ФИЗИКА. МЕХАНИКА.

Физика – *наука о простейших формах движения материи и соответствующих им наиболее общих законах природы*. Изучаемые физикой формы движения материи (механическая, тепловая, электрическая, магнитная и т. д.) являются составляющими более сложных форм движения материи (химических, биологических и др.), поэтому физика является основой для других естественных наук (астрономия, биология, химия, геология и др.).

В своей основе *физика – экспериментальная наука:* её законы базируются на фактах, установленных опытным путём. В результате обобщения экспериментальных фактов устанавливаются ***физические законы*** – устойчивые

Механика – это часть физики, которая изучает закономерности механического движения и причины, вызывающие или изменяющие это движение.

Механическое движение – это изменение взаимного расположения тел или их частей в пространстве с течением времени.

РАЗДЕЛЫ МЕХАНИКИ:

Кинематика – изучает движение тел, не рассматривая причины, которые это движение обуславливают.

Динамика – изучает законы движения тел и причины, которые вызывают или изменяют это движение.

Статика – изучает законы равновесия системы тел.

Механика для описания движения тел в зависимости от условий конкретных задач использует разные *упрощённые* ***физические модели***:

КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ.

- ***Материальная точка*** – тело, форма и размеры которого несущественны в условиях данной задачи.
- ***Абсолютно твёрдое тело*** – тело, деформацией которого в условиях данной задачи можно пренебречь, и расстояние между любыми двумя точками этого тела остаётся постоянным.

Любое движение твёрдого тела можно представить как ***комбинацию*** *поступательного* и *вращательного* движений.

Поступательное движение – это движение, при котором любая прямая, жёстко связанная с телом, остаётся параллельной своему первоначальному положению.

Вращательное движение – это движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой ***осью вращения***.

Движение тел происходит в пространстве и во времени. Поэтому для описания движения материальной точки надо знать, в каких местах пространства эта точка находилась, и в какие моменты времени она проходила то или иное положение.

Тело отсчёта – произвольно выбранное тело, относительно которого определяется положение остальных тел.

СИСТЕМА ОТСЧЕТА

Система отсчёта – совокупность системы координат и часов, связанных с телом отсчёта.

Наиболее употребительная система координат – ***декартовая*** – ортонормированный базис которой образован тремя единичными по модулю и взаимно ортогональными векторами $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$, проведёнными из начала координат.

Положение произвольной точки M характеризуется ***радиусом-вектором*** $\vec{r}$, соединяющим начало координат O с точкой M:

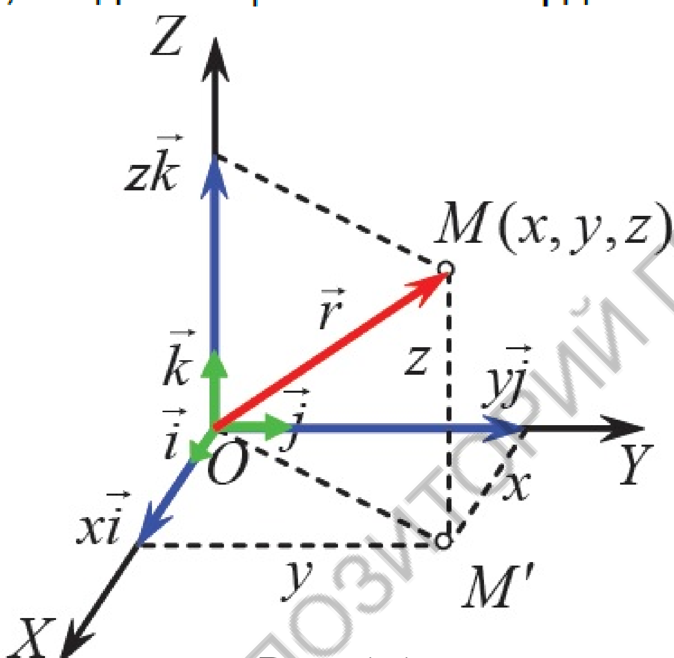


Рис. 1.1.

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

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

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t).$$

Эти уравнения называются ***кинематическими уравнениями движения точки***. Они эквивалентны одному векторному уравнению движения точки:

$$\vec{r} = \vec{r}(t).$$

ТРАЕКТОРИЯ, ДЛИНА ПУТИ, ВЕКТОР ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

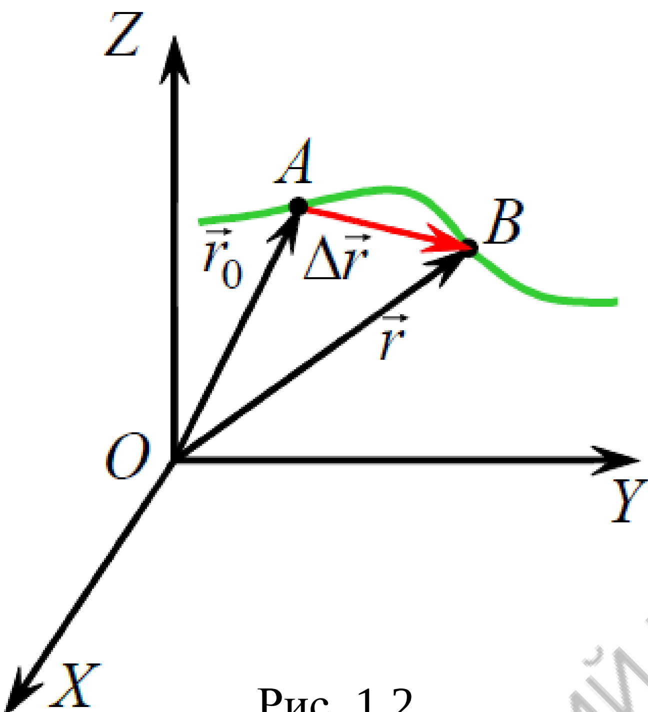


Рис. 1.2.

Линия, описываемая движущейся материальной точкой (или телом) относительно выбранной системы отсчёта называется ***траекторией***.

Длиной пути точки называется сумма длин всех участков траектории, пройдённых этой точкой за рассматриваемый промежуток времени $\Delta s = \Delta s(t)$. Длина пути – ***скалярная*** функция времени.

Вектор перемещения $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$ вектор, проведённый из начального положения движущейся точки в положение её в данный момент времени (приращение радиуса-вектора точки за рассматриваемый промежуток времени):

$$\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{r}(t) - \vec{r}(t_0) = \Delta x \cdot \vec{i} + \Delta y \cdot \vec{j} + \Delta z \cdot \vec{k} .$$

В пределе $\Delta t \to 0$ длина пути по хорде Δs и длина хорды $\Delta r = |\Delta\vec{r}|$ будут все меньше отличаться:

$$\mathrm{d}s = |\mathrm{d}\vec{r}| = \mathrm{d}r .$$

СКОРОСТЬ

Вектором средней скорости $\vec{v}$ (от лат. *velocitas*) за интервал времени Δt называется отношение приращения $\Delta\vec{r}$ радиуса-вектора точки к промежутку времени Δt.

$$\langle\vec{v}\rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Направление вектора средней скорости совпадает с направлением $\Delta\vec{r}$.

Мгновенная скорость – векторная величина, равная первой производной по времени от радиуса-вектора $\vec{r}$ рассматриваемой точки:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t} = \dot{\vec{r}}\,.$$

Вектор мгновенной скорости направлен по *касательной* к траектории в сторону движения. Модуль мгновенной скорости (*скалярная* величина) равен первой производной пути по времени:

$$v = |\vec{v}| = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}\,.$$

(Отсюда: $\mathrm{d}s = v\,\mathrm{d}t$.)

При неравномерном движении модуль мгновенной скорости с течением времени изменяется. Поэтому можно ввести *скалярную* величину $\langle v\rangle$ – ***среднюю скорость неравномерного движения*** (другое название – *средняя путевая скорость*).

$$\langle v\rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Длина пути s, пройдённого точкой за промежуток времени от t_1 до t_2, задаётся следующим интегралом:

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v(t)\,\mathrm{d}t$$

УСКОРЕНИЕ

Ускорение $\vec{a}$ (от лат. *acceleratio*) – это векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости по модулю и направлению.

Среднее ускорение в интервале времени Δt – векторная величина, равная отношению изменения скорости $\Delta\vec{v}$ к интервалу времени Δt.

$$\langle\vec{a}\rangle = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Мгновенное ускорение материальной точки – векторная величина, равная первой производной по времени скорости рассматриваемой точки (второй производной по времени от радиуса-вектора этой же точки):

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \dot{\vec{v}} = \frac{\mathrm{d}^2\vec{r}}{\mathrm{d}t^2} = \ddot{\vec{r}}\,.$$

Единица ускорения – м/с^2.

Прямая и обратная задачи кинематики материальной точки

Прямая задача кинематики заключается в определении скорости по заданной зависимости радиус-вектора или координат от времени, а также в определении ускорения по известной зависимости скорости от времени. Если задан $\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$, то эта задача решается с помощью равенств: $\vec{\upsilon} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k}$, где $\frac{dx}{dt} = \upsilon_x$, $\frac{dy}{dt} = \upsilon_y$, $\frac{dz}{dt} = \upsilon_z$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{d\upsilon_x}{dt}\vec{i} + \frac{d\upsilon_y}{dt}\vec{j} + \frac{d\upsilon_z}{dt}\vec{k}.$$

Обратная задача кинематики заключается в определении скорости по заданной зависимости ускорения от времени и в определении радиус-вектора или координат по известной зависимости скорости от времени.

Получим соотношения для решения обратной задачи. Изменение скорости за бесконечно малый промежуток времени dt: $d\vec{\upsilon} = \vec{a} \cdot dt$.

Изменение скорости за конечное время от момента t_0 до момента t равно:

$$\vec{\upsilon}(t) - \vec{\upsilon}(t_0) = \int_{t_0}^{t} d\vec{\upsilon} = \int_{t_0}^{t} \vec{a}dt.$$

Отсюда получим равенство $\vec{\upsilon}(t) = \vec{\upsilon}(t_0) + \int_{t_0}^{t} \vec{a}(t)dt$, дающее решение обратной задачи для скорости.

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}(t) - \vec{r}(t_0) = \int_{t_0}^{t} d\vec{r} = \int_{t_0}^{t} \vec{\upsilon}(t) \cdot dt.$$

Отсюда получим равенство для решения обратной задачи для радиус-вектора:

$$\vec{r}(t) = \vec{r}(t_0) + \int_{t_0}^{t} \vec{\upsilon}(t)dt.$$

ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ, НОРМАЛЬНОЕ УСКОРЕНИЕ

В общем случае плоского криволинейного движения вектор ускорения удобно представить в виде *суммы двух проекций:* $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$.

Тангенциальное ускорение $\vec{a}_\tau$ характеризует быстроту изменения скорости по модулю (рис. (A)), его величина:

$$a_\tau = \frac{\mathrm{d}\upsilon}{\mathrm{d}t}.$$

Нормальное (центростремительное) ускорение $\vec{a}_n$ направлено по нормали к траектории к центру её кривизны O и характеризует *быстроту изменения направления* вектора скорости точки. Величина нормального ускорения a_n связана со скоростью υ движения по кругу и величиной радиуса R (рис. (B)). Пусть $|\upsilon_1| = |\upsilon_2| = \upsilon$. Тогда для $\alpha \to 0$ $\boxed{\Delta\upsilon_n = \upsilon \sin\alpha \approx \upsilon \cdot \alpha}$,

$\Delta s = \upsilon \cdot \Delta t \approx R \cdot \alpha \quad \Rightarrow \quad \boxed{\alpha \approx (\upsilon \cdot \Delta t)/R}$, отсюда:

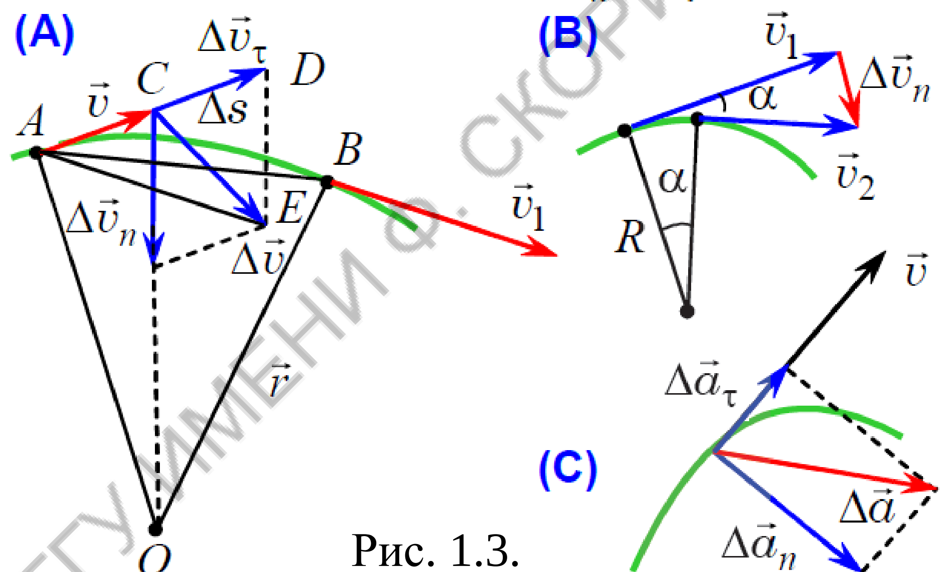


Рис. 1.3.

$$\Delta\upsilon_n \approx \frac{\upsilon^2}{R}\Delta t \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta\upsilon_n}{\Delta t} = \frac{\upsilon^2}{R} \quad \Rightarrow \quad a_n = \frac{\mathrm{d}\upsilon_n}{\mathrm{d}t} = \frac{\upsilon^2}{R}.$$

Величина ***полного*** *ускорения* (рис. (C)): $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$.

ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ

1) $\vec{a}_\tau = 0, \quad \vec{a}_n = 0$ – ***прямолинейное равномерное*** движение: $\vec{a} = 0$;

2) $\vec{a}_\tau = a = \mathrm{const}, \quad \vec{a}_n = 0$ – ***прямолинейное равнопеременное*** **(*равноускоренное*)** движение. Если $t_0 = 0$, то:

$$a_\tau = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{v - v_0}{t}; \qquad \boxed{v = v_0 + a \cdot t;} \qquad \boxed{s = \int_0^t (v_0 + at)\,\mathrm{d}t = v_0 t + \frac{at^2}{2};}$$

3) $a_\tau = 0, \quad \boxed{a_n = \mathrm{const} = \frac{v^2}{R}}$ – ***равномерное движение по окружности***;

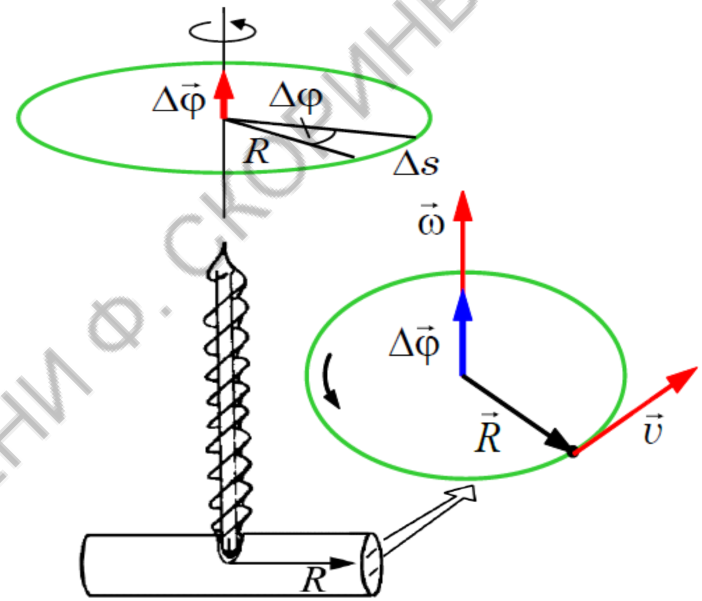
4) $\vec{a}_\tau \neq 0, \vec{a}_n \neq 0$ – ***криволинейное равнопеременное движение.***

КИНЕМАТИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

При описании вращательного движения удобно пользоваться ***полярными координатами*** R и φ, где R – ***радиус*** – расстояние от полюса (центра вращения) до материальной точки, а φ – полярный ***угол*** (угол поворота).

Элементарные повороты (обозначаются $\Delta\vec{\varphi}$ или $\mathrm{d}\vec{\varphi}$) можно рассматривать как ***псевдовекторы***.

Угловое перемещение $\mathrm{d}\vec{\varphi}$ – векторная величина, модуль которой равен углу поворота, а направление совпадает с направлением поступательного движения ***правого винта***.



Угловая скорость: $\vec{\omega} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{\varphi}}{\mathrm{d}t} = \dot{\vec{\varphi}}$.

Угловое ускорение: $\vec{\beta} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{\omega}}{\mathrm{d}t} = \dot{\vec{\omega}} = \dfrac{\mathrm{d}^2\vec{\varphi}}{\mathrm{d}t^2} = \ddot{\vec{\varphi}}$.

Вектор $\vec{\omega}$ ***направлен*** вдоль оси вращения, так же как и вектор $\mathrm{d}\vec{\varphi}$, т.е. по правилу правого винта. Вектор $\vec{\beta}$ направлен вдоль оси вращения в сторону вектора приращения угловой скорости (при *ускоренном* вращении вектор $\vec{\beta}$ сонаправлен вектору $\vec{\omega}$, при *замедленном* – противонаправлен ему).

Единицы угловой скорости и углового ускорения – рад/с и рад/с^2.

Линейная скорость точки связана с угловой скоростью и радиусом траектории соотношением:

$$\upsilon = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{R\cdot\Delta\varphi}{\Delta t} = R\cdot\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \omega R.$$

РАВНОМЕРНОЕ ВРАЩЕНИЕ. ПЕРИОД И ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ

При равномерном вращении: $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \text{const}$, следовательно: $\boxed{\varphi = \omega \cdot t}$.

Равномерное вращение можно характеризовать ***периодом вращения*** T – временем, за которое точка совершает один полный оборот: $2\pi = \omega \cdot T$.

Частота вращения – число полных оборотов, совершаемых телом при равномерном его движении по окружности, в единицу времени.

Единица частоты вращения **– герц (Гц)**.

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \qquad \omega = 2\pi \cdot n}$$

При равноускоренном вращательном движении: $\beta = \text{const}$,

$$\omega = \omega_0 + \beta \cdot t; \qquad \varphi = \omega_0 \cdot t + \frac{\beta \cdot t^2}{2}; \qquad a_n = \frac{\upsilon^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R;$$

$$a_\tau = \frac{d\upsilon}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R\frac{d\omega}{dt} = R\beta; \quad s = \int_{t_1}^{t_2} \upsilon\, dt = \int_{t_1}^{t_2} \omega R\, dt = R\int_{t_1}^{t_2} \frac{d\varphi}{dt} dt = R\varphi.$$

$$\boxed{s = R\varphi \qquad \upsilon = R\omega \qquad a_\tau = R\beta \qquad a_n = R\omega^2}$$