

Тема 1. Кинематика материальной точки и твердого тела

§ 1.1. Предмет физики. Связь физики с другими науками и техникой

Слово "физика" происходит от греческого "physis" – природа.

Т. е. физика – это наука о природе. Более точно, физика – наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, законы ее движения.

В поисках единой картины мира сформировалось понятие материи.

Материя - объективная реальность – все то, что существует вне и независимо от нашего сознания и отражается им.

Материя вечна, непрерывно развивается, находясь при этом в постоянном движении.

Движение (изменение) является способом существования материи.

Движение происходит в пространстве и во времени, которые являются взаимосвязанными формами существования материи.

Как известно, пространство – 3-х мерно, т. е. движение происходит в трех направлениях, время – одномерно – течет с прошлого через настоящее в будущее.

Известно два вида материи: *вещество* (атомы, молекулы, тела, плазма...) и *поле* (электромагнитное, гравитационное и др. поля).

Имеют место процессы преобразования одного вида материи в другой и наоборот.

Формы движения материи: механическая, тепловая, электромагнитная, ядерная, биологическая, химическая и т. д.

Физические законы лежат в основе многих наук.

Машиностроение использует законы механики, теории теплоты, электромагнитных явлений.

Теплотехника, электротехника, радиотехника, светотехника и другие технические дисциплины теснейшим образом связаны с физикой.

Новые открытия физики эффективно используются техникой. Например, открытие способа получения и использования атомной энергии привело к развитию новой области техники – атомной энергетики. В свою очередь, техника сама способствует дальнейшему развитию физики: во-первых, ставит перед физикой новые задачи, а во-вторых, снабжает физиков новыми материалами, все более точными измерительными приборами, необходимыми приспособлениями и устройствами.

Появились: *циклотроны* – циклические резонансные ускорители тяжелых частиц (протонов, ионов), в которых и управляющее магнитное поле, и частота ускоряющего электрического поля постоянны во времени;

синхрофазотроны - циклические резонансные ускорители тяжелых частиц (протонов, ионов), в которых управляющее магнитное поле и частота ускоряющего электрического поля одновременно изменяются во времени таким образом, что радиус равновесной орбиты частиц остается постоянным; *искусственные спутники Земли и космические корабли*.

Человек использует законы природы для создания качественно новых материалов с заранее заданными (необходимыми) свойствами (резина, силикон и т. д.)

В физике мы имеем дело с векторными и скалярными величинами. Единицы измерения физических величин: основные () и производные ().

§ 1.2. Предмет механики и ее задачи

Впервые слово "механика" ввел в 4 в. до н. э. древнегреческий философ Аристотель. Далее развитие механики связано с такими именами, как Архимед (3 в. до н. э.), Леонардо да Винчи (итальянец), Н. Коперник (поляк), И. Кеплер (немец), Г. Галилей (итальянец), И. Ньютон (англичанин) и русскими учеными: Мещерский, Циолковский, Жуковский, Александров.

Механика – раздел физики, в котором изучается механическое движение макроскопических тел.

Механическое движение является простейшим видом движения в природе.

Механическое движение есть изменение положения тел или их частей друг относительно друга в пространстве с течением времени.

Исследование движения тел в механике осуществляется либо на основании законов Ньютона, либо на основании законов сохранения (или изменения) импульса, момента импульса и механической энергии.

Использование этих законов дает возможность решить *основную задачу механики*: определить положение тела в пространстве в произвольный момент времени, если известны его положение и скорость в начальный момент времени, а также масса тела и силы, действующие на него.

Механика включает:

- кинматику;
- динамику;
- статику.

Классическая механика (механика Галилея-Ньютона) применима для описания движения макроскопических тел, движущихся со скоростями, малыми в сравнении со скоростью света ().

Макроскопическими называются окружающие нас тела, состоящие из большого числа атомов или молекул.

Механика движения макроскопических тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света, основана на *специальной теории относительности* (СТО) и называется *релятивистской*.

Законы движения микроскопических тел (отдельных атомов или элементарных частиц) описываются *квантовой механикой*.

§ 1.3. Кинематика материальной точки. Основные понятия кинематики

Кинематика – раздел механики, изучающий механическое движение тел без учета причин, которые его вызывают.

Определять положение точки "по отношению к пустому пространству" невозможно и физически бессмысленно. Механическое движение является относительным, так как всегда происходит только как движение относительно другого тела, которое условно принимается за неподвижное. Такое тело называют *телом отсчета* (обычно это Земля или Солнце).

Для описания движения тел необходимо выбрать так называемую *систему отсчета* (СО), элементами которой являются (рис. 1.1):

- 1) тело отсчета (т. *O*);
- 2) связанная с ним система координат (СК) для отсчета положения тела в пространстве;
- 3) часы для отсчета времени.

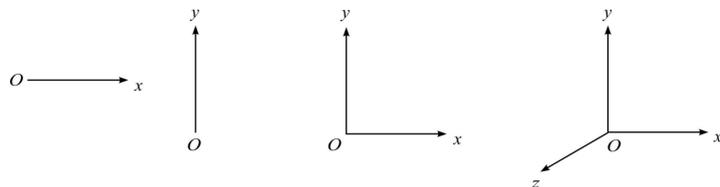


Рис. 1.1

СО можно выбрать бесконечное множество.

Так как любое реальное тело можно представить как совокупность материальных точек, приведем определение материальной точки.

Материальная точка (м. т.) – это тело, формой, размерами и внутренней структурой которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Таким образом, м. т. – это абстракция, согласно которой реальное тело заменяется объектом, имеющим массу, равную массе тела, но не имеющим геометрических размеров.

Примеры м. т.: Земля, вращающаяся вокруг Солнца; тело, движущееся по Земле и т. д.

Линия, которую описывает тело (м. т.) при движении, называется *траекторией движения*. В зависимости от формы траектории различают прямолинейное и криволинейное движение (окружность – частный случай).

Путь – длина траектории между начальным и конечным положениями м. т. (рис. 1.2). Путь – величина скалярная и всегда положительная.

Вектор перемещения показывает, в каком направлении и на какое расстояние переместилась м. т. по отношению к первоначальному положению.

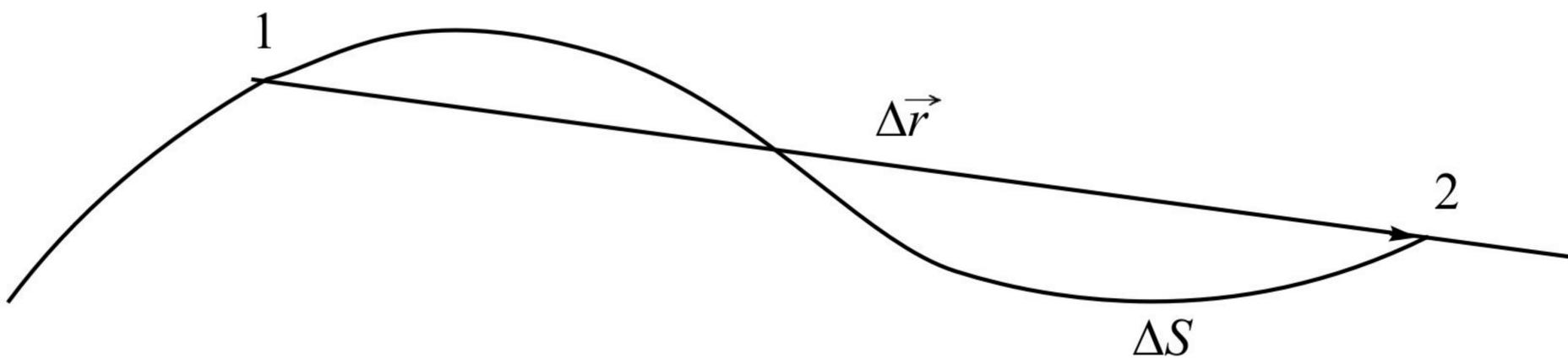


Рис. 1.2

При прямолинейном движении в одном направлении путь , при криволинейном - , в общем случае .

§ 1.4. Способы описания движения

Способами описания движения являются:

- 1) векторный;
- 2) координатный (скалярный);
- 3) траекторный (натуральный).

1) *Векторный способ* основан на том, что положение м. т. в пространстве указывается радиус-вектором , проведенным от точки начала отсчета в данную точку, например в точку . При движении м. т. ее радиус-вектор меняет свой модуль и направление, т. е.

$$(1.1)$$

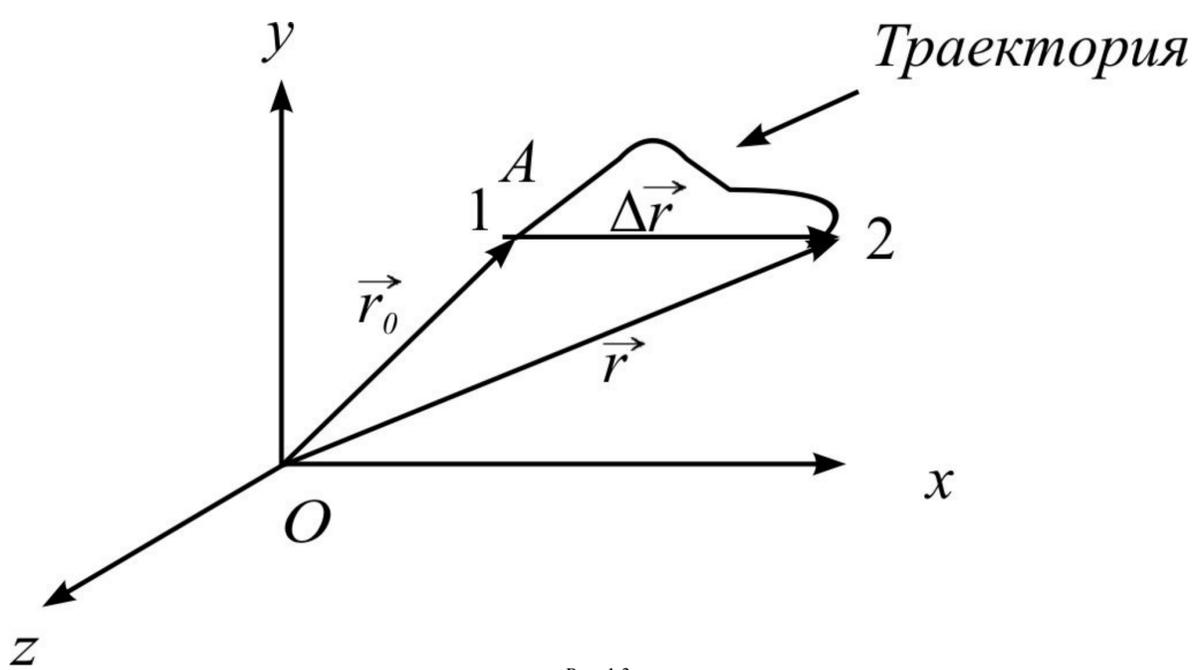


Рис. 1.3

(1.1) – векторный закон движения материальной точки. Если положение т. в момент времени определяется радиус-вектором \vec{r}_0 , а в момент времени t – \vec{r} , то вектор, проведенный из 1 в 2, и есть вектор перемещения (рис. 1.3):

(1.2)

2) Координатный способ описания движения основан на том, что положение м. т. в пространстве определяется заданием 3-х координат $A(x, y, z)$ в любой момент времени (рис. 1.4) (на плоскости – 2-х координат; на прямой – 1-й координаты).

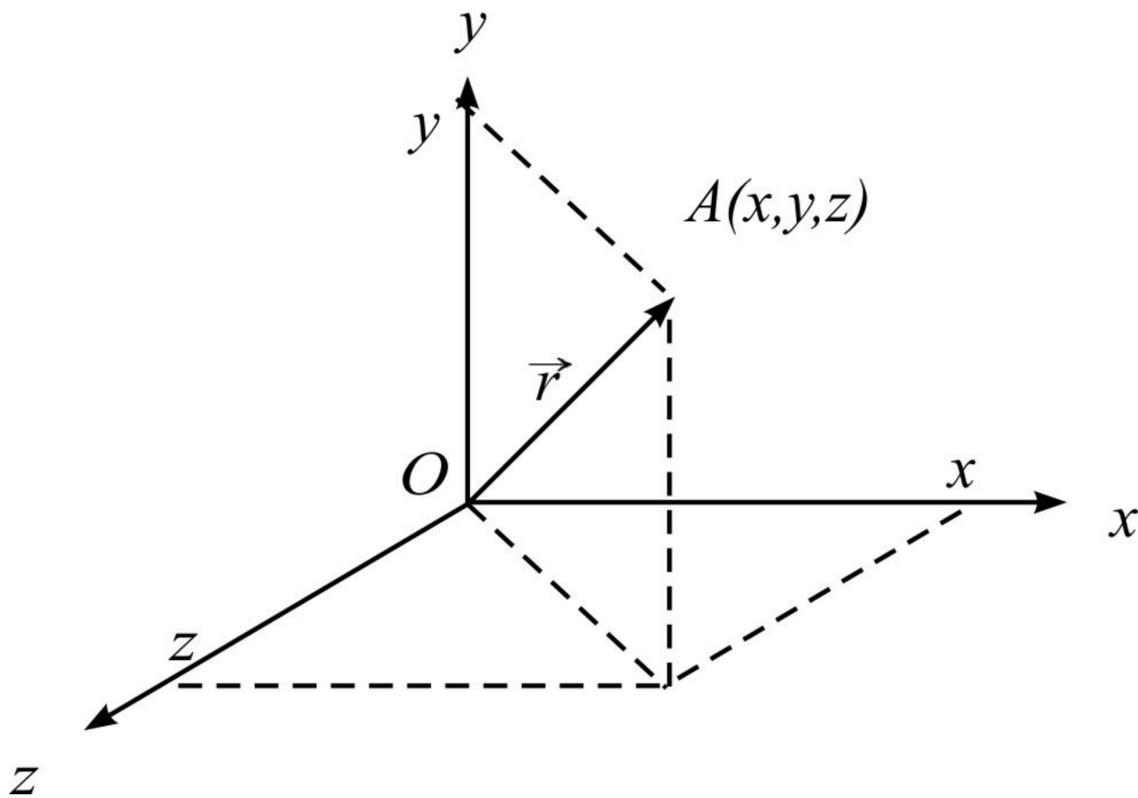


Рис. 1.4

Изменение координат с течением времени при движении м. т. А происходит по законам

(1.3)

которые позволяют определить положение м. т. в пространстве в любой момент времени, т. е. решить основную задачу кинематики.

(1.1), (1.3) – кинематические законы движения (уравнения движения).

3) *Натуральный или траекторный способ* описания движения предполагает знание траектории движения.

Между векторным и координатным способами описания движения существует связь. Так как каждый вектор в декартовой СК можно записать в виде суммы трех векторов, направленных по осям $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$, то

(1.4)

где r_x, r_y, r_z – проекции вектора \vec{r} на соответствующие оси;

$\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ – единичные вектора, направленные по осям x, y, z .

Формула (1.4) позволяет осуществить переход от векторного к координатному способу описания движения и наоборот.

Модуль

(1.5)

Из уравнений (1.3), исключив время, можно получить *уравнение траектории*.

§ 1.5. Скорость. Равномерное прямолинейное движение

Для количественной оценки быстроты перемещения вводится понятие *скорости*.

Рассмотрим сначала *равномерное прямолинейное движение* – такое движение, при котором м. т. за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения (при прямолинейном движении проходит одинаковые пути).

Скоростью равномерного движения называют физическую величину, численно равную отношению вектора перемещения к промежутку времени, за который это перемещение совершено.

(1.6)

Равномерное прямолинейное движение – движение, при котором $\vec{v} = \text{const}$.

Мгновенная скорость м. т. – это скорость в данной точке траектории или в данный момент времени:

Скорость – величина векторная:

Единица измерения скорости в системе СИ: м/с .

Из (1.6) имеем

(1.7)

Если движение происходит по прямой (рис. 1.5), то проекция вектора перемещения на ось x :

или

Из последних выражений получим уравнения, определяющие зависимости координаты x, y, z и радиус-вектора \vec{r} от времени:

(1.8)

(1.9)

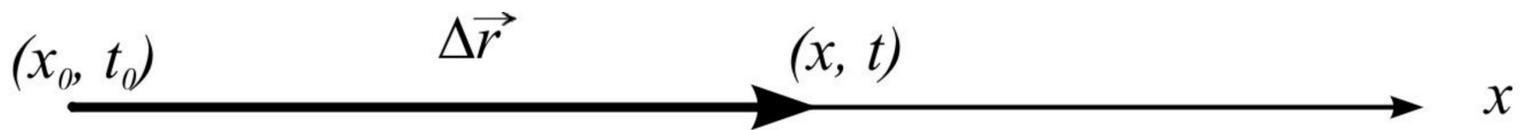


Рис. 1.5

Графики зависимости $v_x(t)$, $x(t)$ для равномерного прямолинейного движения имеют вид (рис. 1.6):

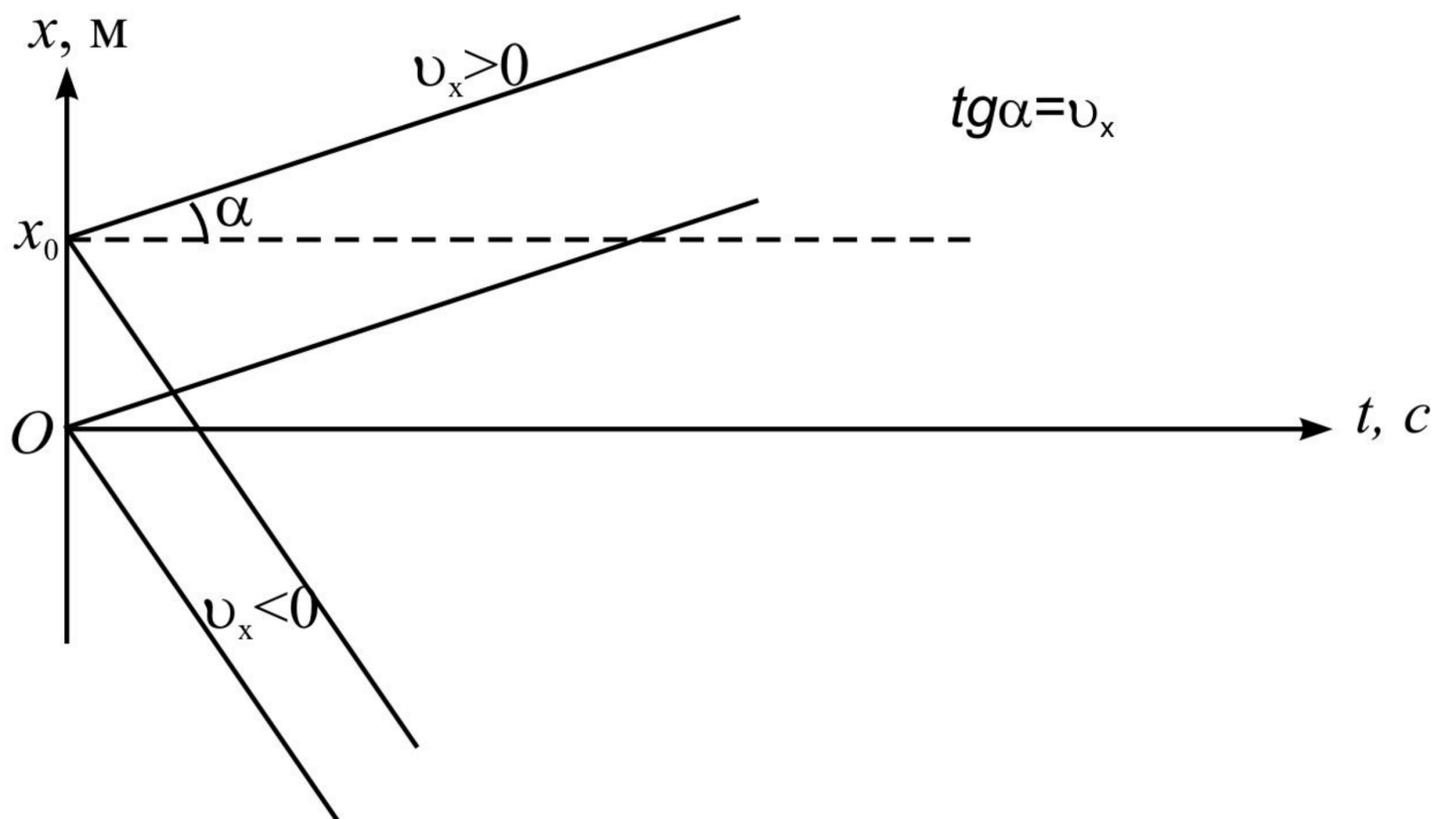
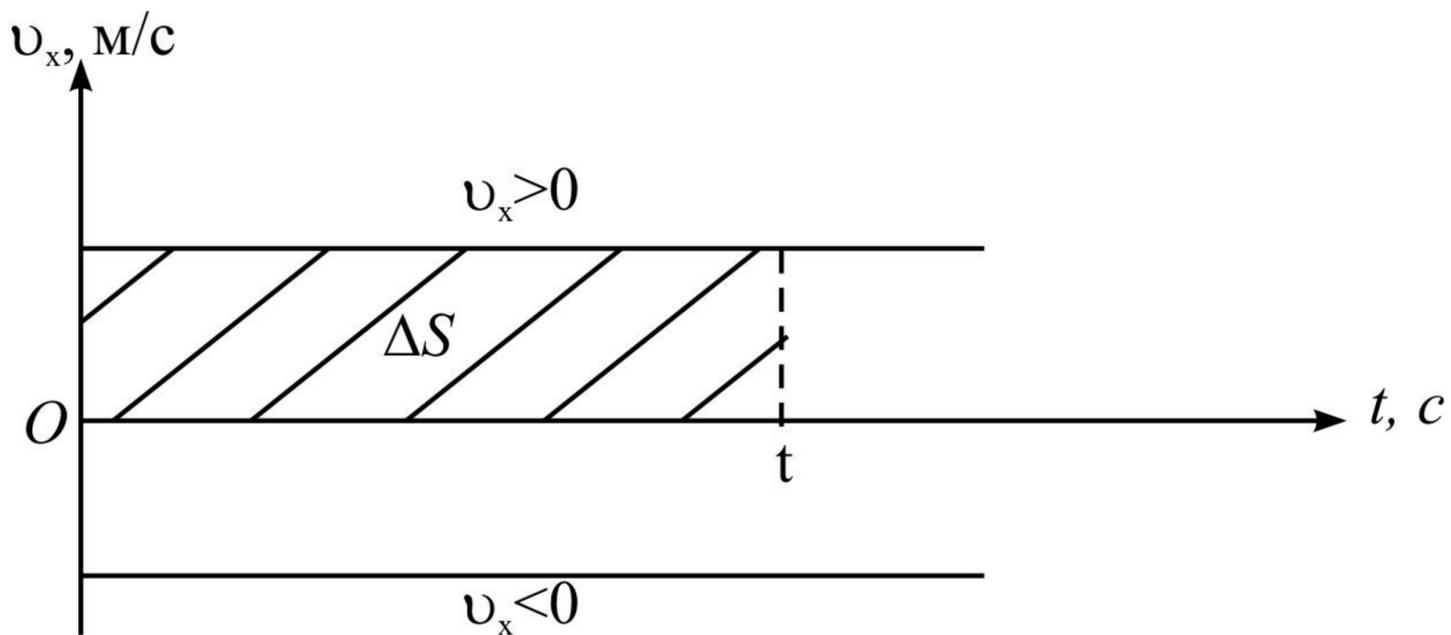


Рис. 1.6

§ 1.6. Ускорение. Равнопеременное прямолинейное движение

Во время движения скорость тела может изменяться. Количественной оценкой быстроты изменения скорости в механике является *ускорение*.

Если м. т. за любые равные промежутки времени Δt изменяет свою скорость на одну и ту же величину Δv , то движение ее считают *равнопеременным*. Для такого движения *ускорение* равно изменению скорости в единицу времени:

(1.1)

Вектор ускорения \vec{a} сонаправлен с вектором изменения скорости $\Delta \vec{v}$:

Мгновенное ускорение определяется, как:

(1.11)

Для равнопеременного движения:

Графики зависимости проекции ускорения от времени для равноускоренного и равнозамедленного движения имеют вид (рис. 1.7):

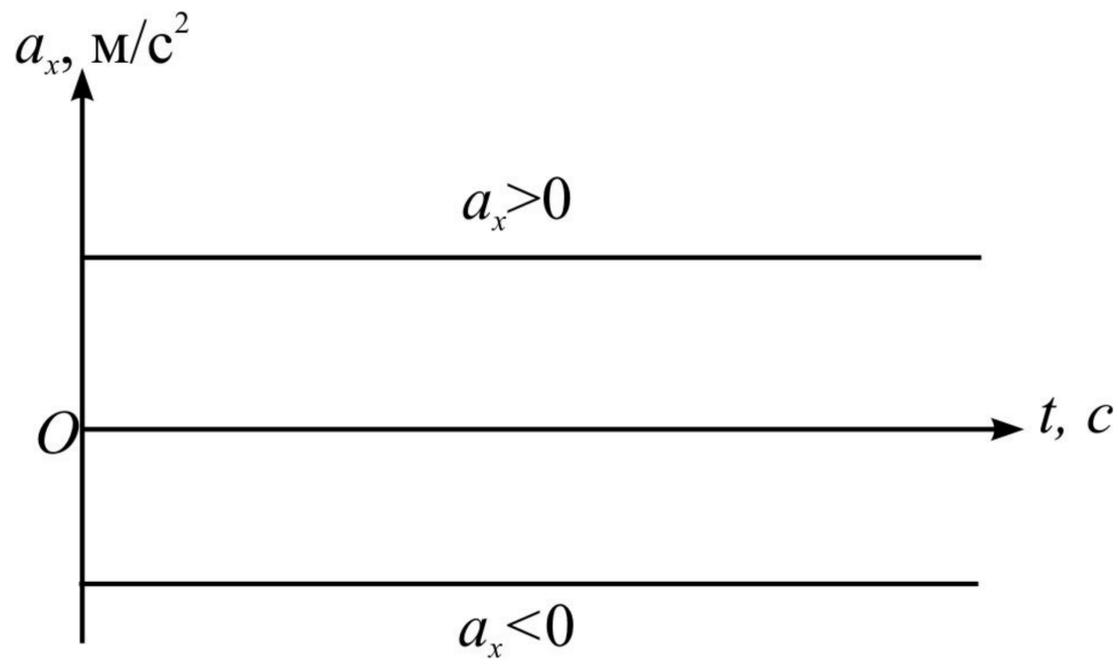


Рис. 1.7

Единица измерения ускорения в системе СИ:

Если в момент времени t_1 скорость м. т. v_1 , а в момент времени t_2 скорость равна v_2 , то ускорение определяется по формуле: $a_x = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$. Откуда следуют формулы:

$$v_2 = v_1 + a_x(t_2 - t_1) \quad (1.2)$$

$$v_1 = v_2 - a_x(t_2 - t_1) \quad (1.3)$$

Графики зависимости проекции скорости от времени для равноускоренного и равнозамедленного движения выглядят следующим образом (рис. 1.8):

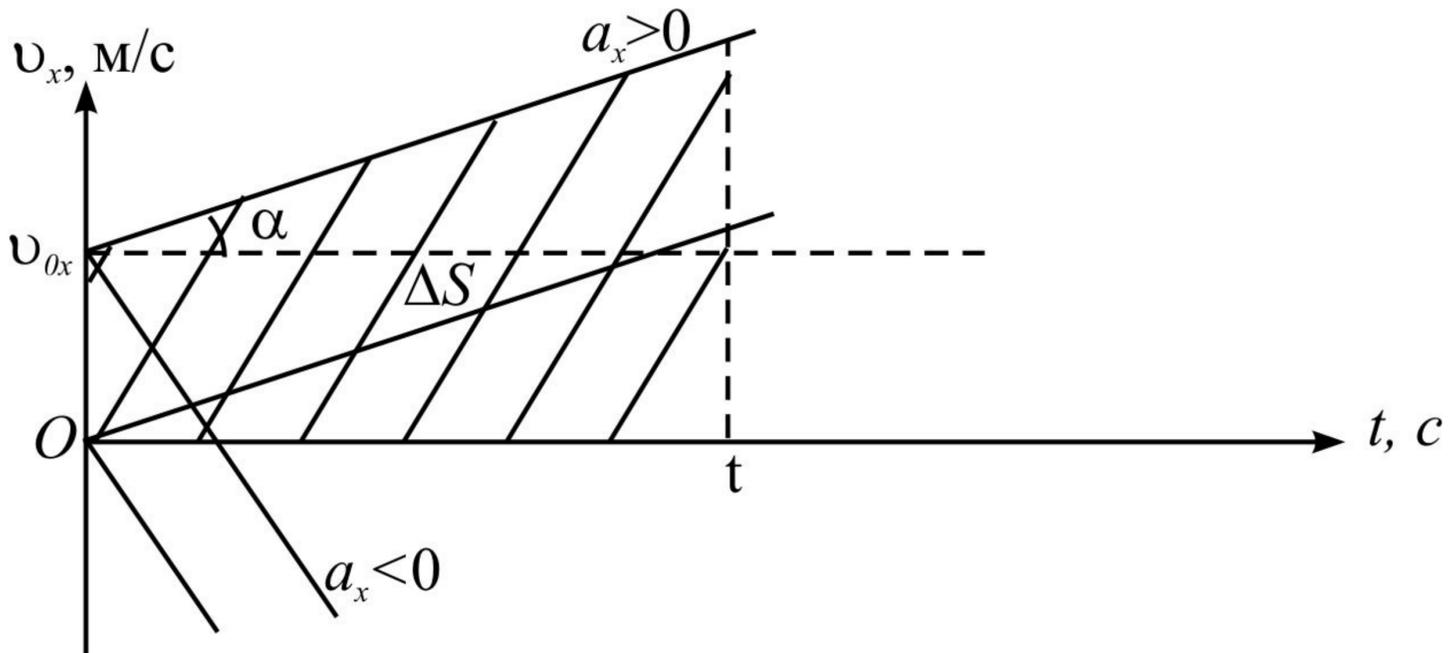


Рис. 1.8

Из графиков $v_x(t)$ можно определить ускорение a_x .
Вектор перемещения:

$$\Delta S = \int_{t_1}^{t_2} v_x dt \quad (1.4)$$

Из (1.11) и (1.13) можно получить выражение, не содержащее времени:

Координата:

$$x = v_0x t + \frac{a_x t^2}{2} \quad (1.5)$$

Зависимость координаты от времени для равнопеременного движения можно изобразить графически следующим образом (рис. 1.9):

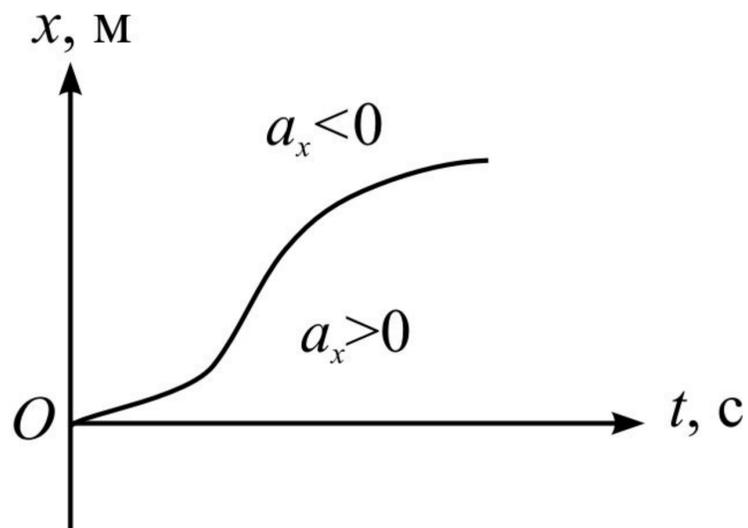


Рис. 1.9

(1.13) – (1.14) - уравнения равнопеременного движения.

Свободное падение – это движение тела в вакууме под действием силы тяжести. Свободное падение является частным случаем равноускоренного движения, для которого $a_x = g$ (у поверхности Земли).

Уравнения движения в этом случае будут:

$$v = v_0 + gt \quad (1.6)$$

(1.7)

(1.8)

(1.9)

§ 1.7. Поступательное и вращательное движение тела

Поступательным называют движение, при котором прямая, соединяющая две любые точки тела, перемещается параллельно самой себе. При этом все точки тела описывают одинаковые траектории и в любой момент времени имеют одинаковые скорости \vec{v} и ускорения \vec{a} .

Примеры: движение кабины аттракциона колеса обозрения; движение корпуса автомобиля, движущегося по прямой линии, и т. д.

Вращательным называют такое движение твердого тела, при котором все его точки описывают окружности с центрами, лежащими на одной прямой, называемой *осью вращения*.

Если характеристиками поступательного движения являются:

$$\begin{cases} \Delta S & - \text{путь} \\ \Delta \vec{r} & - \text{вектор перемещения} \\ \vec{v} & - \text{скорость} \\ \vec{a} & - \text{ускорение} \end{cases}$$

то в случае вращательного движения это:

При движении м. т. по окружности из положения 1 в положение 2 (рис. 1.10) радиус-вектор \vec{r} , проведенный из центра окружности (точка O) до точки A , осуществляет поворот на угол $\Delta\phi$.

За единицу угла поворота принят 1 радиан (дополнительная единица СИ) – угол между радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

Введем единичный вектор нормали \vec{n} . *Угловым перемещением* будет вектор, равный углу поворота радиус-вектора за время Δt , направленный вдоль единичного вектора нормали так, что с вершины этого вектора поворот виден против часовой стрелки:

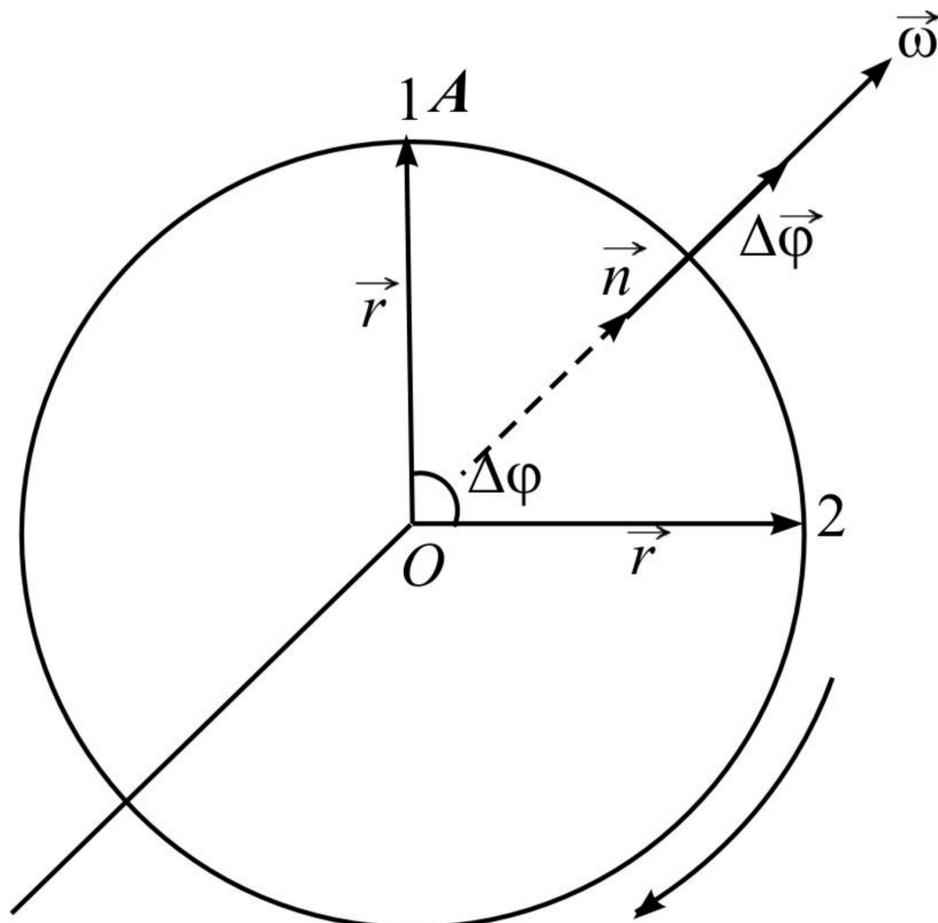


Рис. 1.10

Угловая скорость характеризует быстроту вращения. Для *равномерного* вращения ω – физическая величина, численно равная отношению углового перемещения к промежутку времени Δt , за который это перемещение совершено, т. е.:

(1.10)

Угловая скорость ω сонаправлена с угловым перемещением $\Delta\vec{\phi}$:

Единица измерения угловой скорости в системе СИ: рад/с .

Быстроту изменения угловой скорости для равнопеременного вращения характеризуют так называемым *угловым ускорением*: ϵ . Угловое ускорение ϵ сонаправлено с вектором изменения угловой скорости $\Delta\vec{\omega}$.

В системе СИ:

Векторы $\vec{\omega}$, $\vec{\epsilon}$, \vec{n} – аксиальные, т. е. направлены вдоль оси вращения (рис. 1.11)

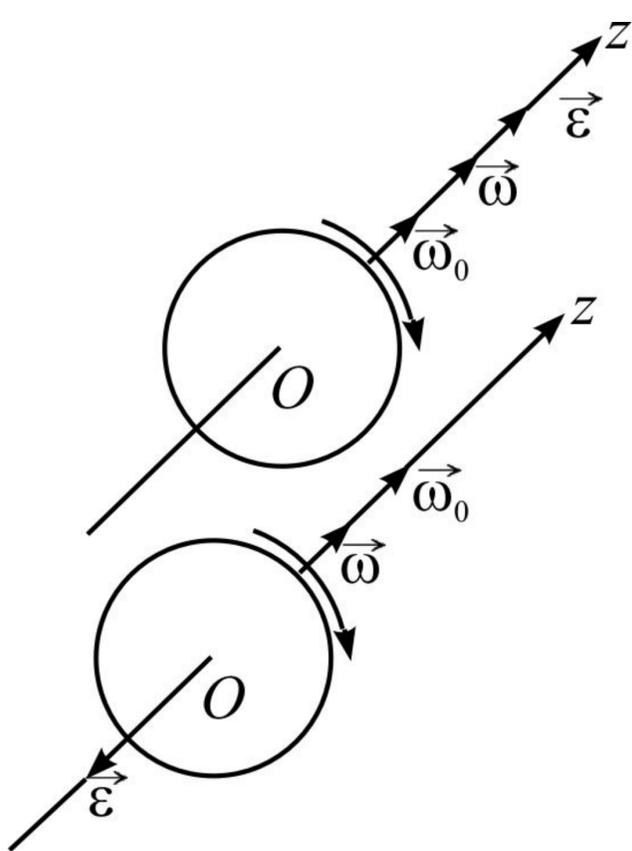


Рис. 1.11

- равноускоренное движение по окружности.

- равнозамедленное движение по окружности.

Между линейными и угловыми величинами существует связь:
угловая скорость

линейная скорость

(1.20)

(1.21)

центростремительное ускорение

(1.22)

тангенциальное ускорение

(1.23)

Связь между и следующая:

(1.24)

Вектор полного ускорения:

(1.25)

Модуль полного ускорения:

(1.26)

где - тангенциальное (касательное) ускорение, обусловленное изменением скорости по величине;

- центростремительное (нормальное) ускорение, обусловленное изменением скорости по направлению.

В случае равномерного вращения .