

А. В. ФИРСОВ

ФИЗИКА

**ДЛЯ ПРОФЕССИЙ И СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
ТЕХНИЧЕСКОГО И ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО
ПРОФИЛЕЙ**

УЧЕБНИК

Под редакцией проф. Т. И. Трофимовой

Рекомендовано

Федеральным государственным учреждением

«Федеральный институт развития образования»

*в качестве учебника для использования в учебном процессе
образовательных учреждений, реализующих образовательную
программу среднего (полного) общего образования в пределах
основных профессиональных образовательных программ
НПО и СПО с учетом профиля профессионального образования*

Регистрационный номер рецензии 471

от 02 июля 2009 г. ФГУ «ФИРО»

6-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2014

УДК 53(075.32)
ББК 22.3я723
Ф627

Рецензенты:

преподаватель Московского машиностроительного техникума *Л.С.Глушецкая*;
д-р физ.-мат. наук, профессор Московского государственного университета приборостроения
и информатики *П.А.Эминов*

Фирсов А.В.

Ф627 Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей : учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / А. В. Фирсов ; под ред. Т. И. Трофимовой. — 6-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 352 с.

ISBN 978-5-4468-0635-5

Учебник содержит материал по следующим разделам программы: физика и методы научного познания, механика с элементами специальной теории относительности, молекулярная физика и термодинамика, электродинамика (включая оптику), строение атома и квантовая физика, эволюция Вселенной.

На доступном уровне изложены вопросы современной физики: основы научных представлений о природе и свойствах атома, ядерного ядра, элементарных частиц, а также космических объектов и всей Вселенной.

Для обучающихся в образовательных учреждениях начального и среднего профессионального образования.

УДК 53(075.32)
ББК 22.3я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение
любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Фирсов А.В., 2010
© Фирсов А.В., 2013, с изменениями
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2013
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2013

ISBN 978-5-4468-0635-5

Предисловие

Учебник содержит материал по всем основным разделам физики, предусмотренным учебной программой: механика с элементами теории относительности, молекулярная физика и термодинамика, электродинамика, оптика, строение атома и квантовая физика, эволюция Вселенной. Дополнительно включены некоторые вопросы общего характера, предусмотренные программой по физике для среднего (полного) общего образования базового уровня, и профессионально значимый материал.

Такое тематическое расширение разделов учебника основывается на важности этих вопросов для изучения обучающимися всего курса физики, освоения ими знаний о фундаментальных физических законах и принципах, лежащих в основе современной физической картины мира, а также о наиболее важных открытиях в области физики, оказавших определяющее влияние на развитие техники и технологии. Знание тем, включенных в данный учебник, а также методологических подходов и понятий необходимо студентам для поступления в вузы.

Курс дает возможность более подробной проработки материала тех разделов физики, которые теснее других связаны с получаемой профессией. Эти знания потребуются при выполнении лабораторных работ и при изучении специальных дисциплин. Возмож-

ность включения дополнительного материала обеспечивается за счет резерва учебного времени, предусмотренного в каждом варианте тематического планирования. В то же время некоторые темы можно изучать менее подробно или вообще опустить без ущерба для дальнейшего усвоения предмета.

Четкость и корректность определений и формулировок, ясное и логичное их изложение обеспечивают лучшее усвоение рассматриваемого материала. Математический аппарат применен в минимальных, обусловленных целесообразностью, пределах.

По всему курсу приводятся сопоставительные данные для различных физических процессов. Обширный иллюстрационный материал дает возможность наглядного представления конкретного явления. Контрольные вопросы позволяют обратить внимание на основные положения того или иного раздела, способствуют более глубокому их пониманию. Сведения, требующие повышенного внимания, выделены в тексте курсивом. Цветным курсивом даны определения, внесенные в предметный указатель.

В конце каждой главы приведены формулы для решения задач, в конце книги — справочные таблицы и предметный указатель, позволяющий быстро найти нужный материал.

Учебник предназначен для обучающихся в образовательных учреждениях начального и среднего про-

фессионального образования. Может быть использован преподавателями при подготовке конспектов, проведении контрольных опросов и тестирования, а также учащимися средней школы, абитуриентами, слушателями курсов по подготовке в вузы и курсов повышения квалификации.

Автор выражает самую искреннюю признательность профессору Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» Т. И. Трофимовой за помощь в подготовке рукописи к изданию.

Раздел I

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1

Физика и методы научного познания

§ 1. Физика — фундаментальная наука о природе

Науки, предметом изучения которых является природа, называются *естественными*. К естественным наукам относят физику, химию, биологию, а также ряд специальных дисциплин.

Физика как *фундаментальная наука о природе* изучает наиболее общие законы окружающего нас материального мира, частью которого мы являемся.

Физика определяет параметры *естественно-научного подхода* к явлениям природы, вводит базовые представления и величины, рассматривает основные методологические принципы и очерчивает круг изучаемой проблематики, являясь тем самым основой для всех естественных и технических дисциплин. На стыке физики и других естественных наук возникли новые обширные области знаний, такие как биофизика, геофизика, физическая химия и др.

От достижений физики зависит уровень технического развития

общества, хотя в процессе фундаментальных исследований в области физики невозможно предвидеть сферы применения их результатов. Все современные высокие технологии непосредственно опираются на теоретические представления современной физики, причем время от момента зарождения идеи до воплощения ее в жизнь, т. е. до производства готовой продукции стремительно сократилось и лидером оказывается тот, кто первым успевает пройти этот путь.

Компьютеры, средства транспорта и связи, нанотехнологии — эти и другие производные современных физических теорий уже изменили жизнь современного человека. Влияние физических идей на научно-технический прогресс продолжает возрастать.

Только овладев курсом физики, можно стать грамотным специалистом, поскольку физика — теоретическая основа для изучения других дисциплин, без знания которой невозможна успешная профессиональная деятельность и дальнейшее обучение.

§ 2. Физика — основа естественно-научного метода познания

Физика является экспериментальной наукой; она оперирует полученными в процессе *наблюдения и эксперимента* *опытными данными*.

Основу наблюдения и эксперимента составляют *измерения физических величин*. При этом каждую величину необходимо оценить количественно, используя универсальный *язык математики*.

Для установления определенных закономерностей между величинами, наблюдаемыми на опыте, необходимо, чтобы результаты повторялись (*воспроизводились*) при сохранении условий опыта.

Анализируя опытные данные, нужно уметь отбросить несущественные детали, т. е. создать *физическую модель* изучаемого явления. Возможна ситуация, при которой казавшиеся несущественными вначале факторы приобретут определяющее значение в дальнейшем. Но именно в этом и состоит смысл познания как бесконечного движения к истине, поскольку окружающий нас мир несравненно более сложен, чем наши представления о нем.

При проведении опытов экспериментатор должен по возможности снизить (учесть) влияние личного вмешательства в наблюдаемый процесс (*эффект наблюдателя*). Чем более точные результаты требуется получить, тем более сильным может оказаться такое влияние.

На основании результатов экспериментов выдвигаются *научные гипотезы* — обоснованные предположения, призванные служить рабочей версией при объяснении изучаемого явления. Если гипотеза не противо-

речит другим опытным данным и получила теоретическое обоснование, а также обладает предсказательной силой и выдержала проверку временем, то она становится *научной теорией*.

Цель экспериментальных наблюдений — установление *физических законов* — устойчивых объективных закономерностей, выражающих существенную количественную взаимосвязь между величинами. Необходимо помнить, что любая теория или любой закон справедливы лишь при соблюдении определенных условий эксперимента (*границы применимости*).

При развитии науки существующие теории не опровергаются, а входят составной частью в более современные общие теории (*принцип соответствия*).

§ 3. Основные элементы физической картины мира

В процессе эволюции науки формируется *физическая картина мира* — единая система взглядов на устройство мироздания, совокупность фундаментальных понятий и идей. В качестве основных элементов современной физической картины мира можно выделить представления о связи и взаимообусловленности свойств объектов материального мира — от мельчайших частиц до всей Вселенной. Такие физические понятия, как масса, энергия, сила, импульс, являются общими для всех естественных наук.

Важнейший элемент современной физической науки — представление о существовании и неразрывной взаимосвязи двух форм материи — *вещества и поля*. Представления о пространстве и времени, причинности,

законах сохранения и симметрии, строении вещества также являются основными в системе современной науки.

По мере развития человечества основные научные взгляды претерпевают существенные изменения, причем эти изменения часто носят кризисный, скачкообразный характер. Например, с античных времен не подвергавшийся сомнениям взгляд на природу времени в XX в. изменился — время уже не представляется абсолютным и неизменным, а неразрывно связано с основными характеристиками пространства.

Коренным образом изменились также представления о возникновении и эволюции Вселенной — от вечной, статичной, неизменной до расширяющейся, возникшей в результате Большого взрыва из точечного сверхплотного и сверхгорячего состояния.

Взгляд на существование вещества и поля как отдельных, независимых форм материи также подвергся критическому пересмотру. Теперь принято говорить о двойственности (дуализме) свойств материальных объектов, те или иные из которых проявляются в зависимости от того, какие измерения над ними проводятся.

Однако не следует считать, что современные взгляды являются окончательно «правильными». Мир бесконечно сложен и бесконечным является сам процесс познания. Человечество ждет впереди масса захватывающих открытий.

§ 4. Единицы физических величин

Для установления количественной взаимосвязи между наблюдаемыми величинами их необходимо *изме-*

рить, т. е. сравнить с принятыми за единицу в *данной системе единиц*.

В настоящее время обязательной, применяемой в научной и учебной литературе, является *Система интернациональная (СИ)*. В этой системе *основными единицами*, т. е. не зависящими друг от друга физическими величинами, являются следующие семь единиц.

Метр (м) — длина пути, проходимого светом в вакууме за $1/299792458$ с.

Килограмм (кг) — масса, равная массе международного прототипа килограмма (платино-иридиевого цилиндра, хранящегося в Международном бюро мер и весов в Севре, близ Парижа).

Секунда (с) — время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, которое соответствует переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Ампер (А) — сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, создает между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

Кельвин (К) — $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль (моль) — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде ^{12}C массой 0,012 кг.

Кандела (кд) — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц,

энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Также применяют две *дополнительные единицы*.

Радян (рад) — угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

Стерадян (ср) — телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, которая равна радиусу сферы.

Остальные единицы называют *производными*, они выводятся из физических законов и определений, связывающих их с основными единицами. Например, единица скорости получается из формулы $v = \frac{s}{t}$, где s — путь; t — время, и равна 1 м/с (один метр в секунду).

Название единицы — это *размерность* величины. В любой формуле размерности левой и правой частей равенства должны совпадать (*правило размерности*).



Контрольные вопросы

1. Что изучает физика?
2. Что такое опытные данные?
3. Что составляет основу наблюдения и эксперимента?
4. Что такое научная гипотеза? научная теория?
5. Определите понятие физического закона.
6. Сформулируйте ваше понимание границы применимости физической теории.
7. Что такое физическая картина мира?
8. Что значит измерить некоторую величину?
9. Сколько не зависящих друг от друга основных единиц в СИ? Перечислите их.
10. Назовите две дополнительные единицы в СИ.
11. Сформулируйте правило размерности.



Ключевые слова:

опытные данные, физическая модель, научные гипотезы, принцип соответствия, физическая картина мира, вещество, поле, основные единицы, дополнительные единицы.

Раздел II

МЕХАНИКА

Глава 2

Кинематика материальной точки

§ 5. Механика, физические модели

Механика — часть физики, в которой изучаются закономерности механического движения и причины, вызывающие или изменяющие это движение.

Механическое движение — изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

Различают механику:

- *классическую* (механика Галилея — Ньютона) — изучает законы движения макроскопических тел, скорости которых малы по сравнению со скоростью света в вакууме;

- *релятивистскую* (основана на специальной теории относительности) — рассматривает законы движения макроскопических тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света в вакууме;

- *квантовую* — описывает законы движения микроскопических тел (отдельных атомов и элементарных частиц).

Основу классической механики составляют кинематика, динамика

и законы сохранения. *Кинематика* рассматривает движение тел без учета причин, его вызывающих. *Динамика* изучает законы движения тел и причины, которые вызывают или изменяют это движение. Важнейшими *законами сохранения* являются законы сохранения энергии и количества движения (импульса).

В механике, в зависимости от условий конкретных задач, применяют различные *физические модели*, в частности материальную точку и абсолютно твердое тело.

Материальная точка — это тело, размерами и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

Отметим, что понятие материальной точки — *физическая абстракция*, однако его введение облегчает решение практических задач. Например, автомобиль при движении между двумя городами можно рассматривать как материальную точку, но когда этот автомобиль приходится мыть или ремонтировать, считать его материальной точкой нельзя.

Абсолютно твердое тело — это тело, изменением размеров и формы

которого можно пренебречь. Такое тело рассматривается как система материальных точек, расстояние между которыми не меняется.

§ 6. Вектор. Действия над векторами

В курсе физики понятие вектора играет очень важную роль. Вектором называют направленный отрезок \overline{AB} , проведенный из точки A в точку B (рис. 1).

Длину отрезка называют *модулем*, или абсолютной величиной, вектора $|\overline{AB}|$. Вектор также характеризуется направлением и точкой приложения. Вектор в большинстве случаев можно переносить параллельно самому себе.

Задавая систему координат, можно найти проекции вектора на соответствующие оси (см. рис. 1). Для этого из точек начала и конца вектора \overline{AB} нужно опустить перпендикуляры на оси координат. Полученные отрезки Δx и Δy являются проекциями вектора \overline{AB} на оси x и y . Проекция положительна, если координата точки B (конца вектора) больше координаты точки A (начала вектора) (см. рис. 1), и отрицательна, если координата конца вектора меньше координаты его начала (рис. 2).

Векторы можно складывать. Например, чтобы сложить векторы \overline{AB} и \overline{CD} (рис. 3, а), нужно перенести один из векторов (например, \overline{CD}) параллельно самому себе и приложить

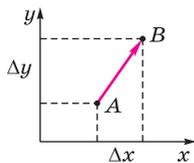


Рис. 1

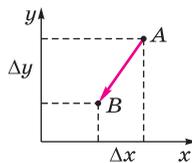


Рис. 2

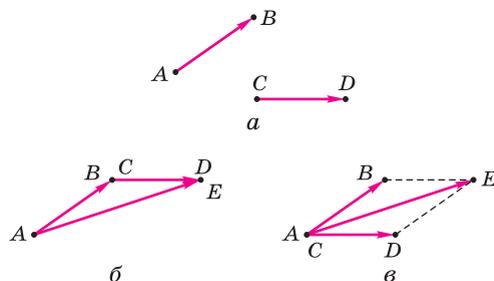


Рис. 3

его начало к концу другого вектора (\overline{AB}) (рис. 3, б). Суммой, или результирующим вектором, будет вектор \overline{AE} (точка D совпадает в этом случае с точкой E).

Результирующий вектор \overline{AE} можно также получить как диагональ параллелограмма, построенного на векторах \overline{AB} и \overline{CD} как на сторонах (рис. 3, в).

Вектор можно разложить на составляющие. Например, составляющими вектора \overline{AE} (см. рис. 3, в) будут векторы \overline{AB} и \overline{CD} , дающие в сумме исходный вектор.

§ 7. Системы отсчета. Относительность механического движения

При описании движения тела необходимо для каждого момента времени знать, в каких точках пространства оно находилось. Движение тела можно описать с помощью таблиц, графиков, а также аналитически (с помощью формул).

При описании движения тела пользуются *системой отсчета* — совокупностью тела отсчета, системы координат и связанных с ними часов.

Тело отсчета — произвольно выбранное тело (его считают неподвижным), относительно которого

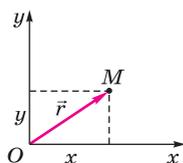


Рис. 4

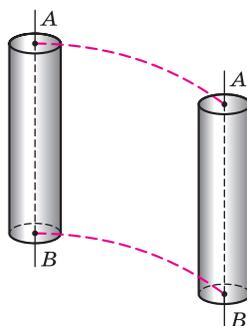


Рис. 5

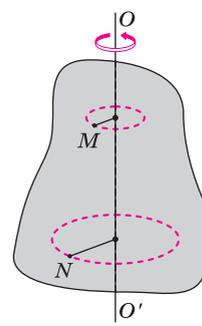


Рис. 6

определяют положение других тел. С телом отсчета связывают систему координат, простейшей из которых является декартова система координат.

Положение материальной точки M на плоскости в декартовой системе координат определяется двумя координатами x , y или радиусом-вектором \vec{r} , проведенным из начала системы координат (точка O) в рассматриваемую точку M (рис. 4). Часы в системе отсчета должны быть неподвижны относительно тела отсчета.

Единица времени в СИ — секунда (1 с) (см. § 4).

Движение тела, при котором любая прямая (AB на рис. 5), жестко связанная с телом, остается параллельной своему первоначальному положению, называют **поступательным движением**.

Поступательно, например, движется кабина лифта или кабина колеса обозрения. При поступательном движении *все точки тела движутся одинаково*.

Вращательное движение — движение, при котором все точки тела (M и N на рис. 6) движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, перпендикулярной плоскостям окружностей и называемой **осью вращения OO'** .

Различные точки твердого тела движутся с разными линейными скоростями, поэтому вращательное движение нельзя охарактеризовать движением какой-то одной точки.

Любое движение следует рассматривать относительно выбранной конкретной системы отсчета. Одно и то же движение будет восприниматься по-разному, т. е. *движение относительно*. Например, пассажир, сидящий в поезде, покоится относительно системы отсчета, связанной с поездом, движется вдоль прямой относительно системы отсчета, связанной с Землей, и имеет сложную форму движения относительно системы отсчета, связанной с самолетом, совершающим в данный момент крутой вираж. Следовательно, относительность движения — это зависимость кинематических характеристик (перемещение, скорость, ускорение) от выбора системы отсчета.

§ 8. Траектория, перемещение, длина пути

Траектория движения материальной точки — непрерывная линия, описываемая материальной точкой (телом) относительно выбранной системы отсчета.

Форма траектории зависит от начальных условий и сил, действующих на *материальную точку*. Тело, падающее свободно с небольшой высоты без начальной скорости относительно Земли, движется прямолинейно; тело, брошенное горизонтально, будет двигаться по параболе, т. е. криволинейно. Траектория зависит также от того, относительно какой системы отсчета рассматривается движение (*траектории движения одного и того же тела в разных системах отсчета различны*).

В зависимости от формы траектории различают *прямолинейное* (траектория в данной системе отсчета — прямая линия) и *криволинейное* (траектория в данной системе отсчета — некоторая кривая) *движения*.

Предположим, что материальная точка (рис. 7) в начальный момент времени t_0 находится в точке A (в выбранной системе координат ей соответствует радиус-вектор \vec{r}_0), а в момент времени $t = t_0 + \Delta t$ — в точке B (радиус-вектор \vec{r}). Согласно правилу сложения векторов

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \Delta\vec{r}, \quad (8.1)$$

где $\Delta\vec{r}$ (*перемещение* материальной точки за промежуток времени Δt) — вектор, проведенный из начального положения движущейся точки в ее положение в данный момент времени.

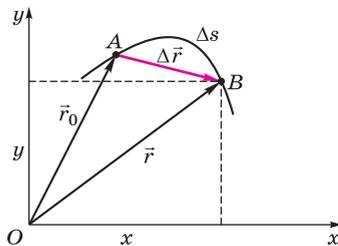


Рис. 7

Уравнение (8.1) в проекциях на оси координат можно представить в виде:

$$\begin{cases} x = x_0 + \Delta x; \\ y = y_0 + \Delta y. \end{cases} \quad (8.2)$$

Уравнение (8.1), определяющее зависимость $\vec{r}(t)$ — радиуса-вектора от времени, и эквивалентная ему система уравнений (8.2), задающая положение материальной точки в любой момент времени, представляют собой *закон движения точки* во времени и называются *кинематическими уравнениями движения для координат*.

Движение, наряду с отмеченными способами, можно описать, задавая расстояние s , пройденное телом вдоль траектории от какой-либо точки.

Длину участка траектории, пройденного *материальной* точкой от начального s_0 до конечного s положения за промежуток времени Δt , называют *длиной пути* $\Delta s = s - s_0$. Часто s_0 принимают равным нулю, тогда $\Delta s = s$. Длина пути — *скалярная функция* времени: $s = s(t)$.

Если уменьшить промежуток времени Δt (см. рис. 7), то точка B будет приближаться вдоль траектории к точке A , и при достаточно малых значениях Δt перемещение по модулю и длина пути будут совпадать.

Вообще говоря, путь Δs не совпадает с модулем перемещения $|\Delta\vec{r}|$, однако, например, для прямолинейного движения в одном направлении

$$\Delta s = |\Delta\vec{r}|.$$

В этом случае ось x направляют вдоль траектории, тогда

$$\Delta s = \Delta x.$$

Также движение можно описать, задавая зависимость пройденного

Таблица 1

Объект рассмотрения	Расстояние, м
Диаметр протона	10^{-15}
Диаметр атома водорода	$\sim 10^{-10}$
Размер бактерии	$2 \cdot 10^{-7}$
Длина волны видимого света	$(4 \div 8) \cdot 10^{-7}$
Диаметр человеческого волоса	$5 \cdot 10^{-5}$
Рост человека	2
Расстояние от центра Москвы до МКАД	$\sim 15 \cdot 10^3$
Длина земного экватора	$4 \cdot 10^7$
Суммарная длина человеческих нервов	$8 \cdot 10^8$
Среднее расстояние от Земли до Солнца	$15 \cdot 10^{10}$
Световой год	$9,5 \cdot 10^{15}$
Диаметр нашей Галактики	$\sim 10^{21}$
Расстояние до туманности Андромеды	$2 \cdot 10^{22}$
Расстояние до наиболее удаленных от Земли видимых объектов	$> 10^{25}$

пути от времени в виде таблицы или графика.

Единица длины пути в СИ — метр (1 м) (см. § 4).

В табл. 1 приведены некоторые расстояния и размеры объектов, встречающихся в природе.

§ 9. Скорость материальной точки

Пусть за некоторое время Δt_1 материальная точка перемещается по опре-

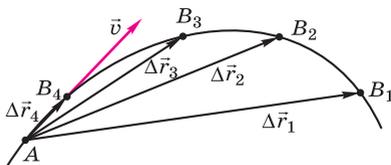


Рис. 8

деленной траектории из точки A в точку B_1 (рис. 8). При этом она совершает перемещение $\Delta \vec{r}_1$ и проходит путь Δs_1 , равный длине участка траектории. Последовательно уменьшаем величину Δt , соответственно будут уменьшаться $\Delta \vec{r}$ и Δs (см. рис. 8). Видим, что при очень малом Δt перемещение $\Delta \vec{r}$ по модулю практически совпадает с пройденным путем Δs , при этом направление перемещения $\Delta \vec{r}$ совпадает с направлением касательной.

Мгновенная скорость (скорость в данный момент времени t) — физическая величина, определяемая отношением очень малого перемещения $\Delta \vec{r}$ к очень малому промежутку времени Δt , за которое произошло это перемещение,

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}. \quad (9.1)$$

Модуль мгновенной скорости

$$|\vec{v}| = \frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Мгновенная скорость — векторная величина, с помощью которой определяется как *быстрота* движения, так и его *направление* в данный момент времени. Физический смысл мгновенной скорости — перемещение в единицу времени.

Компоненты (проекции на оси координат) вектора скорости определяются следующими уравнениями:

$$\begin{cases} v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}; \\ v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t}. \end{cases} \quad (9.2)$$

Вектор мгновенной скорости направлен по касательной к траектории в сторону перемещения.

Физическую величину, равную отношению пройденного пути Δs к промежутку времени Δt , за которое точка прошла этот путь, называют *скалярной средней скоростью* материальной точки за промежуток времени Δt :

$$\langle v \rangle = \frac{s - s_0}{t - t_0} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (9.3)$$

или, приняв $t_0 = 0$, $s_0 = 0$, можно записать

$$v = \frac{s}{t}. \quad (9.4)$$

Таблица 2

Объект рассмотрения	Скорость, м/с
Рост лишайника	$< 7 \cdot 10^{-12}$
Увеличение роста ребенка	$4 \cdot 10^{-9}$
Рост деревьев	$> 3 \cdot 10^{-8}$
Электроны в металле	10^{-3}
Снежинка	0,5 — 1,5
Сигнал в нервных окончаниях	0,5 — 120
Капли дождя	2 — 8
Ураганный ветер	40 и более
Самая быстрая птица	60
Звук (в воздухе)	330
Пуля	10^3
Космический зонд	$14 \cdot 10^3$
Земля (относительно звезд)	$3,7 \cdot 10^5$
Электрон (в телевизоре)	$1 \cdot 10^8$
Скорость света в вакууме	$3 \cdot 10^8$

Скалярная средняя скорость удобна при рассмотрении замкнутых или пересекающихся траекторий.

Единица скорости — метр в секунду (1 м/с): скорость равномерного и прямолинейного движения, при котором точка за 1 с перемещается на расстояние 1 м.

Значения скоростей некоторых объектов природы и техники приведены в табл. 2.

§ 10. Ускорение материальной точки

С помощью *ускорения* характеризуют изменение скорости движения тела как по величине, так и по направлению.

Ускорение \vec{a} — векторная величина, равная отношению изменения скорости движения $\Delta\vec{v}$ к промежутку

времени Δt , за который это изменение произошло,

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0}. \quad (10.1)$$

Направление вектора ускорения совпадает с вектором \vec{v} только в том случае, если тело движется прямолинейно.

Физический смысл ускорения — изменение скорости за единицу времени. В общем случае ускорение в любой точке направлено под углом к вектору \vec{v} .

Компоненты вектора ускорения определяются следующими уравнениями:

$$\begin{cases} a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}; \\ a_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t}. \end{cases} \quad (10.2)$$

Единица ускорения — метр на секунду в квадрате (1 м/с²): ускоре-

Таблица 3

Объект рассмотрения	Ускорение, м/с ²
Солнце (на орбите вокруг центра Млечного Пути)	$2 \cdot 10^{-10}$
Ускорение на экваторе (при вращении Земли)	$3,4 \cdot 10^{-4}$
Ускорение свободного падения на Луне	1,6
Ускорение свободного падения на Земле	9,8
Автомобиль или мотоцикл	15
Юпитер на солнечной орбите	240
Некоторые насекомые при отталкивании от Земли	$3 \cdot 10^3$
Теннисный мяч	10^5
Пуля в винтовке	$5 \cdot 10^6$
Протон (в ускорителе)	$9 \cdot 10^{13}$
Протон (в ядре)	10^{31}

ние, при котором за время 1 с скорость материальной точки изменяется на 1 м/с.

Ускорения некоторых объектов приведены в табл. 3.

§ 11. Прямолинейное равномерное движение материальной точки

Равномерное прямолинейное движение — движение с постоянной по величине и направлению скоростью ($\vec{v} = \text{const}$, $\vec{a} = 0$). Траектория движения — прямая линия.

Скорость равномерного прямолинейного движения

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (11.1)$$

совпадает по направлению с вектором перемещения и в каждой точке траектории направлена вдоль линии движения. При равномерном прямолинейном движении модуль скорости в каждый момент времени равен средней скорости

$$v = \frac{s}{t}.$$

Графиком скорости $v = v(t)$ при равномерном движении является прямая линия, параллельная оси времени (рис. 9, а). Из (11.1) следует

$$\Delta \vec{r} = \vec{v} \Delta t.$$

В проекции на совпадающую с линией движения ось x

$$x - x_0 = vt, \quad (11.2)$$

где x , x_0 — соответственно координаты точки в данный t и начальный $t_0 = 0$ моменты времени. Таким образом, *кинематические уравнения для координаты:*

$$x = x_0 + vt, \quad (11.3)$$

и для длины пройденного пути:

$$s = s_0 + vt,$$

или

$$s = vt.$$

Графики зависимости координат точки от времени для двух случаев: начало координат совпадает ($x_0 = 0$, $v > 0$) и не совпадает ($x_0 \neq 0$, $v > 0$) с точкой начала движения, приведены на рис. 9, б, в соответственно.

Проекция скорости положительна, если направление скорости совпадает с направлением выбранной оси x .

Из рис. 9, б, в также следует, что тангенс угла наклона прямой $x(t)$ к оси x равен скорости движения

$$\text{tg } \alpha = \frac{x - x_0}{t - t_0} = v.$$

По графику скорости (рис. 9, з) можно определить пройденный материальной точкой путь за промежуток времени от t_1 до t_2 : он равен площади выделенного на рисунке прямоугольника

$$s = v(t_2 - t_1). \quad (11.4)$$

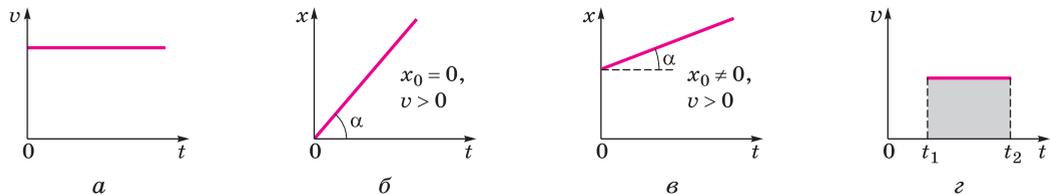


Рис. 9