

Физика- наука о природе

Долгое время физику называли натуральной философией (философией природы), и она фактически сливалась с естествознанием. По мере накопления экспериментального материала, его научного обобщения и развития методов исследования из натуральной философии как общего учения о природе выделились астрономия, химия, физика, биология и другие науки. Отсюда следует, что резкую границу между физикой и другими естественными науками установить довольно сложно.

Процесс длительного изучения явлений природы привел ученых к идее о материальности окружающего мира. Материя включает в себя все, окружающее нас и нас самих. Учение о строении материи является одним из центральных в физике. Оно охватывает два известных физике вида материи **вещество** и **поле**. Всякое изменение, происходящее в окружающем нас мире, представляет собой движение материи. *Движение есть способ существования материи.*

Физика изучает наиболее общие формы движения материи и их взаимные превращения, такие, как механическая, молекулярно-тепловая, электромагнитная, атомная и ядерная. Подобное деление на формы движения условно, однако физика в процессе изучения обычно представлена именно такими разделами.

Материя существует в пространстве и во времени.

Пространство определяет взаимное расположение (одновременно существующих) объектов относительно друг друга и их относительную величину (расстояние и ориентацию). Размеры материальных объектов во Вселенной разнообразны. Эти материальные объекты образуют микро-, макро- и мегамир. **Микромир** — мир невидимых объектов, например элементарные частицы, атомы, молекулы. **Макромир** — мир объектов, обладающих «обычными» размерами. **Мегамир** — мир астрономических объектов, например звезды и образуемые ими системы. Все явления природы происходят в определенной последовательности и имеют конечную продолжительность. **Время** определяет последовательность явлений природы и их относительную продолжительность. Следовательно, пространство и время не существуют сами по себе, в отрыве от материи, и материя не существует вне пространства и времени.

Общей мерой различных форм движения материи является **энергия**. Каче-

Физика — основа естествознания. Физические понятия являются простейшими и в то же время основополагающими и всеобщими в естествознании (пространство, время, движение, масса, работа, энергия и др.). Теория и методы физики широко используются в астрономии, биологии, химии, геологии и других естественных науках. Физические законы (например, законы сохранения), выводы, следствия из физических теорий имеют глубокий философский смысл. Физика относится к точным наукам и изучает количественные закономерности явлений.

Наблюдения являются первоначальным источником информации. На начальных стадиях развития науки наблюдения играли важнейшую роль и благодаря им образовался эмпирический (опытный) базис науки. Как известно, первые закономерности в природе были установлены в поведении небесных тел и были основаны на наблюдениях за их движением, осуществляемых невооруженным глазом. В некоторых науках (например, астрономии, геологии и др.) наблюдения являются единственным методом исследования.

Эксперимент — важнейший метод эмпирического исследования, с помощью которого явления исследуются в контролируемых управляемых условиях. Проводя опыт, экспериментатор целенаправленно вмешивается в естественный ход протекания процесса. Отличительная особенность эксперимента — воспроизводимость, т. е. его может осуществить каждый исследователь в любое время.

Не над всеми телами можно проводить эксперименты, например планеты, звезды можно только наблюдать. Если все же эксперимент необходим, то проводят эксперимент с моделью, т. е. телом, размеры и масса которых пропорционально уменьшены по сравнению с реальным телом. В этом случае результаты модельных экспериментов можно считать пропорциональными результатам реального эксперимента.

Каждый шаг в изучении природы — это приближение к истине. Физика все глубже проникает в новые области и изучает такие объекты, которые не имеют аналогов в повседневности. В таких случаях в физике используют моделирование.

Моделирование позволяет воспроизвести определенные геометрические, физические, динамические характеристики объекта — оригинала.

. При *мысленном моделировании* (мысленном эксперименте) ученый представляет себе объект, который не существует в реальности, и проводит над ним эксперимент в уме. Широко известны, например, мысленные эксперименты А. Эйнштейна (1879 – 1955), создателя теории относительности, Г. Галилея и Дж. Максвелла (1831 – 1879). Так, Галилей открыл закон инерции, мысленно уменьшая, а затем исключая силы трения при движении; Максвелл сформулировал парадокс с «демоном», т. е. мысленно расположил на пути летящих молекул гипотетического «демона», сортирующего молекулы по скоростям. При *компьютерном моделировании* в качестве модели выступает алгоритм — программа функционирования объекта.

Модели, которые имеются у физиков сегодня, в состоянии описать многие явления Природы. Однако завтра они будут усовершенствованы и после опытной проверки все больше способствовать познанию Природы.

Итак, физика — наука экспериментальная, так как основным методом изучения природы является эксперимент, который подтверждает или отрицает выводы физики.

Итак, физика — наука экспериментальная, так как основным методом изучения природы является эксперимент, который подтверждает или отрицает выводы физики.

Физическая величина представляет собой либо обобщенное понятие (длина, объем, масса, удельная теплоемкость, вязкость, сила электрического тока и т. д.), либо конкретную величину — индивидуальную характеристику отдельного объекта или явления: вместимость данного сосуда, напряженность электрического поля в данной точке пространства, удельная теплоемкость воды при температуре 0°C и т. д. Указанному выше определению не удовлетворяют термины: электрическое поле, волна и т. д., а также наименования физических объектов: гиря, поезд, пуля и т. д.

Значение конкретной физической величины выражают произведением отвлеченного числа на принятую для данной физической величины единицу.

В международной системе единиц за основные единицы приняты шесть следующих:

единица длины — 1 метр (1 м)

единица массы — 1 килограмм (1 кг)

единица времени — 1 секунда (1 с)

единица температуры — 1 градус Кельвина (1 К)

единица силы тока — 1 ампер (1 А)

единица силы света — 1 свеча (1 св)

Единицы измерения других величин вводятся на основании физических закономерностей, связывающих эти величины с основными.

Физические законы. *Физические законы* выражают в математической форме количественные связи между физическими величинами. Они устанавливаются на основе обобщения опытных (экспериментальных) данных и отражают объективные закономерности, существующие в Природе.

Физические законы, имеющие наиболее обширные области применимости, называют **фундаментальными** (например, закон сохранения энергии).

Изучая физический закон, нужно знать:

- связь между какими явлениями (процессами) или физическими величинами он выражает;
- формулировку закона и его математическое выражение;
- опыты, подтверждающие справедливость закона;

Понятие о физической картине мира. По мере накопления экспериментальных данных постепенно вырисовывалась и складывалась величественная и сложная картина окружающего нас мира и Вселенной в целом.

Научные поиски и исследования, проведенные на протяжении многих веков, позволили И. Ньютону (1643 – 1727) открыть и сформулировать фундаментальные законы механики, которые в то время казались настолько всеобъемлющими, что легли в основу построения **механической картины мира**, согласно которой все тела должны состоять из абсолютно твердых частиц, находящихся в непрерывном движении. Взаимодействие между телами осуществляется с помощью сил тяготения (гравитационных сил). Все многообразие окружающего мира, по Ньютону, заключалось в различии движения частиц.

Механическая картина мира господствовала до тех пор, пока Дж.Максвеллом (1873) не были сформулированы уравнения, описывающие основные закономерности электромагнитных явлений. Эти закономерности не могли быть объяснены с точки зрения механики Ньютона. В отличие от классической механики, где предполагается, что взаимодействие между телами осуществляется мгновенно (теория дальнего действия), теория Максвелла утверждала, что взаимодействие происходит с конечной скоростью, равной скорости света в вакууме, посредством электромагнитного поля (теория ближнего действия). Создание специальной теории относительности — нового учения о пространстве и времени — позволило полностью обосновать электромагнитную теорию.

В состав всех без исключения атомов входят электрически заряженные частицы. С помощью электромагнитной теории можно объяснить природу сил, действующих внутри атомов, молекул и макроскопических тел. Это положение легло и в основу создания **электромагнитной картины мира**, согласно которой все происходящие в окружающем нас мире явления пытались объяснить с помощью законов электродинамики. Однако объяснить строение и движение материи только электромагнитными взаимодействиями не удалось.

Дальнейшее развитие физики показало, что кроме **гравитационного** и **электромагнитного взаимодействий** существуют и другие типы взаимодействия. Первая половина XX в. ознаменовалась интенсивным изучением строения электронных оболочек атомов и тех закономерностей, которые управляют движением электронов в атоме. Это привело к возникновению новой отрасли физики — квантовой механики. В квантовой механике используется понятие **дуализма**: движущаяся материя является одновременно и веществом, и полем, т. е. обладает одновременно корпускулярными и волновыми свойствами. В классической же физике материя всегда либо совокупность частиц, либо поток волн.

Развитие ядерной физики, открытие элементарных частиц, исследование их свойств и взаимопревращений привели к установлению еще двух типов взаимодействий, названных **сильными** и **слабыми**.

Таким образом, современная физическая картина мира предполагает четыре типа взаимодействия: сильное (ядерное), электромагнитное, слабое и гравитационное. Сильное взаимодействие обеспечивает связь нуклонов в ядре. Слабое взаимодействие проявляется в основном при распаде элементарных частиц. Итак, учение о строении материи в настоящее время является атомистическим, квантовым, релятивистским, в нем применяются статистические представления.

1. Почему физику называют наукой о природе?
2. Что связывает между собой материю, пространство и время?
3. Что общего и чем отличаются друг от друга наблюдение и эксперимент?
4. С какой целью в физике проводят измерения?
5. Чем отличается физическая величина от других терминов, используемых в физике?
6. Что надо знать о физической величине?
7. Какие единицы физических величин являются основными в СИ?
8. Как устанавливаются и что выражают физические законы?
9. Что необходимо знать о физическом законе?
10. Чем отличается электромагнитная от механической картины мира?
11. Что предполагает современная физическая картина мира?

Кинематика

Механика (от греч. *mechanike* — искусство построения машин) — наука о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между ними.

Кинематика (от греч. *kinematos* — движение) — раздел механики, в котором изучаются способы описания движений и связь между величинами, характеризующими эти движения. Кинематика изучает движения тел без учета причин, их вызывающих.

Динамика (от греч. *dynamis* — сила) — раздел механики, посвященный изучению движения материальных тел под действием приложенных к ним сил.

В динамике рассматриваются два типа задач.

Задачи первого типа состоят в том, чтобы, зная законы движения тела, определить действующие на него силы. Классическим примером решения такой задачи явилось открытие И. Ньютоном закона всемирного тяготения. Зная установленные И. Кеплером законы движения планет, И. Ньютон показал, что это движение происходит под действием силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния между планетой и Солнцем.

Задачи второго типа (основные в динамике) состоят в том, чтобы, зная начальное положение тела и его начальную скорость, по действующим на тело силам определить закон его движения.



Историческая справка. Существенный вклад в развитие механики внесли ученые: Архимед (ок. 287 — 212 гг. до н. э.), который разработал теорию рычага, сложение параллельных сил, учение о центре тяжести и т. д.; Леонардо да Винчи (1452 — 1519), исследовавший свободное падение и движение тела, брошенного горизонтально, сопротивление балок растяжению и сжатию; установивший, что

действие равно противодействию и направлено против него; изучивший механизм трения и определивший коэффициент трения; создавший проект первого летательного аппарата, парашюта, ряда гидротехнических сооружений и многое другое; Н. Коперник (1473 – 1543) и И. Кеплер (1571 – 1630), открывшие законы движения планет, которые впоследствии стали основой для сформулированного И. Ньютоном закона всемирного тяготения; Г. Галилей (1564 – 1642) — основоположник динамики и один из основателей точного естествознания, установил закон инерции, законы свободного падения, движения тела по наклонной плоскости и тела, брошенного под углом к горизонту; открыл закон сложения движений и закон постоянства периода колебаний маятника. Ему человечество обязано двумя принципами механики, сыгравшими большую роль в развитии не только механики, но и физики в целом, — принцип относительности и принцип постоянства ускорения свободного падения.

Описание механического движения. Под *механическим движением* понимают изменение с течением времени взаимного положения тел или их частей в пространстве. Например, в природе — это вращение Земли вокруг собственной оси, движение Земли и других планет вокруг Солнца, вращение Солнечной системы вокруг ядра Галактики, «разбегание» галактик, т.е. расширение Вселенной; в технике — движение автомобилей, самолетов, морских и космических кораблей, частей двигателей машин и механизмов.

При изучении движения материальных тел, для упрощения решения некоторых задач в механике используют модели — материальную точку и абсолютно твердое тело.

Материальная точка — тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.

Абсолютно твердое тело — система материальных точек, расстояние между которыми с течением времени не изменяется.

Размеры и форма абсолютно твердого тела при различных внешних воздействиях не изменяются.

Механическое движение происходит в пространстве и во времени. В классической механике пространство однородно и изотропно, время — однородно.

Однородность пространства означает равноправие всех его точек.

Изотропность пространства означает равноправие всех направлений в пространстве.

Однородность времени — равноправие всех моментов времени.

Для описания механического движения необходимо указать тело, относительно которого рассматривается движение. Относительно Солнца рассматривается движение планет, относительно каких-либо пунктов на поверхности Земли — движение самолетов, поездов, автомобилей. При этом Солнце (или Земля) считается неподвижным и является телом отсчета.

Тело отсчета — произвольно выбранное тело, относительно которого определяется положение движущейся материальной точки.

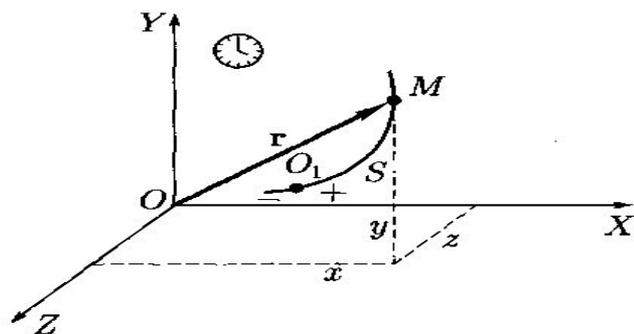


Рис. 1.1

Положение движущейся материальной точки в данный момент времени можно определить, если выбрана система отсчета.

Система отсчета — совокупность тела отсчета, связанных с ним системы координат и часов.

Механическое движение происходит во времени, поэтому система отсчета должна иметь часы, отсчитывающие промежутки времени от произвольно выбираемого начального момента времени (рис. 1.1).

На рис. 1.1 тело отсчета O находится в начале координат. При описании движения наиболее употребительна прямоугольная, или декартова, система координат. Положение материальной точки M в декартовой системе координат определяется тремя координатами: x , y , z или радиусом-вектором \mathbf{r} .

Радиус-вектор \mathbf{r} — вектор, проведенный из начала системы координат в данную точку. Длина радиуса-вектора \mathbf{r} , т. е. его модуль $|\mathbf{r}| = r$, определяет расстояние, на котором точка M находится от начала координат, а стрелка указывает направление на эту точку.

При движении материальной точки M конец радиуса-вектора \mathbf{r} описывает в пространстве некоторую линию — траекторию.

Траектория (от лат. *trajectorius* — относящийся к перемещению) — непрерывная линия, которую описывает точка при своем движении.

Виды движения. По форме траектории механическое движение классифицируют на прямолинейное и криволинейное.

Прямолинейное движение — это движение, траекторией которого в выбранной системе отсчета является прямая линия.

Криволинейное движение — это движение, траекторией которого в выбранной системе отсчета — некоторая кривая линия.

Вид траектории зависит от того, по отношению к какой системе отсчета рассматривается движение. На рис. 1.2,а изображена траектория движения Луны — спутни-

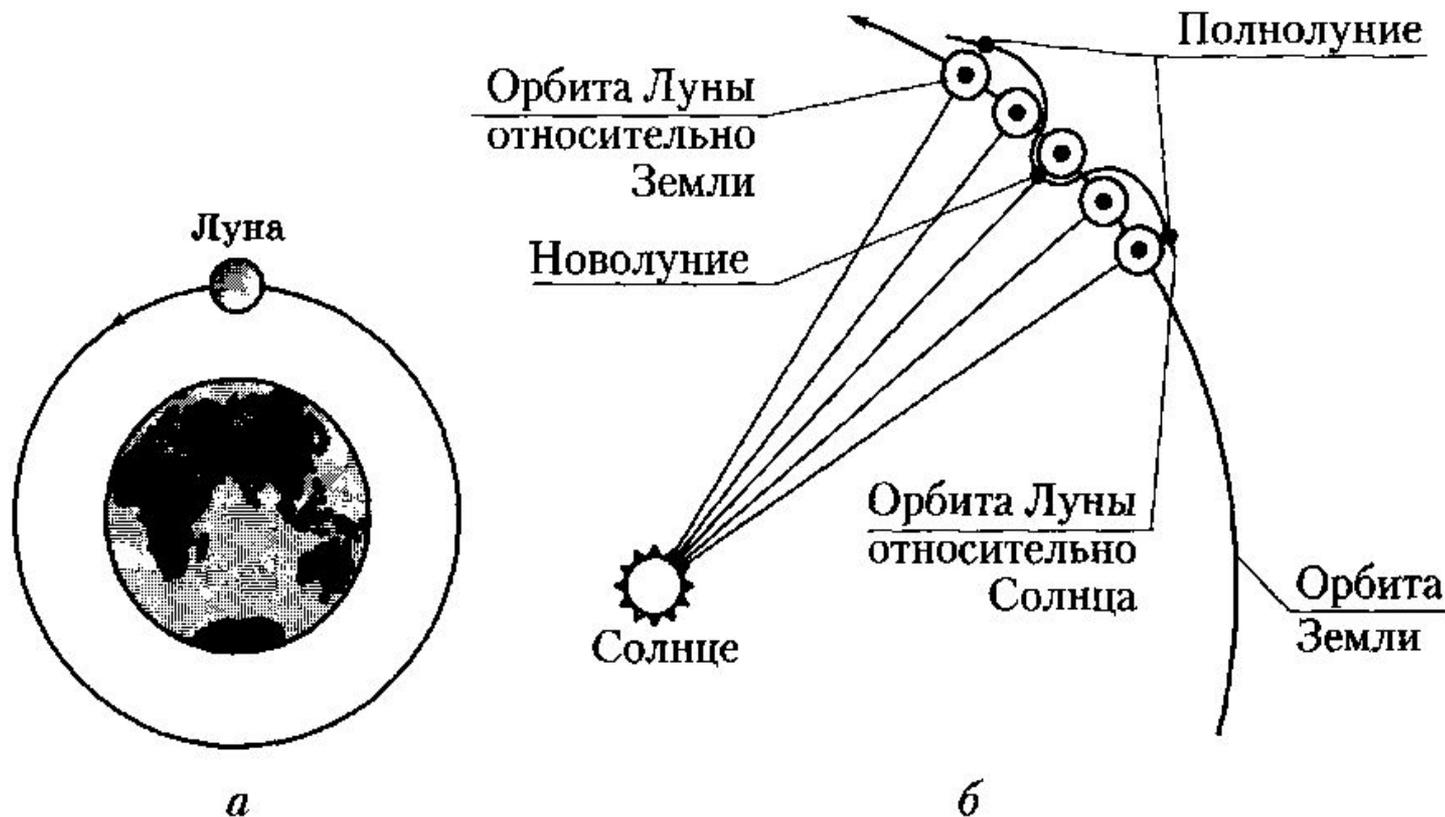


Рис. 1.2

ка Земли — в геоцентрической системе (относительно Земли), а на рис. 1.2, б в гелиоцентрической системе (относительно Солнца).

Простейшими являются поступательное и вращательное движения твердого тела.

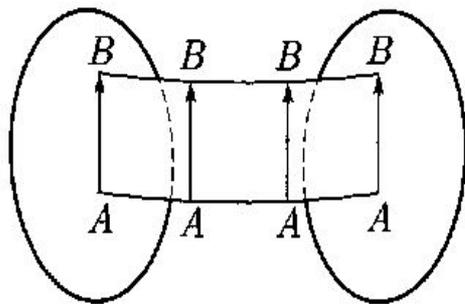
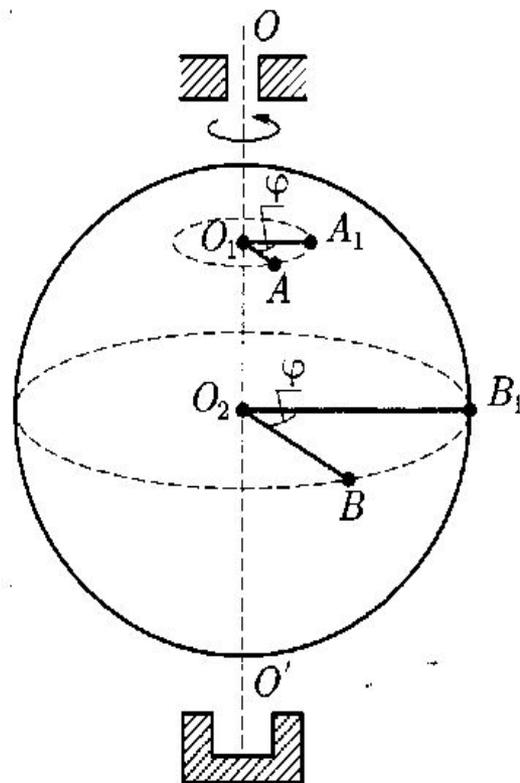


Рис. 1.3



Рис. 1.4



Поступательное движение — это такое движение твердого тела, при котором прямая, соединяющая две любые точки тела, перемещается, оставаясь параллельной своему начальному положению (рис. 1.3).

При поступательном движении твердого тела все точки тела описывают одинаковые траектории. Движение тела задается и изучается так же, как и движение одной точки. Поступательно движется ящик письменного стола, вагоны электропоезда, кабины «колеса обозрения».

Вращательное движение вокруг неподвижной оси — это такое движение твердого тела, при котором все его точки описывают окружности, центры которых лежат на одной неподвижной прямой — оси вращения, перпендикулярной плоскостям этих окружностей.

Примерами вращательного движения могут быть: вращение колес велосипеда, пропеллеров самолета, валов двигателей и генераторов.

При вращательном движении твердого тела вокруг неподвижной оси OO' его положение определяется углом поворота φ (рис. 1.4).

Вектор перемещения. Положение материальной точки (тела) в выбранной системе отсчета в данный момент времени задается радиусом-вектором \mathbf{r} . Пусть точка перемещается на плоскости и в начальный момент времени t_0 находится в положении A , в момент времени t — в положении B . Эти положения точки в системе координат XOY определяются соответственно радиусами-векторами \mathbf{r}_0 и \mathbf{r} (рис. 1.5). Вектор $\Delta^1\mathbf{r}$, проведенный из конца радиуса-вектора \mathbf{r}_0 (из точки A)

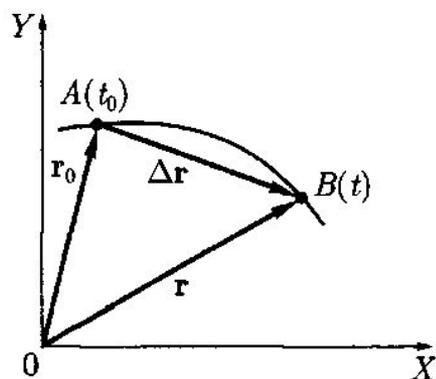


Рис. 1.5

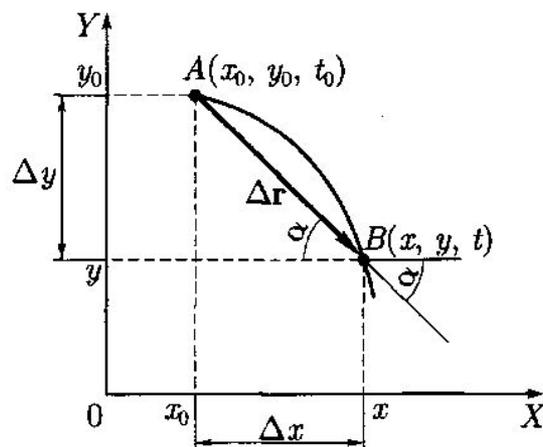


Рис. 1.6

в конец радиуса-вектора \mathbf{r} (в точку B), является перемещением точки за промежуток времени $\Delta t = t - t_0$:

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_0 - \mathbf{r}_0. \quad (1.1)$$

Перемещение $\Delta \mathbf{r}$ — вектор, соединяющий положения движущейся точки в начале и конце некоторого промежутка времени.

Вектор перемещения направлен вдоль хорды траектории точки.

Для описания движения необходимо знать радиус-вектор точки в любой момент времени. Из рис. 1.5 видно, что если известен радиус-вектор в начальный момент времени \mathbf{r}_0 и известно перемещение $\Delta \mathbf{r}$, то можно найти радиус-вектор \mathbf{r} в любой последующий момент времени t .

Опустив перпендикуляры из начала и конца вектора перемещения $\Delta \mathbf{r}$ на оси координат X и Y , можно найти его проекции на эти оси.

Проекции вектора перемещения — это изменения координат Δx и Δy движущейся точки (рис. 1.6). Изменение координат при движении материальной точки может быть как положительным, так и отрицательным. Из рис. 1.6

Векторному уравнению (1.2) для движения материальной точки в пространстве соответствуют три уравнения в координатной форме

$$x = x_0 + \Delta x, \quad y = y_0 + \Delta y, \quad z = z_0 + \Delta z. \quad (1.4)$$

Таким образом, чтобы найти положение точки в пространстве в любой момент времени (координаты x, y, z), необходимо знать ее начальное положение (координаты x_0, y_0, z_0) и уметь вычислять изменения координат точки $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ при ее движении.

Модуль и направление перемещения полностью определяются его проекциями на оси ординат. Используя рис. 1.6, по теореме Пифагора определяем модуль вектора перемещения

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}. \quad (1.5)$$

Направление вектора $\Delta \mathbf{r}$ можно задать углом α между вектором и положительным направлением оси X . Из рис. 1.6 видно, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (\text{на рис. 1.6 } \Delta x > 0; \Delta y < 0). \quad (1.6)$$

Сложение перемещений. Перемещение — векторная величина, поэтому действия с векторами перемещений проводятся по правилам векторной алгебры¹.

Поясним это на примере. Пусть лодка движется поперек течения реки (рис. 1.7). Если бы вода в реке была неподвижной, то лодка, двигаясь вдоль оси Y , через некоторый промежуток времени оказалась в точке A . Перемещение вдоль оси Y — вектор \mathbf{a} . В действительности вода в реке течет вдоль оси X и «сносит» лодку по течению за то же время в точку B . Перемещение вдоль оси X — вектор \mathbf{b} .

Каково же будет действительное перемещение лодки? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно сложить два вектора \mathbf{a} и \mathbf{b} . Сложение векторов производят по правилу параллелограмма или треугольника (многоугольника).

Согласно **правилу параллелограмма**, суммарный вектор \mathbf{c} представляет собой диагональ параллелограмма, построенного на составляющих векторах (\mathbf{a} и \mathbf{b}) как на сторонах, при этом начала всех трех векторов (\mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{c}) совпадают.

Из рис. 1.7 видно, что $\mathbf{c} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$ или $\mathbf{c} = \mathbf{b} + \mathbf{a}$, т. е. результат сложения перемещений не зависит от последовательности слагаемых перемещений.

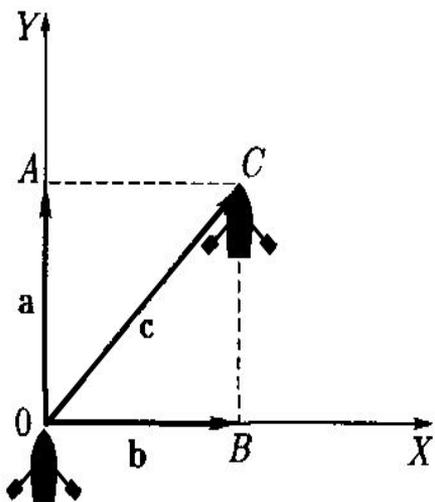


Рис. 1.7

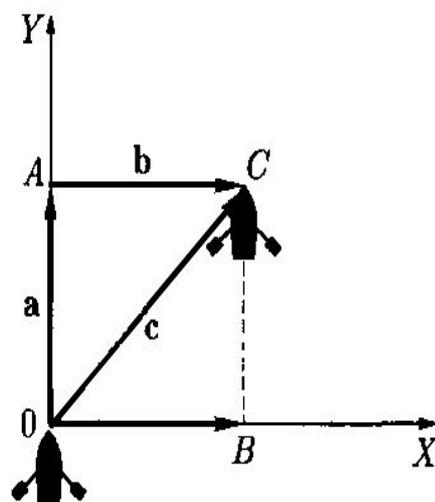


Рис. 1.8

По **правилу треугольника** (рис. 1.8) необходимо с концом вектора **a** совместить начало вектора **b**. Соединив начало первого вектора с концом второго, получают суммарный вектор **c**.

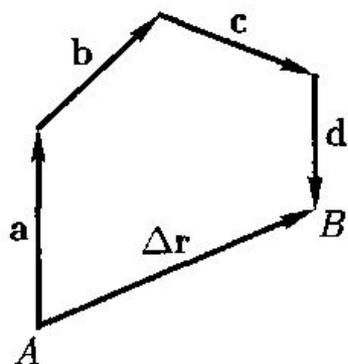


Рис. 1.9

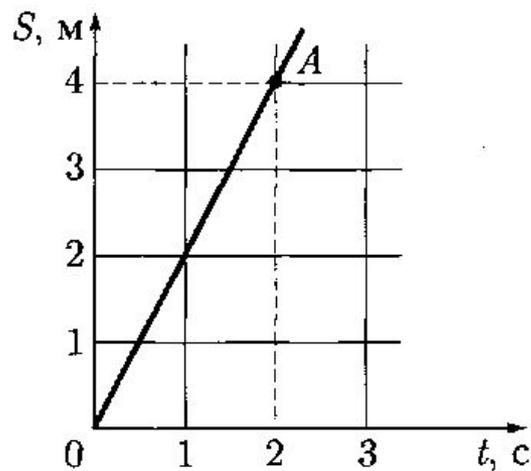


Рис. 1.10

Если необходимо сложить несколько векторов, то правило треугольника обобщается на **правило многоугольника**. Для нахождения результирующего перемещения $\mathbf{a} + \mathbf{b} + \mathbf{c} + \mathbf{d} = \Delta \mathbf{r}$ надо соединить начало первого вектора (точку A) с концом последнего (точкой B) (рис. 1.9).

Путь. Путь в отличие от перемещения является скалярной функцией времени.

Путь S — скаляр, равный длине участка траектории, пройденного движущейся точкой за данный промежуток времени.

Единица пути — метр (м) является в СИ основной.

Пути, пройденные точкой за последовательные промежутки времени, складываются алгебраически.

График зависимости пути от времени $S = f(t)$ называется **графиком пути** (рис. 1.10). Например, по известному графику пути можно определить путь, пройденный материальной точкой за определенный промежуток времени. Для этого надо из точки на оси времени, соответствующей концу промежутка, например 2 с, восстановить перпендикуляр до пересечения с графиком (точка A). Из этой точки A опустить перпендикуляр на ось S . Точка пересечения перпендикуляра с осью S даст значение пути. Согласно графику, за 2 с точка прошла путь 4 м (см. рис. 1.10).

При движении материальной точки путь не может уменьшаться и не бывает отрицательным $S \geq 0$.

При прямолинейном движении модуль вектора перемещения $|\Delta \mathbf{r}|$ равен пути ΔS . т.е. $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta S$.

Если направление прямолинейного движения изменяется, то путь больше модуля вектора перемещения. Например, тело бросили с поверхности Земли вертикально вверх. Поднявшись на высоту h , тело падает вниз. Вектор перемещения тела равен нулю $\Delta \mathbf{r} = 0$, а путь $S = 2h$.

При криволинейном движении путь ΔS больше модуля перемещения $|\Delta \mathbf{r}|$.

Скорость

Вектор скорости. Скорость — одна из основных кинематических характеристик движения точки. Обозначается скорость латинской буквой v — первая буква латинского слова *velocitas* — скорость¹.

Скорость — векторная величина, характеризующая направление движения тела и быстроту его перемещения.

Рассматривая движение какого-либо тела, например автомобиля, самолета, космического корабля, нам известно, что скорость движения самолета больше, чем скорость автомобиля, но меньше, чем скорость космического корабля. На транспортных средствах обычно устанавливают прибор, который показывает модуль или числовое значение скорости его движения — спидометр.

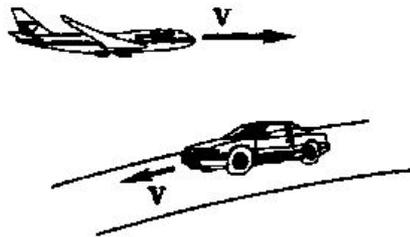


Рис. 1.11

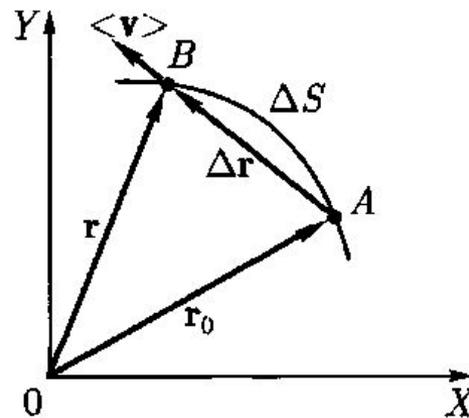


Рис. 1.12

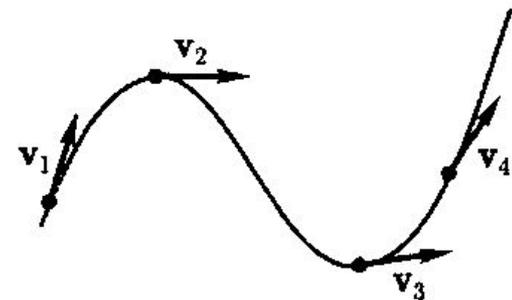


Рис. 1.13

Скорость изображают направленным отрезком прямой, длина которого в выбранном масштабе характеризует модуль скорости (рис. 1.11).

Средняя скалярная скорость. Определить, какое из тел движется быстрее, можно, например, такими способами:

- вычислить путь, который проходят движущиеся тела за один и тот же промежуток времени. Чем больше этот путь, тем быстрее движется тело и тем больше его скорость;

- вычислить время, за которое тела проходят одинаковые пути. Чем меньше это время, тем быстрее движется тело и тем больше его скорость.

Таким образом, скорость пропорциональна пути и обратно пропорциональна времени движения

$$v_s = \frac{\Delta S}{\Delta t}. \quad (1.8)$$

По формуле (1.8) определяют среднюю скалярную скорость.

Средняя скалярная скорость — физическая величина, равная отношению пути ΔS , пройденного телом за промежуток времени Δt , к длительности этого промежутка.

Средняя скалярная скорость удобна для описания движения по замкнутой траектории или по траектории, различные участки которой пересекаются.

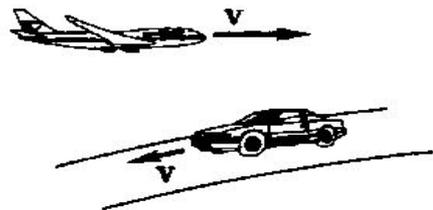


Рис. 1.11

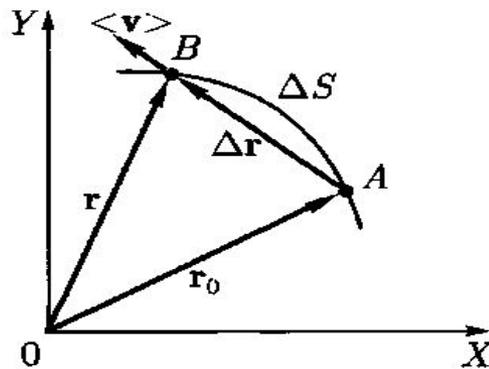


Рис. 1.12

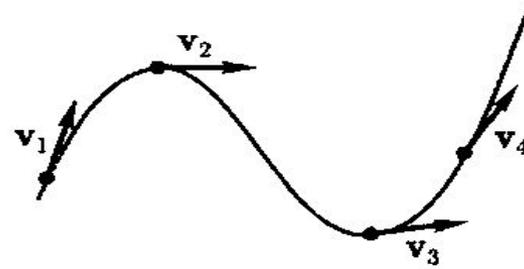


Рис. 1.13

Таблица 1.1

Объект	Скорость, м/с	Объект	Скорость, м/с
Рост человеческого волоса	$5 \cdot 10^{-9}$	Молскула в атмосфере	$5 \cdot 10^2$
Дрейфующий ледник	$3 \cdot 10^{-6}$	Луна вокруг Земли	$1 \cdot 10^3$
Муравей	$1 \cdot 10^{-2}$	Земля по орбите	$3 \cdot 10^4$
Шловец	$2 \cdot 10^0$	Солнечная система	$2 \cdot 10^5$
Сприинтер	10	в Галактике	
Звук в воздухе	$3,3 \cdot 10^2$	Электрон в атоме водорода	$2 \cdot 10^6$

Примечание. Объекты Вселенной движутся с различными скоростями. Но (!) существует фундаментальный принцип, согласно которому максимальная скорость движения материальных объектов равна скорости света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Мгновенная скорость. Средняя скорость является приблизительной характеристикой движения. Когда автомобиль разгоняется или тормозит, показания спидометра изменяются и не будут совпадать с вычисленными по формуле (1.8), поскольку спидометр показывает скорость движения автомобиля в данный момент, т. е. за бесконечно малый промежуток времени. Скорость в данный момент времени ($\Delta t \rightarrow 0$) называют **мгновенной** (v).

Пусть материальная точка движется по траектории (рис. 1.12) из положения A в положение B по дуге AB . В течение промежутка времени $\Delta t = t - t_0$ точка пройдет путь ΔS , равный длине дуги AB , и совершит перемещение

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta \mathbf{r} - \Delta \mathbf{r}_0.$$

При уменьшении промежутка времени Δt точка B будет располагаться все ближе и ближе к точке A , т. е. $\Delta \mathbf{r}$ будет уменьшаться. Если Δt будет стремиться к нулю, то модуль вектора перемещения равен пути $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta S$ и в предельном случае $\Delta \mathbf{r}$ будет направлен по касательной к траектории движения материальной точки.

Вектор мгновенной скорости направлен по касательной к траектории в направлении движения (рис. 1.13).

Равномерное прямолинейное движение

Закон равномерного прямолинейного движения. При прямолинейном движении траектория движения — прямая линия. При описании такого движения можно считать, что тело движется вдоль одной из осей координат.

Если движение прямолинейное, то модуль вектора перемещения равен пути. Пусть материальная точка движется вдоль оси X , тогда $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta S = \Delta x$ и скорость вычисляется по формуле: $v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$; если направление вектора скорости и положительное направление оси X совпадают, то Δx — положительная величина, Δt — всегда положительная величина, следовательно, скорость — величина положительная ($v_x > 0$).

Если направление вектора скорости противоположно положительному направлению оси X , то $v_x = -\frac{\Delta x}{\Delta t}$, т.е. $v_x < 0$.

При прямолинейном движении тела вектор скорости не изменяется по направлению, модуль вектора скорости с течением времени может как изменяться, так и оставаться постоянным. Если модуль скорости тела с течением времени изменяется, движение называется **неравномерным (переменным)**.

Равномерное прямолинейное движение — это движение, при котором тело перемещается с постоянной по модулю скоростью $v = \text{const}^1$.

Равномерное движение — движение, при котором тело перемещается с постоянной по модулю и направлению скоростью

$$\mathbf{v} = \text{const.} \quad (1.9)$$

Единица скорости — метр в секунду (м/с).

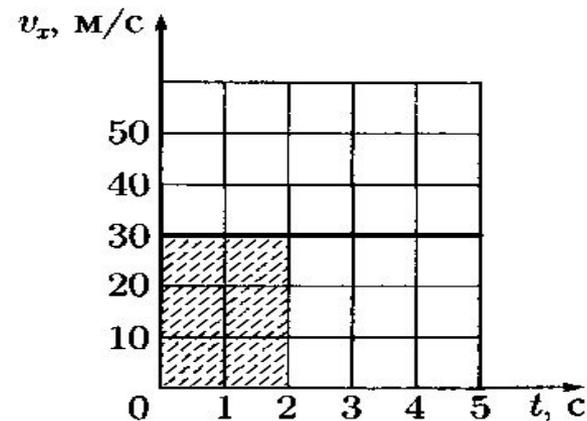


Рис. 1.14

1 м/с равен скорости прямолинейно и равномерно движущейся точки, при которой эта точка за время 1 с перемещается на 1 м.

Зависимость (1.9) можно изобразить графически. Графиком скорости равномерного движения является прямая линия, параллельная оси времени (рис. 1.14). В момент времени 1 с, 2 с и т. д. скорость движения равна 30 м/с, т. е. является постоянной.

Если тело движется равномерно вдоль положительного направления оси X и в начальный момент времени $t_0 = 0$ находилось в точке с координатой x_0 , а в произвольный момент времени t в точке с координатой x , то скорость движения равна $v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0}$ или, учитывая, что $t_0 = 0$, $v_x = \frac{x - x_0}{t}$. Отсюда следует, что

$$x = x_0 + v_x t. \quad (1.10)$$

Выражение (1.10) называют **законом равномерного прямолинейного движения**. Из этого уравнения следует, что

$$x - x_0 = v_x t.$$

Учитывая, что модуль разности координат равен пути [см. формулу (1.7)], тело движется вдоль положительного направления оси X , т. е. $|x - x_0| = x - x_0$, получим

$$\Delta S = v_x t. \quad (1.11)$$

■ При равномерном прямолинейном движении зависимость пути от времени является линейной.

Для определения координаты движущего тела в любой момент времени надо знать начальную координату x_0 и скорость v_0 .

Если начало отсчета поместить в начало координат ($x_0 = 0$), то закон равномерного прямолинейного движения будет иметь вид $x = v_x t$.

$$x = v_x t. \quad (1.12)$$

Из уравнений (1.10) и (1.12) видно, что зависимость координаты от времени линейная. Координата x со временем либо возрастает, либо убывает в зависимости от того положительная ($v > 0$) или отрицательная ($v < 0$) скорость движения.

По графику зависимости скорости v_x от времени (см. рис. 1.14) можно определить путь S , т. е. модуль разности координат движущегося тела $S = |\Delta x| = |x - x_0|$ в любой момент времени t . Путь численно равен площади под графиком зависимости скорости движения тела от времени. При прямолинейном равномерном движении путь, или модуль разности координат $|\Delta x|$, равен площади прямоугольника со сторонами v_x и t :

$$S = v_x t.$$

Например, при $t = 2$ с, $S = 30$ м/с \cdot 2 с = 60 м.

Из уравнения (1.12) можно определить скорость движения v_x , если известна координата тела x в момент времени t , а начальная координата x_0 равна нулю:

$$v_x = \frac{x}{t}. \quad (1.13)$$

График пути равномерного прямолинейного движения. Линейную зависимость пути, проходимого движущимся телом от времени, можно изобразить графически. Если по оси абсцисс откладывать время движения t , а по оси ординат — путь S , то в соответствии с формулой (1.11) графиком линейной зависимости пути от времени является прямая линия, проходящая через начало координат (при $t = 0$, $S = 0$) (рис. 1.15). Выясним, от чего зависит угол наклона прямой к оси времени — угол α . За некоторый промежуток времени t (пусть за время $t = 2$ с — на оси абсцисс этот промежуток времени изображен отрезком (OB), тело прошло путь S ($t = 2$ с соответствует $S = 20$ м — отрезок AB). Из рис. 1.15 имеем

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{OB} = \frac{S}{t} = v_x; \quad v_x = \frac{20 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 10 \text{ м/с}. \quad (1.14)$$

Таким образом, угол наклона прямой зависит от скорости движения тела. Чем больше скорость движения v_x , тем больше $\operatorname{tg} \alpha$ и, следовательно, больше α ($\alpha_2 > \alpha_1$,

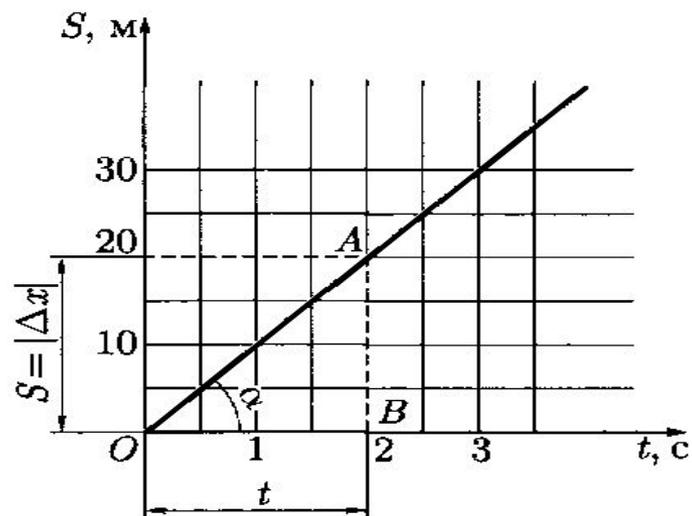


Рис. 1.15

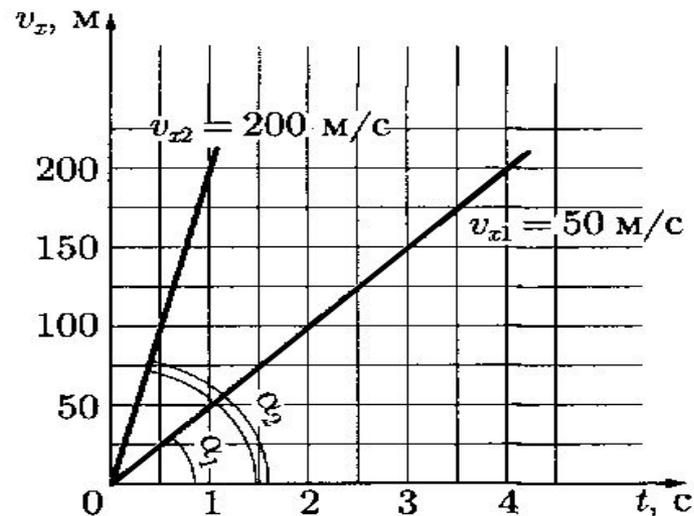


Рис. 1.16

так как $v_{x2} > v_{x1}$)¹ (рис. 1.16). Углы отсчитываются от положительного направления координатной оси (на рис. 1.16 — это ось t) против часовой стрелки.

Ускорение

Изменение скорости. Реальные тела, например автомобиль, не могут долго двигаться равномерно и прямолинейно. Нажатием педали газа водитель ускоряет движение автомобиля, т. е. скорость движения возрастает. Нажатием педали тормоза водитель замедляет движение автомобиля, т. е. скорость движения уменьшается. При движении может измениться не только модуль скорости, но и направление движения (направление скорости). Для характеристики изменения скорости с течением времени вводят еще одну характеристику движения — ускорение (a).

Ускорение (от лат. *acceleratio* — ускорение) — векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости материальной точки по модулю и направлению.

При прямолинейном равномерном движении $v = \text{const}$, т. е. скорость тела не изменяется ни по модулю, ни по направлению, поэтому $a = 0$.

При прямолинейном неравномерном движении скорость тела направлена вдоль прямой, соответствующей траектории движения, т. е. направление скорости не изменяется, а изменяется только модуль скорости. На рис. 1.17, *a*, тело движется вдоль оси X .

Модуль скорости в точке A больше модуля скорости в точке B :

$$|v_{xA}| > |v_{xB}|, \Delta v = v_{xB} - v_{xA}.$$

При криволинейном движении всегда происходит изменение скорости по направлению, так как вектор скорости направлен по касательной к траектории движения тела. С течением времени модуль вектора скорости может как не изменяться (рис. 1.17, *б*), так и изменяться (рис. 1.17, *в*). Совместив начало векторов v_0 и v , найдем их разность $\Delta v = v - v_0$, т. е. изменение скорости за промежуток времени $t - t_0$.

Ускорение — векторная физическая величина, равная отношению изменения скорости материальной точки ($\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0$) к длительности промежутка времени ($\Delta t = t - t_0$), в течение которого это изменение произошло:

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}. \quad (1.15)$$

Вектор ускорения \mathbf{a} направлен так же, как вектор изменения скорости $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0$.

На рис. 1.18, *a* изображен участок траектории движущейся материальной точки. В момент времени t_0 скорость точки \mathbf{v}_0 , а в момент времени t — \mathbf{v} . Вектор ускорения \mathbf{a} направлен так же, как и вектор изменения скорости $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0$.

В общем случае направление вектора \mathbf{a} не совпадает с направлением ни вектора \mathbf{v}_0 , ни вектора \mathbf{v} (рис. 1.18, *б*). Вектор \mathbf{a} направлен в сторону вогнутости траектории движения материальной точки (см. рис. 1.18, *a*).

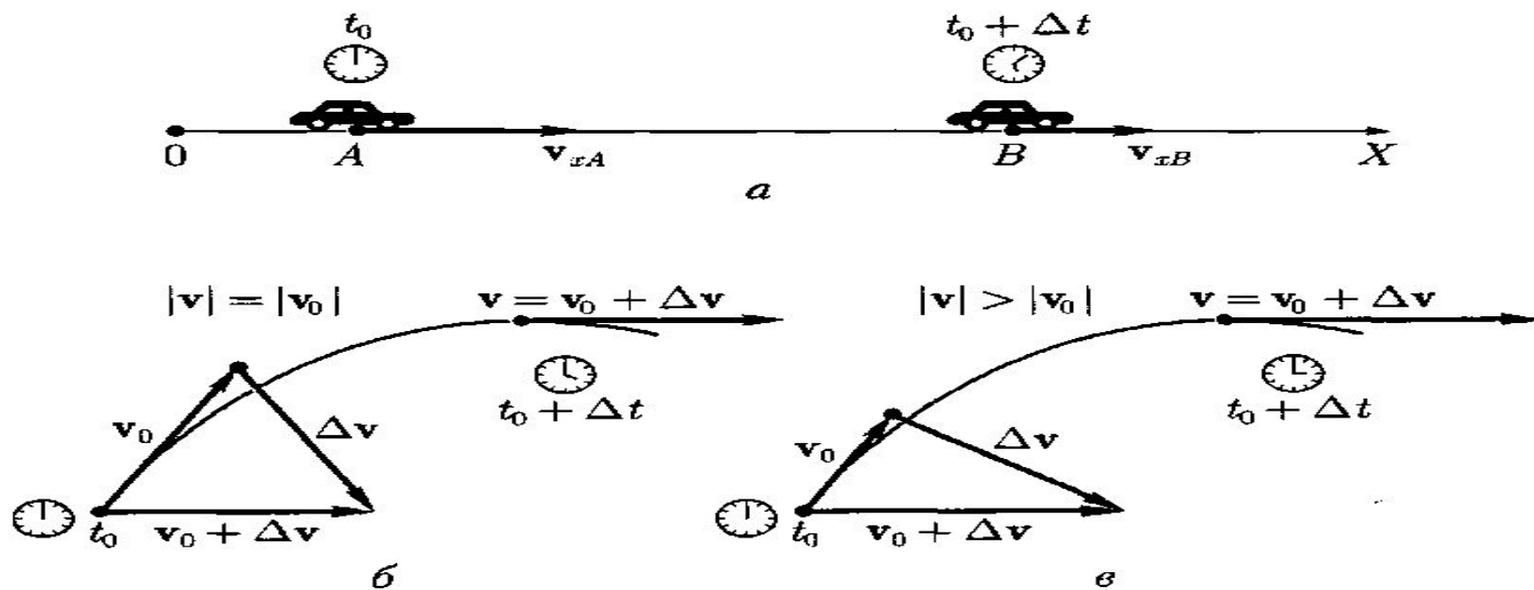


Рис. 1.17

Тангенциальное и нормальное ускорения. В общем случае при криволинейном движении вектор ускорения \mathbf{a} направлен «внутри» траектории под некоторым углом по отношению к ней (рис. 1.19). Разложим по правилу параллелограмма вектор \mathbf{a} на две составляющие. Одна составляющая \mathbf{a}_τ будет направлена вдоль касательной к траектории движения материальной точки, а другая \mathbf{a}_n — вдоль нормали к траектории, т. е. перпендикулярно касательной в данной точке траектории.

Составляющая \mathbf{a}_n вектора ускорения \mathbf{a} , направленная вдоль нормали к траектории в данной точке, называется **нормальным ускорением**. Нормальное ускорение характеризует изменение вектора скорости по направлению при криволинейном движении.

Составляющая \mathbf{a}_τ вектора ускорения \mathbf{a} , направленная вдоль касательной к траектории в данной точке, называется **тангенциальным**, или **касательным ускорением**. Тангенциальное ускорение характеризует изменение вектора скорости по модулю.

Из рис. 1.19 видно, что $\mathbf{a} = \mathbf{a}_\tau + \mathbf{a}_n$, а модули векторов $|\mathbf{a}| = a$, $|\mathbf{a}_\tau| = a_\tau$, $|\mathbf{a}_n| = a_n$ связаны между собой соотношением

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}. \quad (1.16)$$

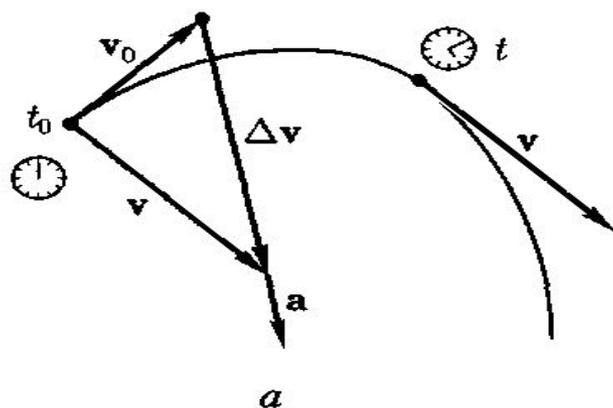


Рис. 1.18

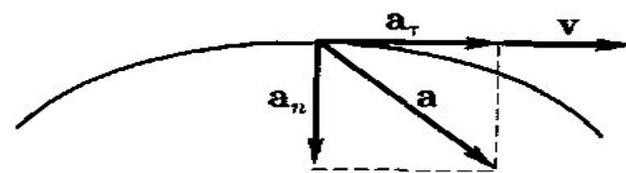
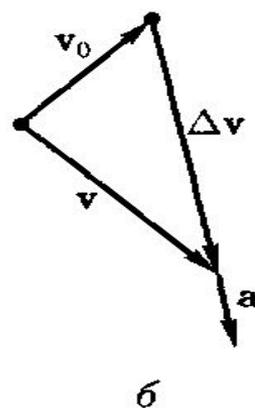


Рис. 1.19

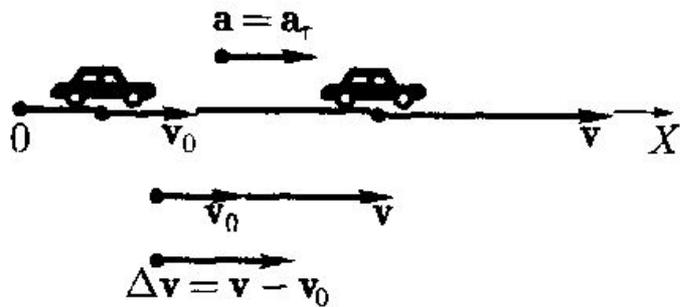


Рис. 1.20

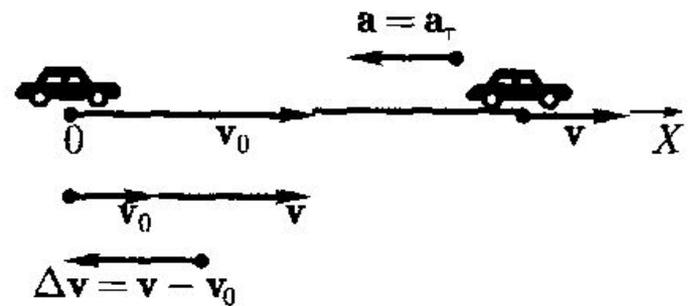


Рис. 1.21

При прямолинейном движении скорость тела изменяется только по модулю, т. е. $a_n = 0$, поэтому $a = a_\tau$. Определим направление ускорения стартующего гоночного автомобиля на прямолинейном участке траектории (рис. 1.20). Скорость v больше v_0 , т. е. автомобиль движется ускоренно. Поэтому вектор изменения скорости $\Delta v = v - v_0$ направлен вдоль направления движения, следовательно, и вектор ускорения $a = a_\tau$ направлен вдоль направления движения (направления скорости) ¹.

Определим направление ускорения при торможении автомобиля на прямолинейном участке пути (рис. 1.21). Скорость v меньше v_0 , т. е. автомобиль движется замедленно, поэтому вектор изменения скорости $\Delta v = v - v_0$ направлен противоположно направлению движения, следовательно, и вектор ускорения $a = a_\tau$ направлен противоположно направлению движения (направлению скорости).

Таким образом, векторы скорости и ускорения — коллинеарны ². При прямолинейном ускоренном движении вектор скорости v и вектор ускорения a имеют одно и то же направление (равнонаправленные): $v \uparrow \uparrow a$. При прямолинейном замедленном движении вектор скорости v и вектор ускорения a имеют противоположные направления: $v \uparrow \downarrow a$.

Равноускоренное прямолинейное движение

Равнопеременное движение — это движение, при котором ускорение остается постоянным по модулю и направлению:

$$\mathbf{a} = \text{const.} \quad (1.17)$$

Направлено ускорение \mathbf{a} вдоль траектории движения материальной точки. Нормальное ускорение равно нулю $\mathbf{a}_n = 0$. Равнопеременное движение может быть либо равноускоренным, либо равнозамедленным.

Равноускоренное прямолинейное движение — это движение, при котором ускорение постоянно по модулю и направлению, и векторы скорости и ускорения являются равнонаправленными:

$$\mathbf{a} = \text{const}; \mathbf{v} \uparrow \uparrow \mathbf{a}, \mathbf{a} > 0.$$

Единица ускорения — метр на секунду в квадрате (м/с^2 , или $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$).

1 м/с^2 равен ускорению прямолинейно и ускоренно движущейся точки, при котором за время 1 с скорость точки изменяется на 1 м/с . Учитывая (1.15), можно записать

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}, \text{ где } \Delta \mathbf{v} = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 \text{ и } \Delta t = t - t_0.$$

Следовательно,

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{v} - \mathbf{v}_0}{t - t_0}. \quad (1.18)$$

Если в момент начала отчета времени ($t_0 = 0$) известна начальная скорость \mathbf{v}_0 , то можно определить скорость \mathbf{v} в произвольный момент времени t .

Из формулы (1.18) следует, что $\mathbf{a} = \frac{\mathbf{v} - \mathbf{v}_0}{t - t_0}$ или $a = \frac{v - v_0}{t}$, отсюда имеем

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t \text{ или } v = v_0 + at. \quad (1.19)$$

Если направление движения совместить с осью X , то уравнению (1.19) будет соответствовать формула для проекции вектора скорости на эту координатную ось:

$$v_x = v_{0x} + at.$$

При равноускоренном прямолинейном движении зависимость скорости движения материальной точки от времени является линейной.

Если начальная скорость движения равна нулю ($v_0 = 0$), то уравнение (1.19) имеет вид

$$v_x = at \quad (1.20)$$

и соответственно

$$v = at. \quad (1.21)$$

Скорость тела при равноускоренном прямолинейном движении с течением времени возрастает.

График зависимости скорости от времени (рис. 1.22) — прямая, проходящая через начало координат ($t_0 = 0$; $v_0 = 0$). Угол наклона прямой зависит от ускорения движения тела: чем больше ускорение, тем больше угол наклона (на рис. 1.22, $a_2 > a_1$ и $\alpha_2 > \alpha_1$).

Закон равноускоренного прямолинейного движения. Учитывая, что модуль разности координат движущегося тела $|x - x_0| = x - x_0$ численно равен площади под графиком зависимости скорости движения тела от времени (см. рис. 1.14), определим эту разность координат, или путь. Пусть в начальный момент времени $t_0 = 0$, начальная скорость $v_0 = 0$. Разность координат Δx движущегося тела в момент времени t (рис. 1.23) численно равна площади прямоугольного треугольника OAB , катетами которого явля-

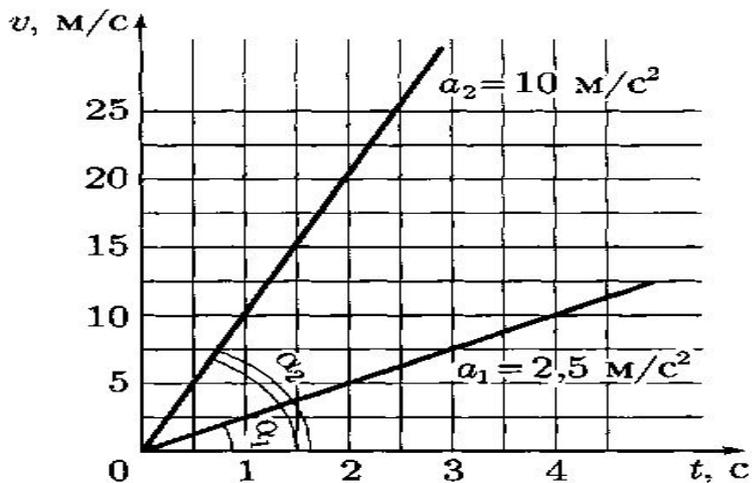


Рис. 1.22

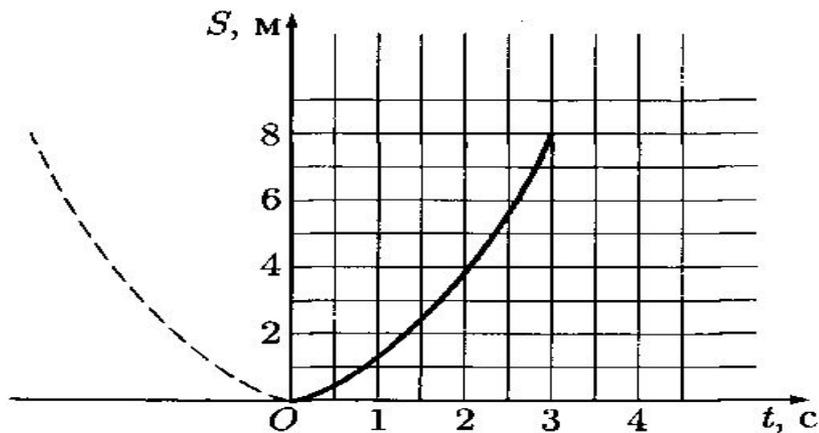


Рис. 1.24

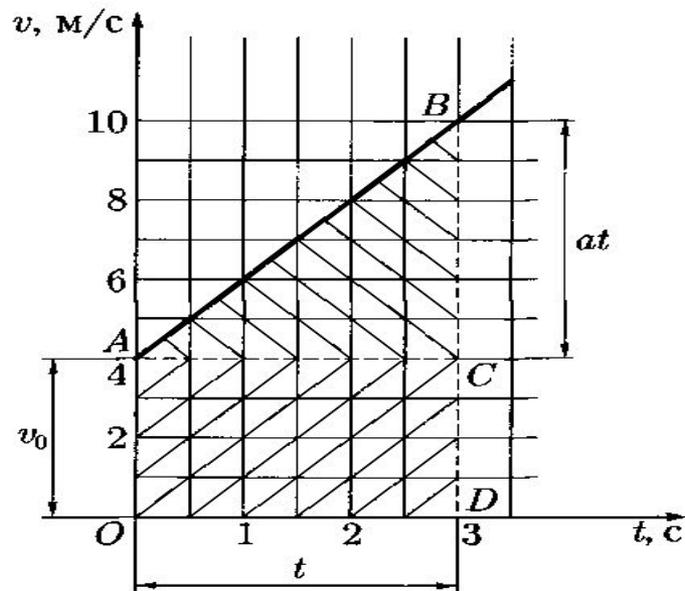


Рис. 1.25

Разность координат Δx движущегося тела в момент времени t (например, 3 с) (см. рис. 1.25) численно равна площади трапеции $OABD$, состоящей из прямоугольника $OACD$ и прямоугольного треугольника ABC . Площадь прямоугольника $OA \cdot OD = v_0 t$, площадь треугольника ABC : $\frac{BC \cdot AC}{2} = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{at^2}{2}$.

Таким образом, площадь трапеции, или Δx , составит

$$\Delta x = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Учитывая, что $\Delta x = x - x_0$, получим

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (1.25)$$

Формула (1.25) выражает **закон равноускоренного прямолинейного движения**.

Путь S при равноускоренном прямолинейном движении равен разности координат $S = \Delta x = x - x_0$ и поэтому, как следует из (1.25), определяется по формуле

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (1.26)$$

Равномерное движение по окружности

Вопросы для проверки знаний

Задачи

Динамика

Закон всемирного тяготения

Вопросы для проверки знаний

Законы сохранения импульса

Краткие выводы

Вопросы для повторения

Задачи

Задачи для решения

Механические колебания и волны

Вопросы для повторения

Вопросы для контроля

Основы молекулярно-кинетической теории

Основы термодинамики

Тепловые двигатели

Электрическое поле

Законы постоянного тока

Магнитное поле

Электромагнитная индукция

Электромагнитные колебания

Волновая оптика

Строение атома и квантовая физика

Строение атома

Строение атомного ядра

Термоядерный синтез

