

---

# Лекции по физике.

## Механика

---

Основные понятия механики.  
Кинематика

---

# Список учебной литературы

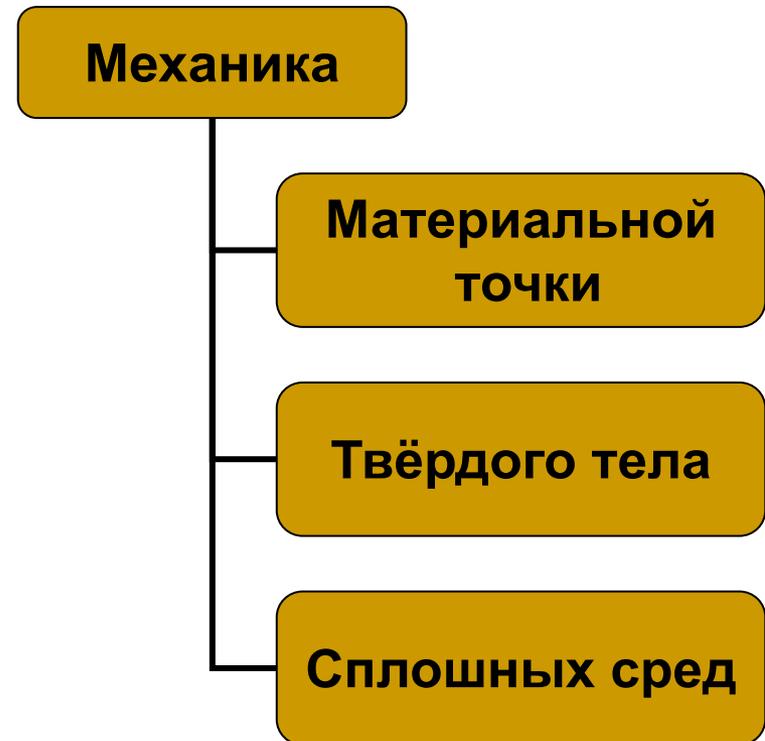
- И.В. Савельев. Курс общей физики. Т.1. Механика и молекулярная физика
- Т.И. Трофимова. Курс физики
- Механика, колебания и волны в упругих средах. Сборник задач по физике под ред. Д.С. Фалеева. ДВГУПС, 2004

# Структура механики

- **Физика** – наука о наиболее общих формах движения материи и их взаимных превращениях
- **Механика** – наука о движении и равновесии тел. Движение понимается как изменение положения тела относительно других тел



# Структура механики



---

# Основные понятия механики

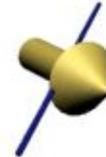
- **Основная задача механики** – зная состояние системы в начальный момент времени и законы, управляющие движением, определить состояние системы во все последующие моменты времени. Эта задача не может быть решена точно
- **Кинематика** – это раздел физики, посвящённый изучению движения тел. При этом причины движения не рассматриваются

# Основные понятия механики

- **Механическая система** – совокупность тел, выделенная для рассмотрения
- **Система отсчёта** – совокупность неподвижных друг относительно друга тел, по отношению к которым рассматривается движение, и часы
- **Материальная точка** – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи
- **Абсолютно твёрдое тело** – это тело, деформациями которого можно пренебречь

# Основные понятия механики

- **Поступательное движение** – такое, при котором любая прямая, связанная с телом перемещается параллельно самой себе
- **Вращательное движение** – такое, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой **осью вращения**



# Основные понятия механики

- **Система координат** состоит из осей, для определения пространственных координат тела и часов
- **Траектория** – это линия, которую описывает некоторая материальная точка в процессе движения
- **Путь** – это расстояние между двумя точками, измеренное вдоль траектории движения

# Основные понятия механики

- **Перемещение** – это вектор, проведённый от начальной точки движения к конечной ( $\mathbf{r}_{1,2}$ )
- **Скорость:**

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

$$d\vec{r} = \vec{v} dt \quad (2) \quad \left| d\vec{r} \right| \approx ds$$

$$\vec{v} = v_i \vec{i} + v_j \vec{j} + v_k \vec{k} \quad (3)$$

# Основные понятия механики

- Ускорение:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \equiv \frac{d\vec{v}}{dt} \equiv \ddot{\vec{r}}$$

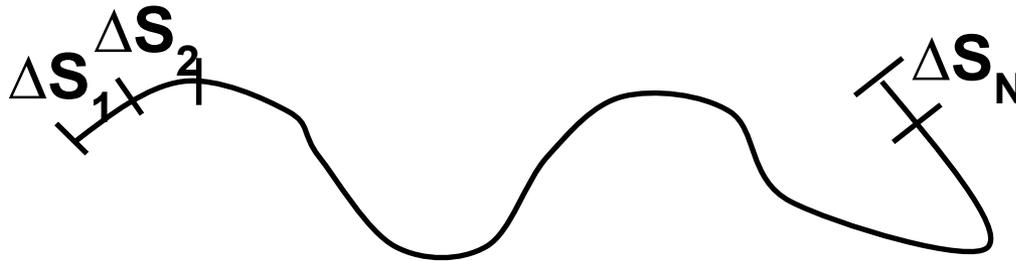
- В координатном представлении:

$$\vec{a} = a_i \vec{i} + a_j \vec{j} + a_k \vec{k}$$

$$\equiv \ddot{x} \vec{i} + \ddot{y} \vec{j} + \ddot{z} \vec{k}$$

$$\equiv \ddot{r}_i \vec{i} + \ddot{r}_j \vec{j} + \ddot{r}_k \vec{k}$$

# Вычисление пройденного пути



$$s = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \dots + \Delta s_N = \sum_{i=1}^N \Delta s_i$$

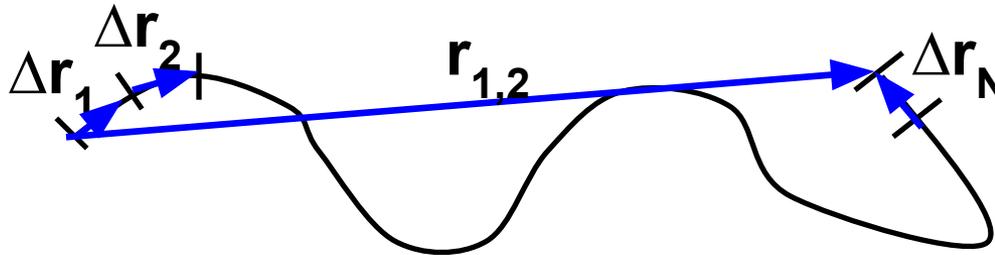
- Согласно (2)

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

# Вычисление перемещения

- Если в (5) взять интеграл не по модулю, а по вектору скорости, то мы получим перемещение тела:

$$\vec{r}_{1,2} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{v}(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} d\vec{r}$$



# Средняя скорость

- По определению, **средняя скорость** равна:

$$\langle \mathbf{v} \rangle = \frac{\mathbf{s}}{t_2 - t_1} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{v}(t) dt \quad (7)$$

- Если скорость движения изменялась скачками, то (7) перейдёт в:

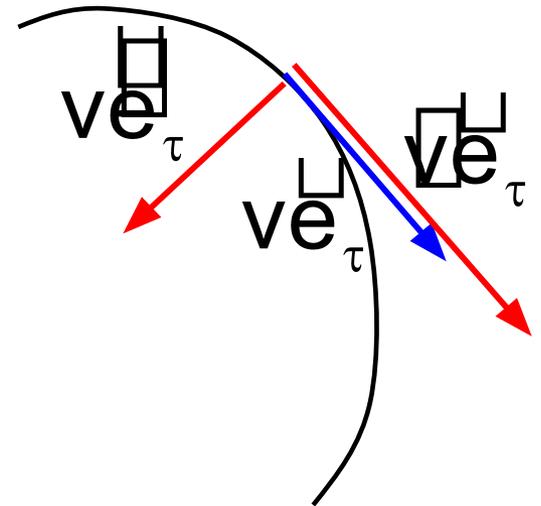
$$\langle \mathbf{v} \rangle = \frac{\sum_i \mathbf{v}_i \Delta t_i}{\sum_i \Delta t_i} \quad (8)$$

# Разложение ускорения на нормальную и тангенциальную компоненты

- Введём орт  $\mathbf{e}_\tau$ , касательный к траектории в каждой её точке. Направление скорости всегда будет совпадать с  $\mathbf{e}_\tau$ :

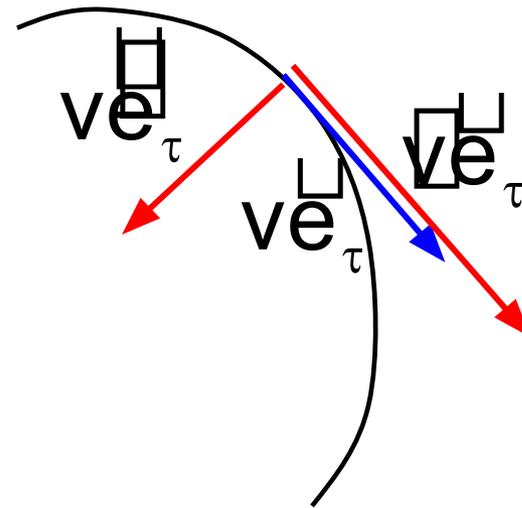
$$\vec{v} = v\vec{e}_\tau \rightarrow$$

$$(9) \quad \mathbf{a} = \frac{d}{dt}(v\mathbf{e}_\tau) = \dot{v}\mathbf{e}_\tau + v\dot{\mathbf{e}}_\tau$$



# Разложение ускорения на нормальную и тангенциальную компоненты

- Можно показать, что производная вектора  $e_\tau$  перпендикулярна к траектории движения



# Разложение ускорения на нормальную и тангенциальную компоненты

- Таким образом, мы разложили вектор ускорения на две составляющие:
    1. вдоль траектории движения
    2. перпендикулярно к траектории движения
- и тем самым показали, что любое движение можно представить как суперпозицию поступательного и вращательного движений

# Разложение ускорения на нормальную и тангенциальную компоненты

$$\vec{a}_R = \frac{v^2}{R} \vec{e}_R \quad \rightarrow$$

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_R = v \vec{e}_\tau + \frac{v^2}{R} \vec{e}_R$$

$$a = |\vec{a}| = \sqrt{a_\tau^2 + a_R^2} = \sqrt{v^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}$$

# Кинематика прямолинейного движения

- Прямолинейное движение с постоянным ускорением можно описать с помощью **уравнений кинематики прямолинейного движения**

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \\ v_x = v_{0x} + a_x t \end{cases}$$

# Кинематика прямолинейного движения

- В уравнениях (10)  $t$  – время движения,  $x$  – координата, вдоль которой происходит движение,  $x_0$  – её начальное значение (в момент  $t=0$ ),  $v_x$  – скорость движения,  $v_{0x}$  – её начальное значение,  $a_x$  – ускорение
- Если направление движения не совпадает с направлением какой-либо координатной оси, то вместо каждого из уравнений (10) надо записать три подобных уравнения для проекций координаты и скорости на оси

# Кинематика вращательного движения

- **Вращательное движение** характеризуют угловыми величинами, имеющими линейные аналоги
- **Углы поворота** вокруг трёх различных осей характеризуют пространственное положение точки
- **Угловая скорость** характеризует скорость изменения положения точки

# Кинематика вращательного движения

- Угловая скорость направлена вдоль оси вращения

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\phi}}{\Delta t} \equiv \frac{d\vec{\phi}}{dt} \equiv \vec{\phi}$$

- Модуль вектора  $\vec{\phi}$  равен углу поворота, а направление определяется по **правилу правого винта**
- Угловая скорость определяется в радианах в секунду [рад/с]

# Кинематика вращательного движения

- При  $\omega = \text{const}$  вращение называют **равномерным**
- Равномерное вращение можно характеризовать **периодом**

$$T = 2\pi / \omega$$

и **частотой**

$$\nu = 1/T$$

$$\omega = 2\pi / T = 2\pi \nu$$

# Кинематика вращательного движения

- **Угловое ускорение:**

$$\vec{\beta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} \equiv \frac{d\vec{\omega}}{dt} \equiv \ddot{\varphi}$$

- Необходимо учитывать, что угловая скорость может изменяться как по величине, так и по направлению

# Связь между угловыми и линейными величинами

- Связь между угловыми и линейными величинами даётся формулами:

$$\vec{v} = [\vec{\omega} \vec{r}],$$

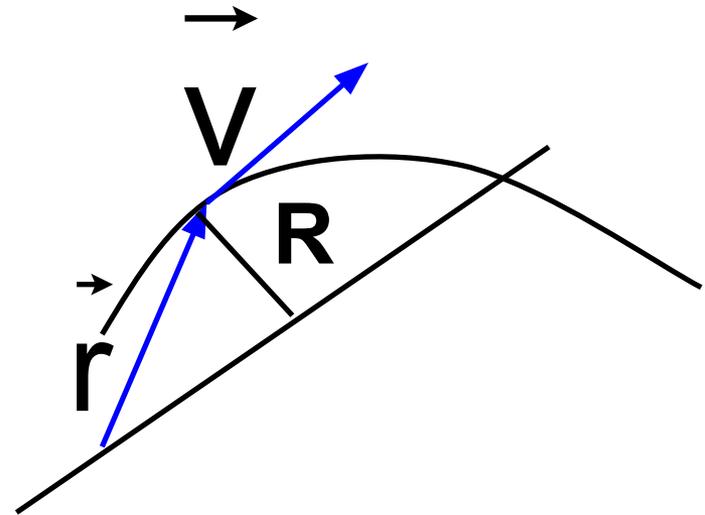
или, в скалярном виде:

$$v = \omega R,$$

$$a_n = \omega^2 R,$$

$$a_t = \beta R,$$

где  $R$  – наименьшее расстояние от точки до оси вращения



# Кинематика вращательного движения

- **Уравнения кинематики равноускоренного вращательного движения вокруг фиксированной оси имеют вид:**

$$\begin{cases} \varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\beta t^2}{2} \\ \omega = \omega_0 + \beta t \end{cases} \quad (13)$$

# Некоторые сведения о векторах

- **Вектором** будем называть величину, характеризующуюся численным значением (модулем) и направлением в пространстве, для которой задан закон сложения (правило параллелограмма)
- Различают коллинеарные, компланарные, свободные, скользящие и связанные векторы

# Некоторые сведения о векторах

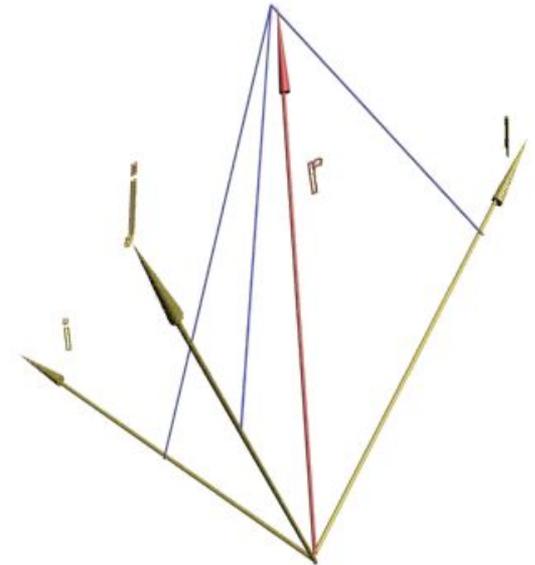
- Для векторов определены операции сложения, умножения на число, скалярного и векторного произведений
- **Скалярное произведение** двух векторов – это число:

$$(\vec{a}, \vec{b}) = a \cdot b \cdot \cos \alpha$$

где  $\alpha$  - угол между векторами  $a$  и  $b$

# Некоторые сведения о векторах

- **Координатное представление векторов**  
Если начало вектора совместить с началом координат, то координаты второго конца полностью определяют направление и величину вектора. Т.о. в координатном представлении вектор задаётся тройкой чисел – значениями его проекций на оси координат



# Некоторые сведения о векторах

- Запись вектора в координатном представлении:

$$\vec{r} = (r_i, r_j, r_k) = r_i \cdot \vec{i} + r_j \cdot \vec{j} + r_k \cdot \vec{k}$$

- **Сумма векторов** определяется суммами их соответствующих координат:

$$\vec{a} + \vec{b} = (a_i + b_i, a_j + b_j, a_k + b_k)$$

# Некоторые сведения о векторах

- Модуль суммы двух векторов находится по теореме косинусов:

$$\sqrt{(\vec{a} + \vec{b})^2} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha}$$

- Модуль **векторного произведения** векторов

$$|\vec{c}| = |[\vec{a}\vec{b}]| = ab \sin \alpha$$

- Направлен вектор **c** перпендикулярно векторам **a** и **b**

# Некоторые сведения о векторах

- В координатном представлении векторное произведение можно записать в виде определителя:

$$[ab] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_i & a_j & a_k \\ b_i & b_j & b_k \end{vmatrix} =$$

$$(\mathbf{a}_j \mathbf{b}_k - \mathbf{a}_k \mathbf{b}_j) \vec{i} + (\mathbf{a}_k \mathbf{b}_i - \mathbf{a}_i \mathbf{b}_k) \vec{j} + (\mathbf{a}_i \mathbf{b}_j - \mathbf{a}_j \mathbf{b}_i) \vec{k}$$

---

КОНЕЦ ЛЕКЦИИ