

# КУРС ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

## ЛЕКЦИЯ 1

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ.

КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ.

ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ И СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛЬНЫХ ТОЧЕК

КАК ЗОВУТ  
ПРЕПОДАВАТЕЛЯ?

**Олейник**

**Сергей**

**Владимирович**

# ЧТО БУДЕТ?

## Методы контроля

Проведение текущего контроля, письменного модульного контроля, семестровый контроль в виде **экзаменов**.

## Распределение баллов по видам контроля

**Лабораторные работы** до 5 баллов за каждый отчет по схеме: до 2 баллов за допуск до 1 балла за проведение измерений, до 1 балла за проведение расчетов, до 1 балла за защиту (ответы на контрольные вопросы).

**Практические занятия** до 30 баллов. Из них в 15 баллов за выполнение домашних заданий (решение задач) пропорционально количеству запланированных задач, и до 15 баллов за работу в аудитории течение семестра (в зависимости от количества задач решенных у доски). Модульный контроль - до 25 баллов за каждый.

## Требования к допуску

Выполнение всех лабораторных работ предусмотренных в семестре является обязательным для допуска. Минимальная необходимая количество баллов по всем видам контроля - 35.

## Семестровый контроль

Результат за семестровый контроль определяется суммой баллов за лабораторные и практических занятия и результатов модульного контроля. Студент имеет право отказаться от результатов модульного контроля и получить новое значение баллов во время итогового экзамена. Максимально балл за итоговый контроль равна сумме баллов за модульные контроли в течение семестра - 50 баллов. Максимально возможный результат за семестровый контроль - 100 баллов.

# ЧТО ПОЧИТАТЬ?

1. Савельев И.В. Курс физики (учеб. для втузов). Т. 1: Механика. Молекулярная физика.– М.: Наука, 1987.- 432 с. Б(567), К(19).
2. Савельев И.В. Курс физики (учеб. для втузов). Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны, Оптика – М.: Наука, 1988.- 432 с. Б(588), К(18).
3. Савельев И.В. Курс физики (учеб. для втузов). Т. 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1989.- 304с. Б(225), К(12).
4. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Т. 1: Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. – М.: Наука, 1981.– 480 с.
5. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Т. 2: Колебания и волны. Основы квантовой физики атомов, молекул и твердых тел; Физика ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1974.– 464 с.

# ФИЗИКА. ЧТО ЭТО?

**Физика** (от греч. physis - природа) – это наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие свойства и законы движения окружающих нас объектов материального мира.

# РАЗДЕЛЫ ФИЗИКИ



# МЕХАНИКА. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

**Механика** – это наука о механическом движении, заключающемся в перемещении материальных тел или их частей друг относительно друга, и о происходящих при этом движении взаимодействиях между телами.

Механику делят на кинематику, статику и динамику. ***Кинематика*** – это учение о геометрических свойствах движения тел. ***Статика*** – это учение о равновесии тел под действием сил. ***Динамика*** – это учение о движении тел под действием сил.

При изучении движения материальных тел в механике используют следующие физические модели:

- 1) ***материальная точка*** (м.т.) – это тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь;
- 2) ***абсолютно твердое тело*** – это система материальных точек, расстояние между которыми не изменяется в процессе движения (пренебрегают деформациями тела);
- 3) ***сплошная среда*** – это среда, которую можно рассматривать как непрерывную, пренебрегая её дискретным атомно-молекулярным строением.

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

**Траектория** – это линия, которую описывает материальная точка при своем движении.

**Путь** – это расстояние, которую проходит м.т. при своем движении.

**Перемещение** – это вектор, соединяющий начальное положение м.т. с ее конечным положением. Отметим, что к кинематическим характеристикам движения относят радиус-вектор, скорость, ускорение, путь, время и др.

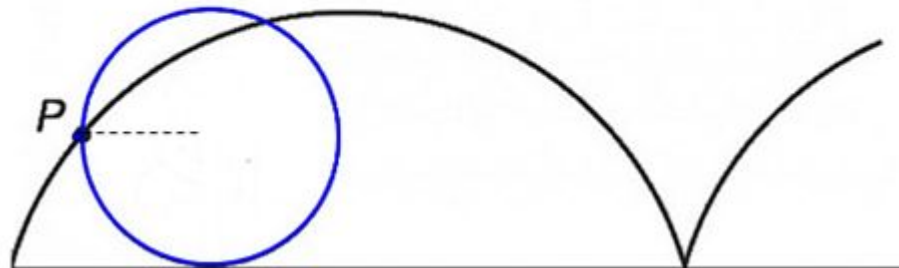


# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Траектория движения



Линия по которой движется тело



# КИНЕМАТИКА

## МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

**Радиус-вектор м.т.** – это вектор, проведенный из начала декартовой системы координат в точку пространства, где находится м.т. в данный момент времени.

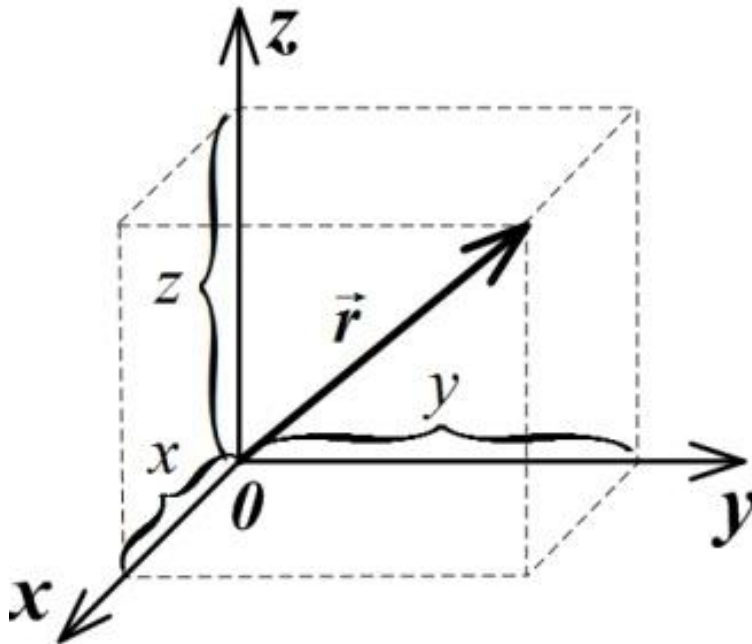
Проекции радиус-вектора на оси системы координат равны координатам  $x$ ,  $y$ ,  $z$  м.т., т.е.

$$r_x = x; r_y = y; r_z = z.$$

Т.о., радиус-вектор материальной точки можно представить в виде:

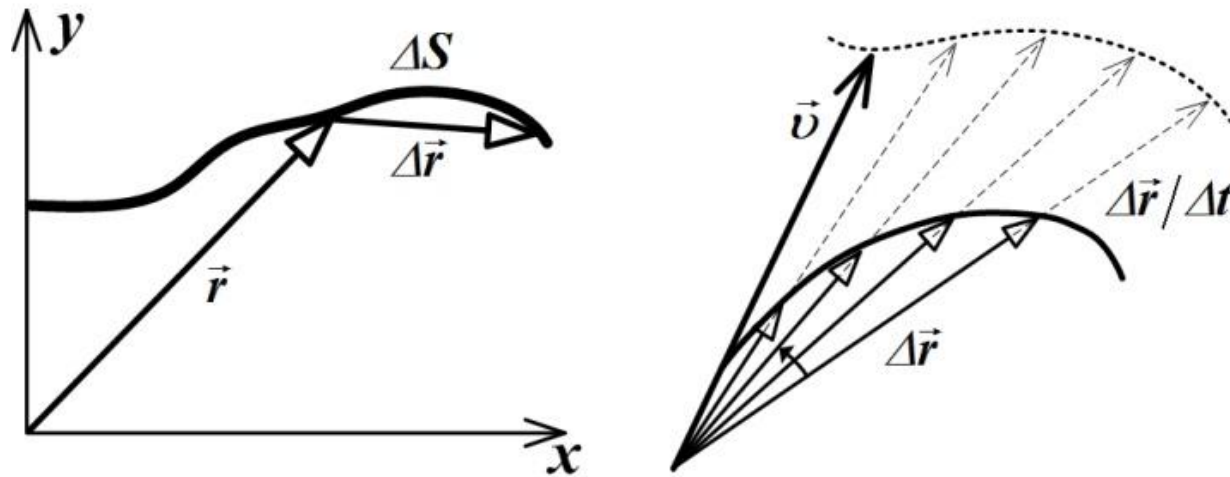
$$\vec{r} = r_x \cdot \vec{i} + r_y \cdot \vec{j} + r_z \cdot \vec{k}$$

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  орты осей  $x$ ,  $y$  и  $z$



# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

При движении материальной точки радиус-вектор изменяется как по направлению, так и по величине. Зафиксируем некоторый момент времени  $t$ , которому соответствует радиус-вектор  $\vec{r}$ . В течение элементарного интервала времени  $\Delta t$  м.т. проходит элементарный путь  $\Delta S$  и получает элементарное приращение  $\Delta \vec{r}$ . Рассмотрим вектор  $\Delta \vec{r} / \Delta t$ . Если  $\Delta t$  стремится к  $0$ , то указанный вектор перестает изменяться как по направлению, так и по величине:



# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Скорость м.т. в данный момент времени – это:

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

Направление вектора скорости определяет касательная к траектории м.т. в соответствующий момент времени.

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Модуль скорости м.т. запишется выражением:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t}$$

В случае, если  $\Delta t$  стремится к  $0$ , модуль перемещения становится равным пройденному пути за тот же интервал времени, а значит:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}$$

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Улитка	1,5	мм/сек	5,4	м/час
Черепаша	20	''	70	''
Рыба	1	м/сек	3,6	км/час
Пешеход	1,4	''	5	''
Конница шагом	1,7	''	6	''
Конница рысью	3,5	''	12,6	''
Муха	5	''	18	''
Лыжник	5	''	18	''
Конница карьером	8,5	''	30	''
Теплоход с подводными крыльями	16	''	58	''
Заяц	18	''	65	''
Орел	24	''	86	''
Охотничья собака	25	''	90	''
Поезд	28	''	100	''
Автомобиль ЗИЛ-111	50	''	170	''
Гоночный автомобиль (рекорд)	174	''	633	''
ТУ-104	220	''	800	''
Звук в воздухе	330	''	1200	''
Легкий реактивный самолет	550	''	2000	''
Земля по орбите	30000	''	108000	''

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Аналогично определению скорости м.т. можно записать ее ускорение:

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

Т.о., **скорость м.т.** – это быстрота изменения радиус-вектора м.т.;  
**ускорение м.т.** – это быстрота изменения скорости м.т. Учитывая выражение для радиуса вектора м.т., скорость и ускорение могут быть представлены в виде:

$$\vec{v} = \frac{dr_x}{dt} \cdot \vec{i} + \frac{dr_y}{dt} \cdot \vec{j} + \frac{dr_z}{dt} \cdot \vec{k}, \quad \vec{a} = \frac{d^2 r_x}{dt^2} \cdot \vec{i} + \frac{d^2 r_y}{dt^2} \cdot \vec{j} + \frac{d^2 r_z}{dt^2} \cdot \vec{k}.$$

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Средней скоростью и средним ускорением называют векторные величины, определяемые как

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

и

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



# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

## Нормальное и тангенциальное ускорение. Радиус кривизны траектории

Рассмотрим криволинейное движение м.т. При этом представим скорость м.т. в виде  $\vec{v} = v \cdot \vec{\tau}$  где  $\vec{\tau}$  —

орт касательной к траектории м.т., направленный в ту же сторону, что и скорость. Тогда ускорение м.т. может быть записано как

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau} + v \cdot \frac{d\vec{\tau}}{dt} \text{ где}$$

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau}$$

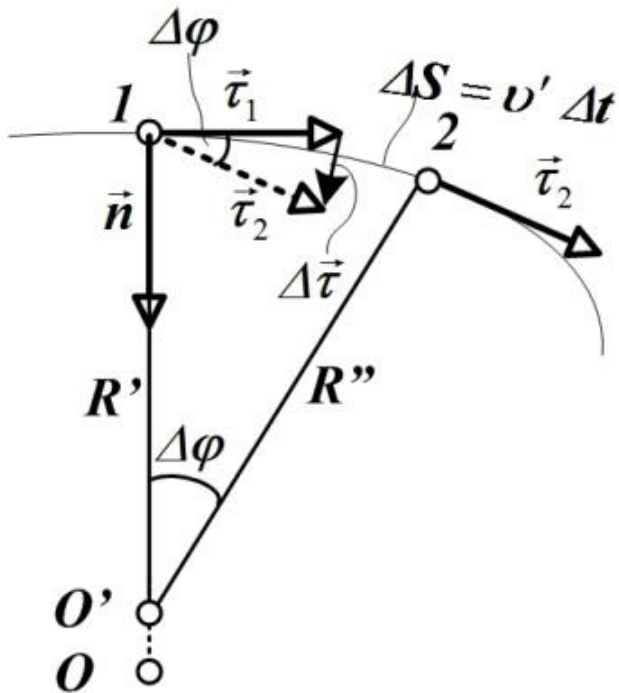
- тангенциальное ускорение

$$\vec{a}_n = v \cdot \frac{d\vec{\tau}}{dt} \text{ - нормальное ускорение}$$

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

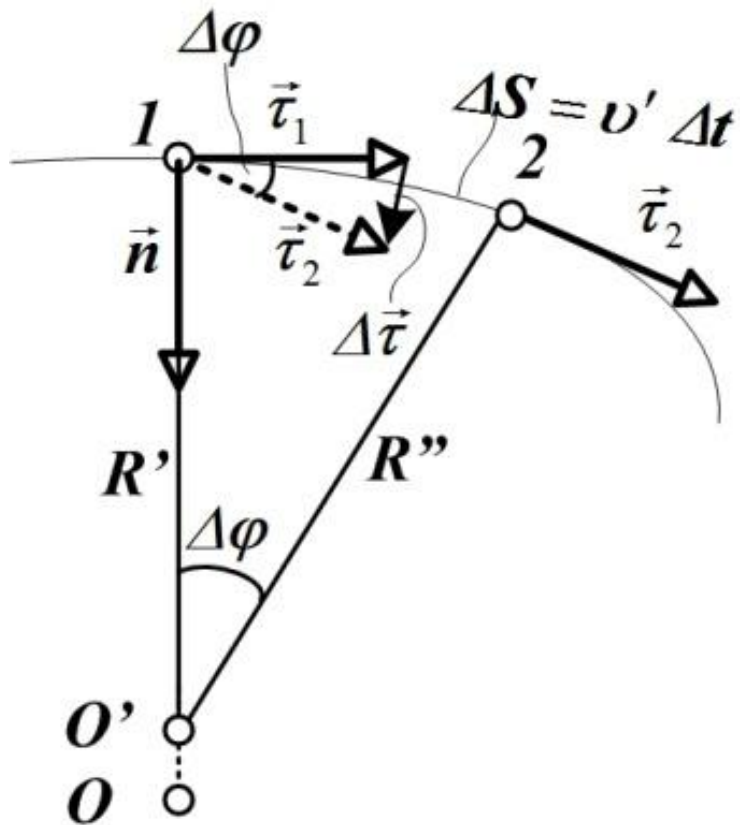
**Тангенциальное ускорение** – это физическая величина, которая характеризует быстроту изменения величины скорости

Определим чем обусловлена составляющая нормального ускорения  $d\tau/dt$



Рассмотрим движение м.т. по плоской кривой. Пусть м.т. перемещается из положения 1 в положение 2. Построим в этих точках единичные вектора  $\vec{\tau}_1$  и  $\vec{\tau}_2$ , направленные по касательной к траектории. Далее к указанным векторам проведем перпендикуляры, пересекающиеся в т.  $O'$ . Если т. 2 приближать к т. 1, то т.  $O'$  будет смещаться и в пределе окажется в положении т.  $O$ . При этом расстояния  $R'$  и  $R''$  будут стремиться к общему пределу  $R$ .

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ



Величина, равная

$$R = \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta\varphi} = \frac{dS}{d\varphi}$$

называется **радиусом кривизны траектории**

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

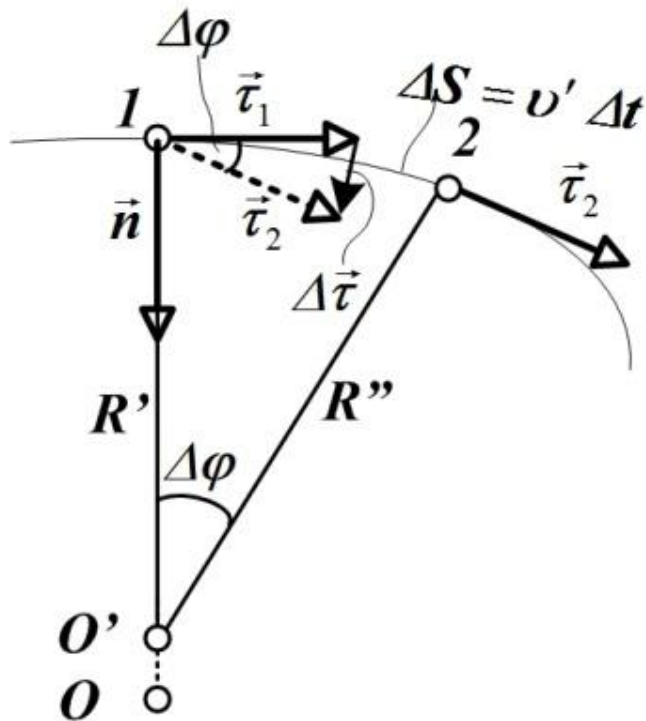
Точка  $O$  называется центром кривизны траектории в т. 1. Если т.1 и т.2 расположены бесконечно близко друг к другу, то можно записать  $\Delta\phi = \Delta S / R$ .

Отметим, что вектора  $\tau_1$  и  $\tau_2$  - единичные, а значит при движении м. т. они могут изменяться лишь по направлению. Тогда в случае бесконечно близкого расположения точек 1 и 2 вектора  $\tau_1$  и  $\tau_2$  в пределе станут параллельны. Значит и вектор  $\Delta\tau$  в пределе окажется перпендикулярным к  $\tau_1$ . Введем вектор  $n$  - орт нормали к траектории, направленный к центру кривизны траектории. В пределе можно записать, что

$$\Delta\tau = |\Delta\tau| \cdot n \approx \Delta\phi \cdot n.$$

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Отсюда  $\frac{\Delta \vec{\tau}}{\Delta t} \approx \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \cdot \vec{n}$ , а значит  $\frac{d \vec{\tau}}{d t} = \frac{d \varphi}{d t} \cdot \vec{n}$ .



Заметим, что  $(\Delta\varphi / \Delta t) \approx (v' / R')$ , где  $v'$  – средняя скорость м.т. за время  $\Delta t$ . В пределе  $R' \rightarrow R$ , а  $v' \rightarrow v$ , где  $v$  – мгновенная скорость м.т. в положении 1. Тогда

$$\frac{d \vec{\tau}}{d t} = \frac{d \varphi}{d t} \cdot \vec{n} = \frac{v}{R} \cdot \vec{n}$$

Значит нормальное ускорение будет равно

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \cdot \vec{n}$$

# КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

**Нормальное ускорение** – это физическая величина, которая характеризует изменение направления скорости

Учитывая выше сказанное, ускорение м.т. записывают в виде

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_\tau + \mathbf{a}_n,$$

а модуль данного ускорения определяют как

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}.$$

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

В основе классической механики лежат законы Ньютона, преобразования Галилея, положение о существовании инерциальных систем отсчёта. Важно отметить, что классическая механика не «работает» в следующих случаях:

1. при описании свойств микрочастиц (атомные и субатомные частицы);
2. при скоростях, близких к скорости света;
3. неэффективна при рассмотрении систем с большим числом частиц.

Т.о., классическая механика применима для тел большой массы (по сравнению с массой атомов), которые движутся с малыми скоростями (по сравнению со скоростью света).

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

## *I закон Ньютона*

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело (материальная точка) при отсутствии на него внешних воздействий (или при их взаимной компенсации) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Системы отсчета, в которых выполняется первый закон Ньютона, называются *инерциальными*. С высокой степенью точности инерциальной системой считается система отсчета, связанная с Солнцем (гелиоцентрическая). Земля движется относительно Солнца с ускорением, но ускорение это настолько мало, что в большом числе случаев ее можно считать практически инерциальной.



# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

## *II закон Ньютона*

Ускорение всякого тела прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально массе тела.

$$m \mathbf{a} = \mathbf{F} \quad \text{или} \quad m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = \mathbf{F} \quad - \text{ наиболее известная}$$

форма записи *II* закона Ньютона,  
предполагающая что масса тела есть константа.

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F} \quad \text{универсальная форма записи}$$

*II* закона Ньютона

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Здесь  $m$  – масса тела (м.т.);  $\vec{F}$  – сила, действующая на тело (м.т.);  $\vec{p}$  – импульс тела (м.т.).

**Масса тела (м.т.)** – это мера инертности тела (м.т.) при поступательном движении. **Инертность** — свойство тела, заключающееся в том, что для изменения скорости тела относительно инерциальной системы отсчёта необходимо воздействие.

**Сила** – это мера механического взаимодействия тел.

**Импульс** – это мера механического движения, векторная величина, равная произведению массы тела (м.т.) на его скорость и направленная также как и скорость.

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

## *III закон Ньютона*

Тела взаимодействуют друг с другом с силами, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

## Закон сохранения импульса

**Механическая система** – совокупность тел, рассматриваемых в задаче. Тела системы могут взаимодействовать как между собой, так и с телами, не входящими в систему. Силы, действующие на тела системы, делят на **внутренние и внешние**. **Внутренние силы** – это силы, с которыми тела системы действуют друг на друга. **Внешние силы** – это силы порожденные воздействием тел, не принадлежащих системе. Система, в которой внешние силы отсутствуют, называется **замкнутой**.

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Рассмотрим систему состоящую из  $N$  частиц (м.т.). Обозначим  $F_{ik}$  силу, с которой  $k$ -я частица действует на  $i$ -ю.  $F_i$  – результирующая всех внешних сил, действующих на  $i$ -ю частицу. Пользуясь // законом Ньютона напишем уравнения движения для  $N$  частиц:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\vec{p}_1}{dt} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots + \vec{F}_{1k} + \dots + \vec{F}_{1N} + \vec{F}_1 \\ \frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \dots + \vec{F}_{2k} + \dots + \vec{F}_{2N} + \vec{F}_2 \\ \dots \\ \frac{d\vec{p}_N}{dt} = \vec{F}_{N1} + \vec{F}_{N2} + \dots + \vec{F}_{Nk} + \dots + \vec{F}_{N,N-1} + \vec{F}_N \end{array} \right.$$

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Сложим вместе эти уравнения. Учитывая **III** закон Ньютона получим:

$$\frac{dp}{dt} = \sum_{i=1}^N F_i$$

Т.о., **производная по времени от суммарного импульса системы равна сумме внешних сил, действующих на тела системы.** Если система замкнута, внешние силы отсутствуют и результирующая внешних сил равна нулю. Отсюда заключаем, что  $p = \text{const}$ .

Значит закон сохранения импульса может быть сформулирован так: **«Импульс замкнутой системы остается неизменным».**

В основе закона сохранения импульса лежит однородность пространства, т.е. одинаковость свойств пространства во всех точках. Параллельный перенос замкнутой системы из одного места в другое без изменения взаимного расположения и скоростей частиц не изменяет механических свойств системы. Поведение системы на новом месте будет таким же, каким оно было бы на прежнем месте.

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

## Центр масс механической системы и закон его движения

Точка **C**, положение которой определяется радиус-вектором

$$\vec{r}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots + m_N \vec{r}_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i$$

называется **центром масс** системы материальных точек. Здесь  $m_i$  – масса  $i$ -й частицы,  $\vec{r}_i$  – радиус-вектор, задающий положение этой частицы,  $m$  – суммарная масса системы. Продифференцировав  $\vec{r}_c$  по времени, найдем скорость центра масс:

$$\vec{v}_c = \frac{\vec{p}}{m},$$

где  $\vec{p}$  – суммарный импульс системы.

# ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Значит импульс системы запишется  $\vec{p} = m\vec{v}_c$ .

Используя II закон Ньютона, получим уравнение движения центра масс системы м.т.:

$$\frac{d}{dt}(m\vec{v}_c) = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$$

## ***Теорема о движении центра масс механической системы***

Центр масс движется так, как двигалась бы материальная точка с массой равной массе системы, под действием результирующей всех внешних сил, приложенных к телам (м.т.) системы.