

# *Лекция 1. Механика Ньютона. Кинематика*



$\varphi$   $\nu$   $\sigma$   $i$   $\zeta$

Курс: “Механика.  
Электричество и магнетизм”

<http://vega.phys.msu.ru/>

- “В науке необходимо воображение. Она не исчерпывается целиком ни математикой, ни логикой, в ней есть что-то от красоты и поэзии”
  - М. Митчелл, 1860

# Часть I. Механика Ньютона

*“Если я видел дальше, чем другие, то лишь потому, что стоял на плечах Гигантов” –  
Исаак Ньютон*

*“Классическая механика”*

*1687*

*“Новые горизонты”*

*2024, ...*

*“Математические начала  
натурфилософии”  
1687*



# Наша солнечная система

**Н. Коперник**

(«О вращении небесных сфер» 1543 г.)

**Г. Галилей** (1564 — 1642 гг.)

**И. Кеплер**

(«Новая астрономия» 1609 г.)

**Ньютон**

1643 — 1727 гг.

$M_3/500$

Pluto



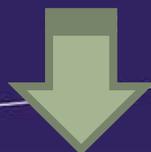
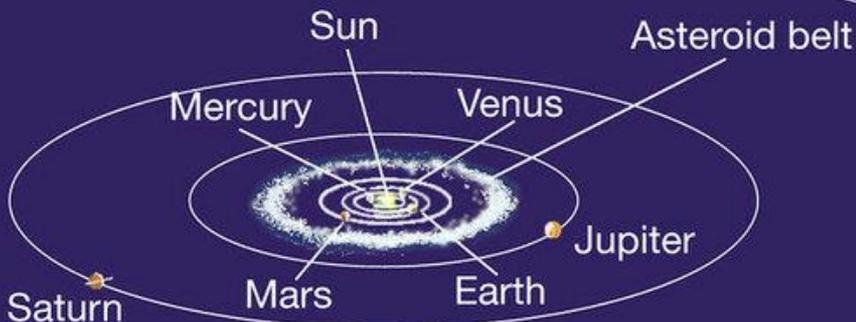
1930, К. Томбо

1781 г., У. Гершель

Uranus

1846, И. Галле

Neptune



«Розетта» / «Новые Горизонты»

# Миссия – “Новые горизонты” (2006 – 2035)

Десять лет и 4,8 миллиарда километров ...

**Январь-февраль 2006:**  
35-дневное "стартовое окно" для запуска станции New Horizons с мыса Канаверал во Флориде.

**Земля**

**Февраль-март 2007:**  
В случае успешного запуска аппарат пролетит около Юпитера и с помощью маневра в гравитационном поле гиганта ускорится достаточно, чтобы сэкономить три года полета (на временной шкале отмечен момент встречи с Юпитером для случая запуска в первые 17 дней "стартового окна").

**Юпитер**

**2007-2014**  
Основную часть 8-летнего пути от Юпитера до Плутона станция будет медленно вращаться в спящем режиме, лишь раз в неделю сообщая, что все в норме. Но каждый год на 50 дней аппарат будет пробуждаться для проведения курса калибровочных и научных наблюдений.

**Октябрь 2014**  
Регулярные наблюдения начнутся примерно за 200 дней до сближения с Плутоном.

**Июль 2015**  
За 24 часа пролета мимо Плутона будет собрано множество важной информации. Станция приблизится к карликовой планете менее чем на 10.000 км.

**2017-2020**  
С одобрения НАСА станция будет отправлена дальше, к одному из интересных объектов в Поясе Койпера.

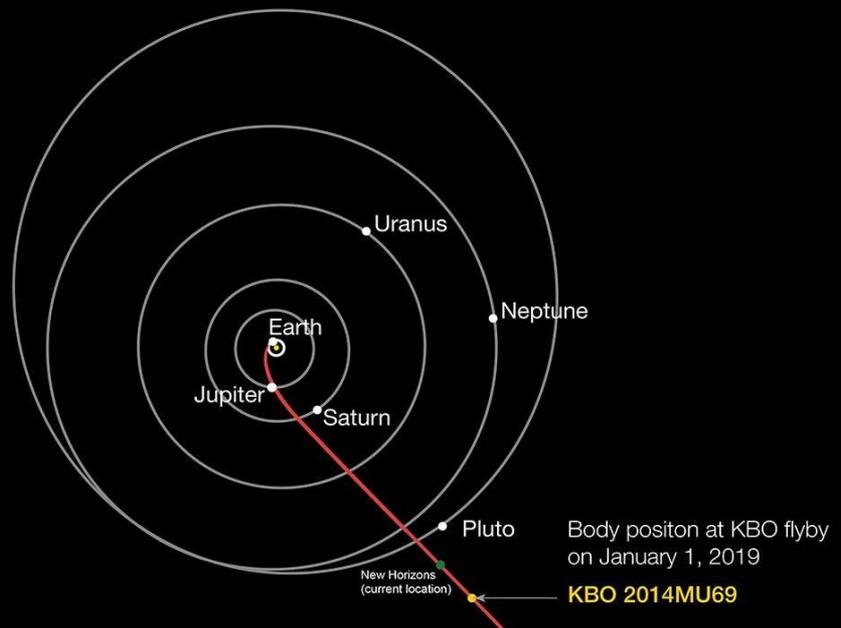
**Плуто́н**

**Инструменты:**  
 REX  
 PEPSSI  
 Alice  
 Ralph  
 Student Dust Counter (под аппаратом)  
 SWAP  
 LORRI

**Alice:** Ультрафиолетовая камера-спектрометр, используемая в первую очередь для анализа состава атмосферы Плутона.  
**LORRI:** Оптический телескоп с камерой высокого разрешения, который начнет наблюдения Плутона за 200 дней до сближения.  
**Ralph:** Оптические и инфракрасные приборы для

**PEPSSI:** Детектор частиц, используемый для изучения молекул и атомов из атмосферы Плутона.  
**SWAP:** Анализатор частиц, используемый для изучения солнечного ветра в окрестностях Плутона.  
**REX:** Радиолокационный эксперимент для изучения атмосферы путем анализа искажений радиоволн, излучаемых к станции с мощных антенн на Земле.

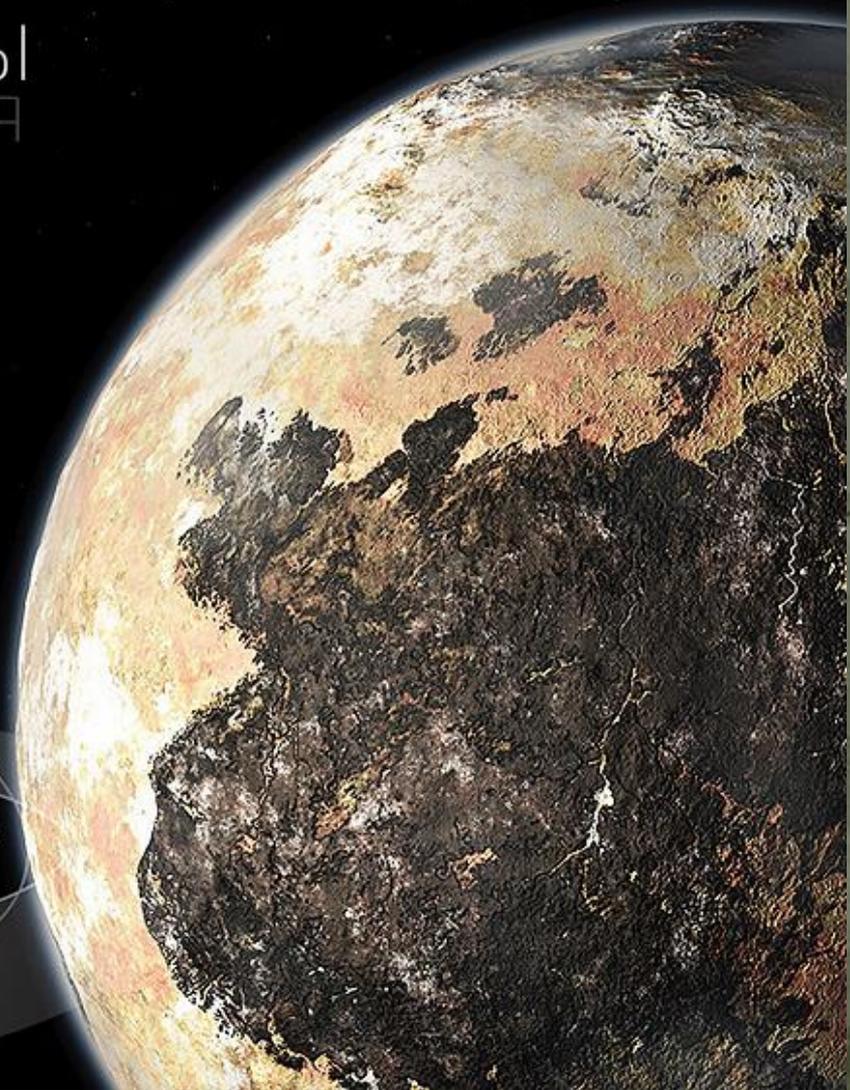
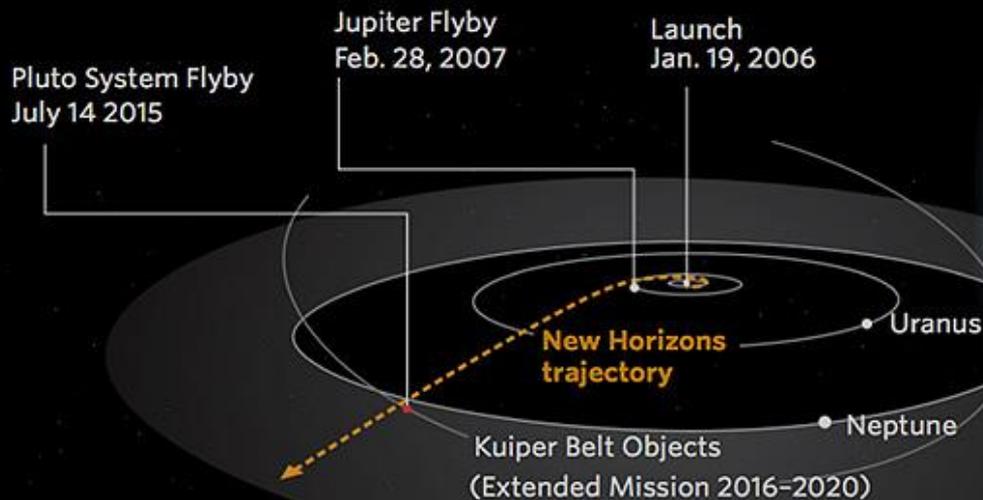
## New Horizons: What's Next



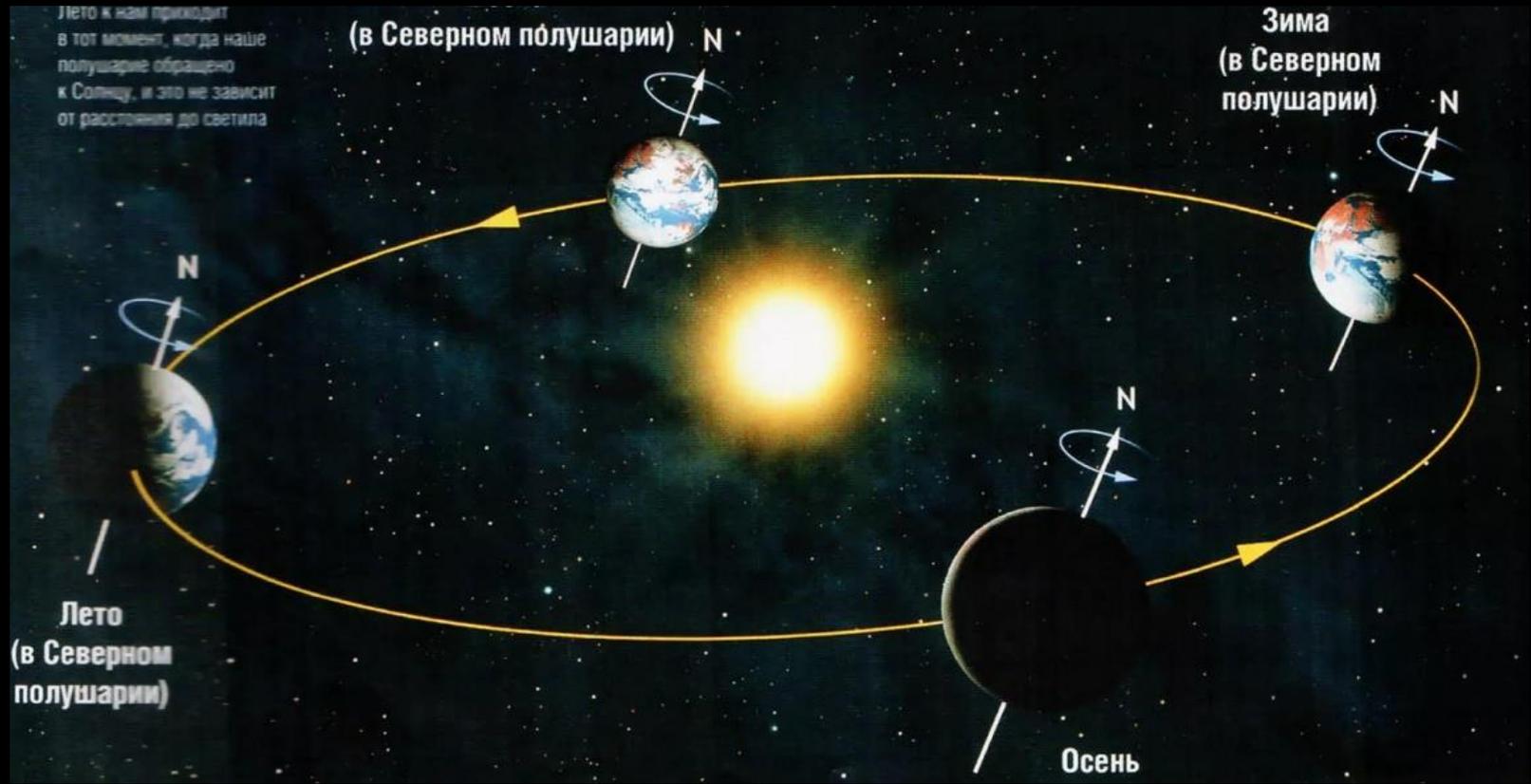
# Миссия – “Новые горизонты”

Новые Горизонты  
расширенная миссия

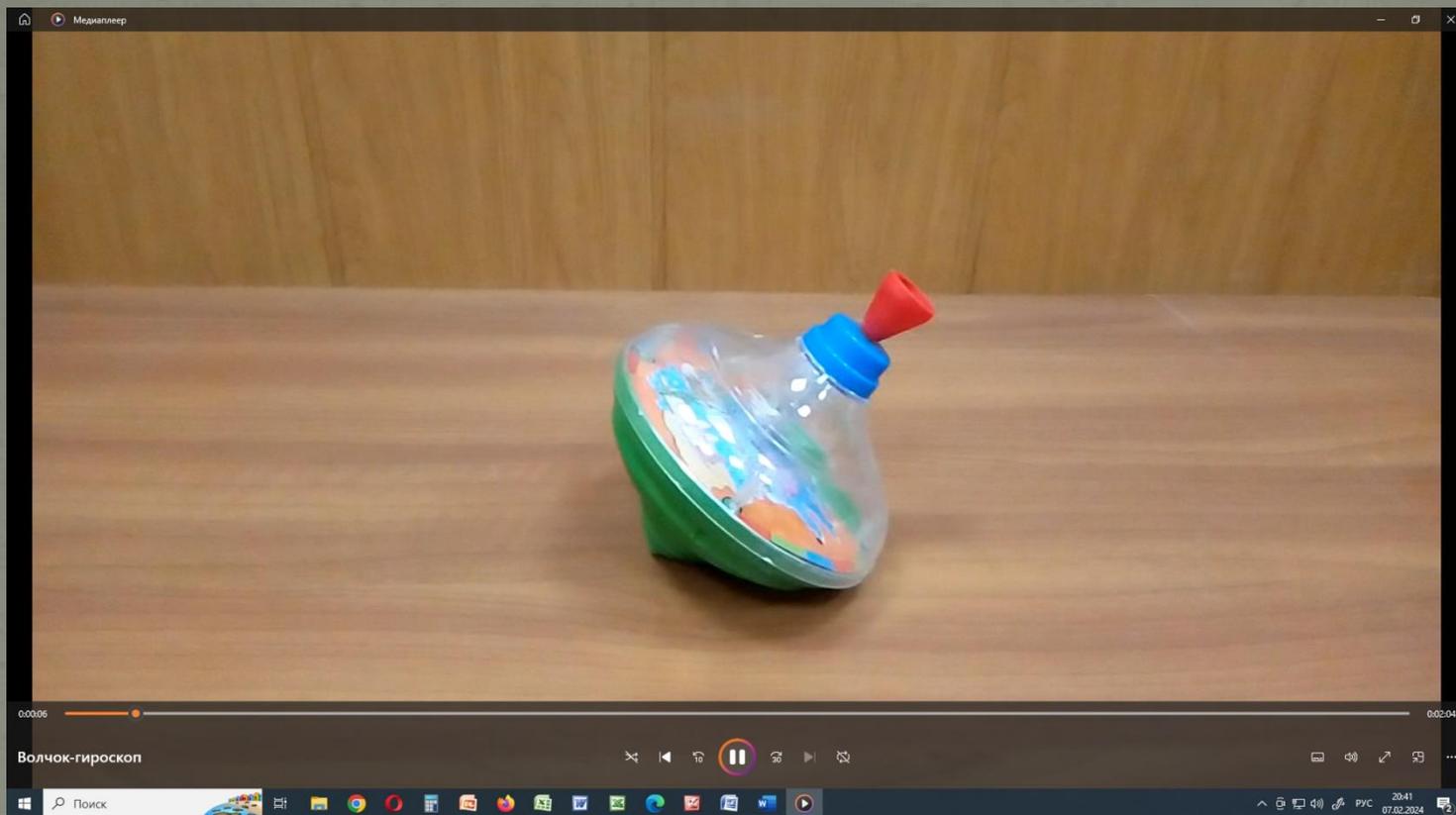
следующий объект  
2014 MU69



# А где у нас север ??



# Юла-Гироскоп



# § 1. Кинематика материальной точки

(κίνησις - движение)

*“Незнание движения необходимо влечёт незнание природы” –*

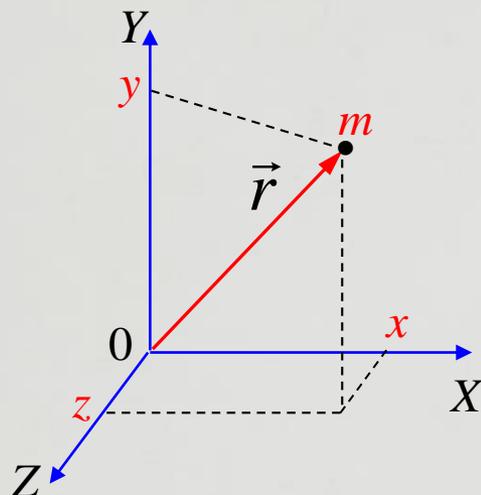
Аристотель (IV век до н.э.)

## 1.1. Основные понятия кинематики

- ➡ **(Опр.)** *Механическое движение – это изменение положения тел в пространстве (т.е. относительно других тел) с течением времени*
- ➡ **(Опр.)** *Материальная точка – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях конкретной задачи*
- ➡ **(Опр.)** *Система отсчёта включает тело отсчета (ТО), а также прибор для измерения времени*
- ➡ **(Опр.)** *Траектория – это линия в пространстве, вдоль которой движется материальная точка*

## 1.2. Линейные кинематические характеристики

### 1.2.1. Радиус-вектор



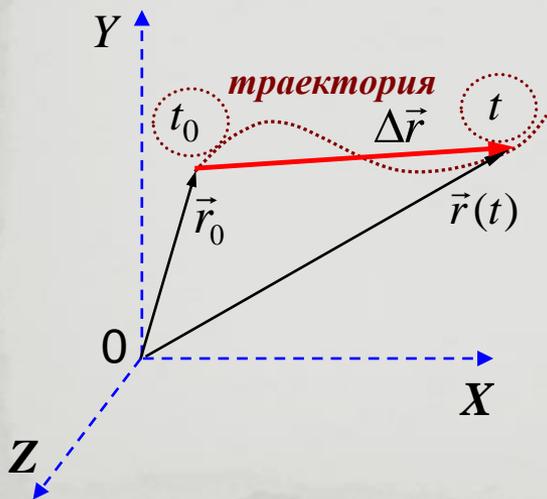
$$\vec{r} = x \cdot \vec{e}_x + y \cdot \vec{e}_y + z \cdot \vec{e}_z$$

**“Закон движения”:**

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

### 1.2.2. Путь

► **(Опр.)** Путь – это длина участка траектории между начальным и конечным положениями



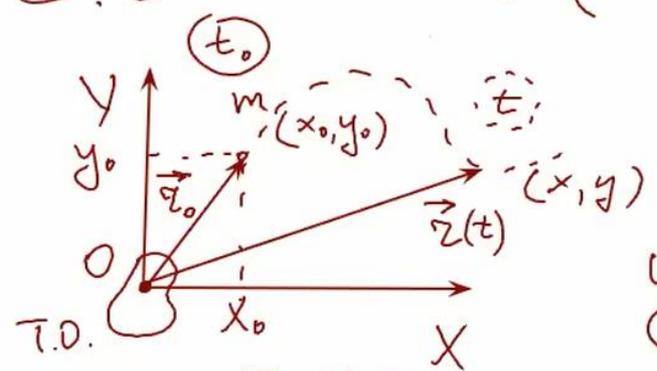
### 1.2.3. Перемещение

► **(Опр.)** Перемещением за промежуток времени  $\Delta t = t_2 - t_1$  называется вектор  $\Delta \vec{r}$ , соединяющий положение точки в момент времени  $t_1$  с её положением в момент времени  $t_2$

(OHP)

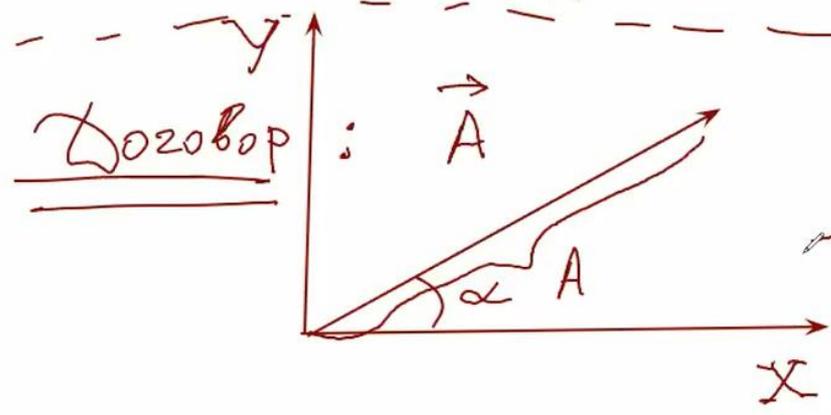
# Доска 1

$$C.O. = T.O.(c.k.) + \text{Закон Галилея}$$



Закон Галилея  
 $\vec{r}_0$  - радиус  
 $\vec{r} = \vec{r}(t)$   
 $\left. \begin{matrix} x = x(t) \\ y = y(t) \end{matrix} \right\}$

$$y = f(x)$$



$$|\vec{A}| \equiv \underline{\underline{A}}, \alpha$$

$A_x$   
 $A_y$

проекции

$$A_x = A \cdot \cos \alpha$$

$$A_y = A \cdot \sin \alpha$$

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{|A_y|}{|A_x|}$$

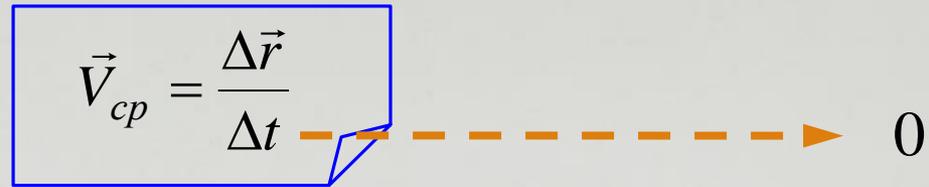
$$\Delta t = t - t_0 \quad (t_0 = 0)$$

$$\vec{S} \equiv \Delta \vec{r}; \quad \vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \Delta \vec{r}$$

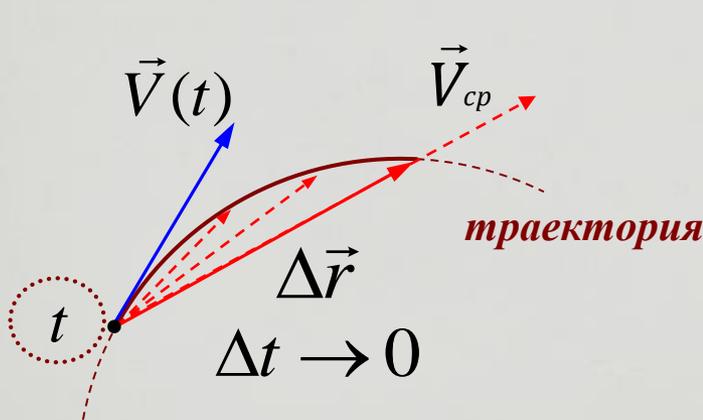
перемещение  $\rightarrow \underline{\underline{\Delta \vec{r}}} = \vec{r}(t) - \vec{r}_0$

Активация Windows  
 Чтобы активировать Windows, перейдите на сайт [www.microsoft.com/activation](http://www.microsoft.com/activation)

## 1.2.4. Скорость

$$\vec{V}_{cp} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$


- ➡ **(Опр.)** Средняя скорость – отношение перемещения к интервалу времени движения
- ➡ **(Опр.)** Мгновенная скорость – предельное значение средней скорости при уменьшении временного интервала  $\Delta t \rightarrow 0$  (на «бесконечно коротком» участке траектории):



$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$


$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \equiv \frac{d\vec{r}}{dt}$$

*по касательной !*

## Путевая скорость

$$v_{cp} = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{dl}{dt}$$

Д.З.:

$$V_x = \frac{dx}{dt}$$

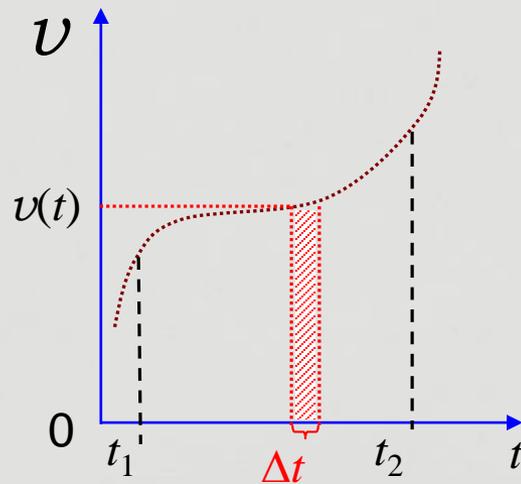
$$V_y = \frac{dy}{dt}$$

$$V_z = \frac{dz}{dt}$$

$$\vec{V} = V_x \cdot \vec{e}_x + V_y \cdot \vec{e}_y + V_z \cdot \vec{e}_z$$

$$|\vec{V}| = v$$

$$v = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$



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

$$\Delta x = \int_{t_1}^{t_2} V_x(t) dt$$

$$\Delta y = \int_{t_1}^{t_2} V_y(t) dt ;$$

$$\Delta z = \int_{t_1}^{t_2} V_z(t) dt,$$

## Пример 1.1. Равномерное движение

- **(Опр.)** Равномерным называется движение, при котором МТ за любые равные интервалы времени совершает равные перемещения (Г. Галилей)



$$\vec{V} = const$$

$$V_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = V_x \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\vec{V} = \vec{V}_{cp} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta \vec{r} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{V}(t) dt = \vec{V} \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{V} \cdot t$$

$$x(t) = x_0 + V_x \cdot t$$

$$y(t) = y_0 + V_y \cdot t;$$

$$z(t) = z_0 + V_z \cdot t.$$

А если  $\vec{V} \neq const$  ??

Ускорение !



## 1.2.5. Ускорение

➔ **(Опр.)** Ускорением называется производная скорости по времени:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} \equiv \dot{\vec{V}} \quad \leftarrow \quad \boxed{\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}}$$
$$\Delta \vec{V} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{a}(t) dt$$
$$\vec{a} = a_x \cdot \vec{e}_x + a_y \cdot \vec{e}_y + a_z \cdot \vec{e}_z,$$
$$a_x = \frac{dV_x}{dt},$$
$$a_y = \frac{dV_y}{dt},$$
$$a_z = \frac{dV_z}{dt}.$$

### Пример 1.2. Равнопеременное движение

➔ **(Опр.)** Движение МТ называется равнопеременным, если за любые равные интервалы времени  $\Delta t$  происходят равные изменения скорости

(Г. Галилей)

$$\vec{V}(t) = \vec{V}_0 + \int_0^t \vec{a}(t) dt \Rightarrow \vec{V}(t) = \vec{V}_0 + \vec{a} \cdot t;$$
$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \int_0^t \vec{V}(t) dt \Rightarrow \vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{V}_0 \cdot t + \frac{\vec{a} t^2}{2}.$$

$$\vec{a} = const$$

$$x(t) = x_0 + V_{0x} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2},$$

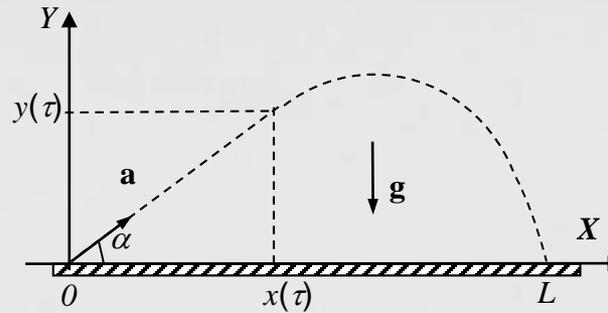
### Пример 1.3. Движение тел, брошенных вблизи поверхности Земли

(сопротивление воздуха пренебрежимо мало)

← Д.З.

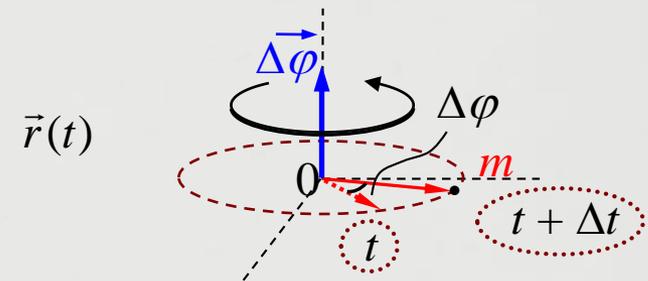
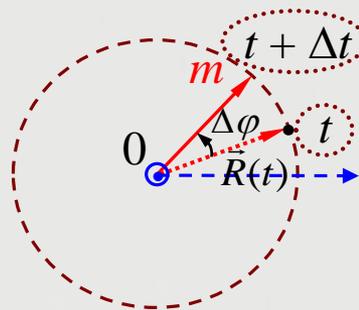
Задача 1.1. (Про ракету) ...

Найдите ошибку в решении ?



## 1.3. Угловые кинематические характеристики

### 1.3.1. Угловое перемещение

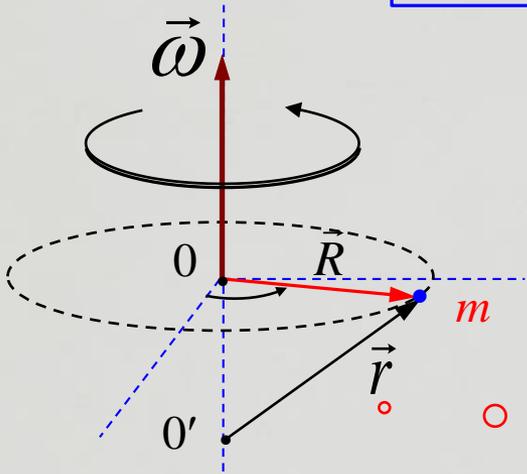


➡ (Опр.) За направление вектора  $\vec{\Delta\phi}$  принимается направление поступательного перемещения правого винта – «буравчика» при повороте его рукоятки в направлении вращения радиус-вектора

### 1.3.2. Угловая скорость

► (Опр.)

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



$$v = \frac{dl}{dt} = \frac{Rd\varphi}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot R = \omega \cdot R$$

$$\vec{V} = [\vec{\omega}, \vec{R}]$$

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

← Д.3.

### 1.3.3. Угловое ускорение

► (Опр.)

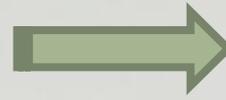
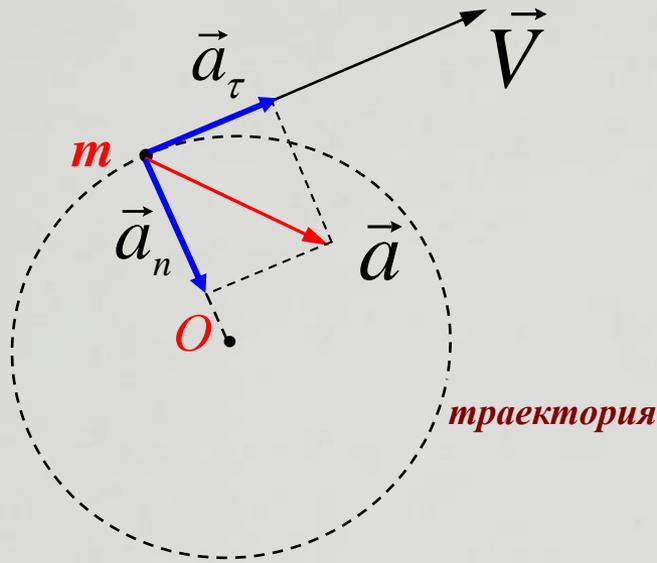
$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

$$\left( \text{или } \vec{\beta} \equiv \dot{\vec{\omega}} = \frac{d^2 \vec{\varphi}}{dt^2} \equiv \ddot{\vec{\varphi}} \right)$$

$$\Delta \vec{\omega}(t) = \int_0^t \vec{\beta}(t) dt,$$

$$\Delta \vec{\varphi} = \int_0^t \vec{\omega}(t) dt.$$

## 1.4. Ускорение при движении по окружности



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

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt}(v \cdot \vec{\tau}) = \underbrace{\frac{dv}{dt}}_{\vec{a}_\tau} \cdot \vec{\tau} + v \cdot \underbrace{\frac{d\vec{\tau}}{dt}}_{\vec{a}_n}$$

$$\vec{a}_\tau = [\vec{\beta} \cdot \vec{R}]$$

$$\vec{a}_n = -\omega^2 \cdot \vec{R}$$

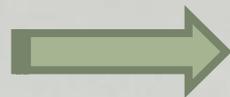
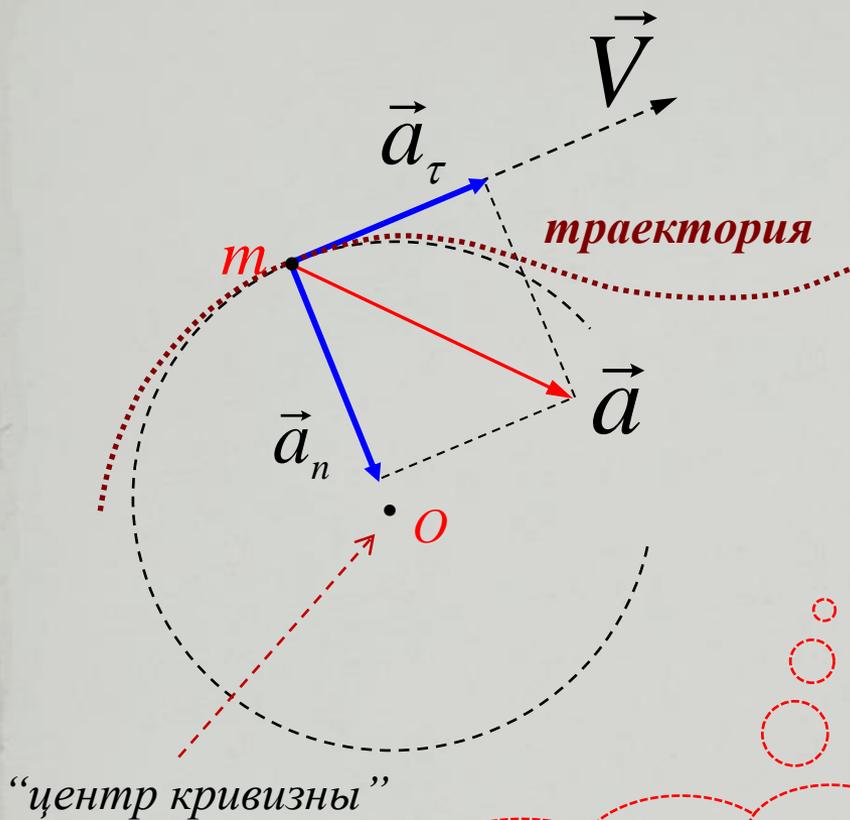
$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau}$$

$$\vec{a}_n = v \cdot \frac{d\vec{\tau}}{dt}$$

или

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

## 1.5. Ускорение при криволинейном движении



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

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau}$$

$$\vec{a}_n = v \cdot \frac{d\vec{\tau}}{dt}$$

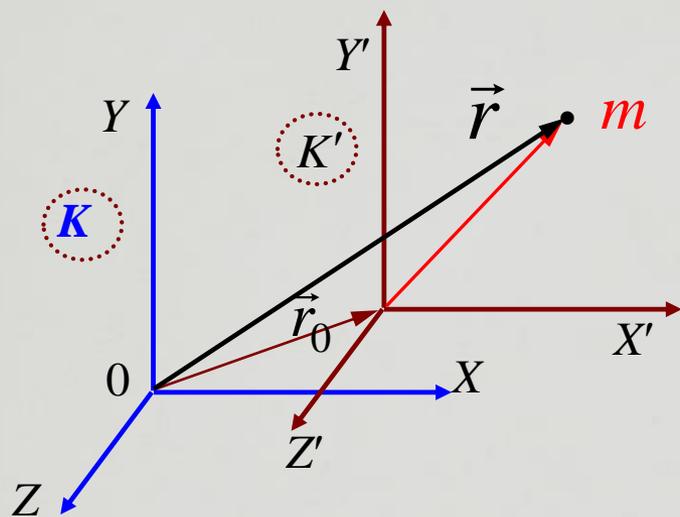
$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R_{кр}} \vec{n} = -\omega^2 \cdot \vec{R}_{кр}$$

## 1.6. Закон сложения скоростей в классической механике (Закон Галилея)

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

**Закон сложения скоростей  
в классической механике  
(Галилея):**

$$\vec{V} = \vec{u} + \vec{V}_{отн}$$



**А ускорения ?**   $\vec{a} = \vec{A} + \vec{a}_{отн}$

Доска 2

$y = f(x)$  ;  $y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta x} \equiv \frac{df}{dx}$  — производная

дифференциал  $\equiv$  б.м.  $\Delta$

$f(x, y, z, t, p, \tau, \dots)$

$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta l}{\Delta t}$

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

Speed

Velocity



$\frac{\partial f}{\partial t} \leftarrow$  по времени

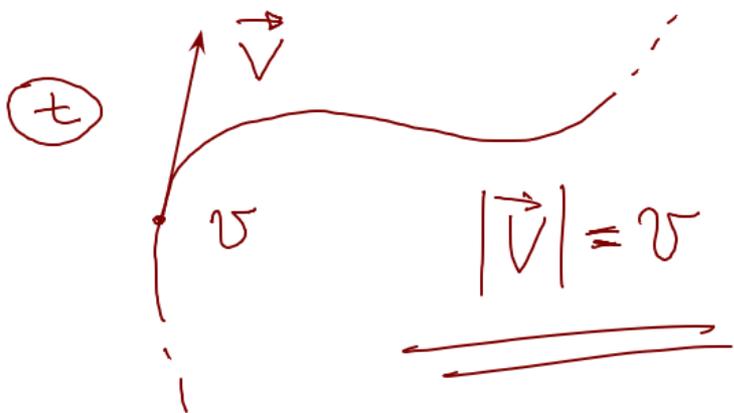
$\frac{\partial f}{\partial x}$

$\frac{\partial f}{\partial y}$

Доска 3

$$y = f(x) ; y' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta x} \equiv \frac{df}{dt} \quad \text{— "производная"}$$

↑  
дифференциал  $\equiv$  б.м.  $\Delta$



vega.phys.msu.ru

C.O.

T.O. + ~~⊕~~