

# Физика

1 семестр

**Преподаватель:**

**Мокляк Денис Сергеевич**

# План лекции

1. Физика – наука о природе.
  - Фундаментальные законы
  - Примеры необычных физических явлений (тепловой и электро- двигатели, велосипедное колесо, кипение холодной жидкости, левитация карандашного грифеля)
  - Научный метод (Айсберг, Желоб Галилея)
  - Инерциальные системы отсчёта. Свободное тело. Принцип относительности.

# Бабочка на окне



# Что такое физика

- Физика это естественная наука, изучающая фундаментальные, наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи и законы её движения.

# Физический закон

- Физический закон – это количественное соотношение между физическими величинами, которое устанавливается на основе обобщения опытных фактов и выражают объективные закономерности, существующие в природе.

# Что такое физика

**Физика – наука фундаментальная.**

**Физика – наука естественная.**

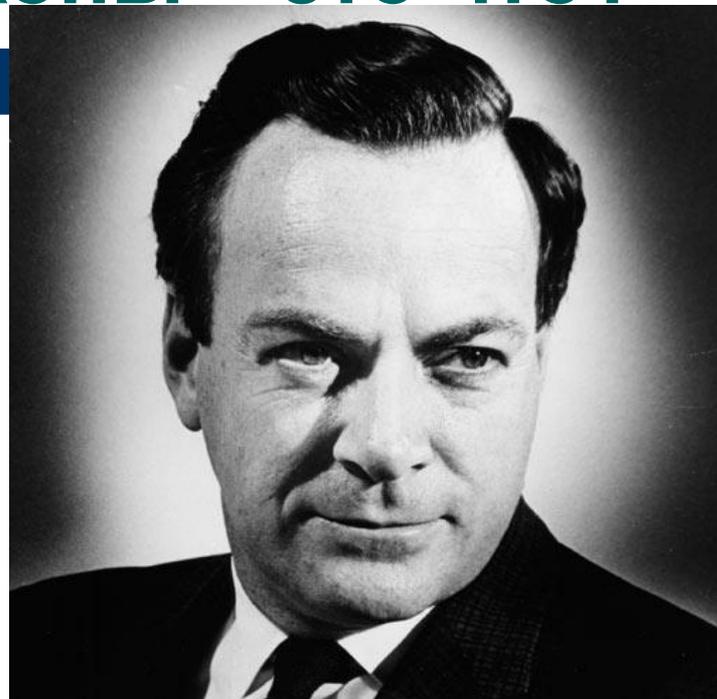
Фундаментальность означает, что законы или принципы не могут быть доказаны логическим путём. Их доказательством является опыт.

# Фундаментальные законы – это что?

*«Называем мы их фундаментальными потому, что законы их действия фундаментально просты»*



Richard P. Feynman



**Ричард Фейнман (Richard Feynman)**  
(1918 - 1988)

выдающийся американский учёный. Один из создателей квантовой электродинамики. В 1943—1945 годах входил в число разработчиков атомной бомбы в Лос-Аламосе. Лауреат Нобелевской премии по физике 1965 г.

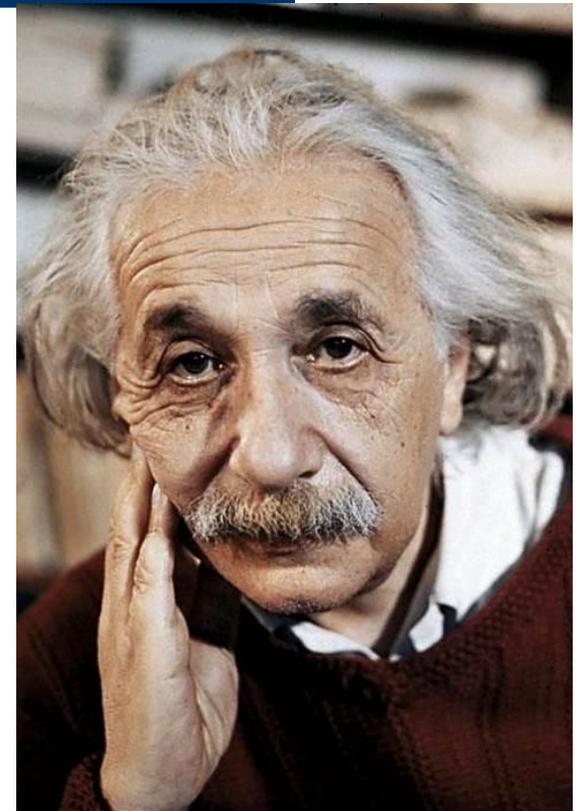
# Закон всемирного тяготения - фундаментальный физический закон

$$F = GmM/r^2$$

# Принципы научного метода по Эйнштейну

*«Высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых путём чистой дедукции можно получить картину мира. К этим законам ведёт не логический путь, а только основанная на проникновении в суть опыта интуиция»*

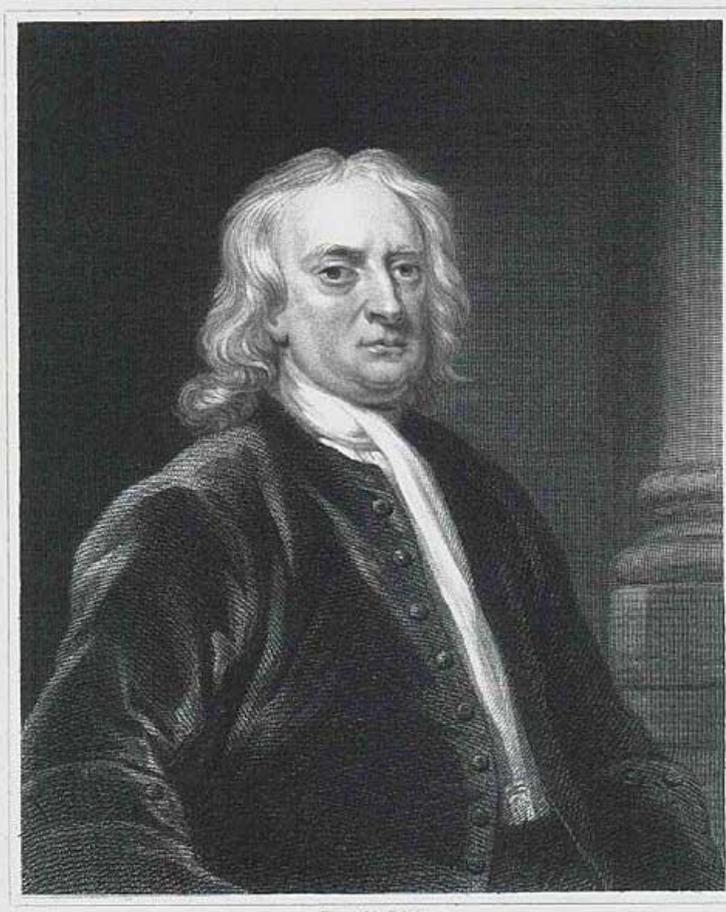
*A. Einstein.*



# Исаак Ньютон

- *«Что такое время, пространство, место и движение, я не объясняю, так как это известно всем»*

*Is. Newton*



**Сэр Исаак Ньютон** (*Sir Isaac Newton*)  
(1643 —1727)

английский физик, математик и астроном,  
основатель классической механики.

Автор фундаментального труда  
«Математические начала натуральной  
философии»,  
в котором он изложил закон  
всемирного тяготения  
и три закона механики, ставшие основой  
классической механики.

# Единицы и размерности физических величин

Международная система единиц СИ: основные механические единицы: метр (м); килограмм (кг); секунда (с).

- Секунда – это промежуток времени, в течение которого совершается 9 192 631 770 колебаний электромагнитного излучения, соответствующее переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 в отсутствие внешних полей (атомные часы).
- Метр – это длина пути, проходимая светом в вакууме за  $1/299792458$  долю секунды.
- Килограмм – масса платино-иридиевого тела в Международном бюро мер и весов в Севре (близ Парижа).

# Научный метод по Ломоносову

- *«Из наблюдений устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдения, - есть лучший всех способ к изысканию правды»*
- *«Мысленные рассуждения произведены бывают из надёжных и много раз повторённых опытов»*



**Михаил Васильевич Ломоносов**  
(1711–1765)

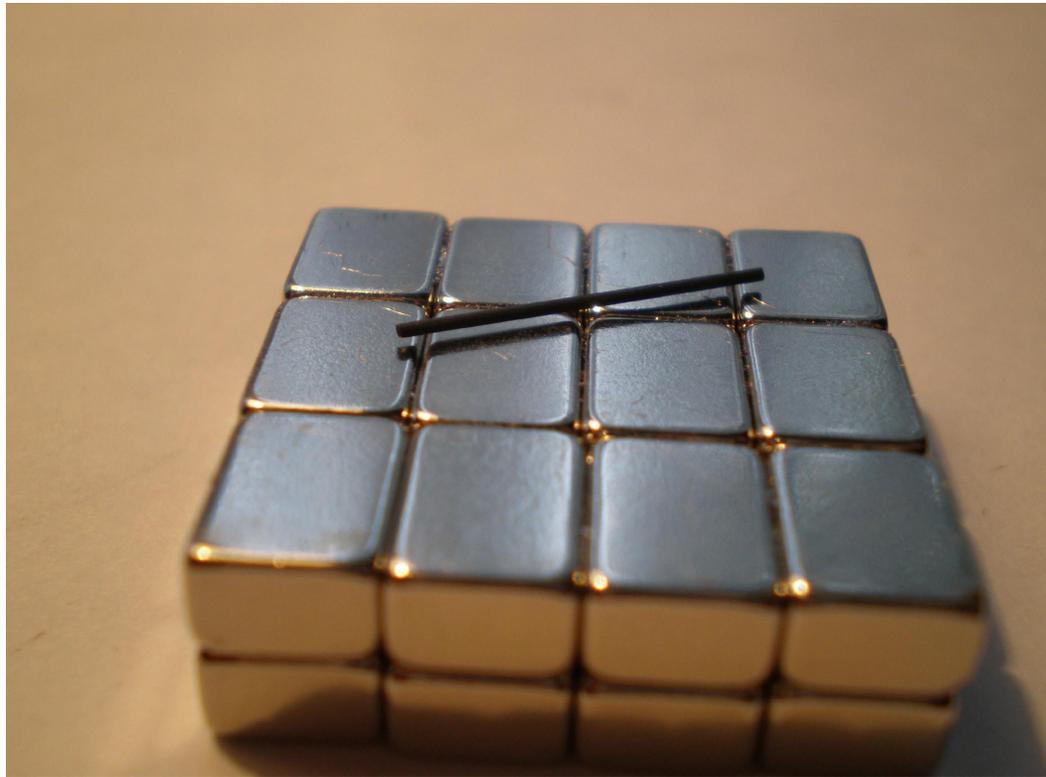
Великий русский учёный, зачинатель науки в России; экспериментально доказал закон сохранения массы, открыл атмосферу на Венере, создал основы русского научного языка.

# Самый простой тепловой двигатель

# Самый простой электродвигатель



# Левитация карандашного грифеля (фото)



# Вода кипит при комнатной температуре!

- А будет ли убежать кипящее под вакуумом молоко?



# Научный метод

- Основной метод исследования в физике является опыт, эксперимент, т.е. наблюдение исследуемого явления в точно контролируемых условиях, позволяющих следить за ходом явления и воссоздать его каждый раз при повторении этих условий.
  - Наблюдение
  - Размышление
  - Гипотезы, модели, теории
  - Эксперимент

# Инерциальная система отсчёта.

## Принцип относительности

- Все законы природы имеют одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчёта
- Все физические явления протекают одинаково в различных ИСО.
- ИСО – система, связанная со свободно движущимся телом.

# Физическая модель

Модель – это идеальный объект, отражающий **существенные** для данного явления свойства.

На вопрос, что существенно, а что нет может ответить только опыт.

Примеры моделей: материальная точка, абсолютно твёрдое тело, идеальная жидкость, идеальный газ.

# Галилео Галилей – первый физик, основатель научного метода

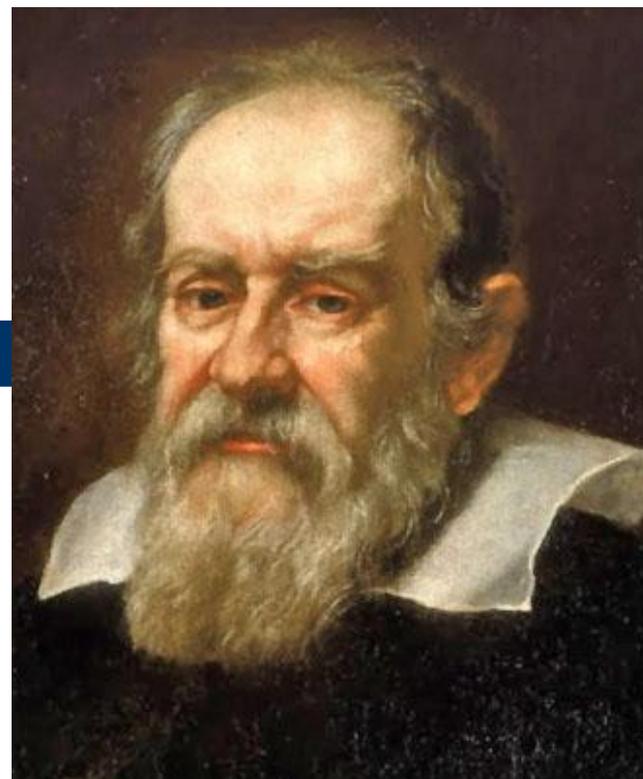
**Принцип относительности:** *«Дайте движение кораблю, и притом с какой угодно скоростью; тогда (если только движение его будет равномерным, а не колеблющимся туда и сюда) вы не заметите ни малейшей разницы»*

**Закон инерции:** *«...если бы все сопротивления были уничтожены, то его (тела) движение было бы вечно равномерным, если бы плоскость простиралась в бесконечность» («неустребимо запечатлённое движение»).*



**Законы свободного падения:** *скорость нарастает пропорционально времени, а путь — пропорционально квадрату времени.*

**Научный метод – наблюдение, размышление и опыт**



**ГАЛИЛЕЙ, ГАЛИЛЕО** (Galilei, Galileo)  
(1564–1642)

итальянский физик,  
механик и астроном.

Основоположник экспериментально-  
математического

метода исследования природы

*В 1992 папа Иоанн Павел II объявил решение суда инквизиции ошибочным и реабилитировал Галилея.*

# Петр Леонидович Капица – основатель Физтеха

- *На дне стакана, стоящего на весах, сидит муха. В какой момент весы начнут чувствовать, что муха улетела?*
- *Какие движения должен совершать человек, чтобы вращать обруч?*
- *С какой скоростью должен бежать по воде человек, чтобы не тонуть?*
- *Почему жидкий азот ( $-195^{\circ}\text{C}$ ) можно лить на руку, не боясь «ожога»?*
- *Какого цвета будет казаться красная жидкость, если сосуд с ней поместить в сосуд с синей жидкостью?*



**Петр Леонидович Капица**  
(1894–1984)

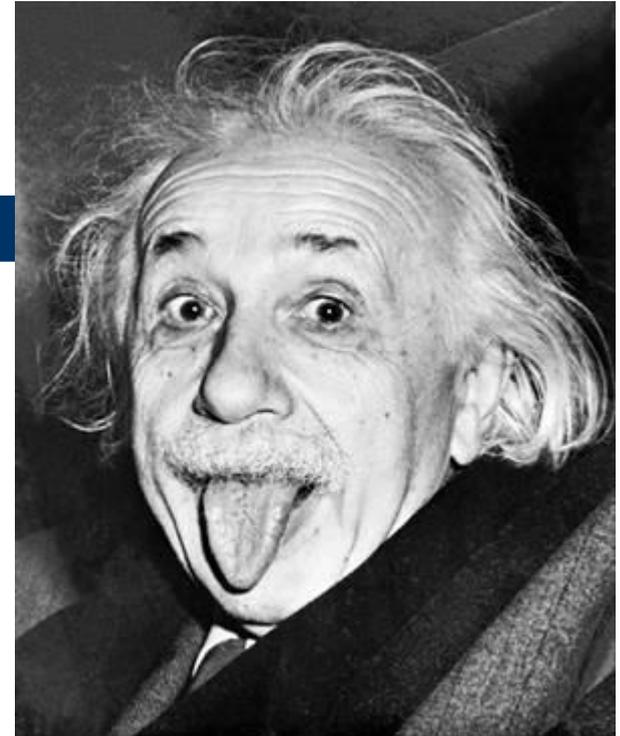
Выдающийся российский физик, академик. Открыл сверхтекучесть жидкого гелия. Основатель Физтеха, системы Физтеха.

Лауреат Нобелевской премии по физике 1978 года

# О бесконечности

- *«Есть две бесконечные вещи — Вселенная и человеческая глупость. Впрочем, насчёт Вселенной я не уверен».*

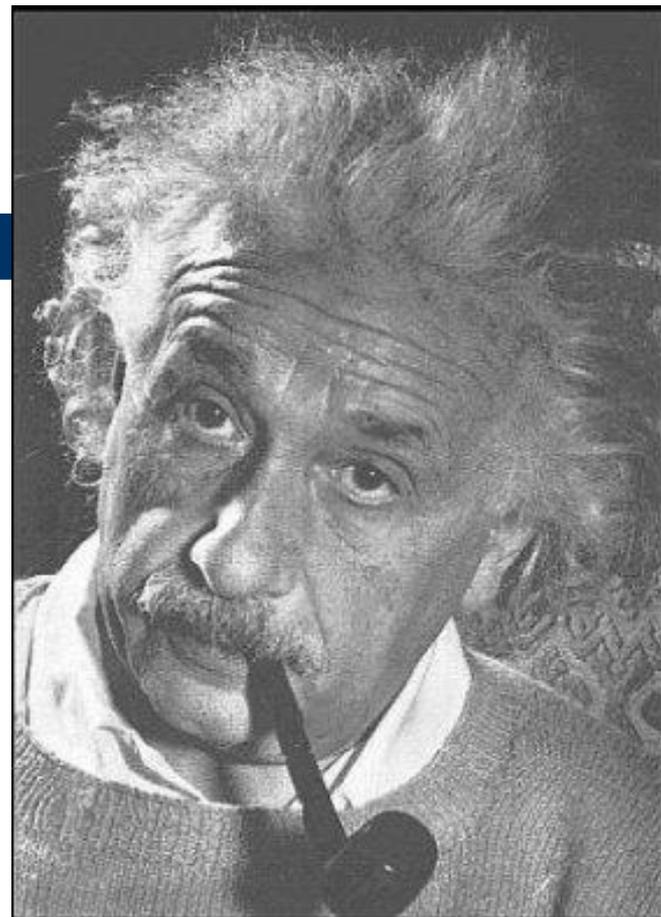
*A. Einstein.*



# Познаваем ли мир?

*«Самое непостижимое в этом мире — это то, что он постижим».*

*A. Einstein.*



**Альбэ́рт Эйнште́йн** (*Albert Einstein*)  
(1879 -1955)

физик-теоретик, один из основателей современной теоретической физики, лауреат Нобелевской премии по физике 1921 года.



ЗДРАВСТВУЙТЕ!

## Тема: **КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ**

### *Содержание лекции:*

2. 1. Модели в механике.
2. 2. Тело отсчета. Система отсчета.
2. 3. Кинематика поступательного движения.
2. 4. Скорость.
2. 5. Ускорение и его составляющие.

## 2.1. Модели в механике

*Механика* — часть физики, которая изучает закономерности механического движения и причины, вызывающие или изменяющие это движение.

*Механическое движение* — это изменение с течением времени взаимного расположения тел или их частей.

## 2.1. Модели в механике

*Кинематика* - изучает движение тел, не рассматривая причин, которые это движение вызывают.

Она использует понятия: траектория, путь, перемещение, время, скорость и ускорение.

## 2.1. Модели в механике

*Динамика* - изучает законы движения тел и причины, которые вызывают или изменяют это движение.

Она наряду с кинематическими, использует понятия: **масса**, **сила**, **импульс**, **энергия**.

## 2.1. Модели в механике

*Статика* - изучает равновесие системы тел. Если известны законы движения тел, то из них можно установить и законы равновесия.

Поэтому законы статики отдельно от законов динамики физика не рассматривает.

## 2.1. Модели в механике

Пытаясь понять и объяснить определенный класс явлений, ученые часто прибегают к использованию *модели*. При этом под моделью понимают некоторый мысленный образ явления, опирающийся на уже известные понятия и позволяющий построить полезную аналогию. Примером здесь может служить волновая модель света. Световые волны нельзя наблюдать подобно тому, как мы видим волны на воде; однако полезно представить себе свет в виде волн, поскольку результаты опытов со светом указывают на его большое сходство с волнами на воде.

## 2.1. Модели в механике

Цель построения модели состоит в том, чтобы получить мысленную или наглядную картину явления в тех случаях, когда мы лишены возможности непосредственного восприятия того, что происходит в этом явлении. Во многих случаях модель позволяет получить более глубокое понимание; так, аналогия с уже известными явлениями (например, с волнами на воде в упомянутом выше примере для света) может стимулировать проведение новых опытов и подсказать характер возможных родственных явлений.

Ни одна модель не может быть вполне безупречной, и ученые постоянно стремятся усовершенствовать свои модели или предложить новые, когда прежние перестают быть адекватными.

## 2.1. Модели в механике

Может возникнуть вопрос о том, чем отличается теория от модели, поскольку иногда эти термины используются как синонимы. Как правило, *модель* относительно проста и сохраняет структурное сходство с изучаемым явлением, тогда как *теория* значительно шире: она рассматривает явление более детально, и с ее помощью пытаются решать ряд задач, подчас с весьма высокой математической точностью. Во многих случаях после того, как модель получила достаточное развитие в различных вариантах и стала более точно соответствовать эксперименту для широкого круга явлений, ее можно назвать теорией. Примерами этого являются атомная теория вещества и волновая теория света.

## 2.1.1. Модели кинематики

*Материальной точкой (частицей)* называют тело в тех случаях, когда изучают его поступательное движение как целого.

При этом полагают, что его размеры, форма и другие структурные свойства, а также протекающие в нем процессы, не влияют на движение тела в пределах точности измерений.

## 2.1.1. Модели кинематики

*Абсолютно твердым телом* называется тело, которое ни при каких условиях не может деформироваться и при всех условиях расстояние между двумя точками (или точнее между двумя частицами) этого тела остается постоянным.

## 2.1.1. Модели кинематики

*В физике используют модель сплошной среды, в которой не учитываются ее структурные особенности, и любой бесконечно малый объем такой среды обладает свойствами, характерными для всей системы.*

## 2.1.1. Модели кинематики

Сплошное тело (причем, не только абсолютно твердое) можно мысленно разбить на малые взаимодействующие между собой части, каждая из которых рассматривается как материальная точка. Тогда изучение движения произвольной системы тел сводится к изучению системы материальных точек.

## 2.2. ТЕЛО ОТСЧЕТА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

*Поступательное движение* – это движение, при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остается параллельной своему первоначальному положению.

## 2.2. ТЕЛО ОТСЧЕТА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

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

## 2.2. ТЕЛО ОТСЧЕТА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

Движение тела происходит в пространстве и во времени. Поэтому для описания движения материальной точки надо знать, в каких местах пространства эта точка находилась, и в какие моменты времени она проходила то или иное положение.

## 2.2. ТЕЛО ОТСЧЕТА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

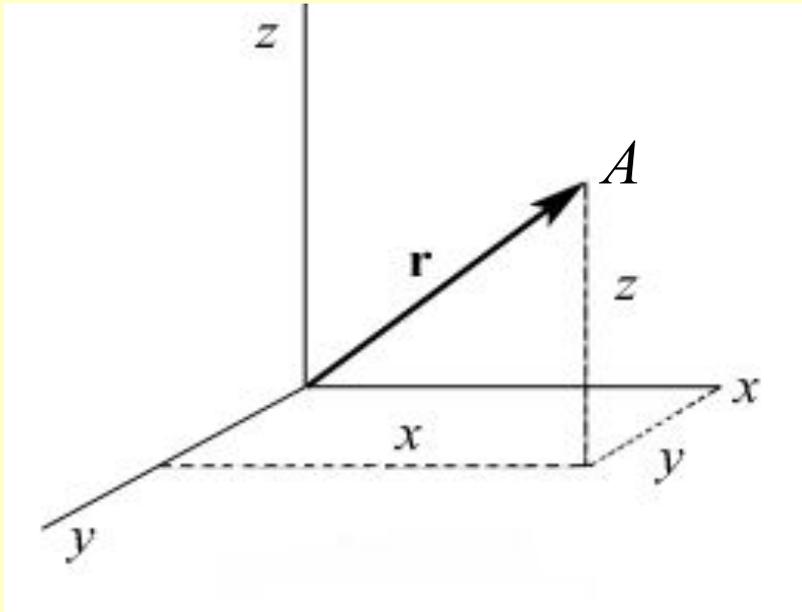
Движение тела всегда относительно. Его можно обнаружить только в том случае, если вы будете сравнивать положение движущейся материальной точки с положением другого тела, которое считают неподвижным.

## 2.2. ТЕЛО ОТСЧЕТА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

*Тело, относительно которого рассматривается движение, называют **телом отсчета**.*

***Система отсчета** – совокупность системы координат и часов, связанных с телом отсчета.*

## 2.2. ТЕЛО ОТСЧЕТА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА



В декартовой системе координат, используемой наиболее часто, положение точки  $A$  в данный момент времени по отношению к этой системе характеризуется тремя координатами  $x$ ,  ~~$y$~~ ,  $z$  или радиусом-вектором  ~~$\mathbf{r}$~~ , проведенным из начала системы координат в данную точку.

## 2.2. ТЕЛО ОТСЧЕТА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

При движении материальной точки ее координаты с течением времени изменяются. В общем случае ее движение определяется *скалярными уравнениями*

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t), \quad (2.1)$$

эквивалентными *векторному уравнению*

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}, \quad (2.2)$$

где  $x, y, z$  – проекции радиуса – вектора на оси координат, а  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы, направленные по соответствующим осям.

Уравнения (2.1) и соответственно (2.2) называются *кинематическими уравнениями движения материальной точки.*

## 2.2. ТЕЛО ОТСЧЕТА. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

Число независимых координат, полностью определяющих положение точки в пространстве, называется *числом степеней свободы*. Если материальная точка свободно движется в пространстве, то она обладает *тремя степенями свободы* (координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ); если она движется по некоторой поверхности, то *двумя степенями свободы*, если вдоль некоторой линии, то *одной степенью свободы*.

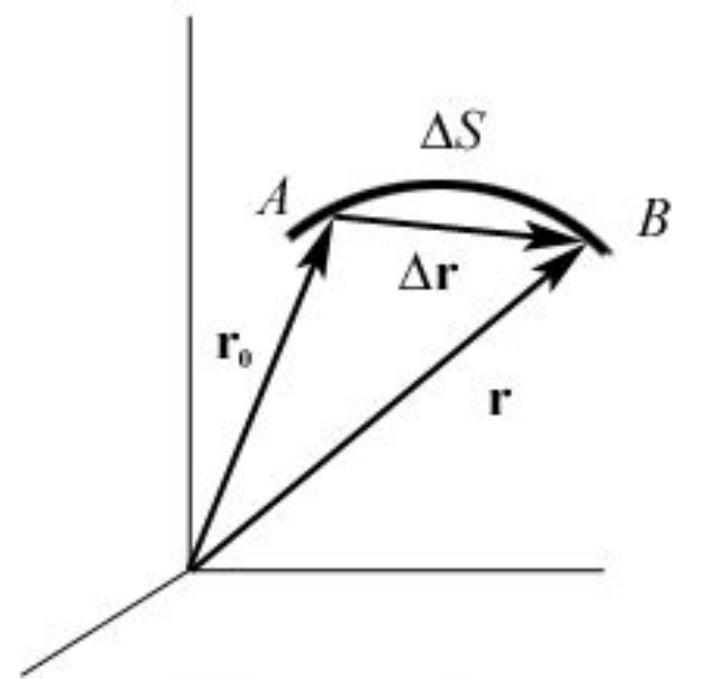
## 2.3. КИНЕМАТИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Исключая время  $t$  в уравнениях (2.1) и (2.2) получим уравнение траектории движения материальной точки.

*Траектория движения материальной точки — линия, описываемая этой точкой в пространстве.*

В зависимости от формы траектории движение может быть **прямолинейным (поступательным), криволинейным и вращательным.**

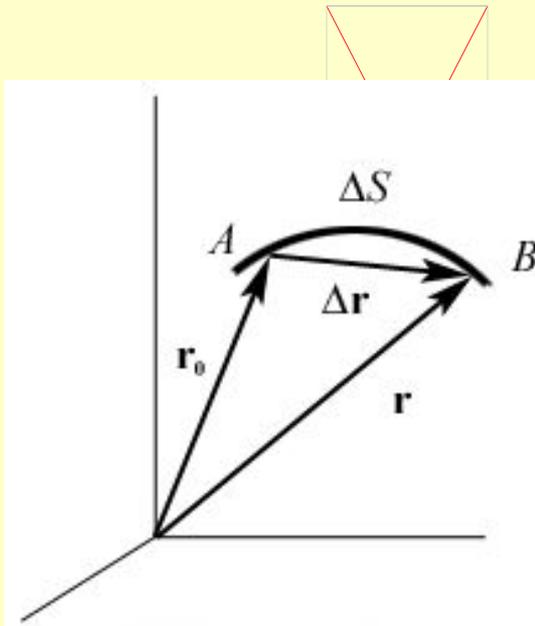
## 2.3. КИНЕМАТИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ



Рассмотрим движение материальной точки вдоль произвольной траектории. Отсчет времени начнем с момента, когда точка находилась в положении  $A$ . Длина участка траектории  $AB$ , пройденного материальной точкой с момента начала отсчета времени, называется *длиной пути*  $\Delta S$  и является скалярной функцией времени:  $\Delta S = \Delta S(t)$ .

## 2.3. КИНЕМАТИКА

# ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ



Вектор  $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0$ , проведенный из начального положения движущейся точки в положение точки в данный момент времени (приращение радиуса – вектора за рассматриваемый промежуток времени) называется *перемещением*

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0 = (x-x_0) \mathbf{i} + (y-y_0) \mathbf{j} + (z-z_0) \mathbf{k},$$

и в прямолинейном движении вектор перемещения совпадает с соответствующим участком траектории и модуль перемещения  $|\Delta \mathbf{r}|$  равен пройденному пути  $\Delta S$ .

## 2.4. СКОРОСТЬ

Для характеристики движения материальной точки вводится векторная величина - *скорость*, которой определяют как *быстроту движения*, так и *изменение его направления* в данный момент времени

Пусть материальная точка движется по какой-либо криволинейной траектории так, что в момент времени  $t$  ей соответствует радиус-вектор  $\vec{r}_0$ . В течение малого промежутка времени  $\Delta t$  точка пройдет путь  $\Delta S$  и получит элементарное (бесконечно малое) перемещение  $\Delta \vec{r}$ .

*Вектором средней скорости*  $\langle \vec{v} \rangle$  называется приращение  $\Delta \vec{r}$  радиуса-вектора точки к промежутку времени  $\Delta t$ :

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (3.1)$$

Направление вектора средней скорости совпадает с направлением  $\Delta \vec{r}$ . При неограниченном уменьшении  $\Delta t$  средняя скорость стремится к предельному значению, которое называется *мгновенной скоростью*  $\vec{v}$ :

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

*Мгновенная скорость* – векторная величина, равная скорости материальной точки в фиксированный момент времени

*Мгновенная скорость* – векторная величина, равная первой производной радиуса – вектора движущейся точки по времени.

Так как секущая в пределе совпадает с касательной, то вектор скорости направлен по касательной к траектории в сторону движения (рис.3), поэтому модуль мгновенной скорости

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

Таким образом, *модуль мгновенной скорости равен первой производной пути по времени*

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (3.2)$$

При неравномерном движении модуль мгновенной скорости с течением времени изменяется. В данном случае пользуются скалярной величиной  $\langle v \rangle$  – средней скоростью неравномерного движения  $\langle v \rangle = \Delta s / \Delta t$ . Из рис. 3 вытекает, что  $\langle v \rangle > \langle |\vec{v}| \rangle$ , так как  $\Delta s > |\Delta \vec{r}|$ , и только в случае прямолинейного движения  $\Delta s = |\Delta \vec{r}|$ .

Если выражение  $ds = v dt$  (смотри формулу 3.2) проинтегрировать по времени в пределах от  $t$  до  $t+\Delta t$ , то найдем длину пути, пройденного точкой за время  $\Delta t$ :

$$s = \int_t^{t+\Delta t} v dt \quad (3.3)$$

В случае *равномерного* движения **числовое значение мгновенной скорости постоянно**; тогда выражение (3.3) примет вид:

$$s = v \int_t^{t+\Delta t} dt = v\Delta t$$

Длина пути, пройденного точкой за промежуток времени от  $t_1$  до  $t_2$  дается интегралом:

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

## 2.5. УСКОРЕНИЕ И ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИЕ

В случае неравномерного движения важно знать, как быстро изменяется скорость с течением времени.

Физической величиной характеризующей быстроту изменения скорости по модулю и направлению является *ускорение*.

Рассмотрим *плоское движение*, то есть движение, при котором все участки траектории точки лежат в одной плоскости. Пусть вектор  $\vec{v}_1$  задает скорость точки  $A$  в момент времени  $t$ . За время движущаяся точка перешла в положение  $B$  и приобрела скорость, отличную от  $\vec{v}_1$  по модулю, так и по направлению и равную  $\vec{v} = \vec{v}_1 + \Delta\vec{v}$ . Перенесем вектор  $\vec{v}_1$  в точку  $A$  и найдем (рис.4).

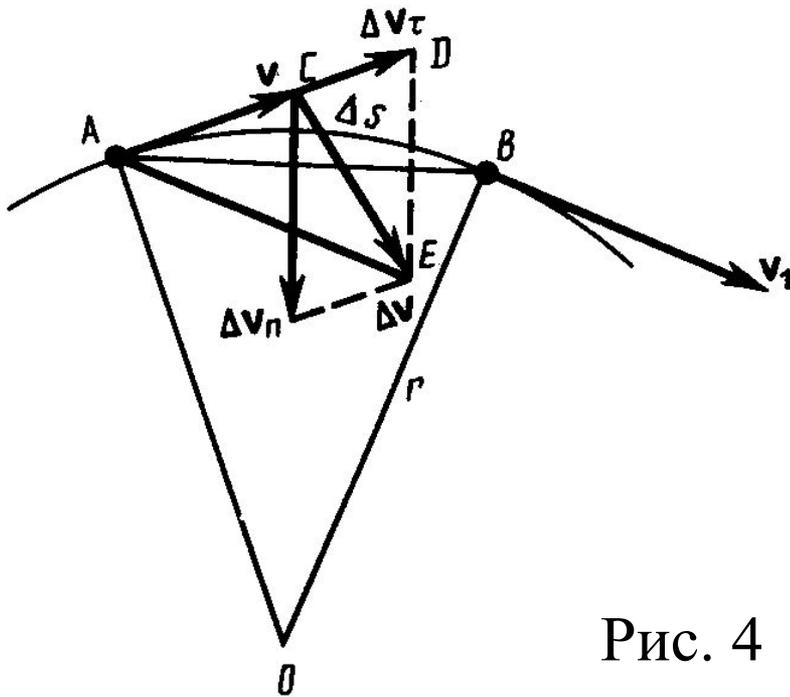


Рис. 4

Разложим вектор  $\Delta \vec{v}$  на две составляющие. Для этого из точки  $A$  (рис.4) по направлению скорости  $\vec{v}$  отложим вектор  $\vec{AD}$ , по

модулю равный  $v_1$ . Очевидно,

что вектор  $\vec{CD}$ , равный  $\Delta v_\tau$ , определяет изменение скорости за время  $\Delta t$  по модулю:  $\Delta v_\tau = v_1 - v$

Вторая же составляющая  $\Delta v_n$  характеризует изменение скорости за время  $\Delta t$  по направлению.

*Тангенциальная составляющая ускорения*

$$a_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_\tau}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt},$$

т.е. равна первой производной по времени от модуля скорости, определяя тем самым быстроту изменения скорости по модулю.

Найдем вторую составляющую ускорения. Допустим, что точка  $B$  достаточно близка к точке  $A$ , поэтому  $\Delta S$  можно считать дугой окружности радиуса  $r$ , мало отличающейся от хорды  $AB$ . Тогда из подобия треугольников  $AOB$  и  $EAD$  следует  $\frac{\Delta v_n}{v} = \frac{\Delta s}{r}$  но т.к.

$$AB = v \cdot \Delta t$$

$$\frac{\Delta v_n}{\Delta t} = \frac{v \cdot v_1}{r}$$

В пределе при  $\Delta t \rightarrow 0$  получим  $v_1 \rightarrow v$ . Поскольку  $v_1 \rightarrow v$ , угол  $EAD$  стремится к нулю, и т.к. треугольник  $EAD$  равнобедренный, то угол  $ADE$  между  $v$  и  $\Delta v_n$  стремится к прямому. Следовательно, при  $\Delta t \rightarrow 0$  векторы  $v$  и  $\Delta v_n$  оказываются взаимно перпендикулярными. Так как вектор скорости направлен по касательной к траектории, то вектор  $\Delta v_n$ , перпендикулярный вектору скорости, направлен к центру ее кривизны. Вторая составляющая ускорения равная

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_n}{\Delta t} = \frac{v^2}{r},$$

называется *нормальной составляющей ускорения* и направлена по нормали к траектории к центру ее кривизны (поэтому ее называют также центростремительным ускорением).

*Полное ускорение* тела есть геометрическая сумма тангенциальной и нормальной составляющих:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$$

Итак, тангенциальная составляющая ускорения характеризует быстроту изменения скорости по модулю (направлена по касательной к траектории), а нормальная составляющая ускорения — быстроту изменения скорости по направлению (направлена к центру кривизны траектории).

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.

При таком виде движения  $a_\tau = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$ .

Если начальный момент времени  $t_1 = 0$ , а начальная скорость  $v_1 = v_0$ , то, обозначив  $t_2 = t$  и  $v_2 = v$ , получим  $a = (v - v_0) / t$ , откуда

$$v = v_0 + at$$

Проинтегрировав эту формулу в пределах от нуля до произвольного момента  $t$ , найдем, что длина пути пройденного точкой, в случае равнопеременного движения

$$S = \int_0^t v dt = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + at^2 / 2$$

3.  $a_\tau = f(t)$ ,  $a_n = 0$  – прямолинейное движение с переменным ускорением.

4.  $a_\tau = 0$ ,  $a_n = const$ . При  $a_\tau = 0$  скорость по модулю не меняется, а изменяется по направлению. Из формулы  $a_n = v^2 / r$  следует, что радиус кривизны должен быть постоянным. Следовательно, движение по окружности является равномерным.

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.