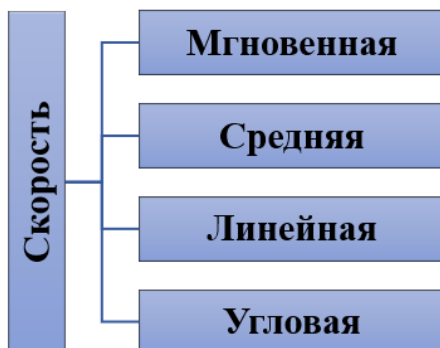


## Тема 7. Пространственно-временные характеристики движения

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).

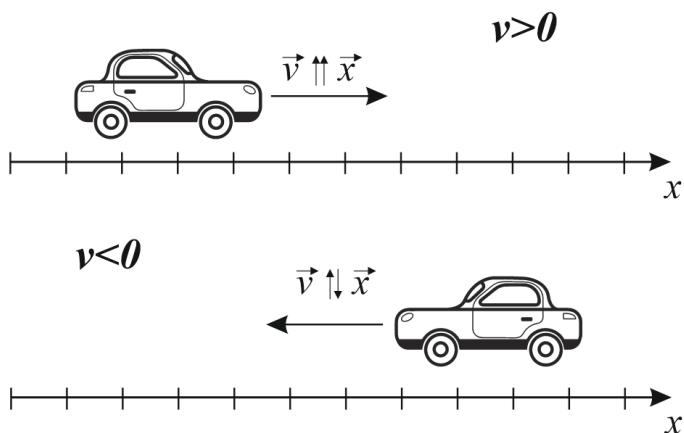


Рисунок 7.1 – Определение знака скорости

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):

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

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.

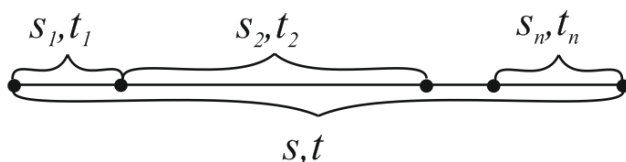


Рисунок 7.2 – Средняя скорость тела на участке пути

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.

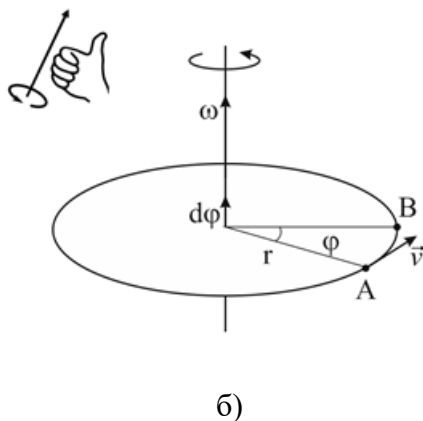
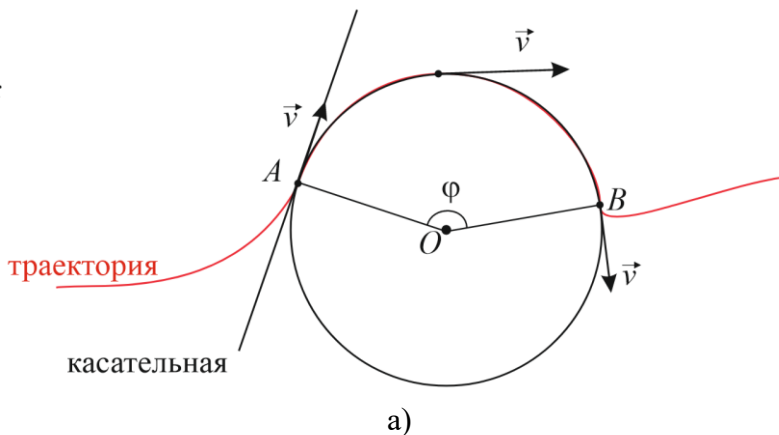


Рисунок 7.3 – Определение направления линейной (а) и угловой (б) скорости

Угловая скорость – это векторная физическая величина, которая показывает, как быстро движется радиус-вектор точки. Угловую скорость обозначают буквой  $\omega$  (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  $\varphi$  – угол поворота,  $t$  – время,  $T$  – период,  $\nu$  – 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 [м/с<sup>2</sup>].

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

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).

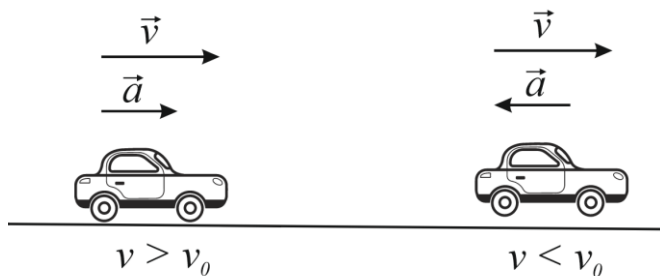


Рисунок 7.4 – Определение знака ускорения

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

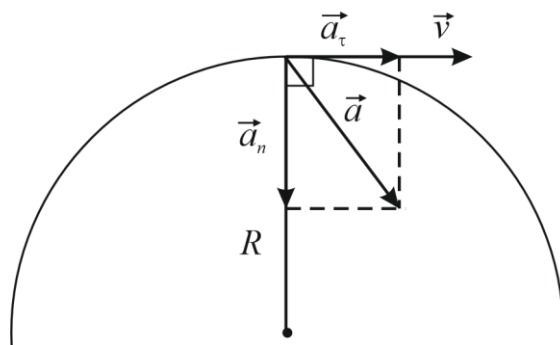
$$a_n = \frac{v^2}{R},$$

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

Тангенциальное ускорение  $a_\tau$  характеризует изменение модуля скорости. Тангенциальное ускорение  $a_\tau$  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

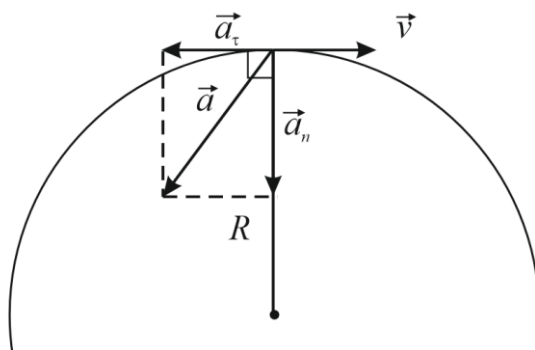
$$a_\tau = \varepsilon R,$$

где  $\varepsilon$  – это угловое ускорение,  
 $R$  – это радиус вращения.



$$v > v_0$$

а)



$$v < v_0$$

б)

Рисунок 7.5 – Направление тангенциального ускорение

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

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

Угловое ускорение – это векторная физическая величина, которая характеризует изменение угловой скорости в единицу времени. Угловое ускорение обозначают буквой  $\varepsilon$  ( $\vec{\varepsilon}$ ). 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  $\omega$  – это угловая скорость,

$\varphi$  – 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).

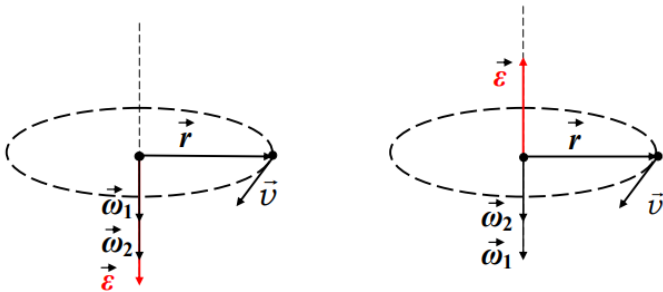


Рисунок 7.6 – Направление вектора углового ускорения  
Основные формулы вращательного движения представлены в таблице 1:

Таблица 1. Вращательное движение

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