

# Концепции и модели физики

Кузьмичев Сергей Дмитриевич



# СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ №2

1. Кинематика. Основные понятия. Материальная точка и абсолютно твердое тело.
2. Кинематика материальной точки (траектория, перемещение, скорость, ускорение).
3. Относительность движения. Закон сложения скоростей.
4. Кинематика движения точки по окружности. Нормальное и тангенциальное ускорения.

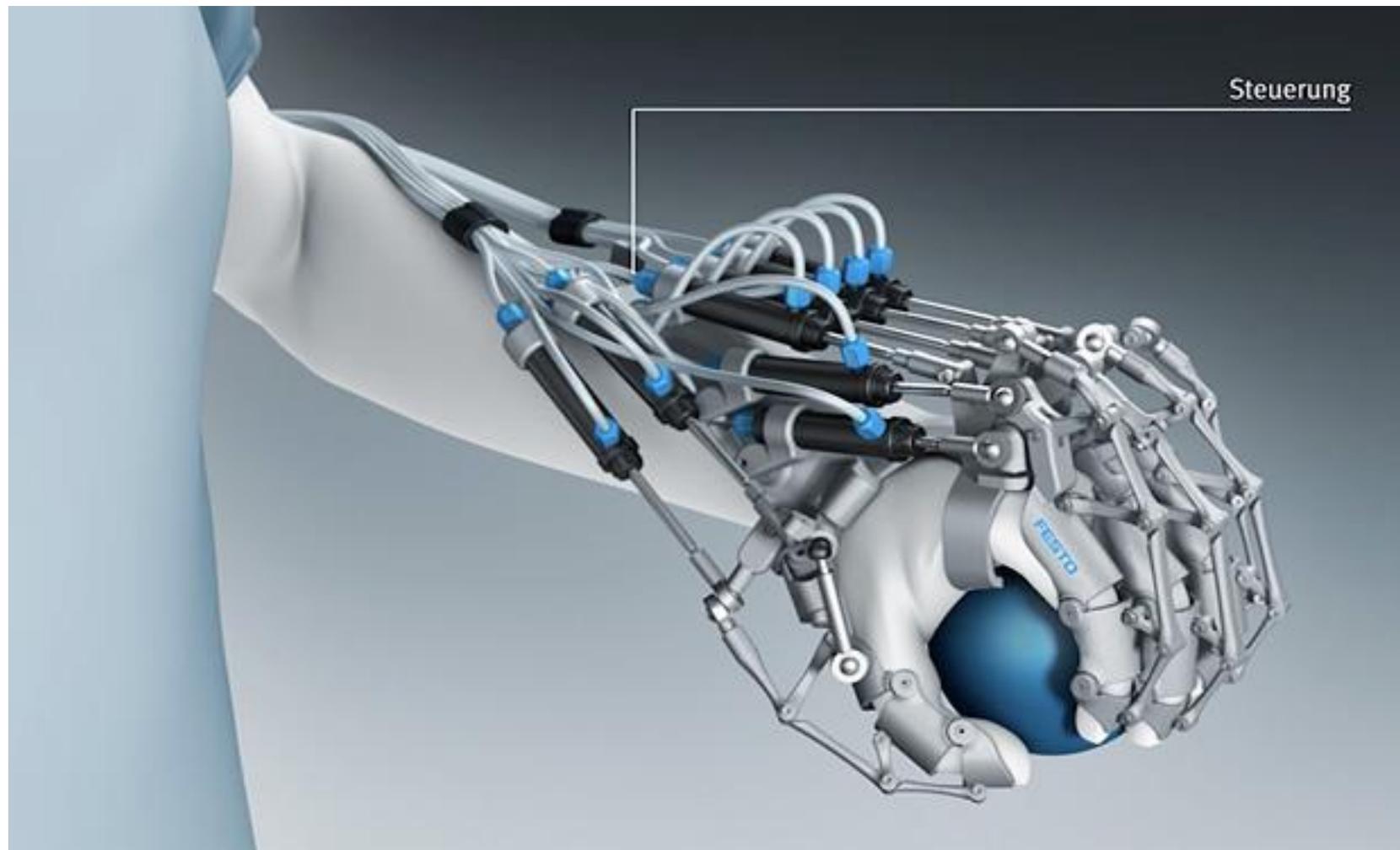
# 1. КИНЕМАТИКА

**Механика** есть наука о движении и равновесии тел.

**Механическим движением** называют изменение положения тел или их частей в пространстве относительно друг друга с течением времени.

**Основная задача механики** – определить положение тела в любой момент времени.

Steuerung





# ХАРАКТЕРНЫЕ СКОРОСТИ

Скорость света в вакууме:

$$c = 299792458 \text{ м / с}, c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м / с} = 3 \cdot 10^{10} \text{ см / с}$$

Скорость звука в воздухе при нормальных условиях

$$v_{зв} = 331,5 \text{ м / с}$$

Первая космическая скорость для Земли

$$v_{1,к} \approx 7,9 \text{ км / с}$$

Сверхзвуковой самолет МиГ-31

$$3000 \text{ км / ч} \approx 0,83 \text{ км / с}$$

О релятивистских скоростях в ускорителях:

протон (на БАК)  $\Delta v = c - v = 5 \text{ м / с}$

электрон  $\Delta v = c - v = 0,1 \text{ м / с}$

Движение таких частиц рассчитывается по законам **релятивистской механики**.

# ХАРАКТЕРНЫЕ РАЗМЕРЫ И МАССЫ

**Макроскопическими** называют обычные тела, окружающие нас, т. е. тела, состоящие из громадного количества молекул или атомов.

Масса протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Масса электрона  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \approx m_p / 1800$

«Размер» атома водорода

$$\approx 10^{-10} \text{ м} = 0,1 \text{ нм} = 1 \text{ \AA}$$



Капля воды диаметром  $4 \text{ мм}$   
имеет массу

$$0,034 \text{ г}$$

и содержит

$$1,1 \cdot 10^{20}$$

молекул воды

## 2. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

*Кинематика* занимается описанием движения, отвлекаясь от его причин.

*Тело отсчета* и связанная с ним *система координат* в совокупности с *часами* для отсчета времени образуют *систему отсчета*.

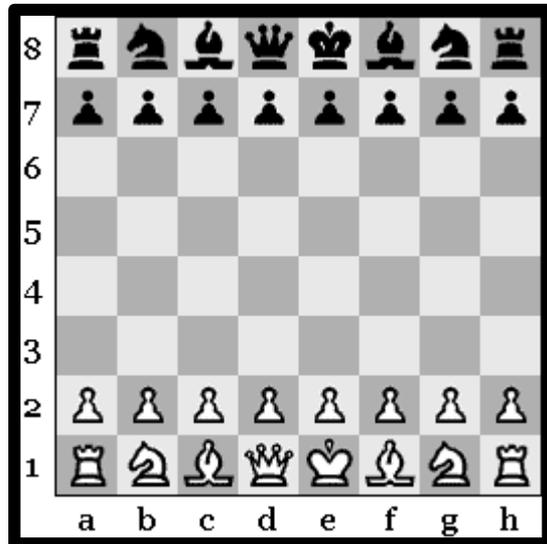
Единицы измерения: координата – метр (м), время – секунда (с).

# СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

1. Декартова система координат
2. Сферическая система координат
3. Цилиндрическая система координат
4. Полярная система координат (на плоскости)
5. Географическая система координат

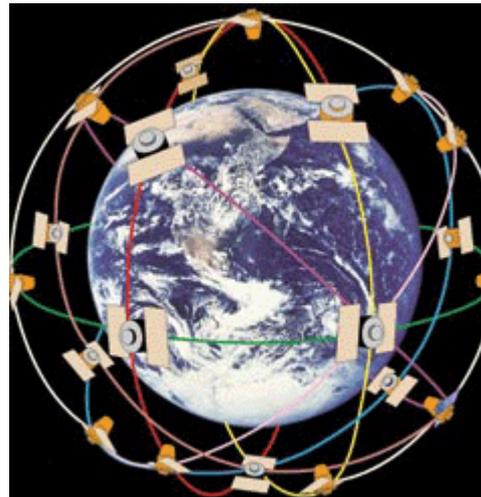
Стокгольм :  $59^{\circ}19'57''$  с.ш.,  $18^{\circ}03'53''$  в.д.

Долгопрудный :  $55^{\circ}54'14''$  с.ш.,  $37^{\circ}33'38''$  в.д.



# «НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

1. Компас.
2. Лаг, измерители скорости на эффекте Доплера
3. Эхолот, лазерный дальномер.
4. ГЛОНАСС, GPS



## Физические модели в кинематике:

**Материальной точкой** называется макроскопическое тело, размеры которого настолько малы, что в рассматриваемом движении их можно не принимать во внимание и считать, что все вещество тела как бы сосредоточено в одной геометрической точке.

**Абсолютно твердое тело** – это тело, расстояние между любыми двумя точками которого остается постоянным при его движении.

**Поступательное и вращательное движения твердого тела.**

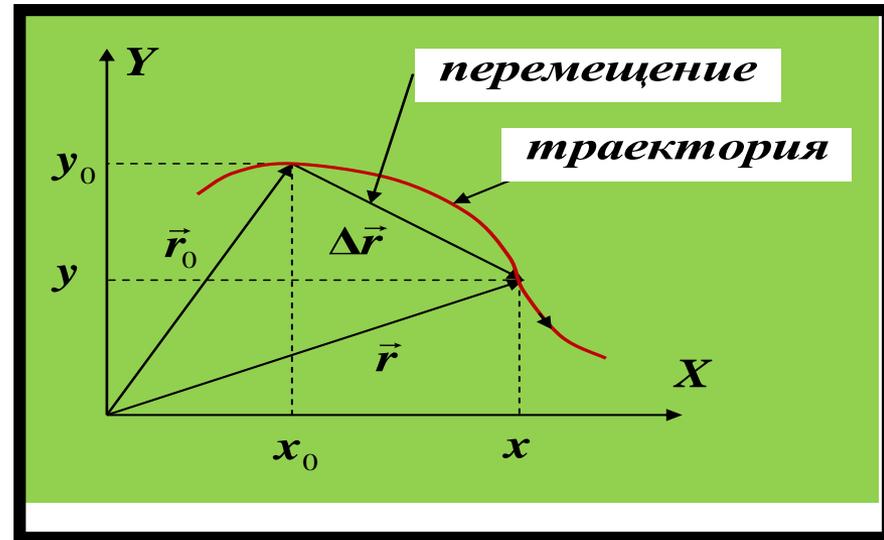
Описание движения материальной точки:

а) координатный способ:

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

б) векторный способ  
(радиус-вектор):

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



**Траектория** – линия, описываемая при движении материальной точкой.

**Путь  $l$**  – длина траектории.

**Перемещение  $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$**  – вектор, соединяющий начальное положение точки с конечным:

Для малых перемещений

$$\Delta\vec{r} \approx l \cdot \vec{\tau}$$

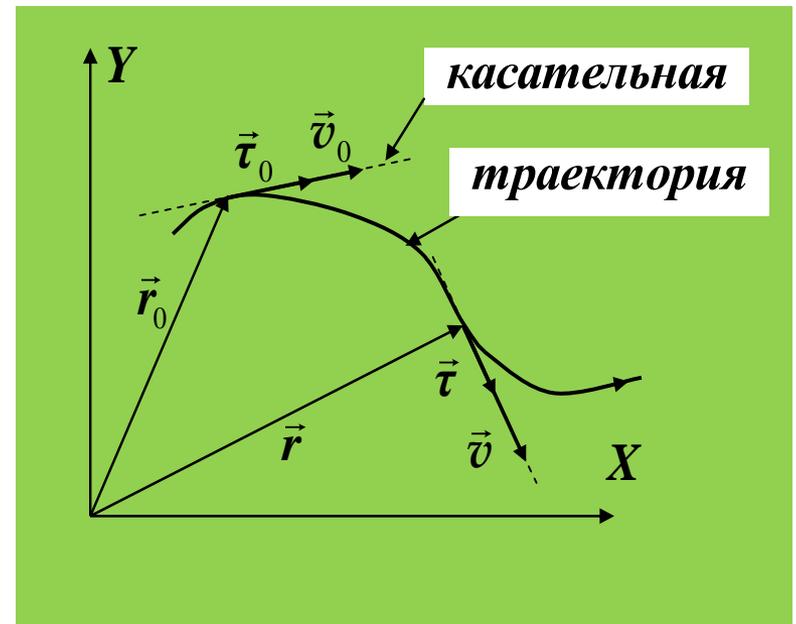
# СКОРОСТЬ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

## Мгновенная скорость

точки определяется выражением

$$\vec{u} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \dot{\vec{r}} = \vec{\tau} \frac{ds}{dt} = \vec{\tau} u$$

т.е. мгновенная скорость есть вектор, направленный по касательной к траектории движущейся точки.



# УСКОРЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Мгновенное ускорение материальной точки

$$\vec{a} = \frac{du}{dt} = \frac{u(\tau)}{dt} = \vec{\tau} \frac{du}{dt} + u \cdot \frac{d\tau}{dt}$$

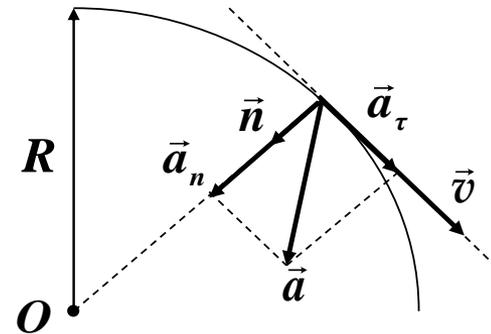
Тангенциальное ускорение

$$\vec{a}_\tau = \vec{\tau} \frac{du}{dt}$$

Центростремительное ускорение

$$\vec{a}_n = \frac{u^2}{R} \cdot \vec{n}$$

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{du}{dt}\right)^2 + \frac{u^4}{R^2}}$$



# ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ

$$\vec{a} = \text{const}$$

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a} \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

закон изменения скорости при  
равноускоренном движении

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

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

закон движения при  
равноускоренном движении

# ЖЕЛОБ ГАЛИЛЕЯ



$$S_1 : S_2 : S_3 : \dots = 1 : 4 : 9 : \dots$$

# УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

- 1)  $g = 9,81 \text{ м / с}^2$
- 2) Трубка Ньютона
- 3) Уравнение траектории



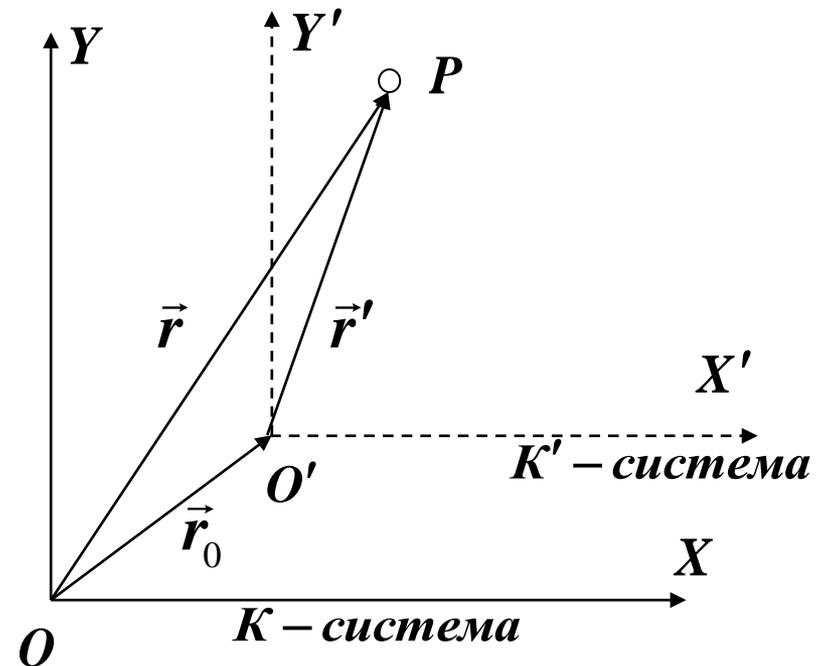
# 3. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ. ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'$$

Классический  
нерелятивистский  
случай

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}'$$

$$\vec{a} = \vec{a}_0 + \vec{a}'$$



1. Переправа через реку.
2. Успеть на автобус.



# 4. КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ТОЧКИ ПО ОКРУЖНОСТИ

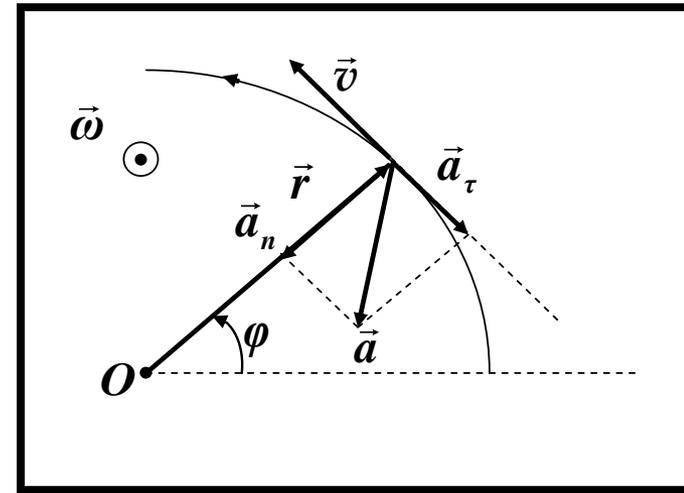
Угловая скорость

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

Направление вектора определяется по «правилу буравчика».

Вектор скорости точки

$$\vec{u} = [\vec{\omega}, \vec{r}]$$



Вектор углового ускорения

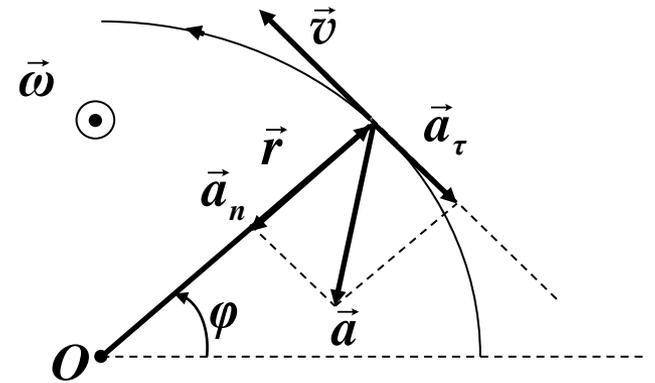
$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

Тангенциальное ускорение

$$\vec{a}_\tau = [\vec{\varepsilon}, \vec{r}], \quad a_\tau = \varepsilon r$$

Нормальное ускорение

$$\vec{a}_n = -\omega^2 \vec{r}, \quad a_n = \omega^2 r = \frac{u^2}{r} = \omega u$$



При равномерном движении по окружности:

период обращения

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

частота вращения

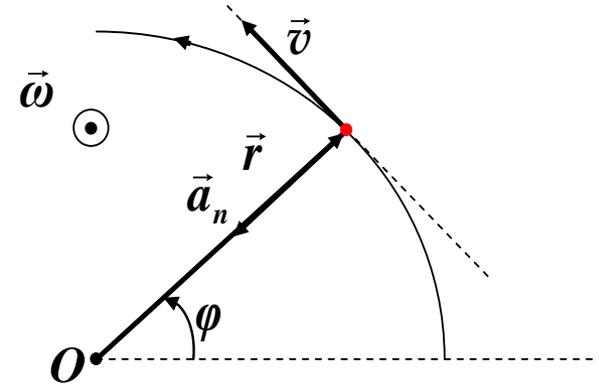
$$f = \nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

центростремительное ускорение

$$a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} r = 4\pi^2 f^2 r$$

Радиус кривизны траектории

$$\rho = \frac{(\dot{y}^2 + \dot{x}^2)^{3/2}}{\dot{y}\ddot{x} - \dot{x}\ddot{y}}, \quad x(t), y(t)$$



# КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ТОЧЕК КОЛЕСА

$$x_A = x_0 - R \sin \varphi$$

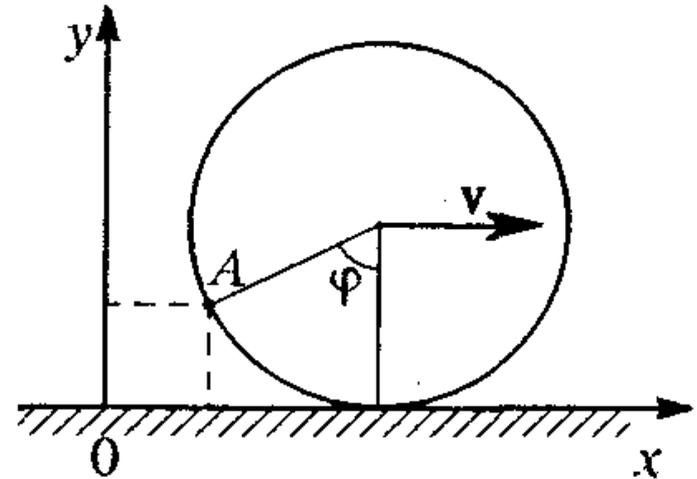
$$y_A = y_0 - R \cos \varphi$$

$$x_0 = v_0 t, \quad y_0 = R$$

$$\varphi = \omega t$$

$$v_{A,x} = \dot{x}_A = v_0 - R\omega \cos(\omega t)$$

$$v_{A,y} = \dot{y}_A = R\omega \sin(\omega t)$$



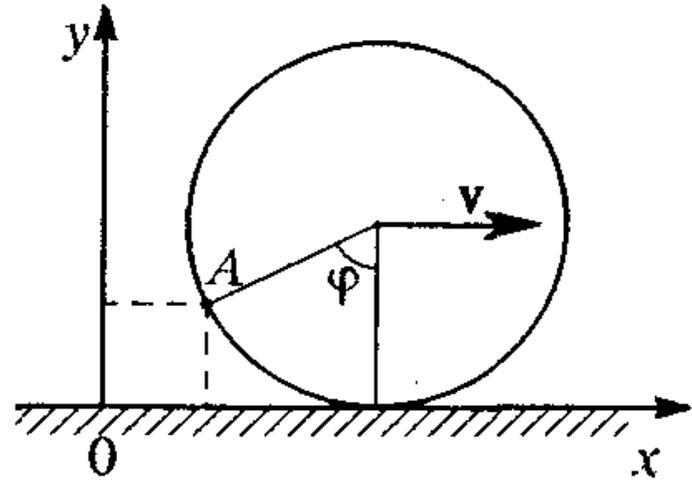
Отсутствие проскальзывания точки касания

$$v_{A,x}(\varphi = 0) = 0 \Rightarrow \omega R = v_0$$

$$x_A = v_0 t - R \sin(\omega t), \quad y_A = R - R \cos(\omega t)$$

$$v_{A,x} = v_0 \cdot (1 - \cos \varphi)$$

$$v_{A,y} = v_0 \sin(\varphi)$$



$$v_A = \sqrt{v_{A,x}^2 + v_{A,y}^2} = 2v_0 \cdot |\sin(\varphi / 2)|$$

$$a_{A,x} =$$



Радиус кривизны траектории в верхней точке ( $\varphi = 0$ )

$$a_{A,n} = \omega^2 R = \frac{v_0^2}{R} = \frac{v_A^2}{\rho} = \frac{(2v_0)^2}{\rho} \Rightarrow \rho = 4R$$