

Введение

Физика — это наука, изучающая общие свойства движения вещества и поля.
(А.И.Иоффе).

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.).

Физика — база для создания новых отраслей техники — фундаментальная основа подготовки инженера.

В своей основе **физика** — экспериментальная наука: ее законы базируются на фактах, установленных опытным путем. В результате обобщения экспериментальных фактов устанавливаются **физические законы** — устойчивые повторяющиеся объективные закономерности, существующие в природе, устанавливающие связь между физическими величинами.

Для установления количественных соотношений между физическими величинами их необходимо измерять, т.е. сравнивать их с соответствующими эталонами. Для этого вводится система единиц, которая постулирует **основные единицы** физических величин и на их базе определяет единицы остальных физических величин, которые называются **производными единицами**.

Международная Система единиц (СИ) (System International – SI).

Основные единицы:

Метр (м) — длина пути, проходимого светом в вакууме за $\frac{1}{299\,792\,458}$ с.

Килограмм (кг) — масса, равная массе международного прототипа килограмма (платиноиридиевого цилиндра, хранящегося в Международном бюро мер и весов в Севре, близ Парижа).

Секунда (с) — время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Ампер (А) — сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого поперечного сечения, расположенных в вакууме на расстоянии 1 метр один от другого, создает между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Ньютона на каждый метр длины.

Кельвин (К) — $\frac{1}{273,16}$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль (моль) — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в 12г изотопа углерода ^{12}C .

Кандела (кд) — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ герц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $\frac{1}{683}$ Вт/ср.

Дополнительные единицы системы СИ:

РадIAN (рад) — угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

Стерadian (ср) — телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной равной радиусу сферы.

Производные единицы устанавливаются на основе физических законов, связывающих их с основными единицами. **Например**, производная единица скорости (1 м/с) получается из формулы равномерного прямолинейного движения $v = s/t$.

Кинематика

1. Механика и ее структура. Модели в механике.

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.

Обычно под механикой понимают **классическую механику**, в которой рассматриваются движения макроскопических тел, совершающиеся со скоростями, во много раз меньшими скорости света в вакууме.

Законы движения тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света в вакууме, изучаются **релятивистской механикой**.

Квантовая механика изучает законы движения атомов и элементарных частиц.

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 **упрощенные физические модели**:

- **Материальная точка** — тело, форма и размеры которого несущественны в условиях данной задачи.
- **Абсолютно твердое тело** — тело, деформацией которого в условиях данной задачи можно пренебречь и расстояние между любыми двумя точками этого тела остается постоянным.
- **Абсолютно упругое тело** — тело, деформация которого подчиняется закону Гука, а после прекращения внешнего силового воздействия такое тело полностью восстанавливает свои первоначальные размеры и форму.
- **Абсолютно неупругое тело** — тело, полностью сохраняющее деформированное состояние после прекращения действия внешних сил.

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

Поступательное движение — это движение, при котором любая прямая, жестко связанная с телом, остается 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**.

2. Система отсчета. Траектория, длина пути, вектор перемещения.

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 отсчета — произвольно выбранное тело, относительно которого определяется положение остальных тел.

Система отсчета — совокупность системы координат и часов, связанных с телом отсчета.

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

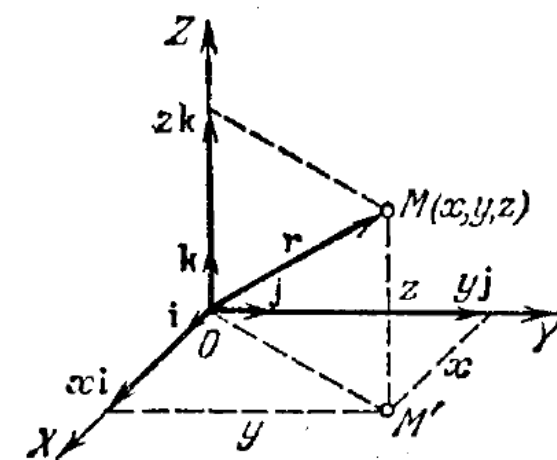
Положение произвольной точки M характеризуется **радиусом-вектором** \vec{r} , соединяющим начало координат O с точкой M .

$$\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}, \quad |\vec{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Движение материальной точки полностью определено, если декартовы координаты материальной точки заданы в зависимости от времени t (от лат. *tempus*):

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

Эти уравнения называются **кинематическими уравнениями движения точки**. Они эквивалентны одному векторному уравнению движения точки: $\vec{r} = \vec{r}(t)$.



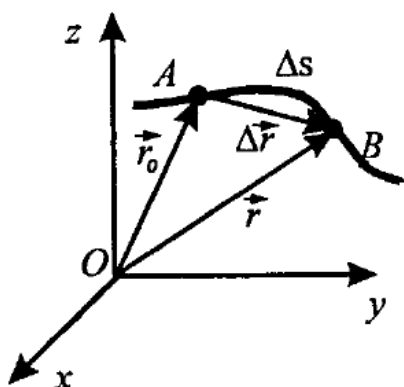
Линия, описываемая движущейся материальной точкой (или телом) относительно выбранной системы отсчета называется **траекторией**. Уравнение траектории можно получить, исключив

параметр t из кинематических уравнений.

В зависимости от формы траектории движение может быть **прямолинейным** или **криволинейным**.

Длиной пути точки называется сумма длин всех участков траектории, пройденных 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, проведенный из начального положения движущейся точки в положение ее 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 $\Delta t \rightarrow 0$ длина пути по хорде Δs и длина хорды $\Delta r = |\Delta \vec{r}|$ будут все меньше отличаться:

$$ds = |d\vec{r}| = dr.$$

3. Скорость

Скорость — это векторная величина, которая определяет как быстроту движения, так и его направление в данный момент времени.

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 $\Delta \vec{r}$.

Единица скорости — м/с.

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

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

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

$$v = |\vec{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (\text{Отсюда: } ds = v dt.)$$

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 , пройденного точкой за промежуток времени от t_1 до t_2 , задается интегралом:

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

При **прямолинейном движении** точки направление вектора скорости сохраняется неизменным.

Движение точки называется **равномерным**, если модуль ее скорости не изменяется с течением времени ($v = \text{const}$), для него

$$s = v \cdot \Delta t$$

Если модуль скорости увеличивается с течением времени, то движение называется **ускоренным**, если же он убывает с течением времени, то движение называется **замедленным**.

4. 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):

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

Единица ускорения — м/с².

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}_τ характеризует быстроту изменения скорости по модулю (рис.(A)), его величина:

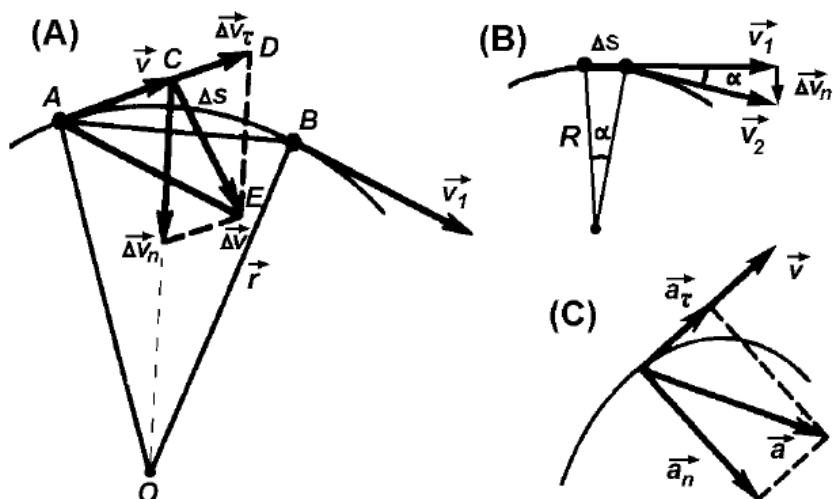
$$a_\tau = \frac{dv}{dt}$$

Нормальное (центростремительное) ускорение \vec{a}_n направлено по нормали к траектории к центру ее кривизны O и характеризует быстроту изменения направления вектора скорости точки.

Величина нормального ускорения a_n связана со скоростью v движения по кругу и величиной радиуса R (рис.(B)). Пусть $|v_1| = |v_2| = v$. Тогда для $\alpha \rightarrow 0$: $\Delta v_n = v \sin \alpha \approx v \cdot \alpha$, $\Delta s = v \cdot \Delta t \approx R \cdot \alpha \Rightarrow \alpha \approx (v \cdot \Delta t)/R$, отсюда:

$$\Delta v_n \approx \frac{v^2}{R} \Delta t \Rightarrow \frac{\Delta v_n}{\Delta t} = \frac{v^2}{R} \Rightarrow a_n = \frac{dv_n}{dt} = \frac{v^2}{R}$$

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



Виды движения:

- 1) $\vec{a}_\tau = 0$, $\vec{a}_n = 0$ — **прямолинейное равномерное** движение: $\vec{a} = 0$.
- 2) $\vec{a}_\tau = a = const$, $\vec{a}_n = 0$ — **прямолинейное равнопеременное (равноускоренное)** движение. Если $t_0 = 0$, то

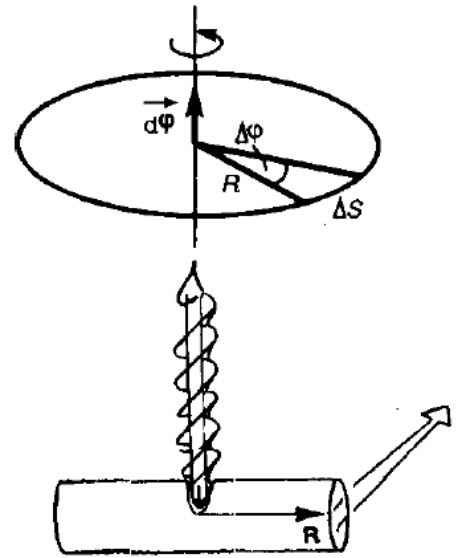
$$a_\tau = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{v - v_0}{t}; \quad v = v_0 + a \cdot t; \quad s = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$
- 3) $a_\tau = 0$, $a_n = const = \frac{v^2}{R}$ — **равномерное движение по окружности**.
- 4) $\vec{a}_\tau \neq 0$, $\vec{a}_n \neq 0$ — **криволинейное равнопеременное движение**.

5. 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 $d\vec{\varphi}$) можно рассматривать как **псевдовекторы**.

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

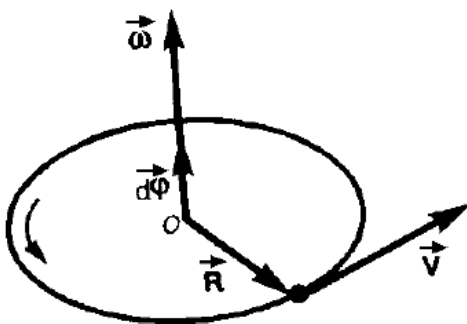


Угловая скорость: $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \dot{\vec{\varphi}}$. **Угловое ускорение:** $\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \dot{\vec{\omega}} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2} = \ddot{\vec{\varphi}}$

Вектор $\vec{\omega}$ **направлен** вдоль оси вращения так же как и вектор $d\vec{\varphi}$, 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** — противоположен ему).

Единицы угловой скорости и углового ускорения — рад/с и рад/с².

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

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


В векторном виде формулу для линейной скорости можно написать как **векторное произведение**:

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

По определению векторного произведения (см. стр.1-29) его модуль равен $|\vec{v}| = \omega R \sin \alpha$, где α — угол между векторами $\vec{\omega}$ и \vec{R} , а направление совпадает с направлением поступательного

движения правого винта при его вращении от $\vec{\omega}$ к \vec{R} .

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

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).

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi}{\omega} \\ n &= \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \\ \omega &= 2\pi \cdot n \end{aligned}$$

При равноускоренном вращательном движении $\beta = const$:

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

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

$$\left. \begin{aligned} s &= R\varphi \\ v &= R\omega \\ a_\tau &= R\beta \\ a_n &= R\omega^2 \end{aligned} \right\}$$