

Тема 7. Пространственно-временные характеристики движения

Пространственно-временные характеристики используют, чтобы определить, как изменяется положение тела в пространстве с течением времени. Пространственно-временные характеристики: скорость, ускорение.



Скорость – это векторная физическая величина, которая показывает, как быстро движется тело. Скорость обозначают $\vec{v}$ (вектор v). Единица скорости – метр в секунду [м/с]. Направление вектора скорости совпадает с направлением перемещения. Знак скорости зависит от выбора направления оси x : если направления совпадают, то скорость имеет знак «+», если направления противоположные, то скорость имеет знак «-» (рисунок 7.1).

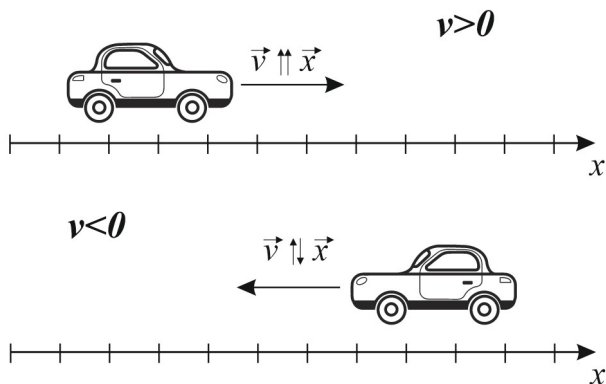


Рисунок 7.1. Определение знака скорости

Мгновенная скорость – это скорость, которую имеет тело в данный момент времени. При равномерном движении мгновенная скорость равна средней скорости тела: $v_{\text{мгн}} = \frac{ds}{dt}$. В любой точке траектории мгновенная скорость направлена по касательной к траектории в этой точке.

Средняя скорость тела – это скорость тела на участке пути, который состоит из нескольких частей с равномерным движением внутри каждой части (рис. 7.2):

$$v_{\text{ср}} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

где $s_1 + s_2 + \dots + s_n$ – участки пути с равномерным движением;
 $t_1 + t_2 + \dots + t_n$ – время равномерного движения на участках пути.

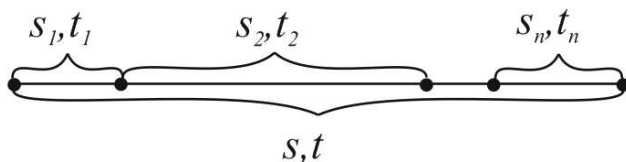


Рис. 7.2. Средняя скорость тела на участке пути

Средняя скорость – это скалярная физическая величина.

Криволинейное движение характеризуется наличием линейной скорости и угловой скорости.

Линейная скорость – это скорость движения тела по прямолинейной траектории. Линейную скорость обозначают буквой v . В любой точке траектории линейная скорость направлена по касательной к траектории в этой точке (рисунок 7.3, а):

$$v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T},$$

где $l = 2\pi R$ – длина окружности,
 T – период.

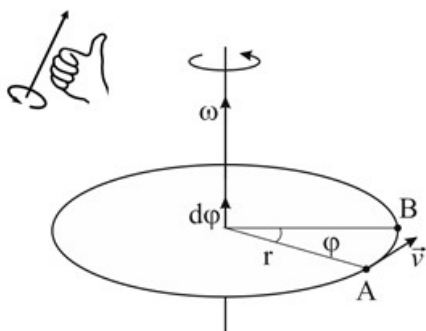
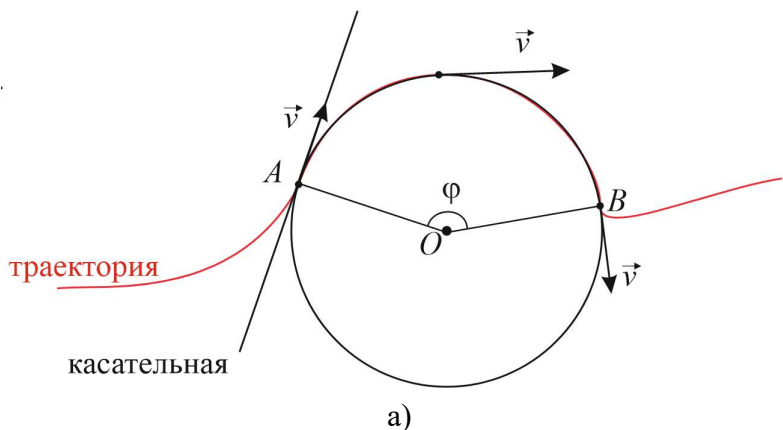


Рисунок 7.3. Определение направления линейной (а) и угловой (б) скоростей

Угловая скорость – это векторная физическая величина, которая показывает, как быстро движется радиус-вектор точки. Угловую скорость обозначают буквой ω (омега). Единица угловой скорости – радиан в секунду [рад/с]. Угловая скорость направлена вдоль оси вращения по правилу правой руки: если взять тело в правую руку и вращать его в направлении, куда указывают четыре пальца, то большой палец покажет направление угловой скорости (рисунок 7.3, б).

Угловая скорость:

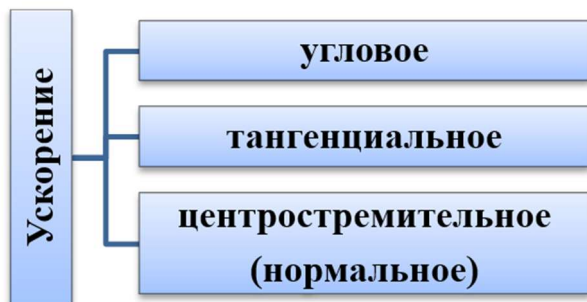
$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu,$$

где φ – угол поворота; t – время; T – период; ν – частота.

Линейная и угловая скорости связаны между собой:

$$v = \omega R,$$

где R – радиус окружности (радиус кривизны). Линейная скорость тем больше, чем дальше тело от оси вращения, а угловая скорость одинакова для всех точек, которые лежат на одном радиусе.



Ускорение – это векторная физическая величина, которая показывает, как быстро изменяется скорость тела. Ускорение обозначают буквой a ($\vec{a}$). Единица ускорения – метр на секунду в квадрате $[м/с^2]$.

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0},$$

где v – конечная скорость;

v_0 – начальная скорость;

$t - t_0$ – время движения тела.

Ускорение – это первая производная от скорости по времени и вторая производная от перемещения по времени:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Ускорение может быть положительной и отрицательной величиной. Ускорение имеет знак «-» при замедленном движении, когда начальная скорость больше, чем конечная ($v_0 > v$). Ускорение имеет знак «+» при ускоренном движении, когда начальная скорость меньше, чем конечная ($v_0 < v$) (рисунок 7.4).

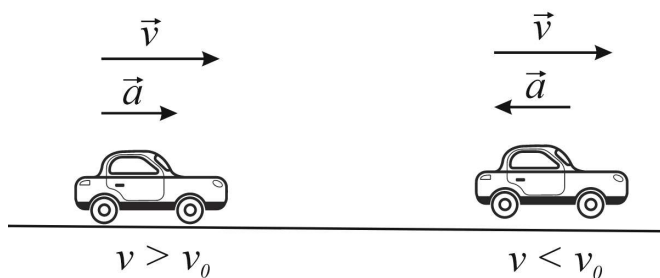


Рисунок 7.4. Определение знака ускорения

При движении тела по окружности ускорение раскладывается по направлениям:

- 1) параллельно вектору скорости (тангенциальное ускорение);
- 2) перпендикулярно вектору скорости (нормальное ускорение).

Нормальное ускорение a_n характеризует изменение направления вектора скорости. Нормальное ускорение a_n всегда перпендикулярно вектору линейной скорости $\vec{v}$ и направлено по радиусу к центру окружности (рисунок 7.5, а). Нормальное ускорение

$$a_n = \frac{v^2}{R},$$

где v – линейная скорость тела, R – радиус окружности, по которой движется тело.

Тангенциальное ускорение a_τ характеризует изменение модуля скорости. Тангенциальное ускорение a_τ всегда направлено по касательной к окружности. Если скорость увеличивается, то направление вектора тангенциального ускорения и вектора скорости совпадают. Если скорость уменьшается, то направление тангенциального ускорения противоположно вектору скорости (рисунок 7.5, б). Тангенциальное ускорение

$$a_\tau = \varepsilon R,$$

где ε – угловое ускорение;

R – радиус вращения.

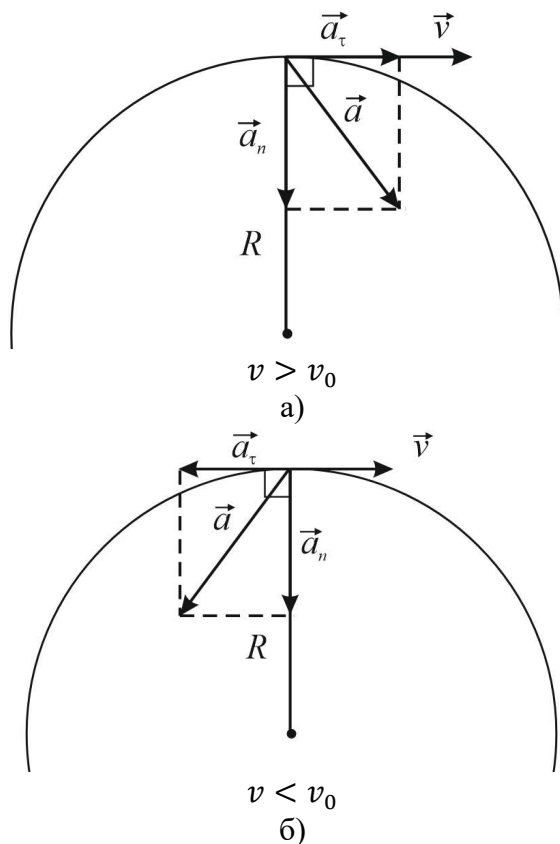


Рисунок 7.5. Направление тангенциального ускорения

Векторы нормального и тангенциального ускорения перпендикулярны друг другу и их сумма даёт вектор полного ускорения:

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

Угловое ускорение – это векторная физическая величина, которая характеризует изменение угловой скорости в единицу времени. Угловое ускорение обозначают буквой ε ($\vec{\varepsilon}$). Единица углового ускорения – радиан на секунду в квадрате [$\text{рад}/\text{с}^2$]. Угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2},$$

где ω – угловая скорость,

φ – угол поворота.

Вектор углового ускорения $\vec{\epsilon}$ направлен вдоль оси вращения в ту же сторону, что и вектор угловой скорости $\vec{\omega}$ при ускоренном вращении и в противоположную сторону при замедленном вращении (рисунок 7.6).

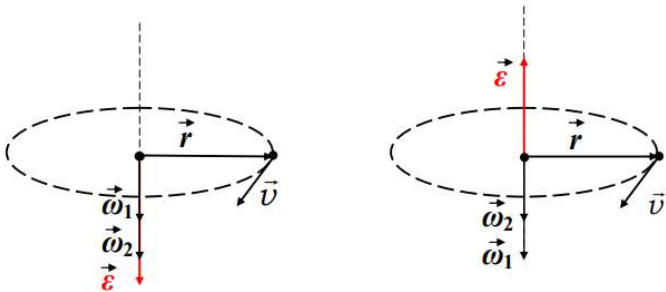


Рисунок 7.6. Направление вектора углового ускорения

Основные формулы вращательного движения представлены в таблице 7.1:

7.1. Вращательное движение

Вид движения	Вращательное движение
Равномерное движение	$\omega = \text{const}$ $\varphi = \omega t$
Равнопеременное движение	$\epsilon = \text{const}$ $\omega = \omega_0 t \pm \epsilon t$ $\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\epsilon t^2}{2}$