

1 часть

Настоящий курс физики разработан с учетом специфики дистанционного обучения. Основная его часть – это теоретический материал, изложенный в соответствии с программой дисциплины «Физика» направления 550000. В этой части представлены основные законы физических представлений, даны выводы формул, которые позволяют глубже тот закон, который они символизируют, а также дается логическое объяснение основным физическим явлениям. Освоение теории данного курса возможно только при наличии базового школьного уровня, поэтому те студенты, которые этим уровнем не владеют, могут столкнуться с трудностями в понимании материала.

В конце каждой главы предложены контрольные вопросы, отвечать на которые необходимо, так как такие же вопросы (или подобные) будут предложены в ходе экзамена или зачета.

Важной частью освоения физики является не только понимание физических явлений, но и умение их описать, что составляет сущность задач. По каждой теме разобраны наиболее типичные задачи. После разбора этих задач с помощью текста полезно самостоятельно еще раз их прорешать.

В течение семестра каждому студенту предлагается проверить уровень своих знаний по физике с помощью практических работ, которые по каждой теме охватывают как теорию, так и задачи. Задания могут быть предложены как в тестовой форме (тогда система сразу ставит оценку), так и в форме свободного ответа, который высылается преподавателю для проверки. Количество попыток пройти тест не ограничивается, поскольку практические работы показывают, насколько хорошо студент подготовлен к контрольной работе.

Контрольная работа охватывает материал всего семестра и, как правило, назначается за 2-3 недели до зачетно-экзаменационной сессии. В плане-графике изучения физики даны даты проведения и темы контрольной работы для каждого учебного плана. Контрольная работа назначается **один** раз на период 10 дней. Если студент не уложился в предложенный срок, то ему может быть назначена контрольная работа **персонально** после сообщения на форуме. В таком случае обязательно нужно сообщить период, в течение которого преподавателю следует назначить контрольную работу.

Лабораторный практикум, предложенный в данном курсе, призван еще больше закрепить приобретенные знания. Следует помнить, что в итоге лабораторной работы, как правило, получаются физические константы или табличные величины.

Итогом изучения семестрового курса физики является зачет или экзамен, к которым допускаются студенты, у которых **ВЫПОЛНЕНА КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА** и лабораторный практикум (если он был назначен преподавателем). Очные зачетно-экзаменационные мероприятия проходят в традиционном режиме. Дистанционные зачет или экзамен могут проходить либо в тестовой форме, либо в форме билетов, которые отсылаются преподавателю на проверку.

Введение

Физика – наука о природе и о наиболее общих формах движения материи.

Физика изучает объекты окружающего нас материального мира. В основе всего живого на Земле лежат физические явления и законы. Физические явления и закономерности окружающего нас мира находят отражение в нашем сознании в виде физических понятий и законов. В основе современной физики лежит относительно небольшое количество фундаментальных законов, охватывающих в значительной степени всё многообразие экспериментальных данных.

Физика является опытной наукой, поэтому умение наблюдать физические процессы и измерять различные физические величины приобретает особое значение. Если физическое понятие соотносится с числовым значением, то оно называется физической величиной.

Измерить физическую величину – это значит, сравнить её с однородной величиной, условно принятой за единицу.

В физике в настоящее время принята международная универсальная система единиц, которая в русской транскрипции называется СИ. Международная система единиц состоит из семи основных единиц, двух дополнительных и большого числа производных единиц.

За основные, приняты следующие единицы:

Метр – длина пути, проходимого светом в вакууме за $1/299792458$ секунды.

Килограмм – единица массы – представлен массой международного прототипа килограмма.

Килограмм – единица массы – представлен массой

международного прототипа килограмма.

Секунда – время, равное 9192631770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Ампер – сила постоянного тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади поперечного сечения, расположенным на расстоянии 1м один от другого, вызвал бы силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на 1м длины проводника.

Кельвин – единица температуры, равная $1/273,16$ термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012кг.

Кандела – сила света, испускаемого с поверхности площадью $1/600000$ м² полного излучения, равной температуре затвердевания платины при давлении 101325Па.

Для образования производных единиц из основных единиц используют уравнения, определяющие связь между физическими величинами.

Точное и правильное измерение физических величин во время наблюдений и опытов даёт основание для формулировки физического закона.

Физика является фундаментальной учебной дисциплиной, которая закладывает основу для общенаучной и общетехнической подготовки будущего специалиста. Объединяя все достижения современной научно-технической мысли, физика является базой для развития передовых технологий и

производств. Ядерная энергетика, микроэлектроника, нанотехнологии, лазерная техника, сверхпроводимость и т. п. – всё это вышло из недр физических лабораторий, и определяет уровень современной цивилизации. Знание и применение физических методов исследования и законов современной физики обеспечивает создание надёжной базы для дальнейшей самостоятельной и плодотворной работы выпускников вузов в различных отраслях народного хозяйства.

Основная цель физики – это раскрыть истинное строение материи и законы её движения, создать физическую картину мира, то есть установить и объяснить законы природы, которыми объясняются все физические явления.

Основными задачами курса физики в вузе являются:

- *формирование научного мышления будущего специалиста;*
- *усвоение основных физических явлений и законов классической и современной физики, методов физического исследования;*
- *создание основ теоретической подготовки в области физики, что позволит будущим специалистам ориентироваться в потоке технической информации, способность использовать новые физические принципы в тех областях, в которых они будут работать.*

Именно на решение этих задач направлено настоящее пособие.

Основная цель настоящего учебного пособия – это оказать помощь студентам, изучающим физику в высшем техническом учебном заведении на очной, заочной и дистанционной формах обучения.

1. Кинематика материальной точки

1.1. Механическое движение

Механика изучает закономерности наиболее простых форм движения тел и причины, вызывающие эти движения.

В зависимости от характера изучаемых объектов механика подразделяется на механику материальной точки, механику твёрдого тела и механику сплошной среды.

Материальной точкой называют тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстояниями до других тел.

Одно и то же тело в одних случаях можно считать материальной точкой, а в других случаях нужно рассматривать как тело конечных размеров. Например, исследуя движение Земли вокруг Солнца, можно считать Землю материальной точкой (отношение расстояния от Земли до Солнца к диаметру Земли равно примерно 12 000). Изучая же движение искусственного спутника, Землю надо рассматривать как протяженное тело.

Всякое тело под действием приложенных к нему сил в большей или меньшей степени деформируется, т. е. изменяет свои размеры, или форму, или и то и другое. В механике под твердым телом подразумевают абсолютно твердое тело, т. е. тело, деформациями которого можно пренебречь в условиях данной задачи.

Механическая система – совокупность тел, выделенная для рассмотрения.

Если линейные размеры тел малы по сравнению с расстояниями между ними, а вращением тел вокруг осей, проходящих через них, можно пренебречь, то такую систему можно считать состоящей из материальных точек.

Число степеней свободы механической системы – это количество независимых скалярных величин, однозначно определяющих положение системы в пространстве в данный момент времени.

Так как наше пространство трехмерно, число степеней свободы материальной точки равно трем. Для системы из N материальных точек, между которыми нет жестких связей, число степеней свободы равно, естественно, $3N$. При наличии жестких связей между точками число степеней свободы уменьшается.

Так, для задания положения абсолютно твердого тела нам надо задать:

- 1) три координаты, фиксирующие положение какой-то точки этого тела в пространстве;***
- 2) два угла для определения направления оси, проходящей через выделенную точку тела;***
- 3) угол поворота тела относительно этой оси.***

Таким образом, число степеней свободы для абсолютно твердого тела равняется шести. Для каждой степени свободы системы должно быть написано

свое уравнение движения, то есть количество скалярных уравнений движения системы должно совпадать с числом ее степеней свободы.

Механика сплошной среды изучает движение и равновесие газов, жидкостей и деформируемых тел. Она рассматривает вещество как непрерывную сплошную среду, отвлекаясь от его прерывистого молекулярного строения

Классическая (неквантовая) механика подразделяется на ньютоновскую (нерелятивистскую) механику и релятивистскую механику. В основе ньютоновской механики лежат законы Ньютона. Эта механика справедлива лишь для макроскопических тел, движущихся со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света. Под макроскопическим телом подразумевается тело, образованное очень большим количеством атомов; масса такого тела во много раз превосходит массу отдельного атома.

Релятивистской называется механика, учитывающая требования специальной теории относительности (СТО). Она справедлива и при скоростях, сравнимых со скоростью света. Заметим, что согласно СТО скорости тел не могут быть больше скорости света в вакууме.

Механику подразделяют на кинематику, статику и динамику. **Кинематика** описывает движение тел, не интересуясь причинами, обусловившими это движение; **статика** рассматривает условия равновесия тел; **динамика** изучает движение тел в связи с теми причинами (взаимодействиями между телами), которые обуславливают тот или иной характер движения. Законы статики являются частным случаем законов динамики. По этой причине в курсах физики статика обычно отдельно не изучается.

Типичная задача механики: зная состояние системы (координаты и скорости) в некоторый начальный момент времени t_0 , а также законы, управляющие движением, определить состояние системы во все последующие моменты времени t . Для этого используются уравнения движения – уравнения, позволяющие определить положение материальной точки (системы) в пространстве в любой момент времени по известным начальным условиям. Опыт показывает, что знания начальных скоростей и координат системы достаточно для прослеживания ее дальнейшей судьбы. С математической точки зрения это означает, что уравнения движения не содержат более высоких производных по времени, нежели вторая (как говорят, это уравнения второго порядка).

Из определения механического движения как изменения взаимного расположения тел в пространстве следует, что, приступая к изучению движения какого-либо тела, нужно указать, по отношению к какому телу (или телам) мы рассматриваем движение данного тела. Кроме того, для измерения времени необходимо иметь часы. Роль часов может выполнять любое устройство, совершающее многократно один и тот же процесс. Совокупность неподвижных друг относительно друга тел, по отношению к которым рассматривается движение, и отсчитывающих время часов называется системой отсчета. Для того чтобы иметь возможность описывать движение количественно с телами, образующими систему отсчета, связывают какую-либо, например декартову,

систему координат. Тогда положение частицы можно определить, задав ее координаты x, y, z .

Кинематика оперирует с такими величинами, как: перемещение; путь; скорость; ускорение.

Непрерывная линия, которую описывает точка при своем движении, называется **траекторией**.

Понятие траектории является существенно классическим и теряет привычный смысл в квантовой механике. В зависимости от формы траектории различают прямолинейное движение, движение по окружности и другие виды криволинейного движения.

Положение материальной точки M в пространстве задается радиус-вектором $\vec{r}$. Поскольку мы рассматриваем движение точки в декартовых координатах, радиус-вектор зависит от времени:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) = x(t)\vec{e}_x + y(t)\vec{e}_y + z(t)\vec{e}_z \quad (1.1.1)$$

Если в какой-то момент времени t_1 положение материальной точки в пространстве было $\vec{r} = \vec{r}(t_1)$, а в момент времени t_2 стало $\vec{r} = \vec{r}(t_2)$, то говорят о перемещении материальной точки из точки 1 в точку 2 (см. рис. 1.1.1).

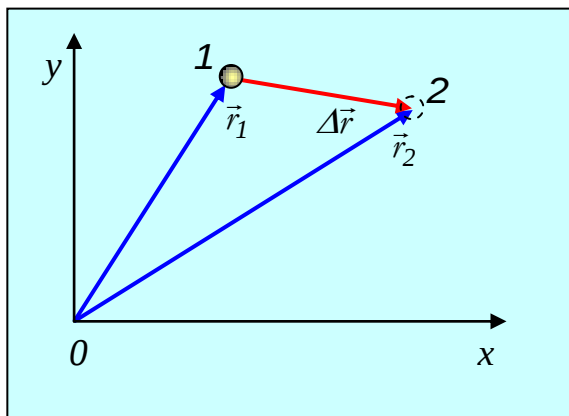


Рис. 1.1.1. Перемещение материальной точки

Перемещение – это вектор Δr , проведенный из положения точки в начальный момент времени t_1 в ее положение в последующий момент t_2 .

Из рис. 1.1.1 очевидно, что

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

От перемещения следует отличать пройденный материальной точкой путь.

Путь – скалярная физическая величина, равная длине участка траектории, пройденного точкой за рассматриваемый промежуток времени.

Путь – неотрицательная, неубывающая функция времени. Может случиться так, что перемещение равно нулю, а путь достигает значительной величины.

Рис. 1.1.2 иллюстрирует разницу между путем и перемещением.

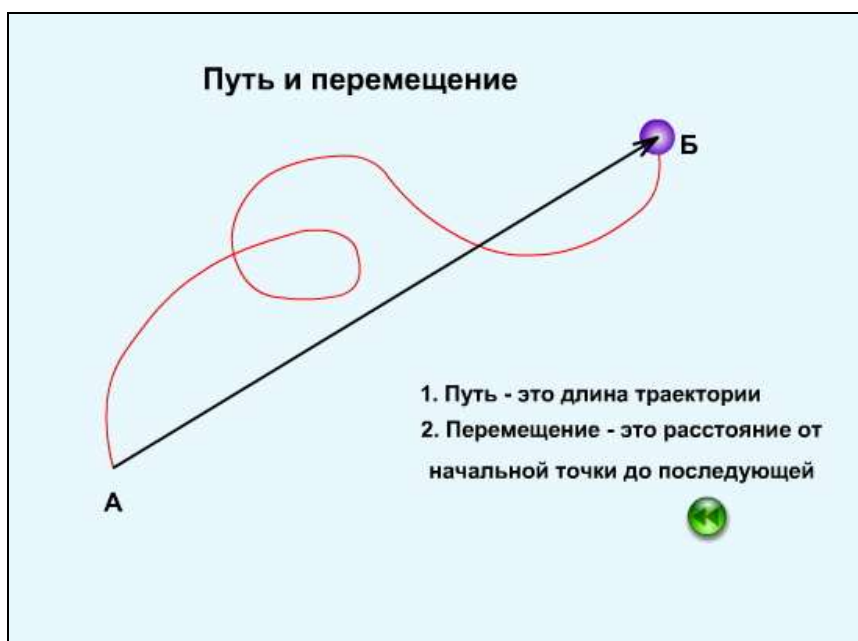


Рис. 1.1.2. Пройденный путь и вектор перемещения

1.2. Скорость

Для характеристики движения материальной точки (тела) вводится векторная величина – скорость. Пусть тело движется поступательно по криволинейной траектории, тогда вектор скорости совпадает с касательной к траектории в каждой точке (рис. 1.2.1).



Рис.1.2.1. Вектор скорости

В течение малого промежутка времени материальная точка пройдет некоторый путь. Средняя скорость движения запишется следующим образом:

$$\vec{v}_{\text{ср}} = v_{\text{ср}} = \Delta S / \Delta t \quad (1.2.1)$$

Вектор средней скорости направлен вдоль хорды, стягивающей соответствующий участок траектории движения материальной точки, т.е. направление вектора средней скорости, совпадает с направлением перемещения материальной точки.

Так как $\Delta r \leq \Delta S$, то $v_{\text{ср}} \leq \Delta S / \Delta t$.

Знак равенства в соотношении для средней скорости соответствует движению материальной точки вдоль прямолинейной траектории в одном направлении.

Если промежуток времени неограниченно уменьшить, то средняя скорость стремится к предельному значению, которое называется мгновенной скоростью:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1.2.2)$$

В физике принято производные по времени обозначать не штрихом, а точкой над буквой, обозначающей данную величину. Поэтому определение (1.2.2) можно написать в виде:

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} \quad (1.2.3)$$

Продифференцируем по времени выражение (1.1.1) для радиус-вектора, учтя, что $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ — постоянные векторы. В результате получим для скорости выражение:

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}}(t) = \dot{x}(t)\vec{e}_x + \dot{y}(t)\vec{e}_y + \dot{z}(t)\vec{e}_z \quad (1.2.4)$$

Вместе с тем скорость можно представить в виде:

$$\vec{v}(t) = v_x(t)\vec{e}_x + v_y(t)\vec{e}_y + v_z(t)\vec{e}_z \quad (1.2.5)$$

где v_x, v_y, v_z — компоненты скорости, т. е. проекции вектора $\vec{v}$ на координатные оси.

Сравнение выражений (1.2.4) и (1.2.5) приводит к соотношениям:

$$v_x = \dot{x} = \frac{dx}{dt}; v_y = \dot{y} = \frac{dy}{dt}; v_z = \dot{z} = \frac{dz}{dt}, \quad (1.2.6)$$

Таким образом, компоненты скорости равны производным соответствующих координат по времени.

При равномерном движении скорость постоянна:

$$\vec{v} = \text{const}$$

В случае неравномерного движения скорость зависит от времени:

$$\vec{v} = \vec{v}(t).$$

1.3. Ускорение

Скорость частицы v может изменяться со временем, как по величине, так и по направлению.

Быстрота изменения вектора скорости называется **ускорением**.

Как и быстрота изменения любой функции времени, ускорение определяется производной вектора v по t , то есть второй производной радиус-вектора r :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}, \quad (1.3.1)$$

Продифференцировав по времени соотношение (1.2.5), получим для ускорения выражение:

$$\vec{a} = \ddot{x}\vec{e}_x + \ddot{y}\vec{e}_y + \ddot{z}\vec{e}_z, \quad (1.3.2)$$

Вместе с тем ускорение, как и любой другой вектор, можно выразить через его компоненты по координатным осям:

$$\vec{a} = a_x \vec{e}_x + a_y \vec{e}_y + a_z \vec{e}_z,$$

Сопоставление этого выражения с (1.3.2) дает, что

$$a_x = \ddot{x} = \frac{d^2 x}{dt^2}; a_y = \ddot{y} = \frac{d^2 y}{dt^2}; a_z = \ddot{z} = \frac{d^2 z}{dt^2}, \quad (1.3.3)$$

Таким образом, компоненты ускорения равны вторым производным соответствующих координат по времени.

Представим себе материальную точку, движущуюся по некоторой криволинейной траектории $\vec{r}(t)$. Запишем скорость в виде:

$$\vec{v} = v \cdot \frac{\vec{v}}{v} = v \cdot \vec{\tau},$$

и заметим, что вектор:

$$\vec{\tau} = \frac{\vec{v}}{v},$$

— это единичный вектор, касательный к траектории и совпадающий по направлению с вектором скорости. Продифференцируем вектор скорости, записанный в данном представлении, и получим:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(v \cdot \vec{\tau})}{dt} = v \frac{d\vec{\tau}}{dt} + \vec{\tau} \frac{dv}{dt}, \quad (1.3.4)$$

Мы представили ускорение в виде двух слагаемых. Заметим, прежде всего, что слагаемые ортогональны друг другу. Действительно, поскольку вектор: $\vec{\tau}$ — единичный, то

$$\vec{\tau}^2 = 1.$$

Дифференцируя это скалярное произведение, получаем:

$$\vec{\tau} \cdot \frac{d\vec{\tau}}{dt} = 0,$$

то есть

$$\vec{\tau} \perp \frac{d\vec{\tau}}{dt},$$

по свойству скалярного произведения.

Таким образом, мы разложили ускорение на сумму двух взаимно ортогональных составляющих:

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n, \quad (1.3.5)$$

Вектор

$$\vec{a}_\tau = \frac{\vec{\tau} dv}{dt}$$

– это тангенциальное ускорение, которое характеризует быстроту изменения модуля скорости. Эта часть полного ускорения $\vec{a}$ направлена параллельно скорости.

Слагаемое

$$\vec{a}_n = v \frac{d\vec{\tau}}{dt}$$

- ортогонально вектору скорости. Оно называется **нормальным ускорением** и связано с **радиусом кривизны траектории**. Радиус кривизны является обобщением обычного радиуса окружности на произвольные криволинейные траектории. Идея обобщения состоит в том, чтобы заменить бесконечно малый кусочек траектории в данной точке на окружность, которая почти слилась бы с траекторией. Тогда радиус окружности можно назвать радиусом кривизны траектории, а центр окружности – центром кривизны. Для произвольной траектории (в отличие от окружностей) радиус кривизны и положение центра кривизны могут меняться от точки к точке (рис. 1.3.1).

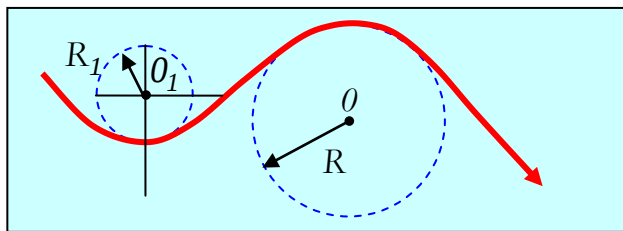


Рис. 1.3.1. Произвольная траектория

Итак, в общем случае ускорение имеет две составляющие – **тангенциальную**:

$$\vec{a}_\tau = \frac{\vec{\tau} dv}{dt} \quad (1.3.6)$$

направленную вдоль вектора v и изменяющую модуль скорости, и **нормальную**:

$$\vec{a}_n = \frac{\vec{n} v^2}{R}, \quad (1.3.7)$$

направленную перпендикулярно скорости и изменяющую направление скорости (см. рис. 1.3.2).

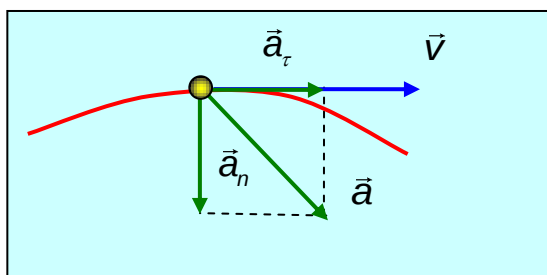


Рис. 1.3.2. Составляющие вектора ускорения

Полное ускорение:

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t,$$

определяется по правилу параллелограмма. Модуль полного ускорения в соответствии с теоремой Пифагора равен:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}. \quad (1.3.8)$$

1.4. Поступательное движение твердого тела

Движение, при котором любая прямая, связанная с движущимся телом, остается параллельной самой себе, называется **поступательным**.

Поступательное движение абсолютно твердого тела можно охарактеризовать движением какой-либо точки этого тела, так как при поступательном движении все точки тела движутся с одними и теми же скоростями и ускорениями, а траектории их движения идентичны и могут быть совмещены параллельным переносом. Определив движение какой-нибудь из точек твердого тела, мы вместе с тем определим движение всех остальных его точек. Поэтому при описании поступательного движения не возникает новых проблем по сравнению с кинематикой материальной точки. Пример поступательного движения показан на рис. 1.4.1.

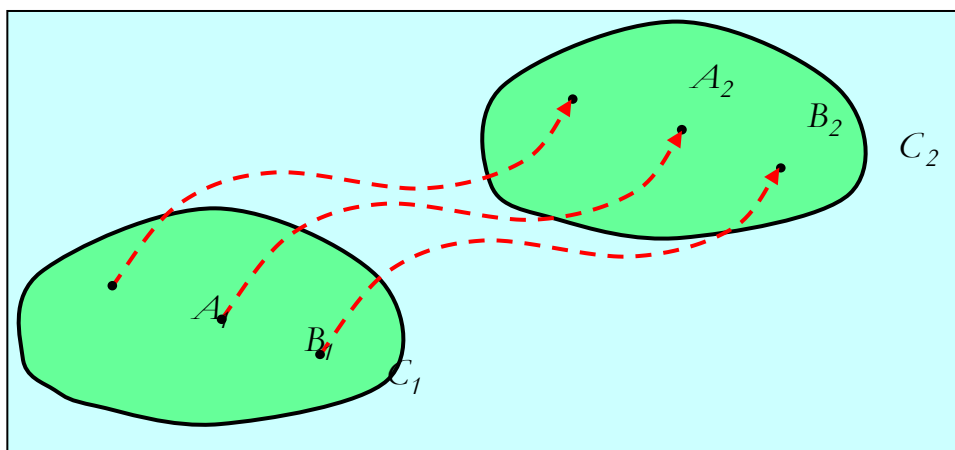


Рис.1.4.1 Поступательное движение твердого тела

Примеры решения задач

Задача 1. Компоненты скорости материальной точки определяются выражениями: $v_x = 1,0t$, $v_y = 2,0t$, $v_z = 3,0t$ (множители при t выражены в м/с^2). Найти ускорение точки и его модуль.

Дано:

$$\begin{aligned} v_x &= 1,0t \\ v_y &= 2,0t \\ v_z &= 3,0t. \end{aligned}$$

$\vec{a}$ - ? a - ?

Решение:

$$\begin{aligned} a_x &= \dot{v}_x = 1,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} & a_y &= \dot{v}_y = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \\ a_z &= \dot{v}_z = 3,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \end{aligned}$$

Вектор равен сумме произведений его компонент на орты соответствующих координатных осей:

$$\vec{a} = 1,0\vec{e}_x + 2,0\vec{e}_y + 3,0\vec{e}_z$$

Квадрат модуля вектора равен сумме квадратов его компонент. Поэтому

$$a = \sqrt{1,0^2 + 2,0^2 + 3,0^2} = 3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Задача 2. Модуль скорости материальной точки изменяется со временем по закону $v=at^2$, где $a = 1,00 \text{ м/с}^2$. Найти путь, пройденный точкой за первые 10,0 с движения.

Дано:

$$\begin{aligned} v &= at^2 \\ a &= 1,00 \text{ м/с}^2 \\ t &= 10,0 \text{ с} \end{aligned}$$

Решение:

Путь равен определенному интегралу от модуля скорости по времени:

$$s = \int_0^t v dt = \int_0^t at^2 dt = \frac{at^3}{3} = 3,3 \cdot 10^2 \text{ м}$$

S - ?

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое материальная точка?
2. Что такое абсолютно твердое тело?
3. Что такое число степеней свободы механической системы?
4. Что такое траектория?
5. Что такое перемещение?
6. Что такое путь?
7. Что такое мгновенная скорость материальной точки?
8. Что такое средняя путевая скорость?
9. Что такое ускорение материальной точки?
10. Что такое тангенциальное ускорение?
11. Что такое нормальное ускорение?
12. Тело брошено под некоторым углом к горизонту. Как направлена его скорость в высшей точке траектории?
13. Что такое поступательное движение?
14. Как связаны компоненты скорости и ускорения материальной точки с производными ее координат по времени?
15. Может ли криволинейное движение быть равномерным?
16. Чему равно скалярное произведение скорости и ускорения в случае равномерного движения по окружности?
17. Что характерно для скоростей и ускорений точек тела, движущегося поступательно?