

# Лекция 1. Кинематика.

К.ф.-м. наук, доцент, доцент  
департамента общей и  
экспериментальной физики  
ДВФУ  
Дьяченко О.И.

# Список литературы и рейтинг.

1. Савельев, И.В. Курс общей физики : учебное пособие : в 3 томах / И.В. Савельев. — 15-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 1 : Механика. Молекулярная физика — 2019. — 436 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики : учебное пособие для вузов /Т.И. Трофимова. -15-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. —580 с.
3. Иродов И.Е. Основные законы механики. - М.: Высшая школа, 1978, с. 240.
4. Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Наука, 1975-1988, т 1.
5. Яворский Б.М., Детлаф. Физика. – М.: Дрофа, 1998, с.795.
6. Зисман, Г.А. Курс общей физики : учебное пособие : в 3 томах / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 1 : Механика. Молекулярная физика. Колебания и волны — 2019. — 340 с.



## План лекции:

1. Основные понятия механики.
2. Путь и перемещение.
3. Скорость.
4. Ускорение.
5. Ускорение при криволинейном движении.
6. Виды механического движения.
7. Вращательное движение. Основные характеристики.

# 1. Основные понятия механики.

**Механика** изучает закономерности механического движения.

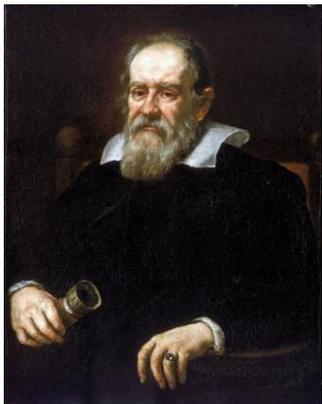
Классическая механика имеет пределы применимости. Не применима если:

1. Скорость сопоставима со скоростью света ( $v \approx c$ ) → *Релятивистская механика*.
2. Размеры системы сопоставимы с размером атома ( $l \approx 10^{-9} \text{ м}$ ) → *Квантовая механика*.
3. Система содержит большое число частиц → *Статистика*.

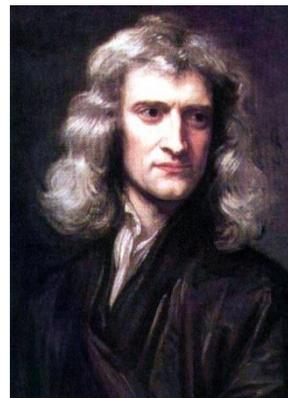
Раздел механики «*Кинематика*» посвящен описанию движения тел (траектории, скорости, ускорения) при этом не затрагивая описания причин этого движения.

Раздел механики «*Динамика*» занимается изучением причин движения.

Основоположниками механики являются Галилео Галилей и Исаак Ньютон:



Галилей открыл закон инерции, сформулировал принцип относительности, обосновал модель Солнечной системы Коперника.



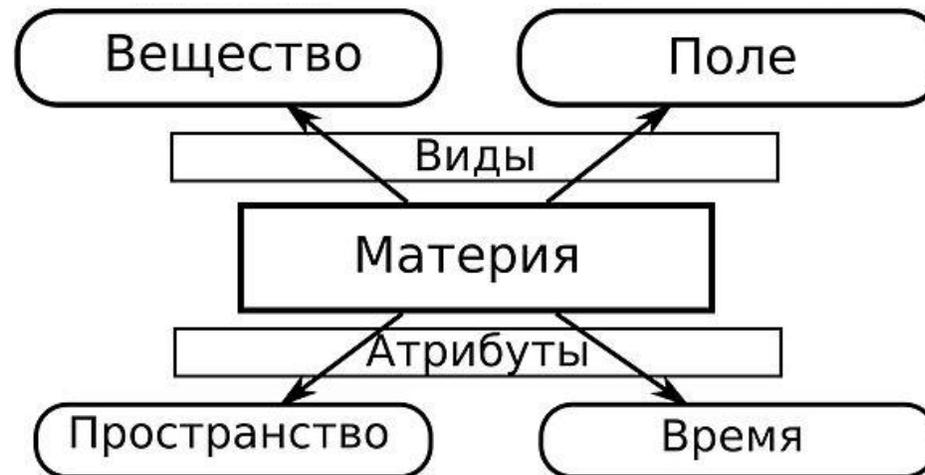
Ньютон сформулировал все основные законы механики — три закона динамики и закон всемирного тяготения.

**Основной задачей механики является определение положения движущегося тела в любой момент времени.**

# 1. Основные понятия механики.

Движение - это способ существования материи.

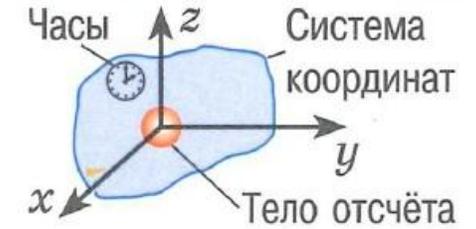
Материя - бесконечное множество всех сосуществующих в мире объектов и систем, совокупность их свойств и связей, отношений и форм движения



# 1. Основные понятия механики.

**Механическое движение** – изменение положения тела в пространстве, происходящее относительно других тел с течением времени.

Совокупность тела отсчета, системы координат и системы измерения времени называется **системой отсчета**.



**Виды движения:**

**Поступательное движение** – такое движение, при котором любая прямая, связанная с движущимся телом, остается параллельной самой себе.

**Вращательное движение** - такое движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой осью вращения.

**В механике используются простые модели:**

**Материальная точка** – тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

**Абсолютно твердое тело** – тело, деформациями которого в условиях рассматриваемой задачи можно пренебречь.

**Сплошная среда** - непрерывно распределённая в пространстве среда, обладающая упругими свойствами.

## 2. Путь и перемещение.

**Траектория** – кривая, описываемая некоторой точкой при движении. Длина этой кривой – пройденный **путь** ( $S$ ).

**Перемещение** – отрезок, соединяющий начало и конец траектории ( $\Delta\vec{r}$ ). Характеризуется длиной и направлением – **векторная величина**. Величина, для описания которой достаточно одного числового значения – **скалярная величина**.

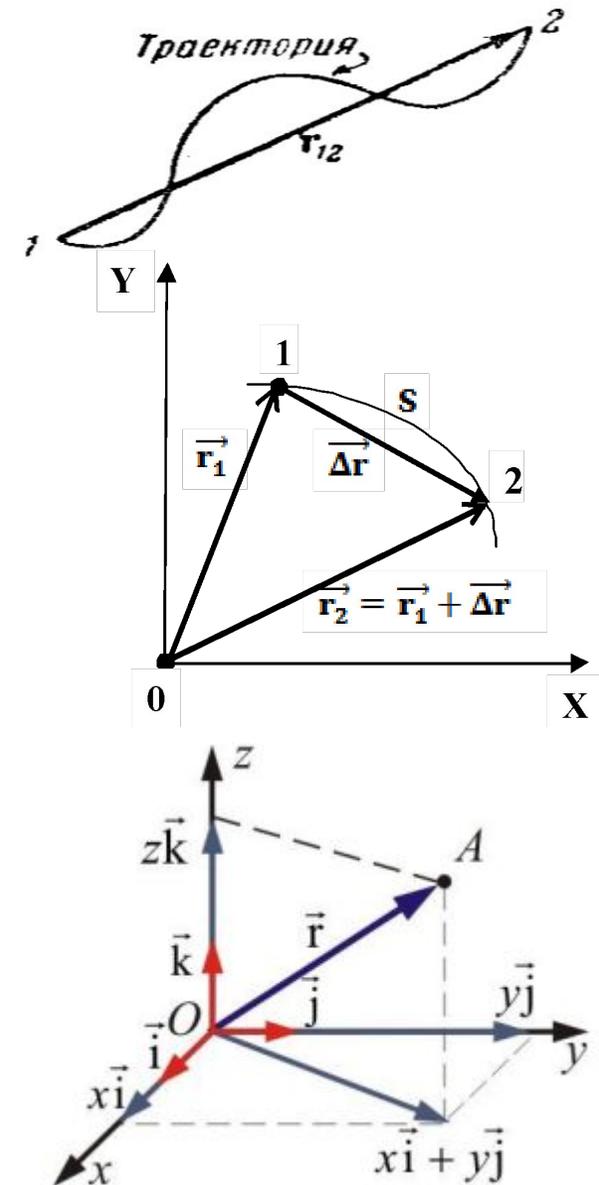
$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} + (z_2 - z_1)\vec{k}$$
$$\Delta\vec{r} = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k}$$
$$|\Delta\vec{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

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

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

Модуль радиус - вектора:

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

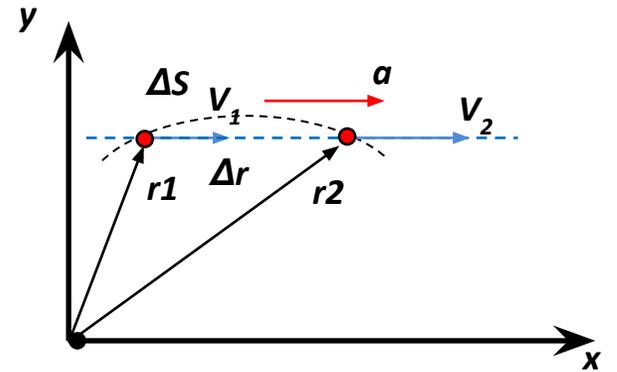


### 3. Скорость.

Положение материальной точки в пространстве зададим радиус-вектором  $r$ . Перемещение точки за время  $\Delta t$  будет соответствовать изменению радиус-вектора  $\Delta r$ , не совпадающему в общем случае с  $\Delta S$ .

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{ds}{dt} = \dot{\vec{r}} = \dot{s} \quad [v] = \text{м/с}$$

**Скорость** – векторная физическая величина, характеризующая быстроту перемещения и направление движения материальной точки относительно выбранной системы отсчёта. Предел отношения  $dr$  к  $dt$ . Касательная к траектории.

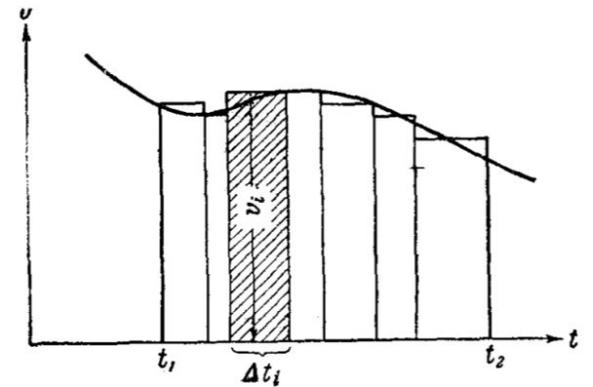


В общем случае, в прямоугольной декартовой системе координат, скорость определяется

$$\begin{aligned} \vec{v} &= v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k} \\ \vec{v} &= \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k} \\ |\vec{v}| &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \end{aligned}$$

**Пройденный путь**

$$S = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N v_i \Delta t_i = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$$



## 4. Ускорение.

**Ускорение** — векторная физическая величина, определяющая быстроту изменения скорости тела, то есть первая производная от скорости по времени.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{r}} \quad [\vec{a}] = \text{м/с}^2$$

В общем случае, в прямоугольной декартовой системе координат, ускорение определяется

$$\vec{a} = \frac{d^2x}{dt^2} \vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2} \vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2} \vec{k}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{a} dt$$

$$v = v_0 + at$$

**Пройденный путь при равнопеременном движении**

$$S = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

## 5. Ускорение при криволинейном движении.

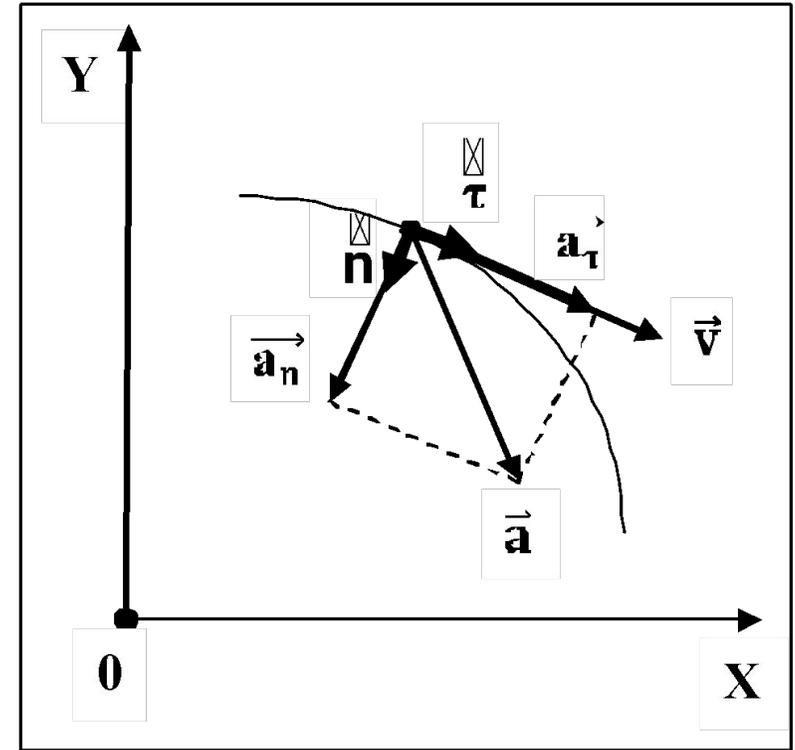
Рассмотрим случай криволинейного движения. Ускорением называется изменение скорости, но скорость – **векторная величина**, то есть, может изменяться как по величине, так и по направлению.

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau} + \frac{v^2}{R} \vec{n}$$

$$|\vec{a}| = \sqrt{|\vec{a}_n|^2 + |\vec{a}_\tau|^2}$$

**Тангенциальное ускорение**  $\vec{a}_\tau$  — компонента ускорения, направленная по касательной к траектории движения. Характеризует изменение модуля скорости.

**Нормальное ускорение**  $\vec{a}_n$  - компонента ускорения точки, характеризующая быстроту изменения направления вектора скорости, направлено к центру кривизны траектории.



## 6. Виды механического движения.

В зависимости от тангенциальной и нормальной составляющих ускорения движение можно классифицировать следующим образом:

1.  $a_\tau = 0, a_n = 0$  – прямолинейное равномерное движение;
2.  $a_\tau = a = const, a_n = 0$  – прямолинейное равнопеременное движение;
3.  $a_\tau = f(t), a_n = 0$  – прямолинейное движение с переменным ускорением;
4.  $a_\tau = 0, a_n = const$  – равномерное движение по окружности;
5.  $a_\tau = 0, a_n \neq 0$  – равномерное криволинейное движение;
6.  $a_\tau = const, a_n \neq 0$  – криволинейное равнопеременное движение;
7.  $a_\tau = f(t), a_n \neq 0$  – криволинейное движение с переменным ускорением.

## 7. Вращательное движение. Основные характеристики.

При вращательном движении все точки твердого тела движутся по окружностям, центры которых лежат на общей оси  $OO'$ .

**Угловое перемещение**  $\Delta\vec{\varphi}$  - это вектор, модуль которого равен углу поворота  $\Delta\varphi$ , а направление определяется правилом буравчика, т. е. вектор углового перемещения направлен вдоль оси вращения.

**Угловая скорость** – векторная физическая величина, характеризующая изменение углового положения материальной точки относительно центра вращения. Указывает направление вращения и численно равна углу описываемому радиус-вектором точки за единицу времени.

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \dot{\vec{\varphi}} \quad [\vec{\omega}] = \text{рад/с}$$

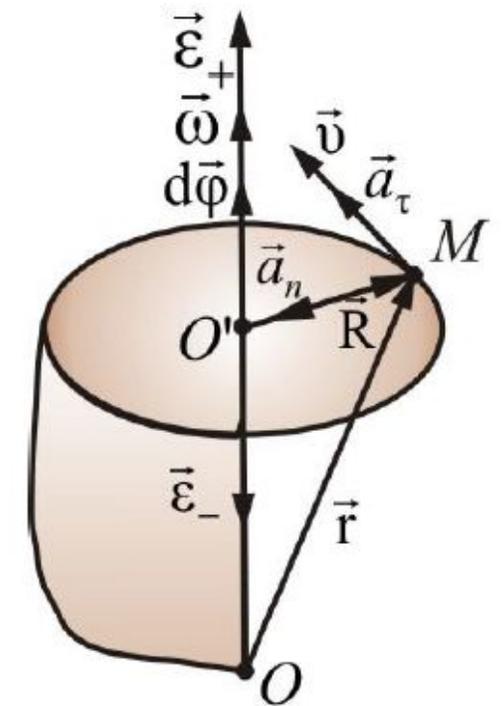
Вектор угловой скорости  $\omega$  всегда ориентирован вдоль оси вращения.

Направление вектора  $\omega$  определяется по **правилу буравчика**.

Изменение угловой скорости, как по величине, так и по направлению, характеризуется **угловым ускорением**:

$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \dot{\vec{\omega}} = \ddot{\vec{\varphi}} \quad [\vec{\varepsilon}] = \text{рад/с}^2$$

Если **угловая скорость возрастает**, то вектор углового ускорения **параллелен** вектору угловой скорости. Если **угловая скорость убывает**, то вектор углового ускорения **антипараллелен** вектору угловой скорости.



## 7. Вращательное движение. Основные характеристики.

	<u>Поступательное</u> движение твёрдого тела (движение частицы вдоль произвольной траектории)	<u>Вращательное</u> движение твёрдого тела (движение частицы по окружности)
Закон движения	$S = f(t)$	$\phi = f(t)$
Скорость	$v = \frac{dS}{dt}$	$\omega = \frac{d\phi}{dt}$
Ускорение	$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}$	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\phi}{dt^2}$
<b>Равномерное движение</b>		
Закон движения	$S(t) = S_0 + vt$	$\phi(t) = \phi_0 + \omega t$
Скорость	$v = \text{const}$	$\omega = \text{const}$
Ускорение	$a_{\tau} = 0$	$\varepsilon = 0$
<b>Равнопеременное движение</b>		
Закон движения	$S(t) = S_0 + v_0 \cdot t + a_{\tau} t^2 / 2$	$\phi(t) = \phi_0 + \omega_0 \cdot t + \varepsilon t^2 / 2$
Скорость	$v = v_0 + a_{\tau} t$	$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$
Ускорение	$a_{\tau} = \text{const}$	$\varepsilon = \text{const}$

Соотношения между  
кинематическими характеристиками  
поступательного и вращательного движения →

$$\begin{aligned} S &= R \cdot \phi, & v &= R \cdot \omega, \\ a_{\tau} &= \varepsilon \cdot R, & a_n &= \omega^2 R = v^2 / R \end{aligned}$$