

В. Ф. ДМИТРИЕВА

ФИЗИКА

*Допущено
Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов
образовательных учреждений
среднего профессионального образования*

16-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 53 (075.32)
ББК 22.3 я723
Д53

Рецензенты:
заслуженный учитель России *С.Д. Коробов*;
зав. кафедрой Российского химико-технологического университета
им. Д. И. Менделеева д-р физ.-мат. наук, проф. *В.М. Аристов*

Дмитриева В. Ф.

Д53 Физика : учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования — 16-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 464 с.
ISBN 978-5-7695-9466-3

Учебник содержит теоретический материал в объеме курса физики, изучаемого студентами средних профессиональных учебных заведений, а также задачи с решениями и для самостоятельной работы. В конце каждой главы даны краткие выводы, вопросы для самоконтроля и повторения.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по специальностям технического профиля.

УДК 53 (075.32)
ББК 22.3 я723

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

ISBN 978-5-7695-9466-3

© Дмитриева В. Ф., 2006
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная физика имеет фундаментальное значение для теории познания, формирования научного мировоззрения, понимания строения и свойств окружающего нас мира.

Физика оказывает большое влияние на другие науки и различные области техники, поэтому ее изучение создает базу для профессиональной подготовки студентов средних профессиональных учебных заведений. Для решения вопросов экономического и социального развития необходимы современные знания, поэтому в соответствующих разделах и темах курса студенты знакомятся с задачами и перспективами развития науки и техники.

В учебнике разъясняется смысл физических законов, понятий и явлений, раскрывающих физическую картину мира во всем ее многообразии. При изложении материала в книге отражены основные этапы сложного исторического развития современной физики.

В конце каждой главы даны краткие выводы по излагаемой теме, а также вопросы для самоконтроля и повторения. Наряду с теоретическим материалом в книгу включены примеры решения задач, а также задачи для самостоятельной работы, что позволит исключить формальное усвоение учебного материала и научить студентов применять его для практических целей. Для облегчения работы над книгой параграфы, там, где это целесообразно, разбиты на небольшие части.

Книга будет полезна студентам средних профессиональных учебных заведений как при изучении курса физики, так и при подготовке к экзаменам в высшие учебные заведения.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Физика — наука о природе. Величайший мыслитель древности Аристотель (384 – 322 до н.э.) в смысл слова «физика» (от греч. — природа) вкладывал совокупность сведений о природе, т.е. все, что было известно о земных и небесных явлениях. В русский язык термин «физика» был введен великим ученым-энциклопедистом, основоположником материалистической философии в России М.В.Ломоносовым (1711 – 1765).

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. Из этого следует, что резкую границу между физикой и другими естественными науками установить довольно сложно, чем и обусловлена органическая связь физики с другими естественными науками.

Процесс длительного изучения явлений природы привел ученых к идее о материальности окружающего нас 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.

Все материальные объекты (тела) не остаются неизменными. С течением времени изменяются их взаимное положение, форма, размеры, агрегатное состояние, физические и химические свойства и т.д.

Движение охватывает все происходящие во Вселенной изменения и процессы, начиная от простого перемещения и кончая мышлением. Физика изучает наиболее общие формы движения материи и их взаимные превращения, такие, как механические, молекулярно-тепловые, электромагнитные, атомные и ядерные. 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). Все явления природы происходят в определенной последовательности и имеют конечную продолжительность. *Время* определяет последовательность явлений природы и их относительную продолжительность. Следо-

* Известно, что материя существует не только в виде физических тел, но и в виде полей, например электромагнитного, гравитационного.

вательно, 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. Качественно различные физические формы движения материи способны превращаться друг в друга, но сама материя неуничтожима и несотворима. К такому выводу пришли еще античные философы-материалисты. Итак,

физика — наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи и законы ее движения.

Физика — основа естествознания. Физика относится к точным наукам и изучает количественные закономерности явлений. Она является наукой экспериментальной. Многие ее законы базируются на фактах, установленных опытным путем. Факты остаются, а истолкование их иногда меняется в ходе исторического развития науки, в процессе все более глубокого понимания основных законов природы.

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 — науки о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между ними. В то время законы Ньютона 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 и легло 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 существуют и другие типы взаимодействия. Первая половина XX в.

ознаменовалась интенсивными исследованиями 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, исследования 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. Таким образом, учение о строении материи в настоящее время является атомистическим, квантовым, релятивистским, в нем применяются статистические представления.

Физика и техника. Техника — совокупность всех средств и устройств, созданных человеком, содействующая более высокой производительности труда, опирается на фундаментальные открытия всех наук, в частности естествознания. Когда физики открывали какое-нибудь явление и могли управлять им, сразу же появлялись специалисты, в задачу которых входило практическое использование приобретенных сведений. Так появились отдельные отрасли техники (теплотехника, электротехника, радиотехника, электроника, ядерная техника и др.).

Наиболее бурный прогресс техники, связанный с развитием физики, происходит с конца XVIII в., когда на алтайских заводах гениальный русский механик И. И. Ползунов (1728 – 1766) построил пароатмосферную машину непрерывного действия. Универсальный паровой двигатель был создан английским изобретателем Д. Уаттом (1736 – 1819). Паровые машины работали на многих заводах и фабриках, приводили в движение колеса пароходов, создавались первые паровозы. Наступала эпоха пара. Из физики выделилась новая наука — термодинамика.

Конец XVIII и начало XIX в. ознаменовались множеством открытий в области изучения электромагнитных явлений. Большое значение для развития техники имело открытие итальянскими учеными Л. Гальвани (1737 – 1798) и А. Вольта (1745 – 1827) электрического тока и создание гальванических батарей. В. В. Петровым (1761 – 1834) была открыта и исследована электрическая дуга. В 1889 г. немецким физиком Г. Р. Герцем (1857 – 1894) экспериментально были обнаружены электромагнитные волны, а в 1895 г. А. С. Попов (1859 – 1906) впервые использовал электромагнитные волны для беспроволочной связи. Наступил век электричества. Из физики выделились электротехника, радиотехника и другие науки.

Со второй четверти XX в. происходит дальнейшее революционное преобразование физики, связанное с познанием структуры атомного ядра и происходящих в нем процессов. Важнейшим результатом этого этапа явилось открытие деления атомного ядра. В 1939 – 1945 гг. была впервые освобождена ядерная энергия с помощью цепной реакции деления $^{235}_{92}\text{U}$. В 1954 г. в СССР была построена первая атомная электростанция (г. Обнинск). В 1952 г. была осуществлена реакция термоядерного синтеза. В настоящее время созданы атомные ледоколы и подводные лодки, дают ток атомные электростанции.

Под руководством С. П. Королева (1906 – 1966) 4 октября 1957 г. был запущен первый искусственный спутник Земли, а 12 апреля 1961 г. Ю. А. Гагарин на корабле «Восток» совершил первый в мире космический полет. Началась эпоха освоения космоса, человек вышел за пределы Земли.

Теории и методы физики широко используются в астрономии, химии, биологии, геологии и других естественных науках. Теория относительности и квантовая механика объяснили ряд явлений во Вселенной. Метод меченых атомов применяется для изучения химических реакций. Молекулярная и атомная физика входит в различные области биологической науки и т. д. Широко применяются достижения физики в радиоэлектронике, ядерной энергетике, ракетной и полупроводниковой технике, автоматике и телемеханике, вычислительной и контрольно-измерительной технике.

Физические понятия являются простейшими и в то же время основополагающими и всеобщими в естествознании (пространство, время, движение, масса, работа, энергия и др.). Физические законы (такие, например, как законы сохранения), выводы, следствия из физических теорий имеют глубокий философский смысл.

Единицы физических величин. Единицу любой физической величины, вообще говоря, можно установить произвольно. Но если единицы всех физических величин установить независимо друг от друга, то в формулах, связывающих различные физические величины, появится много переводных коэффициентов, что усложнит как сами формулы, так и вычисления. К. Гаусс показал, что для построения системы единиц физических величин достаточно выбрать несколько независимых друг от друга единиц. Эти единицы называют *основными*. Единицы физических величин, которые определяются по уравнениям с помощью основных единиц, называют *производными*.

| Совокупность основных и производных единиц называют системой единиц.

При выборе основных единиц необходимо учитывать следующее.

1. Определения основных теоретических единиц должны охватывать физическую сущность каждой из них, не допуская различных толкований.
2. Основные теоретические единицы должны быть установлены так, чтобы было возможно с большой точностью изготовить эталоны и образцовые практические меры.

В зависимости от того, какие физические величины выбраны в качестве основных и какие единицы установлены для их измерения, могут быть образованы те или иные системы единиц.

Многие государства, основываясь на исторически сложившихся в них единицах, создали свои системы единиц, что привело к серьезным затруднениям в международной торговле, в обмене новостями в области науки и техники.

Вопрос о создании универсальной системы единиц обсуждался на IX (1948 г.), X (1954 г.), XI (октябрь 1960 г.) Генеральных конференциях по мерам и весам (ГКМВ). На XI ГКМВ было принято решение об установлении для международных сношений практической системы единиц, получившей сокращенное международное наименование *SI*, в русской транскрипции СИ. Эта система была уточнена на последующих XII – XV ГКМВ.

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 $1/299792458$ с.

Килограмм — единица массы — представлен массой международного прототипа килограмма.

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

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

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 $0,012$ кг.

Кандела — сила света, испускаемого с поверхности площадью $1/600\,000$ м² полного излучателя в перпендикулярном направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении $101\,325$ Па.

Для образования производных единиц из основных используют определяющие уравнения связи между величинами. Численные коэффициенты в них полагают равными 1 , а величины выражают в основных единицах СИ. Некоторые производные единицы, получившие специальные наименования, могут быть использованы для образования других производных единиц СИ. Сокращенные обозначения единиц, получивших наименование в честь ученых, пишутся с прописной буквы.

Специальные наименования, присвоенные ГКМВ, обязательны к применению. Так, например, для работы и энергии следует применять единицу джоуль (Дж), а не ньютон-метр (Н·м), хотя $1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Дж}$.

Для образования десятичных и дольных единиц используют множители и приставки (табл. 1).

Измерения физических величин. Физика является опытной наукой, поэтому умение наблюдать физические процессы и измерять различные физические величины приобретает особое значение.

Все изменения, происходящие в физических явлениях, оцениваются количественно посредством измерений.

Таблица 1

| Множитель | Приставка | Обозначение приставки | Множитель | Приставка | Обозначение приставки |
|-----------|-----------|-----------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 10^{18} | экса | Э | 10^{-1} | деци | д |
| 10^{15} | пета | П | 10^{-2} | санتي | с |
| 10^{12} | тера | Т | 10^{-3} | милли | м |
| 10^9 | гига | Г | 10^{-6} | микро | мк |
| 10^6 | мега | М | 10^{-9} | нано | н |
| 10^3 | кило | к | 10^{-12} | пико | п |
| 10^2 | гекто | г | 10^{-15} | фемто | ф |
| 10^1 | дека | да | 10^{-18} | атто | а |

Измерить величину — значит сравнить ее с однородной величиной, условно принятой за единицу измерения.

Основной задачей физического опыта является определение численных значений физических величин и установление количественных зависимостей между ними. Процесс выполнения опыта состоит из измерений величин и обработки результатов измерения. Измерения классифицируют по признакам:

прямые измерения, при которых числовое значение измеряемой величины получают либо прямым сравнением с мерой (например, длины, массы), либо с помощью приборов, градуированных в единицах измеряемой величины (например, сила тока, освещенность);

косвенные измерения, при которых определяют некоторые величины, связанные известной закономерностью с измеряемой величиной. Например, для определения скорости измеряют путь s и время t прохождения этого пути, затем вычисляют скорость $v = s/t$.

Измерения физических величин принципиально не могут быть абсолютно точными. Точность результатов измерений зависит от точности приборов и точности метода измерения. Утверждение, что данная длина измерена с точностью до 0,1 мм, означает, что измеренное значение отличается от истинного меньше чем на 0,1 мм. Обычно точность прибора определяется ценой его наименьшего деления.

При всех измерениях из-за несовершенства измерительных приборов мы получаем лишь приближенные результаты. Следовательно, результаты измерений содержат некоторые погрешности. Погрешности измерений бывают трех видов: систематические, случайные и промахи.

Систематические погрешности вызываются в основном неисправностью прибора, ошибочностью метода измерения или постоянным односторонним внешним воздействием. Исключение этих погрешностей достигается тщательной проверкой приборов, совершенствованием метода измерения и внесением необходимых поправок в результаты измерений.

Случайные погрешности вызываются главным образом той неточностью, которой неизбежно сопровождается наблюдение показаний приборов, а также неточностью отсчетов, которую произвольно может внести всякий экспериментатор. Случайные погрешности одинаково возможны как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения значения измеряемой величины. Исключить их при измерении невозможно. Уменьшение влияния случайных погрешностей на результаты измерения достигается повторными измерениями.

Промахи (или **грубые погрешности**) обуславливаются небрежностью отсчета по прибору, неправильным включением прибора или другими нарушениями условий измерения. На грубую погрешность в отдельном измерении указывает резкое отличие его результатов от наметившейся в ряду измерений закономерности. При вычислении измеряемых величин такие ошибочные данные следует отбрасывать и проводить повторное (контрольное) измерение.

Чтобы оценить погрешность результата, пользуются следующими упрощенными методами вычисления погрешностей.

1. Если $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ — результаты отдельных измерений величины x , то **средний результат** равен их сумме, деленной на число измерений:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{n}. \quad (1)$$

2. Разность между результатом отдельного измерения и средним результатом, взятую по модулю, называют *абсолютной погрешностью отдельного измерения*:

$$\Delta N_i = |N_i - N|. \quad (2)$$

3. *Средняя абсолютная погрешность* определяется аналогично среднему результату:

$$\Delta N = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3 + \dots + \Delta N_n}{n}. \quad (3)$$

4. *Относительная погрешность* равна отношению средней абсолютной погрешности к среднему результату:

$$\varepsilon = \frac{\Delta N}{N} \text{ или } \varepsilon = \frac{\Delta N}{N} 100\%. \quad (4)$$

5. Окончательный результат представлен равенством

$$x = N \pm \Delta N. \quad (5)$$

Такая запись означает, что значение x находится между $N - \Delta N$ и $N + \Delta N$. Нельзя считать, что x имеет значения $N - \Delta N$ и $N + \Delta N$.

Необходимо отметить, что по своему физическому смыслу абсолютная погрешность не может быть меньше половины цены деления данного прибора. Например, длина измеряется штангенциркулем с ценой деления 0,1 мм. В этом случае абсолютная погрешность не может быть меньше 0,05 мм.

В тех случаях, когда результат вычисляется по формуле, в которую входят найденные измерением величины, абсолютную и относительную погрешности находят по правилам дифференциального исчисления.

Физика и астрономия. Известные на сегодня четыре типа взаимодействий лежат в основе всех сил и всех взаимодействий во Вселенной. Если теории элементарных частиц и их взаимодействий являются действительно фундаментальными, то они должны объяснять явления не только микромира, но и макромира, поэтому поведение звезд и галактик должно описываться теми же физическими законами, что и поведение элементарных частиц. Строение звезд и галактик объясняется с помощью основных законов физики. Звезда рождается в процессе гравитационного сжатия газово-пылевого облака. Основным источником излучаемой звездной энергии является термоядерная реакция превращения водорода в гелий.

Особое место в астрономии занимает вопрос о происхождении и строении Солнечной системы. Большую роль в решении этого вопроса играют космические исследования.

При помощи космических исследований было установлено, что в окрестностях Луны отсутствуют существенные магнитные и радиационные поля, в межпланетном пространстве были зарегистрированы потоки заряженных частиц. Станция «Луна-3» сфотографировала и передала на Землю фототелевизионное изображение невидимой стороны Луны. Крупное событие в изучении Луны произошло в 1969 г., когда экипаж американских астронавтов достиг поверхности Луны, собрал образцы лунного грунта, сфотографировал поверхность Луны. Исследования грунта, доставленного из района Моря Изобилия автоматической станцией «Луна-16», показали, что он содержит около 700 химических элементов

и изотопов и что возраст Луны составляет около 4,6 млрд лет, т.е. Луна и Земля образовались примерно в одно время.

Изучение грунта Луны, определение ее возраста очень важны для решения космогонических проблем*. Космические межпланетные станции помогли изучить свойства околоземного космического пространства; так были открыты околоземные пояса радиации, изменилось представление о магнитном поле Земли. Было установлено, что возникновение полярных сияний связано с явлениями, происходящими на Солнце.

Небесная сфера и ее элементы. Невооруженным глазом видно на небе большое количество звезд. Их так много, что, кажется, не сосчитать, однако звезд, которые видны невооруженным глазом, около трех тысяч.

| Звезды различны по яркости, или, как говорят астрономы, по блеску.

Наиболее яркие назвали звездами 1-й звездной величины (звездная величина характеризует не размеры, а только блеск звезд). Звезды, которые в 2,5 раза (точнее, 2,512) слабее по блеску звезд 1-й величины, называют звездами 2-й звездной величины и т.д. Самые слабые по блеску из доступных невооруженному глазу — это звезды 6-й звездной величины. Они слабее звезд 1-й звездной величины в 100 раз.

Всего на небе 22 звезды 1-й звездной величины, но блеск их не одинаков: одни из них несколько ярче 1-й величины, другие слабее. Так же обстоит дело со звездами 2-й, 3-й и последующих величин, поэтому для точного определения блеска той или иной звезды приходится прибегать к дробям.

Самая яркая звезда северного полушария неба Вега имеет блеск 0,14 звездной величины, а самая яркая звезда всего неба Сириус — минус 1,58 звездной величины, Солнце — минус 26,8.

| Звезды различаются не только по блеску, но и по цвету.

Они могут быть белыми, желтыми, красными. Чем краснее звезда, тем она холоднее. Солнце относится к желтым звездам.

Еще в древности наблюдатели для облегчения ориентировки на небе объединили близкие друг к другу звезды в созвездия, каждое из которых характеризуется своеобразным узором входящих в него звезд. В настоящее время небо разделено на 88 созвездий. На рис. В.1 изображены созвездия в окрестности Полярной звезды. *Под созвездием понимают всю область неба в пределах некоторых установленных границ.*

| Звезды движутся в мировом пространстве.

Перемещение звезд на небе незаметно для нас, поскольку они находятся на огромных расстояниях. Люди из поколения в поколение видят одни и те же созвездия — взаимное положение звезд в них остается почти неизменным. Они дали этим созвездиям названия, сохранившиеся до наших дней: Большая Медведица, Малая Медведица, Лира, Лебедь, Телец, Орион, Большой Пес и др.

В каждом созвездии яркие звезды обычно обозначаются буквой греческого алфавита. Например, Полярная звезда — альфа Малой Медведицы. Наиболее яркие звезды называют собственными именами: Сириус, Вега, Альтаир и др.

* Космогония — раздел астрономии, изучающий происхождение и развитие небесных тел и их систем.

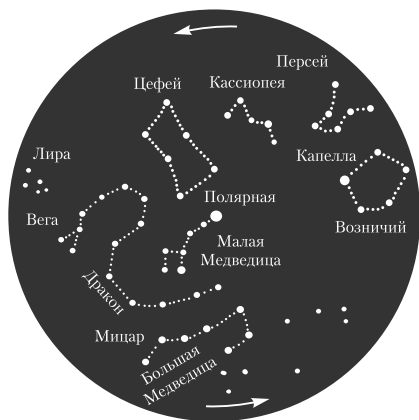


Рис. В.1

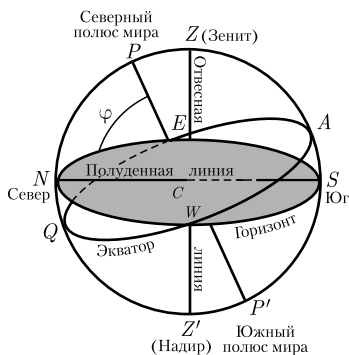


Рис. В.2

Все небесные светила кажутся одинаково далекими от нас, хотя истинные расстояния до звезд различны. Для глаза это различие в расстояниях совершенно незаметно. Поэтому удобно рассматривать звезды условно как бы находящимися на внутренней поверхности шара произвольного радиуса, в центре которого находится глаз наблюдателя. *Под **небесной сферой** понимают воображаемую шаровую поверхность произвольного радиуса, на которую мы проецируем положение небесных светил.* Понятием небесной сферы пользуются для угловых измерений на небе, для удобства рассуждений о простейших видимых небесных явлениях, для различных расчетов, например вычисления времени восхода и захода светил.

Отвесная линия ZZ' (рис. В.2), проходящая через глаз наблюдателя (точка C), находящегося в центре небесной сферы, пересекает небесную сферу в точках Z — *зенит*, Z' — *надир* (противоположная зениту точка небесной сферы).

Зенит — это наивысшая точка над головой наблюдателя.

*Плоскость, перпендикулярная отвесной линии, называется **горизонтальной плоскостью**.*

Математическим горизонтом называется линия пересечения небесной сферы с горизонтальной плоскостью, проходящей через центр небесной сферы.

Двигаются ли звезды по небосводу? Оказывается, движутся все и притом одновременно. В этом легко убедиться наблюдая звездное небо (ориентируясь по определенным предметам). Но есть и такая звезда, передвижение которой в течение всей ночи почти незаметно. Эту звезду называли Полярной. Она в течение суток описывает окружность малого радиуса и всегда видна почти на одной и той же высоте над горизонтом в северной стороне неба. Звезды в течение суток описывают тем большие окружности, чем дальше от Полярной звезды они находятся. *Ось суточного вращения небесной сферы называют **осью мира** (PP').* Вращение неба вокруг Земли — явление кажущееся. Оно объясняется вращением Земли. *Точки пересечения небесной сферы с осью мира называют **полюсами мира** (точка P — северный полюс мира, точка P' — южный полюс мира).*

Полярная звезда расположена вблизи северного полюса мира. Когда мы смотрим на Полярную звезду, точнее, на неподвижную точку — северный полюс мира, направление нашего взгляда совпадает с осью мира. Южный полюс мира находится в южном полушарии небесной сферы.

Плоскость $EAWQ$, перпендикулярная оси мира PP' и проходящая через центр небесной сферы, называется **плоскостью небесного экватора**, а линия пересечения ее с небесной сферой — **небесным экватором**. Небесный экватор делит небесную сферу на два полушария: северное и южное.

Ось мира, полюсы мира и небесный экватор аналогичны оси, полюсам и экватору Земли, так как перечисленные названия связаны с видимым вращением небесной сферы, а оно является следствием действительного вращения земного шара.

Плоскость, проходящая через точку зенита Z , центр C небесной сферы и полюс P мира, называют **плоскостью небесного меридиана**, а линия пересечения ее с небесной сферой образует **линию небесного меридиана**.

В любом месте Земли плоскость небесного меридиана совпадает с плоскостью географического меридиана этого места.

Полуденная линия NS — это линия пересечения плоскостей меридиана и горизонта. Она названа так потому, что в полдень тени от вертикальных предметов падают по этому направлению.

Небесные координаты. Экваториальная система координат. Чтобы создать звездную карту, изображающую созвездия на плоскости, надо знать координаты звезд. Для этого нужно выбрать такую систему координат, которая вращалась бы вместе со звездным небом. Такой системой является **экваториальная система**.

Система экваториальных координат сходна с системой географических координат на земном шаре.

Одной географической координатой является географическая **широта** — это угловое расстояние пункта от земного экватора. Угловое расстояние светил от небесного экватора называют **склонением** (рис. В.3, а). Склонение обозначают буквой δ . В северном полушарии склонения считают положительными, в южном — отрицательными.

Другой географической координатой на Земле является **долгота** — угол между плоскостью меридиана данного пункта и плоскостью начального меридиана. На небесной сфере второй координатой является **прямое восхождение** — угол между плоскостью полукруга, проведенного из полюса мира через светило (круга склонения), и плоскостью полукруга, проведенного из полюса мира через лежащую на экваторе точку весеннего равноденствия (начального круга склонений). Пря-

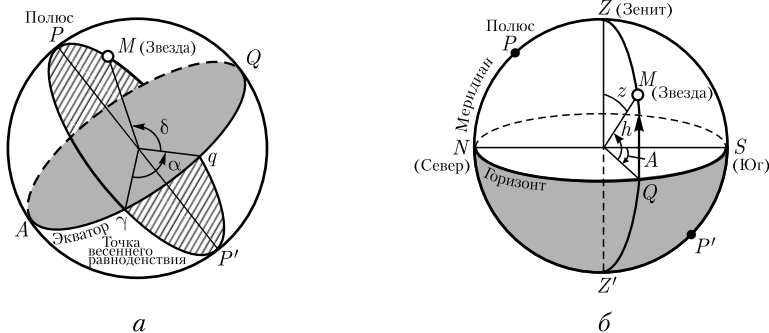


Рис. В.3

мое восхождение обозначается буквой α , отсчитывается от точки весеннего равноденствия γ^* против часовой стрелки, т. е. навстречу суточному вращению неба**.

Склонение и прямое восхождение (δ, α) называют **экваториальными координатами**. Если не нужна особая точность, то эти координаты для звезд можно считать неизменными. При суточном вращении звездного неба вращается и точка весеннего равноденствия. Поэтому положения звезд относительно экватора и точки весеннего равноденствия не зависят ни от времени суток, ни от положения наблюдателя на Земле. Эта система координат изображена на подвижной карте звездного неба.

Горизонтальные координаты. На рис. В.3, б изображена видимая над горизонтом половина небесной сферы. Горизонтальными координатами звезды (точка M) будут: **высота** h — *угловое расстояние точки M от горизонта****; **азимут** A — *угол между небесным меридианом и вертикальным кругом, проходящим через точку M .*

Высоту и азимут выражают в *градусах*.

Горизонтальные координаты светил непрерывно меняются с течением времени и зависят от положения наблюдателя на Земле, потому что по отношению к мировому пространству плоскость горизонта в данном пункте Земли вращается вместе с ней.

Горизонтальные координаты светил измеряют для определения времени или географических координат различных пунктов на Земле.

Условия наблюдения небесных светил. Движение Земли. Любое светило, вращаясь вокруг оси мира, за сутки дважды пересекает меридиан. При этом оно один раз занимает самое высокое положение — *верхняя кульминация*, другой — самое низкое положение — *нижняя кульминация*.

Кульминация — *это прохождение светила через меридиан.*

На рис. В.4 изображена небесная сфера. Рассчитаем зенитное расстояние светила в данном пункте в момент верхней кульминации, если его склонение известно. Пусть в момент верхней кульминации светило находится в точке M , тогда дуга QM есть склонение δ светила, так как AQ — небесный экватор, перпендикулярный оси мира PP' . Дуга QZ равна дуге NP и равна географической широте местности φ . Очевидно, зенитное расстояние, изображаемое дугой ZM , равно $z = \varphi - \delta$.

Если бы светило кульминировало к северу от зенита Z (т. е. точка M оказалась бы между Z и P), то $z = \delta - \varphi$. По этим формулам можно рассчитать зенитное расстояние светила с известным склонением в момент верхней кульминации в пункте с известной географической широтой φ .

Как известно, высота Солнца в верхней кульминации изменяется в течение года. Самое высокое положение Солнце занимает 22 июня. Этот день называют *днем летнего солнцестояния*. Он самый длинный. Самое низкое положение Солнце занимает 22 декабря. Это *день зимнего солнцестояния*. Он самый короткий.

* В точке весеннего равноденствия γ Солнце бывает 21 марта, когда день равен ночи.

** Географическую широту и прямое восхождение удобно выражать не в градусах, а в единицах времени. Учитывая, что Земля делает один оборот за 24 ч, получаем:

$360^\circ - 24$ ч, $1^\circ - 4$ мин; $15'' - 1$ с,

$15^\circ - 1$ ч, $15' - 1$ мин.

*** Вместо высоты h часто употребляют зенитное расстояние z , равное $90^\circ - h$. *Зенитное расстояние* — *угловое расстояние точки M от зенита.*

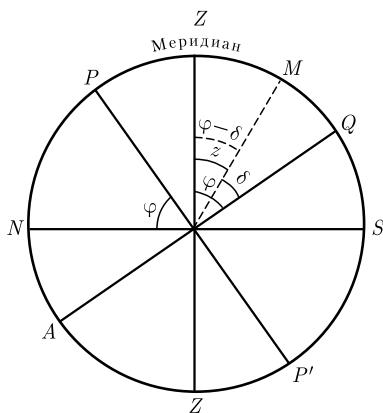


Рис. В.4

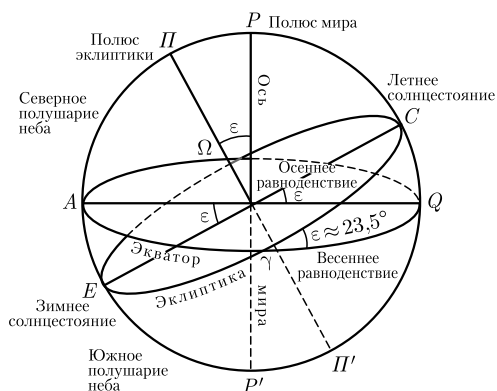


Рис. В.5

21 марта и 23 сентября высота Солнца в верхней кульминации бывает средней между высотами в летнем и зимнем солнцестоянии. День по продолжительности равен ночи, поэтому 21 марта называют *днем весеннего равноденствия*, а 23 сентября — *днем осеннего равноденствия*.

Измерения полуденных высот Солнца показывают, что наибольшее удаление Солнца от небесного экватора к северу составляет $23^{\circ}27'$ (22 июня) и таково же наибольшее удаление его к югу от экватора (22 декабря), т.е. склонение Солнца изменяется от $+23^{\circ}27'$ до $-23^{\circ}27'$.

Солнце в течение года перемещается на небесной сфере по большому кругу, плоскость которого наклонена к плоскости небесного экватора на угол $\epsilon = 23^{\circ}27'$ (рис. В.5). *Эклиптикой* называют большой круг небесной сферы, по которому в течение года перемещается центр Солнца.

Точки пересечения эклиптики с небесным экватором называют **точками весеннего** (γ) и **осеннего** (Ω) **равноденствия**.

Двенадцать созвездий, через которые проходит эклиптика, образуют поле зодиака* и называются **зодиакальными созвездиями**. Их можно найти на карте звездного неба.

Годичное движение Солнца по эклиптике является кажущимся, оно вызвано обращением Земли вокруг Солнца (рис. В.6).

Путь, описываемый Землей вокруг Солнца, называется орбитой.

Ось суточного вращения Земли наклонена к плоскости эклиптики на $66^{\circ}33'$, а плоскость экватора наклонена к плоскости эклиптики на угол $90^{\circ} - 66^{\circ}33' = 23^{\circ}27'$. Ось суточного вращения Земли (при движении Земли) остается параллельной самой себе, не меняя наклона к плоскости земной орбиты.

Поскольку мы не чувствуем своего движения вместе с Землей, нам кажется, что мы неподвижны, а Солнце перемещается по эклиптике. Таким образом,

| движение Солнца по эклиптике есть отражение движения Земли.

Строение Солнечной системы. *Солнечная система* — совокупность небесных тел — планет и их спутников, астероидов, комет и т. д., обращающихся вокруг Солнца под действием силы его тяготения (рис. В.7).

* Зодиак (греч.) — круг животных.

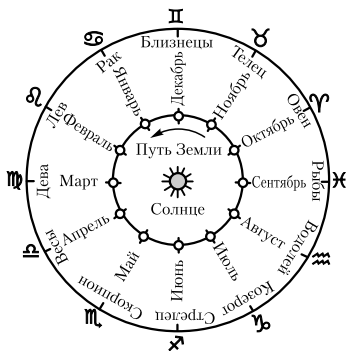


Рис. В.6

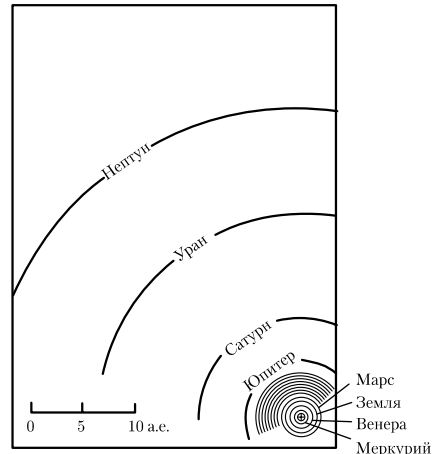


Рис. В.7

| Солнце — центральное тело Солнечной системы.

Солнце по массе в 750 раз превышает всех своих спутников и представляет собой огромный газовый шар, температура поверхности которого 6000 К.

Кроме планет, сопоставимых по размерам с Землей (Меркурий, Венера, Марс), вокруг Солнца по эллиптическим орбитам вращаются планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

Вокруг Солнца вращаются и маленькие планеты — *астероиды*. Их насчитывается около 2000, самый крупный из них — Церера — имеет диаметр 1025 км. Орбиты большинства астероидов лежат между орбитами Марса и Юпитера.

Более мелкие тела беспорядочно движутся в мировом пространстве, попадая также иногда на Землю и другие планеты. Это *метеориты*, их размеры от песчинки до мелкого астероида. Обычно метеориты не долетают до поверхности Земли, сгорая в ее атмосфере. Часто падение множества метеоритов можно наблюдать в виде «звездного дождя» или метеоритных потоков. В большинстве случаев это остатки распавшихся *комет* — больших образований из разреженного газа с очень малым твердым ядром. Как полагают, кометы образуются на границе Солнечной системы. Под влиянием планет-гигантов они могут приближаться к Солнцу.

Движение планет вокруг Солнца подчиняется трем законам Кеплера.

| Орбита любой планеты представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце (первый закон Кеплера).

Из закона следует, что расстояние планет от Солнца изменяется. *Ближайшая точка орбиты называется перигелием, а наиболее удаленная — афелием.*

Орбита Земли тоже эллиптическая. В перигелии Земля бывает в начале января, а в афелии — в начале июля.

Полусумму расстояний планеты от Солнца в афелии и перигелии называют большой полуосью орбиты планеты. Она равна среднему расстоянию планеты от Солнца. Среднее расстояние от Земли до Солнца, равное приблизительно 150 млн км, принято за одну астрономическую единицу (а. е.).

Радиус-вектор планеты за одинаковые промежутки времени описывает равные площади (второй закон Кеплера — закон площадей).

Из этого закона следует, что в перигелии скорость планеты максимальна, а в афелии — минимальна.

Квадраты периодов обращений планет относятся как кубы больших полуосей их орбит (третий закон Кеплера).

Если период обращения и большую полуось орбиты одной планеты обозначить соответственно T_1 и a_1 , а другой планеты — T_2 и a_2 , то третий закон Кеплера выразится формулой

$$T_1^2/T_2^2 = a_1^3/a_2^3.$$

Если расстояние от Земли до Солнца принять за единицу и путем астрономических наблюдений определить периоды обращения планет, то, пользуясь третьим законом Кеплера, можно построить план (модель) планетной (Солнечной) системы.

Определение расстояний до небесных тел путем угловых измерений. На Земле предмет, расстояние до которого надо определить, рассматривают с двух мест, откуда он виден по разным направлениям. Зная расстояние между наблюдателями C и B (базис) и углы между ним и направлениями к предмету A (α и β), можно вычислить расстояние до него (рис. В.8). Это делается с помощью тригонометрии.

Небесные светила находятся очень далеко от Земли. Чтобы заметить различие в направлениях, по которым видно светило, наблюдатели должны находиться на расстоянии многих тысяч километров друг от друга, иначе угол между направлениями будет так мал, что его невозможно измерить.

В основе определения расстояний до небесных светил лежит явление параллактического смещения.

Параллактическим смещением называется изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя.

Поясним это. Если смотреть на карандаш, вертикально расположенный перед глазами, поочередно закрывая то один, то другой глаз, то видно «перемещение» карандаша на фоне далеких предметов (стены, окна, двери). Чем дальше от глаз отодвигать карандаш, тем меньше будет параллактическое смещение. Чем дальше друг от друга отстоят точки наблюдения, тем больше базис, тем больше параллактическое смещение. В данном примере базисом является расстояние между глазами.

Для измерения расстояний до тел Солнечной системы за базис принимают радиус Земли. Наблюдают положение светила, например Луны, на фоне далеких звезд одновременно из двух обсерваторий. Расстояние между ними по прямой (базис) должно быть примерно равно радиусу Земли и перпендикулярно направлению на светило. Если бы за базис взяли радиус Земли CA , а наблюдатели находились в точках A и B , то со светила S радиус Земли был бы виден под углом p (рис. В.9). Угол, под которым со светила S радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения, называется горизонтальным параллаксом. Он равен параллактическому смещению, как видно из рис. В.8, где оно представлено отмеченным углом при вершине C , а параллакс отмечен углом при вершине A . Они равны, как углы при параллельных прямых ($CD \parallel BA$ по построению).

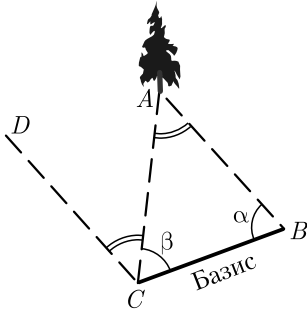


Рис. В.8

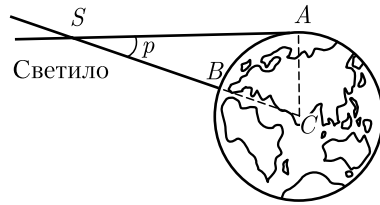


Рис. В.9

Расстояние $SC = d = R/\sin p$, где R — радиус Земли (см. рис. В.9). Приняв R за единицу, можно выразить расстояние до светила в земных радиусах. Параллакс Луны составляет $57'$. Все планеты и Солнце расположены гораздо дальше, и их параллаксы составляют секунды. Параллакс Солнца $p_{\odot} = 8,8''$.

При определении расстояний d даже до ближайших звезд радиус Земли оказывается слишком малым базисом, чтобы измерить угол p . В этом случае наблюдения выбранной звезды ведут с интервалом в полгода. За это время Земля переносит наблюдателя на расстояние 300 млн км. Только тогда удастся измерить параллактическое смещение звезды.

Для удобства вычислений в качестве базиса берут большую полуось a земной орбиты:

$$d = a/\sin p.$$

Угол p , под которым со звезды перпендикулярно лучу зрения видна большая полуось земной орбиты, называют **годовым параллаксом**.

Расстояния до звезд очень велики, и их выражают не в километрах, а в парсеках (пк) или световых годах (св. год).

Парсек — расстояние, которому соответствует годичный параллакс (параллакс — секунда), равный одной угловой секунде дуги. Так как $\sin 1'' = 1/206\,265$, то $d = a \cdot 206\,265$, где $a = 1$ а. е. = 149 600 000 км, следовательно, $1 \text{ пак} = 3,08 \cdot 10^{13}$ км.

Световой год — расстояние, которое электромагнитные волны проходят в течение года в свободном пространстве: $1 \text{ св. год} = 300\,000 \text{ км/с} \cdot 365,25 \cdot 86\,400 \text{ с} \approx 9,5 \cdot 10^{12}$ км. Сопоставляя единицы расстояний, получаем $1 \text{ пак} = 3,26 \text{ св. год}$. Но даже на таком огромном расстоянии нет ни одной звезды.

Расстояние до ближайшей звезды α -Центавра 270 000 а. е., или $4/3$ пак (≈ 4 св. года).

Измерением годового параллакса можно надежно установить расстояния до звезд, находящихся не далее 100 пак, или 300 световых лет. В настоящее время расстояния до ближайших к нам небесных тел точнее всего определяют методами радиоастрономии.

Вопросы для самоконтроля и повторения

1. Что изучает наука физика? 2. Дайте определение материи. 3. Какие виды материи Вам известны? 4. Приведите примеры известных Вам форм движения материи. 5. Что является общей мерой различных форм движения материи? 6. Что следует понимать под физической картиной мира? 7. Что означает термин «техника»? 8. Когда и где была построена первая атомная электростанция? 9. Когда и где был запущен первый искусствен-

ный спутник Земли? **10.** В каком году и кем был совершен первый в мире космический полет? **11.** Какие измерения физических величин являются прямыми? косвенными? **12.** Какую погрешность измерений называют абсолютной? относительной? **13.** Что такое небесная сфера? Для чего вводится это понятие? **14.** Дайте определения основных точек и линий небесной сферы: зенита, полюса мира, небесного меридиана, небесного экватора, математического горизонта. **15.** Дайте понятие экваториальной системы координат. **16.** Дайте понятие горизонтальной системы координат. **17.** Что называют кульминацией? **18.** Что называют эклипстикой? **19.** Как называются точки пересечения небесного экватора с математическим горизонтом? **20.** Какая из этих точек выбрана в качестве начала отсчета небесных координат? **21.** Что называется орбитой Земли? **22.** Назовите планеты, входящие в состав Солнечной системы. **23.** Что представляет собой Солнце? **24.** Какова температура поверхности Солнца? **25.** Сформулируйте законы Кеплера. **26.** Какая точка орбиты планеты названа афелием? перигелием? **27.** Что такое параллактическое смещение? **28.** Дайте определение горизонтального параллакса. **29.** Дайте понятие годичного параллакса.

Задачи для самостоятельного решения

1. На какой широте зенитное расстояние Полярной звезды равно нулю?
2. В каких пределах изменяется склонение Солнца в течение года?
3. Какова высота Солнца на широте Москвы $\varphi = 55^\circ 45'$?
4. На какой широте Солнце бывает в зените в дни равноденствий?
5. Сириус ($\delta = -16^\circ 39'$) был в верхней кульминации на высоте 10° . Чему равна широта места наблюдения?
6. На какой высоте в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$) бывает верхняя кульминация Веги ($\delta = +38^\circ 41'$)?
7. В перигелии Меркурий подходит к Солнцу на расстояние 49,5 млн км, в афелии — 69,7 млн км. Вычислить большую полуось его орбиты.
8. Период обращения Венеры вокруг Солнца 225 суток. Используя третий закон Кеплера, вычислить большую полуось ее орбиты.
9. Период обращения Юпитера вокруг Солнца равен 12 годам. Вычислить большую полуось его орбиты.
10. Марс расположен дальше от Солнца, чем Земля, в 1,5 раза. Какова продолжительность года на Марсе?
11. Горизонтальный параллакс Луны составляет $57'$. Определить расстояние до Луны.