

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 угловое 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.

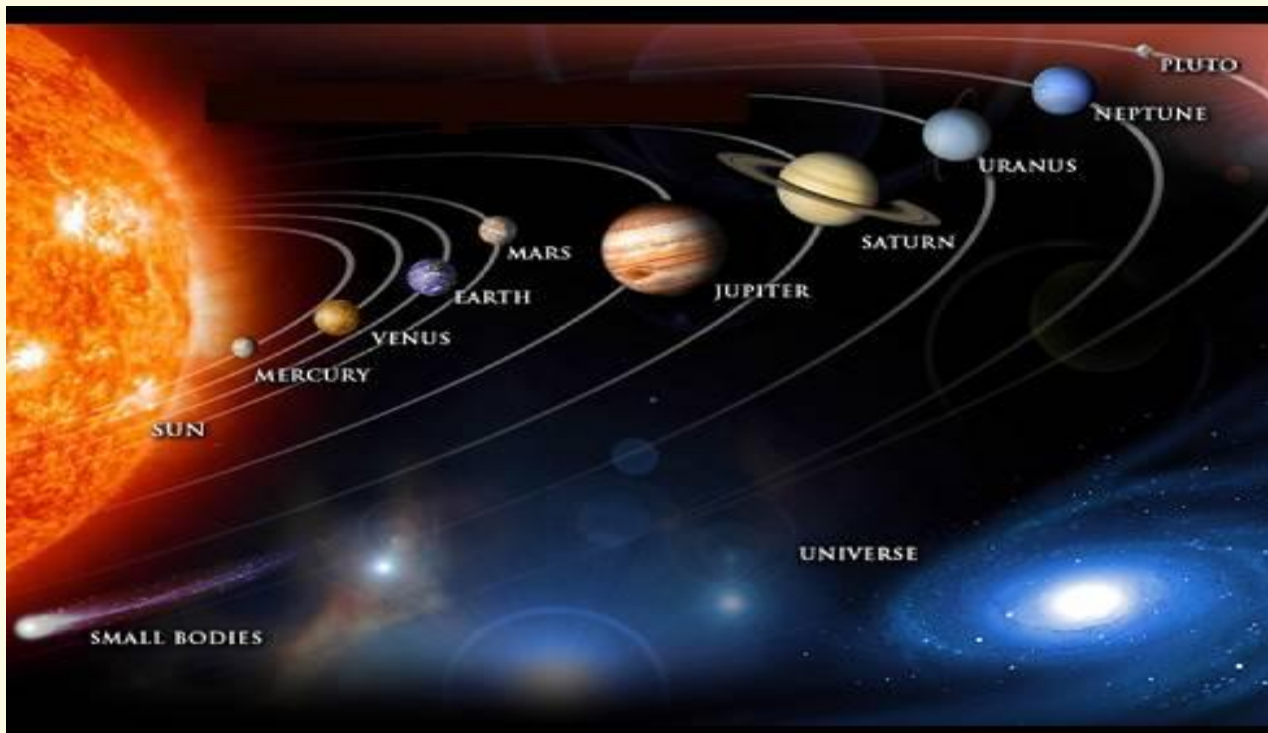


В настоящее время физика изучает наиболее общие закономерности неживой природы, строение и свойства материи, законы движения материи и временной эволюции Вселенной.

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.

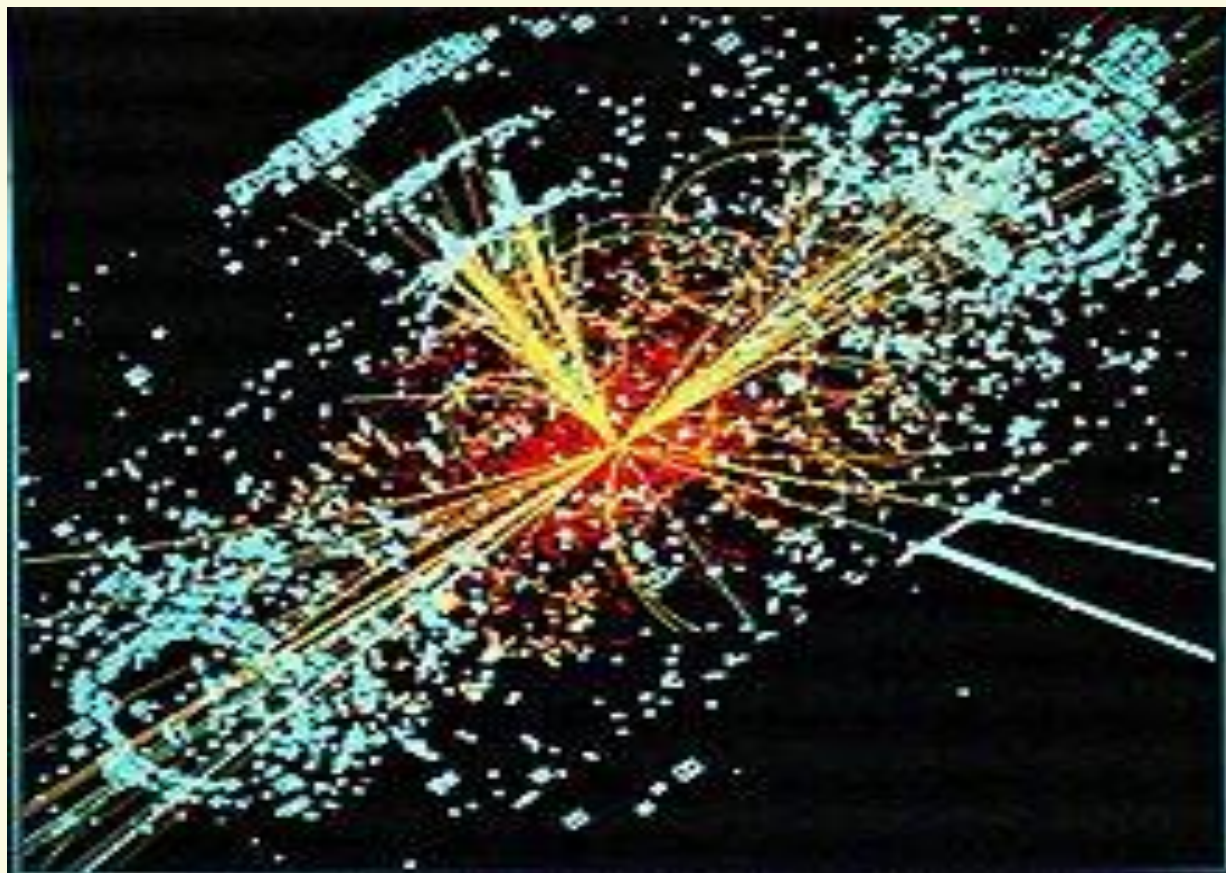


Современные достижения в физики

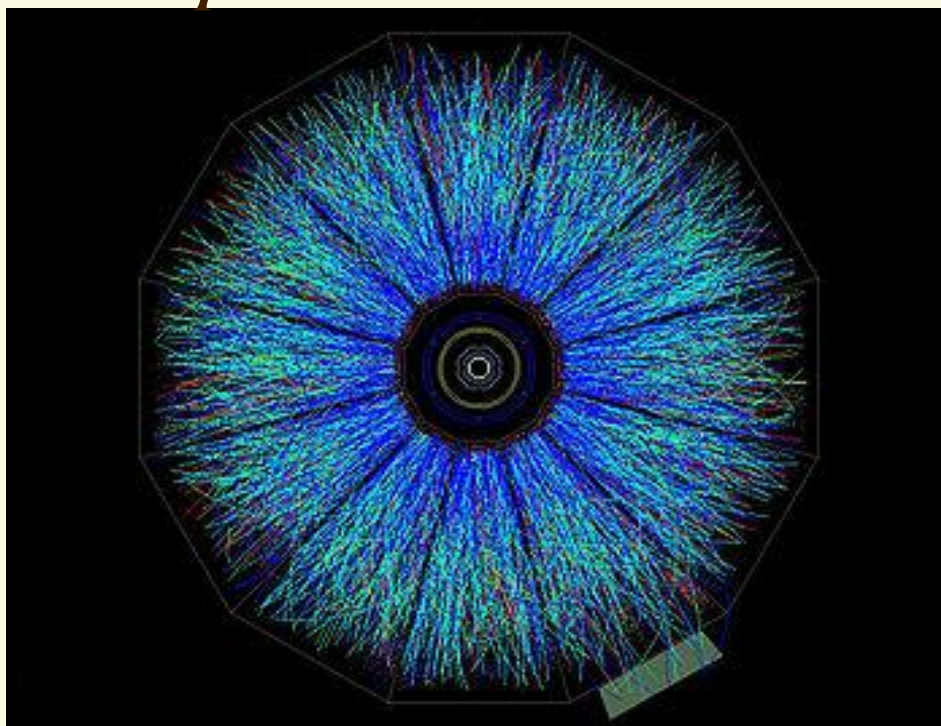
1) открытие антигравитации, связанной с так называемой «темной энергией» и приводящей к ускоренному расширению нашей Вселенной



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



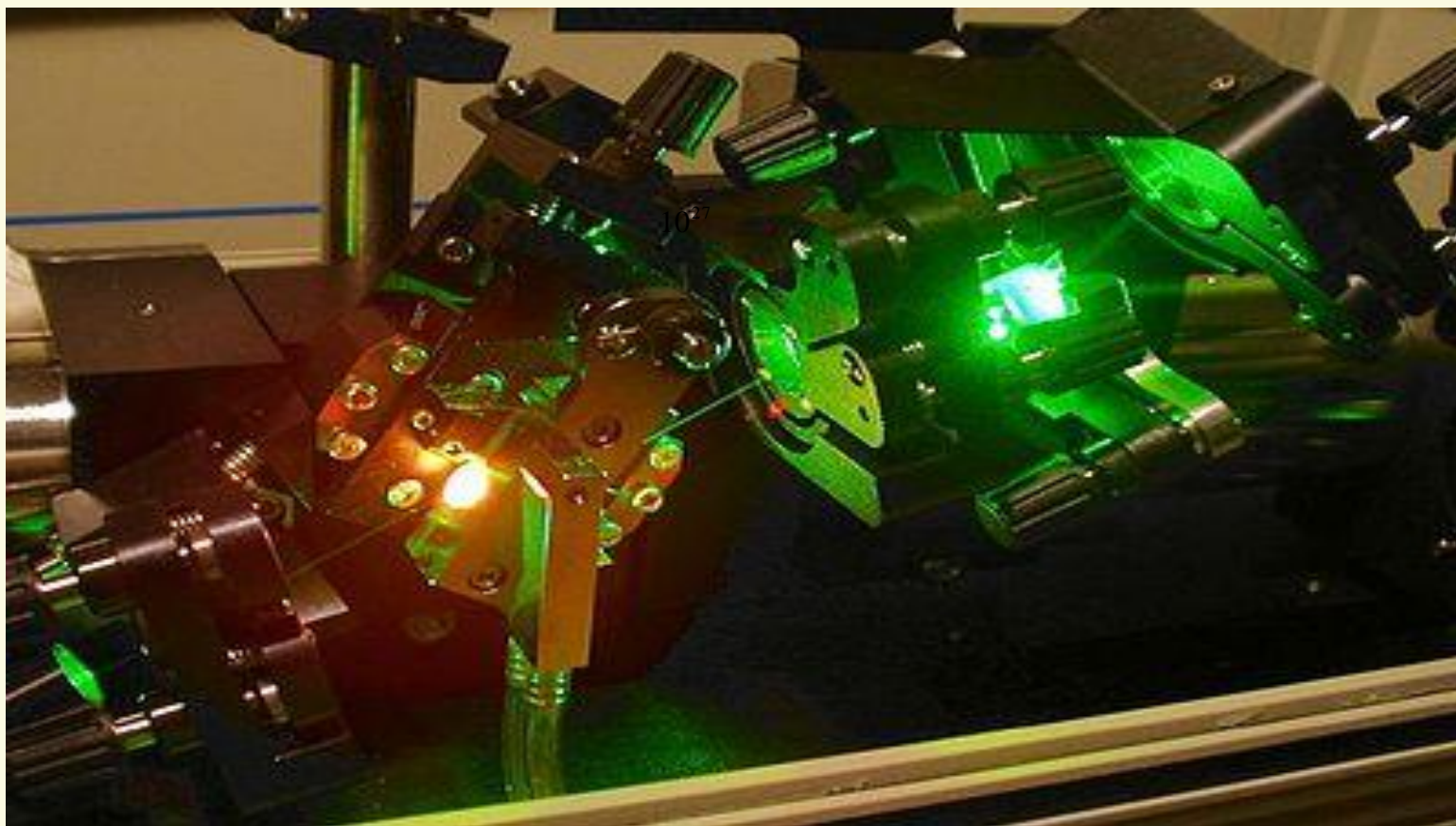
Образование кварк-глюонной плазмы в точке столкновения разогнанных ионов золота в центре детектора

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

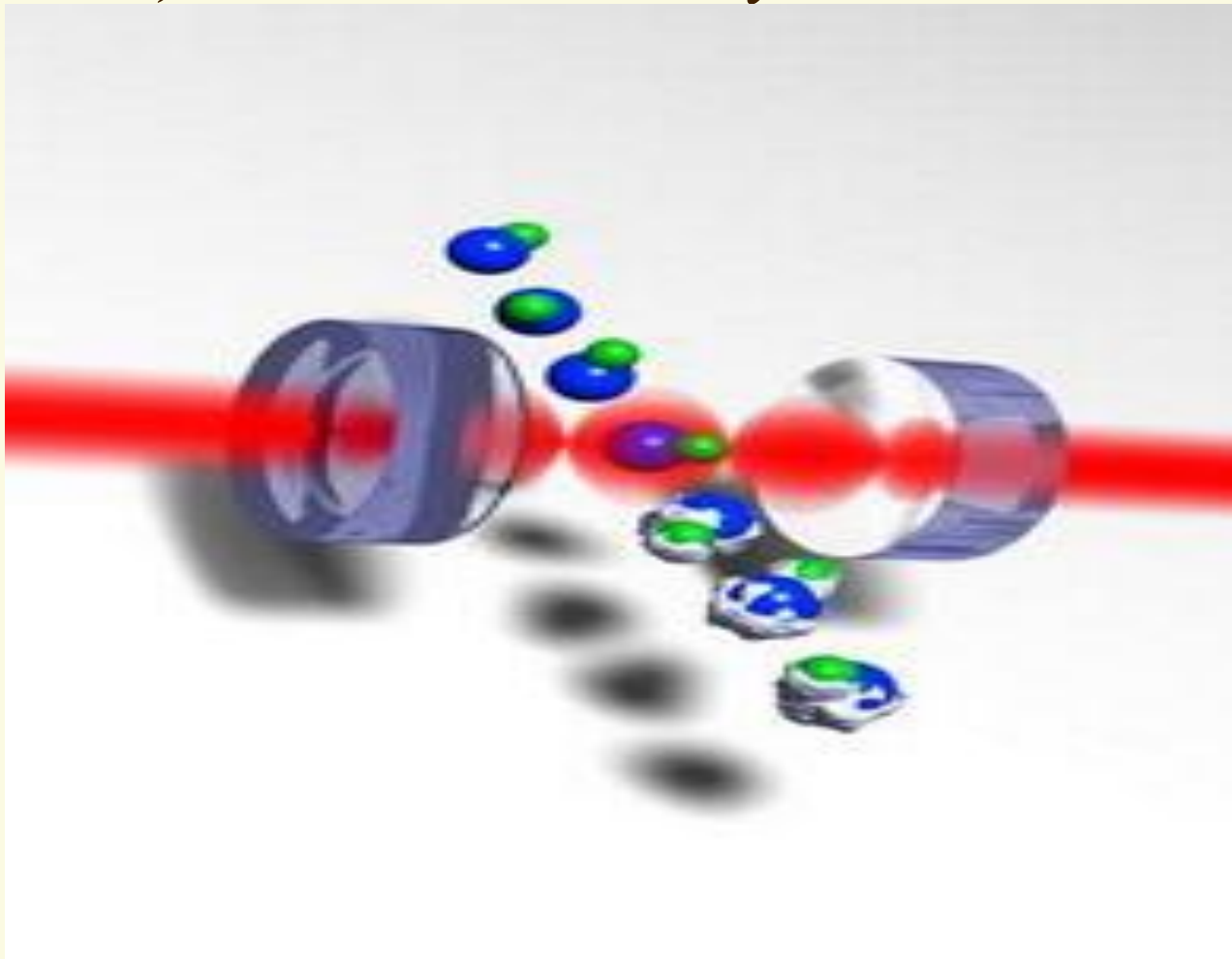


*Вид на ускорительный центр Fermilab, США.
Теватрон (кольцо на заднем плане) и кольцо-инжектор.*

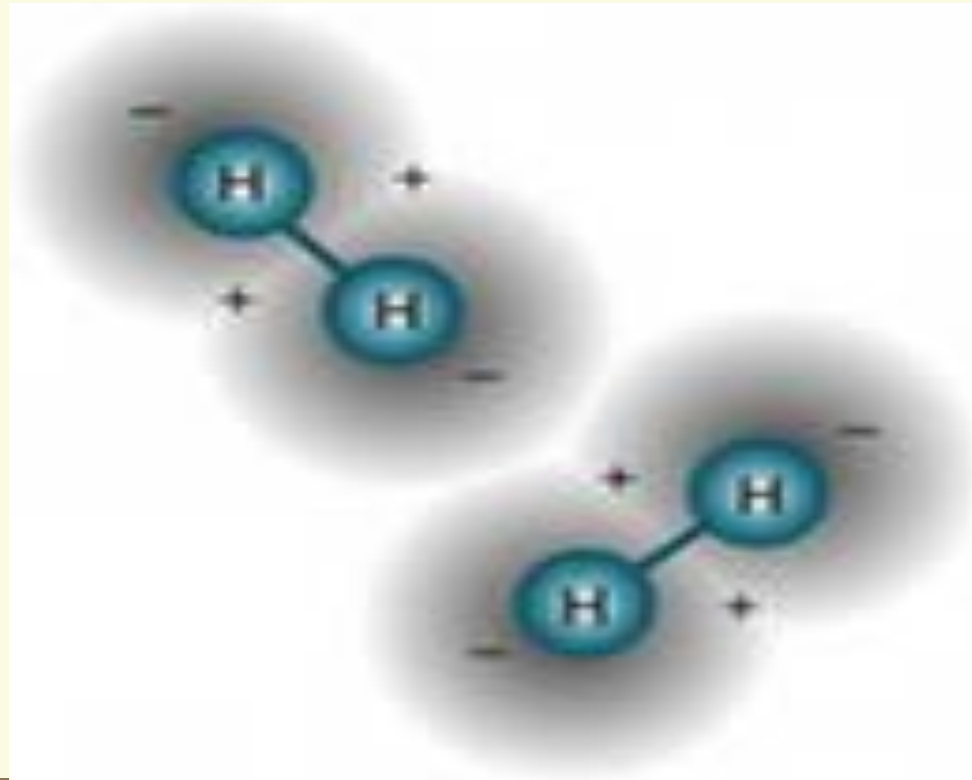
5) путем фокусировки излучения титан - сапфирового лазера пятно диаметром ~ 1 мкм получена интенсивность $\sim 10^{22}$ Вт /см² при такой интенсивности излучение Солнца мощностью 10^{27} Вт должно быть локализовано на площади в 10 м²)



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) σ_0 , где $\sigma_0 = \frac{2e^2}{h}$ – квант электрической проводимости)



8) рекордно низкие температуры для бозе-эйнштейновского конденсата атомов Na составляют $\sim 10^{-10}$ K (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

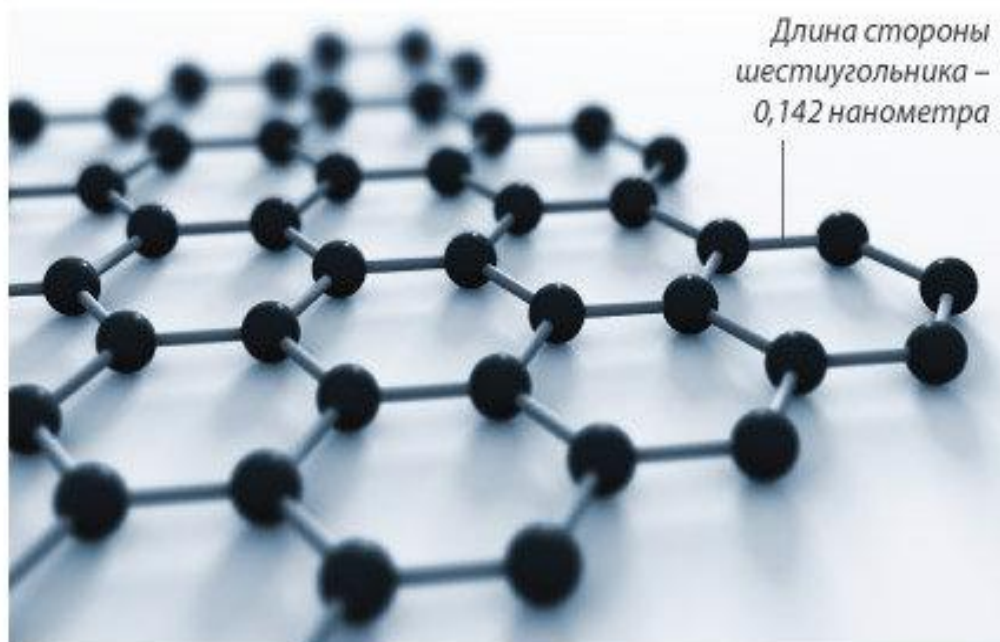


11) С помощью космического телескопа Чандра и телескопа Гемини (Гавайи) в галактике М33 в двойной системе обнаружена черная дыра с массой 15,7 масс Солнца. Эта черная дыра превосходит по массе все известные черные дыры, образовавшиеся при взрывах сверхновых.



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 решётку 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.

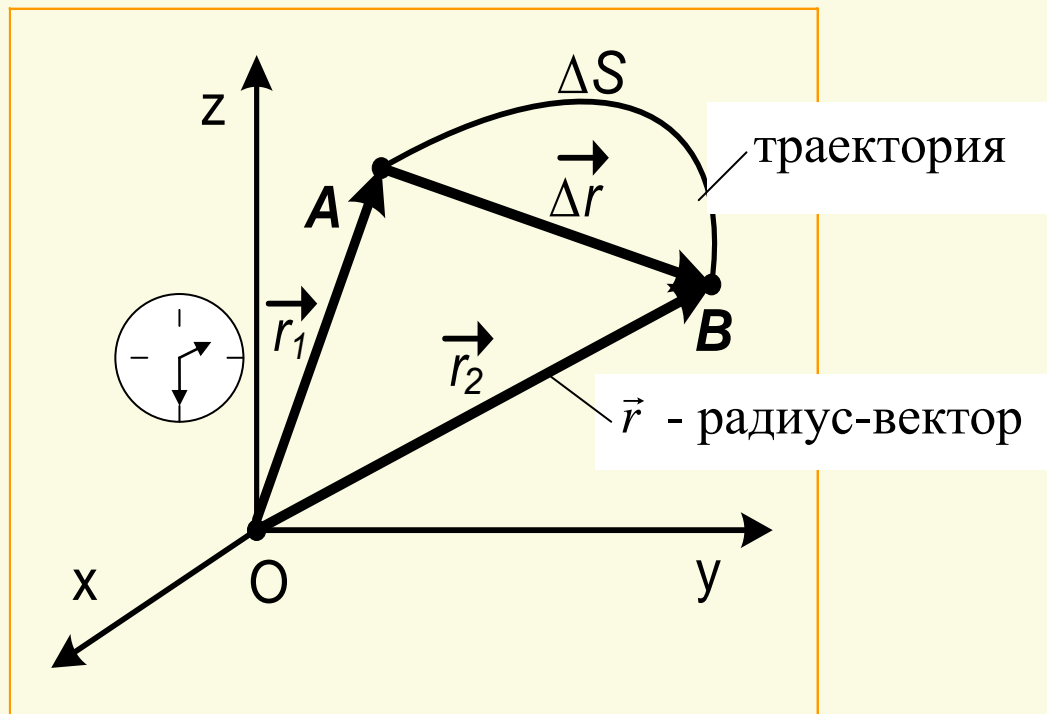
Система отсчета включает :

*1) тело отсчёта **O**;*

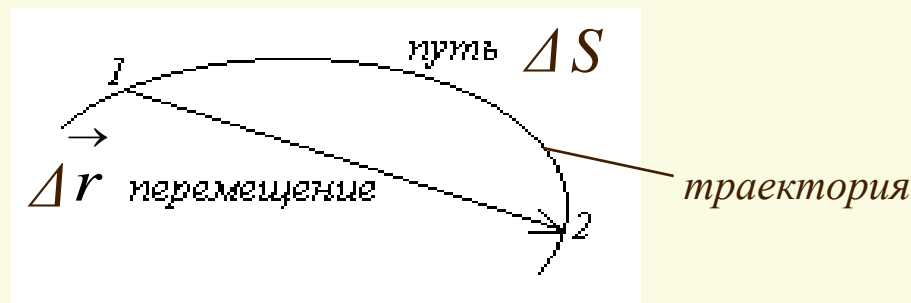
2) связанную с ним систему

*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.

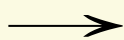


Путь ΔS - это расстояние между точками 1 и 2, отсчитанное вдоль траектории.

Перемещение Δr - это прямолинейный отрезок, проведенный из точки 1 в точку 2.

Радиус-вектор материальной точки

Положение точки A определяется **радиусом-вектором**



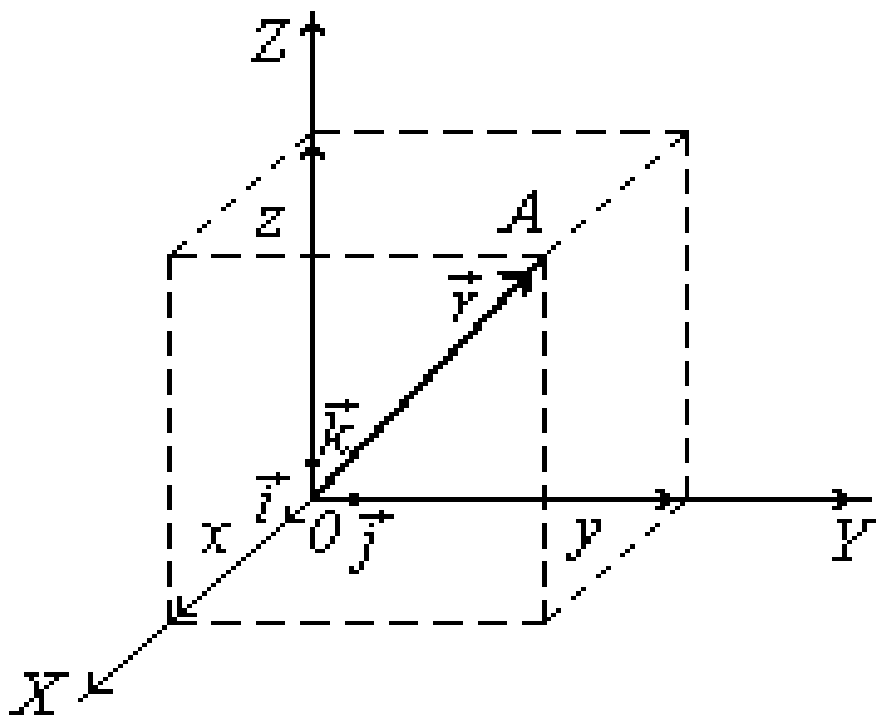
\vec{r} проведенным из начала отсчета в данную точку A .
где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - единичные векторы
декартовой системы координат

Радиус-вектор равен

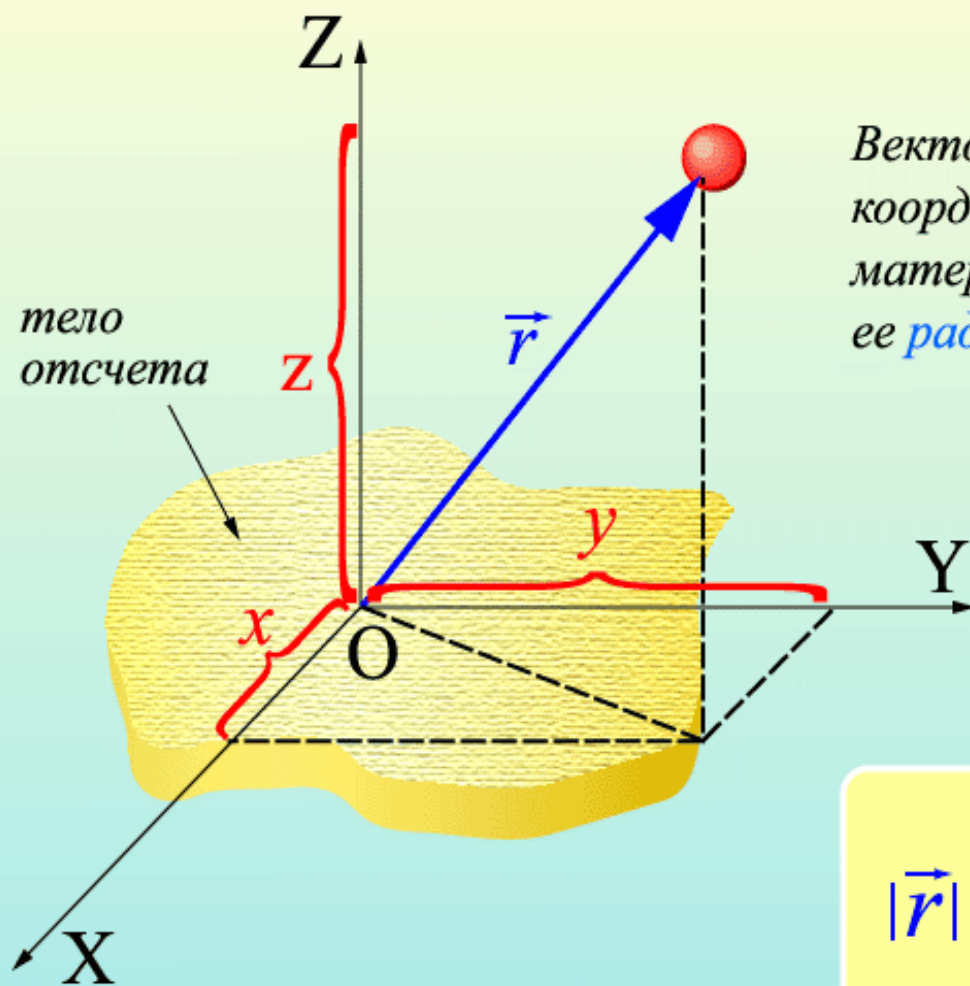
$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} + z \vec{k}$$

Модуль радиус-вектора \vec{r}

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



Радиус-вектор материальной точки



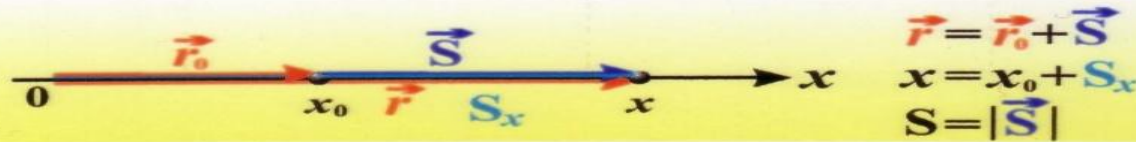
Вектор \vec{r} , проведенный из начала координат в место расположения материальной точки, называется ее **радиус-вектором**

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

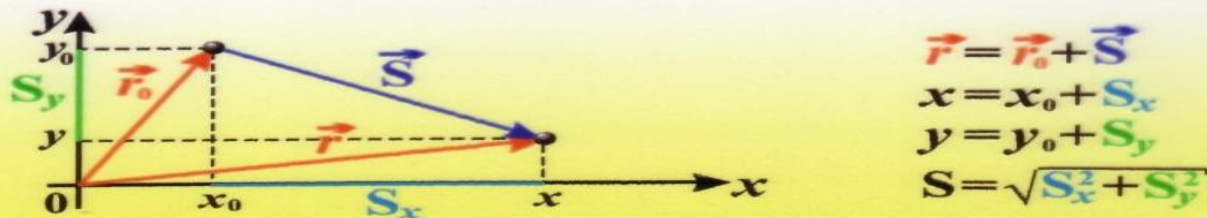
Перемещение тела и его координаты

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

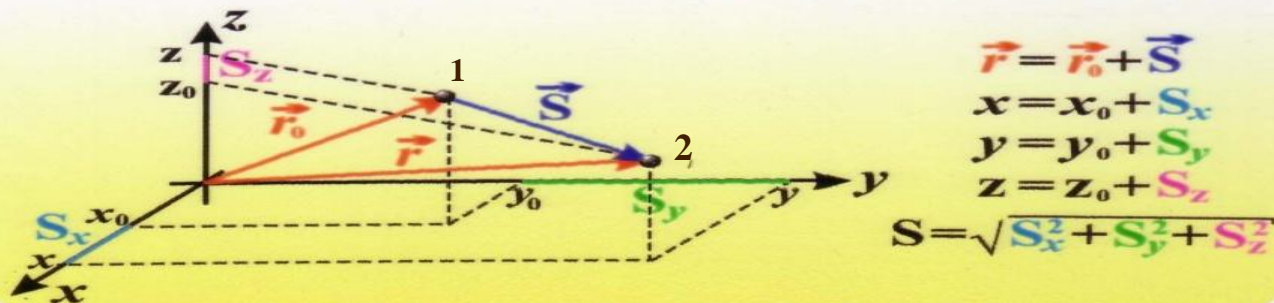
- I. Тело переместилось вдоль оси x из точки с координатой x_0 в точку с координатой x



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

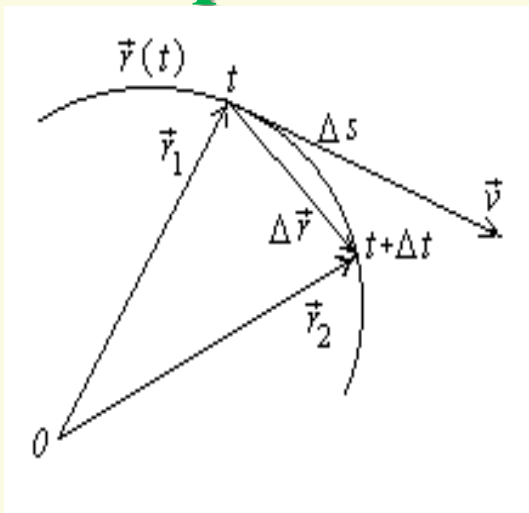


- III. Тело переместилось из точки 1 (x_0, y_0, z_0) в точку 2 (x, y, z)



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

Скорость точки (мгновенная скорость)



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

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

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

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

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

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

Тогда величина скорости (модуль скорости):

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

УСКОРЕНИЕ

скорость изменения вектора скорости во времени

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}$$

ускорение

материальной точки.

Ускорение \vec{a} есть вторая производная от радиус-вектора $\ddot{\vec{r}}$ 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

$$v(t) = v_0(t_0) + \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt$$

или, так как

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

Следовательно

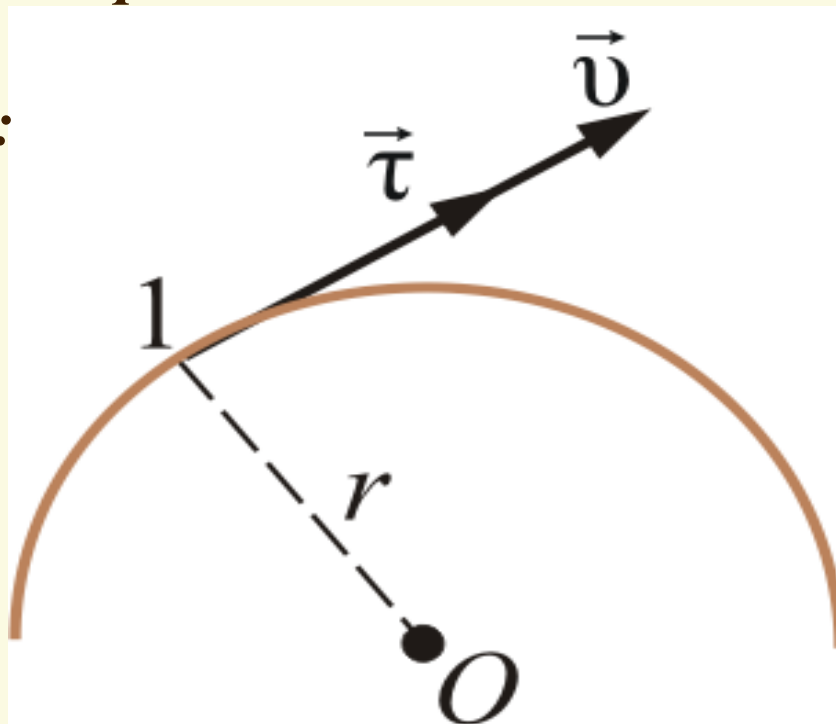
$$r(t) = r_0(t_0) + \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt.$$

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:

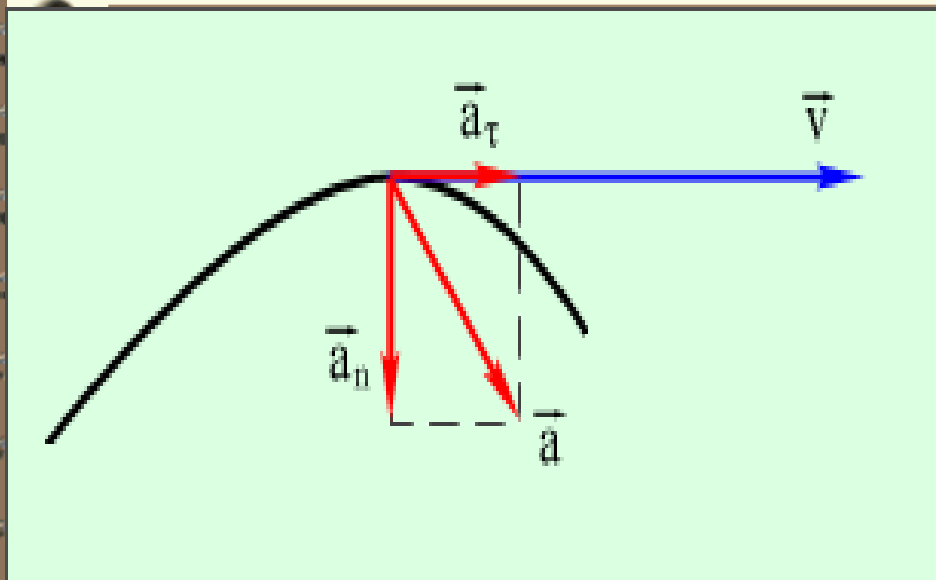
$$\vec{V} = V \vec{\tau};$$



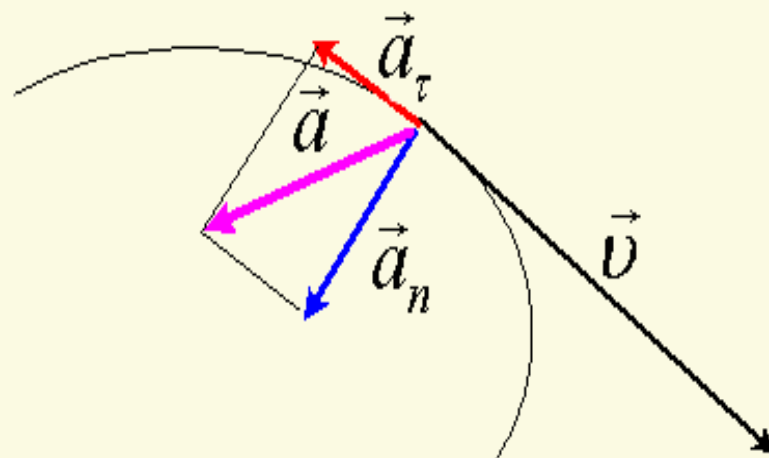
$$\vec{a} = \frac{d}{dt} (V \vec{\tau}) = \vec{\tau} \frac{dV}{dt} + V \frac{d\vec{\tau}}{dt} = \vec{a}_{\tau} + \vec{a}_n;$$

ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

Тангенциальное ускорение характеризует изменение скорости по величине.



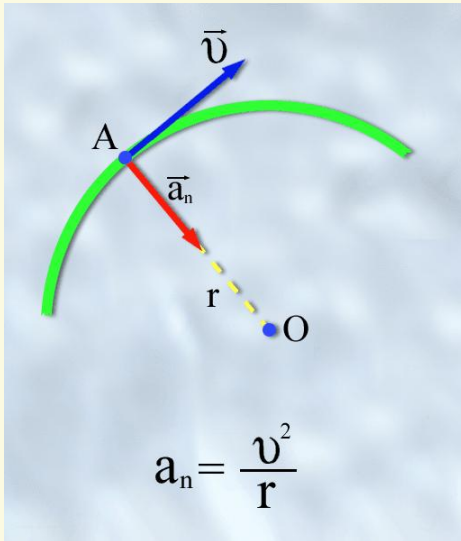
$$a_\tau > 0;$$



$$a_\tau < 0;$$

$$\vec{a}_\tau = a_\tau \vec{\tau}; \quad a_\tau = \frac{dV}{dt} = \dot{V};$$

НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ



Нормальное ускорение характеризует изменение скорости по направлению.

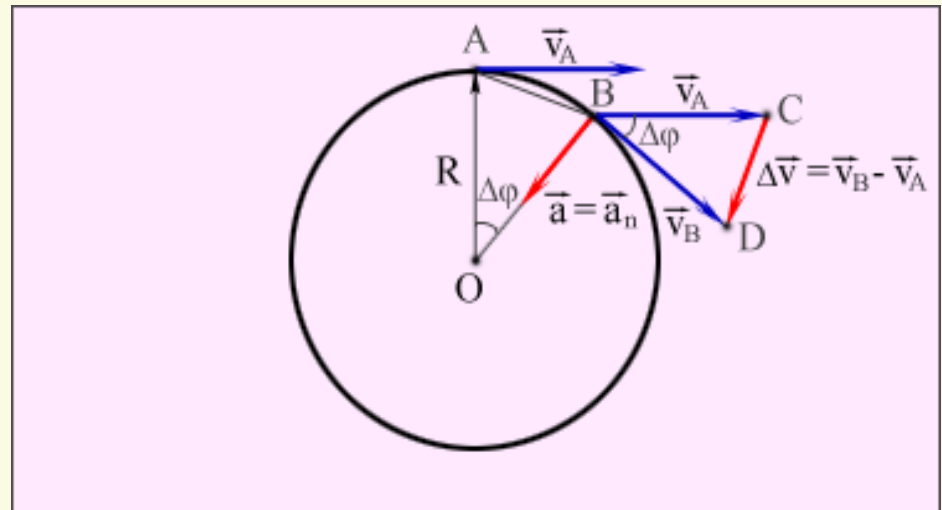
При $V = \text{const} \rightarrow |\Delta \vec{V}| = 2V \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)$

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

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

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

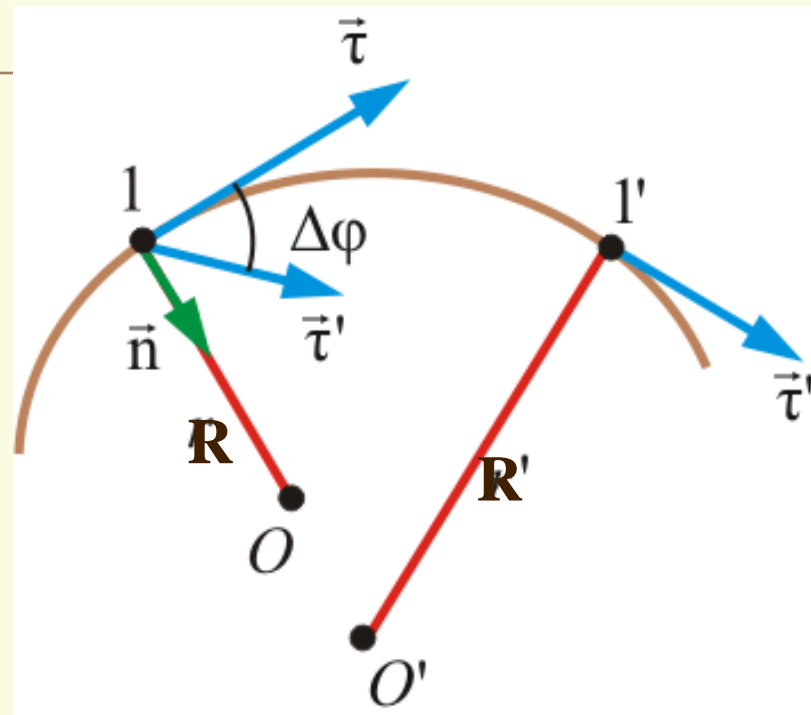
$$= V \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = V \cdot \omega$$



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 .

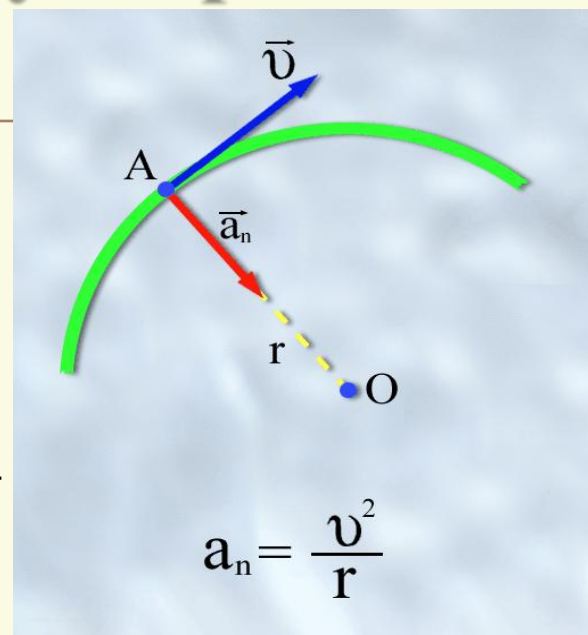


$$R = \frac{1}{C} = \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta\varphi} = \frac{dS}{d\varphi}.$$

Модуль нормального ускорения

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

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



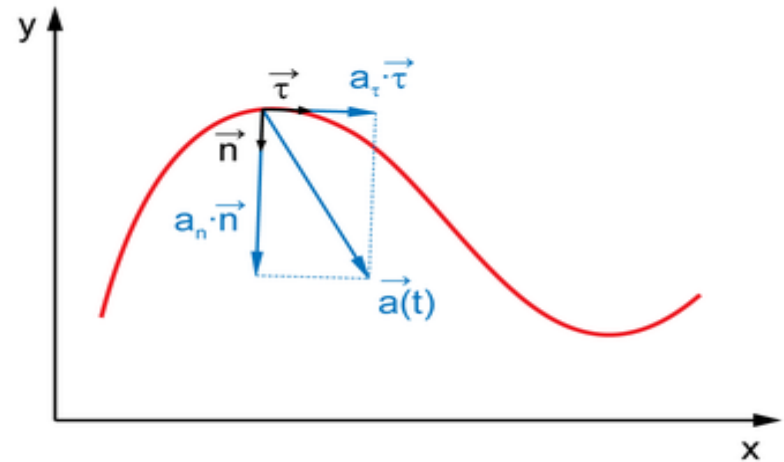
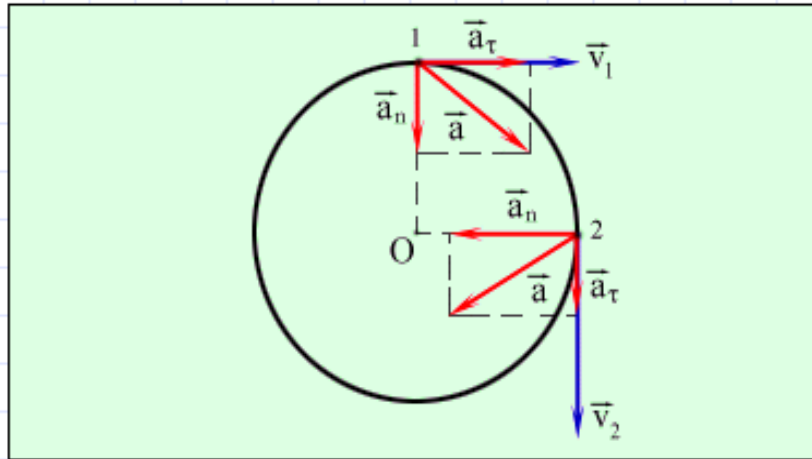
$$\vec{a}_n = \frac{V^2}{R} \vec{n}$$

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

\vec{n} - единичный вектор нормали к касательной

Полное ускорение

$$\vec{V} \neq \text{const}$$



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

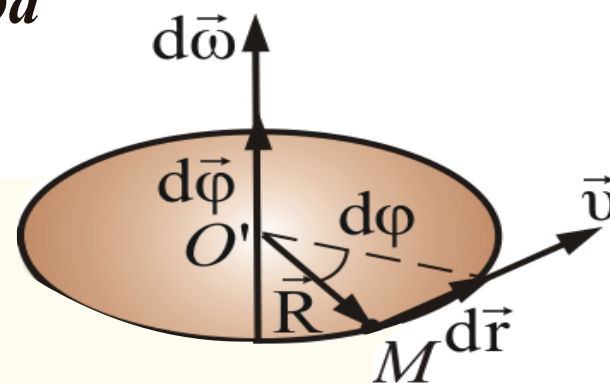
$$\vec{a}_n = V \omega \vec{n} = V \dot{\vec{\tau}} \Rightarrow \dot{\vec{\tau}} = \omega \vec{n};$$

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

УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ

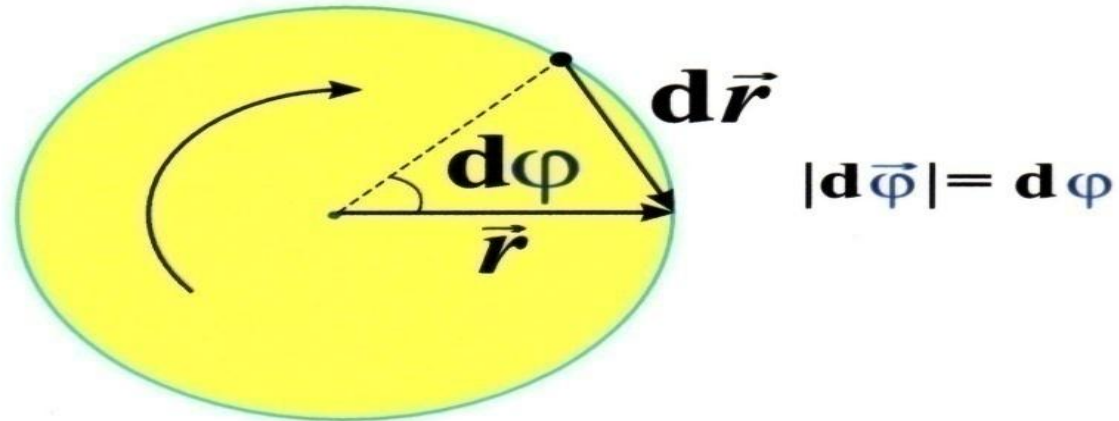
Угол поворота $d\varphi$ характеризует перемещения точки M за время dt (угловой путь)

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).



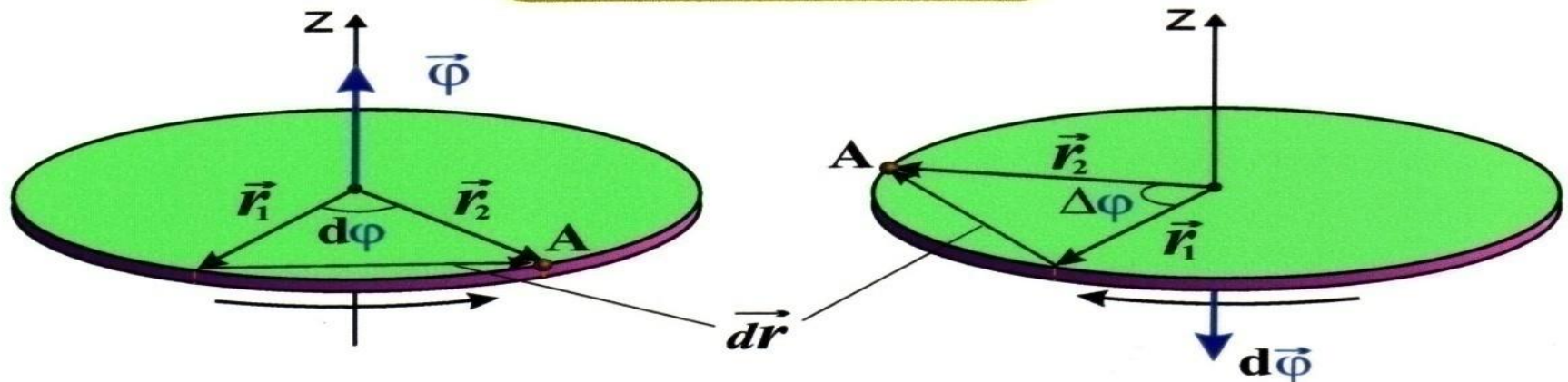
Угловое перемещение

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 $d\vec{\phi}$ ($\vec{\omega}$ и $d\vec{\phi}$ всегда направлены в одну сторону).

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

Модуль угловой скорости

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

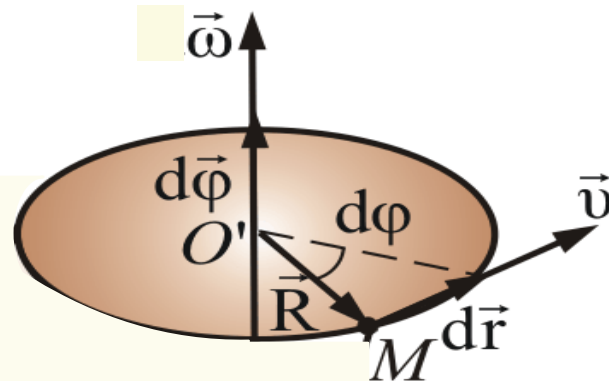
Связь линейной и угловой скорости

Пусть \vec{v} – линейная скорость точки M .

За промежуток времени dt точка M проходит путь $dr = v dt$. В то же время $dr = R d\varphi$ (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 2π .

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** ν :

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

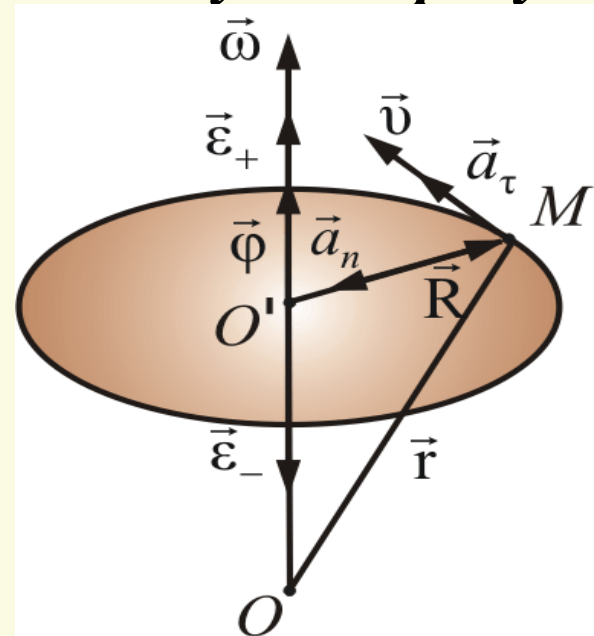
Вектор углового ускорения $\vec{\epsilon}$
(неравномерное вращение точки)

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

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

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

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

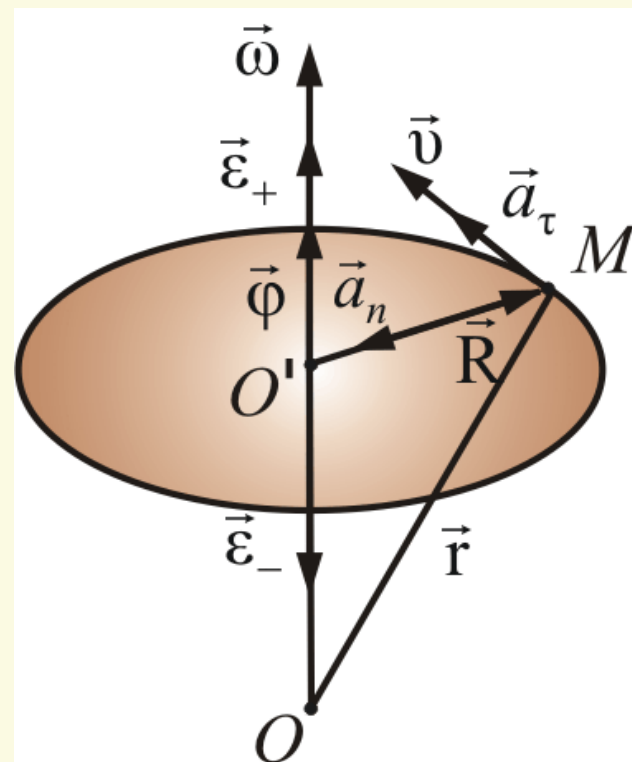


Связь тангенциального и нормального ускорения с угловым ускорением и скоростью

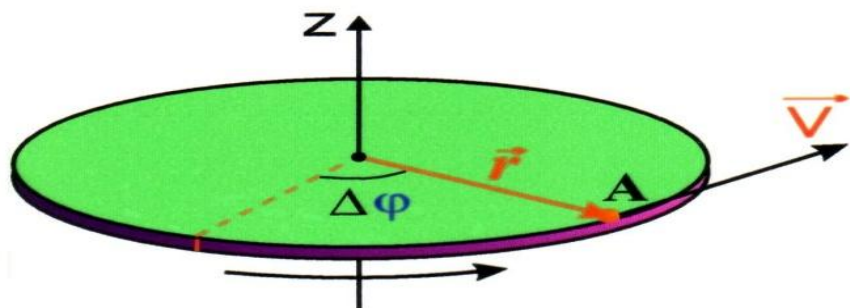
$$a_{\tau} = \frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega \cdot R) = R \frac{d\omega}{dt} = R \cdot \varepsilon \Rightarrow a_{\tau} = R \cdot \varepsilon$$

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

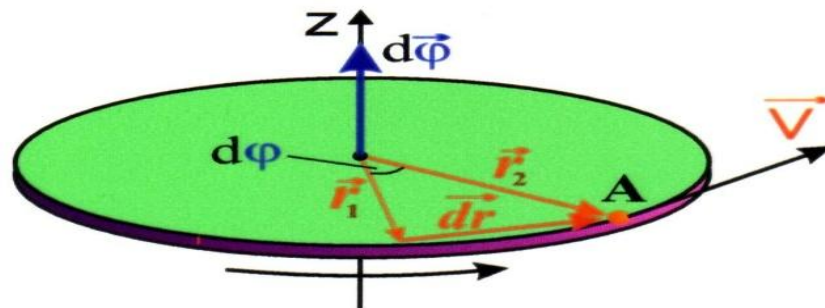
$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$



Угловая скорость



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

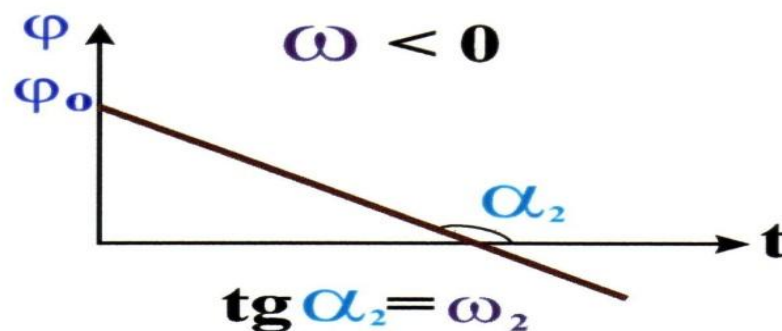
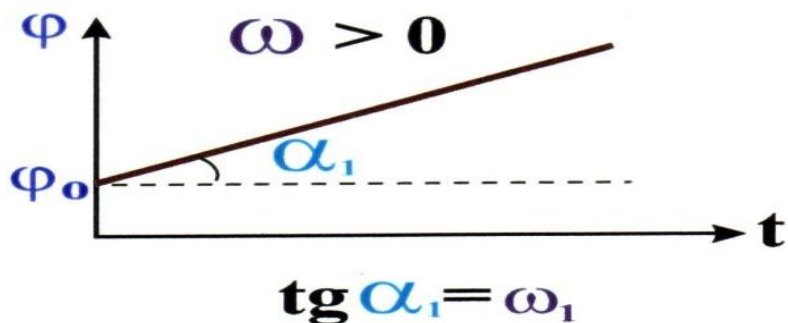


$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$$

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

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

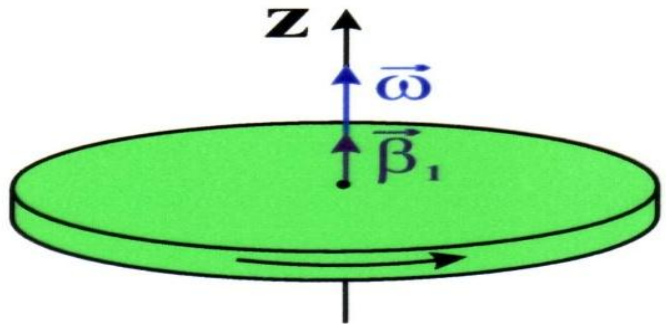
$$\boxed{\varphi = \varphi_0 + \omega t}$$



Равнопеременное вращение

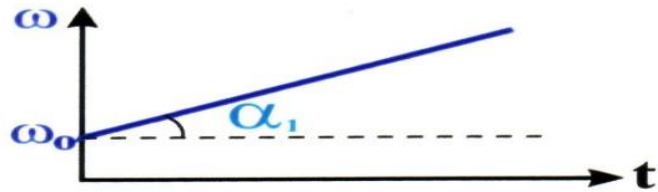
Угловое ускорение: $\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$

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



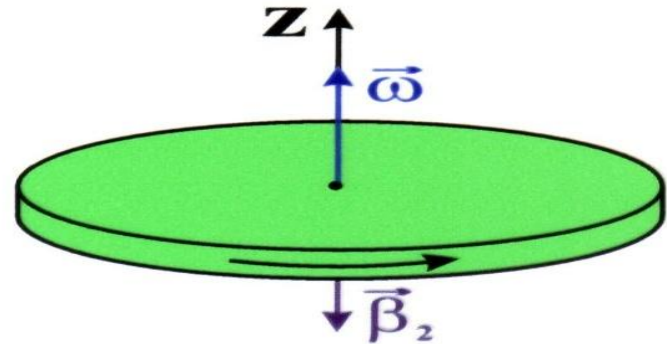
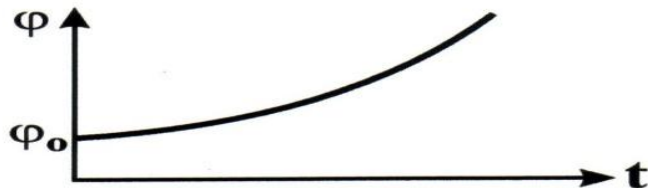
$$\Delta\omega > 0 \quad \vec{\beta}_1 \uparrow \uparrow \vec{\omega}$$

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



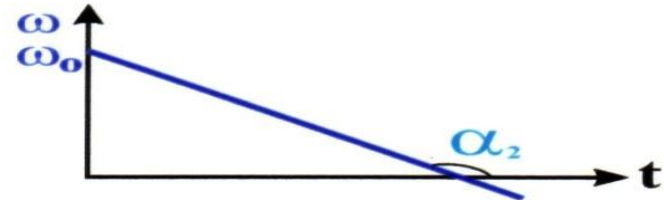
$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \beta_1 \\ \operatorname{tg} \alpha_2 &= \beta_2 \end{aligned}$$

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

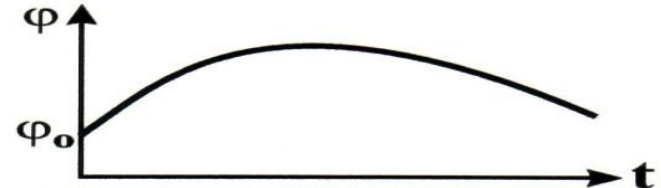


$$\Delta\omega < 0 \quad \vec{\beta}_2 \uparrow \downarrow \vec{\omega}$$

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



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





ЛЕКЦИЯ ЗАКОНЧЕНА!