

# Механическое

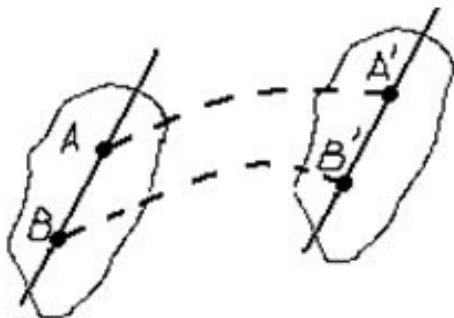
## движение

Механика для описания движения тел в зависимости от условий конкретных задач использует разные **физические модели**.

**Материальная точка (МТ)** - тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстояниями до других тел.

**Абсолютно твердое тело (АТТ)** – тело, деформациями которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

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



**Поступательное движение** - это движение при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остается параллельной своему первоначальному положению.

**Вращательное движение – это движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения.**

### Способы описания движения точки

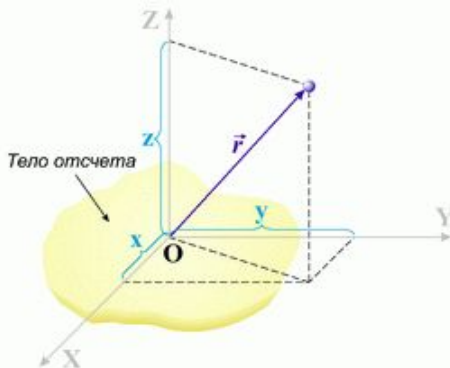
**1 способ – координатный.**

С телом отсчета связывают систему координат.

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} (1.1)$$

**2 способ – векторный .**

Положение интересующей нас точки задается радиус-вектором.



$$\vec{r} = xi + yj + zk$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\vec{r} = \vec{r}(t) (1.2)$$

**Радиус-вектором называется вектор, проведенный из начала координат в данную точку.**

# Основные характеристики механического

## движения

1. **Длина пути** или **путь** -

$\Delta S$ .

*Длина участка траектории, пройденного материальной точкой называется длиной пути.*

$$\text{СИ: } [\Delta S] = [\text{м}]$$

2. **Перемещение** – вектор, проведенный из начального положения движущейся точки в положение ее в данный момент времени.

$$\text{СИ: } [\Delta \vec{r}] = [\text{м}]$$

3. **Скорость**.

*Характеризует быстроту движения материальной точки по траектории, а так же направление, в котором точка движется в данный момент времени.*

В зависимости от скорости движение может быть **равномерным** и **неравномерным**.

Движение, при котором материальная точка за равные, сколь угодно малые промежутки времени проходит одинаковые пути называется равномерным.

а) **Вектор скорости**  $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$

б) **Путевая скорость**  $= \frac{\Delta S}{\Delta t}$



СИ :  $[v] = [м/с]$

Движение, при котором материальная точка за равные промежутки времени проходит неодинаковые пути, называется неравномерным.

а) **Средняя путевая скорость**

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

б) **Вектор средней скорости**

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$



**в) Мгновенная скорость**



компоненты скорости:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right) = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad |\vec{v}| = \frac{ds}{dt}$$

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$$

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

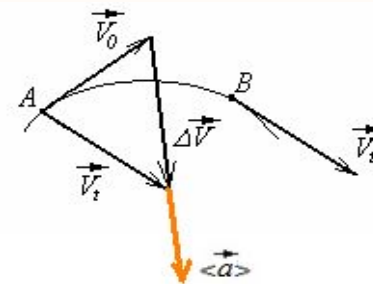
4.

**Ускорение.**

**Векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения скорости по модулю и направлению, называется ускорением.**

**а) Среднее ускорение**

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}, \quad \langle \vec{a} \rangle \uparrow \uparrow \Delta \vec{v}$$



$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \right) = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{или} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$$

**б) Мгновенное ускорение**

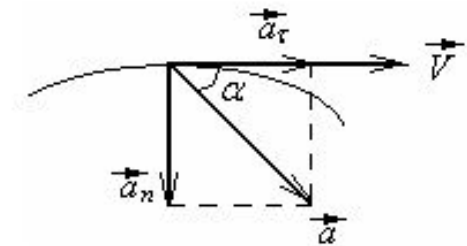
$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

$$СИ : [\vec{a}] = [м/с^2]$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

Компоненты ускорения равны вторым производным соответствующих координат по времени.

В общем случае ускорение направлено под некоторым углом к вектору скорости.



$\vec{a}_\tau$  - **тангенциальная составляющая** ускорения или **касательное ускорение**.

- характеризует изменение скорости по модулю ← **физический**

**СМЫСЛ.**

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau}, \quad a_\tau = \frac{dv}{dt}$$

**Тангенциальная составляющая вектора ускорения равна первой производной по времени от модуля скорости.**

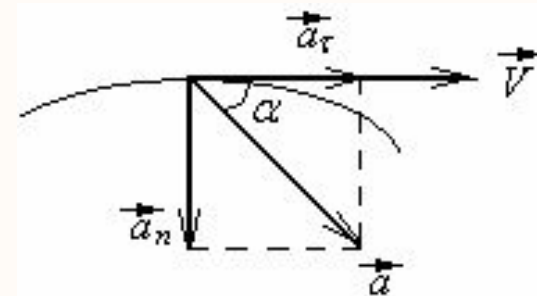
$\vec{\tau}$  - единичный вектор, направленный по касательной.

$$\vec{a}_\tau \uparrow \uparrow v \text{ если движение "+"}$$

$$\vec{a}_\tau \uparrow \downarrow v \text{ если движение "-"}$$

$\vec{a}_n$  - **нормальная составляющая** ускорения или **центростремительное ускорение**.

- характеризует изменение скорости по направлению ← **физический смысл**.



$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n}, \quad a_n = \frac{v^2}{R},$$

$$\vec{a}_n \perp \vec{v}$$

**Нормальная составляющая вектора ускорения равна отношению квадрата модуля мгновенной скорости к радиусу кривизны траектории.**

$\vec{n}$  - единичный вектор, направленный по нормали к траектории к центру ее кривизны.

Полное ускорение можно представить в виде векторной суммы двух ускорений:

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n, \quad a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$

Вращение ТТ может быть равномерным и  
неравномерным.

**а) Вращение называется равномерным, если за любые равные, сколь угодно малые промежутки времени тело поворачивается на одинаковые углы.**

**Характеристики равномерного  
вращения:**

**1) Величина равная отношению угла поворота в единицу времени называется модулем угловой скорости.**

$$\omega = \frac{\varphi}{t}, \text{ СИ: } [\omega] = [\text{рад} / \text{с}]$$

**2) Период вращения – это время, за которое тело совершает один оборот вокруг оси, т.е. поворачивается на угол  $\phi=2\pi$ .**

$$T = \frac{t}{N}, \text{ СИ: } [T] = [\text{с}]$$

если  $\phi=2\pi$ , а  $t=T$ ,  
то

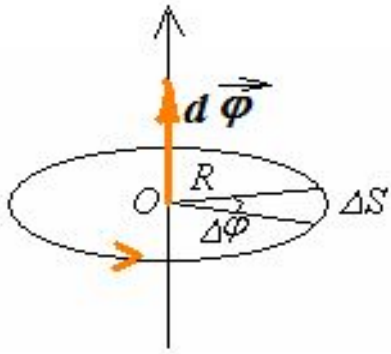
$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$$



3) **Частотой вращения называется число полных оборотов тела в единицу времени.**

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \text{СИ: } [\nu] = [c^{-1}] \text{ или } [\text{Гц}]$$

б) **Вращение ТТ, при котором за равные промежутки времени тело поворачивается на разные углы называется неравномерным.**



Если угол - мал, его характеризуют вектором  $d\phi$ , модуль которого равен углу поворота, а направление определяют по правилу правого винта.

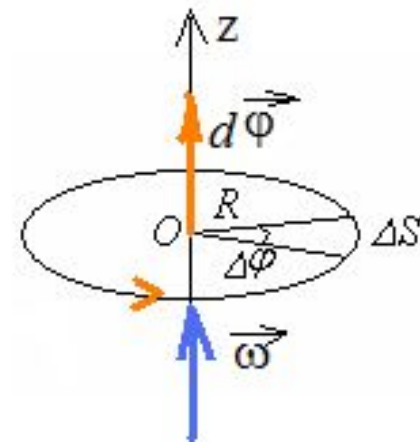
1) Вектор средней угловой скорости

$$\langle \vec{\omega} \rangle = \Delta \vec{\phi} / \Delta t, \quad \langle \vec{\omega} \rangle \uparrow \uparrow \Delta \vec{\phi},$$

$$\langle \omega \rangle = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

**Если направление вектора определяют по правилу правого винта - это псевдовектор. Его откладывают из любой точки оси вращения.**

2) **Вектором мгновенной угловой скорости называется в.ф.в., равная первой производной угла поворота по времени:**



$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \vec{\omega} \uparrow \uparrow d\varphi,$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

3) **Вектором среднего углового ускорения называется изменение вектора угловой скорости со временем.**

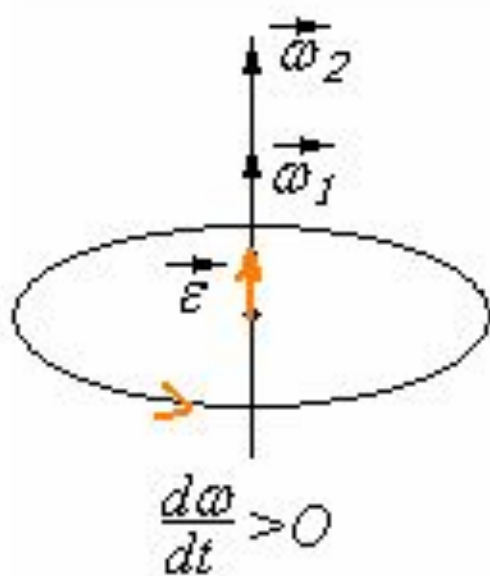
$$\langle \vec{\varepsilon} \rangle = \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t}, \quad \langle \vec{\varepsilon} \rangle \uparrow \uparrow \Delta \vec{\omega},$$

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}, \quad СИ : [\varepsilon] = [rad/c^2]$$

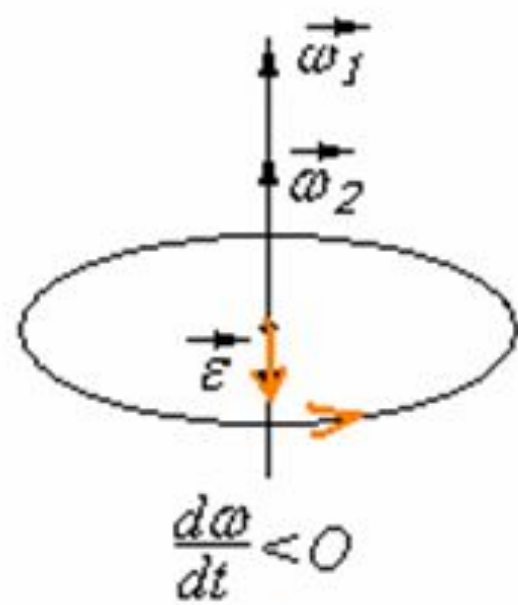
4) **Вектором мгновенного углового ускорения в момент времени  $t$  является предел приращения вектора угловой скорости к приращению времени, за которое оно произошло:**

$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt},$$

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



*равноускоренное*



*равнозамедленное*

## Связь между линейными и угловыми характеристиками движения.

линейные характеристики	угловые характеристики	связь между ними
$s$	$\phi$	$\Delta S = R\Delta\phi$
$v = \frac{dr}{dt} = r'$	$\omega = \frac{d\phi}{dt} = \phi'$	$v = \omega \cdot R, \vec{v} = [\vec{\omega} \ r]$
$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$	$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$	
$a_\tau = \frac{dv}{dt}$		$a_\tau = \varepsilon \cdot R, \vec{a}_\tau = [\vec{\varepsilon} \ R]$
$a_n = \frac{v^2}{R}$		$a_n = \omega^2 R, \vec{a}_n = \omega^2 R \vec{n}$

**Система уравнений, описывающих равномерное движение:**

$$\text{поступательное} \begin{cases} v = \text{const} \\ a = 0 \end{cases}$$

$$\text{вращательное} \begin{cases} \omega = \text{const} \\ \varepsilon = 0 \end{cases}$$

**Система уравнений, описывающих равнопеременное движение:**

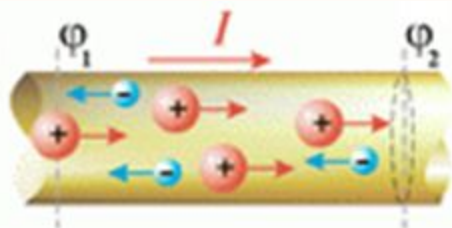
$$\text{поступательное} \begin{cases} v = v_0 \pm at \\ S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}, \\ a = \text{const} \end{cases}$$

$$\text{вращательное} \begin{cases} \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t \\ \varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2} \\ \varepsilon = \text{const} \end{cases}$$

$$\text{формулы связи} \begin{cases} \omega = 2\pi\nu \\ \varphi = 2\pi N \end{cases}$$

# Электрический ток, его характеристики, условия существования

**Электрическим током называют упорядоченное движение заряженных частиц.**



Если в проводнике создать и поддерживать внешнее эл. поле, то свободные электрические заряды начнут перемещаться: «+» - по полю, «-»-против поля, то есть в проводнике возникает электрический ток.

**Условия возникновения и существования электрического тока:**

1. наличие свободных носителей зарядов

2. наличие внутри тела электрического поля

**За направление тока условно принимают направление движения положительных зарядов.**

## Характеристики эл. тока:

1. **Сила тока** – с.ф.в. определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

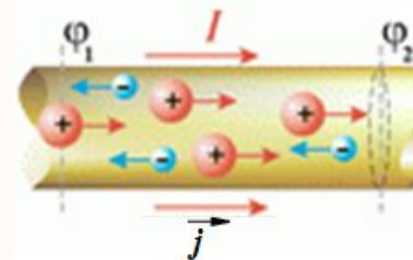
Ток, сила и направление которого не изменяются со временем, наз. постоянным током.

$$I = \frac{q}{t}, \text{ СИ: } [I] = [A]$$

2. **Физическая величина, определяемая силой тока, проходящего через единицу площади поперечного сечения проводника, перпендикулярного направлению тока, называется плотностью тока.**

$$|j| = \frac{dI}{dS_{\perp}}, \text{ СИ: } [j] = \left[ \frac{A}{m^2} \right]$$

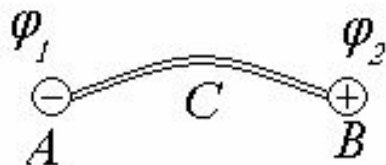
$$j = ne\langle v \rangle$$



$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}} \Rightarrow I = \int_S j dS, \text{ где } dS = n dS$$

**Сила тока** — это поток вектора плотности тока через поверхность  $dS$ .

## Сторонние силы. Электродвижущая сила и напряжение



Два разноименно заряженных проводника А и В, ( $\varphi_2 > \varphi_1$ ) соединяют проводником С.

Сторонние силы, перемещая электрические заряды, совершают работу.

**Физическая величина, определяемая работой, совершаемой сторонними силами при перемещении положительного единичного заряда, называется электродвижущей силой ЭДС.**

$$\mathcal{E} = \frac{A_{cm}}{q}, \quad СИ: [\mathcal{E}] = [В]$$

$$A_{cm} = q \oint \vec{E}_{cm} dl$$

$$\mathcal{E} = \frac{A_{cm}}{q} = \frac{q \oint \vec{E}_{cm} dl}{q} = \oint \vec{E}_{cm} dl$$

В общем случае в цепи на заряд  $q$  действуют силы электростатического поля и сторонние силы, следовательно:

$$A_{12} = A_{эл} + A_{cm}, \quad A_{12} = q \int_1^2 \vec{E}_{эл} dl + q \int_1^2 \vec{E}_{cm} dl, \quad A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q\mathcal{E}_{12}$$



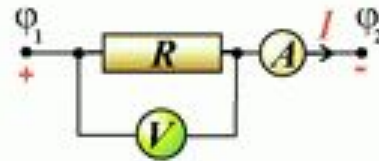
Напряжением  $U$  на участке 1-2 называется с.ф.в., определяемая работой, совершаемой суммарным полем электростатических (кулоновских) и сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда на данном участке цепи.

$$U = \frac{A_{12}}{q} = \frac{A_{эл} + A_{см}}{q}$$

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q\mathcal{E}_{12}$$

$$U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}$$

Участок цепи, на котором не действуют сторонние силы, называют однородным.



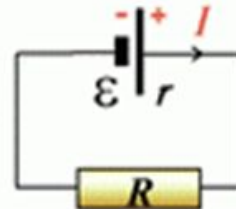
$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

Участок цепи, на котором на носители тока действуют сторонние силы, называют неоднородным.



$$U_{12} = \mathcal{E}_{12} + (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Для замкнутой цепи:

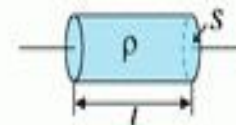


$$U = \mathcal{E}_{12}$$

# Закон Ома. Электрическое сопротивление проводника

Немецкий физик Г.Ом экспериментально установил:

$$I = \frac{U}{R}$$



Для цилиндрического проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\text{СИ: } [R] = [\text{Ом}]$$

$\rho$ - удельное сопротивление проводника (зависит от материала проводника и от температуры)

$$\text{СИ: } [\rho] = [\text{Ом} \cdot \text{м}]$$

**Сопротивление** проводника **зависит** от :

- *размера*
- *формы*
- *материала*

## Закон Ома в дифференциальной форме:

$$j = \sigma E \text{ или } j = \sigma E$$

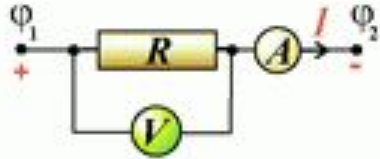
$\sigma$ - удельная электрическая проводимость вещества проводника. СИ:  $[\sigma] = [\text{См/м}]$ .

Для неоднородного участка цепи:

$$j = \sigma (E_{\text{эл}} + E_{\text{ст}})$$

# Закон Ома.

Для однородного участка цепи:

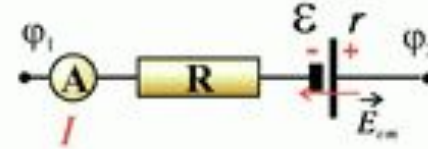


$$U = (\varphi_1 - \varphi_2), \quad \varepsilon_{12} = 0$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{R}$$

$$\boxed{j = \sigma E}$$

Для неоднородного участка цепи:

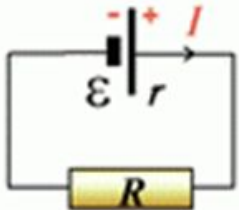


$$U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}$$

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}}{R + r}$$

$$\boxed{j = \sigma (E_{\text{эл}} + E_{\text{ст}})}$$

Если цепь замкнута:



$$\varphi_1 = \varphi_2$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Если цепь разомкнута:

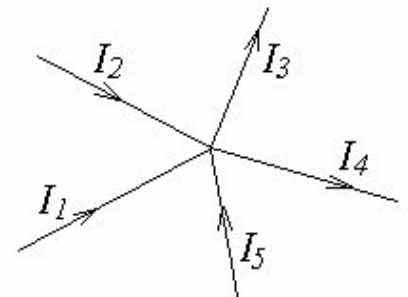
$$I = 0$$

$$\varepsilon_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

# Правила Кирхгофа для разветвленных цепей.

1. **Первое правило Кирхгофа:** алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$



**Пример:**  $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$ .

Любая точка разветвленной цепи, в которой сходится не менее трех проводников с током, называется узлом.

Ток, входящий в узел, считается «+», выходящий из узла – «-».

Первое правило Кирхгофа вытекает из закона сохранения электрического заряда.

2. **Второе правило Кирхгофа:** алгебраическая сумма произведений сил токов в отдельных участках произвольного замкнутого контура на их сопротивления равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре.

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k$$

**Контур – любой замкнутый путь, который можно обойти перемещаясь по любым ветвям цепи.**

**Ветвью электрической цепи – называется участок цепи вдоль которого проходит один и тот же ток.**

Второе правило Кирхгофа является следствием закона Ома для неоднородного участка цепи.

