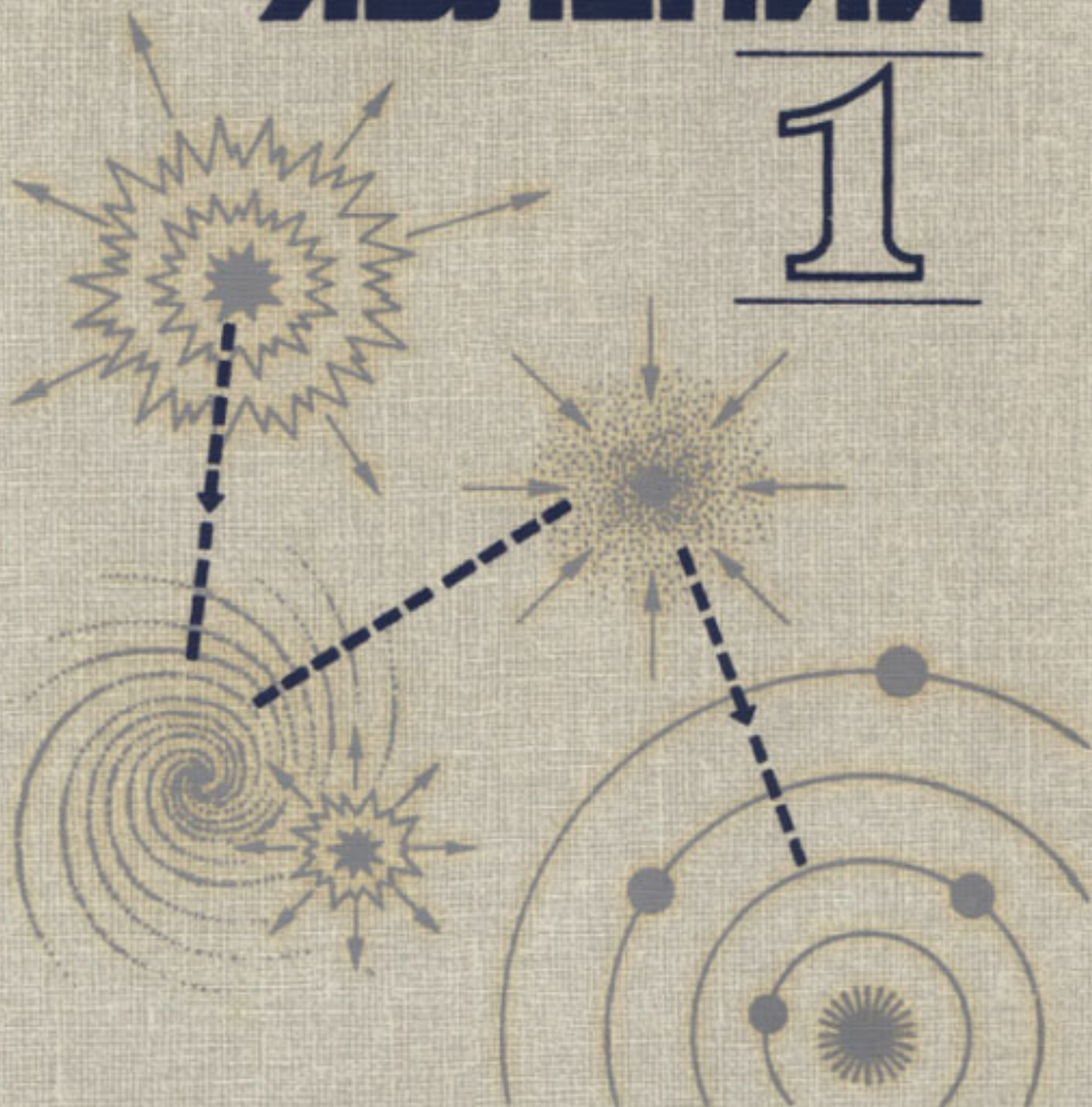


[Купить книгу "Необыкновенная физика
обыкновенных явлений". Том 1](#)

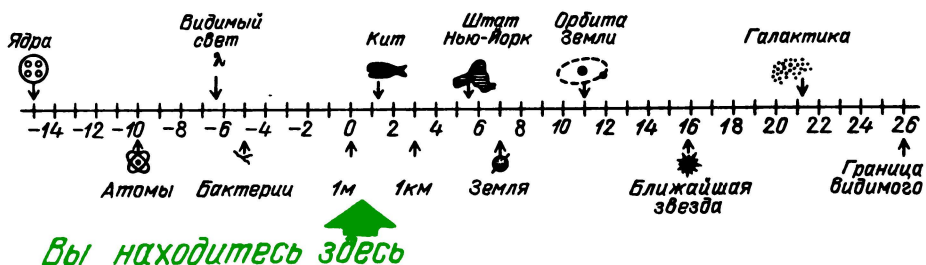
Кл.Э. Суорц

Необыкновенная **ФИЗИКА** ОБЫКНОВЕННЫХ **ЯВЛЕНИЙ**

1



ГЛАВА 1. ДЕКОРАЦИИ И ДРАМА



Фактически мы все находимся здесь. Эта шкала покрывает размеры всего существующего, от наименьших измеренных внутриатомных расстояний до размеров всей Вселенной. Мы размечаем вехами все это «царство», рассматривая его как предмет нашего изучения. Человек, находящийся в среднем диапазоне размеров, открывает порядок и закономерности, которые связывают поведение атомов с природой галактик. Исследуя как микромир, так и макромир, человек также больше узнает о самом себе.

РАЗМЕРЫ И РАССТОЯНИЯ

Чтобы всю Вселенную нанести на карту, которая уместилась бы на одной странице, нам пришлось использовать шкалу степеней десяти. Когда вы «идете» по ней слева направо, каждый следующий интервал в десять раз больше предыдущего. За основную единицу длины на этой шкале принят метр, который немного длиннее английского ярда. Один метр отмечен в точке 0 этой шкалы, поскольку $10^0 = 1$. Другой способ воспринимать отметки этой шкалы — рассматривать их как нанесенные в логарифмическом масштабе. Отметка 1 метр находится в точке 0, по-

скольку $\lg 1 = 0$. Взгляните на некоторые другие знакомые вам точки шкалы. Один километр (около $5/8$ мили) отмечен в точке 3, поскольку 1 километр (км) равен 1000 метров (м), $\lg 1000 = 3$, и $10^3 = 1000$. Подобным же образом 1 миллиметр находится в точке -3 , поскольку $10^{-3} = (1/10)^3$.

Вопрос 1-1

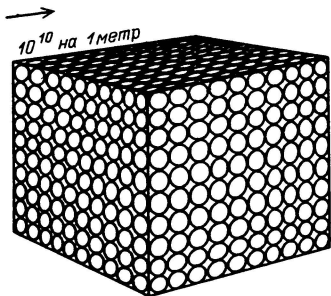
Время от времени мы прерываем текст, чтобы подвергнуть сомнению или подчеркнуть то, что только что было сказано. Вопросы, которые задаем, не всегда будут иметь определенные ответы. Наш ответ или мнение вы можете найти в конце каждой главы, но вам следует какое-то время «побороться» с каждым вопросом, прежде чем обращаться к предлагаемому нами решению.

Задаваемый здесь вопрос связан с положением человека на приведенной шкале Вселенной. Человек помещен очень близко к нулю. Значит ли это, что его рост лишь немного превышает 1 метр?

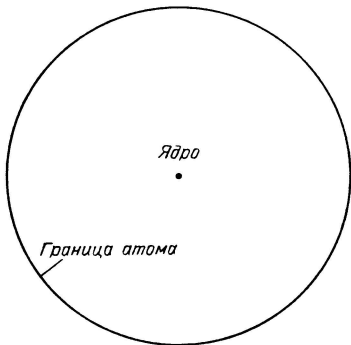
Живые существа занимают очень небольшой отрезок этой шкалы. Самый большой кит имеет длину не более 30 метров и поэтому изображен на шкале

в точке при значении менее 2. Клетки биологических структур видны в микроскоп и имеют размер более одной миллионной доли метра. Этот размер показан на шкале в точке — 6 (поскольку 10^6 равно 1 миллиону, 10^{-6} равно $1/1\,000\,000$, или 0,000 001, или 1 миллионной).

Перемещаясь по этой шкале в сторону микромира, в точке — 10 мы находим атомы. Большинство атомов



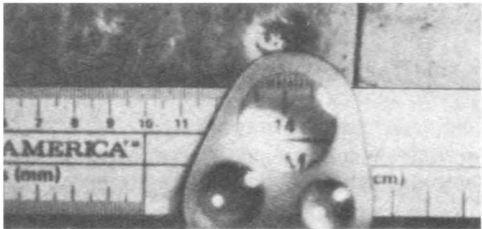
имеют примерно одинаковые размеры. От водорода до урана лишь немногие из них отличаются в диаметре более чем вдвое. Отметим, что если каждый атом имеет 10^{-10} метров в поперечнике, то можно уложить 10^{10} атомов в линию, «плечом к плечу», на расстоянии 1 метр. Поскольку 10^9 , то есть тысяча миллионов, равно одному миллиарду, это составило бы 10 миллиардов атомов. Сам атом громаден по сравнению со своим крошечным ядром. Диаметр ядра меньше диаметра атома в 10 000 и более, вплоть до 100 000 раз, в зависимости



Для рисунка с соблюдением масштаба диаметр атома должен быть по меньшей мере в 10 000 раз больше диаметра ядра. Если размер изображающей ядро точки равен 0,1 мм, ограничивающая атом сфера должна иметь диаметр 1 м

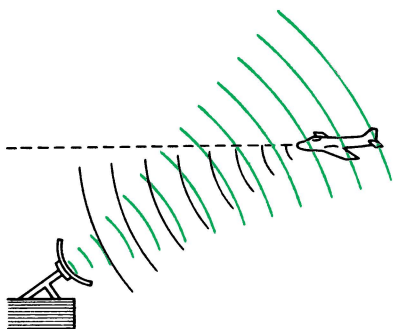
от элемента. Поэтому ядра располагаются на шкале Вселенной между делениями — 14 и — 15. Диаметры протонов и нейтронов, из которых построены ядра атомов, могут быть измерены вполне точно. Как мы увидим в одной из последующих глав, говорить о значительно меньших размерах на современном уровне развития науки бессодержательно. Поэтому нижний предел нашей Вселенной мы помещаем на 10^{-15} м.

Имеет ли смысл говорить о столь малых размерах? Да, но лишь в том случае, если их можно каким-либо способом измерить. Невооруженным глазом в видимом свете можно различать формы тел, поперечный размер которых



составляет 1 миллиметр (мм). Лупа может обеспечить примерно 10-кратное увеличение, а детский микроскоп может дать 100-кратное увеличение. Даже лучшие исследовательские оптические микроскопы имеют увеличение не более 1000 или 2000. Поскольку невооруженный глаз может различать объекты, имеющие размеры 1 мм, то в исследовательский микроскоп можно видеть тела, размер которых равен $1/1000$ от 1 мм, или 10^{-6} м (эта величина называется микрометром; ее прежнее название — микрон). Предел увеличения обусловлен тем, что свет характеризуется длиной волны, то есть некоторым собственным «размером». Нельзя «видеть» что-либо с помощью шупа (зонда), размер которого больше, чем размеры деталей, которые вы пытаетесь рассмотреть. В электронных микроскопах в качестве зонда используются электроны. Соответствующие им длины волн могут быть меньше, чем у видимого света. Таким путем достигнуто увеличение свыше 10^5 , что дает возможность видеть объекты, поперечный размер которых — всего 10^{-8} м.

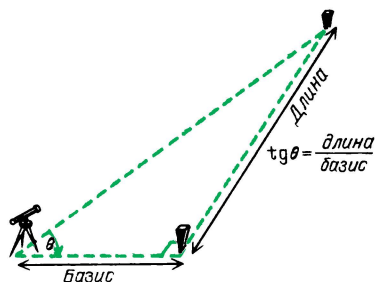
Для размеров ниже предела, устанавливаемого электронным микроскопом, приходится использовать рассеяние электронов или других субатомных частиц и анализировать картины их рассеяния. Мы изучим эти методы в последующих главах. Отметим, однако, что при попытке рассмотреть что-либо мы зондируем объект каким-либо инструментом, а затем определяем, что происходит со средством зондирования. Например, когда вы смотрите в эту книгу, шрифт рассеивает падающий на страницу свет. Небольшая часть рассеянного света попадает в ваши глаза, где эта информация обрабатывается, посылается далее в головной мозг и распознается. Сходным во многих чертах способом



Радиолокатор «видит» самолет. Зондирующим средством служат электромагнитные волны, длина которых много больше, чем у видимого света

можно «увидеть» самолет в рассеянных им волнах радара, улавливая отраженные в сторону приемника волны. Однако невозможно читать эту книгу, рассеивая на ней волны, излучаемые радаром. Волны радара примерно такого же размера, что и сама книга, и поэтому представляют собой слишком грубый зонд, чтобы с их помощью можно было распознавать шрифт.

Если имеет смысл говорить только о тех размерах, которые можно измерить, как оправдать использование некоторых из расстояний, указанных в правой стороне шкалы Вселенной? Можно измерить кита или даже страну довольно прямыми методами. Топографическая съемка и по сей день производится измерением базисов и углов.



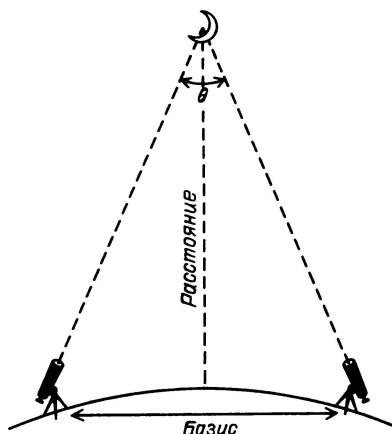
Первоначально метр был определен на основе сложной и даже вводящей в заблуждение землемерной программы. Во времена французской революции в 1791 г. Национальное собрание Франции проголосовало за то, чтобы в качестве единицы длины выбрать $1/10\,000\,000$ четверти длины парижского географического меридиана. Единственной причиной, по которой произвольному стандарту приписывалось столь точное дробное число, была возможность в любое время воспроизвести этот стандарт — в предположении, что Земля всегда будет оставаться неизменной. Геодезическая партия действительно измерила дугу земного меридиана на всем протяжении от Дюнкерка на берегу пролива Ла Манш до Монжо вблизи Барселоны в Испании.

Вопрос 1-2

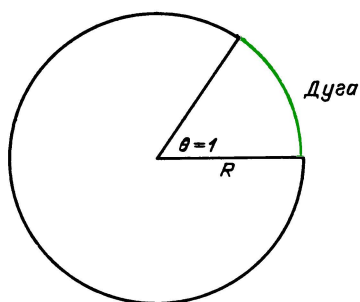
Какая польза была от этого измерения? Даже если вы знаете протяженность Франции, как можно узнать, какую долю составляет эта протяженность от длины земного меридиана?

Затруднения в использовании геодезической техники связаны с необходимостью иметь измеренный базис. При измерении расстояния до Луны наибольший доступный базис — это диаметр самой Земли. В действительности следует использовать значительно меньшее расстояние, потому что в случае, когда телескопы направлены слишком близко к горизонту, возникают другие проблемы. Предположим, что используются две обсерватории, отстоящие друг от друга на расстояние 1000 км (около 630 миль). Оба телескопа должны быть нацелены в одну и ту же

точку Луны и в одно и то же время. (Луна — движущийся объект.) Геометрия такой ситуации показана на рисунке.



Измерением угла между вертикалью и направлением на Луну в каждом из положений можно найти стягиваемый базисом угол. Этот угол приблизительно



Угол θ = длина дуги/радиус. Когда длина дуги равна r , θ равен 1 радиану. В полном круге или в 360° должно быть 2π радиан. Поэтому $1 \text{ рад} = 57^\circ$

равен расстоянию между двумя телескопами, деленному на расстояние до Луны:

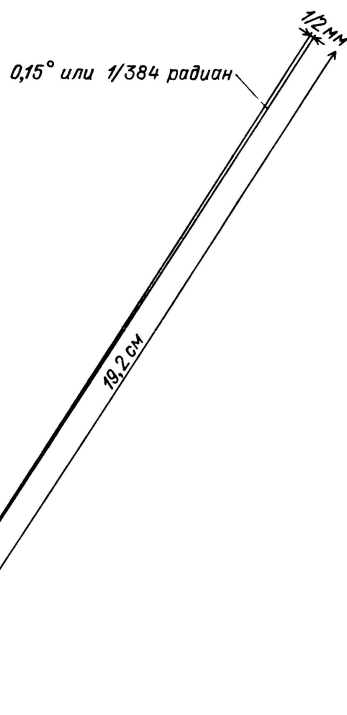
$$\theta = \frac{\text{базис}}{\text{расстояние}} = \frac{1000 \text{ км}}{384000 \text{ км}} = \frac{1}{384} \text{ рад} = \frac{1}{384} \text{ рад} \cdot \frac{57^\circ}{1 \text{ рад}} = 0,15^\circ.$$

Угол, равный всего $0,15^\circ$, мал, но сравнительно легко может быть измерен на одном телескопе. Немного труднее находить этот малый угол с помощью синхронизированных наблюдений на двух телескопах с последующим вычи-

танием результатов отдельных измерений.

Вопрос 1-3

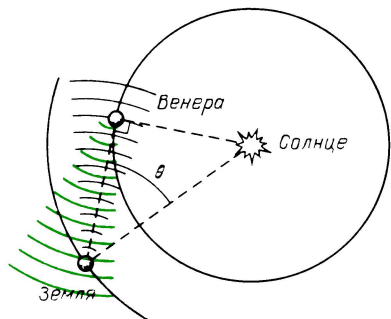
Разве при решении этой задачи можно обойтись без тригонометрии? Расстояние от Луны до Земли равно длинному катету прямоугольного треугольника. Половина базиса равна короткому катету. Поэтому тангенс половины стягиваемого базисом угла равен отношению половины базиса к расстоянию от Луны до Земли. Разве этот метод не будет правильным, а описанный выше — ошибочным?



Здесь показан угол, образованный прямыми линиями, выходящими из одной точки на Луне, который стягивает базис, равный 1000 км на Земле

Расстояние от Земли до Солнца равно $1,5 \cdot 10^{11}$ м. Если бы на Земле использовался базис 1000 км (10^6 м), стягиваемый им угол был бы равен лишь $6 \cdot 10^{-6}$ рад, или около одной угловой секунды. Это слишком малый угол, чтобы его можно было измерить для такой широкой мишени, как Солнце.

Расстояние от Земли до Солнца на самом деле измеряется с помощью сравнения с другими расстояниями и углами в солнечной системе. В наши дни расстояния от Земли до Луны и от



Расстояние от Земли до Солнца можно определить, измеряя радиолокационным способом расстояние от Земли до Венеры и зная угловые соотношения в треугольнике Земля – Венера – Солнце для этого момента времени

Земли до Венеры измеряются радиолокационным способом, то есть путем определения времени движения радиоимпульса от Земли до объекта и обратно. Поскольку скорость света (и равная ей скорость распространения радиоволн) известна очень точно, такое измерение расстояний может быть столь же точным, как и измерение времени между посылкой импульса и приемом эхо.

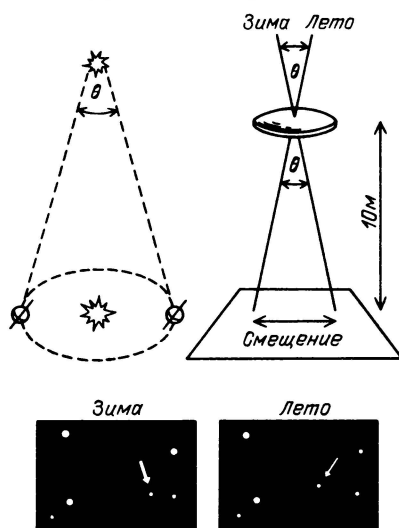
Расстояние до ближайших звезд также определяется с помощью метода триангуляции. Но в этом случае используется внесемной базис. Им служит диаметр орбиты Земли при ее движении вокруг Солнца. Хотя этот базис и равен $3 \cdot 10^{11}$ м, из-за огромного расстояния до ближайшей звезды измерение углов требует большого искусства.

Вопрос 1-4

Если расстояние до ближайшей звезды равно $3,8 \cdot 10^{16}$ м, какой угол стягивается этим базисом?

Для выполнения измерений с использованием земной орбиты в качестве базиса звездное поле фотографируется одним и тем же телескопом с интервалами в шесть месяцев. При наложении

двух фотографий изображения большинства звезд точно совмещаются друг с другом. Однако зимнее и летнее изображения очень близкой звезды окажутся слегка смещенными друг относительно друга. Отношение этого малого смещения к фокусному расстоянию телескопа дает тот же самый угол, что и отношение базиса к расстоянию до звезды. Для одной угловой секунды



и фокусного расстояния 10 м смещение изображения на фотопластинке находится следующим образом:

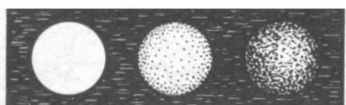
$$\theta = 1'' \approx 5 \cdot 10^{-6} \text{ рад} =$$

$$= \text{смещение} / 10 \text{ м.}$$

Смещение изображения равно примерно $50 \cdot 10^{-6}$ м, то есть 50 микрометров. Расстояние от Земли до звезд должно измеряться с помощью микроскопа!

Ближайшая к нашему Солнцу звезда находится на расстоянии около четырех световых лет. Световой год – это единица длины, а не времени. Это – расстояние, которое свет проходит за один год. Оно равно $9,56 \cdot 10^{15}$ м. (Подобным же образом можно сказать, что Луна находится от Земли на расстоянии 1,3 световых секунд.) Триангуляция, то есть техника геодезической съемки, может использоваться для измерения расстояний вплоть до ста световых лет или около того. Однако это всего лишь

небольшой шаг в глубины нашей Галактики, диаметр которой составляет 100 000 световых лет. Для измерения таких расстояний приходится обращаться к выводам, которые следуют из целого ряда наблюдений за определенным типом звезд, яркость которых периодически изменяется. Рассуждать можно следующим образом: если вы знаете истинную яркость звезды, можно сказать,

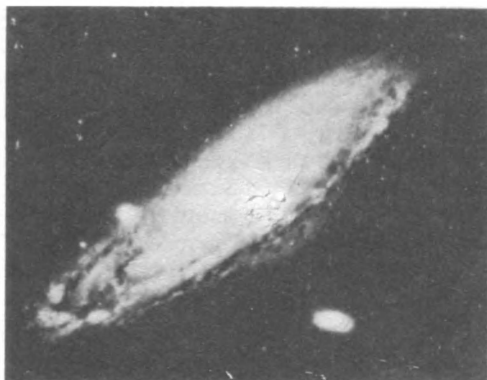


Звезды одинаковой яркости — как если бы они находились на одном расстоянии от Земли (сверху) и наблюдаемые в действительности (снизу)

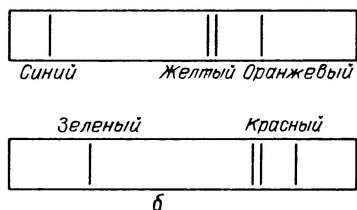
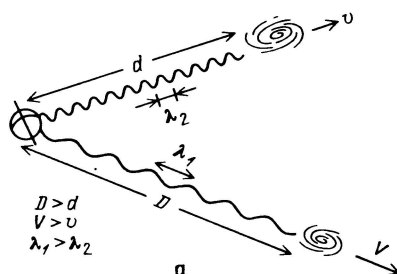
как далеко она находится, на основании измерений видимой здесь, на Земле, яркости. Предположим, например, что все звезды имели бы на самом деле одинаковую яркость, но что мы наблюдали бы звезду *A* как в четыре раза более яркую, чем звезда *B*, и в девять раз более яркую, чем звезда *C*. Тогда *B* находилась бы вдвое дальше, чем *A*, и *C* находилась бы втрое дальше. Интенсивность света от точечного источника падает как *квадрат* расстояния. Если вы в состоянии измерить расстояние до звезды *A* с помощью метода триангуляции, вы сможете рассчитать расстояния до звезд *B* и *C*. Конечно, отнюдь не все звезды имеют одинаковые размер и яркость. Однако существуют соотношения между собственной светимостью звезд определенного типа и такими их характеристиками, как цвет и частота изменений яркости.

Методы, основанные на измерении относительной яркости, используются также для определения расстояний до ближайших галактик. Эти галактики представляют собой островные вселенные, каждая из которых содержит

миллионы звезд. Наша Галактика содержит около десяти биллионов (10^{10}) звезд и выглядит подобно нашему ближайшему соседу — галактике, которую можно видеть невооруженным глазом



в созвездии Андромеды. Эта галактика, как видно из приводимой фотографии, имеет спиральную форму — такую же, как и наша Галактика. Галактики существуют в разнообразных формах, включая сферическую. Наша Солнечная система находится примерно в двух тре-



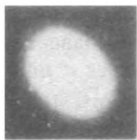
а. Галактика, находящаяся на расстоянии *D* от Земли, значительно дальше, чем галактика, находящаяся на расстоянии *d* от нее. Поскольку Вселенная расширяется, более далекая галактика удаляется от нас с большей скоростью, поэтому свет, излучаемый определенным элементом в этой галактике, имеет большую длину волн. б. Если галактика удаляется от нас, узор ее спектральных линий сдвигается в «красную сторону»

тях расстояния от центра до края нашей Галактики в одном из ее рукавов. Когда мы смотрим в направлении центра Галактики, мы видим огромное скопление звезд — Млечный путь, в котором отдельные звезды неразличимы. Из детальных подсчетов на небольших участках неба мы знаем, что во Вселенной около десяти биллионов (10^{10}) галактик.

Существует еще один способ измерения расстояний до далеких галактик. Скорость галактики относительно нас можно измерить с помощью доплеровского сдвига. Если источник волн движется по направлению к наблюдателю,

частота волн кажется более высокой. Например, гудок поезда имеет более высокий тон, когда поезд приближается к слушателю. Когда поезд проходит мимо и уносится прочь, тон резко снижается. Подобным же образом характеристический спектральный узор, создаваемый светом от различных химических элементов в удаленных галактиках, виден на Земле сдвинутым в сторону низких частот. Величина этого «красного смещения» к большим длинам волн говорит о том, насколько быстро данная галактика удаляется от нас. Оказывается, что все галактики разлетаются

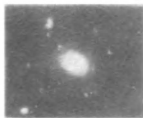
Туманность
в созвездии



Девы

Расстояние
в св. годах

78 000 000



Большой
Медведицы

1 000 000 000



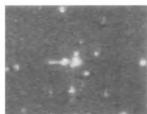
Северной
Короны

1 400 000 000



Волпаса

2 500 000 000

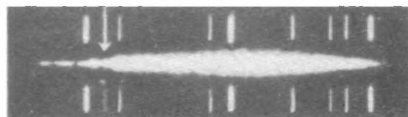


Гидры

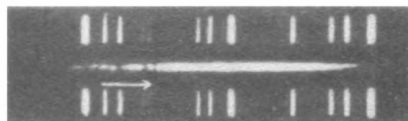
3 960 000

Красное смещение

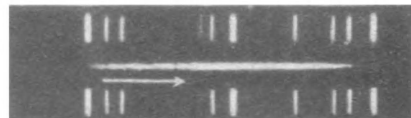
H+K



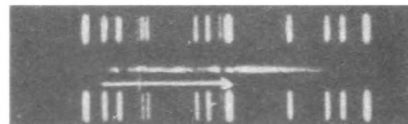
1200 км/с



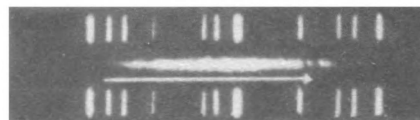
15000 км/с



22 000 км/с



39 000 км/с



61 000 км/с

Обратите внимание на горизонтальную белую стрелку в каждом спектре, показывающую положение одной из наиболее ярких спектральных линий, которая появляется здесь в виде точки. Линии выше и ниже спектра галактики показывают спектр земного источника

друг от друга. Вселенная расширяется. Более того, чем дальше находится галактика, тем с большей скоростью она удаляется от нас. Поскольку эта закономерность проверена для сравнительно близких галактик, расстояния до которых можно измерить независимо (яркостными методами), мы используем ее для нахождения расстояний до далеких галактик, измеряя их скорости по красному смещению. Таким способом наблюдались галактики, удаленные от нас на десять миллиардов световых лет. Они движутся со скоростями, превышающими половину скорости света, и расположены у пределов видимой части Вселенной.

Если Вселенная началась с огромного взрыва около пятнадцати миллиардов лет назад (что выглядит правдоподобно) и с тех пор все время расширялась, то и в самом деле должны существовать пределы Вселенной. Многие детали происхождения Вселенной и ее далеких областей все еще окутаны тайной. Однако независимо от этих деталей пределы нашей Вселенной находятся где-то на расстоянии около 10^{26} метров. За этими пределами любой объект удалялся бы от нас так быстро, что любая посылаемая к нам информация (такая, как характеристические спектры излучения различных элементов) оказалась бы в результате красного смещения сдвинутой в фоновый шум излучения низких энергий. Синий свет, например, оказался бы не просто сдвинутым к красному свету, но приобрел бы гораздо большую длину волны, соответствующую радиоволнам.

Вопрос 1-5

Сколько времени потребовалось бы при движении со скоростью света ($3 \cdot 10^8$ м/с) для преодоления расстояния $1 \cdot 10^{26}$ м?

ЗНАКОМСТВО С ЯВЛЕНИЯМИ – РАССТОЯНИЯ

Физика — это не математика и не логика. Все наши теории и модели полезны лишь в том случае, если они предсказывают реальные события в реальном мире. Более того, понимание

физики не приходит в результате только умственных упражнений. Нужно на собственном опыте знакомиться с явлениями. Когда вы говорите о скорости, вам следовало бы ближе познакомиться с различными скоростями либо испытать их на себе, либо на основе измерений. Когда вы говорите о силах, вам следовало бы прочувствовать их действие на собственные мышцы. Конечно, такие возможности весьма ограничены. В нашем исследовании мы хотим выйти далеко за пределы обычного человеческого опыта как в сторону очень больших, так и очень малых масштабов. И тем не менее на этом пути есть вехи, которые можно ощутить и постичь на собственном опыте.

В каждой главе мы предлагаем способы, как познакомиться с некоторыми из описываемых в этой главе явлений. Иногда это будет делаться с помощью моделей или аналогий. Предлагаются не опыты, для которых нужна оборудованная лаборатория, а простые упражнения, которые можно выполнить дома или в общежитии с помощью подручных средств и материалов. Требуемая при этом точность и затраты времени обычно совсем невелики.

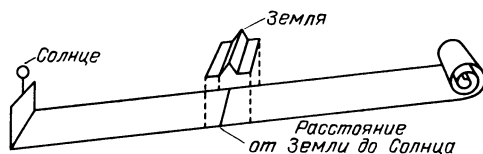
Как, находясь на Земле, можно на собственном опыте постичь первую начальную тему этой главы? Может быть, вы построите собственную Вселенную? А еще лучше, построить в масштабе карту чего-нибудь более близкого к дому, например Солнечной системы! Представленная нами шкала Вселенной была построена в логарифмическом масштабе. Чтобы лучше понять природу такой шкалы, постройте свою Солнечную систему в линейном масштабе. Такой вид масштаба используется для обычных дорожных карт. Например, для карты штата может быть использован масштаб 20 миль в дюйме (или 10 км в 1 см). Ниже приводится таблица расстояний от планет до Солнца, а также диаметров планет и Солнца.

Выберите масштаб так, чтобы Плутон оказался в пределах комнаты или зала, в котором вы занимаетесь, но все же так, чтобы Солнце не выглядело просто точкой. Заметьте, какие возникают трудности при попытке выбора

Расстояние от планет до Солнца. Диаметр планет

Планета	Среднее расстояние от Солнца, 10 ⁶ км	Средний диаметр, км
Меркурий	57,9	4840
Венера	108,1	12520
Земля	149,5	12740
Марс	225,8	6780
Юпитер	777,8	139800
Сатурн	1426	115000
Уран	2868	47400
Нептун	4494	43000
Плутон	5908	5800
Солнце	—	1393000

такого масштаба, который передавал бы размер каждой планеты, и при этом вся система уложилась бы в разумные пределы помещения. Если масштаб таков, что диаметр Земли равен 1 см, расстояние от Земли до Солнца превысило бы 100 м. Можно посоветовать воспользоваться масштабом 5 000 000 км в 1 см, но для этого все же потребуется коридор или комната приличных размеров. Изображение Солнца будет тогда маленьким, но все же не точечным. Планеты будут изображаться просто точками, но их положения можно отметить стрелками на бумажных ярлычках. Если вы захотите иметь модель Солнечной системы, которую можно скатать в рулон и положить в карман, сделайте ее масштабную модель на длинной бумажной ленте, такой, как для кассовых аппаратов. На рисунке показано, как сделать маркировочный ярлычок, складывающийся при скатывании ленты.



Зачем обременять себя изготовлением подобной карты? Возможно, вы увидите нечто в природе солнечной системы, что совсем не очевидно из чисел в приведенной таблице. Когда вы всматриваетесь в ночное небо и видите Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн, вам трудно представить себе, где они находятся по отношению к Солнцу и к нам. При виде

такой модели многих поражает, насколько близко к Солнцу расположены внутренние планеты по сравнению с внешними. Удивляет также то, что такое крошечное на этой шкале Солнце может управлять движением столь удаленных планет, как Нептун и Плутон.

Конечно, мы не можем обещать, что любая предлагаемая здесь самостоятельная деятельность или идея заинтересует каждого читателя. Не все люди в состоянии оценить красоту закатов; некоторым не нравится скрипичная музыка. У каждого из нас свои проблемы. Но все же кое-чему из этой модели с линейным масштабом можно научиться. Обратите внимание, как трудно представить в линейном масштабе большой диапазон значений. В предложенном выше масштабе изображения планет сжимаются в точки. И тем не менее даже самая близкая звезда на такой шкале находилась бы на расстоянии около 100 км, или 60 миль.

ВРЕМЯ

Вы видели, где мы находимся в пространстве; посмотрим теперь, какое место мы занимаем во времени. Человеческая жизнь представляется несущественной точкой на фоне истории Вселенной. И все же мы в состоянии измерять процессы, длящиеся миллиарды лет, и можем также обнаруживать события, занимающие столько времени, сколько требуется свету для пересечения атомного ядра. Как и в случае расстояний, пополнение наших знаний о наиболее кратковременных событиях позволяет нам заглянуть в далекое прошлое.

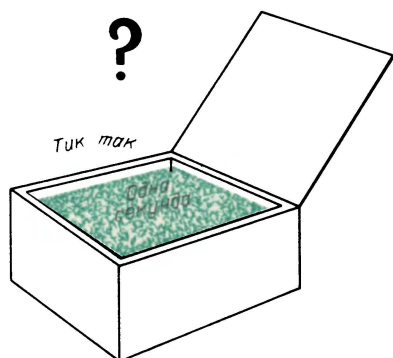
Единицей времени на нашей логарифмической шкале служит секунда. Она одинакова как в британской, так и в метрической системах единиц. Как и другие основные единицы, она имеет «человеческие» масштабы. Период биения сердца равен примерно одной секунде. На приведенной карте времени секунда показана в точке 0.

Все мы знаем, что такое время, и все же существуют некоторые специфические проблемы, связанные с выбором стандартной единицы времени. В XIX веке метр был определен для практиче-



Возраст Вселенной	$5 \cdot 10^{17}$ с
Возраст Земли	$1,5 \cdot 10^{17}$ с
Зарождение жизни	$7,5 \cdot 10^{16}$ с
Земноводные	$7,5 \cdot 10^{15}$ с
Млекопитающие	$5 \cdot 10^{15}$ с
Человек	$1 \cdot 10^{14}$ с
Один год	$3 \cdot 10^7$ с

ских целей как расстояние между двумя штрихами на платиново-иридиевом стержне. Стержень, изготовленный из этого очень стабильного сплава, хранился в подвале, где поддерживалась неизменная температура. Любой другой стержень можно было поместить рядом и сравнить. Как, однако, можно взять стандартную секунду времени и поместить ее в выложенную бархатом шкапу? Лучшее, что можно сделать, — выбрать по определению и в дальнейшем



сохранять некоторую систему, в которой происходит какое-либо событие за единицу времени. Затем следует убедиться на опыте в том, что эта система всегда будет работать так же, как и вначале, либо доказать это теоретически.

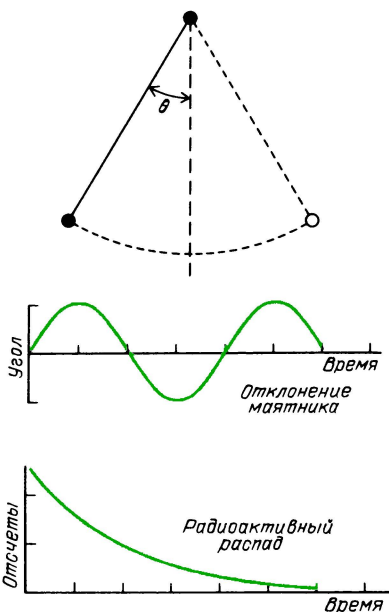
В качестве стандартной единицы времени можно было бы выбрать, например, промежуток времени между двумя ударами пульса. Однако с помощью наручных часов вы можете убедиться, что частота пульса различается, когда вы бежите или сидите неподвижно. Тогда почему бы не использовать наручные часы в качестве стандарта?

Даже самые лучшие наручные часы время от времени приходится подводить, что обычно делают с помощью сигналов времени, передаваемых по радио. С какими же часами сверяются часы на радиостанции?

Вопрос 1-6

Приведите примеры каких-либо естественных систем, про которые можно уверенно утверждать, что в них некоторое событие происходит через одно и то же время.

Зависимость от времени включают в себя события двух разных видов: повторяющиеся, подобно колебаниям маятника, и процессы непрерывного изменения, подобные радиоактивному распаду или произвольному движению

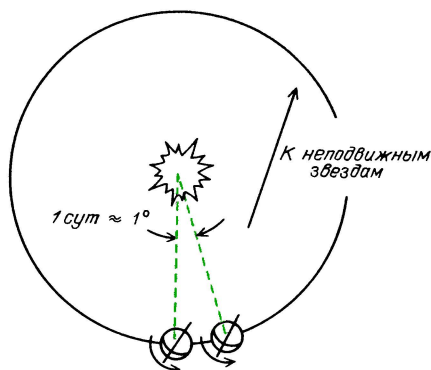


тел. Какой бы ни был выбран процесс для установления стандарта, единица времени должна оставаться в неизменном отношении с другими повторяющи-

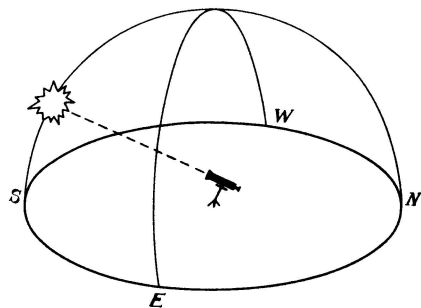
мися процессами и должна также приводить к простым и согласованным соотношениям, описывающим движение. Например, у нас есть веские основания считать, что скорость света в вакууме является универсальной константой. Измерения скорости обычно включают в себя измерения времени (столько-то метров в секунду). Если бы в будущем измерение скорости света привело к значению, отличающемуся от нормального, мы бы заподозрили, что что-то случилось с нашим стандартом времени. Другими словами, мы судим о надежности любого из наших стандартов на основании их взаимной согласованности.

До 1964 года международная единица времени была основана на суточном вращении Земли. Но, к сожалению, продолжительность суток подвержена разного рода вариациям, причем некоторые из них настолько велики, что могут быть обнаружены с помощью обычных электронных часов. Длительность суток зависит от положения Земли на орбите вокруг Солнца. Эта орбита хоть и близка к круговой, но все же слегка эллиптическая. В своем вращении вокруг оси Земля подвержена также некоторым длиннопериодным и короткопериодным колебаниям. Более того, вращение Земли постоянно замедляется вследствие потерь энергии на приливное движение. Чтобы сгладить все эти нерегулярности, в качестве стандарта были выбраны средние солнечные сутки 1900 года. Солнечные сутки примерно на четыре минуты длиннее звездных суток, то есть времени поворота Земли на 360° . Чтобы подставить Солнцу ту же сторону, Земля каждые сутки должна дополнительно поворачиваться на один градус, поскольку в своем движении вокруг Солнца она сдвигается примерно на один градус в сутки (на 360° за 365 дней).

В Соединенных Штатах астрономы Морской обсерватории несут ответственность за определение момента прохождения определенных звезд через меридиан (то есть через среднюю линию на небесной сфере, проходящую с севера на юг) и тем самым за определение сидерического времени. Затем они



За время поворота на 360° проходят одни сидерические (звездные) сутки. Продолжительность солнечных суток несколько больше



вносят поправки для учета различных движений Земли и рассчитывают солнечное время с точностью до одной тысячной доли секунды. Сигналы времени, точные до 0,001 секунды, передаются некоторыми широкоэмитательными радиостанциями. С помощью спутниковой системы связи национальные часы синхронизируются с часами других стран в пределах одной десятой микросекунды (10^{-7} с).

Атомы и молекулы также представляют собой системы, в которых выдерживаются определенные частоты. Они могут испускать или поглощать свет только строго определенных частот. После второй мировой войны был создан ряд устройств, в которых поддерживается резонанс между микроволновым электромагнитным излучением и пучками изолированных атомов или молекул. Постоянная частота атомных колебаний поддерживает неизменную частоту электромагнитного сигнала. Поскольку можно выдерживать по-

стоянную частоту и вести счет колебаниям, такая система действует как часы. Начиная с 1964 года международный стандарт времени определяется на основе постоянной частоты атомных часов, в которых используется элемент цезий. В качестве одной секунды официально принято время, в течение которого происходит 9 192 631 770 колебаний в цезиевом сигнале. Атомные часы разных типов сравниваются друг с другом в течение длительных промежутков времени и их ход оказывается согласованным вплоть до одной доли от 10^{11} . Такая точность более чем в 100 раз превосходит возможности астрономических методов измерения времени.

Вопрос 1-7

В одной альпийской деревне была мастерская часовщика, в витрине которой висел плакат с надписью: «Эти часы показывают точное время». На вопрос посетителя, откуда известно, что это так, часовщик ответил, что часы каждый день проверяются по колоколу из обсерватории монастыря. Оказавшись в этом монастыре, посетитель попросил монахов показать ему, как они определяют точное время из своих наблюдений за звездами. «О,— ответили монахи,— нам уже больше не нужно делать этого, потому что мы теперь можем сверять свои часы с часами в деревне, которые показывают точное время».

Если бы само время замедляло свой ход, одинаково влияя на все повторяющиеся движения, были бы мы в состоянии когда-либо обнаружить этот эффект?

Наше восприятие времени в повседневной жизни редко простирается до промежутков, меньших 0,1 секунды. Для двигательной реакции рукой или ногой человеку требуется время около 0,2 секунды. На личном опыте у нас выработалось ощущение продолжительности суток, года и даже всей жизни.

Вопрос 1-8

Отметьте на приведенной шкале времени приблизительное число се-

кунд, содержащихся в одном году и в человеческой жизни (протяженность которой принята равной 70 годам). Проверьте правильность этих чисел, используя вычисления *по порядку величины*. Например, в одних сутках содержится

$$\frac{60 \text{ с}}{1 \text{ мин}} \cdot \frac{60 \text{ мин}}{1 \text{ ч}} \cdot \frac{24 \text{ ч}}{1 \text{ сут}}.$$

Заметьте, что минуты и часы сокращаются и остается некоторое число *секунд*. Это число равно $60 \cdot 60 \cdot 24$. Иначе это можно записать так:

$$(6,0 \cdot 10^1) \cdot (6,0 \cdot 10^1) \cdot (2,4 \cdot 10^1) = 6 \cdot 6 \cdot 2,4 \cdot 10^3.$$

С точностью до одной значащей цифры все арифметические действия можно теперь выполнить в уме: в сутках содержится $100 \cdot 10^3$, то есть 10^5 , секунд. Конечно, если требуется большая точность, можно воспользоваться логарифмической линейкой или калькулятором или даже перемножить числа столбиком. Однако в любом случае неплохо будет начать решение численной задачи с «пристрелки», то есть с получения ответа по порядку величины. Сделайте это для числа секунд, содержащихся в одном году и в жизни человека.

Всегда указывайте, в каких единицах измеряются величины. Бессодержательно утверждение, что ваша скорость равна 60, ваша скорость может быть 60 миль в час, что можно записать как 60 миль/ч.

Для перевода единиц величин всегда умножайте на дробь, равную 1. Например, в одной миле содержится 5280 футов, поэтому

$$\frac{5280 \text{ фут}}{1 \text{ миля}} = 1.$$

Для перехода от миль в час к футам в секунду:

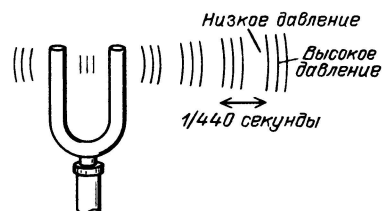
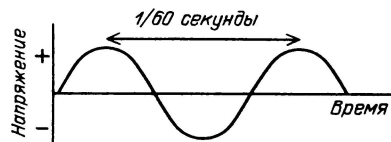
$$\frac{60 \text{ миль}}{1 \text{ ч}} \cdot \frac{5280 \text{ фут}}{1 \text{ миля}} \cdot \frac{1 \text{ ч}}{3600 \text{ с}} = \frac{5280 \text{ фут}}{60 \text{ с}} = 88 \text{ фут/с}.$$

С некоторыми из частот, используемых в повседневной жизни, мы тем

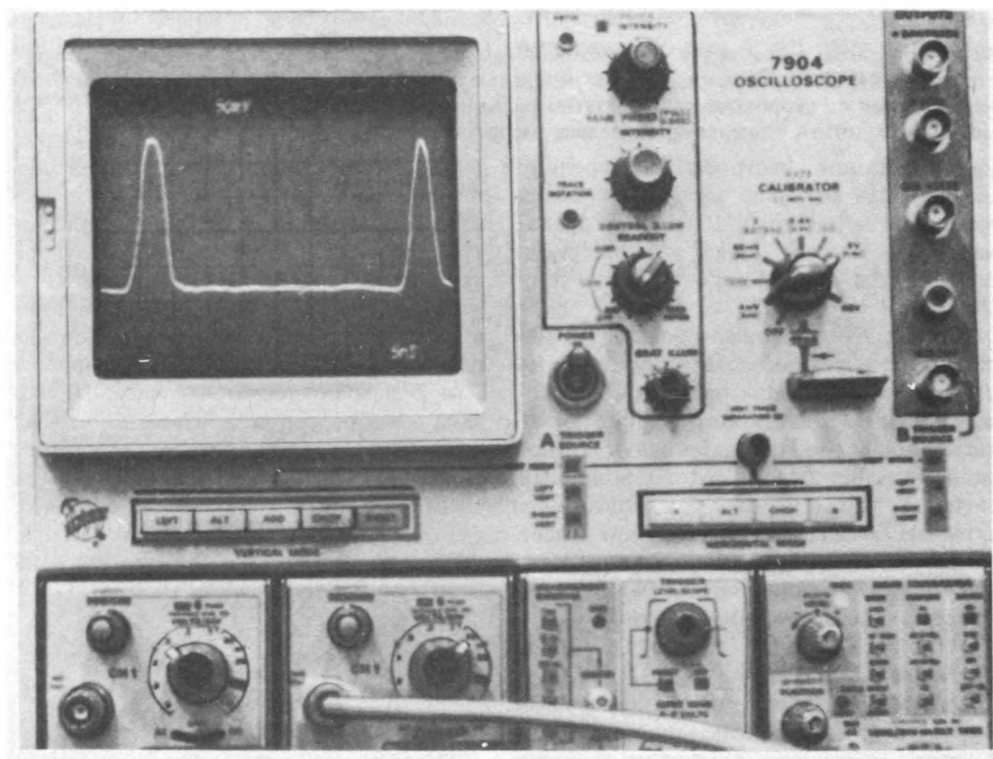
или иным образом знакомы. Стандартная частота используемого в быту электрического тока равна 60 периодам в секунду*). Это значит, что за 1/60 секунды напряжение на гнездах штепсельной розетки изменяется от максимального положительного значения до максимального отрицательного и обратно до максимального положительного. Напряжение проходит через нуль каждые 1/120 секунды. Гул с частотой 60 циклов в секунду представляет собой низкую ноту, которая иногда слышна в звуковоспроизводящих системах.

Более высокая нота, знакомая музыкантам оркестра, — это 440 циклов в секунду, или среднее А (для первой октавы). Эта нота используется при настройке инструментов. Вибрирующей системой, с помощью которой извлекается звук, может служить двойной язы-

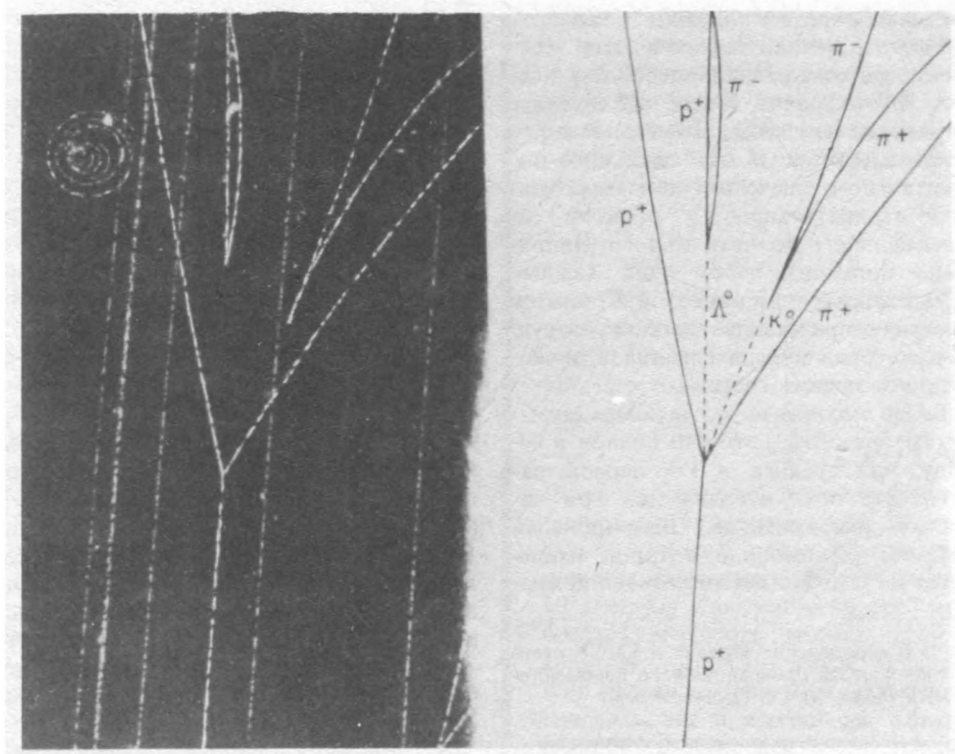
*) В европейских странах и СССР стандартная частота промышленного переменного тока равна 50 Гц. (Примеч. пер.)



чок (гобой), струна (скрипка) или губы музыканта (труба). Для обычных радиопередач с амплитудной модуляцией (АМ) используются частоты от 540 до 1480 килоциклов в секунду. (Циклы в секунду имеют наименование *герц*, для сокращенного обозначения которого используется символ Гц, так что АМ-радиодиапазон простирается от $0,54 \cdot 10^6$ до $1,48 \cdot 10^6$ Гц). Когда ваш



Луч на экране осциллографа смещается на 1 см в горизонтальном направлении за $0,5 \cdot 10^{-8}$ с. Два сигнала на экране разделены промежутком времени $4 \cdot 10^{-8}$ с



Здесь приведена сделанная в пузырьковой камере фотография треков протон-протонного столкновения. Были образованы две нейтральные частицы (Λ^0 и K^0), которые вылетели вперед почти со скоростью света и затем распались. Времена их распада (порядка 10^{-10} с) можно определить, измеряя пройденные до распада расстояния: $t = x/v$

радиоприемник настроен на середину шкалы, электрический заряд в его цепях вибрирует с частотой 10^6 Гц. Это значит, что полный цикл, или период, совершается за одну микросекунду (10^{-6} с).

Сигналы телевидения имеют в 100 раз более высокую частоту, поэтому период колебания в них равен 10^{-8} с. Между прочим, такие короткие промежутки времени можно наблюдать с помощью осциллографа. Микроволновый сигнал, используемый в цезиевых атомных часах, по определению имеет частоту 9 192 631 770 Гц. Его период в секундах можно найти, если взять просто обратную частоте величину.

Вопрос 1-9

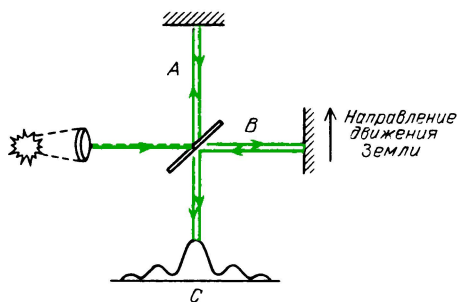
Чему равен период сигнала цезиевых часов? Нет нужды рассчитывать его здесь с точностью более чем до одной или двух значащих цифр.

Для измерения времени во всех диапазонах используются не только периодические процессы. Когда вы ведете автомобиль по автострате с постоянной скоростью 60 миль/ч, вы можете измерять свое продвижение равным образом в часах вместо миль. Для преодоления расстояния 120 миль между пунктами А и В вам потребуется 2 часа. Подобным же образом, если известно, что некоторая субатомная частица движется со скоростью, близкой к скорости света ($3 \cdot 10^8$ м/с), и проходит 6 см от точки, где она образовалась, до точки распада, то это значит, что она просуществовала $2 \cdot 10^{-10}$ с, то есть

$$\begin{aligned} \text{время жизни} &= \\ &= \frac{0,06 \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = \frac{6 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ с.} \end{aligned}$$

Может показаться, что промежутки времени, равные миллионным или биллионным долям секунды, находятся за

пределами нашего понимания и что их измерение возможно только с помощью сверхсовременного оборудования. Однако в действительности для многих инженеров и техников, занятых в электронной промышленности, измерения в этих диапазонах являются будничным делом. Понимание легко приходит при близком знакомстве. Уже в далеких 1890-х годах в Кливленде, штат Огайо,



Попытка Майкельсона измерить различие скоростей света, распространяющегося параллельно и перпендикулярно к движению Земли. Выходящий из объектива свет падал на полупрозражающее зеркало. Половина света распространялась по пути А, другая половина — по пути В. После отражения от зеркал пучки света встречались в точке С. Майкельсон мог бы обнаружить эффект, если бы в точке С свет шел «не в ногу» на $1/10$ длины волны

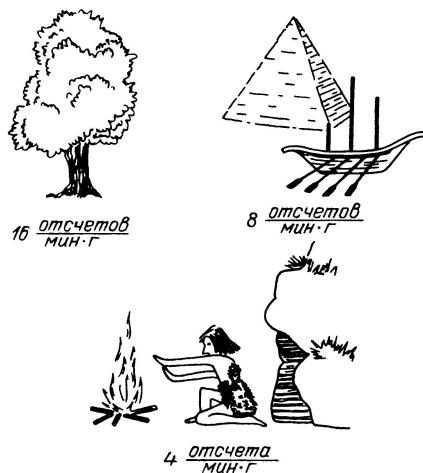
физик Майкельсон сравнивал времена прохождения света по двум взаимно перпендикулярным путям. Он умел обнаружить разницу времен прохождения этих путей с точностью до $1/10$ периода колебаний видимого света — примерно до 10^{-16} секунд.

Кратчайший промежуток времени на нашей шкале времени равен 10^{-23} с. В некоторых теориях фигурируют еще более короткие интервалы времени, но 10^{-23} с — кратчайшее время, проявляющееся в сравнительно прямых экспериментальных результатах. Такое время требуется свету или субатомной частице, движущейся почти со скоростью света, для прохождения вдоль диаметра протона или нейтрона.

Вопрос 1-10

Проверьте приведенное значение этого времени. Диаметр протона равен примерно $2 \cdot 10^{-15}$ м.

После второй мировой войны произошли революционные изменения в нашем умении измерять длительные промежутки времени. Важнейший новый метод (хотя существуют и другие) состоит в использовании различных схем радиоактивного распада. Существующие исторические письменные документы можно соединить в цепь, протянувшуюся назад примерно на 5000 лет к дням, когда строились ранние египетские пирамиды. Но даже в пределах этого периода многие археологические находки были датированы определением количества оставшегося в их веществе радиоактивного углерода. В одной из последующих глав мы изучим детали этого метода. Основная идея состоит в следующем: все живое получает двуокись углерода из воздуха. Малая, но вполне определенная часть углерода радиоактивна, и поэтому любой образец биологических тканей, древесины или одежды, приготовленный из вещества, которое еще недавно было живым, содержит такую же долю радиоактивного углерода. В детекторе определенного типа «свежее» вещество дает 16 отсчетов в минуту на каждый грамм углерода. За 5600 лет число отсчетов сократилось бы до 8 в минуту на 1 грамм, еще



Свежая древесина дает скорость счета 16 отсчетов в минуту на 1 грамм углерода; древесина от погребальной лодки из пирамиды — 8 отсчетов в минуту на 1 грамм углерода; древесина из очага в пещере — 4 отсчета в минуту на 1 грамм углерода

за 5 600 лет скорость счета уменьшилась бы в 4 раза по сравнению с первоначальной. Измеряя скорость счета для отожженного (чтобы привести органическое вещество к чистому углероду) образца древесины, взятого из какой-нибудь древней лодки, можно вычислить, сколько лет прошло с того времени, когда эта древесина была живым деревом и еще поглощала двуокись углерода из воздуха. Возможность применения радиоуглеродного метода датирования ограничена примерно 25 000 лет, так как постепенно скорость счета становится слишком малой для точного измерения.

На основе других схем датирования, зависящих от очень сложных последовательностей геологических событий, было установлено, что дата происхождения человекоподобных существ уходит в прошлое на несколько миллионов лет. Возраст скал и кристаллических пород

Радиоактивные изотопы естественного происхождения

Элемент	Период полураспада (в годах)
$^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$
$^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \cdot 10^8$
$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,4 \cdot 10^{10}$
$^{176}_{71}\text{Lu}$	$1,0 \cdot 10^{10}$
$^{87}_{37}\text{Rb}$	$5,0 \cdot 10^{10}$
$^{40}_{19}\text{K}$	$1,3 \cdot 10^9$

земной коры определяется разнообразными измерениями радиоактивности. Посмотрите, например, на список радиоактивных материалов естественного происхождения и периодов их полураспада. (Отметьте, что среди них нет углерода. Радиоактивный углерод с его сравнительно коротким периодом полураспада непрерывно образуется в верхних слоях атмосферы под действием космического излучения.) Перечисленные радиоактивные элементы — это те, что сохранились со времени самого возникновения Земли. За время, равное периоду полураспада, половина любого такого элемента превращается в другой элемент. Еще за один период полураспада превращается половина оставшегося количества радиоактивного вещества,

так что остается лишь четверть его первоначального количества.

Вопрос 1-11

Складывается впечатление, что при таких темпах мы никогда не сможем избавиться от радиоактивных веществ. Какая доля их остается после 5 периодов полураспада? После 10 периодов полураспада?

Самый короткий период полураспада среди этих радиоактивных элементов, все еще существующих на Земле, равен $7 \cdot 10^8$ лет (для урана-235). Этот период полураспада составляет почти биллион лет, и все же ^{235}U встречается гораздо реже, чем ^{238}U , период полураспада которого в шесть раз больше. Почему не встречаются какие-нибудь элементы с периодами полураспада 10^6 , или 10^7 , или 10^8 лет? Такие формы существуют и могут быть получены искусственно расщеплением атомных ядер. Они должны были также возникнуть при образовании других элементов нашей Солнечной системы. Если бы возраст солнечной системы составлял только 10^6 , или 10^7 , или 10^8 лет, такие радиоактивные элементы со сравнимыми периодами полураспада все еще встречались бы. Поскольку их нет, мы заключаем, что возраст Солнечной системы превышает 10^8 лет. На самом деле тщательный анализ соотношения количеств существующих элементов (например, отношения количества ^{238}U к количеству ^{235}U) приводит для возраста Солнечной системы к значению около $5 \cdot 10^9$ лет.

Наша Солнечная система образована звездой по меньшей мере второго поколения. Все существующие планеты и Солнце (да и люди) были когда-то частью другой звезды, взорвавшейся с чудовищной силой. Рассеянная этой и другими звездами пыль постепенно закручивалась в вихрь, скапливаясь под действием взаимного гравитационного притяжения, и все началось сначала. Этот цикл не будет повторяться вечно. Наша звезда, по-видимому, слишком мала, чтобы закончить свое существование взрывом. Еще через пять биллионов

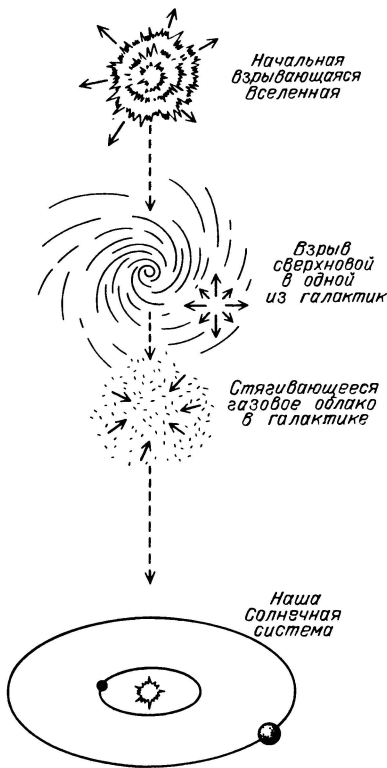
лет или около того она сильно расширится, поглощая внутренние планеты, но затем сожмется и превратится в постепенно остывающую маленькую звезду.

Возраст самой Вселенной лишь в два или три раза превышает возраст Солнца. Все существующее — звезды, галактики и само пространство — возникло

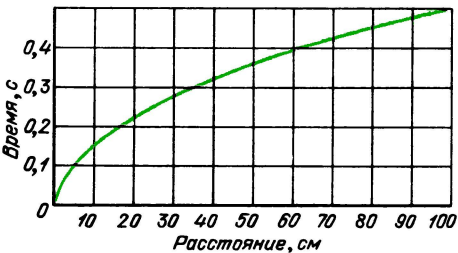
ствует и много других свидетельств, приводящих к такому же заключению. На нашей шкале времени возраст Вселенной соответствует $5 \cdot 10^{17}$ секунд.

**ЗНАКОМСТВО
С ЯВЛЕНИЯМИ — ВРЕМЯ**

При описании промежутков времени короче секунды мы утверждали, что для человека время двигательной реакции рукой или ногой составляет лишь около 0,2 секунды. Быть может, ваша реакция лучше? Предложим простой способ измерения времени реакции. Попросите кого-нибудь подержать метровый стержень или линейку в вертикальном положении и держите свой большой и указательный пальцы в готовности зажать стержень, как только он начнет падать. Сначала держите пальцы против определенного деления на стержне, а затем

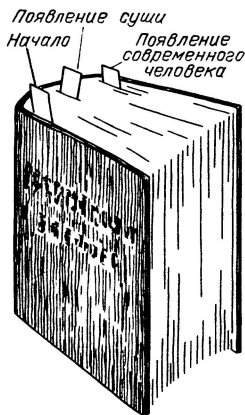


как очень концентрированное и сильно насыщенное энергией скопление чего-то. Мы не знаем, откуда оно взялось, или как возникло, но эта система взорвалась с образованием теперешних субатомных частиц, которые собрались в галактики и звезды существующей ныне Вселенной. Это произошло около 15 миллиардов лет назад, и с тех пор система все время расширялась. Выше было описано, как можно измерить скорости галактик с помощью красного смещения частоты их характеристического излучения. Каждая галактика движется как раз с такой скоростью, чтобы достичь места, где она теперь находится, за время движения в 15 миллиардов лет. Суще-



посмотрите, сколько сантиметров проходит стержень в падении, прежде чем ваши пальцы схватят его. На приводимом графике показано проходимое в падении расстояние как функция времени падения. Посмотрите, удастся ли вам добиться времени реакции 0,1 секунды.

На с. 16 была использована логарифмическая шкала времени для того, чтобы охватить столь обширный диапазон. Изготовьте *линейную* шкалу истории Вселенной, используя данную книгу для представления всей этой истории. Пусть полное число страниц представляет $5 \cdot 10^{17}$ секунд. Вложите в книгу закладки, отмечающие великие моменты истории Вселенной. Например, посередине книги следует поместить закладку с пометкой «образование Солнечной системы». Отметьте такие события, как зарождение жизни на Земле, появление первых пресмыкающихся,



млекопитающих, разумных людей. Специально пометьте страницу и то место на странице, где начинается письменная история человечества (около пяти тысячелетий тому назад).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ

До сих пор мы описывали нашу Вселенную в пространстве и во времени. Если бы Вселенная, все происходящие в ней события были известны и статичны, их модели можно было бы приколоть булавками в музейных витринах, чтобы мы могли изучать их и восхищаться ими. Это был бы музей фантастический, но все-таки очень скучный. Конечно же, такое представление не имеет ничего общего с самой Вселенной и ее изучением. Существо дела не в протяженности Вселенной в пространстве и времени, а скорее в сложных взаимодействиях всех ее частей и происходящих с ними изменениях.

Мы познаем мир только через взаимодействия с ним. Когда мы видим предмет, наши глаза воспринимают свет, рассеянный его поверхностью. Происходит взаимодействие света с предметом, в результате которого некоторые цвета поглощаются, а другие отражаются.

В наших глазах происходят взаимодействия, превращающие свет в электрические импульсы, распространяющиеся по волокнам зрительных нервов. Полностью изолированный предмет, с которым никакие взаимодействия невозможны, непознаваем.

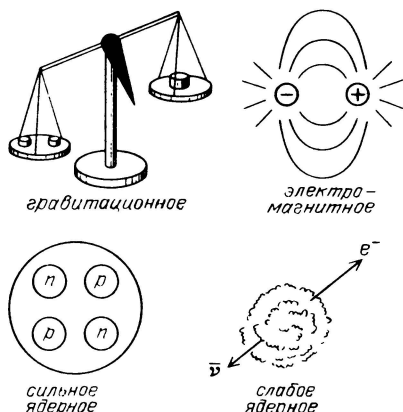
Вопрос 1-12

Взаимодействия между предметом и тем, кто его познает, происходят не мгновенно. После того как свет провзаимодействует с предметом, пройдет некоторое время, прежде чем свет достигнет наших глаз. Свет служит посланцем, несущим информацию. Если требуется четыре года для того, чтобы свет от ближайшей звезды достиг нас, откуда мы знаем, что в каждый данный момент времени эта звезда все еще существует?

Информацию об окружающем мире мы получаем благодаря зрению, слуху, осязанию, вкусу и обонянию. В действительности все носители информации, воспринимаемые нашими органами чувств, в основе своей имеют электромагнитную природу, хотя проявляются они в очень сложных формах. В последующих главах мы увидим, что электрические и магнитные силы представляют собой различные стороны одного и того же явления. Более того, видимый свет является электромагнитным излучением определенного диапазона частот, и в атомах (но не в атомных ядрах) действуют тоже электромагнитные силы. Но если строение атома обусловлено электромагнитными силами и это же взаимодействие отвечает за все связи между молекулами, то и все химические и биологические явления имеют электромагнитную природу. Электромагнитное взаимодействие между двумя телами зависит от распределения их электрических зарядов, от расстояния между ними и от их относительного движения.

Если электромагнитное взаимодействие в ответе за все обычные сигналы, на которые реагирует организм человека, не является ли оно единственным взаимодействием между телами? Нет; насколько мы теперь знаем, тяготение представляет собой отдельную форму взаимодействия. Электромагнетизм преобладает в мире атомов и молекул и в обмене энергией излучения, но в космических масштабах преобладает гравитационное взаимодействие — оно удерживает планеты на своих орбитах и управляет движением галактик. Вну-

Взаимодействия



три ядер атомов важную роль играют два других типа взаимодействия — сильное и слабое, изучать которые мы будем позднее. Они ответственны как за стабильность ядер, так и за их превращения.

Вопрос 1-13

Мы назвали только четыре вида взаимодействий. Как просто устроена Вселенная! Не знаете ли вы взаимодействия, которое не относится к этим четырем?

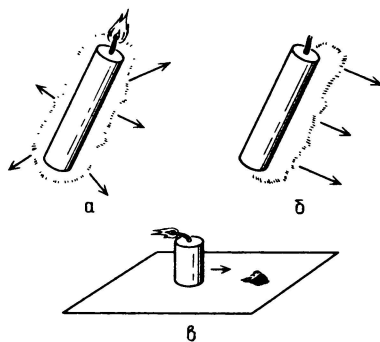
Мы все время говорим о взаимодействиях вместо того, чтобы говорить о силах. Но разве взаимодействие тел не выражается в том, что одно из них действует на другое с некоторой силой? Такой способ рассматривать происходящее часто оказывается полезен, но существует и другой способ. Он заключается в том, чтобы рассматривать взаимодействующие тела как единую систему до и после произошедших с ними изменений. Предположим для примера, что вы держите в поднятых высоко руках камень. Известно, что на него действует сила, которая притянет его к Земле, как только вы его выпустите. Мы можем описать эту силу, выразив ее через массу камня и размеры Земли, и вскоре мы узнаем, как можно описать последующее движение в виде функции этой силы. С другой точки зрения, Землю и камень (вместе с вами) можно рассматривать как части некоторой системы. Сначала камень и Земля отде-

лены друг от друга. Затем камень и Земля соединились, в воздухе возник звук удара, в Земле образовалась вмятина, и в очень небольшой степени Земля и камень нагрелись. Начальное состояние преобразовалось в конечное состояние. Сначала взаимодействие, вызвавшее переход от первой ситуации ко второй, было гравитационным. После удара камня о Землю уже электромагнитное взаимодействие ответственно за превращения, в результате которых возникли звук, вмятина и повышение температуры.

Вопрос 1-14

Взрывается хлопушка. Как бы вы описали начальное и конечное состояния и взаимодействие, в результате которого одно состояние превратилось в другое?

Так много разного рода изменений может произойти во время взаимодействия, что попытка вывести общие закономерности может показаться безнадежным делом. Во время взрыва хлопушки изменился ее цвет, изменилась ее форма, изменилось положение ее частей. Существует другой подход к изучению взаимодействий. Вместо того чтобы спрашивать: «Что изменилось?», выясните, что остается неизменным. Эта задача тоже может показаться безнадежной. Столь многое изменяется при взрыве хлопушки; разве хоть что-нибудь остается прежним? На самом деле при каждом взаимодействии ряд свойств не может измениться — эти



Событие **а** наблюдается; события **б** и **в** никогда не наблюдаются