

Физика 1 курс, 2 семестр

Лекция 1. Физические основы механики.
Кинематика.

В.И. Читайкин
кандидат физико-математических наук
доцент

План лекции



Наименование раздела	Номер слайда
Введение	3
Раздел 1. Основные понятия кинематики	5
Раздел 2. Характеристики движения	10
Раздел 3. Некоторые виды движения <i>материальной точки</i>	16
3.1. Равномерное и равноускоренное прямолинейное движение	17
3.2. Криволинейное движение	20
Раздел 4. Поступательное движение <i>твёрдого тела</i>	24

Введение



В первом семестре Вы прослушали курс «Введение в физику», который охватывал сразу несколько разделов физики.

Начиная с этого семестра Вы будете изучать те же разделы, но более подробно и углубленно. Очевидно, определённые повторения при этом неизбежны. Позже, в весеннем семестре второго курса добавятся новые разделы.

Во втором семестре 1-ого курса будут изучены следующие разделы:

1. Физические основы механики (восемь лекций).
2. Основы молекулярной физики и физической кинетики (девять лекций).

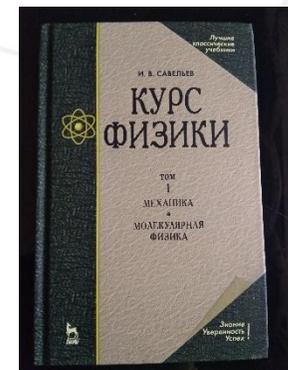
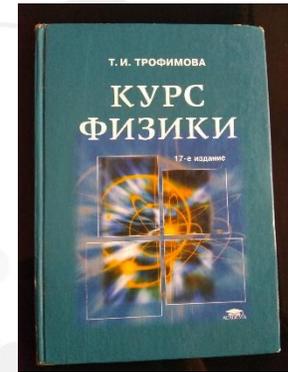
Семинарские и лабораторные занятия будут построены в соответствии с программой лекционного курса.

Первая лекция нашего курса возвращает нас к «началу начал» механики – к кинематике.

Введение

Об учебниках

1. Трофимова Таисия Ивановна, «Курс физики», любое издание после 2005 года.
Обязательный учебник.
2. Иродов Игорь Евгеньевич, «Механика. Основные законы», любое издание после 2010 года. *Любителям красивой физики, чёткой и прозрачной.*
3. Савельев Игорь Владимирович, «Курс физики, том 1. Механика. Молекулярная физика», любое издание после 2010 года. *Любителям глубоко поразмышлять.*





Раздел 1. Основные понятия кинематики

1. Основные понятия кинематики



Кинематика – это раздел механики.

Механика – наука о механическом движении и механическом взаимодействии материальных тел.

Механическое движение – изменение взаимного расположения материальных тел или их составных частей с течением времени.

Кинематика изучает виды механического движения, но без действия сил.

В нашем курсе мы будем изучать кинематику классического механического движения (*классическая механика Ньютона*). Это означает:

- скорости движения материальных тел (v) много меньше скорости света (c), т.е. $v \ll c$; если эти скорости близки ($v \approx c$), то надо применять *релятивистскую механику*;
- размер материального тела много больше размера микрочастиц (атомов, молекул), в противном случае надо применять *квантовую механику*.

1. Основные понятия кинематики

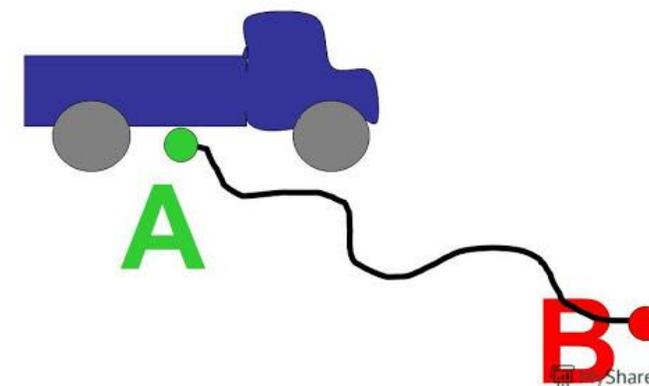


В кинематике (как и в механике, в целом) используют идеализированные понятия.

Материальная точка – тело, форма и размер которого несущественны для данной задачи.

Например, в задаче о движении грузовика из точки A в точку B форма и размер грузовика не имеют значения. Грузовик можно рассматривать как материальную точку. Это справедливо, если расстояние между точками A и B много больше размера грузовика.

В противном случае (*сформулируйте этот случай самостоятельно*) размерами грузовика пренебрегать будет нельзя. Значит, грузовик в таком случае уже не будет материальной точкой. Он станет *системой* материальных точек.



Важное замечание: любое протяжённое тело можно рассматривать как систему материальных точек, если это упрощает решение задачи.

Кинематика изучает движение именно материальной точки или системы материальных точек.

1. Основные понятия кинематики

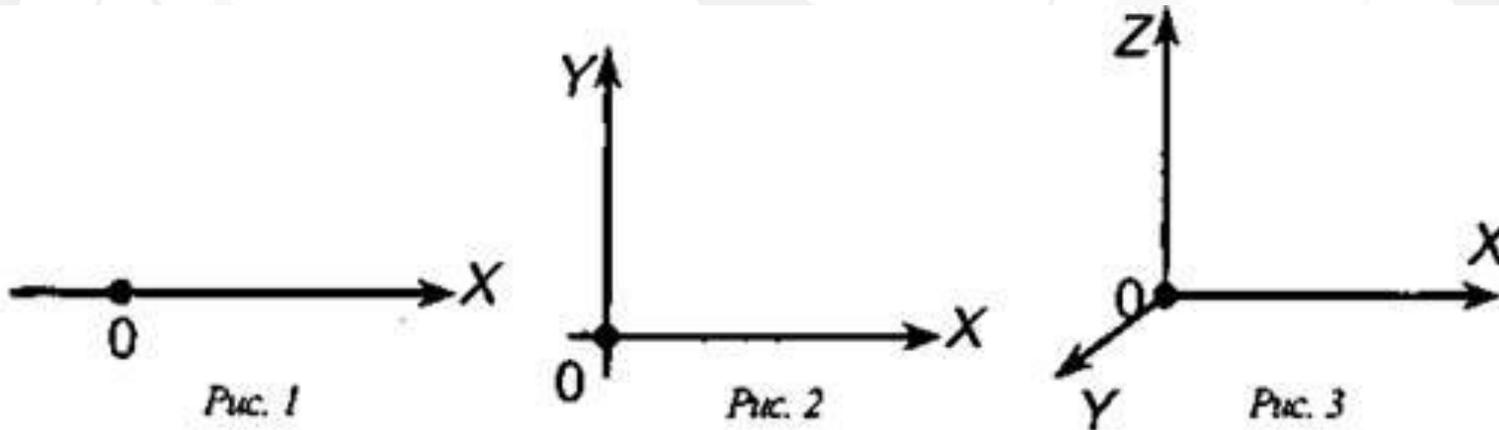


Система отсчёта и система координат

Система отсчёта: это совокупность выбранной материальной точки, являющейся точкой отсчёта (точка O), и часов как средства измерения времени.

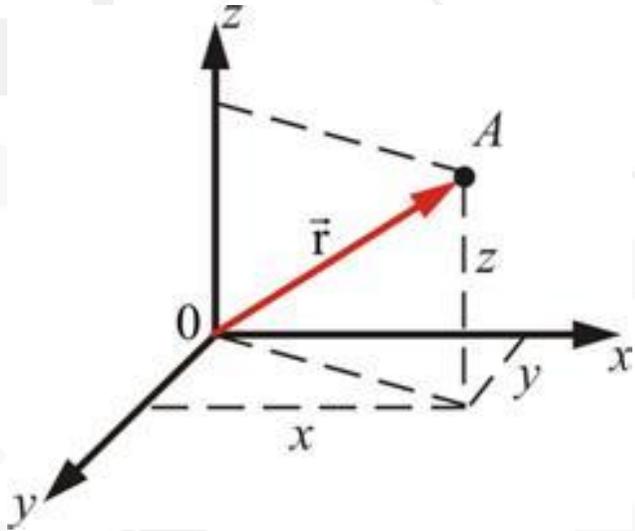
Система координат: это совокупность осей координат (одна, две или три оси) и точки начала координат (точки отсчёта O), в которой все оси пересекаются. На каждой оси должно быть выбрано положительное направление, указанное стрелками.

Чаще всего используется прямоугольная (декартова) система координат, когда оси координат взаимно перпендикулярны.



Традиционные обозначения осей: $\{OX\}$, $\{OY\}$, $\{OZ\}$.

1. Основные понятия кинематики



Координаты точки A: совокупность координат $\{x, y, z\}$ на осях $\{OX\}$, $\{OY\}$, $\{OZ\}$, соответственно.

Точка A описывает положение материального тела.

Векторная форма точки A: радиус-вектора \mathbf{r} соединяет точку начала отсчёта O и точку A.

$\mathbf{r} = x \cdot \mathbf{i} + y \cdot \mathbf{j} + z \cdot \mathbf{k}$ Напомню, единичный вектор \mathbf{i} направлен вдоль оси $\{OX\}$, единичный вектор \mathbf{j} направлен вдоль оси $\{OY\}$, единичный вектор \mathbf{k} направлен вдоль оси $\{OZ\}$.

Движение точки A: это изменение её положения во времени. Кинематическое уравнение движения точки:

- **В координатной форме:** это совокупность зависимостей $\{x(t), y(t), z(t)\}$ от времени.
- **В векторной форме:** это в общем виде $\mathbf{r}(t) = \{x(t) \cdot \mathbf{i} + y(t) \cdot \mathbf{j} + z(t) \cdot \mathbf{k}\}$

Важно. Движение точки в пространстве можно представить как векторную сумму движений точки по каждой из координат в отдельности.



Раздел 2. Характеристики движения

2. Характеристики движения



Путь и перемещение.

Траектория: это линия, описываемая в пространстве движущейся точкой (телом).

Длина пути (или траектории): это сумма элементарных длин вдоль всей траектории. Длина пути – скалярная величина, на рисунке обозначена как l , размерность l – метр (м).

Перемещение: это расстояние между начальной точкой **1** и её конечным положением (точка **2**). Размерность – метр (м).

Более точное определение: перемещение – это расстояние между положением тела в начальный момент времени и его положением в момент времени t .

Перемещение – векторная величина, указывающая направление куда переместилось тело.

Замечание: перемещение обозначается как Δr , т.е. как изменение радиус-вектора за время t , - см. сл. слайд.



2. Характеристики движения



Векторное описание перемещения.

r_1 – радиус-вектор, соответствующий начальному положению тела (точка M_1),

r_2 – радиус-вектор, соответствующий положению тела в момент времени t (точка M_2),

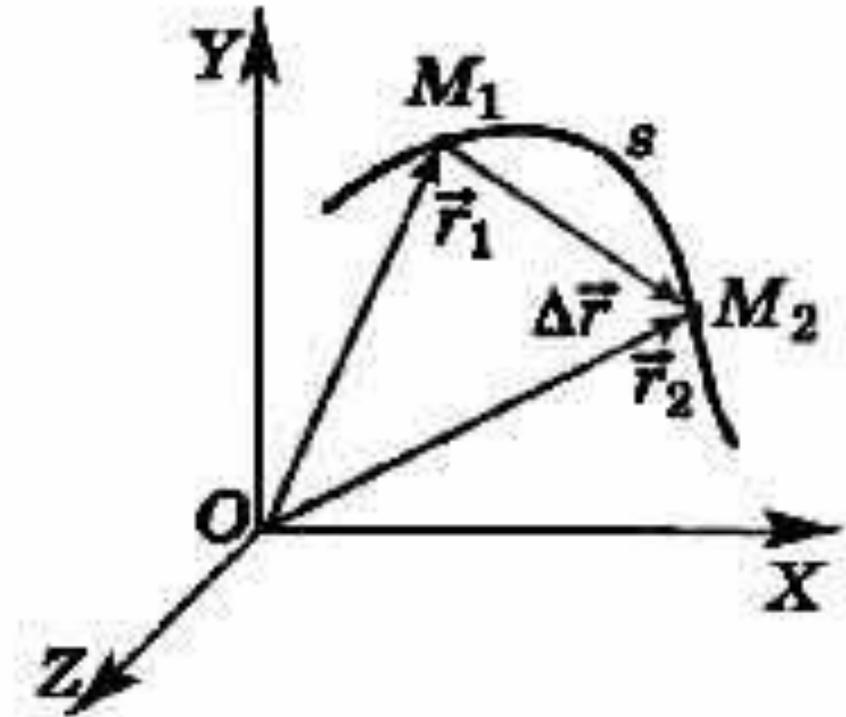
Δr – вектор перемещения, направлен от точки M_1 к точке M_2 .

Векторное уравнение движения тела:

$$r_2(t) = r_1 + \Delta r(t).$$

Векторное уравнение перемещения тела:

$$\Delta r(t) = r_2(t) - r_1$$



2. Характеристики движения



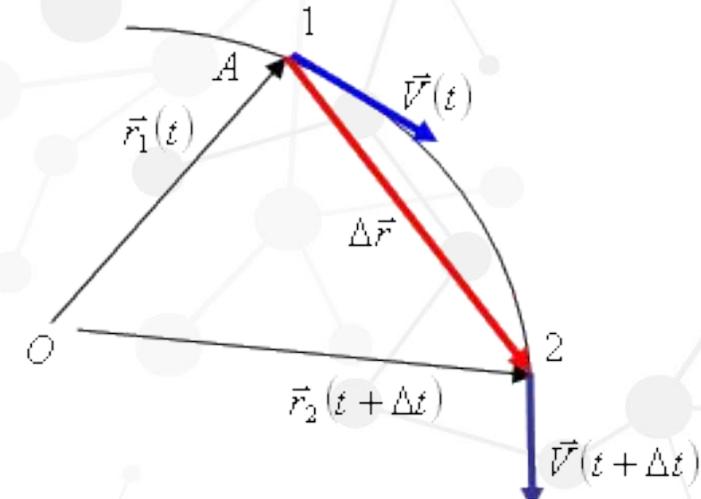
Скорость движения.

Скорость: это характеристика быстроты и направления движения тела. Скорость – векторная величина, размерность – метр в секунду (м/с).

Мгновенная скорость: это скорость тела в данный момент времени.
$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Вектор мгновенной скорости направлен по касательной к траектории и направлен в сторону движения тела.

Вектор перемещения (красная линия) при $\Delta t \rightarrow 0$ переходит в касательную (синяя линия).



Средняя скорость: это характеристика быстроты движения на всём участке пути в течение времени t .

$$v_{cp} = \frac{S}{t} \quad (S - \text{длина пути})$$

2. Характеристик движения



Проекции вектора скорости.

Вектор скорости \mathbf{V} в прямоугольной (декартовой) системе координат записывается подобно тому, как радиус-вектор \mathbf{r} :

$$\mathbf{v} = v_x \cdot \mathbf{i} + v_y \cdot \mathbf{j} + v_z \cdot \mathbf{k},$$

где v_x , v_y , v_z – проекции вектора \mathbf{V} на оси $\{OX\}$, $\{OY\}$, $\{OZ\}$, соответственно.

Значение проекций вектора скорости рассчитываются так:



Модуль вектора скорости рассчитывается по теореме Пифагора: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

2. Характеристики движения



Ускорение.

Ускорение: это характеристика быстроты изменения вектора скорости. Ускорение – векторная величина, размерность – м/с².

Мгновенное ускорение рассчитывается в соответствии с определением следующим образом:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

Вектор ускорения \mathbf{a} есть первая производная от вектора скорости \mathbf{v} или вторая производная от радиус-вектора \mathbf{r} .

Вектор ускорения \mathbf{a} в прямоугольной (декартовой) системе координат записывается подобно тому,

как радиус-вектор \mathbf{r} или как вектор скорости \mathbf{v} : $\mathbf{a} = a_x \cdot \mathbf{i} + a_y \cdot \mathbf{j} + a_z \cdot \mathbf{k}$,

где a_x, a_y, a_z – проекции вектора \mathbf{a} на оси {OX}, {OY}, {OZ}, соответственно:

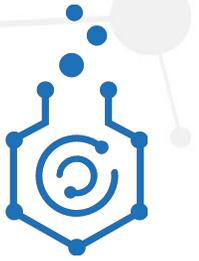
Модуль вектора ускорения рассчитывается также по теореме Пифагора
(напишите сами).

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} \\ a_y &= \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{dv_y}{dt} \\ a_z &= \frac{d^2z}{dt^2} = \frac{dv_z}{dt} \end{aligned}$$



Раздел 3. Некоторые виды движения материальной точки

3. Некоторые виды движения материальной точки



3.1. Равномерное и равноускоренное прямолинейное движение.

Рассматривается прямолинейный случай, т.е. движение вдоль одного направления, т.е. по одной координате. Этот случай наиболее часто встречается на практике, например, в задачах.

Наименование	Характеристика
Прямолинейное движение	Направление вектора скорости постоянно. Модуль (величина) скорости может быть как постоянным, так и переменным.
Равномерное прямолинейное движение	Вектор скорости постоянен как по направлению, так и по величине (модулю): $\mathbf{v} = \mathbf{Const}$, т.е. $d\mathbf{v}/dt = 0$. Ускорение отсутствует: $\mathbf{a} = 0$. Движение <u>без ускорения</u> .
Равноускоренное прямолинейное движение	Направление вектора скорости постоянно. Модуль вектора скорости изменяется со временем: $d\mathbf{v}/dt \neq 0$. Движение с <u>постоянным ускорением</u> : $\mathbf{a} = \mathbf{Const} \neq 0$. Возможны два варианта. <ul style="list-style-type: none">- Если ускорение положительно, т.е. $\mathbf{a} = \mathbf{Const} > 0$, то модуль вектора скорости возрастает со временем.- Если ускорение отрицательно, т.е. $\mathbf{a} = \mathbf{Const} < 0$, то модуль вектора

3. Некоторые виды движения материальной точки



зависимость	равномерное движение	равноускоренное движение
$a(t)$	<p>$a = 0$</p>	<p>$a = const$</p>
$v(t)$	<p>$v = const$</p>	<p>$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$</p>
$x(t)$	<p>$x = x_0 + \vec{v}t$</p>	<p>$x = x_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$</p>

3.1. Равномерное и равноускоренное прямолинейное движение.

Графики характеристик движения для случаев:

- равномерного движения ($dv/dt = a = 0$);
- равноускоренного движение ($dv/dt = a = Const \neq 0$).

Указаны кинематические уравнения движения в обоих случаях.

Самостоятельно: найдите ошибку на правом нижнем графике (синяя кривая) – был взят из интернета.

Нарисуйте правильный график.

3. Некоторые виды движения материальной точки



3.1. Равномерное и равноускоренное прямолинейное движение.

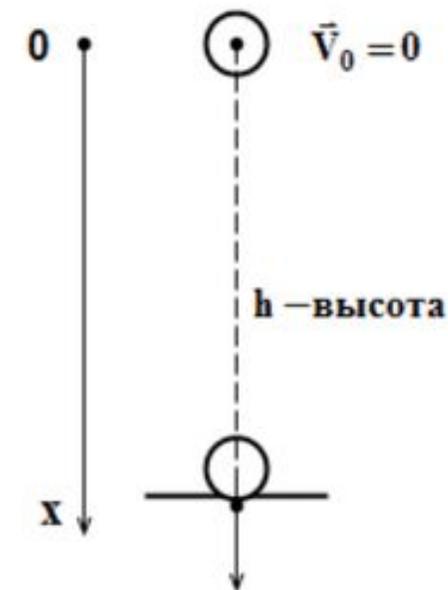
Частный случай равноускоренного движения тела - *свободное падение тела* под действием притяжения Земли с начальной скоростью, равной нулю, без сопротивления воздуха, т.е. в вакууме.

Экспериментально установлено, что все тела падают вблизи поверхности Земли с одинаковым ускорением $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Скорость с течением времени падения будет нарастать: $v(t) = g \cdot t$.

Расстояние, которое пролетит тело за время t , определяется так:

$x(t) = gt^2/2$ или: $x(t) = [v(t)]^2/2g$. Обратите внимание на направление оси $\{OX\}$ и выбор точки начала отсчёта.



Самостоятельно: написать уравнения для скорости $v(t)$ и расстояния $x(t)$ для случая, когда $v_0 \neq 0$ (вар.1: $v_0 > 0$, вар.2: $v_0 < 0$). Обратите внимание на положение точки начала отсчёта O . Нарисовать графики.

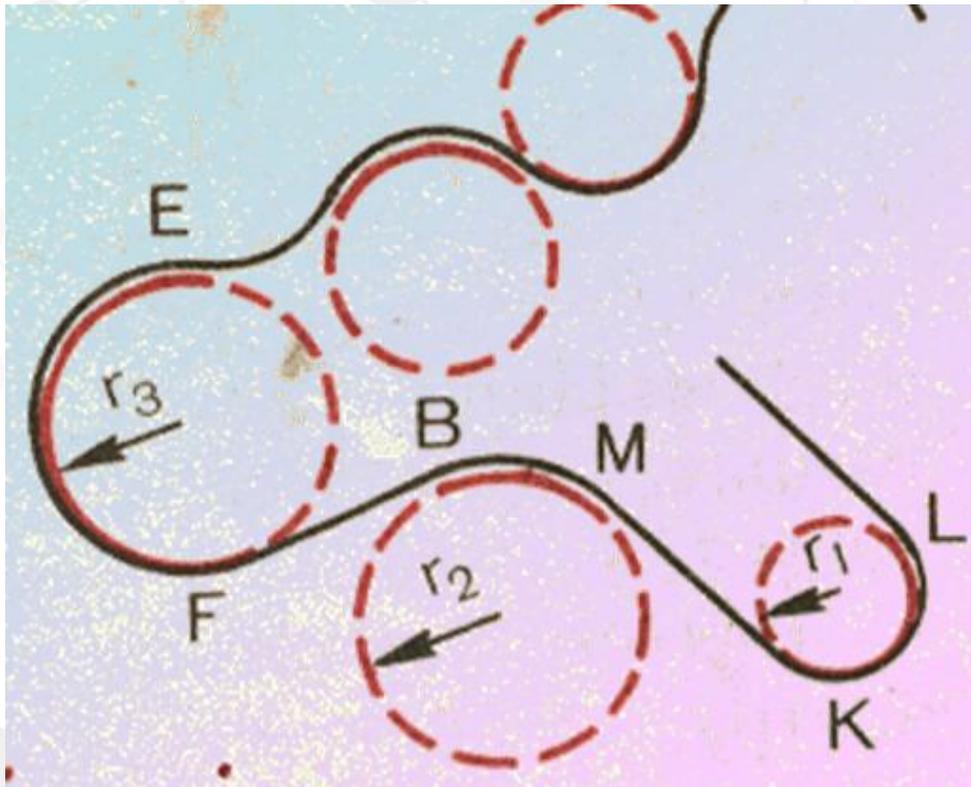
3. Некоторые виды движения материальной точки



3.2. Криволинейное движение.

Криволинейное движение – это движение по кривой траектории.

Любую кривую траекторию можно представить как совокупность дуг окружностей различных радиусов и прямолинейных участков между ними.



Кривая траектория LKMBFE ...

Участки LK, MB, FE – движение по дугам окружностей
Радиусы окружностей (r_1, r_2, r_3) – это **радиусы кривизны** траектории.

Участки KM, BF – прямолинейное движение

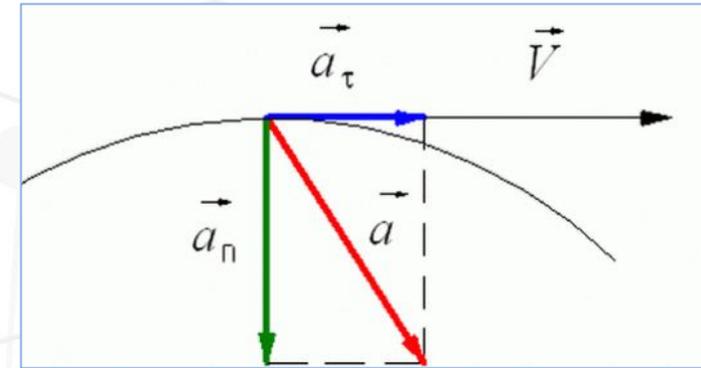
3. Некоторые виды движения материальной точки



3.2. Криволинейное движение.

Движение по дуге окружности всегда происходит с ускорением, которое имеет две составляющие:

- *нормальное (или: центростремительное) ускорение \vec{a}_n* , всегда направлено к центру окружности, *зелёный цвет на рисунке*;
- *тангенциальное \vec{a}_τ* , направлено по касательной к окружности, как и вектор линейной скорости \vec{V} , *синий цвет на рисунке*.

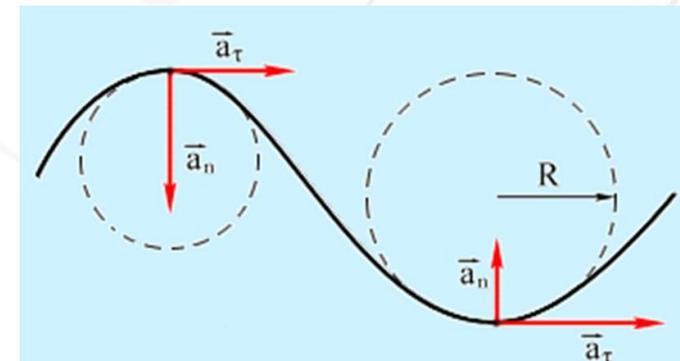


Полное ускорение \vec{a} (*красный цвет*)

рассчитывается по правилу сложения векторов:

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$

Разложение ускорения на нормальное и тангенциальное следует производить на каждом участке кривой траектории с различной кривизной.

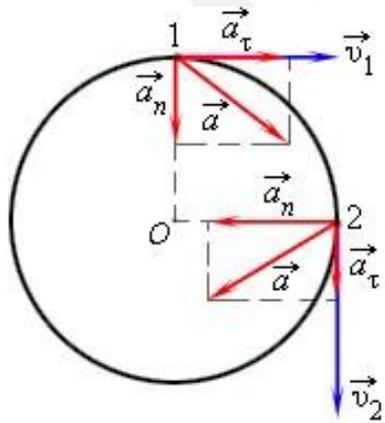


3. Некоторые виды движения материальной точки



3.2. Криволинейное движение.

Движение по дуге окружности, полезные расчётные формулы.



Линейная скорость обозначена курсивом. Рисунок взят из интернета.

Нормальное (или: центростремительное) ускорение a_n рассчитывается так:

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

иус кривизны
ейная скорость

Тангенциальное ускорение a_τ рассчитывается так:

$a_\tau = R\varepsilon$ ое ускорение,
при равномерном движении по траектории
ускорение ε равно 0, значит, **тангенциальное**
ускорение a_τ при равномерном вращении отсутствует.

Модуль полного ускорения a рассчитывается по теореме Пифагора:

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

3. Некоторые виды движения материальной точки



3.2. Криволинейное движение.

Движение по прямолинейному участку кривой траектории

Движение по прямолинейным участкам кривой траектории – это движение по инерции.

При этом:

- вектор скорости (модуль и направление) остаётся неизменным;
- ускорение отсутствует.



Раздел 4. Поступательное движение твёрдого тела

4. Поступательное движение твёрдого тела

Твёрдое тело.

Твёрдое тело (или: абсолютно твёрдое тело) – это идеализированное понятие в механике. Так же, как понятие материальной точки. Оба понятия широко используются в физике.

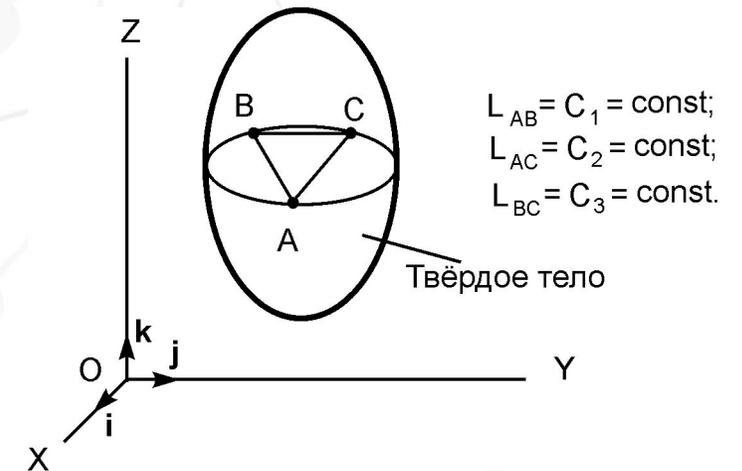
Твёрдое тело – это совокупность материальных точек, расстояния между которыми сохраняется в процессе любых движений, совершаемых этим телом.

Твёрдое тело не изменяет свою форму и сохраняет неизменным распределение массы внутри.

Другими словами, «твёрдость» означает, что тело не может быть деформировано ни в каких физических процессах.

Пример твёрдого тела (*рис. справа*): эллипсоидное трёхмерное тело. Длины отрезков между произвольными точками A, B и C остаются постоянными при любых движениях тела: при перемещении, поворотах или вращении.

Конечно, абсолютно твёрдых тел в природе не существует. Но во многих случаях деформация реального тела пренебрежимо мала. Такое реальное тело можно рассматривать как абсолютно твёрдое, но только в рамках конкретной задачи.



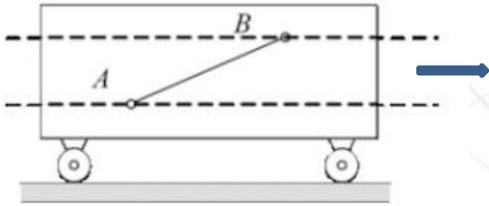
4. Поступательное движение твёрдого тела



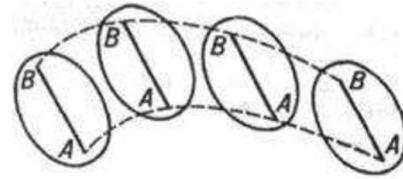
Понятие поступательного движения твёрдого тела.

Поступательное движение твёрдого тела – это такое движение, при котором любая прямая, проведенная в этом теле, остаётся параллельной самой себе.

Поступательное движение НЕ ОБЯЗАТЕЛЬНО является прямолинейным.



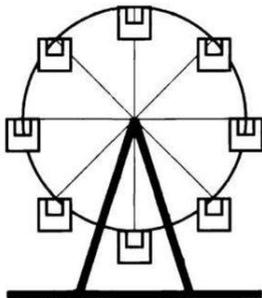
Прямолинейное
поступательное движение



НЕпрямолинейное
поступательное движение

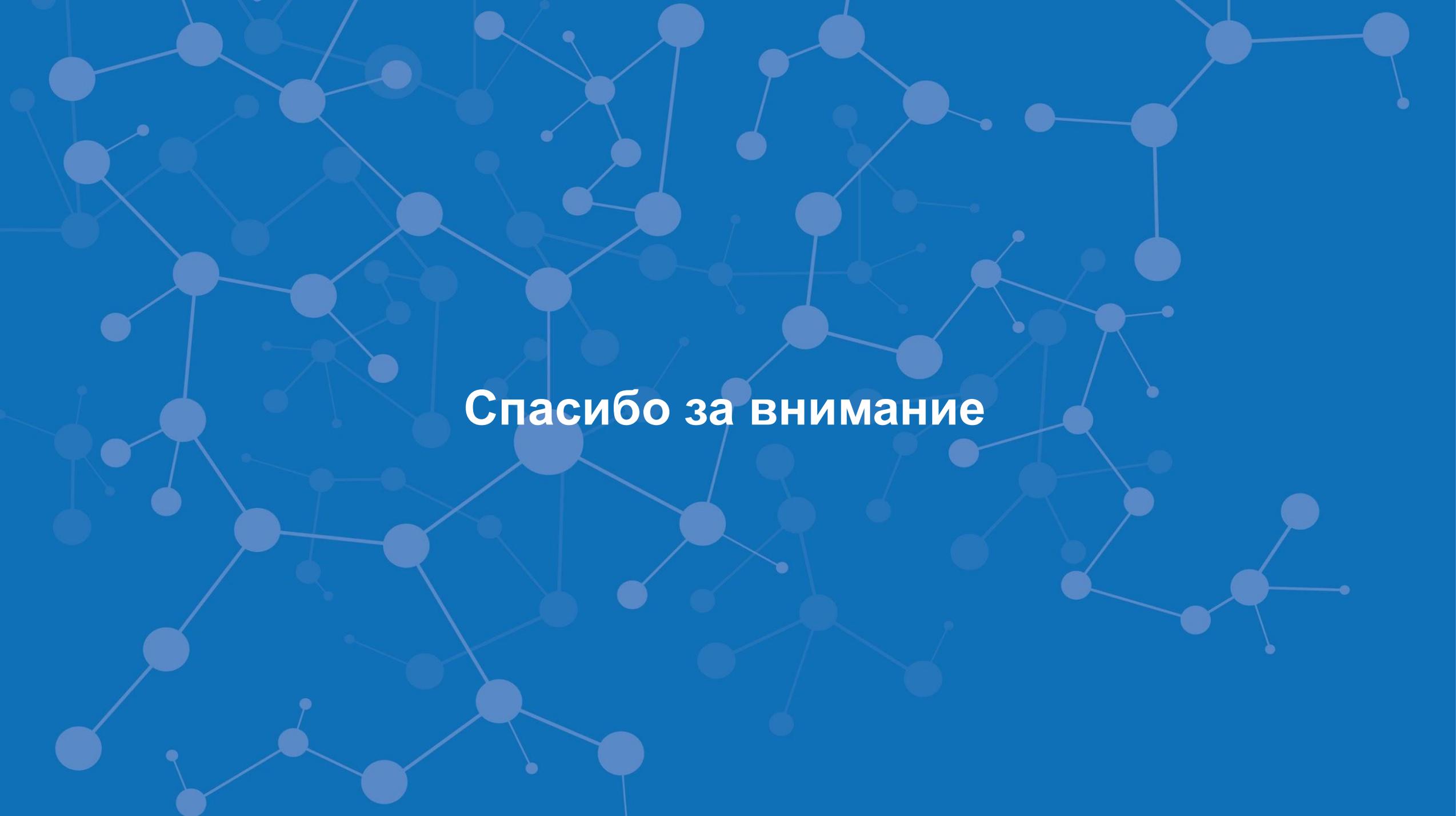
В обоих случаях произвольные линии АВ остаются параллельными самим себе.

Ещё один пример непрямолинейного поступательного движения: колесо обозрения. **Разберите этот пример сами.**



Вывод. При поступательном движении все точки твёрдого тела имеют одинаковые траектории, скорости и ускорения.

Практическое следствие. Движение протяжённого твёрдого тела можно рассматривать как движение материальной точки, расположенной в центре масс этого тела.



Спасибо за внимание