

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Предлагаемый справочник представляет собой краткое систематическое изложение курса физики в объеме программы общеобразовательной школы с приведением определений основных физических понятий и формул физических законов.

В справочнике представлены следующие разделы:

- Механика.
- Молекулярная физика и основы термодинамики.
- Основы электродинамики.
- Колебания и волны.
- Оптика.
- Атомная и ядерная физика.

В разделах выделены отдельные темы и параграфы.

Пособие предназначено для учащихся старших классов и выпускников общеобразовательных средних школ. Оно может быть использовано при изучении физики в период обучения в школе и обеспечивает выпускникам средней школы возможность успешной подготовки к ОГЭ и ЕГЭ. Справочник составлен в полном соответствии с Кодификатором ЕГЭ и Федеральным государственным образовательным стандартом. При этом справочник универсален и может быть использован учащимися с 7 по 11 класс.

# МЕХАНИКА

## КИНЕМАТИКА

### Механическое движение. Перемещение. Путь. Скорость. Ускорение

**Кинематика** – это раздел механики, в котором изучаются механические движения тел во времени и не рассматриваются какие-либо воздействия на эти тела других тел или полей.

**Механическое движение** – это изменение положения данного тела (или его частей) относительно других тел с течением времени.

Тело, по отношению к которому рассматривается данное механическое движение, называется **телом отсчета**. Совокупность тела отсчета и системы координат – **система отсчета**, которая должна быть снабжена часами, отсчитывающими промежутки времени от произвольно выбранного начального момента времени.

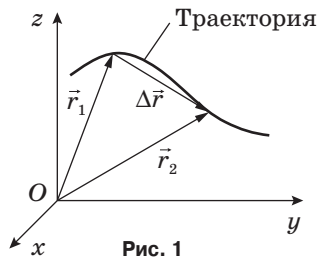
**Материальная точка** – это тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.

Тело, форма и размеры которого при наличии всевозможных внешних воздействий могут считаться неизменными, называется **абсолютно твердым телом**.

**Траектория** – это линия, по которой движется точка.

**Уравнение движения материальной точки** выражается ее радиус-вектором (рис. 1)

$$\vec{r} = (x(t), y(t), z(t)).$$



Движение тела называется **поступательным**, если все его точки описывают конгруэнтные траектории и может быть охарактеризовано движением какой-либо одной его точки. При **вращательном движении** абсолютно твердого тела его точки описывают окружности, расположенные в параллельных плоскостях; центры всех окружностей лежат при этом на одной прямой, перпендикулярной плоскостям окружностей, которая называется **осью вращения**.

Разность радиус-векторов, характеризующих конечное 2 и начальное 1 положения точки, движущейся в течение промежутка времени  $\Delta t = t_2 - t_1$ , называется **вектором перемещения (перемещением)**:

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1) = (\Delta x, \Delta y, \Delta z).$$

**Векторы перемещений складываются** геометрически, по правилу параллелограмма или многоугольника

$$\Delta \vec{r}_1 = \Delta \vec{r}_2 + \Delta \vec{r}_0.$$

**Путь** – это скалярная величина, равная длине участка траектории, пройденного движущейся точкой за данный промежуток времени.

**Средняя скорость** за промежуток времени – это физическая величина, равная отношению вектора перемещения точки к длительности промежутка времени  $\Delta t$

$$\vec{v}_{\text{cp}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

**Средняя скалярная (средняя путевая) скорость** – это физическая величина, равная отношению пути  $S$ , пройденного точкой за промежуток времени  $\Delta t$ , к длительности этого промежутка

$$v_{\text{cp}} = \frac{S}{\Delta t}.$$

**Мгновенная скорость (скорость в данный момент)** – это физическая величина, равная пределу, к которому стремится средняя скорость при бесконечном уменьшении промежутка времени  $\Delta t$ ,  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ ;

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{r}'_t = (v_x, v_y, v_z); v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'_t,$$

аналогично для  $v_y, v_z$ .

**Сложение скоростей** выполняется по формуле

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_2 + \vec{v}_0,$$

где  $\vec{v}_1$  – скорость тела в неподвижно системе отсчета;  $\vec{v}_2$  – скорость тела в подвижной системе отсчета;  $\vec{v}_0$  – скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной.

**Среднее ускорение** – это физическая величина, равная отношению изменения скорости материальной точки к длительности промежутка времени, в течение которого это изменение произошло,

$$\vec{a}_{\text{cp}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

**Ускорение (мгновенное ускорение)** материальной точки в момент времени  $t$  – это физическая величина  $a$ , равная пределу, к которому стремится среднее ускорение за промежуток времени от  $t$  до  $(t + \Delta t)$  при неограниченном уменьшении  $\Delta t$ :

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{v}'_t = (a_x, a_y, a_z); a_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = (v_x)'_t,$$

аналогично для  $a_y, a_z$ .

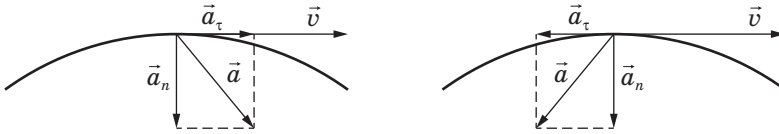


Рис. 2

Составляющая вектора ускорения, направленная вдоль касательной к траектории в данной точке, называется **тангенциальным (касательным) ускорением**  $a_\tau$ . Тангенциальное ускорение характеризует изменение вектора скорости по модулю. Составляющая вектора ускорения, направленная вдоль нормали к траектории в данной точке, называется **нормальным ускорением**  $a_n$ . Нормальное ускорение характеризует изменение вектора скорости по направлению при криволинейном движении.

Модуль полного ускорения (рис. 2)

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}.$$

### Равномерное прямолинейное движение.

**Свободное падение тел. Движение тела, брошенного вертикально вверх. Равномерное движение точки по окружности. Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Вращательное движение абсолютно твердого тела вокруг неподвижной оси**

Движение материальной точки называется **равномерным**, если модуль ее мгновенной скорости с течением времени не изменяется. **Скорость** при равномерном прямолинейном движении равна

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

При равномерном и прямолинейном движении со скоростью  $v$  **вектор перемещения** материальной точки за промежуток времени  $\Delta t$  равен

$$\Delta \vec{r} = \vec{v} \Delta t.$$

**Путь**, пройденный материальной точкой при равномерном прямолинейном движении за промежуток времени  $\Delta t$ , равен модулю вектора перемещения точки за тот же промежуток времени

$$S = v \Delta t = v(t - t_0).$$

**Уравнения равномерного прямолинейного движения:**

$$x(t) = x_0 + v_{0x} t;$$

$$v_x(t) = v_{0x} = \text{const}.$$

**Равнопеременное прямолинейное движение** – это движение, при котором ускорение остается постоянным и по модулю, и по направлению.

**Изменение скорости** равно

$$\Delta v = a \Delta t, \text{ или } v - v_0 = a(t - t_0).$$

**Перемещение равно**

$$\Delta \vec{r} = \vec{v}_0 \Delta t + \frac{\vec{a}(\Delta t)^2}{2}.$$

**Путь**, пройденный точкой в равноускоренном прямолинейном движении с начальной скоростью и ускорением при  $t_0 = 0$ ,

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

**Уравнения равноускоренного прямолинейного движения:**

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}; \\ v_x(t) &= v_{0x} + a_x t; \quad a_x = \text{const}; \\ v_{2x}^2 - v_{1x}^2 &= 2a_x(x_2 - x_1). \end{aligned}$$

**Свободное падение** – это движение, которое совершало бы тело под действием силы тяжести без учета сопротивления воздуха. При свободном падении с небольшой высоты от поверхности Земли тело движется с постоянным ускорением  $g$ , направленным по вертикали вниз. Это ускорение называется **ускорением свободного падения**.

Если в момент начала отсчета времени тело имело скорость  $v_0$ , направленную вниз, то по истечении произвольного промежутка времени **скорость тела равна**

$$v = v_0 + gt.$$

**Путь**, пройденный телом к моменту времени  $t$

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

**Скорость** тела после прохождения в свободном падении пути  $h$

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}.$$

Если тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$ , то в момент времени, соответствующий **наибольшему подъему тела** над точкой бросания, скорость равна

$$v = v_0 - gt' = 0,$$

где  $t'$  – момент времени, соответствующий наибольшему подъему тела над точкой бросания, откуда  $t' = \frac{v_0}{g}$ .

**Максимальная высота подъема тела** над точкой бросания

$$h_{\max} = y_{\max} - y_0 = \frac{v_0^2}{2g}.$$

**Продолжительность движения тела** от исходной точки до наивысшей ( $\Delta t_{\text{п}}$ ) и продолжительность движения тела от наивысшей точки до исходной ( $\Delta t_{\text{в}}$ ) равны между собой

$$\Delta t_{\text{п}} = \Delta t_{\text{в}} = \frac{v_0}{g}.$$

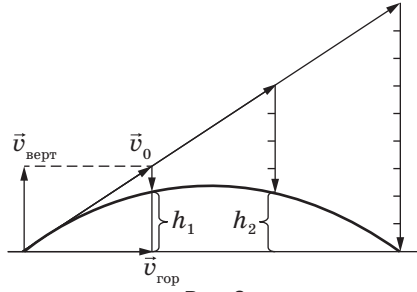


Рис. 3

**Скорость** тела, брошенного под углом к горизонту, в неподвижной системе отсчета равна (рис. 3)

$$\vec{v} = \vec{v}_{\text{верт}} + \vec{v}_{\text{гор}}, \text{ или } \vec{v} = \vec{v}_{0\text{верт}} + \vec{g}t + \vec{v}_{0\text{гор}},$$

где  $\vec{v}_{\text{верт}}$  – составляющая скорости по вертикали;  $\vec{v}_{\text{гор}}$  – составляющая скорости по горизонтали.

**Момент времени**  $t'$ , соответствующий максимальному подъему тела над точкой бросания,

$$t' = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

**Максимальная высота** подъема

$$h_{\text{max}} = y_{\text{max}} - y_0 = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

**Движение тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту** (рис. 4):

$$v_x(t) = v_{0x} = v_0 \cos \alpha; \quad v_y(t) = v_{0y} + g_y t = v_0 \sin \alpha - gt \text{ при } g_x = 0, \quad g_y = -g = \text{const};$$

$$x(t) = x_0 + v_{0x} t = x_0 + v_0 t \cos \alpha;$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2} = y_0 + v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

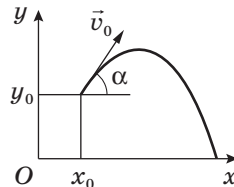


Рис. 4

При равномерном движении по окружности **модуль мгновенной скорости** материальной точки с течением времени не изменяется, **тангенциальное ускорение** ( $a_{\tau} = 0$ ) отсутствует, а **нормальное ускорение** зависит от ее расстояния  $R$  до оси вращения

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = 4\pi^2 v^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R.$$

Изменение вектора скорости по направлению характеризуется **нормальным ускорением**, которое называется **центростремительным ускорением**.

В каждой точке траектории вектор центростремительного ускорения направлен по радиусу к центру окружности, а его модуль равен

$$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R,$$

где  $R$  – радиус окружности.

**Средней угловой скоростью** движения точки по окружности вокруг заданного центра (или оси) называется физическая величина, равная отношению угла поворота относительно оси вращения ( $\Delta\varphi$ ) к промежутку времени ( $\Delta t$ ), за который этот поворот совершается

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

**Угловой скоростью** называется предел, к которому стремится средняя угловая скорость при бесконечном уменьшении промежутка времени  $\Delta t$ ,

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \omega_{\text{ср}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

**Угол поворота** радиус-вектора точки, равномерно движущейся по окружности

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t.$$

Промежуток времени, в течение которого точка совершает один полный оборот по окружности, называется **периодом обращения**  $T$ , а величина  $\nu$ , обратная периоду, – **частотой обращения**:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

**Связь между линейной и угловой скоростью:**

$$v = \omega R; \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

**Среднее угловое ускорение** в промежутке времени  $\Delta t$  – это физическая величина, равная отношению изменения угловой скорости  $\Delta\omega$  вращающегося тела за промежуток времени  $\Delta t$  к длительности этого промежутка

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}.$$

**Угловое ускорение (мгновенное угловое ускорение)** вращающегося тела – это физическая величина, равная пределу, к которому стремится среднее угловое ускорение за промежуток времени от  $t$  до  $(t + \Delta t)$  при бесконечном уменьшении  $\Delta t$ ,

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \varepsilon_{\text{ср}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}.$$

**Изменение угловой скорости** абсолютно твердого тела за промежуток времени  $\Delta t$  при равнопеременном вращательном движении с угловым ускорением

$$\Delta\omega = \varepsilon\Delta t = \varepsilon(t - t_0).$$

**Угол поворота**  $\Delta\varphi$  тела вокруг оси за промежуток времени  $\Delta t$  при равнопеременном движении

$$\Delta\varphi = \omega_0\Delta t + \frac{\varepsilon(\Delta t)^2}{2}.$$