

## КИНЕМАТИКА

**Кинематика** (от греческого *kinematos* движение) – раздел механики, в котором изучаются свойства механического движения материальных объектов без учёта их массы и действующих на них сил. Название этому разделу дал знаменитый физик Ампер в 1834 году. Кинематика отвечает на вопрос: **«Как движется тело?»**

Введем некоторые **важные** для кинематики **понятия**.

**Механическое движение** – это процесс изменения положения тела (в пространстве и времени) относительно других тел.

Механическое движение **относительно**, поскольку одно и то же тело относительно разных тел может двигаться по-разному. Классический пример: пассажир в поезде относительно поезда покоится, а относительно Земли движется. Следовательно, прежде чем приступить к описанию движения, необходимо выбрать тело отсчёта.



**Тело отсчёта** – это тело, относительно которого будет определяться положение других тел. Какое именно тело следует выбрать в качестве тела отсчёта в конкретной ситуации, решают в зависимости от её особенностей.

Механическое движение происходит в **пространстве и времени**. Для описания и исследования механического движения тела используют **систему отсчета**.

**Системой отсчёта (СО)** называется совокупность трех компонентов (инструментов для исследования движения):

- **тела отсчета;**
- связанной с данным телом отсчета **системы координат;**
- прибора для измерения промежутков времени - **часов.**

Выбор системы отсчета в кинематике определяется только удобством математического описания. **Никаких принципиальных преимуществ у одной системы отсчета по сравнению с другой в кинематике нет.** Преимущества определенного класса систем отсчета (инерциальных СО) выявляются только в динамике, об этом мы будем говорить позже.

В зависимости от свойств материального объекта, характера и вида его движения в механике используются ряд физических моделей. **Модель** – абстрактная система, которая имитирует определённые характеристики либо свойства объектов моделирования. Путём измерения параметров модели исследователи могут получать значения параметров объекта исследований.

**Материальная точка** – это модель тела, размерами и внутренней структурой которого можно пренебречь в условиях исследуемой задачи. Понятие материальной точки является относительным: одно и то же тело в одних условиях движения можно принимать за материальную точку, а в других – нет. Например, при движении поезда из Новосибирска в Москву, поезд можно рассматривать как материальную точку, а при движении поезда по мосту через реку Обь – нет.

**Система материальных точек** – данная модель используется для описания движения тела (тел), которое в данных условиях материальной точкой считать нельзя. Однако, любое тело или систему тел, движение которых необходимо изучать, можно мысленно разбить на малые участки (**материальные точки**), размеры которых значительно меньше размеров тела или системы тел.

Изучение движения тела или системы тел сводится к изучению движения отдельных участков системы, то есть материальных точек, из которых состоит эта система.

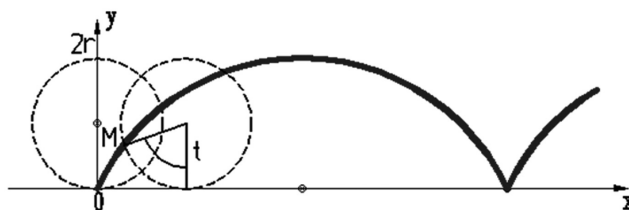
Частным случаем модели “система материальных точек” в механике является модель под названием «абсолютно твердое тело».

**Абсолютно твердое тело (АТТ, твердое тело)** – это система материальных точек, взаимное расположение которых в процессе данного движения не изменяется (тело не деформируется). Абсолютно твердое тело – это абстрактная модель. Таких тел в природе не существует. Однако иногда деформациями (изменениями расстояний между точками тела) можно пренебречь. Это позволяет использовать модель абсолютно твердого тела в таких ситуациях.

В процессе движения материальная точка проходит последовательно точки пространства, соединив которые, можно получить линию, которая называется траекторией движения.

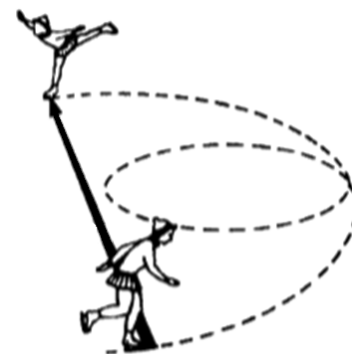
**Траектория** – эта линия, по которой движется материальная точка в выбранной системе отсчета. В зависимости от **формы траектории** различают **прямолинейное движение**, **криволинейное движение**, движение по окружности, плоское движение и т.д. ...

**Траектория материальной точки относительно:** её форма зависит от выбора системы отсчета.



Например, траектория точки, лежащей на ободе колеса велосипеда, движущегося по прямой дороге в системе отсчета, связанной с велосипедом является окружностью, а в системе отсчета, связанной с Землей – циклоидой.

**Путь** – расстояние, пройденное материальной точкой вдоль траектории (длина траектории). Путь – величина **скалярная**. Значение пути зависит от выбора системы отсчёта. Т.е. путь величина относительная.



**Перемещение** – это **вектор**, проведенный из начального положения материальной точки в конечное положение. Перемещение, так же как и путь, величина относительная, зависит от выбора системы отсчёта.

## СПОСОБЫ ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

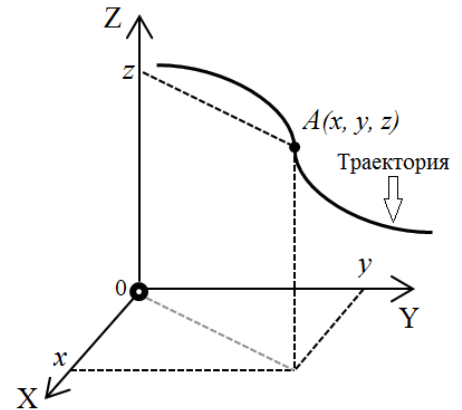
Описать движение – это значит записать **кинематический закон движения**, позволяющее вычислить конкретное положение точки **в любой момент времени**. Существует три способа описания движения.

### Координатный способ

При данном способе описания движения, положение точки по отношению к системе отсчета задается совокупностью независимых координат. Для прямоугольной декартовой системы –  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

**Закон движения – три скалярных уравнения**

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t).$$



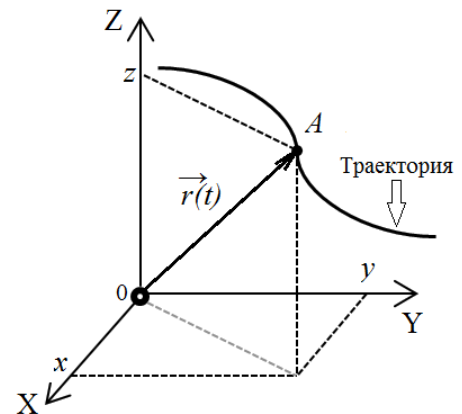
### Векторный способ

При данном способе описания движения, положение точки задается с помощью **радиус-вектора**  $\vec{r}$ , вектора, проведенного из начала отсчета, в точку, где в данный момент находится материальная точка.

**Закон движения – векторное уравнение**

$\vec{r} = \vec{r}(t)$ . Данное уравнение эквивалентно трем скалярным

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t).$$



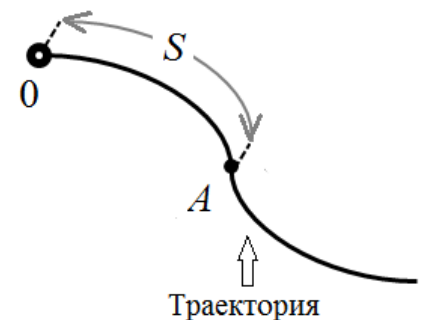
### Естественный способ

Данный способ описания движения используется, когда известна траектория (в выбранной системе отсчета), по которой движется материальная точка.

Положение тело задается скалярной величиной – естественной (дуговой) координатой  $S$ . Естественная координата – расстояние (измеренным вдоль траектории) от выбранного начала отсчета  $O$  до материальной точки.

**Закон движения – скалярное уравнение**

$$S = S(t).$$

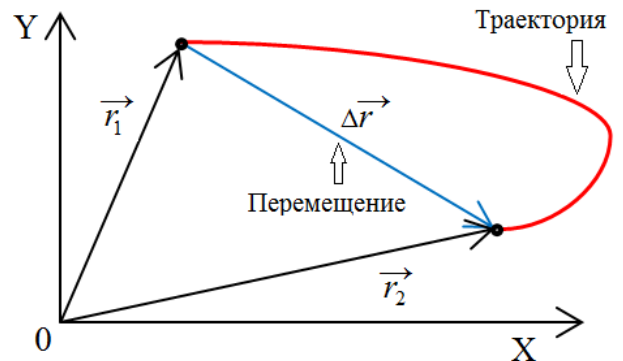


## КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ

Рассмотрим движение материальной точки. Для полного описания движения необходимо не только задать положение материальной точки, но и количественно определять **изменение её положения**. Такой количественной характеристикой движения является **вектор перемещения**.

**Перемещение** – это **вектор**, проведенный из начального положения тела в конечное положение.

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)$$
$$[\Delta r] = \text{м.}$$



Одно и то же перемещение может быть совершено за разное время. Поэтому необходима величина характеризующая **быстроту изменения положения**. Такой характеристикой является **скорость**.

**Средняя скорость** равна отношению вектора перемещения  $\Delta \vec{r}$ , совершенного за время  $\Delta t$ , к длительности данного интервала времени  $\Delta t$ .

$$\vec{v}_{cp} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}, \quad [\vec{v}] = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Очевидно, что направление вектора средней скорости  $\vec{v}_{cp}$  совпадает с направлением вектора перемещения  $\Delta \vec{r}$ . Вектор перемещения направлен по хорде к участку траектории, пройденному материальной точкой за время  $\Delta t$ .

**Мгновенной скоростью** материальной точки в момент времени  $t$  называется отношению вектора перемещения  $d\vec{r}$ , совершенного за бесконечно малый промежуток время  $dt$ , к длительности данного промежутка времени  $dt$ .

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

То есть мгновенная скорость (скорость в данной точке траектории) является производной от радиус-вектора по времени.

При последовательном устремлении длительности промежутка времени  $\Delta t \rightarrow 0$  направление вектора перемещения  $\Delta \vec{r}$  приближается к направлению касательной. Следовательно, вектор мгновенной скорости в данной точке траектории направлен по касательной к траектории в данной точке.

В декартовой системе координат мгновенная скорость может выражаться через три проекции вектора скорости на оси X, Y и Z, каждая из которых равна производной от соответствующей координаты.

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt}; \\ v_y = \frac{dy}{dt}; \\ v_z = \frac{dz}{dt}. \end{cases}$$

При произвольном движении скорость материальной точки может меняться, причем **может меняться с различной быстротой**. Поэтому необходима количественная мера **быстроты изменения скорости**. Такой мерой является **ускорение  $\vec{a}$** .

**Мгновенное ускорение (ускорение)** – это векторная физическая величина, равная производной от мгновенной скорости по времени.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \quad [\vec{a}] = \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$$

Направление вектора ускорения  $\vec{a}$  совпадает по направлению с вектором приращения скорости  $d\vec{v}$ .

В декартовой системе координат вектор ускорения может быть представлен в виде трех проекций на оси X, Y и Z. Каждая из составляющих ускорения представляет собой производную от соответствующей проекции скорости.

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt}; \\ a_y = \frac{dv_y}{dt}; \\ a_z = \frac{dv_z}{dt}. \end{cases}$$