Улугбек, Галилей и Гук

- **Мирза Мухаммед ибн Шахрух ибн Тимур Улугбек Гураган** (1394-1449) -внук Тамерлана. Известен как выдающийся астроном и выполнял работы не имея **телескопов**.
- В 17 веке итальянец **Г.Галилей** (Galileo Galilei, 1564-1642, итальянский физик и астроном) показал, что воздействие на данное тело окружающих тел – определяет ускорение а не скорость, а также независимость ускорения свободного падения от скорости и массы (закон равноускоренного падения). Первым использовал **телескоп** для наблюдения планет.
- **Роберт Гук** (Robert Hooke, 1635-1703 теплота, упругость, оптика, небесная механика, биология) в 1666 году опубликовал за 21 год до Ньютона первую работу по тяготению и по словам Сергея Вавилова, который исследовал работы Гука внес неоспоримый вклад. Непосредственное доказал вращение Земли вокруг Солнца
- Портретов **Гука** не сохранилось. Высказал идеи о волнообразном распространении света (более или менее одновременно с Гюйгенсом) и интерференцией света, о поперечном характере световых волн .

Гуку принадлежит сам термин "клетка" - англ. cell

Ньютон

- **И.Ньютон** (Isaak Newton 1643-1727 правильно произносить коротко) английский физик, алхимик, директор монетного королевского двора и глава Лондонского Королевском обществе в 1687 г. (со ссылкой на Гука и других ученых) изложил свои закономерности механического движения в математической форме , используемой до сих пор.
- **Ньютон** утверждал о независимом и более раннем открытии этой формулы, сделанную им во время чумы, которую однако до открытия Гуком никому не показывал. Имел обширную переписку с Гуком.
- **Яблоня цела ! стоит на берегу реки ???**
- Ньютоновская (классическая) механика не применима для описания движения атомов, элементарных частиц и молекул, а также частиц двигающихся со скоростями близкими к скорости света в вакууме $c \sim 3x10^8$ м/с.
- Весь вопрос в величине импульса! Большой или маленький?!

Посмотрим на трубу Ньютона

Крыша одного из Two Twins в 2001 –тоже упала с g

Относительность движения

- **Относительность движения** определяется относительностью самого пространства. Нельзя говорить о положении в абсолютном пространстве, независимо от находящихся в нем тел, а лишь о положении относительно каких то тел.
- Мы будем считать что **пространство однородно и изотропно** (свойства не зависят от направления). Т.е. фактически Эвклидово пространство. Экспериментально на больших масштабах это **не доказано**.

Системы отсчета

Системой отсчета (СО) - совокупность неподвижных друг относительно друга тел, по отношению к которым рассматривается движение, и отсчитывающих время идеальных часов. После того как выбраны тела отсчета с ними связывают какую-либо **систему координат** и положение тел определяют при помощи этой системы координат.

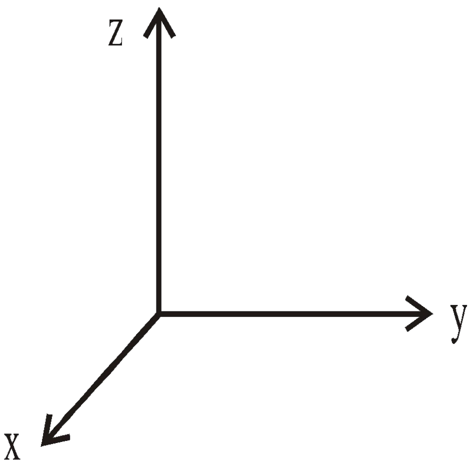


Рис. 1

Наиболее часто используется всем известная **декартова прямоугольная система координат (СК)**. Декартова СК может быть **правой или левой**, в зависимости от взаимной ориентации осей. На рис. 1 показана **правая** прямоугольная декартова СК, которой пользуются как стандартной.

Система координат

Правая - условное название и оно означает, что ось z направлена **по правилу правого буравчика**: вращая рукоятку правого штопора от оси x к оси y по кратчайшему направлению получаем поступательное движение острия штопора в положительном направлении оси z , как на рис. 1.

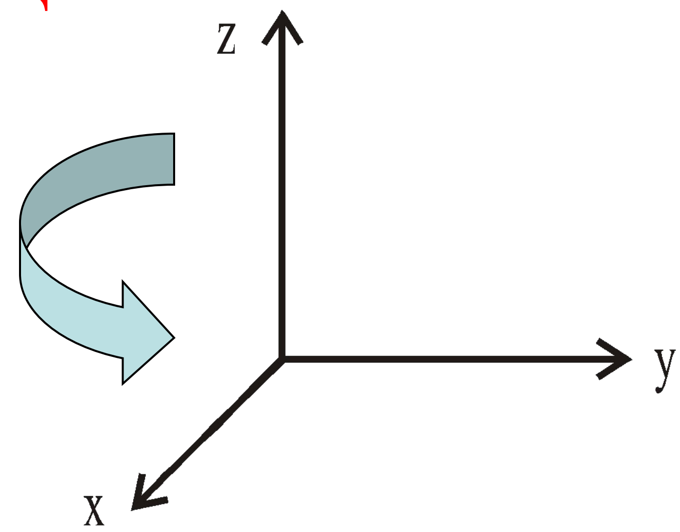


Рис. 1

СО и СК

- Разные СО и СК равны и одинаковы допустимы
- Число СО и СК– бесконечно
- Надо выбирать СК в которых физические явления и уравнения их описывающие выглядят наиболее просто. Т.е. оси СК надо направлять так, чтобы уравнения описывающие движения выглядели наиболее просто и их было мин. количество.
- Самый простое- движение по прямой. СК - сама прямая

Материальная точка

- **Материальная точка (МТ)**- тело размерами которого (при изучении его движения) можно пренебречь. Это не связано напрямую с его размерами, зависит от условий задачи.

  Примеры:
- Земля движется вокруг Солнца – Земля **МТ**
- Суточное вращение Земли вокруг оси – Земля не **МТ**.

СКАЛЯР И ВЕКТОР

Скаляр - физическая величина, характеризующуюся только одним численным значением. Примером могут быть **объем, температура, масса, время** и т.д.

Вектора - величины, характеризующиеся **численным значением** (т.е. некоторым абсолютным значением или модулем) и **направлением, и, кроме того, складывающиеся по правилу параллелограмма** (бывают величины, изображаемые направленными отрезками, но не складывающиеся по правилу параллелограмма и, следовательно, не являющиеся векторами). Векторами являются, например, **скорость, ускорение, сила**. На рисунках вектор изображается стрелкой , начало которой находится в точке, где он определен (например, в случае силы $\boldsymbol{F}$ – в точке приложения силы). При любых операциях вектор **может переноситься параллельно самому себе**. При этом ни его модуль ни ориентация не изменяются.

Модуль

Численное значение вектора называется его **модулем**. Мы будем обозначать векторы жирными наклонными буквами: $\boldsymbol{V}$, $\boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{F}$. Модуль вектора будем обозначать той же нежирной буквой обычного шрифта V , a , F . В книгах модуль обозначают также символом вектора между двумя вертикальными черточками :

$$|\boldsymbol{V}| \equiv \mathrm{V}, \ |\boldsymbol{a}| \equiv \mathrm{a}, \ |\boldsymbol{F}| \equiv \mathrm{F}.$$

Скалярное произведение

Векторы могут перемножаться скалярно. Скалярным произведением векторов $\boldsymbol{a}$ и $\boldsymbol{b}$ называется число, равное произведению модулей векторов на косинус угла между ними:

$$\boldsymbol{ab} = |\boldsymbol{a}||\boldsymbol{b}| \cos \alpha$$

Скалярное произведение **коммутативно**: $\boldsymbol{ab} = \boldsymbol{ba}$.
Для перпендикулярных векторов $(\alpha = \pi/2)$ равно нулю. При $\alpha < \pi/2$ $ab > 0$, при $\alpha > \pi/2$ $(\cos \alpha < 0)$ $ab < 0$.

Векторное произведение

- Векторных произведений в физике очень много. В общем случае **векторным произведением** векторов ***a*** и ***b*** называется вектор ***c***, модуль которого

$$|\mathbf{c}| = |\boldsymbol{a}||\boldsymbol{b}| \sin \alpha$$

- направление определяется по **правилу правого буравчика**: располагаем рукоятку штопора вдоль **первого** вектора ***a*** и вращаем ее по кратчайшему направлению **ко второму** вектору ***b*** , при этом поступательное движение острия штопора укажет направление вектора ***c*** .

вектор ***c*** всегда **перпендикулярен** плоскости, в которой лежат перемножаемые векторы. На рисунке 9 приведен конкретный пример взаимного расположения всех трех векторов ***a*** , ***b*** и ***c***.

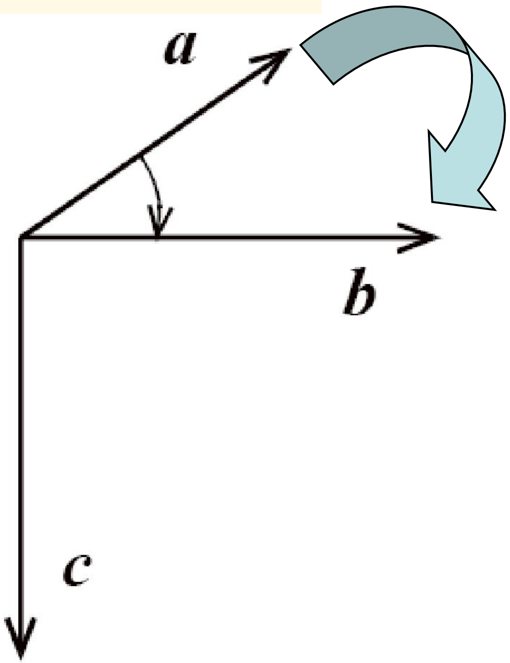


Рис. 9

Коммутативность

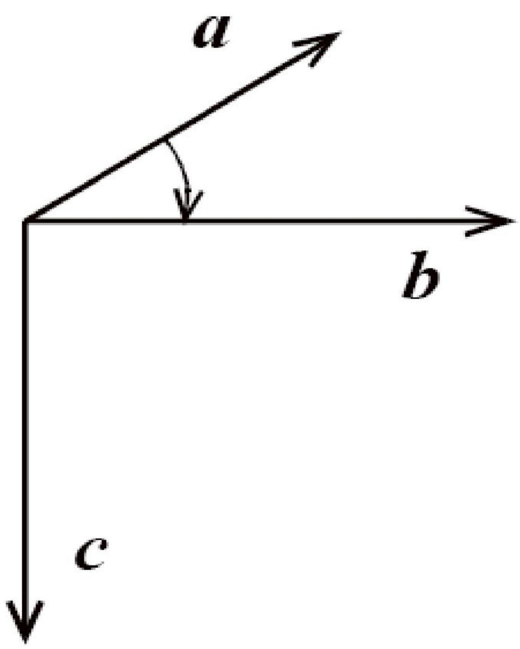


Рис. 9

В отличие от скалярного, векторное произведение **не** обладает свойством **коммутативности**, то есть результат векторного произведения **зависит от порядка сомножителей**. Например, если первым сомножителем будет ***b***

$$(\boldsymbol{c} = [\boldsymbol{b}\ \boldsymbol{a}]),$$

то на рисунке 9 вектор ***c*** будет направлен в противоположном направлении (т.е. вверх). Итак:

$$[\boldsymbol{ab}] = -[\boldsymbol{ba}]$$

Радиус-вектор

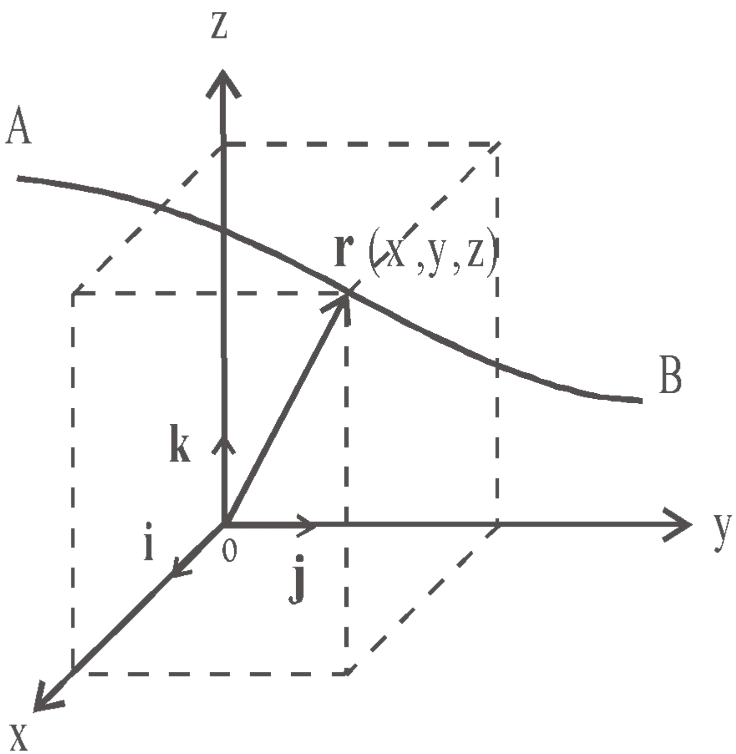


Рис. 2

Положение **МТ** в избранной СК задается тремя координатами x, y, z. Вектор ***r*** , проведенный из начала координат в данную точку (рис. 2) называется ***радиус-вектором.*** Координаты x, y, z являются его проекциями на координатные оси, поэтому положение точки можно задавать ее радиус-вектором.

Орт

На рис. 2 три взаимно ортогональных единичных вектор $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$ ($|\boldsymbol{i}| = |\boldsymbol{j}| = |\boldsymbol{k}| = 1$), называемые **ортами**, направлены вдоль соответствующих координатных осей. Радиус-вектор (как и любой другой вектор) можно записать в виде :

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

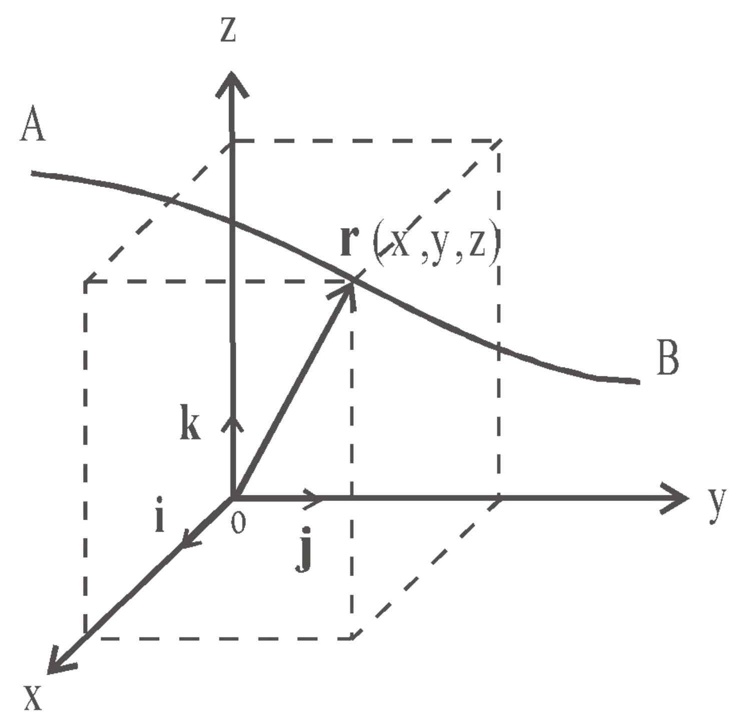


Рис. 2

При этом компоненты вектора равны:

$$\boldsymbol{r}_x = x\boldsymbol{i}, \quad \boldsymbol{r}_y = y\boldsymbol{j}, \quad \boldsymbol{r}_z = z\boldsymbol{i}$$

Траектория и путь

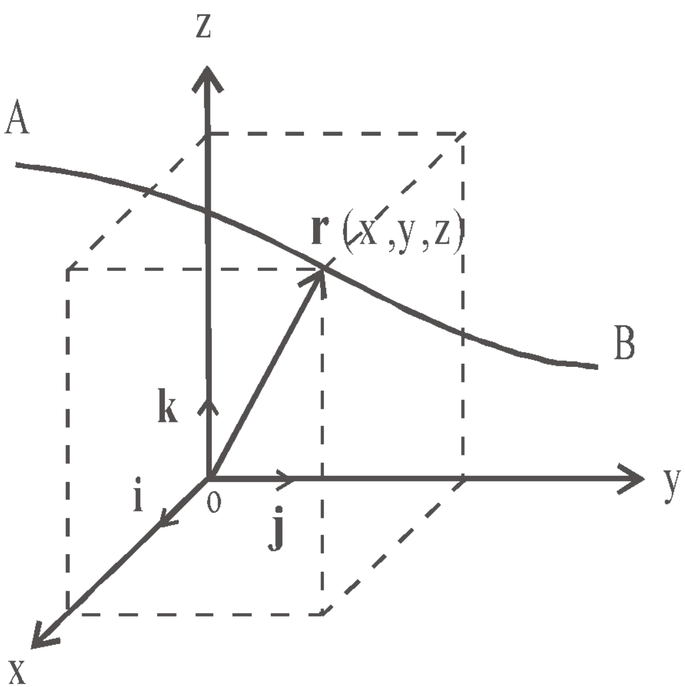


Рис. 2

Линия, описываемая МТ при ее движении, называется **траекторией** (например, кривая АВ на рис. 2). **Расстояние между точками** (например, А и В), **отсчитанное вдоль траектории**, называется длиной пройденного МТ пути или просто **путем**. Длина пути всегда выражается положительным числом.

Перемещение

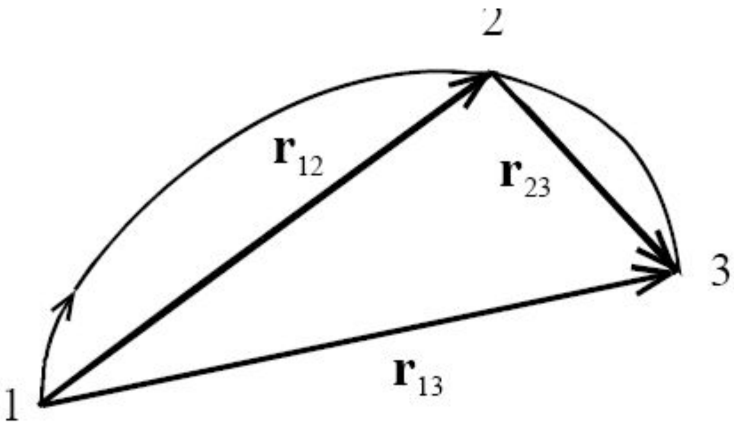


Рис. 3

Перемещением называется направленный отрезок, проведенный из начального положения МТ в конечное. Пусть, например, МТ последовательно перемещается вдоль криволинейной траектории из точки 1 в точку 2 и затем в точку 3 (рис. 3).

Перемещение является вектором r_{13}.

СКОРОСТЬ

- **Скорость** – физическая величина, определяющая изменение координат тела со временем. Характеристика быстроты движения. Обозначим ***v***, так как далее V будем обозначать объем. **Зачем вообще вводить данную физическую величину?**
- Другие физические величины по разному зависят от скорости (например, линейно или квадратично).
- Verone Bugatti развивает скорость более 400 км/ч, а кинетическая энергия растет как квадрат скорости

Средняя скорость

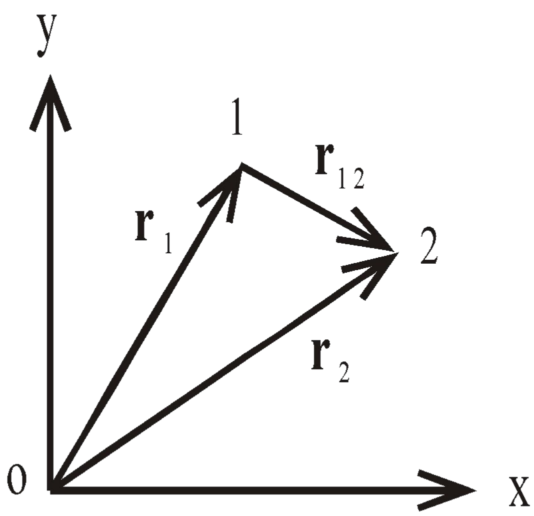


Рис. 4

Перемещение из точки 1 в точку 2 произошло за время $\Delta t = t_2 - t_1$. Вектор $\boldsymbol{r}_{12}$ равен изменению радиус-вектора точки за это время: $\boldsymbol{r}_{12} \equiv \Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$. (Знак $\equiv$ «тождественно равно»).Отношение перемещения $\Delta \boldsymbol{r}$ к промежутку времени Δt , за которое это перемещение произошло - **средняя скорость** за время от t до $t+\Delta t$:

$$\boldsymbol{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$$

Равномерное движение

- Если за равные моменты времени **МТ** совершает одинаковые перемещения, то такое движение называется **равномерным**

$$v = \mathbf{const}$$

Если по прямой то – **равномерное и прямолинейное** (т.е. сохраняются и абсолютная величина скорости и направление движения или направление вектора)

Посмотрит опыт!

Что для этого необходимо обсудим на следующей лекции.

Мгновенная скорость

- При достаточно малых Δt вектор перемещения $\Delta \boldsymbol{r}$ является хордой участка траектории (рис. 5). При дальнейшем уменьшении Δt в пределе получаем **мгновенную скорость** в данной точке траектории:

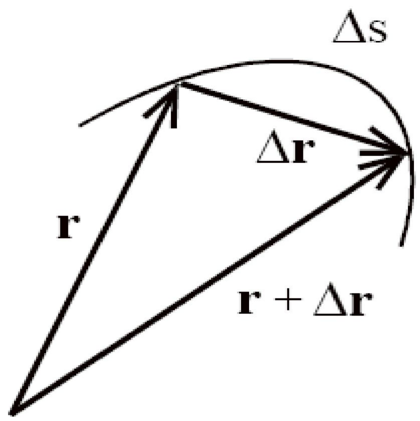


Рис. 5

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \equiv \dot{\boldsymbol{r}}$$

Производная вектора сама является векторной величиной!

Мгновенная скорость

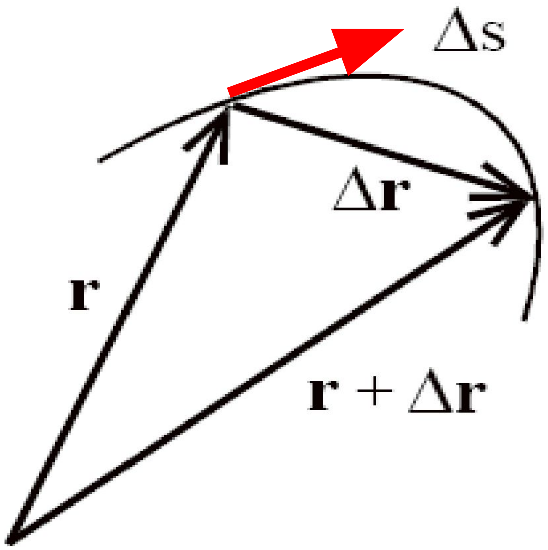


Рис. 5

Предельное значение направления хорды совпадает с направлением касательной к траектории в данной точке.

Итак,

1) **скорость определяется как производная радиус-вектора по времени.**
2) **вектор мгновенной скорости *v* направлен по касательной к траектории (туда же куда и Δ*r* в пределе при Δt→0)**

Компоненты скорости

Дифференцируя по времени выражение с учетом постоянства единичных векторов (ортов) получаем выражение для скорости через ее компоненты:

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{dt}} = \frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{dt}}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{dy}}{\mathrm{dt}}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{dz}}{\mathrm{dt}}\boldsymbol{k} =$$

$$= \mathrm{v_x}\boldsymbol{i} + \mathrm{v_y}\boldsymbol{j} + \mathrm{v_z}\boldsymbol{k} = \dot{\mathrm{x}}\boldsymbol{i} + \dot{\mathrm{y}}\boldsymbol{j} + \dot{\mathrm{z}}\boldsymbol{k}$$

Проекциями производной вектора являются производные его проекций

Ускорение

- **Ускорение** характеризует изменение скорости ***v*** с течением времени. Среднее ускорение за Δt равно:

$$\boldsymbol{a}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$$

- ***Мгновенным ускорением***, *или ускорением в данной точке называется предельное значение* $\boldsymbol{a}_{ср}$ *при* $\Delta t \to 0$ *:*

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

Ускорение

- Дифференцируя по времени соотношение получаем:

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

- **Ускорение характеризует изменение скорости как по величине, так и по направлению**.
- В ряде случаев целесообразно разложить вектор ***a*** на две составляющие, одна из которых характеризует изменение скорости по величине, а другая – по направлению.

Компоненты ускорения

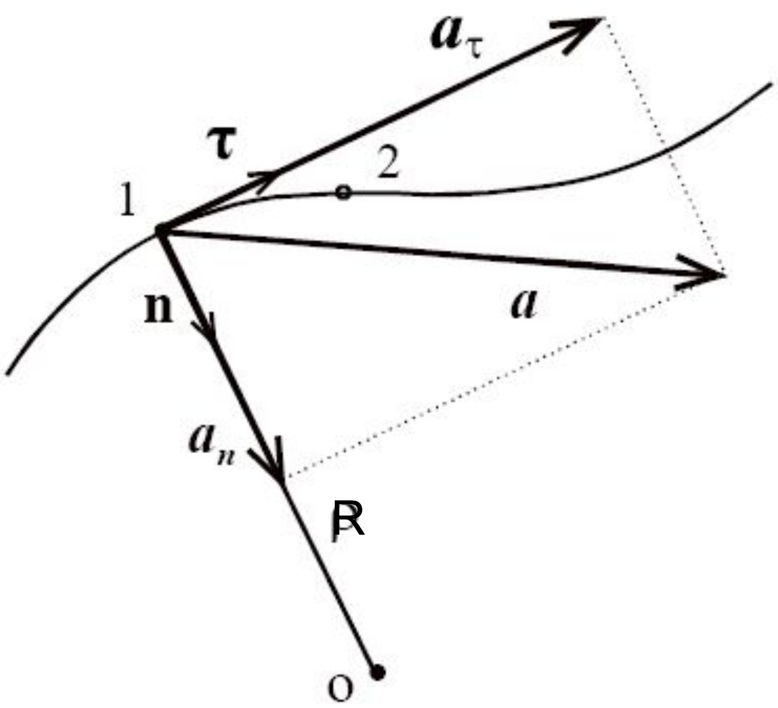


Рис. 6

Пусть на рис. 6 в точке 1 произвольной траектории ускорение равно ***a***. Разложим вектор ***a*** на две взаимно перпендикулярные составляющие: по касательной к траектории $\boldsymbol{a}_\tau$ и по нормали $\boldsymbol{a}_n$, направленной в центр.

Компоненты ускорения

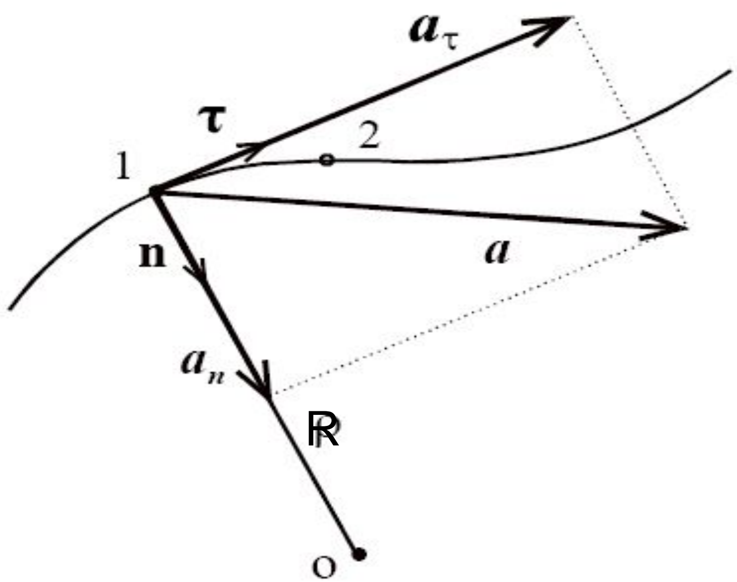
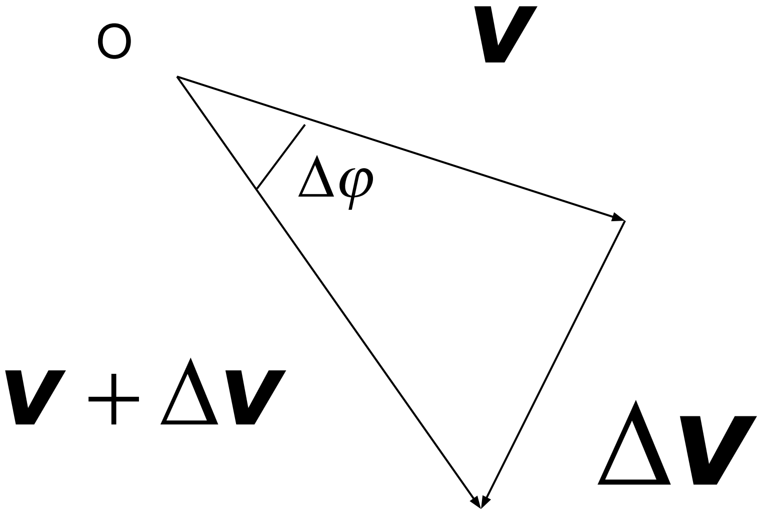


Рис. 6

- При сближении точек 1 и 2 отрезок траектории между ними стремится к дуге окружности с центром в некоторой точке О. Эту точку называют **центром кривизны траектории** в данной точке траектории, а радиус R окружности – **радиусом кривизны траектории** в той же точке.
- Для произвольной траектории - бесконечное множество центров кривизны и радиусов кривизны

Круговое движение



$$|\Delta V| = \Delta V \approx V\Delta\varphi$$

перемещение

$$\Delta S \approx V\Delta t \approx R\Delta\varphi \Rightarrow$$

$$\Delta V \approx V^2 \frac{\Delta t}{R} \Rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta t} \approx \frac{V^2}{R}$$

$$\Delta t \to 0$$

$$\boldsymbol{a}_n = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}, \mathrm{a_n} = \frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{R}}$$

Те мы получили ускорение тела , движущегося равномерно по кругу. По модулю величины оно пропорционально квадрату скорости и обратно пропорционально радиусу. Можно строго показать , что

$a_n \perp v$ и направлено к центру круга

Компоненты ускорения

- Т.е .

$$\boldsymbol{a}_n = \frac{v^2}{R}\boldsymbol{n}, \qquad \boldsymbol{a}_\tau = \frac{dv}{dt}\tau$$

где ***n*** и ***τ***- единичные векторы. $\boldsymbol{a}_n$ - называется **нормальным** (направлено по нормали к траектории), $\boldsymbol{a}_\tau$ **-** называется **тангенциальным** ускорением.

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_n + \boldsymbol{a}_\tau = \frac{v^2}{R}\boldsymbol{n} + \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}$$

В случае движения по окружности нормальное ускорение называется **центростремительным**, так как у окружности только один центр кривизны - центр окружности.

Модуль ускорения

Модуль полного ускорения легко находим из прямоугольного треугольника на рис. 6 по теореме Пифагора:

$$a = \sqrt{\left(\frac{v^2}{R}\right)^2 + \left(\frac{dv}{dt}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{R}\right)^2 + \boxed{v}^2}$$

Нормальное ускорение характеризует **изменение направления вектора скорости.** Если траектория является прямой линией, то в каждой ее точке радиус кривизны R→ ∞ и нормальное ускорение равно нулю. **Тангенциальное** ускорение - **изменение скорости по абсолютной величине**.

При **равномерном** движении $v = const$, $\boldsymbol{a}_{\boldsymbol{\tau}} = 0$ и $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_{n}$ (при равномерном движении по окружности)

Движение по окружности и угловая скорость

Пусть за малое время Δt радиус-вектор **МТ** повернулся на угол $\Delta\phi$ (рис. 7). **Угловой скоростью** точки называется вектор $\boldsymbol{\omega}$, модуль которого

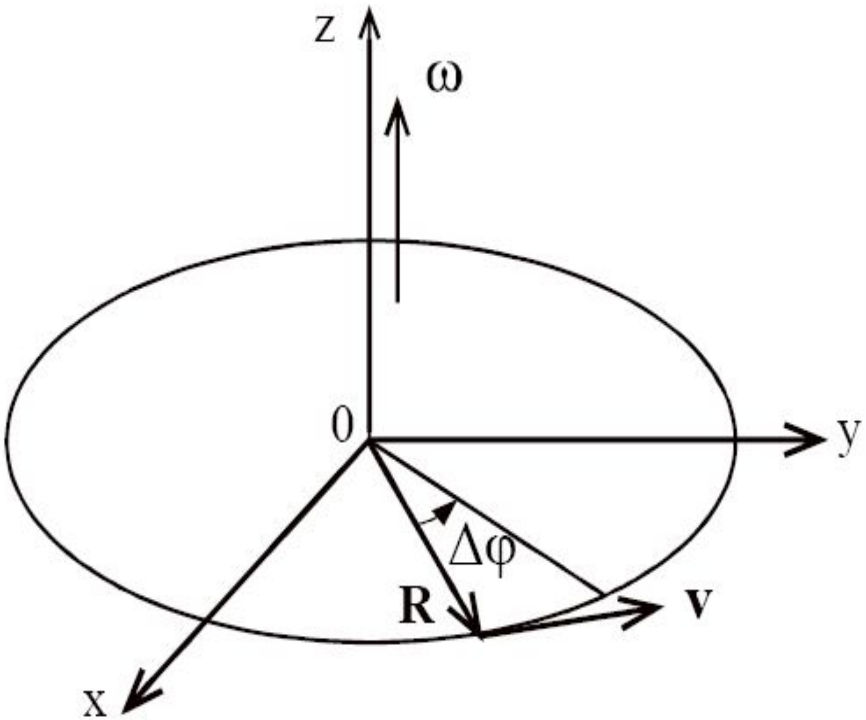


Рис. 7

$$|\boldsymbol{\omega}| = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi}$$

$\boldsymbol{\omega}$ - характеризует быстроту изменения угла ϕ со времени

Равномерное движение по кругу

При **равномерном** движении $v = const$, $a_\tau = 0$ и $a = a_n$.
По окружности количество оборотов $n = 1/T$

$$\omega = \text{const} = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n$$

Длина дуги

$$S = \varphi R \Rightarrow v = \frac{dS}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} R \Rightarrow v = \omega R$$

Угловая скорость

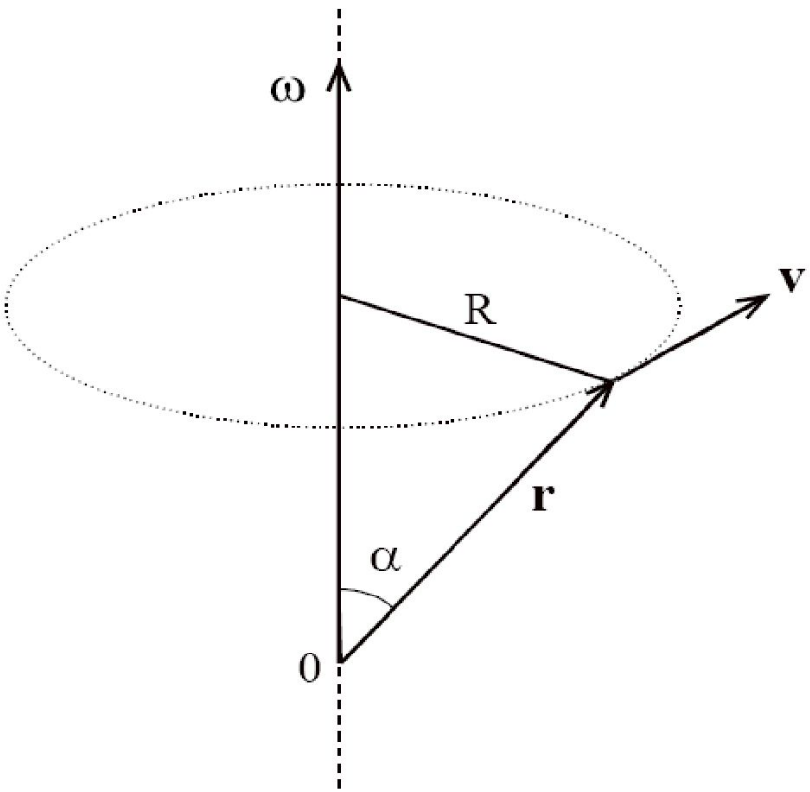


Рис. 8

В общем случае при движении по окружности векторы угловой и линейной скорости связаны простым соотношением:

$$\boldsymbol{v} = [\boldsymbol{\omega r}]$$

Квадратные скобки обозначают **векторное произведение векторов**. На рис. 8 показаны векторы, входящие в данное выражение

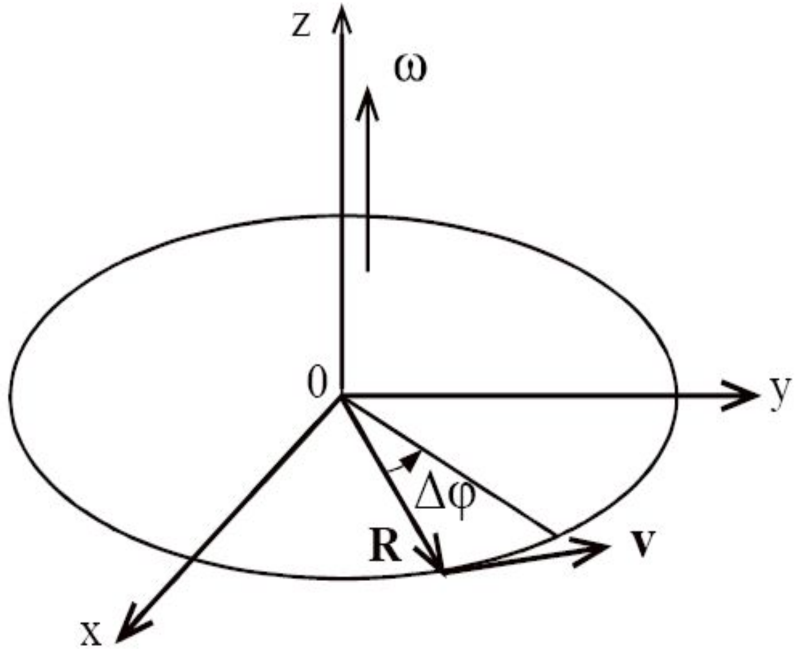
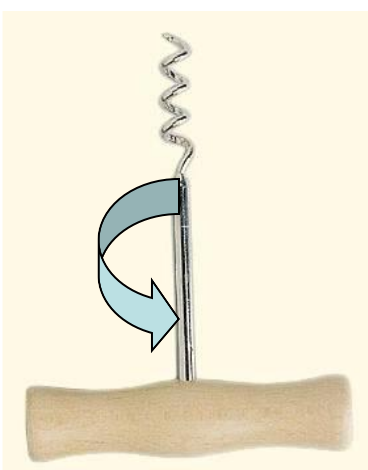


Рис. 7



Угловая скорость

Направление вектора $\boldsymbol{\omega}$ - по правилу правого буравчика: если расположить рукоятку штопора по радиус-вектору и вращать вместе с ним, то поступательное движение острия штопора укажет направление $\boldsymbol{\omega}$ (на рис. 7 вектор $\boldsymbol{\omega}$ направлен вдоль оси вращения 0z). Если же на рис. точка будет двигаться в обратном направлении, то $\boldsymbol{\omega}$ будет направлен вниз, в отрицательном направлении оси z . Измеряется в радиан/с.

Радиан -основная единица измерения плоских углов в современной математике. Радиан определяется как угловая величина дуги единичной длины на окружности единичного радиуса. Таким образом, величина полного угла равна 2π радиан.

Угловое ускорение

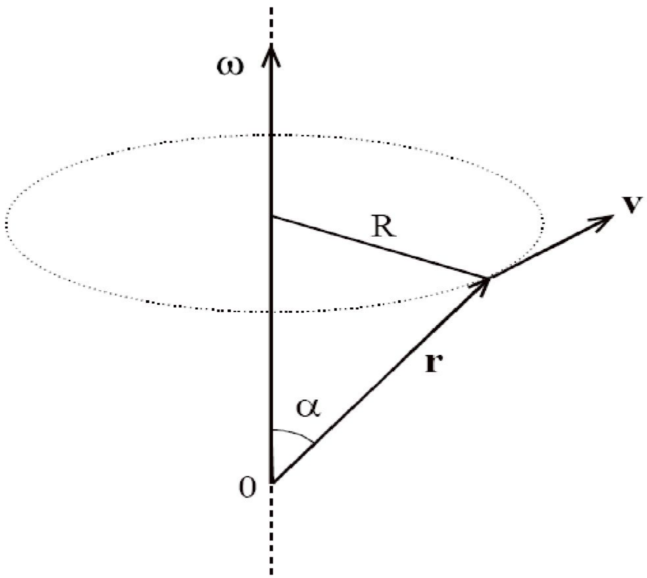


Рис. 8

Угловым ускорением $\boldsymbol{\beta}$ называется производная угловой скорости по времени и напрямую связано с тангенциальным ускорением $\boldsymbol{a_\tau}$:

$$\boldsymbol{\beta} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \boldsymbol{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} = \dot{\boldsymbol{\omega}}$$

$$a_\tau = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{R\,d\boldsymbol{\omega}}{dt} = R\boldsymbol{\beta}$$

Полное ускорение $\quad a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{\omega^4 R^2 + \beta^2 R^2} = R\sqrt{\omega^4 + \beta^2}$

β- вектор сонаправленный с Δω. Т.е. если ω возрастает то направление β и ω совпадает . Если ω уменьшается то направления β и ω строго противоположны. Измеряется в радиан/с^2.

Аккуратность для реальных применений

Следует аккуратно применять уравнения кинематики для описания реальных процессов. Известно из школьной физики, что максимальная дальность полета тела, брошенного под углом к горизонту, достигается при угле бросания 45 градусов. Но это нельзя советовать делать, например, футболисту при вбрасывании мяча – здесь необходимо специальное исследование с учетом достижений динамики твердого тела. **КТО СМОЖЕТ РАССЧИТАТЬ РЕАЛЬНЫЙ УГОЛ ВБРАСЫВАНИЯ?**

ЖДУ С РЕШЕНИЕМ…..

ЗАЧЕТ ГАРАНТИРОВАН!*

*** При условии что есть зачет по практикуму**