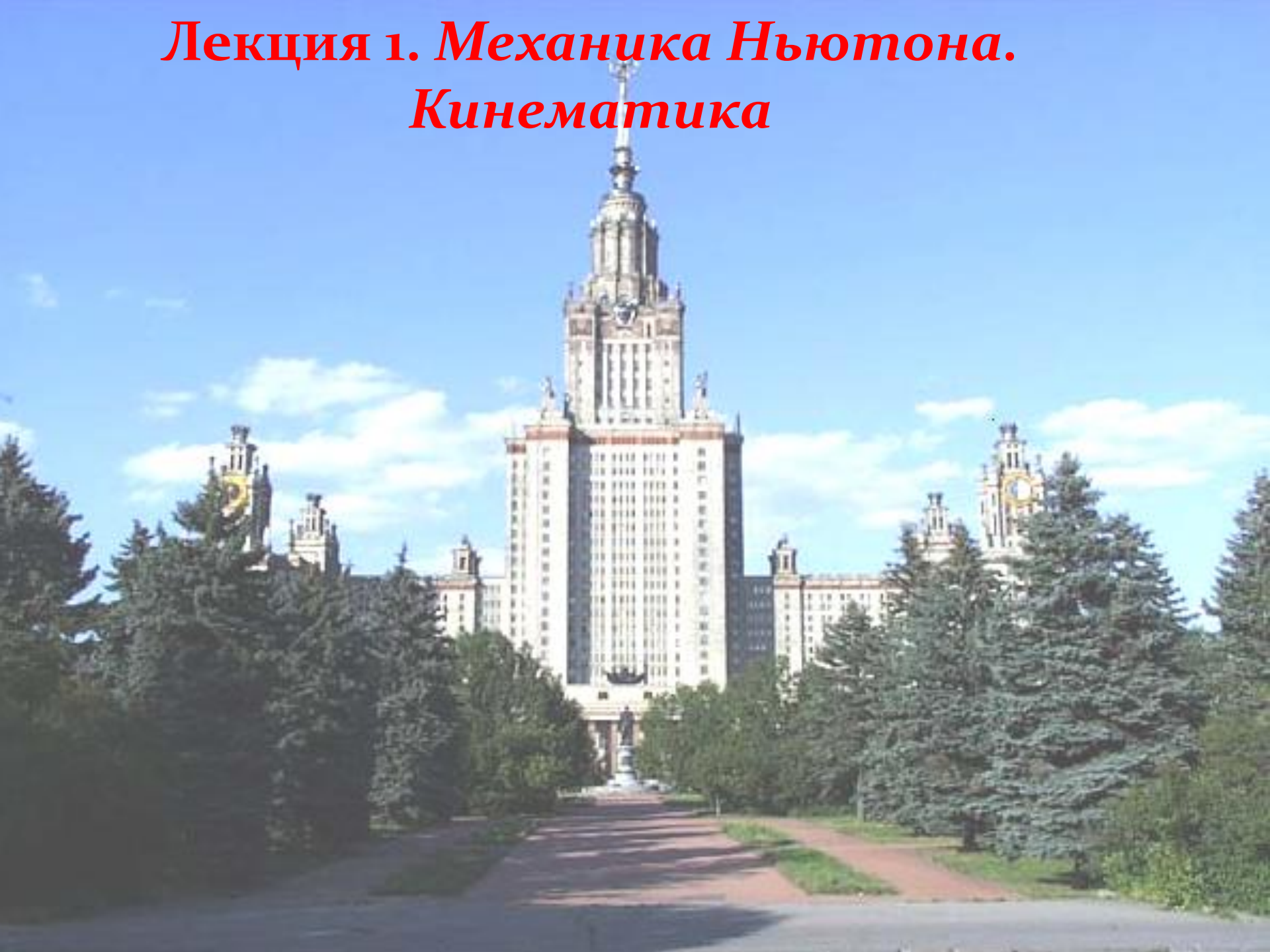


Лекция 1. Механика Ньютона. Кинематика



φ ν σ i ζ

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

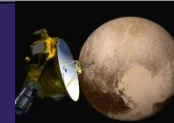
(«Новая астрономия» 1609 г.)

Ньютон

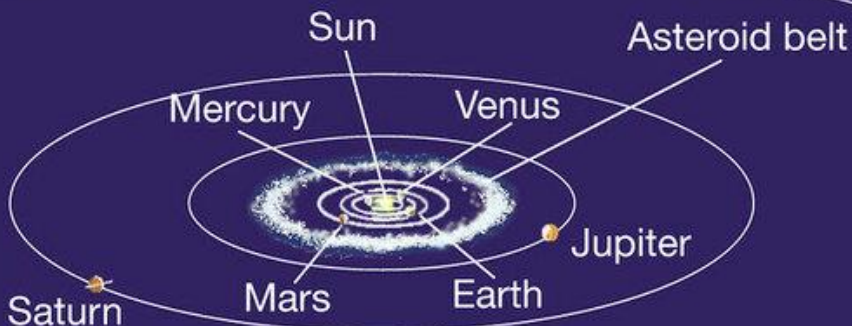
1643 — 1727 гг.

$M_3/500$

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.

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

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

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

Плутон

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

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.

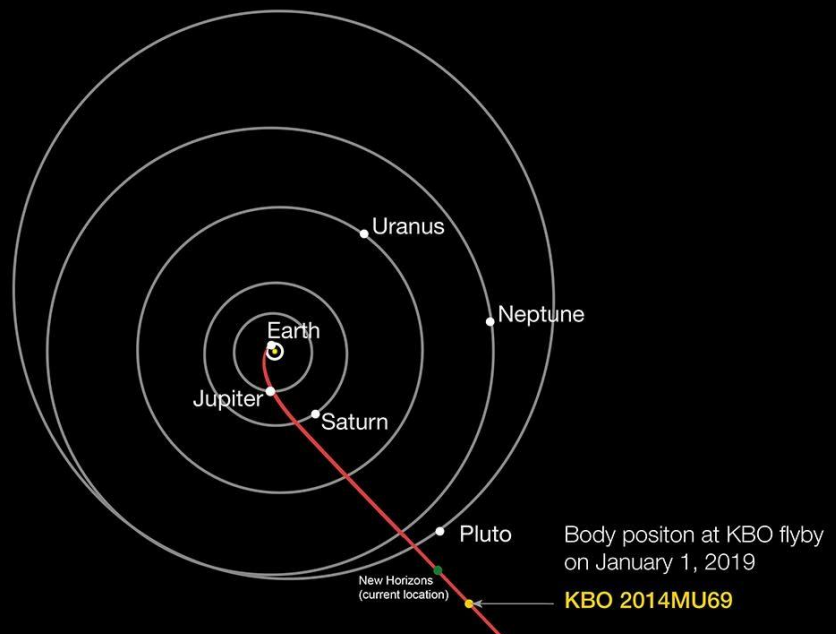
Ralph: Оптические и инфракрасные приборы для

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 опыт для изучения атмосферы + путем анализа искажений радиоволн, излучаемых к станции с мощных антенн на Земле.

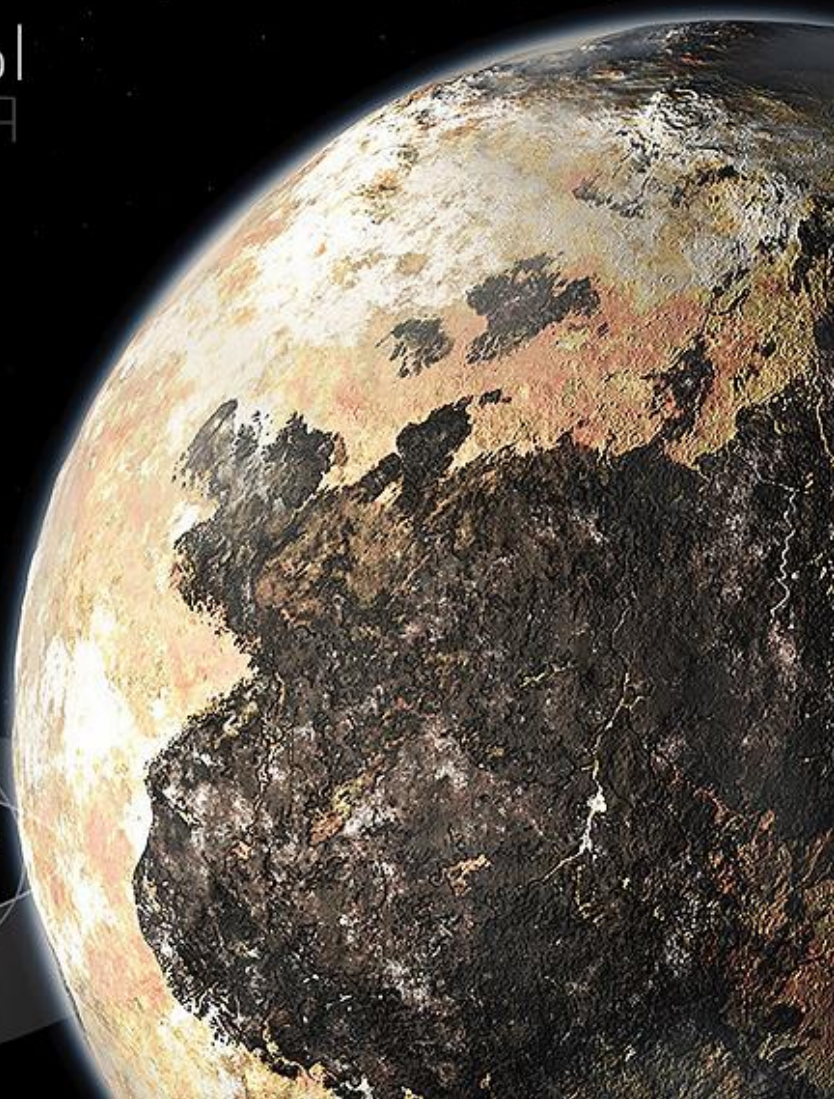
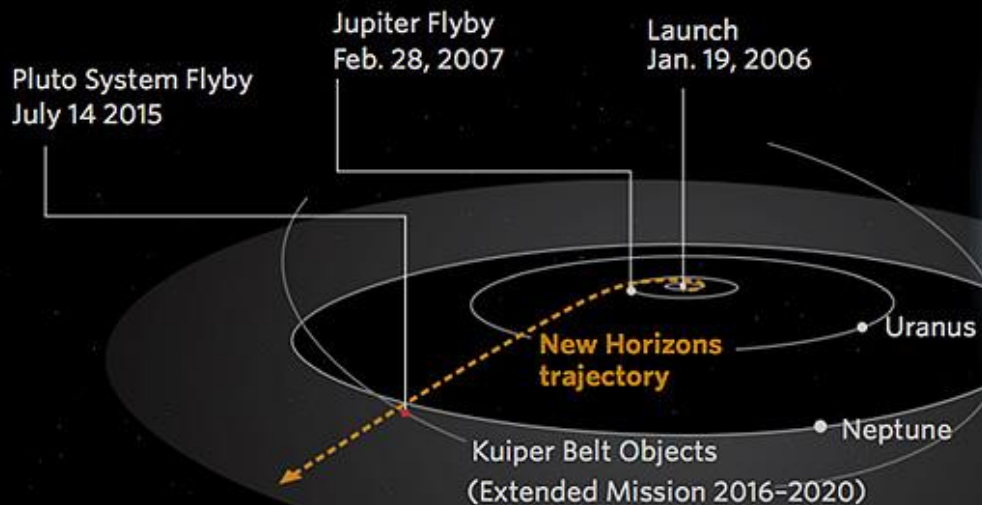
New Horizons: What's Next



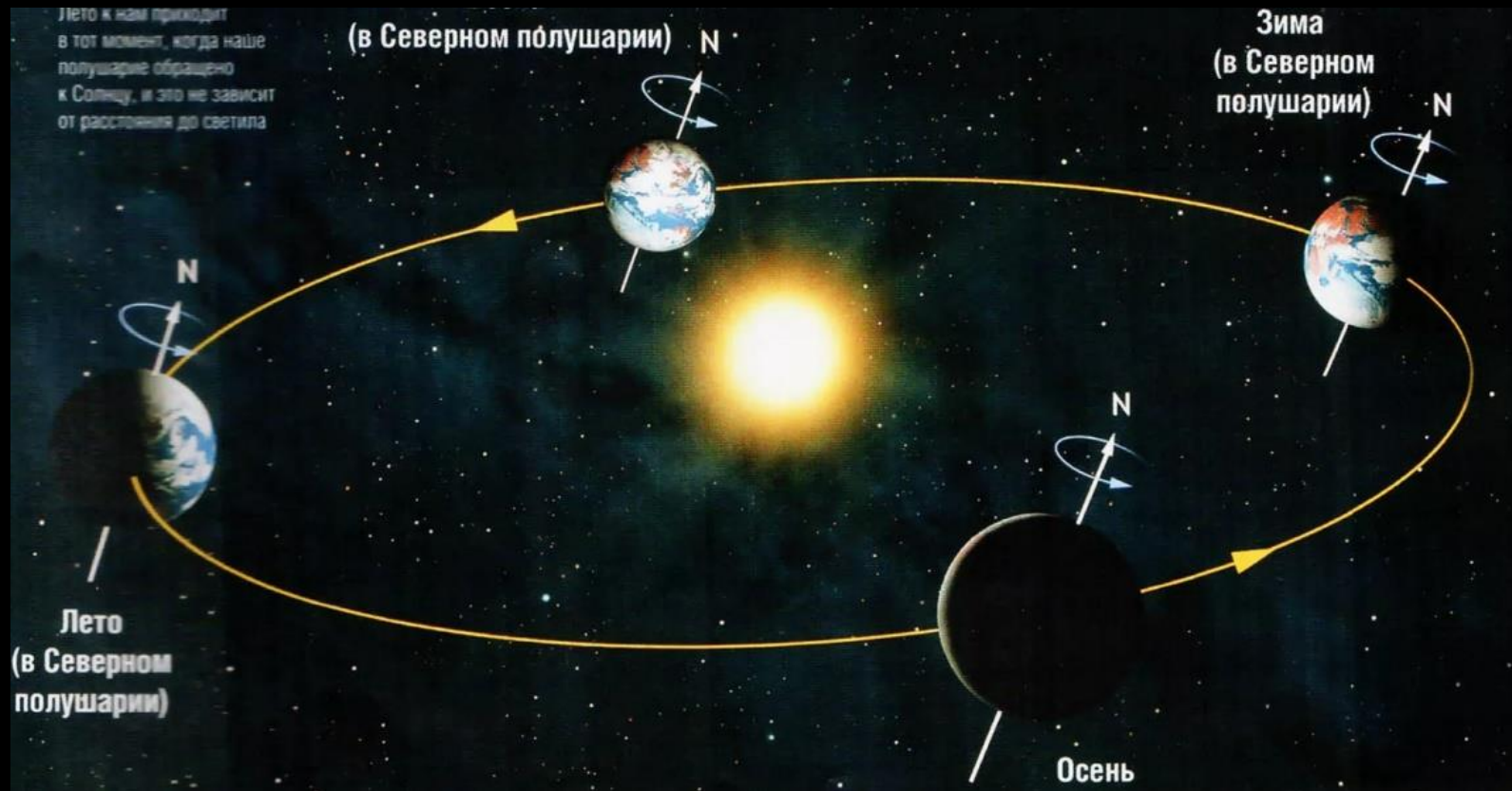
Миссия – “Новые горизонты”

Новые Горизонты
расширенная миссия

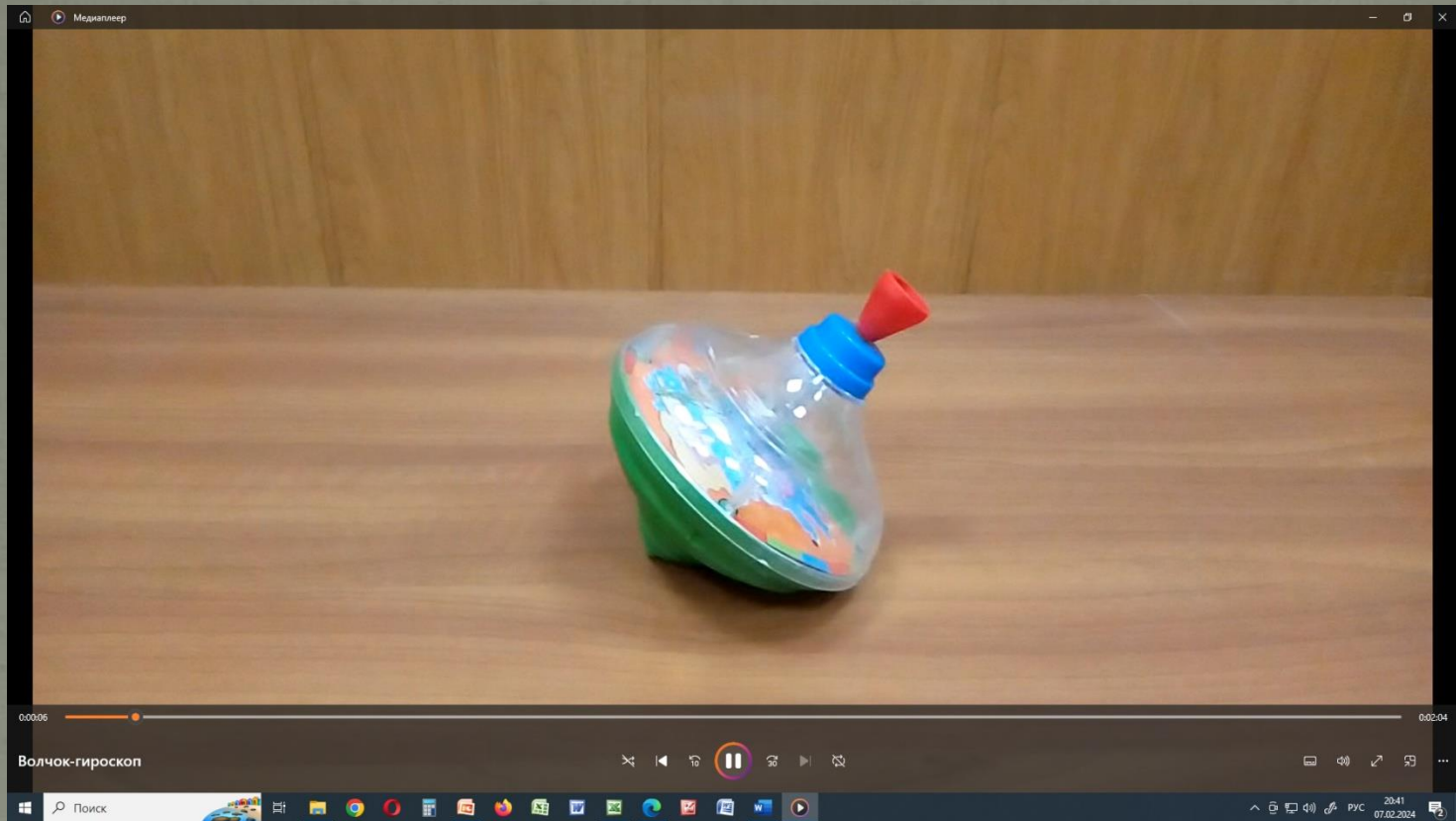
следующий объект
2014 MU69



А где у нас север ??



Юла-Гироскоп



§ 1. Кинематика материальной точки

(κίνησις - движение)

“Незнание движения необходимо влечёт незнание природы” –

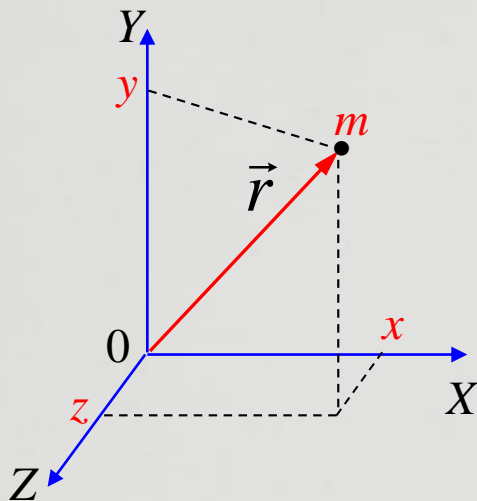
Аристотель (IV век до н.э.)

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



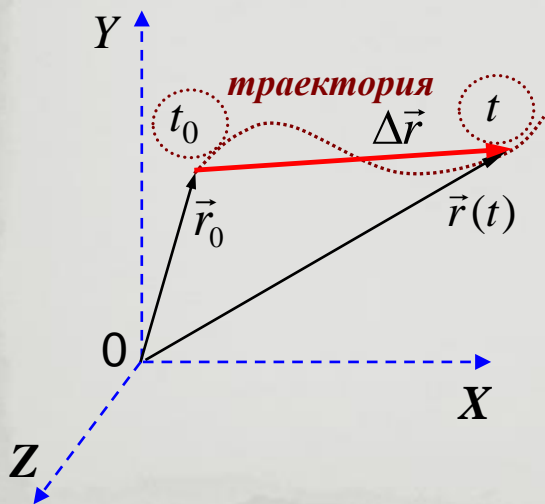
$$\vec{r} = x \cdot \vec{e}_x + y \cdot \vec{e}_y + z \cdot \vec{e}_z$$

“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

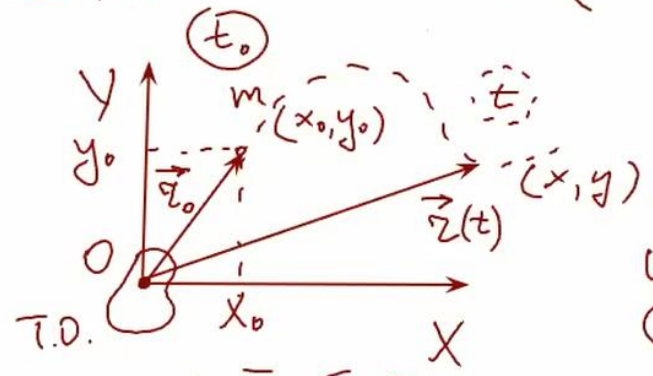
► **(Опр.)** Перемещением за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$ называется вектор $\Delta \vec{r}$, соединяющий положение точки в момент времени t_1 с её положением в момент времени t_2

(O н.п.)

Доска 1

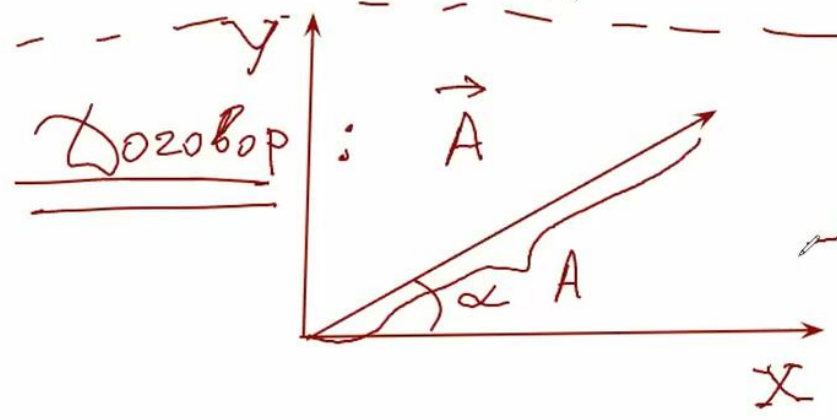
$$C.O. = T.O.(c.k.) + \text{Закон Галилея}$$

Закон Галилея



\vec{r}_0 - радиус

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



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

A_x
 A_y

проекции

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

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

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

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

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

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

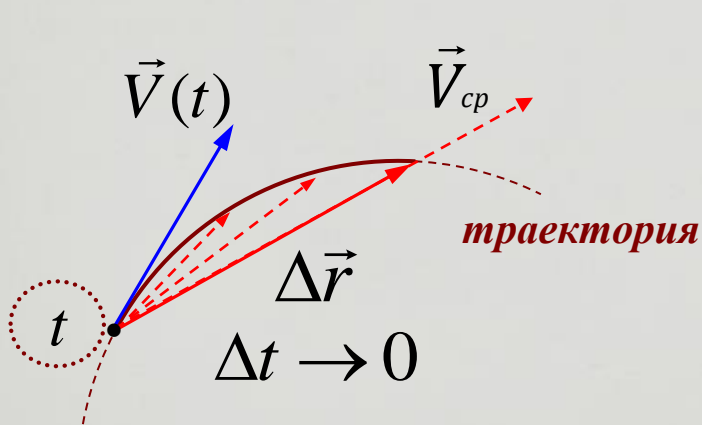
перемещение \rightarrow $\underline{\underline{\Delta \vec{r}}} = \vec{r}(t) - \vec{r}_0$

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите на сайт www.microsoft.com/activation


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.:

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

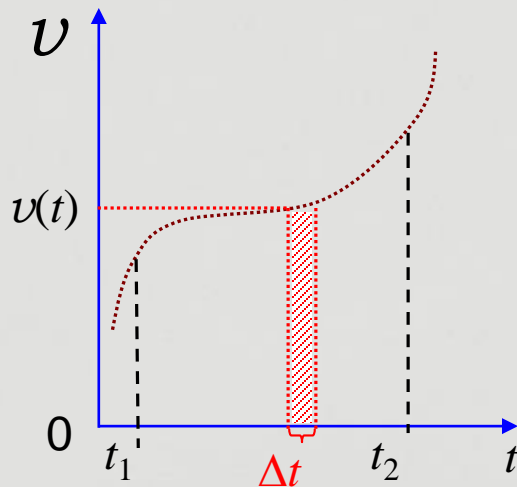
$$V_y = \frac{dy}{dt}$$

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

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

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

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



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

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

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

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

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 Δt происходят равные изменения скорости

(Г. Галилей)

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

$$\vec{a} = const$$

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

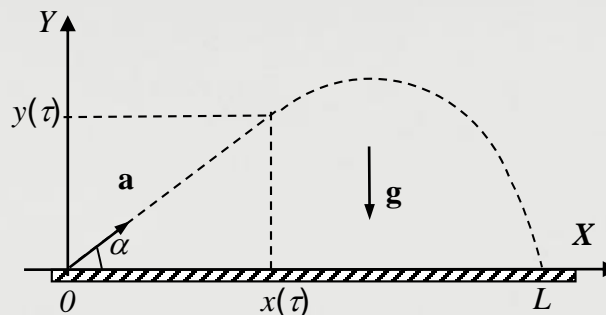
Пример 1.3. Движение тел, брошенных вблизи поверхности Земли

(сопротивление воздуха пренебрежимо мало)

← Д.З.

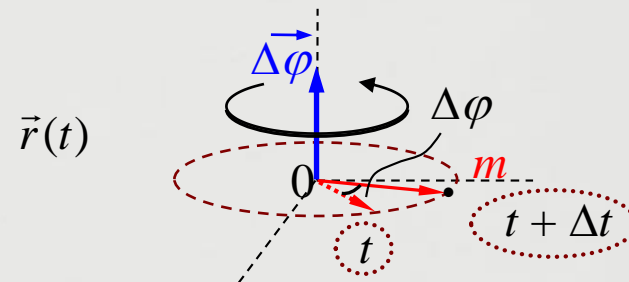
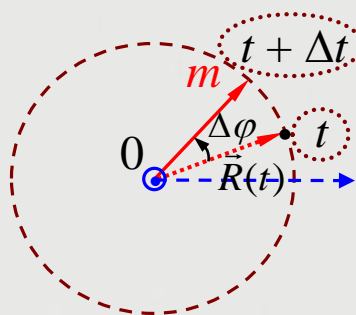
Задача 1.1. (Про ракету) ...

Найдите ошибку в решении ?



1.3. Угловые кинематические характеристики

1.3.1. Угловое перемещение

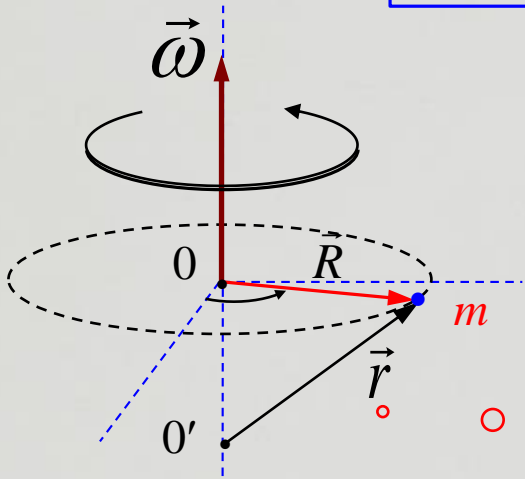


➡ (Опр.) За направление вектора $\vec{\Delta\phi}$ принимается направление поступательного перемещения правого винта – «буравчика» при повороте его рукоятки в направлении вращения радиус-вектора

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.)

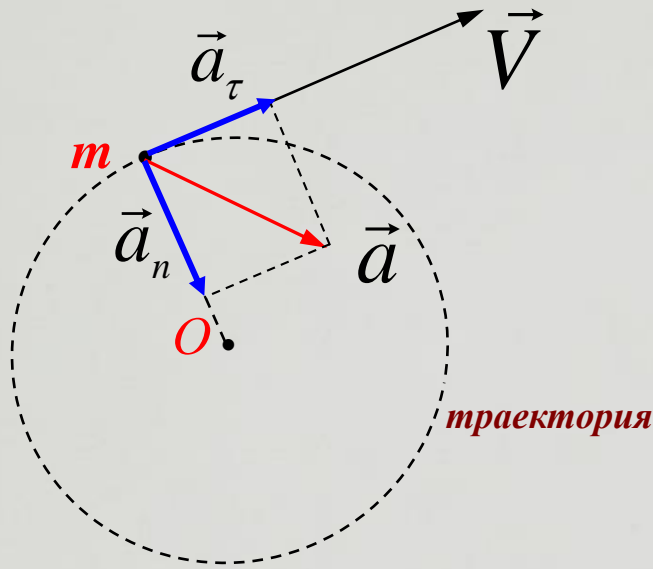
$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

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

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

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

1.4. Ускорение при движении по окружности



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

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

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

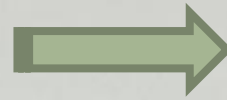
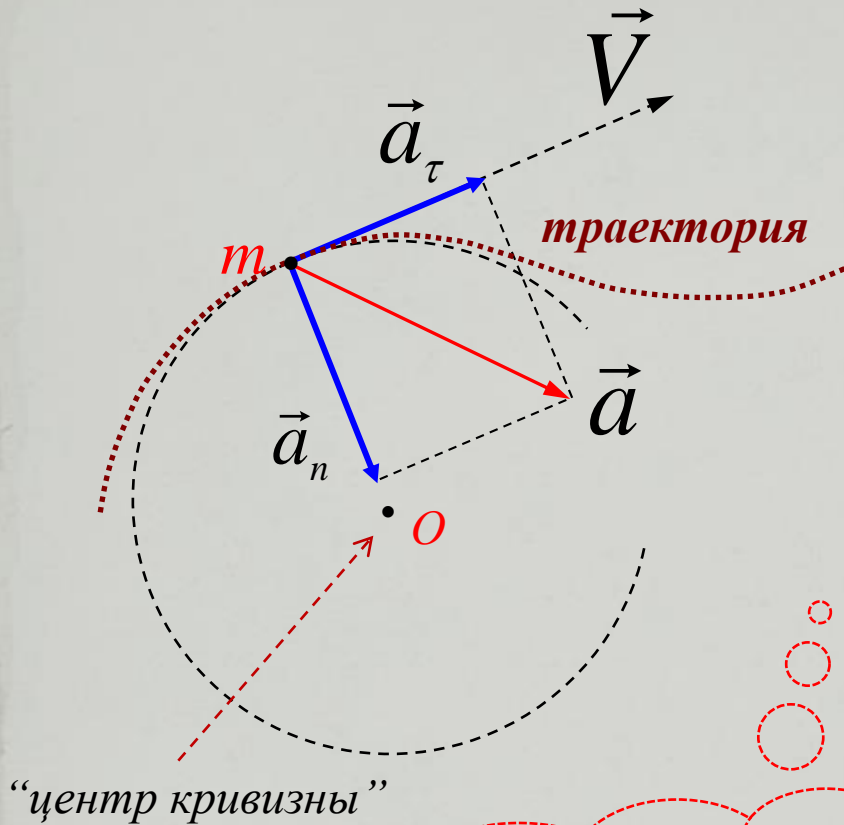
$$\vec{a}_n = -\omega^2 \cdot \vec{R}$$

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

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

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

1.5. Ускорение при криволинейном движении



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

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

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

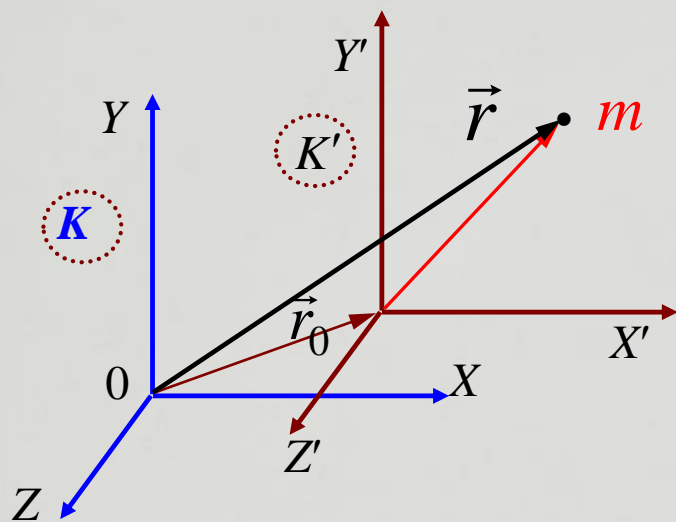
$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R_{кр}} \vec{n} = -\omega^2 \cdot \vec{R}_{кр}$$

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 ? $\Rightarrow \vec{a} = \vec{A} + \vec{a}_{отн}$

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. Δ

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

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

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

Speed

Velocity



$\frac{\partial f}{\partial t}$

$\partial t \leftarrow$ по времени

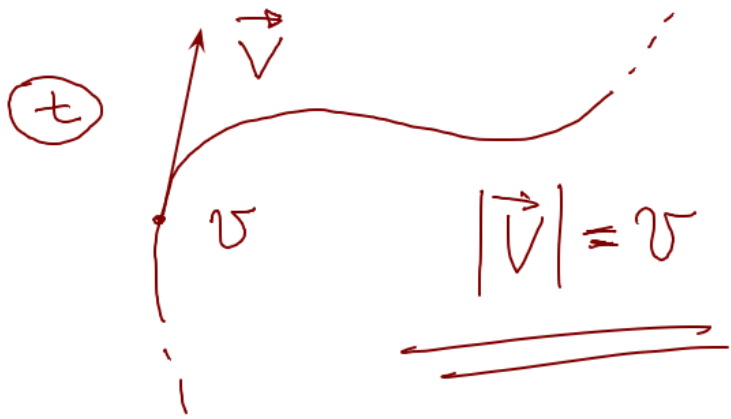
$\frac{\partial f}{\partial x}$

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

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. Δ



vega.phys.msu.ru

C.O.

(T.O.) + ~~(t)~~