Часть I
МЕХАНИКА

Глава I
КИНЕМАТИКА

§ 1.1. Предварительные понятия

1. **Механикой** называют раздел физики, посвященный изучению закономерностей простейшей формы движения материи — механического движения. **Механическое движение** состоит в изменении с течением времени взаимного расположения тел или их частей в пространстве.

Понятия пространства и времени — основные не только для механики или физики в целом, но также для всего естествознания Всякое материальное тело имеет объем, т. е. пространственную протяженность. Время выражает последовательность состояний материи, составляющих любой процесс, любое движение; оно служит мерой длительности процесса. Таким образом, пространство и время представляют наиболее общие формы существования материи. Ф. Энгельс писал: «... основные формы всякого бытия суть пространство и время; бытие вне времени есть такая же величайшая бессмыслица, как бытие вне пространства»[1]. Равно также бессмысленны понятия о «пустом» пространстве и «чистом» времени, не связанных с движущейся материей. Важную роль в выяснении свойств пространства и времени сыграла теория относительности, которая указала на наличие взаимосвязи этих двух форм существования материи и зависимости их свойств от движения материи.

Механика состоит из трех основных разделов — статики, кинематики и динамики. В **статике** рассматривают законы сложения сил и условия равновесия тел. В **кинематике** исследуют характеристики и закономерности различных типов механического движения тел безотносительно к тем причинам, которые обеспечивают осуществление рассматриваемого типа движения. Наконец, в **динамике** изучают влияние взаимодействия между телами на их механическое движение.

2. В механике не рассматривают вопросы внутреннего строения тел и физической природы взаимодействий между телами и их частями, обусловливающих, в частности, механические свойства тел и изменения их механического движения. Закономерности этих взаимодейст-

[1] К. Маркс, Ф. Энгельс Сочинения, т. 20, стр. 55.

вий предполагаются известными из опыта, а для описания самих движущихся тел в механике пользуются, в зависимости от условий каждой конкретной задачи, различными приближенными моделями. Выбор той или иной модели должен производиться таким образом, чтобы это позволило учесть все существенные особенности поведения реального тела в данной задаче и отбросить все второстепенные факторы, мало влияющие на результат решения задачи.

Простейшая модель тела — материальная точка. **Материальной точкой** называют тело, формой и размерами которого в данной задаче можно пренебречь. Например, изучая движение Земли и других планет по орбитам вокруг Солнца, их рассматривают как материальные точки, так как линейные размеры планет пренебрежимо малы по сравнению с линейными размерами их орбит. В то же время Землю нельзя считать материальной точкой, например, в задачах о движении тел по ее поверхности. Движение корабля из одного порта в другой в первом приближении можно рассматривать как движение материальной точки. Однако если мы захотим учесть такую «деталь» этого движения, как качка корабля при волнении моря, то нам нужно будет принять во внимание взаимодействие волн с корпусом корабля, т. е. придется рассматривать корабль как протяженное тело

Понятием материальной точки, представляющим собой известное абстрагирование от реальных свойств движущихся тел, широко пользуются в механике, так как введение этого понятия вносит значительное упрощение в исследование движеиия тел

Всякое тело можно мысленно разбить на большое число частей, сколь угодно малых по сравнению с размерами всего тела. Каждую такую часть можно рассматривать как материальную точку, а само тело или любую систему тел — как **систему материальных точек.**

Если деформации тела при его взаимодействии с другими телами в рассматриваемом процессе пренебрежимо малы, то удобно пользоваться моделью абсолютно твердого тела. **Абсолютно твердым телом** называют тело, расстояния между любыми двумя точками которого в условиях данной задачи можно считать постоянными. Иначе говоря, это тело, форма и размеры которого не изменяются при его движении. Абсолютно твердое тело обычно рассматривают как систему материальных точек, жестко связанных друг с другом.

3. Положение тела в пространстве можно определить только по отношению к другим телам. Абсолютно твердое тело, по отношению к которому рассматривают движение исследуемого тела, называют **системой отсчета.** С телом, выбранным в качестве системы отсчета, жестко связывают систему координат, так что положение каждой точки движущегося тела относительно системы отсчета однозначно определяется значениями трех координат этой точки. Наиболее часто пользуются прямоугольными декартовыми координатами x, y, z (рис. 1.1). Система отсчета, кроме того, должна быть хронометризована, т. е. снабжена часами, с помощью которых однозначно[1] определяют моменты

[1] С точностью до произвольного постоянного слагаемого, зависящего от выбора начала отсчета времени.

времени, соответствующие различным положениям в пространстве движущихся тел.

Положение точки M (см. рис. 1.1) относительно системы отсчета можно задать не только с помощью трех ее декартовых координат x, y, z, но также с помощью одной векторной величины $\mathbf{r}$ — радиуса-вектора точки M, проведенного в эту точку из начала O системы координат. Если $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ и $\mathbf{k}$ — единичные векторы[1] (орты) осей прямоугольной декартовой системы координат, то

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}. \tag{1.1}$$

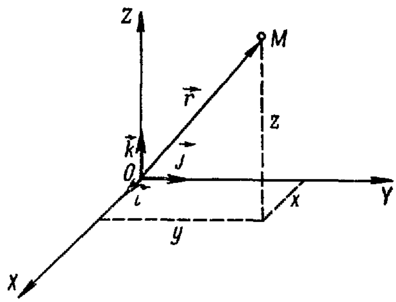

Рис 1 1

Векторы $x\mathbf{i}$, $y\mathbf{j}$ и $z\mathbf{k}$ представляют собой составляющие (компоненты) радиуса-вектора $\mathbf{r}$ вдоль соответствующих осей координат. Проекции $\mathbf{r}$ на оси координат соответственно равны x, y и z.

При движении материальной точки M ее координаты x, y, z и радиус-вектор $\mathbf{r}$ изменяются с течением времени t. Поэтому для задания закона движения материальной точки необходимо указать либо вид функциональной зависимости всех трех ее координат от времени:

$$x = x(t), \quad y = y(t) \quad \text{и} \quad z = z(t), \tag{1.2}$$

либо зависимость от времени радиуса-вектора этой точки

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \tag{1.2'}$$

Три скалярных уравнения (1.2) или эквивалентное им одно векторное уравнение (1.2′) называют **кинематическими уравнениями движения материальной точки.**

4. **Траекторией** материальной точки называют линию, описываемую в пространстве этой точкой при ее движении. Уравнения движения (1.2) задают траекторию точки в так называемой параметрической форме. Роль параметра играет время t. Решая эти три уравнения совместно и исключая из них параметр t, найдем уравнение траектории, указывающее связь между тремя координатами любой точки траектории. В зависимости от формы траектории различают **прямолинейное** и **криволинейное** движения точки. Если все участки траектории точки лежат в одной плоскости, то движение точки называют **плоским.**

Из самого определения механического движения следует, что это движение о т н о с и т е л ь н о. Характер механического движения данного тела, в частности форма траекторий точек тела, зависит от выбора системы отсчета. Пусть, например, материальная точка M равномерно движется по диску вдоль его радиуса от центра, а диск в

[1] В тексте векторные величины набраны жирным шрифтом, а на рисунках обозначены буквами со стрелкой наверху.

свою очередь равномерно вращается вокруг оси симметрии O, перпендикулярной к его плоскости (рис. 1.2). Тогда по отношению к системе отсчета, связанной с диском, точка M движется равномерно и прямолинейно вдоль оси OX, а по отношению к системе отсчета, связанной с осью вращения, точка M движется вдоль плоской раскручивающейся спирали, называемой спиралью Архимеда (рис. 1.3).

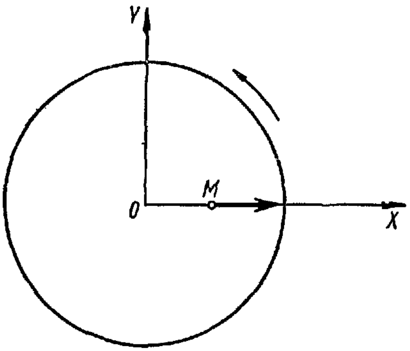

Рис. 1.2.

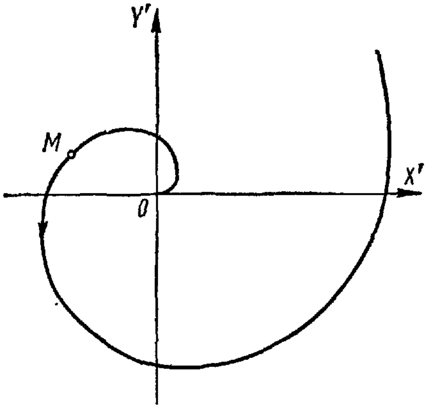

Рис. 1.3.

5. **Длиной пути** s материальной точки называют сумму длин всех участков траектории, пройденных точкой за рассматриваемый промежуток времени. Очевидно, что длина пути s не может быть отрицательной. Пусть материальная точка движется вдоль произвольной криволинейной траектории AM (рис. 1.4), причем A — положение материальной точки в момент начала отсчета времени ($t = 0$), а M — ее положение в произвольный момент t. Если в промежутке времени от 0 до t движение точки по траектории происходит в одном и том же направлении от A к M, то путь, пройденный точкой за это время, $s = \smile AM$. В общем случае материальная точка может двигаться по траектории более сложным образом. Например, пусть за время от 0 до $t' < t$ она перемещается из A в B, а затем возвращается по той же траектории назад и к моменту t попадает в точку M. В этом слу-

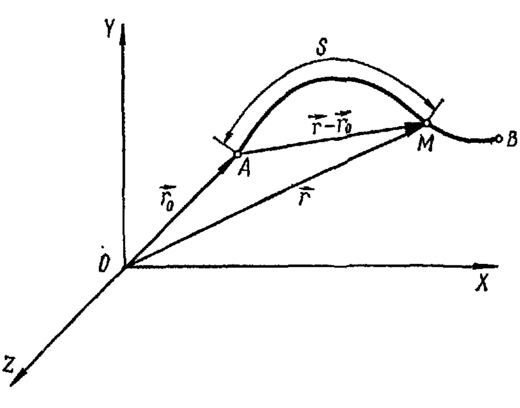

Рис. 1.4.

чае путь, пройденный точкой за время от 0 до t, $s=(\smile AB+\smile BM)>\smile AM$.

6. **Вектором перемещения** материальной точки за время от t_1 до t_2 называют вектор, проведенный из положения этой точки в момент t_1 в ее положение в момент t_2, т. е. приращение радиуса-вектора точки за рассматриваемый промежуток времени:

$$\mathbf{r}_2-\mathbf{r}_1=\mathbf{r}(t_2)-\mathbf{r}(t_1).$$

На рис. 1.4 показан вектор перемещения точки за время от 0 до t, равный $\mathbf{r}-\mathbf{r}_0=\mathbf{r}(t)-\mathbf{r}(0)$. При прямолинейном движении вектор перемещения совпадает с соответствующим участком траектории. Из того что перемещение — вектор, следует подтверждающийся на опыте **закон независимости движений:**

если точка одновременно участвует в нескольких движениях, то результирующее перемещение точки равно векторной сумме перемещений, совершаемых ею за то же время в каждом из движений порознь.

7. Для измерения длины пути, перемещения и других расстояний служат меры длины. За основную меру длины принимается метр (м).

Из определения механического движения следует, что, изучая движение, необходимо измерять и время. За единицу времени принимается секунда (с). Определения метра и секунды приведены в Приложении (§ 2).

§ 1.2. Скорость

1. Для характеристики движения материальной точки вводят векторную физическую величину — скорость, определяющую как быстроту движения, так и направление движения в данный момент времени.

Пусть материальная точка движется по криволинейной траектории MN (рис. 1.5) так, что в момент времени t она находится в точке M,

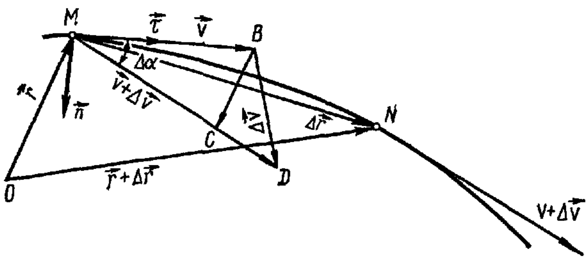

Рис. 1.5.

а в момент времени $t+\Delta t$ — в точке N. Радиусы-векторы точек M и N соответственно равны $\mathbf{r}$ и $\mathbf{r}+\Delta\mathbf{r}$, а длина дуги MN равна Δs.

Вектором средней скорости $\mathbf{v}_{ср}$ точки в интервале времени от