

Глава 1. Основы классической механики

Механическое движение простейшая, но, в то же время, наиболее общая форма движения материи, которая как составная часть присутствует в тепловых, электромагнитных, химических и других явлениях.

Предметом изучения классической механики является движение макротел при скоростях движения много меньших скорости света.

1.1. Общие понятия

Механическое движение – это изменение положения тел или их частей относительно друг друга с течением времени.

Относительность механического движения проявляется в том, что при рассмотрении одного и того же движения относительно разных наблюдателей (разных систем отсчета) положение тела, траектория и скорость его движения могут оцениваться по-разному.

Система отсчета – это совокупность тела отсчета, системы координат, связанной с этим телом, и неподвижных относительно них инструментов для измерения расстояния и времени.

Во многих задачах в качестве тела отсчета выбирается Земля, а в качестве системы координат – прямоугольная декартова система.

Инерциальные системы отсчета – это системы, в которых свободное тело (тело, на которое не действуют другие тела или их действие скомпенсировано) движется равномерно и прямолинейно сколь угодно долго.

Все законы классической механики справедливы только в инерциальных системах отсчета.

Основные типы движения:

1) *поступательное движение* – движение, при котором любая прямая, проведенная в теле, остается параллельной самой себе или, по-другому, когда все точки тела движутся одинаково. В зависимости от формы траектории поступательное движение может быть как прямолинейным, так и криволинейным.

2) *вращательное движение* вокруг неподвижной оси – движение, при котором все точки движутся по окружностям разных радиусов, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения.

Более сложные типы движения (например, движение катящегося шара) можно рассматривать как совокупность простых: вращения вокруг центра масс и поступательного движения самого центра масс.

Механические модели тел:

1) *материальная точка* – тело, формой и размерами которого можно пренебречь по сравнению с характерными расстояниями, рассматриваемыми в задаче (используется при описании поступательного движения);

2) *абсолютно твердое тело* – тело, расстояние между любыми двумя точками которого не меняется во время движения, то есть тело, для которого можно пренебречь его деформацией (используется при описании вращательного движения).

1.2. Кинематика поступательного и вращательного движений

Основная задача кинематики – описание движения тел без рассмотрения причин, вызывающих изменение этого движения. Описать движение – это значит, во-первых, установить количественные характеристики, по которым одно движение может отличаться от другого, во-вторых, установить связи между этими характеристиками, то есть законы, позволяющие предсказать положение тела и состояние его движения в произвольный момент времени, если известны начальные условия.

1.2.1. Понятийный аппарат (кинематические характеристики)

Обращаясь к определению механического движения, замечаем, что для его описания необходимо ввести четыре группы величин:

- величины, описывающие положение тела относительно выбранной системы отсчета;
- величины, описывающие изменение положения;
- величины, описывающие быстроту этого изменения с течением времени (состояние движения);
- величины, описывающие изменение состояния движения.

Величины, характеризующие положение тела

1) $\vec{r}$ – **радиус-вектор точки**, численное значение определяется длиной отрезка от начала отсчета до положения точки в данный момент времени, направлен от начала отсчета к точке (рис. 1.1).

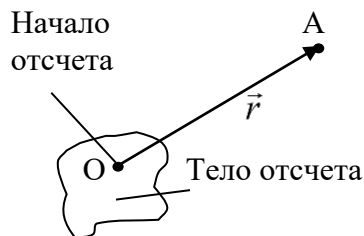


Рис. 1.1

2) (x, y, z) – **координаты точки** определяются длинами отрезков координатных

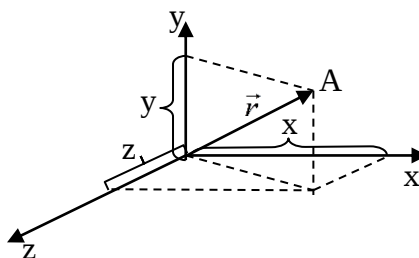


Рис. 1.2

осей (рис. 1.2).

3) S – **длина пути** – скалярная величина, численно равная длине отрезка траектории от начала отсчета до положения точки в данный момент времени (рис. 1.3).

Связь между этими характеристиками:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}; \quad |\vec{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

4) φ – **угол поворота** – величина, характеризующая положение вращающегося тела в данный момент времени, численно равная углу между радиус-вектором выбранной точки тела и направлением на нулевую отметку на шкале (начало отсчета углов).

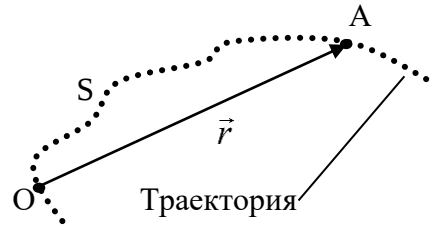


Рис. 1.3

Величины, характеризующие изменение положения тела

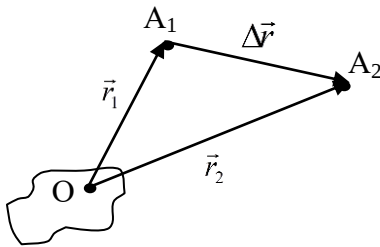


Рис. 1.4

1) $\Delta\vec{r}$ – **перемещение** – вектор, проведенный из начального положения точки (A_1) в конечное положение (A_2) и направленный от A_1 к A_2 (рис. 1.4):

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1;$$

$$\Delta r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}.$$

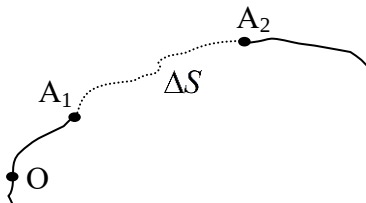


Рис. 1.5

2) ΔS – **приращение (изменение) длины пути** численно равно длине отрезка траектории от начального положения точки (A_1) до ее конечного положения (A_2) (рис. 1.5):

$$\Delta S = S_2 - S_1.$$

В частном случае (если движение прямолинейное) приращение длины пути может совпадать с модулем перемещения.

3) l – **расстояние, пройденное телом** во время движения.

Предположим, точка переместилась сначала из положения A_1 в положение A' , а затем из A' в A_2 , тогда l численно равно сумме отрезков траектории: $l = A_1A' + A'A_2$ (рис. 1.6).

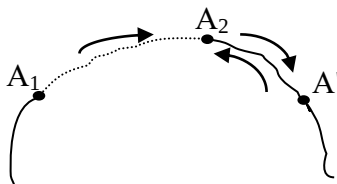


Рис. 1.6

В частном случае (если движение происходит в одну сторону без возвратов) расстояние, пройденное телом, может совпадать с приращением длины пути.

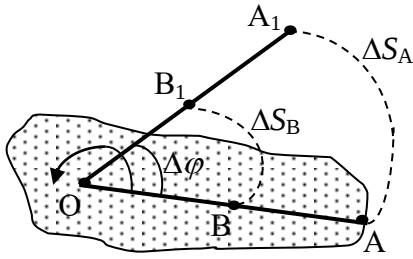


Рис. 1.7

4) $\Delta\varphi$ – **угловое перемещение** – физическая величина, характеризующая изменение положения вращающегося тела, численно равная углу поворота радиус – вектора произвольной точки тела (рис. 1.7).

По рисунку видно, что при вращении тела приращение длины пути для разных точек тела различно ($\Delta S_A > \Delta S_B$), но угловое перемещение $\Delta\varphi$ одинаково для всех точек тела.

Величины, характеризующие состояние движения

1) **Средняя скорость перемещения** – векторная физическая величина, численно равная отношению перемещения $\Delta\vec{r}$ к тому промежутку времени, в течение которого это перемещение было совершено, и направленная так же, как и вектор $\Delta\vec{r}$:

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}. \quad (1.1)$$

При перемещении по замкнутой траектории, очевидно, $\Delta\vec{r} = 0$ и $\langle \vec{v} \rangle = 0$.

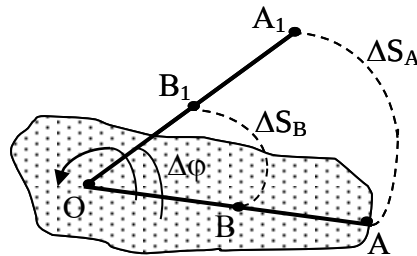


Рис. 8

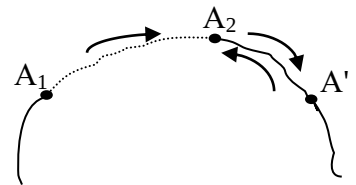


Рис. 7

2) **Средняя путевая скорость** – скалярная величина, численно равная отношению расстояния, пройденного телом, к тому промежутку времени, за которое это расстояние было пройдено:

$$\langle v \rangle = \frac{l}{\Delta t}. \quad (1.2)$$

3) **Мгновенная скорость (линейная)** – векторная физическая величина, характеризующая состояние движения в данный момент времени, равная первой производной от радиус-вектора точки по времени и направленная по касательной к траектории движения.

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}. \quad (1.3)$$

При $\Delta t \rightarrow 0$ бесконечно малое перемещение $d\vec{r}$ по модулю будет совпадать с бесконечно малым приращением длины пути dS , то есть $|d\vec{r}| = dS$, тогда модуль скорости найдется как первая производная от пути по времени:

$$|\vec{v}| = \frac{|d\vec{r}|}{dt} = \frac{dS}{dt} = S'. \quad (1.4)$$

При координатном способе описания движения проекции скорости на координатные оси: $v_x = \frac{dx}{dt}$; $v_y = \frac{dy}{dt}$; $v_z = \frac{dz}{dt}$, а модуль скорости $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$.

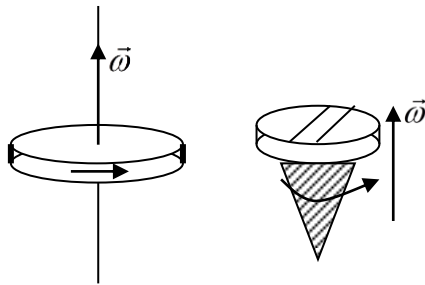


Рис. 1.8

4) **Угловая скорость (мгновенная)** – векторная физическая величина, характеризующая состояние вращательного движения в данный момент времени, численно равная первой производной от угла поворота по времени и направленная вдоль оси вращения в ту сторону, откуда вращение кажется происходящим против часовой стрелки (то есть по правилу правого винта) (рис. 1.8).

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \varphi'. \quad (1.5)$$