



ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

- Выражение $\frac{dv}{dt} = r \cdot \frac{d\omega}{dt}$ даёт связь между линейным тангенциальным и угловым ускорениями:

$$\hat{a}_\tau = [\overset{\wedge}{\varepsilon} \times \hat{r}]$$



СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВРАЩАТЕЛЬНОГО (ОКРУЖНОСТЬ) И ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Величина	Поступательное движение	Вращательное движение	Связь между величинами
Путь	S	φ	$S = R \cdot \varphi$
Скорость	$v = \frac{dS}{dt}$	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$	$v = R \cdot \omega$
Ускорение	$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2}$	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$	$a_{\tau} = R\varepsilon$



**БЛАГОДАРЮ ЗА
ВНИМАНИЕ!**

