

# Лекции по физике

Ипполитова Галина  
Константиновна

доцент кафедры физики, к.ф.-м.н.

Кафедра физики ауд. 260,

тел. (499) 155 03 90

# Программа по физике

1 семестр

1. **Механика.**
2. **Электричество и магнетизм.**
3. **Колебания**

2 семестр

4. **Волны, оптика;**
5. **Квантовая физика** (включая физику атома и элементы физики твердого тела);
6. **Ядерная физика;**
7. **Термодинамика и молекулярная физика** (в том числе элементы статистической физики).
8. **Физическая картина мира.**

# **Контрольное задание №1**

## **1 семестр**

**Участкин В.И., Никитин Б.И.**

**ФИЗИКА:**

**теория, контрольные задания и  
примеры решения задач,  
методические указания**

## *Литература*

- Савельев И.В. Курс общей физики, т.1. Механика - Спб.: Лань, 2011.
- Савельев И.В. Курс общей физики, т.2. Электричество и магнетизм - Спб.: Лань, 2011
- Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. М. Издательский центр «Академия», 2010г.  
Трофимова Т. И., А.В.Фирсов Курс физики. Задачи и решения, М. Издательский центр «Академия», 2010г.

# Лекция 1

## КИНЕМАТИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

- Введение. Материя, пространство, время.
- Модели в механике. Системы отсчета.
- Уравнения движения.
- Кинематика поступательного движения.  
Траектория, путь, скорость, ускорение.
- Кинематика вращательного движения.  
Угловые скорость и ускорение.

# Материя. Пространство. Время.

Материя - это окружающие нас тела вместе с создаваемыми ими полями.

Материя с точки зрения классической физики, существует в двух видах:

- 1) В виде вещества, состоящего из мельчайших частиц.
- 2) В виде поля (гравитационного, электромагнитного).

Поле-это особый вид материи, передающий взаимодействие между телами.

Пространство и время – основные свойства существования материи.

# Механическое движение

- Основное свойство материи - материя всегда находится в непрерывном движении.
- В физике под движением понимают любое изменение состояния.
- Простейшая форма движения материи - механическое движение.
- Механическое движение- процесс изменения положения тела в пространстве с течением времени.

# Основные свойства пространства

1. Пространство **непрерывно**.
2. Пространство **Эвклидово** или **плоское**.
3. Пространство **трёхмерно**.
4. Пространство **однородно**.  
Пространственные соотношения **инвариантны** (неизменны) относительно *параллельного* переноса системы координат, нет выделенных точек.
5. Пространство **изотропно**. Пространственные соотношения **инвариантны** относительно *вращения* системы координат.
6. Для измерения пространственных объектов эталоном служит **«линейка»**.

# Основные свойства времени

1. Время **непрерывно**.
2. Время **одномерно**, в отличие от пространства.
3. Время **однонаправлено**.
4. Время **однородно** т.е. любые физические законы не зависят от выбора начала отсчёта времени.
5. Эталон для определения временных соотношений называется **«часами»**.

# Физические модели в механике

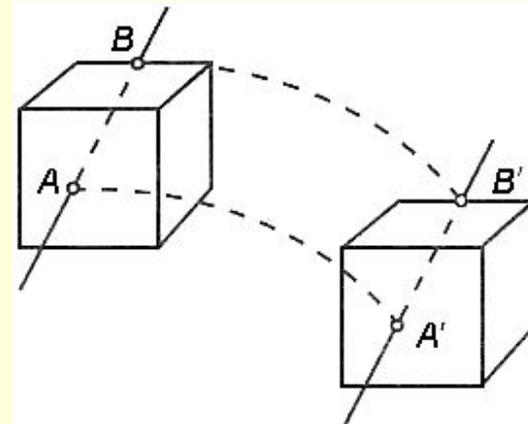
- **Материальная точка (МТ)** - *тело, размеры которого в данной задаче можно пренебречь и считать, что все вещество сосредоточено в точке.*
- **Абсолютно твердое тело (АТТ)** - *размеры тела неизменны, деформаций нет.*
- **Сплошная среда** - *объект, в котором возможны деформации и перемещения; вещество тела распределено непрерывно (жидкость, плазма)*

# Степени свободы

- Числом степенями свободы механической системы называется число независимых величин или число уравнений, полностью определяющих положение системы.
- МТ имеет 3 степени свободы
- Система из  $N$  материальных точек имеет  $(3N - K)$  степеней свободы, где  $K$ - число жестких связей.

# Поступательное движение

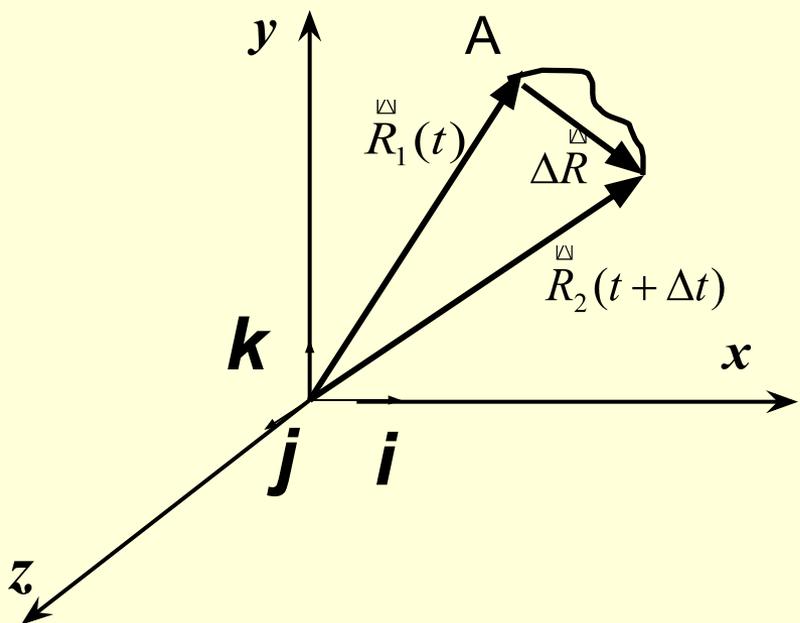
- **Поступательное движение** – это движение, при котором любая прямая связанная с движущимся телом остается параллельной самой себе.
- При поступательном движении всегда используется модель МТ



# Системы отсчета.

- Система координат, служащая для указания положения тела в пространстве, вместе с часами для указания времени называется **системой отсчета**.
- Система в которой выполняется принцип инерции Галилея называется инерциальной системой отсчета
- **Декартова прямоугольная система координат** - 3 взаимно перпендикулярных оси.
- Положение МТ задается при помощи **радиус-вектора  $R(t)$** , проведенного из начала координат в данную точку.
- МТ при своем движении описывает некую линию, которая называется **траекторией**.

# Декартова система координат



$\Delta S$  – путь (скаляр)  
 $\Delta R$  – перемещение

$i, j, k$  единичные вектора (орты), указывающие направления вдоль этих осей. Радиус-вектор можно разложить по ортам.

# Уравнение движения

$$\vec{R}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

Уравнение движения в векторной форме

Одному векторному уравнению  
соответствуют три скалярных:

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

$x, y, z$  - проекции радиус-вектора на оси  $X, Y, Z$   
соответственно.

Уравнение движения в координатной форме

# Средняя скорость

- **Путь**  $S$  -длина траектории, пройденная МТ
- **Средняя скорость** - отношение всего пройденного пути к соответствующему промежутку времени:

$$\langle v \rangle = s / t .$$

- При *траекторном* способе описания движения вводится бесконечно малый элемент траектории  $ds$ .

$$v = \frac{ds}{dt}$$

$v$ -скалярная величина, характеризующая *быстроту* изменения траектории по времени

.

# Линейная скорость

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{R}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\mathbf{R}_{t+\Delta t} - \mathbf{R}_t}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{R}}{dt} \equiv \dot{\mathbf{R}}$$

Понятие мгновенной скорости относится к *данной* точке и *данному* моменту. Направлена мгновенная скорость по касательной в данной точке в сторону движения.

Если  $\mathbf{V} = \text{const}$ , то есть скорость постоянна по величине и по направлению, то такое движение называется *равномерным*.

# Линейная скорость

- Разложение скорости по ортам имеет вид

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

- величина скорости

$$v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

# Линейное ускорение

Вектор ускорения  $\mathbf{w}$  определяет скорость изменения вектора скорости материальной точки со временем, равен производной от вектора скорости по времени:

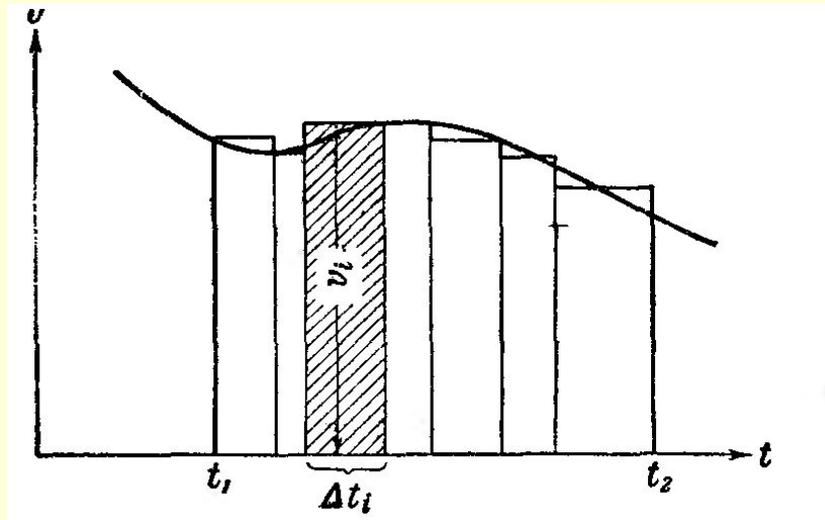
$$\mathbf{w} = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \right| = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$$

В зависимости от направления скорости и ускорения различают *равноускоренное* и *равнозамедленное* движения.

# Определение пути

Путь, пройденный материальной точкой за промежуток времени от  $t_1$  до  $t_2$  равен определенному интегралу:

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$$

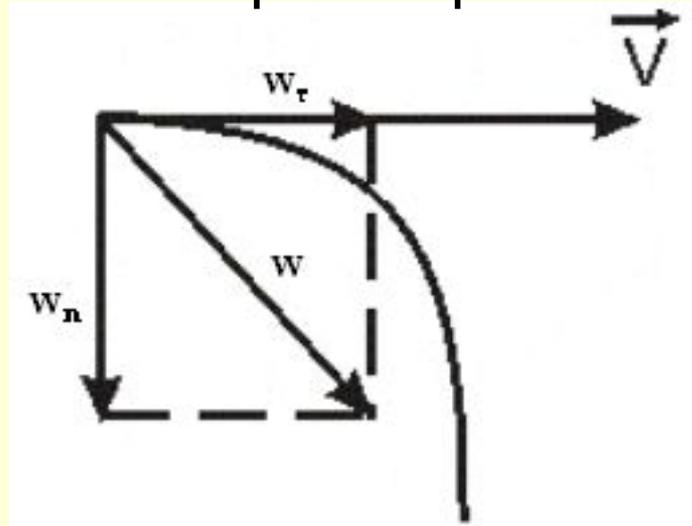


На графике зависимости модуля вектора скорости от времени пройденный путь графически изображается, как площадь под графиком между двумя моментами времени.

# Криволинейное движение

Полное ускорение  $\mathbf{w}$  материальной точки может быть представлено как сумма двух векторов тангенциального и нормального ускорений. Нормальное ускорение  $\mathbf{w}_n$  перпендикулярно к вектору скорости  $\mathbf{v}$ , а тангенциальное  $\mathbf{w}_\tau$  направлено по касательной к траектории

$$\mathbf{w}_\tau = \frac{dv_\tau}{dt}, \quad \mathbf{w}_n = \frac{v^2}{R}$$



Тангенциальное ускорение характеризует изменение скорости по величине.

Нормальное ускорение характеризует изменение скорости по направлению.

# Полное ускорение

Ускорение материальной точки, движущейся по произвольной кривой зависит от кривизны траектории, которая в разных точках может быть различна.

Модуль полного ускорения

$$w = \sqrt{w_{\tau}^2 + w_n^2} = \sqrt{v^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}$$

# Поступательное движение АТТ

- При поступательном движении АТТ все его точки перемещаются по одинаковым траекториям и имеют одинаковые скорость и ускорение. Поэтому при поступательном движении АТТ используются модель МТ и кинематические параметры для МТ.

В этом случае выбирается одна точка, связанная с телом и описывается ее движение. Все остальные точки в движении отличаются только по координатам.

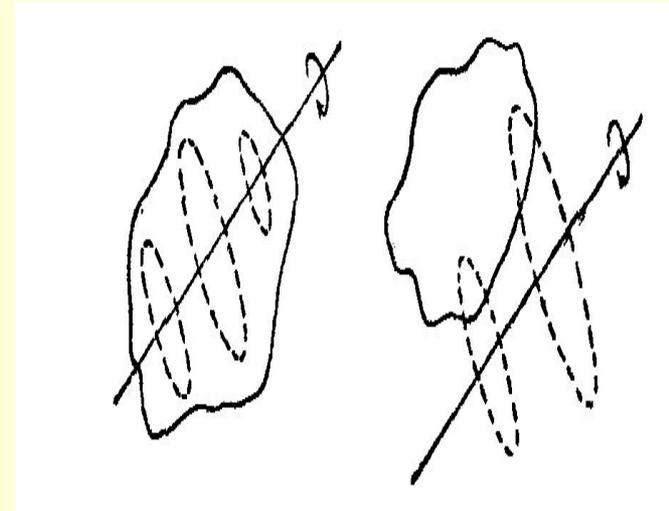
# Вращательное движение

В случае простого вращательного движения все точки тела движутся по окружностям, центры, которых лежат на одной прямой, называемой *осью вращения*.

Ось вращения может находиться вне тела.

При вращательном движении всегда используется модель

АТТ



# *Вращательное движение*

- При вращательном движении АТТ вводятся угловые параметры, которые являются одинаковыми для всех точек тела, поэтому они описывают движение твердого тела как целого.
- Все вектора описывающие вращательное движение твердого тела являются ***аксиальными***, т.е. направлены по оси вращения.

# Параметры вращательного движения

Период обращения  $T$ - время, за которое тело делает один оборот, т.е. поворачивается на угол  $2\pi$

Частота- это число оборотов в единицу времени

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Циклическая частота:  
измеряется в рад/с

$$\omega = 2\pi\nu \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

# Кинематические параметры вращательного движения

Вектор *углового перемещения*  
численно равен углу поворота  
выраженного в радианах, а  
направление определяется по правилу  
правого винта.

$$\square \phi = \square \phi(t) \square \square$$

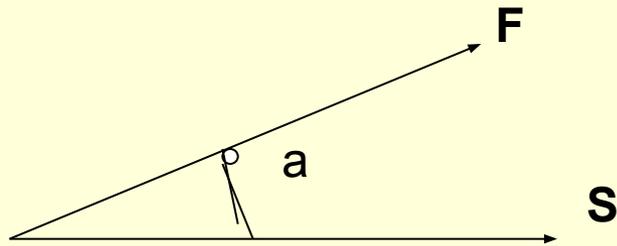
$$\square \text{угловая скорость } \boldsymbol{\omega} = d\boldsymbol{\phi}/dt$$

$$\text{угловое ускорение } \boldsymbol{\varepsilon} = d\boldsymbol{\omega}/dt$$

# Правило перемножения векторов

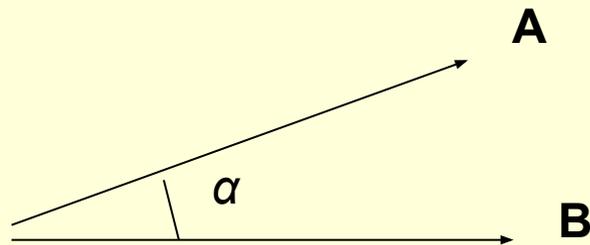
Два типа перемножения :

1) Скалярное  $A = F * S * \cos \alpha$



В результате перемножения векторов получаем скаляр, например,  $A$  - работа

# Векторное произведение векторов



$$\mathbf{C} = \square \mathbf{AB} = [\mathbf{A} \ \mathbf{B}] = AB \cdot \sin \alpha$$

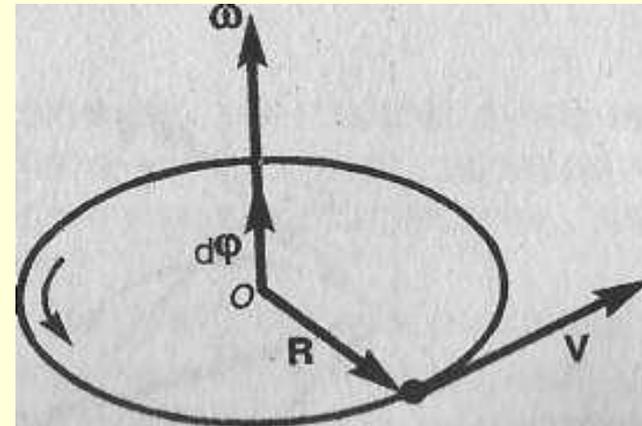
***В*** результате векторного произведения мы получаем вектор, модуль которого равен  $AB \cdot \sin \alpha$ , а направление определяется по правилу правого винта. Результирующий вектор перпендикулярен плоскости в которой лежат перемножаемые вектора.

# Угловая скорость.

## Связь линейной и угловой скорости

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

$\vec{\omega} \uparrow \uparrow d\varphi$



Вектор угловой скорости  $\boldsymbol{\omega}$  направлен вдоль оси вращения в сторону, определяемую правилом правого винта, и является аксиальным вектором.

$$\mathbf{v} = [\boldsymbol{\omega}, \mathbf{r}]$$

Связь линейной скорости и угловой

# Кинематика вращательного движения.

- Если ось вращения неподвижна, то можно записать связь кинематических параметров поступательного и вращательного движения в виде

:

$$|\mathbf{w}_\tau| = \beta r; \quad |\mathbf{w}_n| = \omega^2 r$$

модуль полного ускорения:

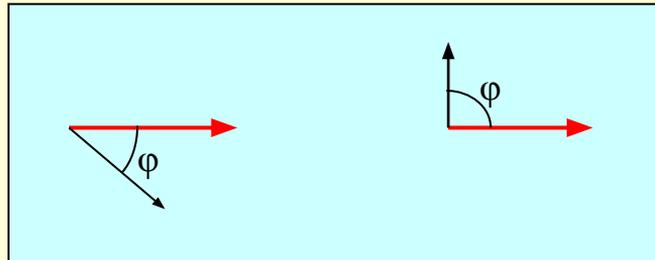
$$W = \sqrt{w_\tau^2 + w_n^2} = r \sqrt{\beta^2 + \omega^4}$$

# Сложное движение

- При сложном движении выделяют поступательное движение центра масс, а дальше рассматривают вращение в системе центра масс.
- В этом случае скорость любой точки можно представить в виде
  - $V_i = V_c + [\omega \times R_i']$  (где  $R_i'$  - радиус вектора в системе центра масс).

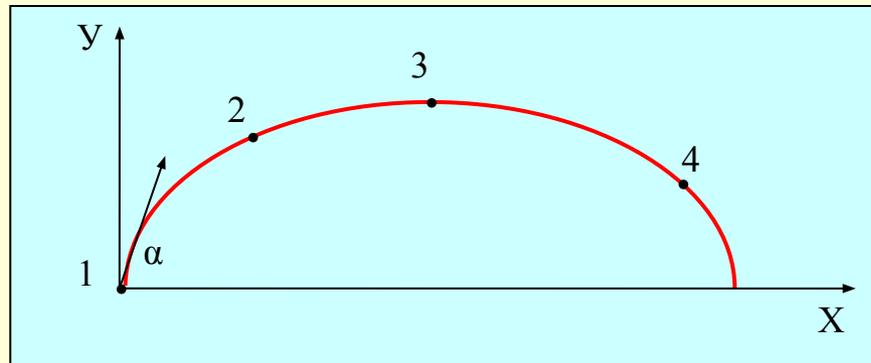
# Контрольные вопросы

1. Назовите траекторию при которой радиус - вектор меняется: а) только по направлению; б) только по величине;
2. При движения МТ угол между векторами скорости и полного ускорения равен  $\varphi$ . Укажите какое движение точки в этот момент: прямолинейное или криволинейное, равномерное, ускоренное или замедленное.



# Контрольные вопросы

3. Камень брошен вблизи поверхности земли под некоторым углом к горизонту. Нарисуйте на его траектории нормальное и тангенциальное ускорение в точках 2, 3 и 4.



# Контрольные вопросы

4. Диск радиусом 20 см вращается согласно уравнению

$$\varphi = 3 - t + 0,1t^3 \text{ рад.}$$

Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорения точек на окружности диска при  $t = 10$  с.