

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).

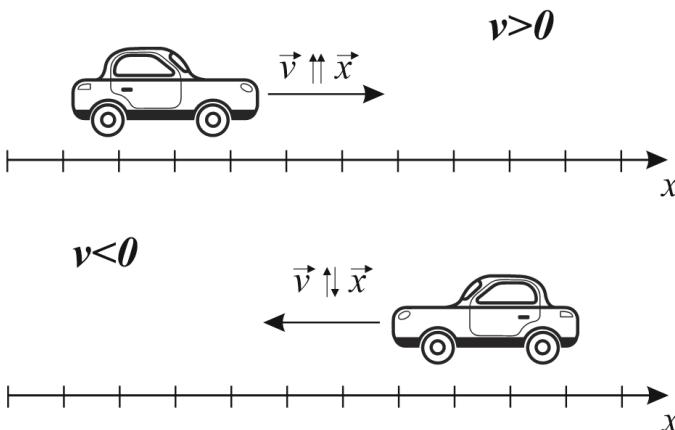


Рисунок 7.1 – Определение знака скорости

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 (рисунок 7.2):

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

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

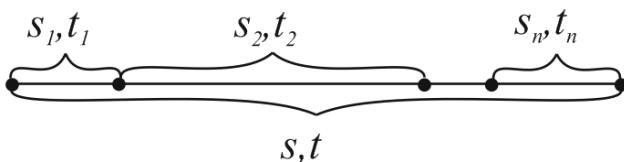


Рисунок 7.2 – Средняя скорость тела на участке пути

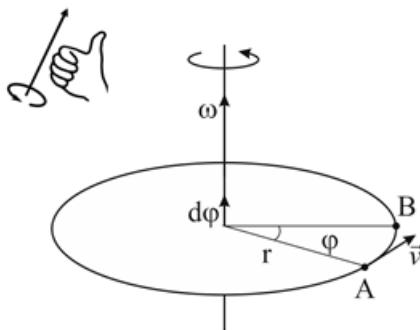
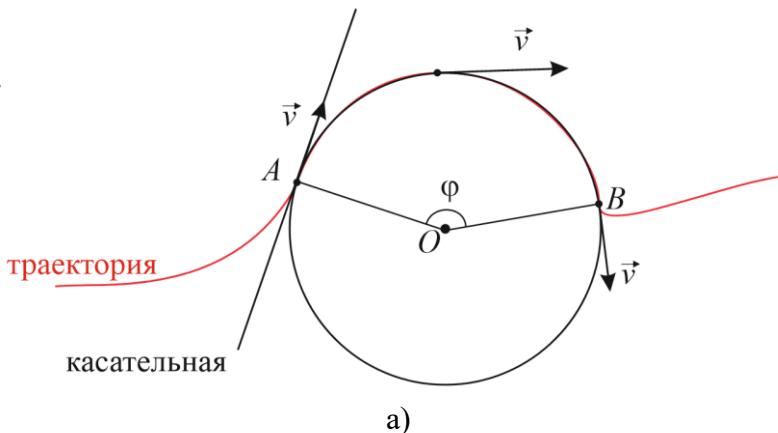
Средняя скорость – это скалярная физическая величина.

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



б)

Рисунок 7.3 – Определение направления линейной (а)
и угловой (б) скорости

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 – это 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 [$\text{м}/\text{с}^2$].

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

где v – это конечная скорость,

v_0 – это начальная скорость,

$t - t_0$ – это 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).

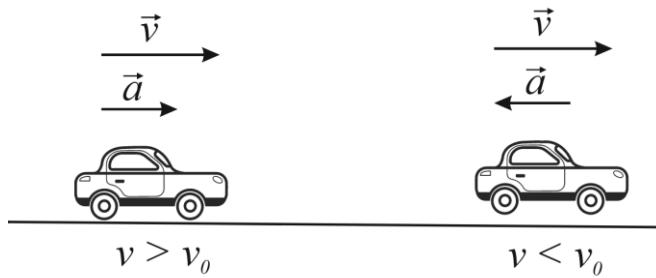


Рисунок 7.4 – Определение знака ускорения

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

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

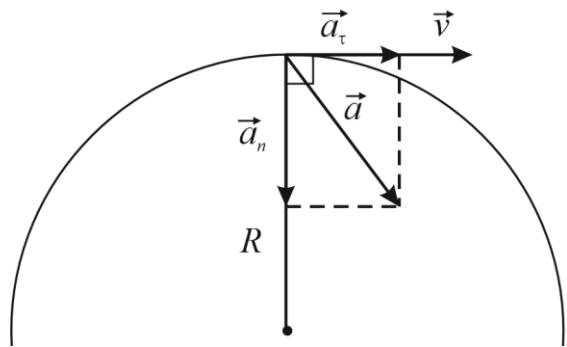
где v – это линейная скорость тела, R – это радиус окружности, по которой движется тело.

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

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

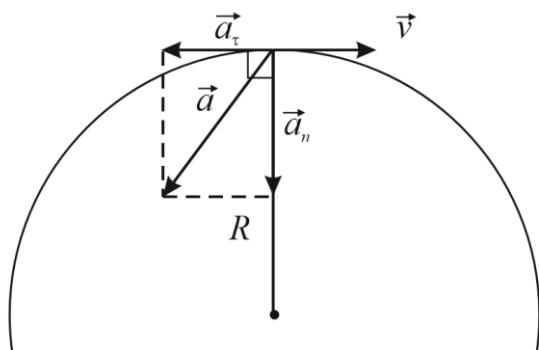
где ε – это угловое ускорение,

R – это радиус вращения.



$$v > v_0$$

a)



$$v < v_0$$

b)

Рисунок 7.5 – Направление тангенциального ускорение

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

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$$

Угловое ускорение – это векторная физическая величина, которая характеризует изменение угловой скорости в единицу времени. Угловое ускорение обозначают буквой ϵ ($\vec{\epsilon}$). Единица углового ускорения – радиан на секунду в квадрате [рад/с²]. Угловое ускорение

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

где ω – это угловая скорость,

φ – это угол поворота.

Вектор углового ускорения $\vec{\varepsilon}$ 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).

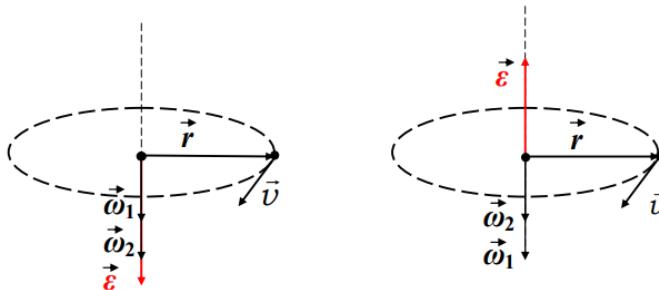


Рисунок 7.6 – Направление вектора углового ускорения

Основные формулы вращательного движения представлены в таблице 1:

Таблица 1. Вращательное движение

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