

The image shows the cover of a spiral-bound notebook. The cover is a light beige or cream color with a subtle, repeating pattern of the word 'LIT' in a light green font. The spiral binding is on the left side. The main title is written in large, bold, green capital letters, and the semester information is in a smaller, brown, italicized font.

# Физические основы механики

*Семестр 1*

# ЛЕКЦИЯ № 1

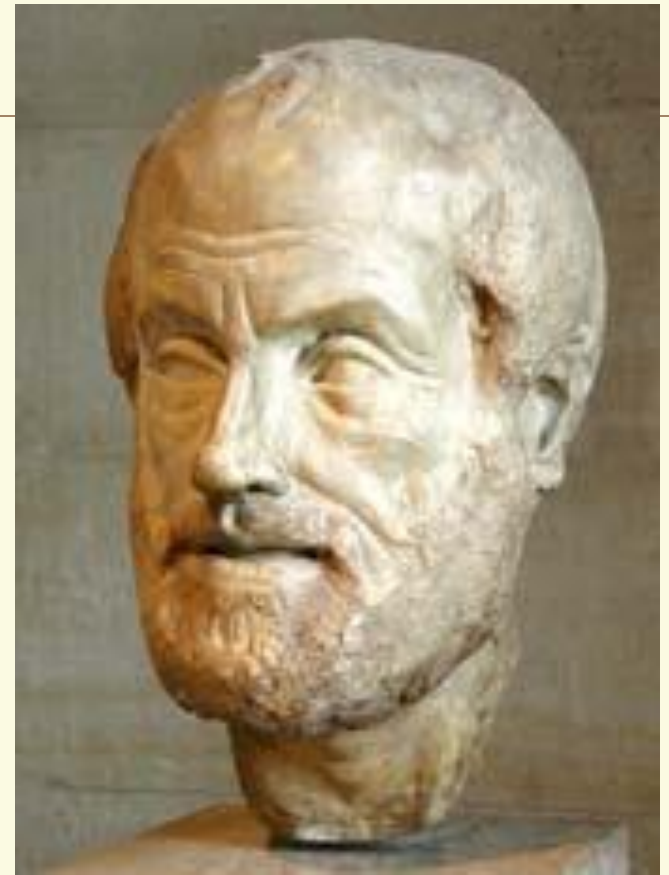
## Кинематика материальной точки

---

1. **Предмет физики.** Физика - как основа современного естествознания. Роль физики в становлении современного инженера. Физика и высокие технологии.
2. **Предмет механики.** Классическая механика. Релятивистская механика. Квантовая механика.
3. **Международная система единиц (СИ).**
4. **Кинематика материальной точки.** Модель материальной точки (частицы). Пространство и время. Система отсчета. Радиус - вектор. Траектория. Скорость и ускорение.
5. **Кинематика криволинейного движения.** Движение по окружности. Угловая скорость и ускорение. Нормальное, тангенциальное и полное ускорения. Движение материальной точки по плоской кривой. Радиус кривизны траектории.

**Слово «физика» (от др.-греч. φύσις «physis» - «природа») ввёл Аристотель ( 384 – 322 гг. до н. э.).**

**При этом он имел в виду не естественную среду, окружающую человека, а скрытую от его непосредственных ощущений сущность вещей и событий, познав которую можно объяснить не только то, как протекают наблюдаемые явления, но и понять, почему это происходит именно так, а не иначе.**



*Вначале термины «физика» и «философия» были синонимами, т.к. они пытались объяснить законы Вселенной. Потом в результате научной революции XVI века физика стала отдельной наукой.*

---

*В русский язык слово «физика» впервые ввёл Михаил Васильевич Ломоносов (1711 - 1765), когда он издал в России учебник физики в переводе с немецкого языка.*

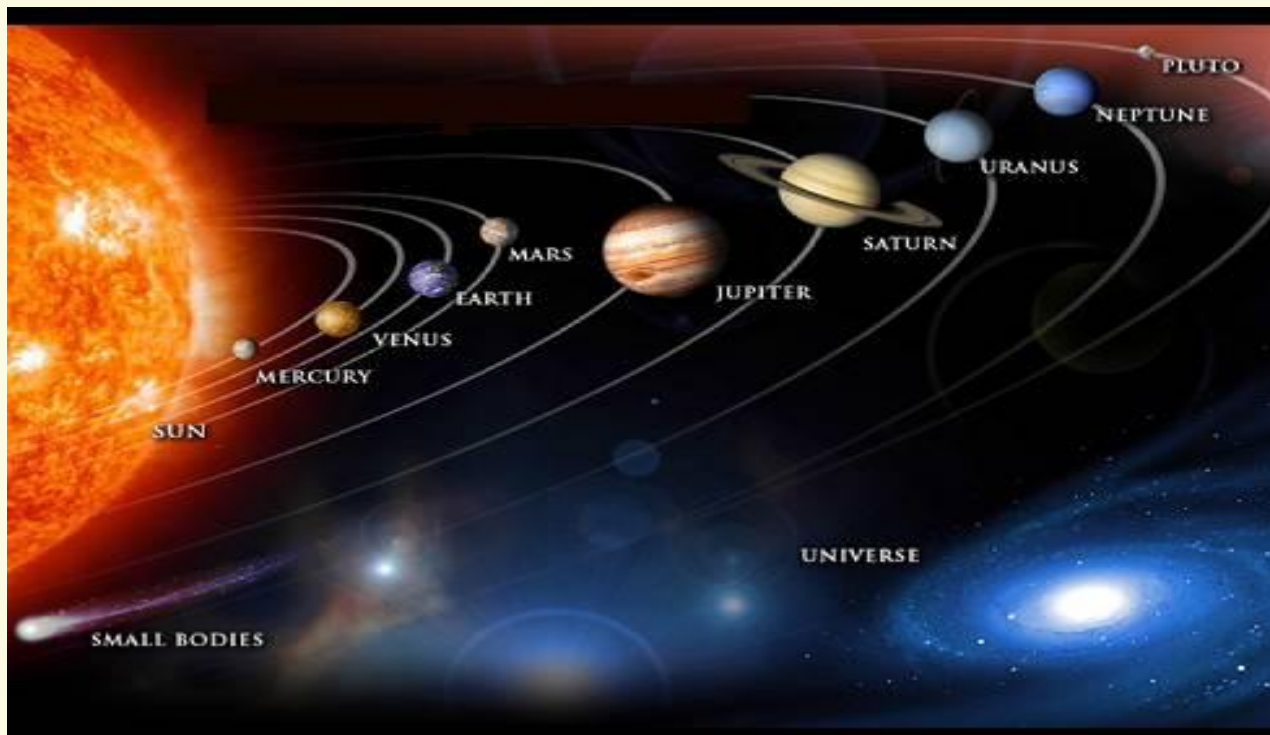


*В настоящее время физика изучает наиболее общие закономерности неживой природы, строение и свойства материи, законы движения материи и временной эволюции Вселенной.*

*В основе физики, как науки, лежат экспериментально установленные факты, которые подтверждены независимыми исследователями при заданных контролируемых условиях с известной точностью.*



*Физическая теория - инструмент интеллектуального видения явлений материального мира. Теория включает в себя основополагающие принципы (например, принцип причинности, принцип познаваемости мира, принцип соответствия, принцип относительности, принцип наблюдаемости и т.д.), физические законы и понятия (величины).*



*Физика формирует материалистическое мировоззрение, лежит в основе естественно - научной подготовки инженеров и обеспечивает общественную безопасность, развивая критическое рациональное мышление. Физика является наиболее фундаментальной наукой о природе, поэтому ее изучение закладывает фундамент для всех специальных технических дисциплин.*



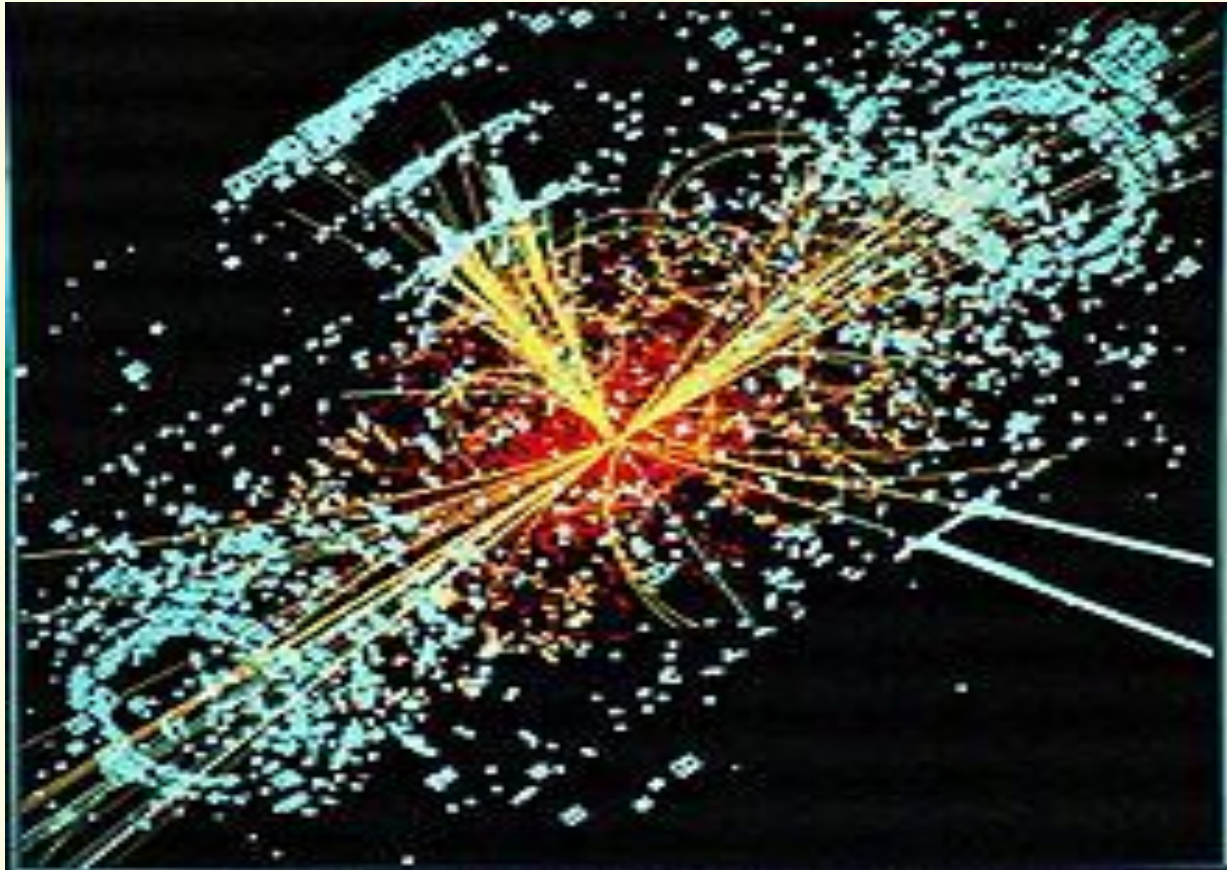
# Современные достижения в физики

*1) открытие антигравитации, связанной с так называемой «темной энергией» и приводящей к ускоренному расширению нашей Вселенной*

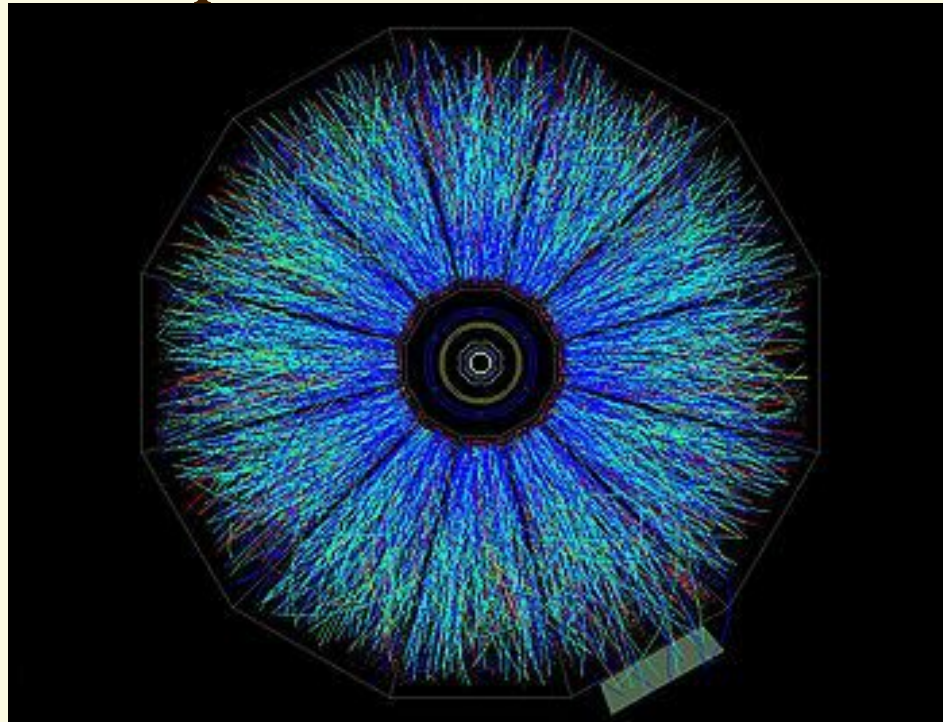




*2) создание единой теории электромагнитного и слабого взаимодействий (теория электрослабого взаимодействия кварков и лептонов) и разработка стандартной модели, где электрослабое и сильное взаимодействия описываются с единой позиции*



*3) получение кварк - глюонной плазмы при столкновении тяжелых ионов на суперколлайдере в г. Церне (Швейцария, 2000г.), которая существовала в природе примерно через  $10^{-6}$  с после Большого взрыва, в результате которого возникла наша Вселенная*



*Образование кварк-глюонной плазмы в точке столкновения разогнанных ионов золота в центре детектора*

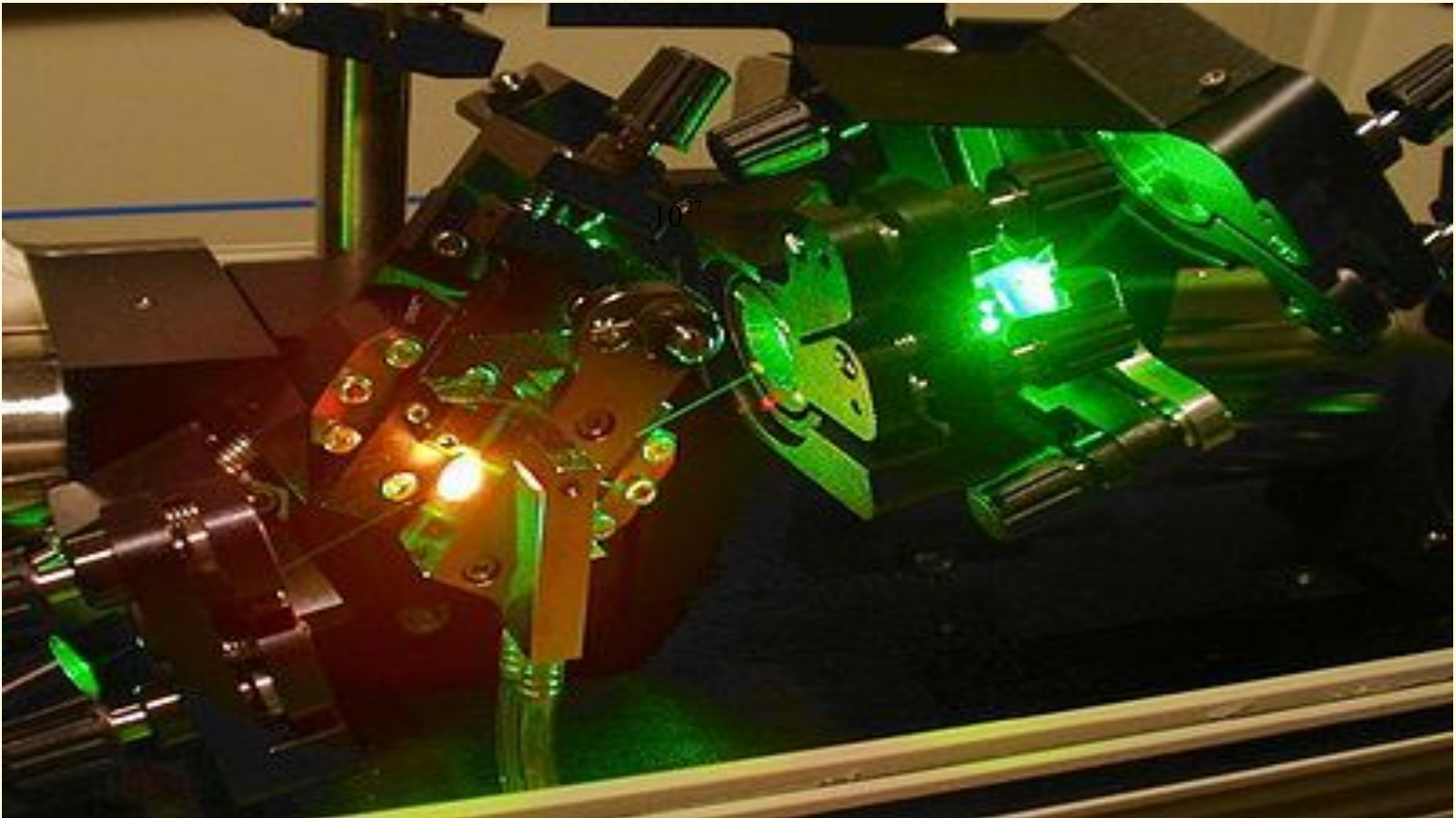
*4) современные ускорители, где энергия ускоренных частиц порядка  $10^{12}$  эВ, позволяют исследовать пространственную структуру элементарных частиц с пространственным разрешением  $\sim 10^{-17}$  м*

---

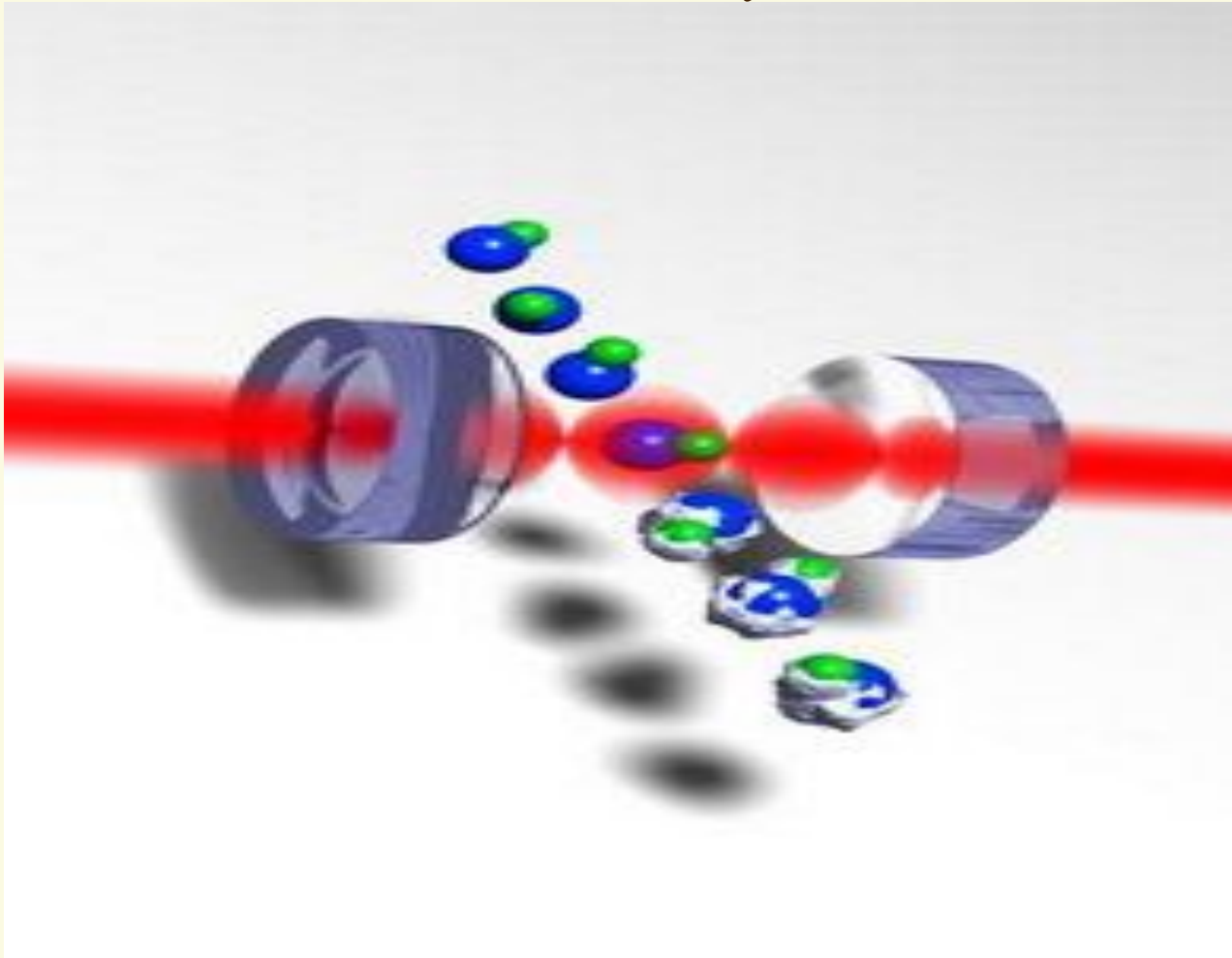


*Вид на ускорительный центр Fermilab, США.  
Теватрон (кольцо на заднем плане) и кольцо-инжектор.*

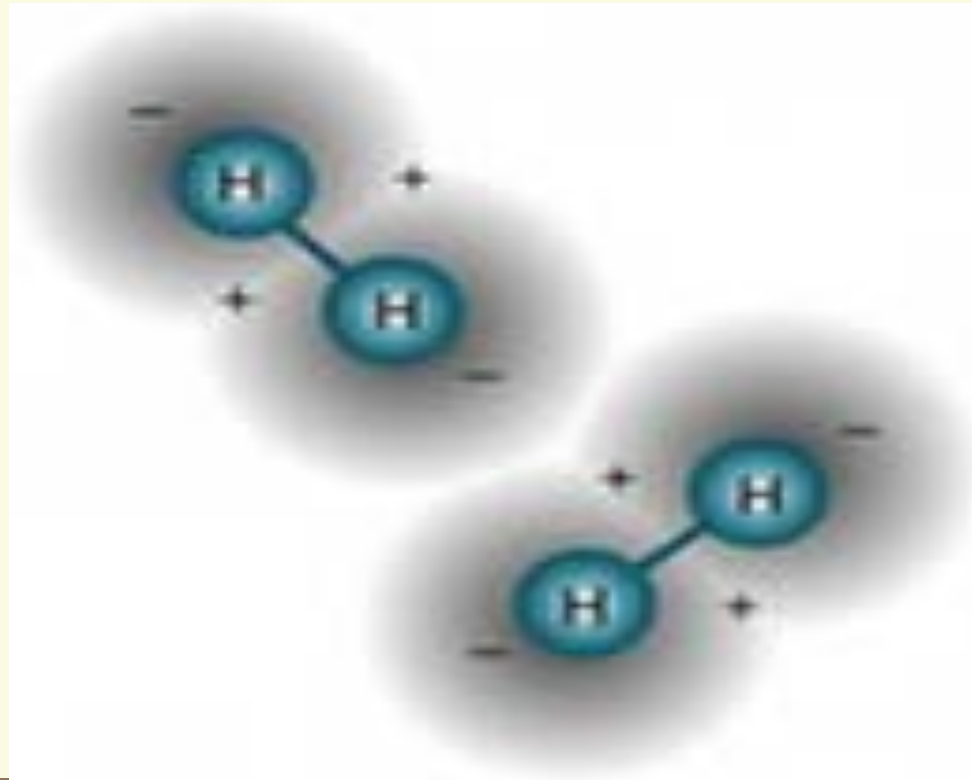
5) путем фокусировки излучения титан - сапфирового лазеров пятно диаметром  $\sim 1$  мкм получена интенсивность  $\sim 10^{22}$  Вт /см<sup>2</sup> при такой интенсивности излучение Солнца мощностью  $10^{27}$  Вт должно быть локализовано на площади в  $10$  м<sup>2</sup> )



*б) на основе сверхохлажденных атомов, температура которых может достигать  $10^{-7}$  К, созданы часы, уход которых за все время существования Вселенной (~15 млрд. лет) составил бы 20 минут*



7) измерено электрическое сопротивление отдельной молекулы водорода, помещенной между двумя платиновыми электродами (электрическая проводимость отдельных атомов оказалась порядка (1-2)  $\sigma_0$ , где  $\sigma_0 = \frac{2e^2}{h}$  – квант электрической проводимости)



*8) рекордно низкие температуры для бозе-эйнштейновского конденсата атомов Na составляют  $\sim 10^{-10}$  К (ансамбль атомов состоял из примерно 30 000 атомов)*

---



*Капли бозе-эйнштейновского конденсата атомов натрия - когерентной материи - падают в поле земного тяготения, образуя "атомный лазер".*

9) разработан метод экспериментального наблюдения перестройки электронных состояний атома с временным разрешением  $\sim 10^{-16}$  с

---

10) методы нанотехнологии позволили создать лазер на одном атоме Cs, помещенном в микрорезонатор при температуре  $\sim 10^{-3}$  K



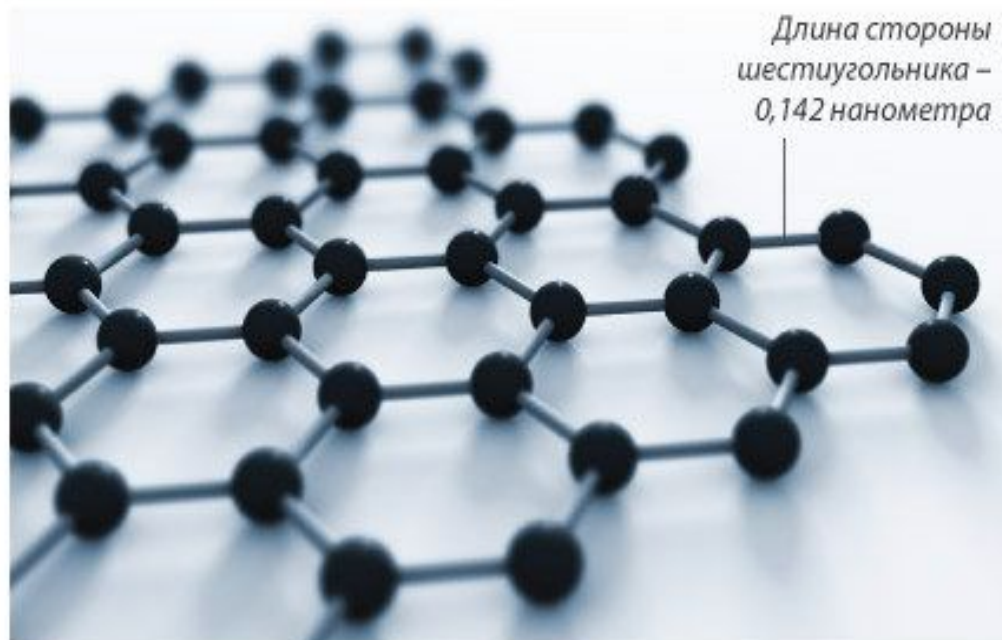


*11) С помощью космического телескопа Чандра и телескопа Gemini (Гавайи) в галактике M33 в двойной системе обнаружена черная дыра с массой 15,7 масс Солнца. Эта черная дыра превосходит по массе все известные черные дыры, образовавшиеся при взрывах сверхновых.*



# Что такое графен

- Впервые экспериментально получен и описан в 2004 году группой российских и британских ученых
- В 2010 году К. Новоселову и А. Гейму присуждена Нобелевская премия по физике: «за новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала графена»



**Графен** – углеродный наноматериал, слой атомов углерода толщиной в один атом, соединенных в двумерную кристаллическую решетку из правильных шестиугольников

**Графен очень прочен и гибок. Он уникален тем, что способен проявлять свойства как проводника, так и полупроводника**

## Ожидается, что графен:



заменит кремний в микросхемах: считается, что чипы на основе графена станут легче, производительнее, стабильнее в работе, будут потреблять меньше электроэнергии и меньше ее рассеивать в виде тепла



придет на смену тяжелым медным проводам в авиации и космонавтике



будет использован при создании гибких сенсорных дисплеев и солнечных батарей



найдет применение в качестве сенсора для обнаружения отдельных молекул химических веществ

# МЕХАНИКА

---

Изучение курса физики обычно начинается с физических основ механики, где рассматривается наиболее общий и простой вид движения материи - механическое движение. При механическом движении объект просто меняет свое положение в пространстве, оставаясь тождественным самому себе, т. е. не меняя своей структуры и внутренних свойств. В качестве объектов движения в механике рассматриваются: частица (материальная точка), система частиц, абсолютно твердое тело и сплошная среда.

*В современной физике различают:*

*1) классическое нерелятивистское движение макроскопических тел со скоростями, много меньшими скорости света в вакууме  $c = 3 \times 10^8 \text{ м/с}$ ;*

*2) классическое релятивистское движение макроскопических тел со скоростями  $\sim c$ ;*

*3) квантовое движение микроскопических и макроскопических объектов.*

*Это 3 различных модели движения объектов.*

*Сначала мы рассмотрим классическое нерелятивистское движение макроскопических тел, описываемое законами Ньютона.*

# *Международная система единиц СИ*

*Для задач механики достаточно 3 основных единиц:*

- 1) единицы массы – 1 килограмм - есть масса международного прототипа, созданного из платиноиридиевого сплава и введённого в использование в 1901 году;*
- 2) единицы времени – 1 секунда - есть 9.192.631.770 периодов электромагнитного излучения при переходе между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия 133 (введён в 1967 году);*
- 3) единица длины – 1 метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени  $1/299792458$  с при точно известной скорости света  $c = 299792458$  м/с (введен в 1983 году).*

# Кинематика материальной точки

---

*Кинематика – раздел механики, которая описывает движение, отвлекаясь от причин, вызвавших это движение.*

*Материальная точка (частица) - это тело, линейные размеры которого малы по сравнению с характерными длинами в решаемой задаче.*

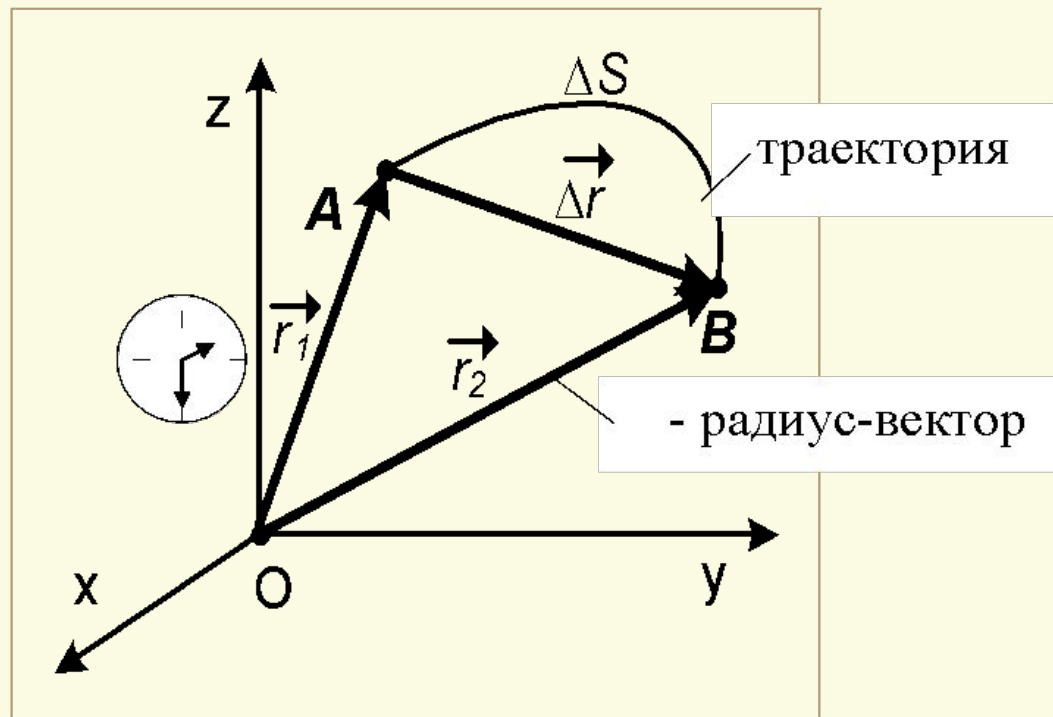
*Система отсчета включает :*

*1) тело отсчёта  $O$ ;*

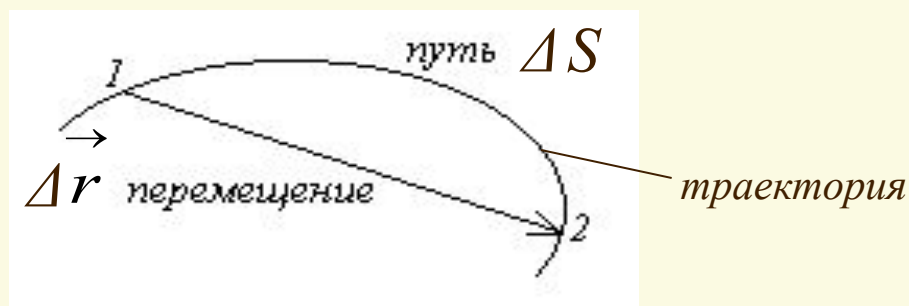
*2) связанную с ним систему*

*координат  $(x, y, z)$ ;*

*3) систему измерения времени (часы).*



**Материальная точка** при своем движении описывает некоторую линию, которая называется **траекторией**. В зависимости от формы траектории различают прямолинейное движение, движение по окружности, криволинейное движение.



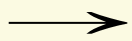
**Путь  $\Delta S$**  - это расстояние между точками 1 и 2, отсчитанное вдоль траектории.

**Перемещение  $\Delta r$**  - это прямолинейный отрезок, проведенный из точки 1 в точку 2.

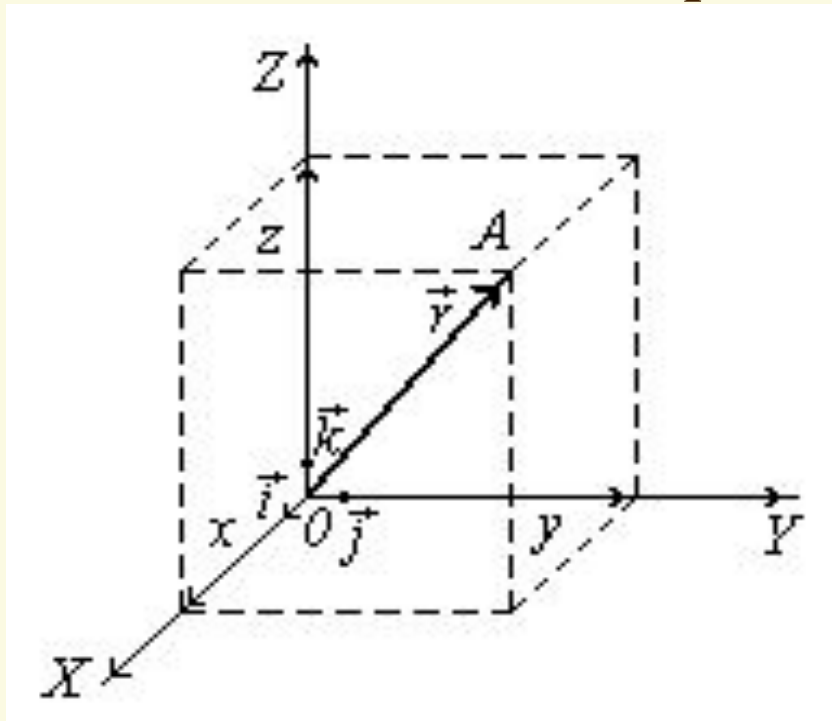


# Радиус-вектор материальной точки

Положение точки  $A$  определяется **радиусом-вектором**



$\vec{r}$  проведенным из начала отсчета в данную точку  $A$ .  
где  $i, j, k$  - единичные векторы  
декартовой системы координат



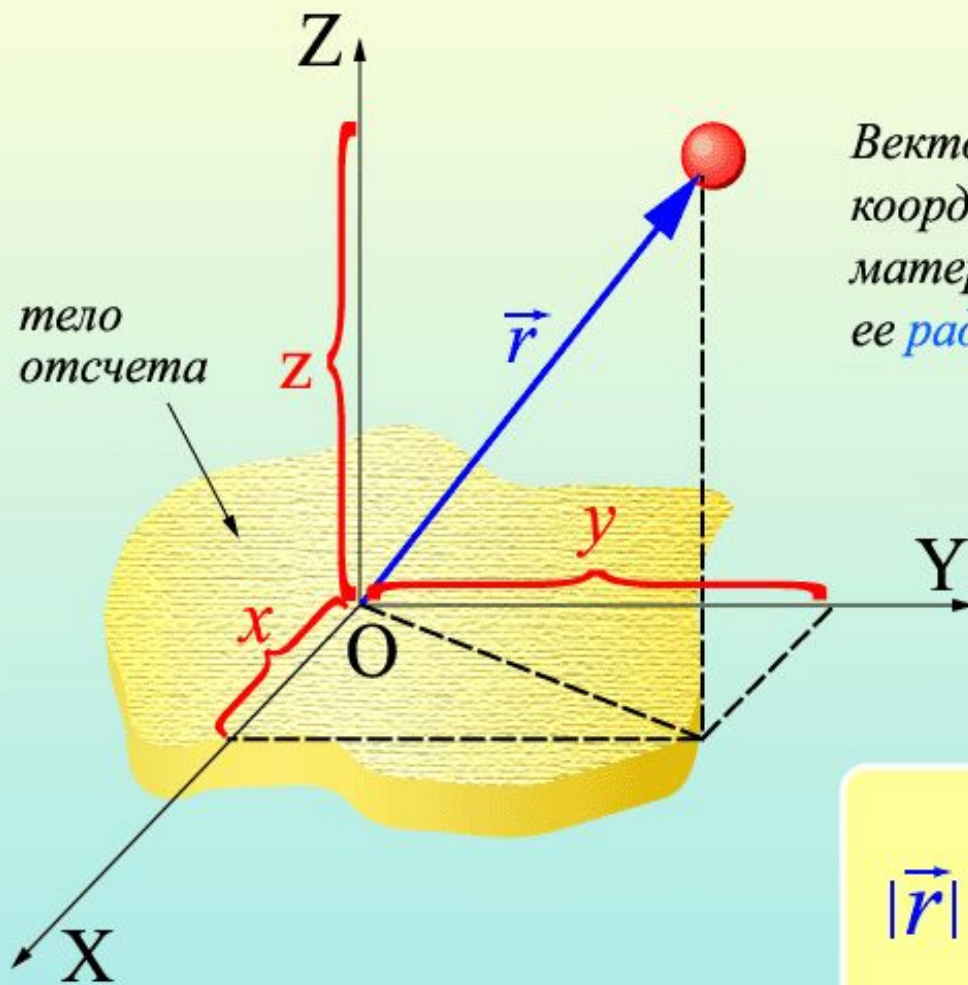
Радиус-вектор равен

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

Модуль радиус-вектора  $\vec{r}$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

## Радиус-вектор материальной точки



Вектор  $\vec{r}$ , проведенный из начала координат в место расположения материальной точки, называется ее *радиус-вектором*

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

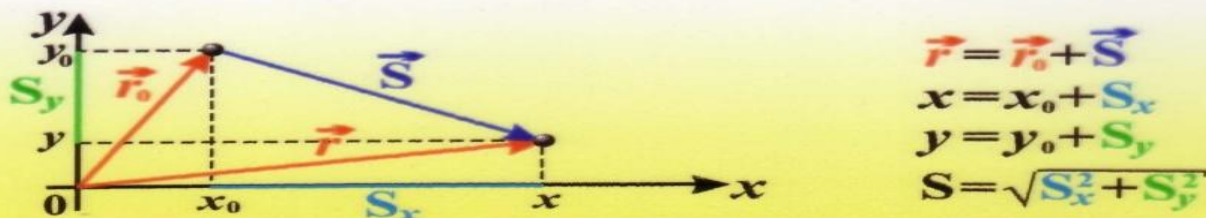
# Перемещение тела и его координаты

Как определить координаты движущегося тела, если известны его начальные координаты и вектор перемещения ?

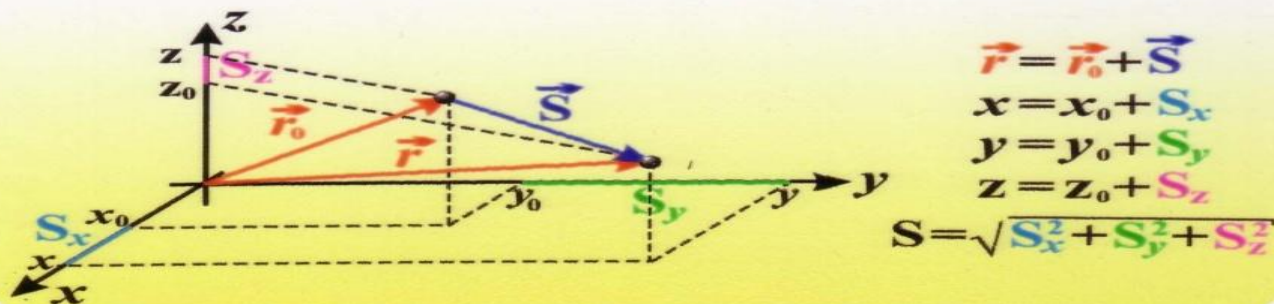
I. Тело переместилось вдоль оси  $x$  из точки с координатой  $x_0$  в точку с координатой  $x$



II. Плоское движение в плоскости  $xy$  из точки с координатами  $(x_0, y_0)$  в точку с координатами  $(x, y)$

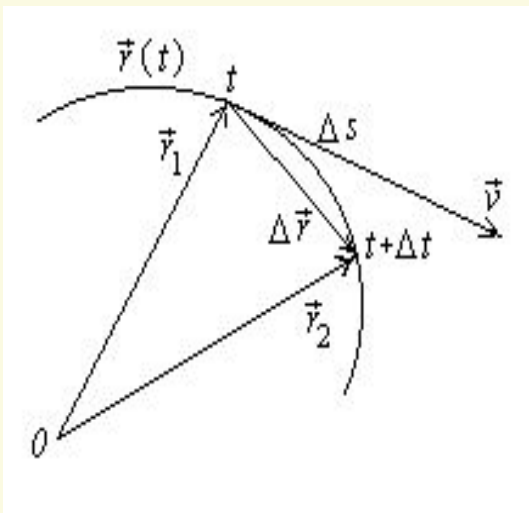


III. Тело переместилось из точки 1  $(x_0, y_0, z_0)$  в точку 2  $(x, y, z)$



$$\vec{S} = S_x \vec{i} + S_y \vec{j} + S_z \vec{k}$$

# Скорость точки ( мгновенная скорость)



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

$d\vec{r}$  - перемещение за малое время  $dt$   
Вектор  $\vec{v}$  направлен по касательной к траектории движения.

Модуль перемещения и расстояние, пройденное за малое время, совпадают, тогда модуль вектора скорости равен производной от пути

$$v = \frac{ds}{dt} = s'$$

Путь, пройденный за время  $t=t_2-t_1$   
равен интегралу от скорости  $s = \int_{t_1}^{t_2} v \cdot dt$

*Движение материальной точки также описывают с помощью ее координат  $x, y, z$ .*

---

*В этом случае, чтобы определить скорость  $v$ , сначала вычисляют проекции скорости на оси  $x, y, z$ , которые равны производным от соответствующих координат по времени*

$$v_x = \frac{dx}{dt} = x' \quad , \quad v_y = \frac{dy}{dt} = y' \quad , \quad v_z = \frac{dz}{dt} = z' \quad .$$

*Тогда величина скорости (модуль скорости):*

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad .$$

# УСКОРЕНИЕ

*скорость изменения вектора скорости во времени*

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{r}}$$

*- ускорение*

*материальной точки.*

*Ускорение  $\vec{a}$  есть вторая производная от радиус-вектора  $\vec{r}$  по времени  $t$  (две точки означают вторую производную по времени  $t$ ). Легко установить связь с координатным представлением ускорения:*

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} = \ddot{x} \vec{i} + \ddot{y} \vec{j} + \ddot{z} \vec{k}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

*- модуль вектора*

*ускорения.*

# Обратная задача кинематики

заключается в том, чтобы по известному значению ускорения  $a(t)$  найти скорость точки и восстановить траекторию движения  $r(t)$ .

По определению 
$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt},$$

Отсюда 
$$v(t) = v(t_0) + \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt$$

или, так как 
$$v(t) = \frac{dr}{dt},$$

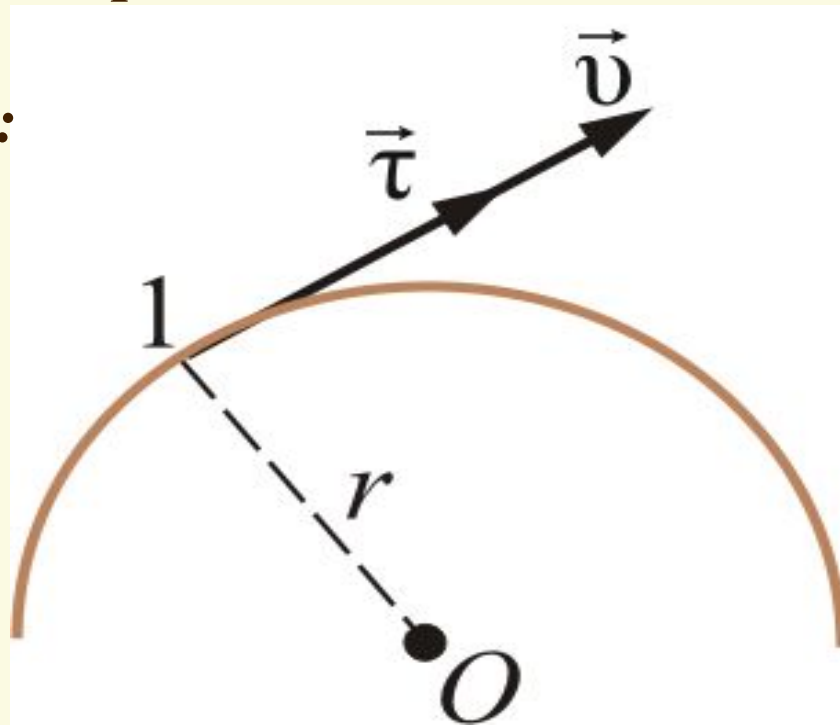
Следовательно 
$$r(t) = r(t_0) + \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt.$$

## Кинематика криволинейного движения

Введем единичный вектор  $\vec{\tau}$ , связанный с точкой 1 и направленный по касательной к траектории движения точки 1 (векторы  $\vec{v}$  и  $\vec{\tau}$  в точке 1 совпадают).

Тогда можно записать:

$$\vec{v} = v\vec{\tau};$$

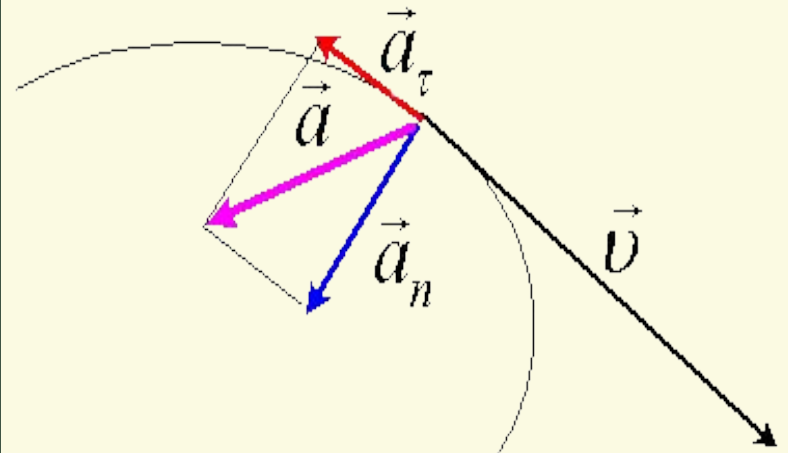
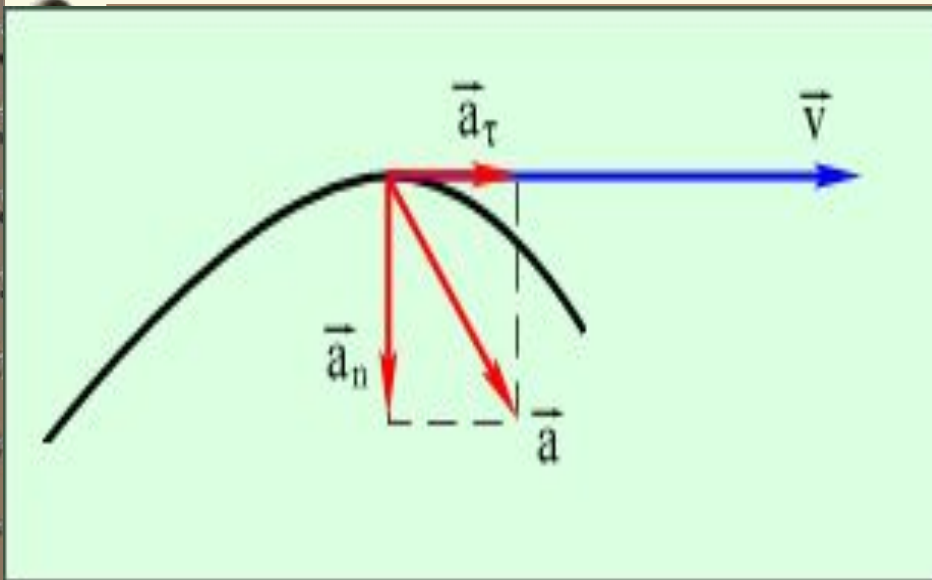


$$\vec{a} = \frac{d}{dt} (v\vec{\tau}) = \vec{\tau} \frac{dv}{dt} + v \frac{d\vec{\tau}}{dt} = a_{\tau} + a_n;$$



# ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

*Тангенциальное ускорение характеризует изменение скорости по величине.*

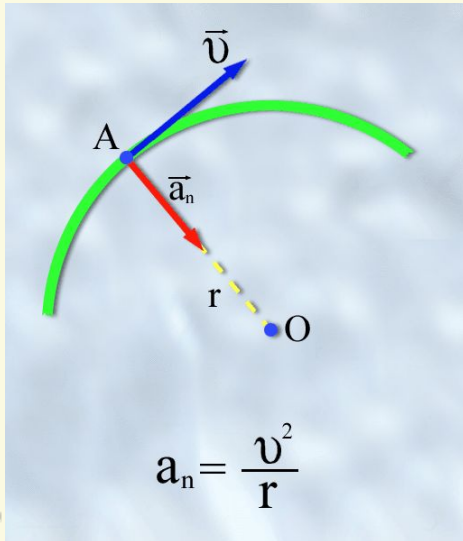


$$a_\tau > 0;$$

$$a_\tau < 0;$$

$$\boxed{a_\tau} = a_\tau \boxed{\tau}; \quad a_\tau = \frac{dV}{dt} = \dot{V};$$

# НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ



*Нормальное ускорение характеризует изменение скорости по направлению.*

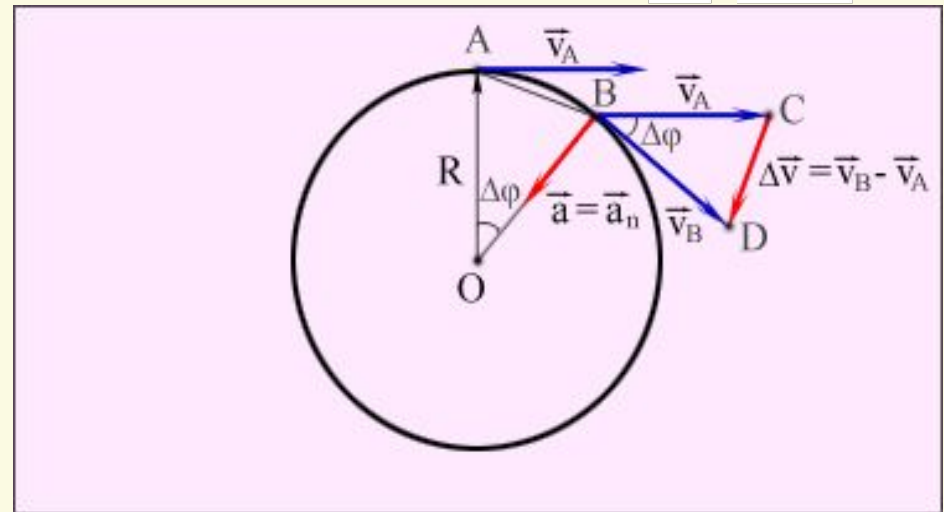
При  $V = const \rightarrow |\Delta \vec{V}| = 2V \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)$

$$a_n = a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta V|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[ \frac{2V}{\Delta t} \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) \right]$$

т.к.  $\Delta t \rightarrow 0$ , тогда  $\Delta\varphi \rightarrow 0$  и  $\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) \rightarrow \frac{\Delta\varphi}{2}$

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

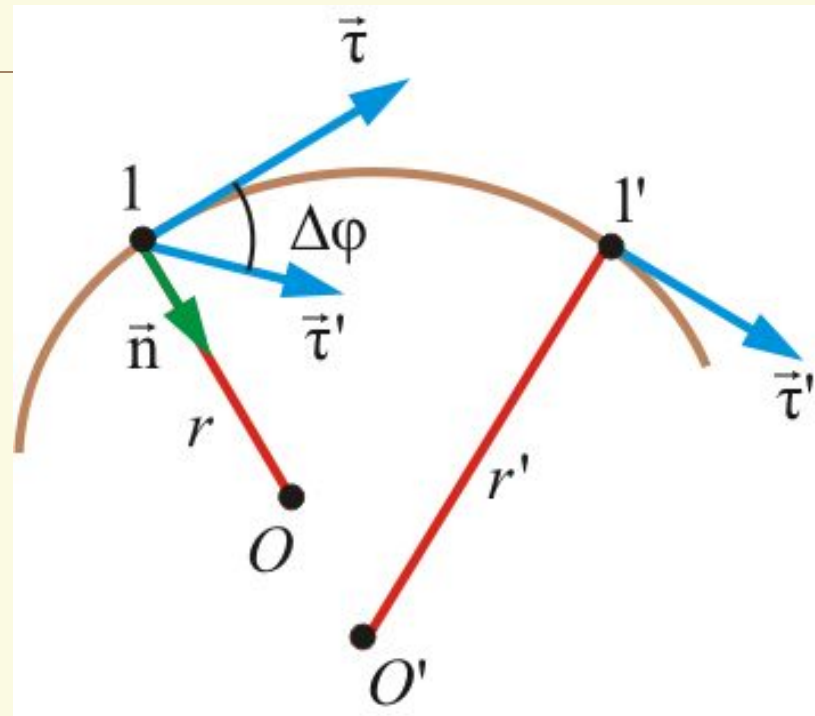
$$= V \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = V \cdot \omega$$



Степень искривленности плоской кривой характеризуется **кривизной  $C$** .

### Радиус кривизны $R$

– радиус такой окружности, которая сливается с кривой в данной точке на бесконечно малом ее участке  $dS$ .

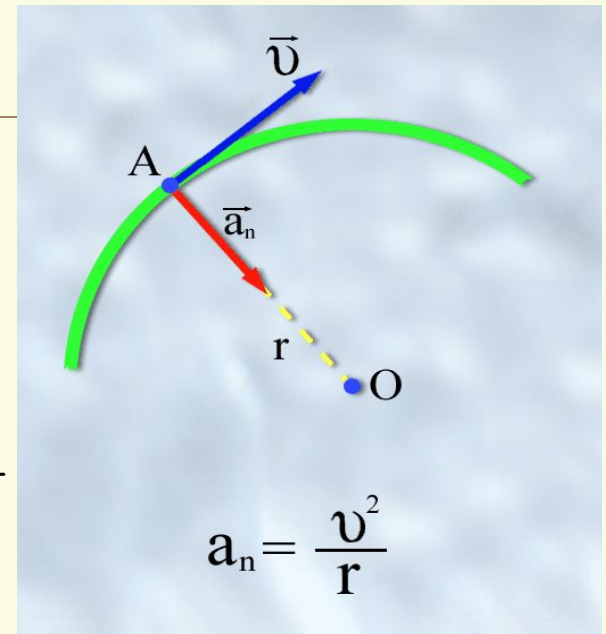


$$R = \frac{1}{C} = \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta\varphi} = \frac{dS}{d\varphi}.$$

# Модуль нормального ускорения

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( V \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right) = V \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \varphi}{\Delta S} \frac{\Delta S}{\Delta t} \right) =$$

$$V \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \varphi}{\Delta S} \right) \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta S}{\Delta t} \right) = V \cdot \frac{1}{R} \cdot V = \frac{V^2}{R}$$

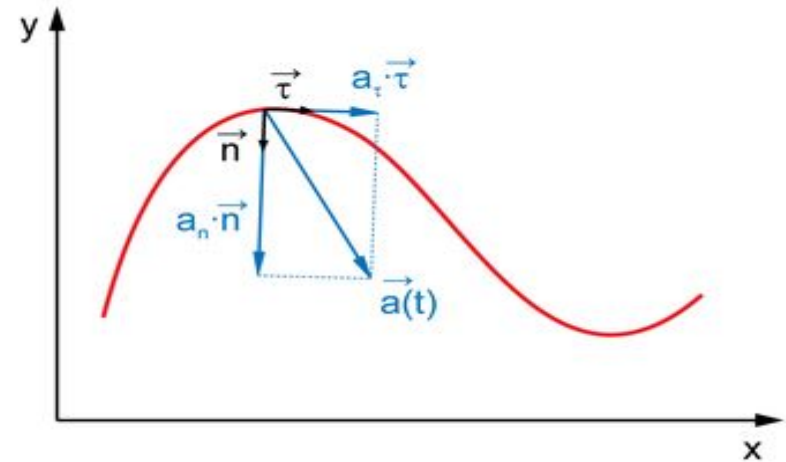
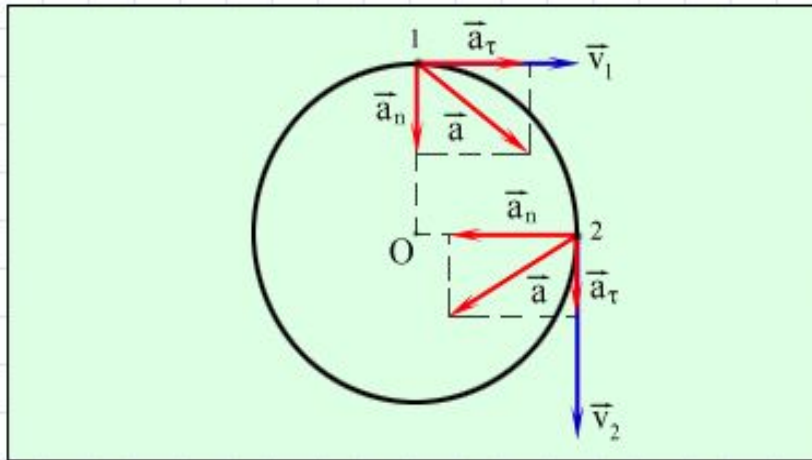


$$\vec{a}_n = \frac{V^2}{R} \vec{n}$$

*Нормальное ускорение или центростремительное, т.к. направлено оно к центру кривизны, перпендикулярно  $\vec{V}$*

*$\vec{n}$  - единичный вектор нормали к касательной*

# Полное ускорение



$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n = \dot{V}\vec{\tau} + V\dot{\vec{\tau}};$$

$$\vec{a}_n = V\omega\vec{n} = \dot{V}\vec{\tau} \Rightarrow \vec{\tau} = \omega\vec{n};$$

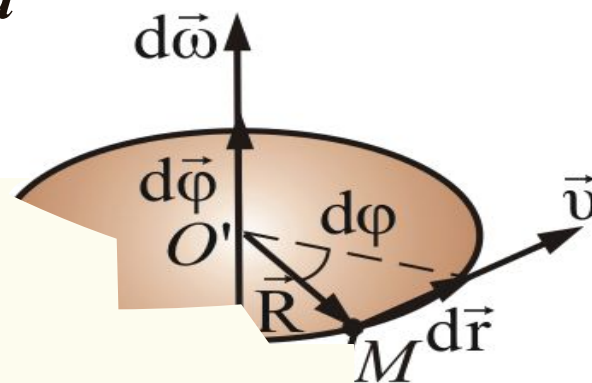
$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{V^2 + V^2\omega^2} = \sqrt{V^2 + \frac{V^4}{R^2}};$$

# УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ

Угол поворота  $d\varphi$  характеризует перемещения точки  $M$  за время  $dt$  (угловой путь)

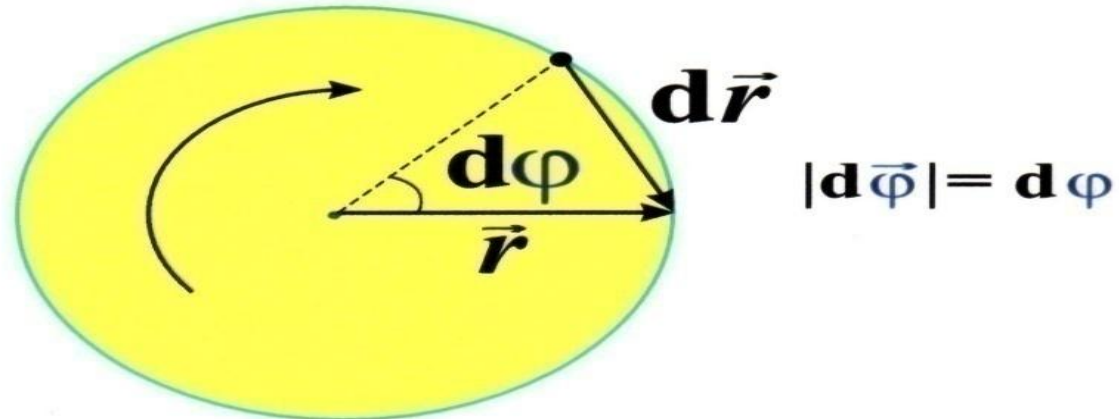
Удобно ввести  $d\vec{\varphi}$  – вектор элементарного поворота тела, численно равный  $d\varphi$  и направленный вдоль оси вращения так, чтобы глядя вдоль вектора  $d\vec{\varphi}$  мы видели вращение по часовой стрелке (направление вектора

$d\vec{\varphi}$  и направление вращения связаны правилом буравчика).



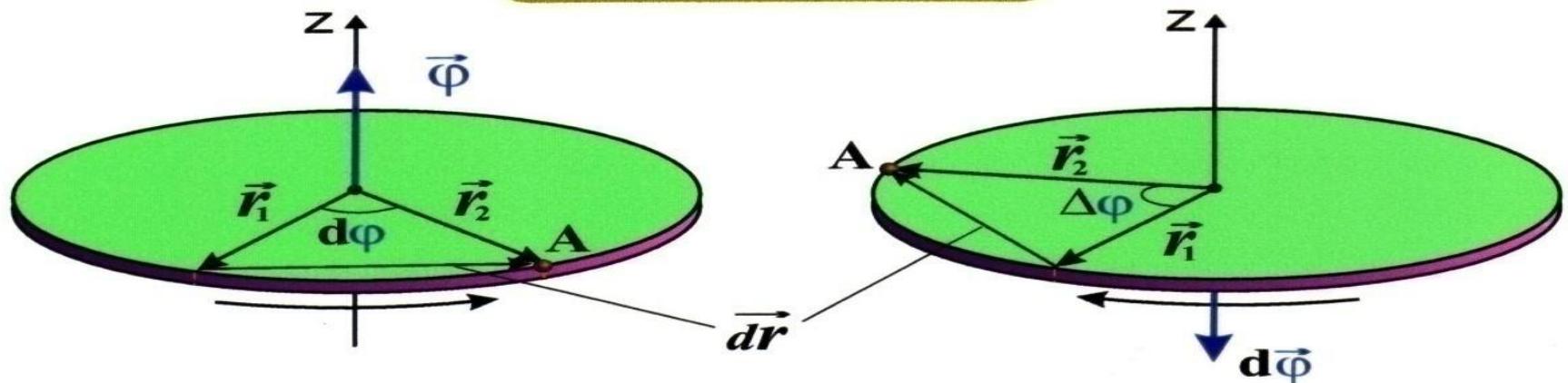
## Угловое перемещение

Угловое перемещение  $d\vec{\varphi}$  точки **A** есть вектор, модуль которого равен углу поворота радиуса-вектора этой точки за промежуток времени  $dt$



Вектор  $d\vec{\varphi}$  направлен вдоль оси вращения в сторону  $d\vec{\varphi}$  поступательного движения правого винта при совпадении направления вращения винта и тела

$$d\vec{r} = d\vec{\varphi} \times \vec{r}$$



*Угловой скоростью*  $\vec{\omega}$  называется вектор численно равный первой производной от угла поворота по времени и направленный вдоль оси вращения в направлении  $d\vec{\varphi}$  ( $\vec{\omega}$  и  $d\vec{\varphi}$  всегда направлены в одну сторону).

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

*Модуль угловой скорости*

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



# Связь линейной и угловой скорости

Пусть  $v$  – линейная скорость точки  $M$ .

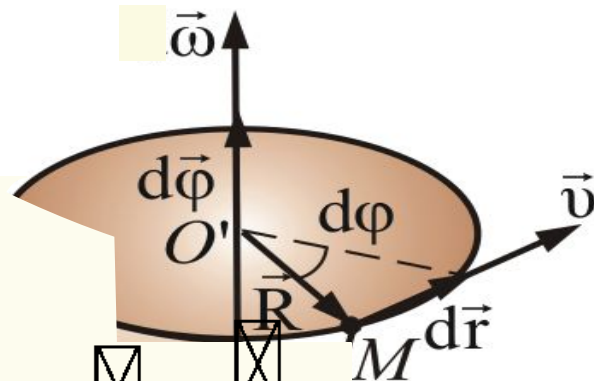
За промежуток времени  $dt$  точка  $M$  проходит путь  $dr = v dt$ . В то же время  $d\varphi = R d\varphi$  (центральный угол).

Тогда,

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{R d\varphi}{dt} = \omega R$$

В векторной форме

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



Если  $\omega = \text{const}$ , то вращение равномерное и его можно характеризовать **периодом вращения**  $T$ .

Это время, за которое точка совершает один полный оборот, т.е. поворачивается на угол  $2\pi$ .

Так как промежутку времени  $\Delta t = T$  соответствует  $\Delta\varphi = 2\pi$ , то  $\omega = 2\pi / T$  то

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

Число полных оборотов, совершаемых телом при равномерном движении по окружности, в единицу времени называется **частотой вращения**  $\nu$ :

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}; \quad \omega = 2\pi\nu \quad - \text{циклическая частота.}$$

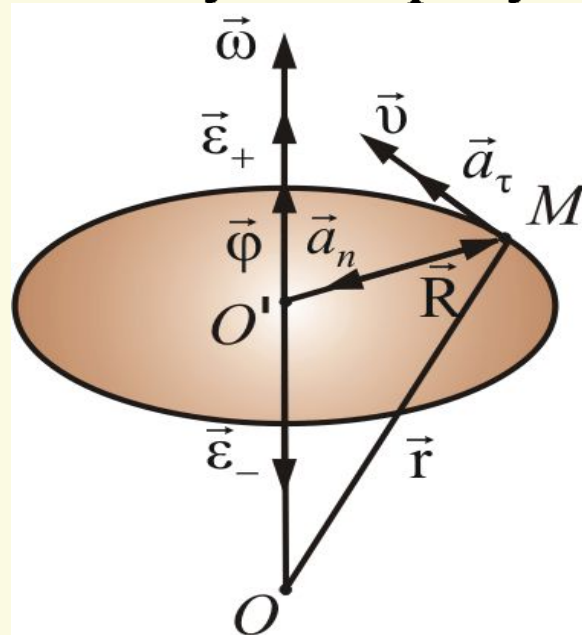
**Вектор углового ускорения  $\vec{\varepsilon}$**   
(неравномерное вращение точки)

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

Вектор  $\vec{\varepsilon}_+$  направлен в ту же сторону, что и  $\vec{\omega}$  при ускоренном вращении  $\left(\frac{d\omega}{dt} > 0\right)$

а  $\vec{\varepsilon}_-$  направлен в противоположную сторону при замедленном вращении

$$\left(\frac{d\omega}{dt} < 0\right)$$

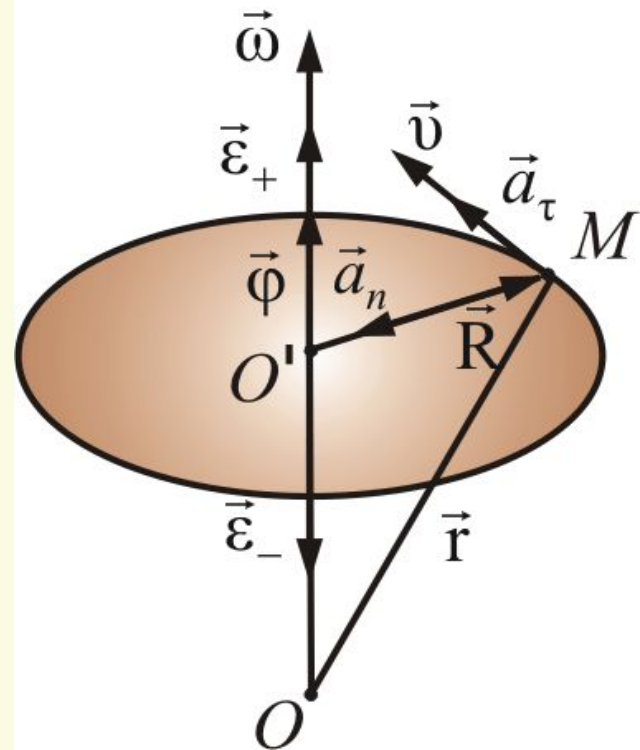


*Связь тангенциального и нормального ускорения с угловым ускорением и скоростью*

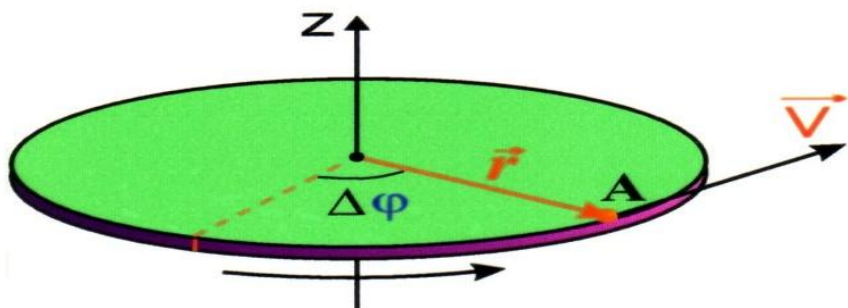
$$a_{\tau} = \frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega \cdot R) = R \frac{d\omega}{dt} = R \cdot \varepsilon \Rightarrow a_{\tau} = R \cdot \varepsilon$$

$$a_{\tau} = R\varepsilon;$$

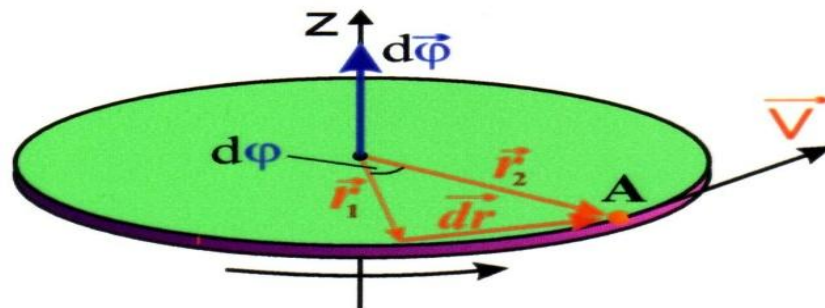
$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$



## Угловая скорость



$$\omega_{cp} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$



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

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

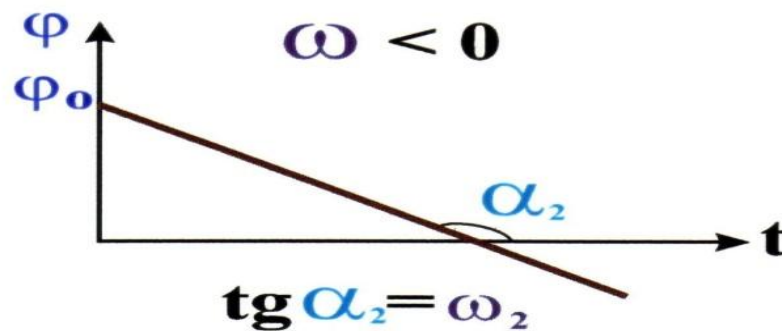
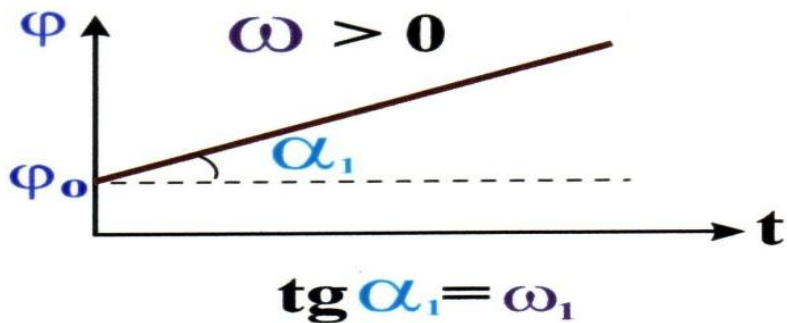
$$d\vec{r} = d\vec{\varphi} \times \vec{r}$$

$$\left. \begin{array}{l} \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \\ d\vec{r} = d\vec{\varphi} \times \vec{r} \end{array} \right\} \rightarrow \vec{v} = \frac{d\vec{\varphi} \times \vec{r}}{dt}$$

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

Если  $\vec{\omega} = \text{const}$  - тело вращается равномерно

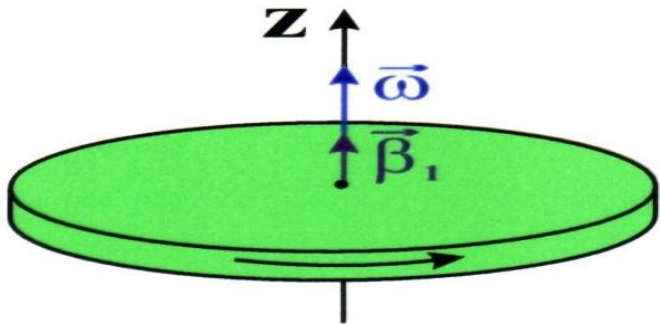
$$\varphi = \varphi_0 + \omega t$$



# Равнопеременное вращение

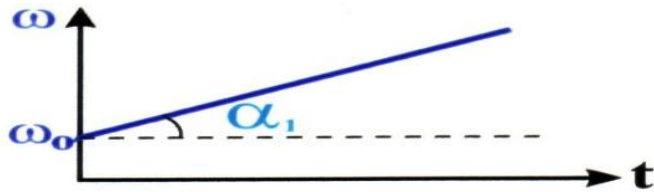
Угловое ускорение:  $\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$

Равнопеременное вращение:  $\vec{\beta} = \text{const}$

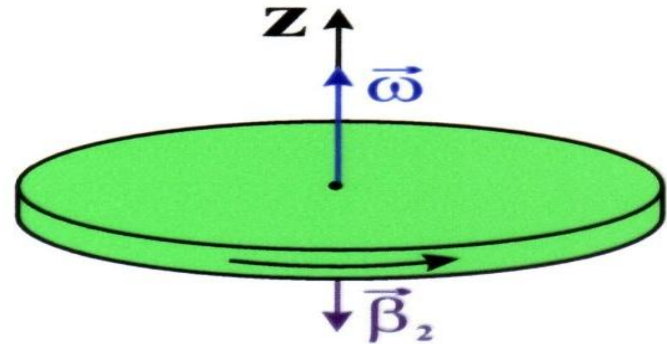


$$\Delta\omega > 0 \quad \vec{\beta}_1 \uparrow \uparrow \vec{\omega}$$

$$\omega = \omega_0 + \beta_1 t$$

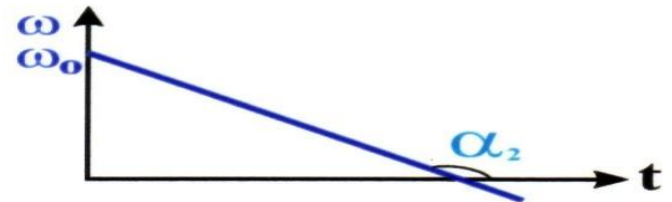


$$\begin{aligned} \text{tg } \alpha_1 &= \beta_1 \\ \text{tg } \alpha_2 &= \beta_2 \end{aligned}$$

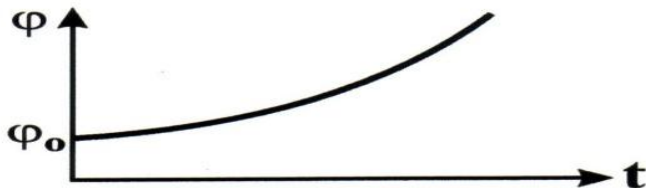


$$\Delta\omega < 0 \quad \vec{\beta}_2 \uparrow \downarrow \vec{\omega}$$

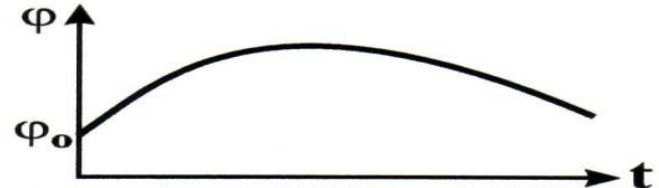
$$\omega = \omega_0 - \beta_2 t$$

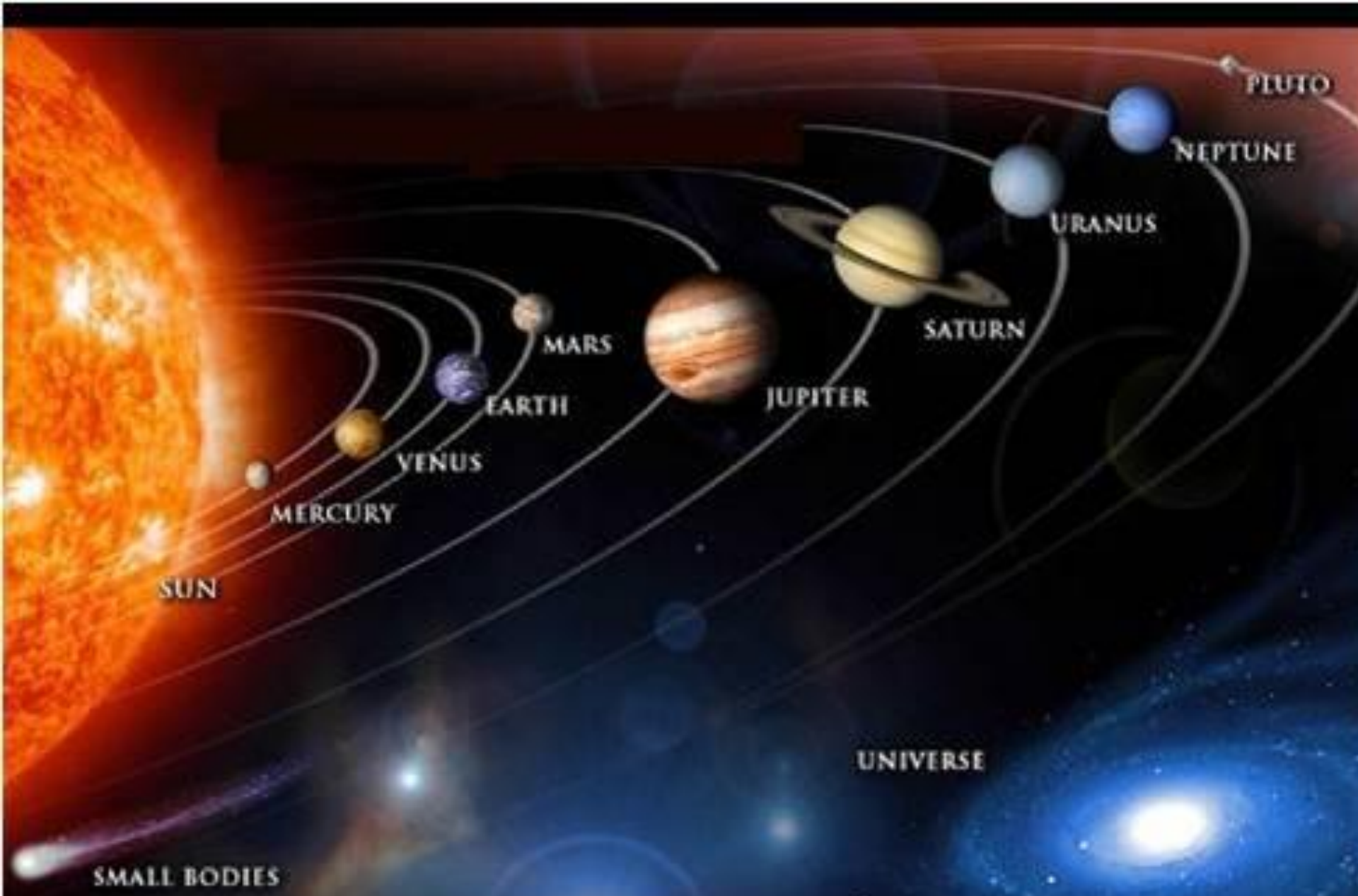


$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\beta_1 t^2}{2}$$



$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t - \frac{\beta_2 t^2}{2}$$





**ЛЕКЦІЯ ЗАКОНЧЕНА!**