

МОДУЛЬ № 1
«КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ
И АБСОЛЮТНО ТВЁРДОГО ТЕЛА»
ЛЕКЦИЯ № 1
ЛИНЕЙНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ

План лекции:

1. Механика как раздел физики	2
2. Основные понятия и модели механики	3
3. Способы описания механического движения	5
4. Линейная скорость	7
5. Линейное ускорение	8
5.1. Тангенциальное ускорение	9
5.2. Нормальное ускорение	9
6. Относительность движения	10

1. Механика как раздел физики

Механика (в переводе с греческого буквально означающая искусство построения машин) – это раздел физики, посвящённый изучению механического движения тел.

К **основным разделам механики** относятся:

Кинематика – это раздел механики, посвящённый изучению механического движения тел без учёта их массы и действующих на них сил (в этой связи её иногда называют «геометрией движения с присоединённым временем»).

Динамика – это раздел механики, посвящённый изучению механического движения тел с учётом их массы и действующих на них сил (в противовес кинематике динамика рассматривает причины, которые ведут к возникновению или изменению движения).

Статика – раздел механики, посвящённый изучению условий равновесия тел (законы статики можно рассмотреть отдельно, а можно получить и как следствие из законов динамики).

Статика получила значительное развитие в работах древнегреческого учёного Архимеда, нидерландского математика и инженера Симона Стевина, французского механика и математика Луи Пуансо, а также других учёных.

Возникновение и развитие динамики связано с именами Галилео Галилея, Исаака Ньютона, Жозефа Лагранжа.

Кинематика как самостоятельная наука оформилась лишь в первой половине XIX в.

Механика, в которой изучается движение макроскопических тел со скоростями, много меньшими скорости света в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с), получила название **классической** (или по-другому – **механики Галилея-Ньютона**).

Если скорости макротел сравнимы со скоростью света в вакууме, то законами классической механики пользоваться уже нельзя. Это область описания **релятивистской механики**, основанной на **специальной теории относительности** Эйнштейна.

Ещё раз обратим внимание на то, что законы классической механики неприменимы:

– к микрообъектам в том случае, когда существенна их волновая природа (это область описания квантовой механики);

– к объектам, имеющим скорость близкую к скорости света (этим занимается релятивистская механика).

2. Основные понятия и модели механики

Абсолютно твёрдое тело – тело, расстояния между любыми точками которого ни при каких условиях не могут измениться (недеформируемое тело).

Материальная точка – тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.

Механическое движение тела – изменение положения данного тела относительно других тел в пространстве с течением времени.

Поступательное движение тела – движение тела, при котором прямая, соединяющая любые две точки данного тела, остаётся в процессе движения тела параллельной самой себе.

Вращательное движение тела – движение тела, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой (**оси вращения**).

Тело отсчёта – тело, которое условно считается неподвижным и относительно которого рассматривается механическое движение других тел.

Система отсчёта – тело отсчёта, система координат и часы, связанные с телом отсчёта (существуют различные системы координат: прямоугольная декартова система координат, цилиндрическая система координат, сферическая система координат и др.).

Инерциальная¹ система отсчёта – система отсчёта, в которой справедлив **закон инерции**: материальная точка, на которую не действуют никакие силы, находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения².

Принцип относительности Галилея (механический принцип относительности): никакими механическими опытами, проведёнными в данной инерциальной системе отсчёта, нельзя установить, покоится ли она или движется прямолинейно и равномерно³.

Инвариантные⁴ характеристики – характеристики, имеющие одинаковые значения в разных системах отсчёта.

В классической механике это, например, промежуток времени, длина отрезка и др.

Относительные характеристики – характеристики, зависящие от выбора системы отсчёта, в которой производится их измерение.

Например, координаты, перемещение, скорость и др.

Траектория движения материальной точки – линия (воображаемая или действительная), вдоль которой движется точка.

Путь, пройденный материальной точкой за данный промежуток времени, $S(s)$ – скалярная физическая величина, определяемая длиной участка траектории, пройденного точкой за рассматриваемый промежуток времени.

$$[S] = \text{м}.$$

Перемещение материальной точки за данный промежуток времени, \vec{S} (\vec{s}) – векторная физическая величина, определяемая вектором, соединяющим начальную и конечную точки участка траектории, пройденного точкой за рассматриваемый промежуток времени.

¹ Лат. iners, родительный падеж inertis – бездеятельный.

² Любая система отсчёта, движущаяся относительно инерциальной системы отсчёта поступательно, равномерно и прямолинейно, также является инерциальной системой отсчёта. Все инерциальные системы отсчёта равноправны, т. е. во всех таких системах законы физики одинаковы.

³ Приведена одна из формулировок.

⁴ Лат. invariāns – неизменяющийся.

$$[\vec{S}] = m.$$

Математическая справка № 1

Скалярная величина характеризуется двумя параметрами:

1. модулем (значением);
2. знаком.

Две скалярные величины равны между собой, если они имеют одинаковый знак и модуль.

Векторная величина характеризуется тремя параметрами:

1. модулем (длиной, значением);
2. направлением;
3. точкой приложения.

Два вектора равны (математически) между собой, если они сонаправлены и имеют одинаковый модуль.

Если вектора \vec{a} и \vec{b} сонаправлены, то для них выполняется соотношение:

$$\vec{a} = k \cdot \vec{b}, \text{ где } k > 0^5.$$

Если $k < 0$, то вектора направлены противоположно.

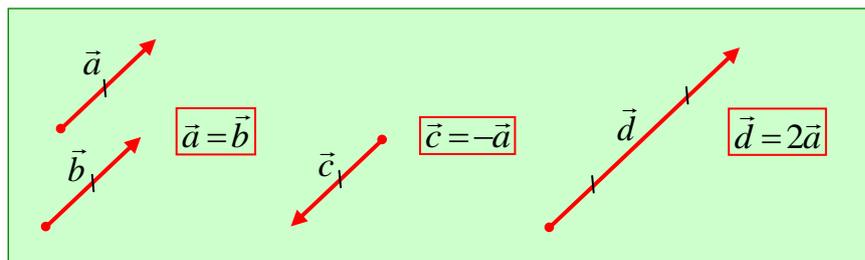


Рис. 1. К математической справке № 1

3. Способы описания механического движения

1. Естественный (траекторный).

Положение точки в любой момент времени задаётся её криволинейной координатой.

⁵ Верно и обратное.

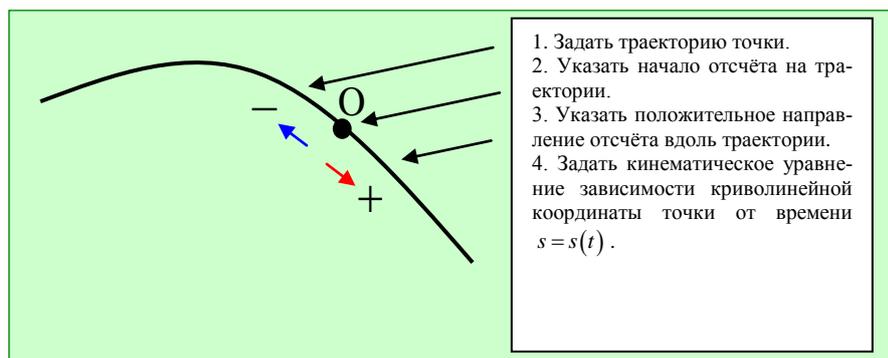


Рис. 2. К пояснению траекторного способа описания движения

2. Векторный.

Положение точки в любой момент времени задаётся её радиус-вектором.

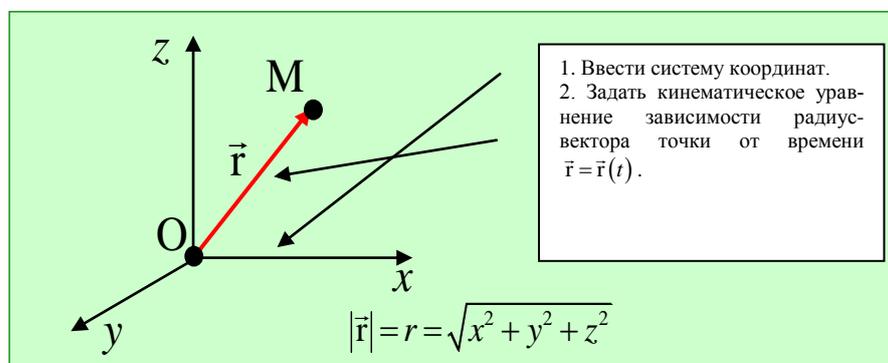


Рис. 3. К пояснению векторного способа описания движения

3. Координатный.

Положение точки в любой момент времени задаётся её координатами⁶ (одной – при движении по прямой, двумя – при движении по плоскости, тремя – при движении в пространстве).

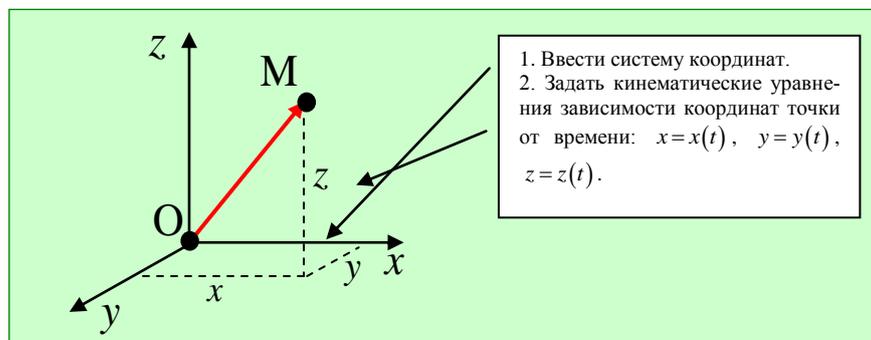


Рис. 4. К пояснению координатного способа описания движения

⁶ Мы будем пользоваться прямоугольной декартовой системой координат, хотя можно и другими.

4. Линейная скорость

Скорость характеризует как быстроту, так и направление движения.

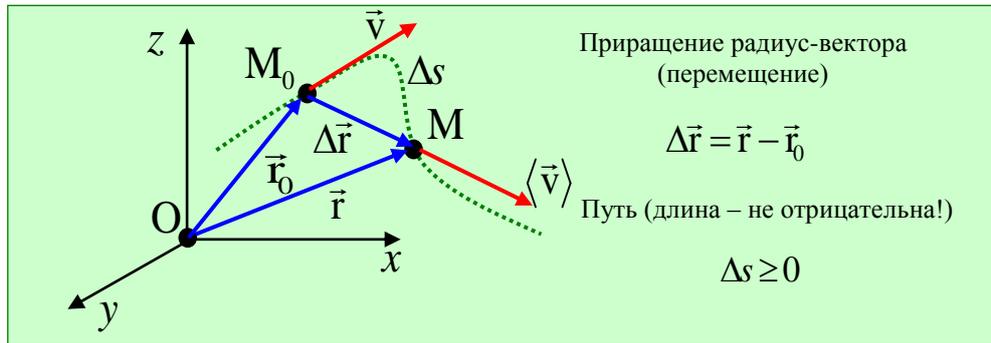


Рис. 5. К пояснению линейной скорости

Средняя скорость, $\langle \vec{v} \rangle$ – векторная физическая величина, определяемая приращением радиус-вектора материальной точки за единицу времени.

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

$$[v] = \frac{m}{c}.$$

Направление вектора средней скорости совпадает с направлением вектора приращения радиус-вектора точки.

Мгновенная скорость, \vec{v} – скорость материальной точки в данный момент времени (первая производная радиус-вектора по времени).

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

Вектор мгновенной скорости направлен по касательной, проведённой к траектории в данной точке, в сторону движения.

Проекции скорости на координатные оси:

$$v_x = \dot{x}(t), v_y = \dot{y}(t), v_z = \dot{z}(t).$$

Модуль мгновенной скорости.

$$v = |\vec{v}| = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \dot{s},$$

или

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

Средняя путевая скорость⁷, v_{cp} – отношение величины всего пути, пройденного за определённый промежуток времени, к этому промежутку времени.

$$v_{cp} = \frac{S_{общ}}{t_{общ}} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$

Математическая справка № 2

Проекция вектора на заданную ось является величиной скалярной (характеризуется модулем и знаком)⁸ и в общем случае определяется следующим образом:

$$a_x = |\vec{a}| \cos \alpha^9.$$

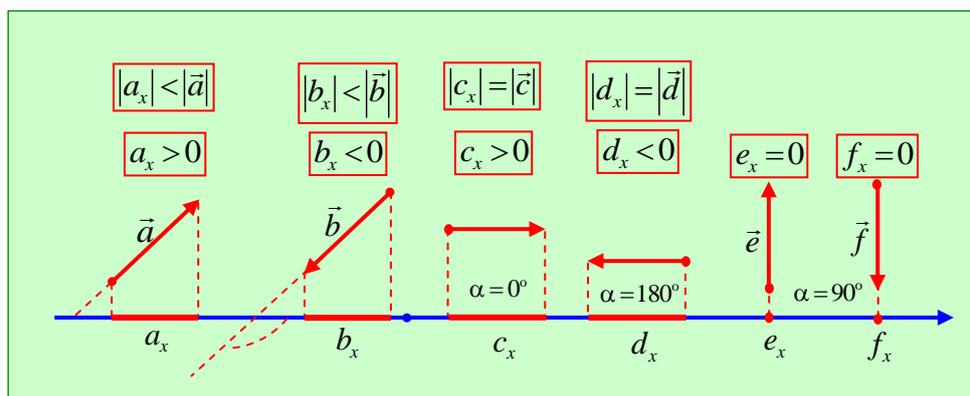


Рис. 6. К математической справке № 2

5. Линейное ускорение

Ускорение характеризует быстроту изменения скорости как по модулю, так и по направлению.

Среднее ускорение, $\langle \vec{a} \rangle$ – векторная физическая величина, определяемая приращением скорости за единицу времени.

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

⁷ Среднюю путевую скорость не следует путать со среднеарифметической скоростью.

⁸ Мы будем отличать проекции вектора от его составляющих, которые, естественно, являются векторами.

⁹ Все обозначения понятны из нижеследующего рисунка.

$$[a] = \frac{M}{c^2}.$$

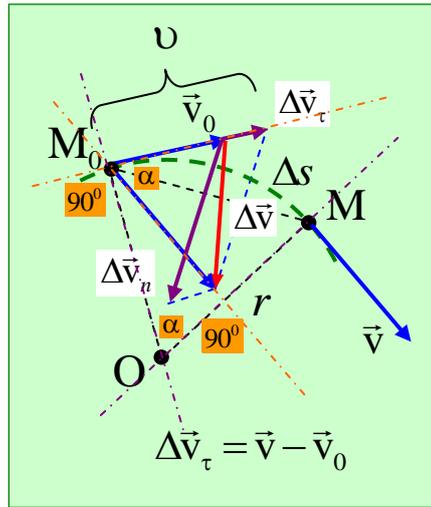


Рис. 7. К пояснению линейного ускорения

Мгновенное ускорение, \vec{a} – ускорение точки в данный момент времени (первая производная скорости по времени; вторая производная радиус-вектора по времени).

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

5.1. Тангенциальное ускорение

Тангенциальная составляющая ускорения.

$$a_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v} \text{ (алгебраическая величина).}$$

Определяет быстроту изменения скорости по модулю, сонаправлена со скоростью в случае увеличения её модуля и противоположна скорости в случае уменьшения её модуля.

5.2. Нормальное ускорение

Нормальная составляющая ускорения (центростремительное ускорение).

$$a_n = \frac{v^2}{r}.$$

Определяет быстроту изменения скорости по направлению, направлена к центру кривизны траектории.

Вывод формулы:

1. Из подобия равнобедренных треугольников (см. рис. 7) при условии, что точки M_0 и M близки к друг другу следует, что:

$$\frac{\Delta v_n}{\Delta s} \approx \frac{v}{r},$$

где $\Delta s \approx v_0 \Delta t \approx v \Delta t$.

2. Тогда

$$\frac{\Delta v_n}{\Delta t} \approx \frac{v^2}{r},$$

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

Полное ускорение.

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

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

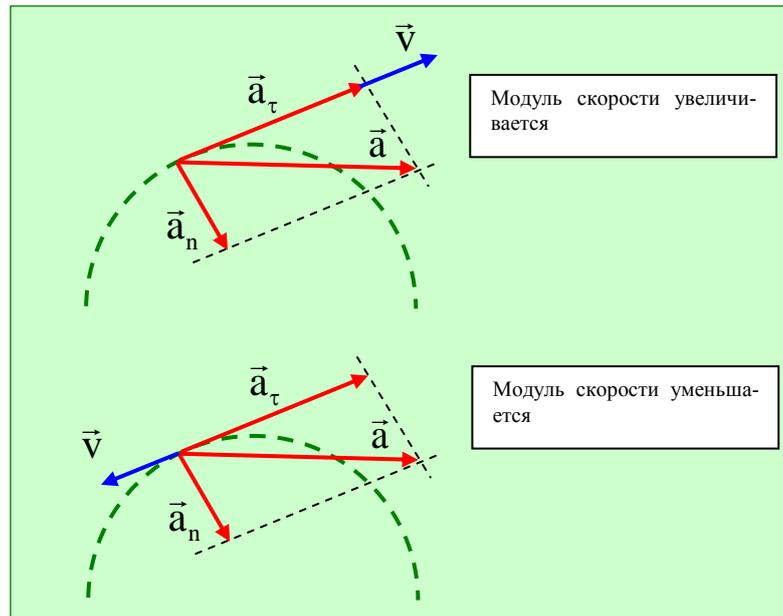


Рис. 8. К пояснению тангенциального и нормального ускорений

6. Относительность движения

Классический закон сложения скоростей: скорость точки относительно неподвижной системы отсчёта (абсолютная скорость) равна векторной сумме скорости этой точки относительно подвижной системы отсчёта

(относительной скорости) и скорости подвижной системы относительно неподвижной (переносной скорости).

$$\vec{V}_{\text{абс}} = \vec{V}_{\text{отн}} + \vec{V}_{\text{пер}}.$$

См. анимационную модель в видеолекции.

Скорость второго тела относительно первого:

$$\vec{V}_{21} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1.$$

Скорость первого тела относительно второго:

$$\vec{V}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2.$$