

Б.И.ФЕСЕНКО

Астрономический калейдоскоп: вопросы и ответы



«ПРОСВЕЩЕНИЕ»

Б.И.ФЕСЕНКО

Астрономический калейдоскоп: вопросы и ответы

Книга для учащихся

МОСКВА
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
1992

ББК 22.6

Ф44

Рецензенты: научный сотрудник отдела астрономии Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга, кандидат физико-математических наук К. В. Куимов; научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР, кандидат физико-математических наук М. Ю. Шевченко

Фесенко Б. И.

Ф44 Астрономический калейдоскоп: вопросы и ответы: Кн. для учащихся.— М.: Просвещение, 1992.— 95 с.: ил.— ISBN 5-09-003016-2.

В книге в форме вопросов и ответов рассказывается о причинах различных небесных явлений, доступных для наблюдений невооруженным глазом; значительное место отводится разбору задач, решаемых с помощью программируемого микрокалькулятора.

Ф $\frac{4306020000-434}{103(03)-92}$ 130—1991

ББК 22.6

ISBN 5-09-003016-2

© Фесенко Б. И., 1992

ПРЕДИСЛОВИЕ

Любознательному уму небо дает обильную пищу для размышлений. В самом деле, почему диски Солнца и Луны как бы увеличиваются и краснеют у горизонта? Почему звезды мерцают, изменяя иногда и свой цвет? Влияют ли на Землю и на нас космические объекты? При ответе на подобные вопросы прежде всего выясняется важная роль воздушного океана, сквозь который человечество смотрит в космос. Затем нашему взору предстает удивительное многообразие взаимосвязей между Землей и космосом, а также между разными космическими объектами.

Мы попытались в книге дать наиболее простые (но достаточно строгие) ответы на 39 вопросов. Среди вопросов есть и очень трудные (см. раздел «Космос и жизнь»). В этих случаях ответы имеют характер предположений. Читателю предлагается материал для размышлений, уводящих к истокам нашего существования.

Широкое распространение программируемых микрокалькуляторов позволяет приобщить почти любого человека к решению задач, которые ранее были малодоступными из-за вычислительных трудностей. Много таких задач с соответствующими программами для микрокалькулятора приводится в заключительном разделе. Очевидно, громоздкость формул в данном случае не помешает найти решение (см., например, раздел VI вопросы 3 и 7), так как от заинтересованного читателя потребуются лишь внимательность и аккуратность при нажатии клавиш, а микрокалькулятор рассчитает все сам. На первых порах рекомендуется рассмотреть наиболее легкие вопросы-задачи.

Иллюстрации в книге носят качественный характер. Читателю не следует их абсолютизировать: если бы мы точно соблюдали все количественные соотношения на рисунках, то это помешало бы разобраться в природе рассматриваемых явлений.

Предлагаемые вопросы не требуют систематического, последовательного рассмотрения один за другим. Можно начинать с любого вопроса, вызвавшего интерес. Эта автономность вопросов достигается ценой некоторого увеличения объема текста за счет повторения одних и тех же положений в разных местах. Однако и повторение полезно, так как всякий раз делаются разные акценты.

I. РОЛЬ АТМОСФЕРЫ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ. ЯРКОСТЬ И ЦВЕТ СВЕТИЛ

1. Почему мерцают звезды?

С мерцанием звезд знаком каждый. Человека, не привыкшего к этому зрелищу, оно завораживает. Мерцание звезд усиливается к горизонту. Уже одно это указывает, что на данное явление влияет атмосфера. Действительно, путь луча света в воздухе тем длиннее, чем меньше угол между лучом и плоскостью горизонта. Это ясно из рисунка 1, где также видна и непрямолинейность лучей. Она обусловлена уменьшением показателя преломления воздуха по мере перехода к более высоким и разреженным слоям атмосферы (подробнее об этом см. в п. 3).

Мерцание звезд объясняется тем, что в воздухе постоянно существуют небольшие потоки и завихрения с разными плотностями и температурами (эти различия невелики). Преломляющая способность такой воздушной среды различна в разных местах и изменяется со временем. Поэтому действие ее на свет можно уподобить суммарному действию большого числа очень слабых и подвижных линз, попавших на луч зрения. Одни из них будут собирать свет в точке T , другие — рассеивать. В зависимости от того, действие каких линз преобладает в данный момент, мы и замечаем либо усиление, либо ослабление света, т. е. мерцание звезд. Интересно, что для левого и правого глаза мерцание происходит несинхронно.

Быстрые, сильные мерцания вызываются сравнительно мелкими неоднородностями. Спектр частот для мерцаний весьма широк. Однако мерцания, происходящие с высокой частотой (до 100 раз в секунду), человеческий глаз уже не воспринимает.

В воздушной среде встречаются и очень большие неоднородности — воздушные волны. Их действие на свет звезд можно иногда наблюдать, глядя на Плеяды (звездное скопление в созвездии Тельца). При прохождении волны все звезды этой области неба почти одновременно и довольно медленно изменяют свой блеск.

2. Почему меняется цвет звезд при мерцании?

Все дело в том, что свет звезд составной. Между тем свет разных длин волн преломляется атмосферой по-разному. В

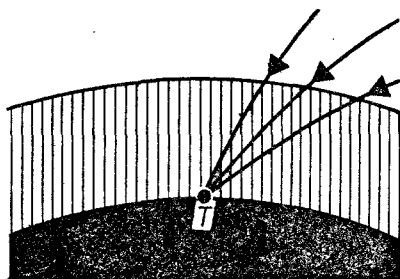


Рис. 1

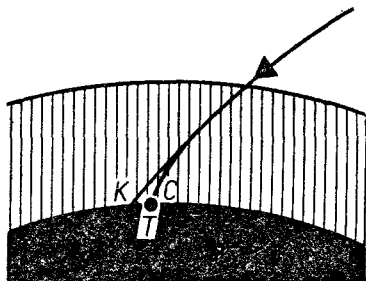


Рис. 2

воздухе, как и в стекле, синий луч (C) испытывает более сильное преломление, чем красный (K). Поэтому белый луч света, войдя в атмосферу, разлагается, и его цветные лучи расходятся все больше и больше (рис. 2). Разошедшиеся лучи C и K не могут вновь соединиться в глазу одного и того же наблюдателя. И если бы в атмосферу от звезды входил только один луч, как показано на рисунке 2, то наблюдатель T увидел бы рассматриваемую звезду синей. Но от звезды идет не один, а бесчисленное множество лучей, и все они параллельны друг другу ввиду огромной удаленности источника света. Поэтому от одного из них в глаз наблюдателя T попадет красный луч, от другого — синий (рис. 3). Очевидно, найдутся свои лучи (внеатмосферные) и для других цветов. Отсюда ясно, что при отсутствии мерцаний цвет звезды не зависит от положения наблюдателя. (Заметим, что для наглядности углы между синим и красным лучами на рисунках 2 и 3 сильно преувеличены.)

Выясним теперь, как влияет мерцание на цвет наблюдаемой звезды. Из рисунка 3 видно, что лучи C и K , прежде чем попасть в глаз наблюдателя T , проходят в атмосфере разные пути. (То же справедливо и для лучей других цветов.) Поэтому при достаточно малых размерах воздушных линз (см. п. 1) мерцание синего и красного света одной и той же звезды происходит несинхронно. Значит, в суммарном свете происходит непрерывное нарушение баланса цветов то в пользу одного, например синего цвета, то в пользу другого, например красного. (Эти цвета мы выбрали для упрощения объяснения, но все сказанное относится и к любым другим цветам.)

Из предыдущего объяснения ясно, что в один и тот же момент одна и та же звезда для разных наблюдателей может иметь разный цвет. Оказывается, что «мгновенный» цвет звезды различен даже для правого и левого глаза од-

ного и того же наблюдателя. Однако усредненный по времени цвет одинаков.

Из того, что цветовое мерцание могут вызывать только такие неоднородности воздуха, размеры которых меньше расстояния между синим и красным лучами, а это расстояние становится исчезающе малым у глаза наблюдателя (где оба луча сходятся), вытекают интересные следствия. Во-первых, обычное мерцание (т. е. колебания полной интенсивности света) и цветовое мерцание вызываются не всегда одними и теми же неоднородностями. Самые большие из них, вызывающие лишь медленные изменения интенсивности света, не влияют на баланс цветов. Во-вторых, среднее расстояние до наблюдателя неоднородностей, вызывающих мерцания, в случае колебаний цвета больше, чем в случае колебаний общей интенсивности света. Вблизи наблюдателя даже очень маленькая неоднородность покрывает сразу оба луча (C и K).

Чему же равно кратчайшее расстояние между лучами C и K на удалении, скажем, 5 км от наблюдателя? Если угол между плоскостью горизонта и направлением от наблюдателя к звезде равен 45° , то это расстояние составляет там всего 2—3 см. При угле 10° и удалении 45 км расстояние увеличится до 100—150 см.

Читателю мы предлагаем выполнить собственные наблюдения за мерцанием звезд и попытаться ответить на следующие вопросы:

1. Как зависит интенсивность обычного и цветового мерцаний от высоты звезды над горизонтом и от ее цвета?

2. Как зависит мерцание от азимутального направления (одинаково ли оно в северной, западной, южной и восточной областях неба)? Играет ли здесь роль направление ветра?

3. Одинаково ли ощущение от мерцания при наблюдении его одним глазом и обоими глазами?

4. Какой размер имеют неоднородности воздуха, вызывающие цветовое мерцание звезд?

Полезно будет сравнить результаты при наблюдениях невооруженным глазом и при использовании бинокля.

Для таких наблюдений особенно подходят яркие звезды неба: Сириус, Вега, Капелла, Арктур, Спика и Процион. Капелла и Вега бывают низко над горизонтом только в северной области неба (Капелла — в июле, а Вега — в феврале, если наблюдать около 9 ч вечера).

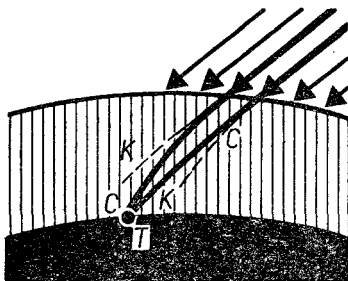


Рис. 3

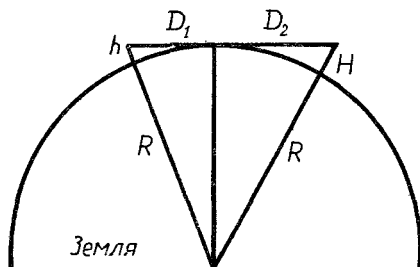


Рис. 4

3. Как далеко можно видеть корабль?

Будем считать, что наблюдатель стоит на берегу моря; высоту его глаз над морем обозначим h , а высоту самой верхней части корабля — H (рис. 4). Кажется бы, такая задача решается чисто геометрически. Искомая дальность предельной видимости корабля равна: $D = D_1 + D_2$, где

$$D_1 = \sqrt{(R+h)^2 - R^2} \approx \sqrt{2Rh}; \quad D_2 \approx \sqrt{2RH},$$

причем через R обозначен радиус Земли. Полагая, что $R = 6371$ км, и выражая высоты h и H в метрах, получим формулу

$$D \approx 3,57(\sqrt{h} + \sqrt{H}),$$

где расстояние D выражено в километрах. Например, при $h = 1$ м и $H = 4$ м $D = 10,71$ км.

Однако в приведенных расчетах не учтено преломление света в атмосфере. Чтобы пояснить его роль, рассмотрим стопку стеклянных пластинок, у основания которой находятся пластинки с наибольшим показателем преломления. Падающий сверху на эту стопку луч, преломляясь в каждой пластинке, превращается в ломаную линию (рис. 5). При неограниченном возрастании числа пластинок и одновремен-

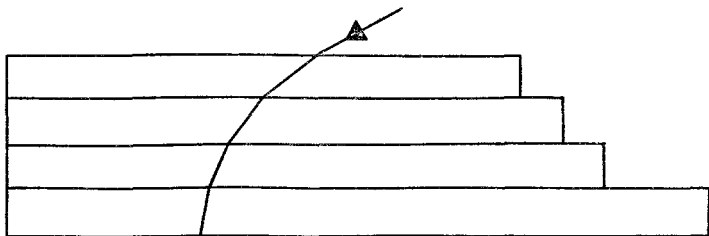


Рис. 5

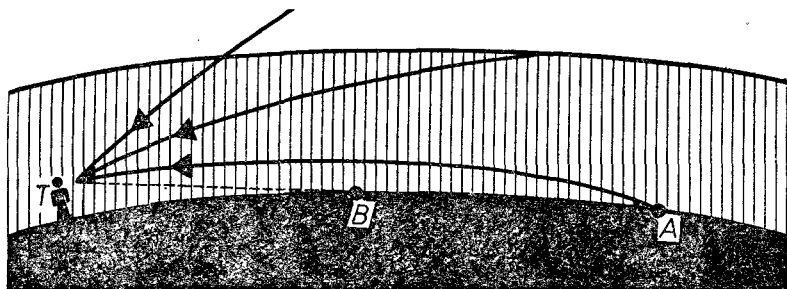


Рис. 6

ном уменьшении толщины каждой из них ломаная линия постепенно переходит в плавную кривую. То же происходит и с лучом света в атмосфере, т. е. свет в земной атмосфере распространяется не по прямой.

Обратим внимание на то, что в нашем примере кривая обращена своей вогнутостью вниз независимо от того, как идет свет — сверху вниз (как на рисунке) или снизу вверх. В атмосфере тоже нижние слои имеют наибольший показатель преломления. Поэтому любой луч света в атмосфере обращен вогнутостью вниз (если не рассматривать случаи аномального преломления света в воздушной среде).

На рисунке 6 показаны лучи света, идущие к наблюдателю *T*. Очевидно, что благодаря особенности распространения света в атмосфере дальность видимого горизонта должна увеличиваться. Действительно, при отсутствии атмосферы точка *A* оказалась бы скрытой от наблюдателя выпуклостью Земли. Поэтому вместо прежней формулы для расчета величины *D* используется такая:

$$D \approx 3,8 (\sqrt{h} + \sqrt{H}).$$

Рассмотренная особенность прохождения света сквозь атмосферу вызывает еще одно явление: некоторое повышение видимого горизонта (рис. 7).

На рисунке 7 прерывистой дугой показано положение видимого горизонта (наблюдаемая граница между небом и землей) с точки зрения наблюдателя *T*; дуга со стрелкой — путь луча света, идущего от наблюдаемой точки горизонта на Земле и попадающего в глаз наблюдателя. Ввиду искривления луча наблюдателю будет казаться, что горизонт приподнялся (прерывистая линия), так как касательная к дуге в точке *T*, по направлению которой смотрит наблюдатель *T*, пересекает видимый горизонт в точке *N*.

Увеличение дальности горизонта и степень его поднятия зависят от метеорологических условий.

4. Почему диски Луны и Солнца деформированы у горизонта?

Искривление лучей света в атмосфере приводит к тому, что все светила мы наблюдаем несколько выше их истинных положений. Угол с вершиной в глазу наблюдателя между истинным и видимым направлениями на звезду (или другое светило) называют углом рефракции. Этот угол возрастает по мере приближения светила к горизонту. У самого горизонта зависимость угла рефракции ρ от угла наблюдаемой высоты h (между плоскостью горизонта и направлением на видимое светило) приблизительно определяется формулой

$$\rho = (ah + b)^{-1,5},$$

где $a = 1,6537 \cdot 10^{-3}$, $b = 6,0539 \cdot 10^{-3}$, h выражено в градусах, а ρ — в секундах дуги. Коэффициенты a и b зависят от метеорологических условий; приведенные значения соответствуют неким средним условиям (нормальное давление, температура воздуха около 10°C и другие ограничения). Более наглядное представление о связи между величинами ρ и h дает таблица 1 (см. приложение).

Приведенная выше формула подобрана так, чтобы наилучшим образом описать зависимость величины ρ от h при $h \lesssim 4^\circ$. (Использовались данные астрономических справочников.) Формула облегчает определение угла рефракции для значений h , отсутствующих в таблице, и может быть полезной при расчете деформаций дисков Луны и Солнца, а также звездных конфигураций в созвездиях у горизонта.

Легко понять, что нижний край солнечного диска приподнимается несколько сильнее, чем верхний, что и приводит к сжатию этого диска в вертикальном направлении. На рисунке 8, поясняющем это утверждение, точки A и B принадлежат нижнему и верхнему краям диска Солнца при отсутствии искажений из-за рефракции; им соответствуют точки A_1 и B_1 диска, наблюдаемого сквозь атмосферу.

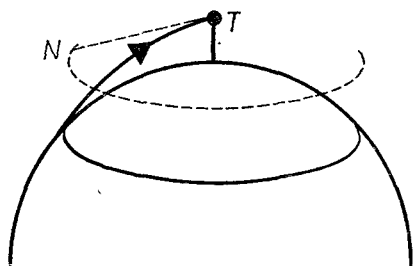


Рис. 7

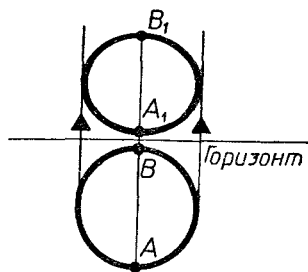


Рис. 8

Сжатие диска можно охарактеризовать отношением $\Delta d/d$, где d — угол, под которым виден диаметр, не искаженный рефракцией, и Δd — разность между горизонтальным диаметром, который не изменен рефракцией, и вертикальным, который уменьшен из-за рефракции. Результаты расчета приводятся в таблице 2 (см. приложение) в зависимости от угла h . Таким образом, если нижний край Солнца касается истинного горизонта (его плоскость проходит через глаз наблюдателя и перпендикулярна отвесной линии), то вертикальный диаметр диска сокращается примерно на $1/6$. При высоте нижнего края в 4° этот диаметр уменьшается всего на $1/30$ часть. (Напомним, что приведенные числа соответствуют средним условиям наблюдений.)

Все сказанное выше относительно деформации диска Солнца полностью применимо и к Луне, имеющей почти такой же угловой диаметр.

Очевидно, рефракция должна также несколько искажать вид восходящих и заходящих созвездий, сжимая их в вертикальном направлении.

При угле высоты, превышающем 45° , угол рефракции меньше $1'$, а различие его в разных направлениях и того меньше. Невооруженным глазом таких искажений не заметить.

5. Как атмосферная рефракция удлиняет день?

Если нижний край видимого диска Солнца касается истинного горизонта, то в этот момент при отсутствии атмосферы тот же нижний край диска Солнца был бы погружен под горизонт на угол около $35'$, что превышает угловой диаметр Солнца, составляющий около $32'$. Значит, из-за преломления света в атмосфере диск Солнца может приподняться над горизонтом больше чем на величину своего диаметра. Чтобы пройти на небе дугу в $30'$, Солнцу требуется две минуты времени. Из сказанного видно, что продолжительность дня должна возрастать. Увеличение дня зависит от угла, под которым Солнце движется по своей траектории (суточной параллели) относительно горизонта. Оно минимально для наблюдателя, находящегося на экваторе. Но именно благодаря ему выражение «На экваторе день всегда равен ночи» неточное. На самом деле день там примерно на 7 мин длиннее ночи, если моменты восхода и захода определять по верхней точке солнечного диска, как это и принято.

На географической широте 60° суточная параллель Солнца образует с линией горизонта (в точке пересечения

с ней) угол около 30° (при отсутствии атмосферы он был бы точно равен 30° , если пренебречь медленным перемещением Солнца по эклиптике; из-за переменной рефракции угол уменьшается примерно на 5° , причем последняя величина зависит еще от положения точек восхода и захода). В периоды, близкие к равноденствиям (21 марта и 23 сентября), день здесь почти на 14 мин длиннее ночи.

Моменты восхода и захода Солнца, о которых писалось выше, определялись относительно истинного (математического) горизонта (его определение см. в п. 4). Другое дело, если моменты восхода и захода определяются относительно видимого горизонта (его определение см. в п. 3), особенно если наблюдатель находится на возвышении.

Находясь на восточном берегу большого озера или моря, можно проделать такой опыт. Дождемся момента, когда Солнце уже полностью «окунулось» и перестал наблюдаться его диск. Спустя 5 с как можно выше подбросим мяч. В определенный момент мы увидим, что мяч как бы вспыхнет, освещенный Солнцем: там Солнце еще не зашло.

Наиболее сильно атмосферная рефракция удлинит день на полюсах Земли (см. раздел II, п. 1).

Влияние атмосферы на продолжительность светлого времени суток не ограничивается действием рефракции. По окончании дня темнота наступает не сразу тоже благодаря атмосфере, верхние слои которой еще освещаются Солнцем, рассеивают его свет, чем и объясняется явление сумерек.

6. Почему ясное небо голубое, а светила у горизонта красные?

Первопричина этих явлений одна и та же. В атмосфере сильнее всего рассеивается коротковолновое излучение Солнца. Когда мы смотрим на небо, то ощущаем рассеянный солнечный свет — этим и объясняется голубой цвет неба (рассеивание света происходит на очень маленьких, случайно возникающих сгущениях молекул воздуха).

Наблюдая разные области неба, мы видим свет, распространяющийся в направлениях, которые образуют разные углы с первоначальным солнечным лучом, осветившим данный объем воздуха. Больше всего света рассеивается в направлениях, близких к направлению первоначального луча. Об этом свидетельствует большая яркость неба около Солнца.

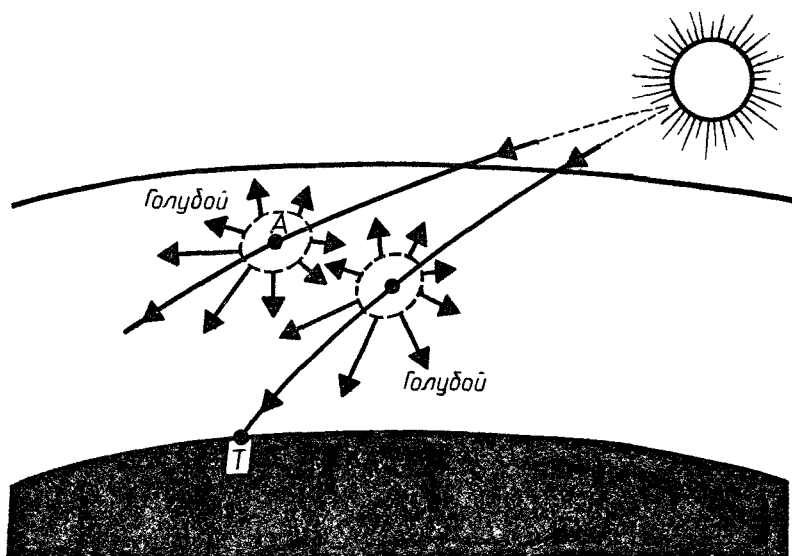


Рис. 9

Обратимся к рисунку 9. С точки зрения наблюдателя *T*, Солнце находится у горизонта, и его голубой свет, сильно рассеиваемый воздухом, приходит к наблюдателю существенно ослабленным, а красный свет почти не ослабляется. Баланс цветов нарушается, и Солнце краснеет. Со стороны объема *A* к наблюдателю поступает только рассеянный солнечный свет — преимущественно голубой. Длины стрелок, исходящих из объемов воздуха, обозначенных пунктиром, соответствуют интенсивности света, рассеянного в данном направлении.

Точно так же атмосфера изменяет цвет Луны, планет и звезд.

Внимание. Наблюдая Солнце, следует защитить глаза. Но сделать это нужно так, чтобы цвет Солнца не изменился. Если оно находится у горизонта, то наблюдать его можно сквозь малое отверстие в экране, поднесением к глазу.

Ярким свидетельством того, что атмосфера хорошо пропускает красный свет и сильно рассеивает голубой, почти не пропуская его (тем более это относится к фиолетовому и синему свету), является красновато-коричневый цвет Луны при ее полном затмении. В этот период Луна освещена только тем солнечным светом, который благодаря преломлению в земной атмосфере попал на Луну (рис. 10), а это в основном, как мы знаем, красный свет.

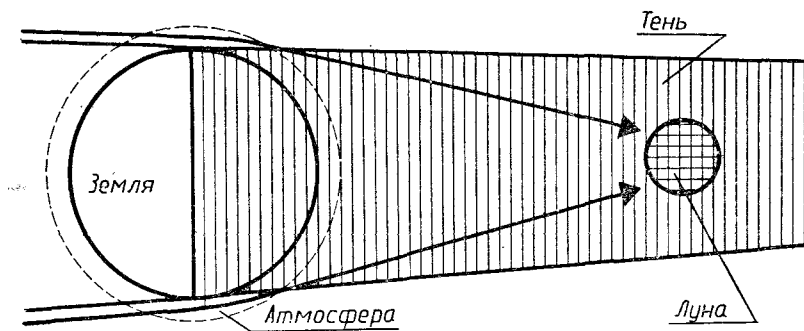


Рис. 10

Если солнечный луч, идущий к Луне, почти касается поверхности Земли (см. рис. 10), то, пересекая атмосферную толщу, он должен отклониться от первоначального направления к оси, соединяющей центры Солнца и Земли. Угол отклонения составляет около $70'$. Таким образом, приземной слой воздуха выполняет роль своеобразной линзы, которая фокусирует солнечный свет на расстоянии около 270 тыс. км от Земли. Чем больше расстояние солнечного луча от земной поверхности, тем более разрежены соответствующие слои воздуха, тем меньше угол отклонения и тем дальше фокус (рис. 11). Разные слои атмосферы фокусируют свет в разных точках указанной выше оси, причем ближайшие из них находятся на расстояниях, меньших расстояния Земля — Луна. Последнее из-за вытянутости лунной орбиты меняется при разных затмениях от 356 до 407 тыс. км. Итак, при затмении Луна располагается довольно близко к фокусу лучей, прошедших сквозь плотные слои атмосферы.

Лунный свет (вне затмений) более красный, чем солнечный. Несмотря на это, цвет ночного неба, освещенного яркой полной Луной, голубоватый.

Итак, находясь на дне воздушного океана, мы никогда не видим Солнце, Луну, планеты и звезды точно в их натуральном цвете. Атмосфера играет роль красноватого фильтра, причем тем более плотного, чем ближе к горизонту располагаются светила.

Одновременно атмосфера воздействует на свет и как призма. Мы уже видели, что именно это обстоятельство является одной из причин изменения цвета звезд при мерцании. Если бы атмосфера была совершенно спокойной на всем ее протяжении (отсутствовали бы мерцания звезд),

а зоркость глаза многократно усилилась, то на месте каждой звезды, достаточно близкой к горизонту, мы увидели бы коротенькую вертикальную ниточку спектра с голубым концом вверх. У самого горизонта при нормальных атмосферных условиях вертикально вытянутый отрезок спектра точечного светила был бы виден под углом около $0,5'$.

Представим себе заходящее светило, настолько яркое, что его можно увидеть невооруженным глазом на горизонте, несмотря на сильное ослабление света в атмосфере. Как отмечалось, светило будет выглядеть в виде крошечного нитевидного кусочка радуги с голубым концом вверх и с красным внизу. Прежде всего скроется за горизонтом красный конец. Но ввиду того что глаз воспринимает все изображение лишь как светящуюся точку, мы увидим только, что эта точка стала менее яркой и что одновременно изменился ее цвет. В этом кусочке радуги верхний конец будет зеленым, так как синий (голубой) свет не дойдет до нас из-за сильного рассеивания его в воздухе. Поэтому последний привет светило пошлет нам своим зеленым лучиком.

Сказанное применимо и к любой точке солнечного диска. Поэтому можно предположить, что около момента окончательного ухода его под горизонт мы должны напоследок увидеть в течение нескольких секунд зеленый свет от самого верхнего краешка Солнца. Почему же такой свет обычно не наблюдается? Вероятно, потому, что он очень слабый: зеленый свет гораздо сильнее рассеивается в воздухе, чем красный. Некоторые наблюдатели любовались этим светом при идеальных атмосферных условиях, находясь на берегу моря или на палубе корабля.

Читателю предлагается самостоятельно выполнить наблюдения за заходом Солнца и попытаться ответить на следующие вопросы:

1. Одинаковы ли цвет и яркость нижней и верхней половинок солнечного диска?
2. Симметрична ли нижняя половинка диска верхней относительно горизонтального диаметра?
3. Виден ли сегодня зеленый луч? Может быть, виден желтый?

7. Почему Луна и Солнце кажутся такими большими у горизонта?

Вначале рассмотрим случай Луны. Как изменяется расстояние до нее от восхода до захода? Луна обращается вокруг Земли по орбите, плоскость которой не совпадает с

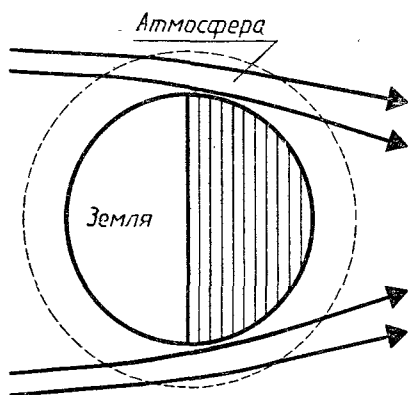


Рис. 11

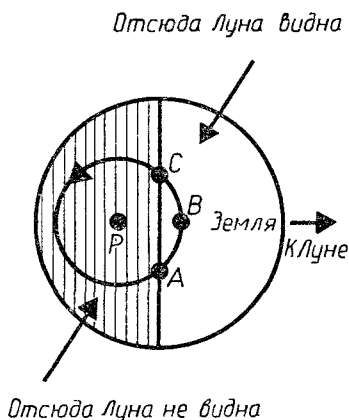


Рис. 12

плоскостью экватора Земли. Поэтому угол между осью Земли и направлением к Луне, как правило, не равен 90° . На рисунке 12 точка *P* — Северный полюс Земли; точки *A*, *B* и *C* — положения одного и того же наблюдателя в разное время (затенена та часть Земли, с которой Луна не видна). Очевидно, для наблюдателя в точке *A* она восходит, для наблюдателя в точке *C* заходит, а из точки *B* Луна будет наблюдаться выше всего над горизонтом. Кажется, что именно здесь наблюдатель находится ближе всего к Луне. В большинстве случаев это действительно так. Но бывают исключения. Например, на широте С.-Петербурга иногда угловое расстояние между точками восхода и захода Луны составляет только 54° (вместо 180° , как было бы, если бы она восходила точно на востоке и заходила точно на западе). При этом разность расстояний до Луны при ее наивысшем положении и при заходе составляет всего около 350 км. Но сама Луна не стоит на месте, а движется вокруг Земли по довольно вытянутой орбите, иногда удаляясь от нас, а иногда приближаясь со скоростью до 205 км/ч. За те два часа, которые в нашем примере требуются Луне, чтобы пройти участок неба от наивысшего положения до захода, она может приблизиться к нам на 410 км. Значит, при заходе она будет на 60 км ближе к Земле, чем когда находится над точкой юга.

Сказанное относится и к Солнцу: случается, что при заходе оно находится ближе к нам, чем в полдень (орбита Земли слегка вытянута, вследствие чего иногда Земля удаляется от Солнца, а иногда приближается к нему со скоростью до 1800 км/ч).

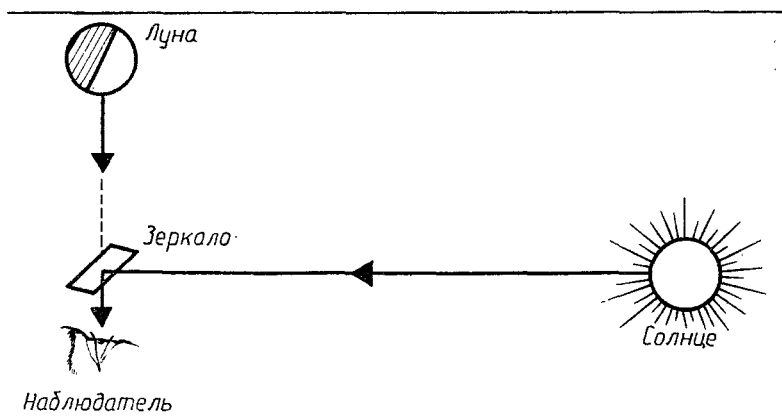


Рис. 13

В большинстве случаев Солнце и Луна во время восхода или захода находятся от нас дальше, чем в другие моменты, когда они видны над горизонтом. Однако у горизонта они всегда кажутся нам в несколько раз большими, чем вдали от него. Вместе с тем точные измерения показывают, что реальные угловые размеры этих тел на небе меняются совсем незначительно. Следовательно, мы имеем дело с иллюзией.

Для подтверждения этого вывода проведем эксперимент, воспользовавшись тем, что угловые диаметры Луны и Солнца почти одинаковы. В весеннее время дождемся вечера, когда Луна, находящаяся в первой четверти (т. е. имеющая вид полукруга выпуклостью вправо), стоит очень высоко, а Солнце заходит и потому кажется большим, чем обычно. Чтобы убедиться, что это — иллюзия, станем лицом к Луне и, используя зеркальце, добьемся, чтобы изображение Солнца в нем оказалось рядом с Луной (рис. 13). Сравним размеры обоих дисков. Наблюдая Солнце в зеркальце, а Луну — непосредственно, мы легко убедимся в том, что угловые диаметры этих светил почти одинаковы. Опыт следует проводить в тот момент, когда диск Солнца почти касается горизонта.

Внимание. Чтобы солнечный свет не слепил, стеклянную поверхность зеркальца следует немного закоптить над пламенем спички (эта копоть легко смывается).

Одно из объяснений кажущегося возрастания размеров Луны и Солнца у горизонта было предложено еще Птолемеем (II в. н. э.) и состоит в следующем. Если светило находится у горизонта, то произвольно мы относим его

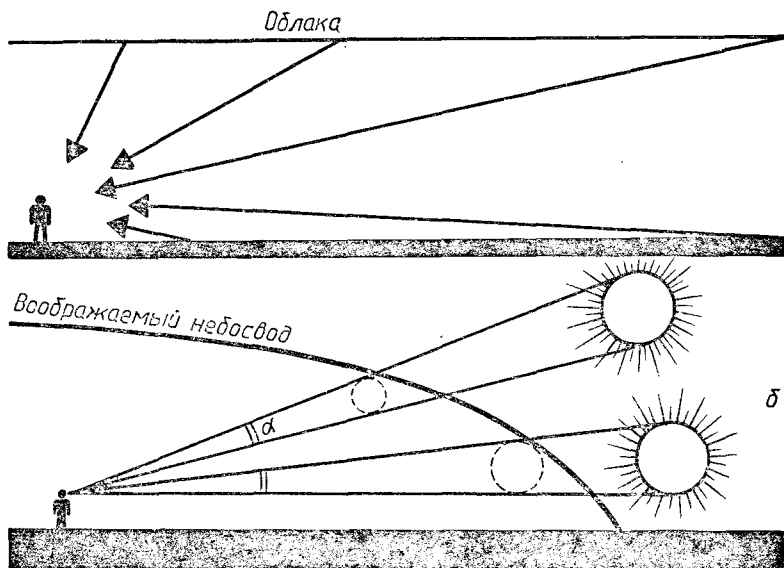


Рис. 14

к большему расстоянию от нас на воображаемом небосводе, чем в том случае, когда оно наблюдается высоко над горизонтом (рис. 14, а). Но поскольку угол, под которым виден диаметр светила, в обоих случаях почти один и тот же (это подтверждают измерения), то реальный его диаметр у горизонта кажется увеличенным (рис. 14,б; прерывистые окружности соответствуют зрительному впечатлению от размеров солнечного диска при разных углах между направлением наблюдателя — Солнце и плоскостью горизонта). Поясним сказанное.

Живя на поверхности Земли, мы привыкаем к тому, что самые удаленные от нас объекты (облака, деревья, холмы, дома, волны и т. д.) находятся почти всегда у самого горизонта. Причем обычно чем они ближе к горизонту, тем они дальше от нас (см. рис. 14, а). Когда же мы оцениваем «на глаз» угловой размер объекта (так называется угол с вершиной в глазу наблюдателя, опирающийся на диаметр данного объекта), то в качестве единицы для измерения угла используем некий субъективный стандартный угол, который соответствует стандартному объекту на стандартном расстоянии от нас. Последнее возрастает по мере приближения объекта к горизонту. Это приводит к уменьшению единичного стандартного угла, поскольку его величина об-

ратно пропорциональна расстоянию (обратная пропорциональность получается только для достаточно малых углов).

С верхнего этажа высотного здания автомобиль внизу кажется меньшим, чем в случае, когда он наблюдается на точно таком же расстоянии с первого этажа. Так же один и тот же протяженный небесный объект у горизонта кажется большим, чем вдали от него, так как в первом случае он охватывает больше стандартных единиц измерения угла, чем во втором. Это относится и к дискам Луны и Солнца, и к звездным конфигурациям в созвездиях.

Проблему нельзя считать решенной до конца. Понятия «стандартный объект», «расстояние» и «угол» остаются довольно расплывчатыми. Возможно, их конкретный смысл различен для разных наблюдателей, а для одного и того же наблюдателя может быть различен в разное время. Иначе говоря, степень кажущегося увеличения размеров Луны и Солнца у горизонта может зависеть от условий наблюдений. Пусть любознательный читатель попробует внести свой вклад в решение проблемы, выполнив собственные наблюдения.

8. Как отличить яркую звезду от планеты?

Тот, кто неискушен в астрономических наблюдениях, может по ошибке принять красноватую звезду Антарес за планету Марс. (Кстати, Антарес значит Антимарс.) Такая ошибка не была бы допущена, если бы было принято во внимание, что планеты, как правило, не мерцают. Между тем Антарес, никогда не поднимающийся у нас высоко над горизонтом, мерцает довольно заметно.

Почему же в отличие от звезд планеты обычно не мерцают? Дело в том, что угол с вершиной в глазу наблюдателя T (рис. 15), под которым мы увидели бы типичную неоднородность воздуха A , вызывающую быстрые и сильные мерцания, значительно меньше того угла, который опирается на диаметр планеты B (конечно, углы на рисунке сильно преувеличены). Легко понять, что на диск планеты проецируется множество неоднородностей воздуха. Поэтому различные части диска мерцают не в лад друг с другом, а это приводит к тому, что мы не ощущаем изменения яркости всего диска. Последний при наблюдениях невооруженным глазом воспринимается как точка.

Иногда все же планеты мерцают, если находятся очень близко к горизонту (хотя и не так сильно, как звезды на той же высоте). Это происходит потому, что при разнообразии размеров неоднородностей воздуха изредка встречаются

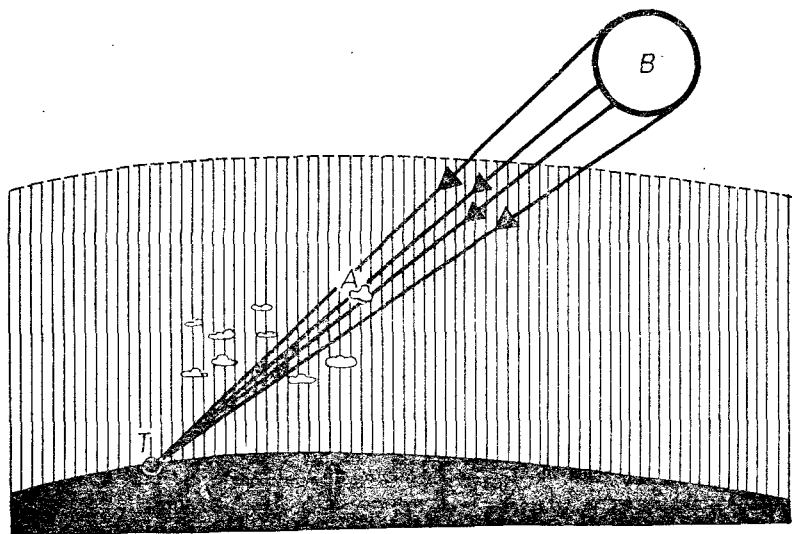


Рис. 15

такие, которые загораживают весь диск. Чем ниже планета, тем длиннее путь ее лучей в атмосфере и тем больше шансов встретить неоднородности таких размеров.

Однако в отличие от звезды планета при мерцаниях не меняет цвета.

Отличить звезду от планеты помогает хорошее знание звездного неба. Планеты постепенно перемещаются из созвездия в созвездие, а конфигурации звезд в созвездиях остаются неизменными на протяжении многих лет. Знакомству со звездным небом поможет подвижная карта неба. Ее описание и соответствующая заготовка даются в школьном учебнике астрономии. Естественно, планеты на подобных картах не изображаются. Однако подвижная карта поможет ответить на вопрос: является ли данный яркий объект звездой?

Линия, по которой, с точки зрения земного наблюдателя, в течение года перемещается Солнце на фоне звезд, называется эклиптической. Ее плоскость совпадает с плоскостью орбиты Земли вокруг Солнца. Планеты всегда располагаются вблизи эклиптики (это не относится к Плутону). Рядом с ней находится и Луна. Если бы Солнце угасло, то мы не увидели бы на небе ни планет, ни Луны. Эти тела отражают солнечный свет, а сами не светятся. Ясно, что серп Луны должен всегда быть повернут своей выпуклой стороной к Солнцу. Если мы через центр Луны мысленно проведем ли-

нию, перпендикулярную к отрезку, соединяющему рога серпа, то можно считать, что приближенное положение эклиптики нами уже найдено.

Предположим, что, кроме Луны, мы отыскиали на небе еще какую-нибудь планету. Если планета находится достаточно далеко от Луны, то линия, соединяющая эти светила, будет почти параллельна эклиптике и близка к ней. Рядом с эклиптической находятся яркие звезды: Альдебаран из созвездия Тельца, Регул из созвездия Льва, Спика из созвездия Девы и Антарес из созвездия Скорпиона.

9. Каковы яркость и цвет планет?

Перемещаясь на фоне звезд, планеты меняют яркость. Под яркостью здесь подразумевается световая энергия, поступающая от светила в 1 с на поверхность площадью 1 см². Яркость планеты определяется свойствами ее поверхности (или облачного слоя), расстояниями от Солнца и Земли в момент наблюдения, а также тем, как наблюдается с Земли дневная сторона планеты, всегда обращенная к Солнцу, но необязательно к Земле. Если разные части планеты по-разному отражают свет, то яркость меняется с периодом, равным периоду вращения планеты вокруг своей оси. В случае Сатурна нужно принять во внимание и существование кольца, которое иногда наблюдается нами с ребра и в эти периоды не увеличивает яркость самой планеты (для невооруженного глаза Сатурн с его кольцом представляется точкой).

Венера ярче Юпитера и является третьим по яркости светилом после Солнца и Луны. Она в 1,38 раза ближе к Солнцу, чем Земля, и никогда не отходит от него далее 48°. Как правило, она не видна в полночь (за исключением полярных областей). Юпитер же иногда наблюдается всю ночь. При отсутствии Луны и Венеры он обычно превосходит по яркости все остальные светила («царь неба»). По цвету почти неотличим от Венеры. Марс выделяется своим красным цветом. Если все наблюдаемые невооруженным глазом планеты расположить в порядке перехода от красного цвета к голубому, включив для сравнения в этот ряд и Землю, то получим такую последовательность: Марс, Сатурн, Меркурий, Юпитер, Венера и Земля.

В таблице 3 (см. приложение) приводятся отношения η максимальной яркости планеты к минимальной за длительный срок. Например, в случае Марса максимальная яркость достигается в моменты, когда планета находится ближе всего к Земле и Солнцу. Это моменты так называемых великих противостояний, случающихся раз в 15—17 лет. Мини-

мальная яркость соответствует случаю, когда Земля и Марс находятся по разные стороны от Солнца на своих наибольших расстояниях от него. Следует учесть, что большие оси орбит этих планет постепенно поворачиваются в пространстве благодаря гравитационному взаимодействию Земли и Марса со всеми другими планетами и друг с другом.

В таблице 3 данные для Меркурия не приводятся. Эту планету всегда трудно наблюдать невооруженным глазом из-за ее близости к Солнцу. Она никогда не отходит от Солнца далее 28° . В одни периоды Меркурий можно увидеть после захода Солнца, в другие — перед его восходом, причем всегда низко над горизонтом. Свет планеты преодолевает значительную толщу земной атмосферы и сильно ослабляется. К тому же наблюдениям мешает яркий свет неба вблизи Солнца.

II. ВИДИМЫЕ ДВИЖЕНИЯ СВЕТИЛ

1. Всегда ли Солнце в течение суток движется слева направо?

В наших широтах — всегда. Южнее тропика Козерога (с широтой около $-23,5^\circ$) Солнце всегда движется справа налево, что на первый взгляд кажется странным. Однако обратимся к рисунку 16, на котором показаны земные наблюдатели *A* и *B*, оба стоящие лицом к Солнцу, находящемуся далеко позади Земли. Стрелка указывает направление вращения Земли вокруг оси, буквы «Л» и «П» показывают левые и правые стороны, с точки зрения наблюдателей. Нетрудно сообразить, что, с точки зрения наблюдателя *B*, стоящего в южном полушарии, Солнце перемещается справа налево. (Это движение Солнца кажущееся. Оно обусловлено вращением наблюдателя вместе с Землей.)

Если же наблюдатель находится в тропическом поясе (между тропиками Рака и Козерога), то ответ на наш вопрос зависит от времени года и суток. Это объясняется тем, что Солнце, в течение года медленно перемещаясь по эклиптике, изменяет и траекторию своего суточного движения. Оно наблюдается одну часть времени к югу от зенита, а другую часть — к северу от зенита.

В качестве примера рассмотрим суточное движение Солнца 20 мая в пункте с широтой $\varphi = 10^\circ$ (примерно в 1110 км севернее экватора). В полдень оно наблюдается в 10° севернее зенита и перемещается при этом справа налево. Однако спустя 4,1 ч какое-то мгновение Солнце движется точно сверху вниз (т. е. в вертикальной плоскости).

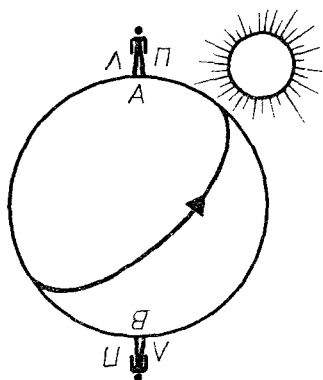


Рис. 16

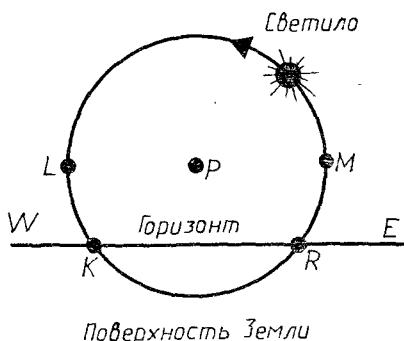


Рис. 17

Затем в оставшиеся до захода 2,2 ч оно, опускаясь почти вертикально, все же при этом слегка перемещается слева направо.

На первый взгляд это кажется парадоксальным. Но явление легко пояснить геометрически, рассмотрев светило, суточная траектория которого располагается вблизи Северного полюса мира (т. е. рядом с Полярной звездой). На рисунке 17 точка P изображает этот полюс, линия EW — отрезок горизонта, линия $RMLK$ — часть суточной траектории светила (стрелка указывает направление движения последнего). В верхней части траектории (ML) светило перемещается справа налево, в нижней (на участках LK и RM) — слева направо*.

Представляют интерес особенности суточного движения Солнца на полюсах Земли. На Северном полюсе Солнце впервые показывает над горизонтом верхний край своего диска около 19 марта и уже не заходит, совершая медленное восхождение по спирали к альмукантарату с высотой около $23,5^\circ$. (Альмукантаратом называется окружность на небе, параллельная горизонту.) Так продолжается до 22 июня, пока не наступит мгновение, когда Солнце будет двигаться строго параллельно горизонту. После этого начнется медленное движение по спирали (один виток за одни сутки) к горизонту примерно до 25 сентября, когда верхний край диска светила уже совсем уходит под горизонт примерно на 175 суток. Этот период меньше половины года по трем причинам. Во-первых, момент восхода или захода определяется не по центру солнечного диска, а по его верх-

* Здесь проекция звезды на горизонт движется слева направо.

нему краю. Во-вторых, благодаря рефракции (преломлению световых лучей в атмосфере) Солнце восходит раньше и заходит позже, чем это наблюдалось бы при отсутствии атмосферы Земли. В-третьих, Солнце перемещается по эклиптике в осеннее и зимнее время в среднем быстрее, чем в весеннее и летнее. Значит, ту часть эклиптики, которая постоянно на Северном полюсе находится под горизонтом, Солнце проходит за более короткое время.

На Южном полюсе Земли Солнце движется справа налево, оставаясь над горизонтом около 183 суток — примерно с 20—21 сентября по 22—23 марта*.

Сказанное выше применимо и к движению Луны, но с двумя уточнениями. Во-первых, для Луны ширина экваториального пояса Земли, в пределах которого наш спутник может наблюдаться в зените, составляет не $46,9^\circ$ по меридиану, как для Солнца, а изменяется от $36,2$ до $57,4^\circ$. Это объясняется поворотами плоскости орбиты Луны, вызванными притяжением Солнца. Во-вторых, Луне требуется только 27,3 суток, чтобы при своем движении вокруг Земли вернуться в то же положение на фоне звезд.

Что касается суточного движения звезд, то оно может происходить и слева направо и справа налево — в зависимости от области неба и от положения наблюдателя на Земле. Если мы смотрим в сторону Полярной звезды, то наблюдаем движение звезд против часовой стрелки; если в диаметрально противоположную сторону — то по часовой стрелке.

2. Где в данный момент светило стоит точно в зените?

Вначале рассмотрим Солнце. Мысленно соединим его центр с центром Земли отрезком прямой. Он пересечет поверхность Земли в точке, по отношению к которой Солнце находится точно в зените наблюдателя (точка *A* на рисунке 18; нужно учесть, что наблюдатель стоит параллельно отвесной линии).

Однако это утверждение нуждается в уточнении. Из-за наличия центробежной силы инерции, вызванной вращением Земли, линия отвеса отклоняется от направления на центр, а сама Земля сплюснута у полюсов, что вызывает дополнительное отклонение этой линии. Будем считать Землю идеальным шаром и пренебрежем ее вращением.

* Угол атмосферной рефракции убывает с высотой, но возрастает при понижении температуры. Поэтому на возвышенном, но очень холодном Южном полюсе рефракция незначительно меньше, чем на Северном полюсе.

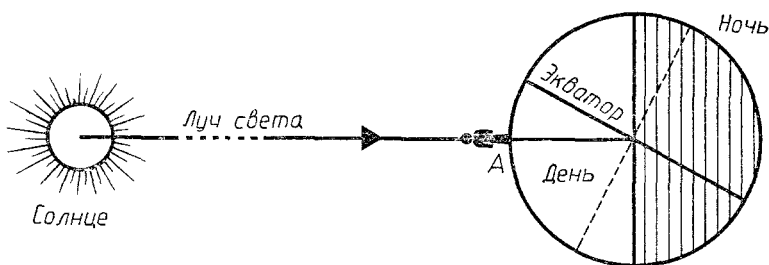


Рис. 18

Тогда любой радиус, проведенный из центра Земли к точке ее поверхности, можно считать отрезком отвесной линии в этой точке, а зенит по определению как раз и находится на отвесной линии. Рассматривая этот упрощенный случай, мы допустим при решении нашей задачи ошибку на местности, не превышающую 16 км.

Итак, чтобы найти пункт, где Солнце стоит в зените, соединим отрезком прямой центры Солнца и Земли. Этот отрезок пересечет поверхность Земли в искомой точке А (см. рис. 18); ее широта равна острому углу между плоскостью экватора и проведенным отрезком. В то же время этот угол равен склонению Солнца. (Склонением светила называют острый угол между плоскостью экватора и направлением на светило, причем если светило находится ближе к Северному полюсу, то склонение считается положительным, а если ближе к Южному полюсу — отрицательным).

Следовательно, для определения географической широты искомого пункта достаточно выписать из «Астрономического календаря» или «Школьного астрономического календаря»* на данный год значение склонения Солнца в рассматриваемый момент.

Для нахождения географической долготы следует вычесть из 12 ч московское время, уменьшенное на три (зимой), четыре (летом) часа, и полученный результат выразить в

* Первый удобен в работе, так как содержит подробные сведения о светилах, второй доступнее школьнику.

градусах, учитывая, что одному часу соответствует 15° , а четырем минутам времени — 1° .

Например, 1 февраля 1985 г. склонение Солнца составляло $-17^\circ 10,5'$. Этому значению равна и искомая географическая широта (знак «минус» показывает, что пункт расположен в южном полушарии Земли). В 10 ч по московскому времени точно в зените Солнце находится на меридиане с долготой $\lambda = 12^\circ - (10^\circ - 3') = 5'$, или 75° .

Однако приведенное решение задачи является приближенным. Строго говоря, следовало бы уточнить склонение Солнца на 10 ч московского времени, так как оно меняется в течение суток (в рассмотренном примере склонение изменяется в течение суток примерно на $0,3^\circ$). Кроме того, к полученному значению географической долготы нужно прибавить так называемое уравнение времени E , которое тоже приводится в «Астрономическом календаре».

Величина E никогда не превышает $16,5^m$ по модулю, что соответствует $4,125^\circ$.

Очевидно, из всех точек Земли ближе всего к Солнцу расположена точка А. Земля движется вокруг Солнца по вытянутой (эллиптической) орбите, поэтому расстояние между центрами этих тел непрерывно изменяется. Примерно с 3—4 января это расстояние увеличивается вплоть до 4—5 июля. Остальную часть года оно уменьшается. В начале января мы находимся на 5 млн. км ближе к Солнцу*, чем в начале июля. В 1985 г. центр Земли находился в перигелии (точка орбиты, ближайшая к Солнцу) 3 января в $23^h 04^m$ по московскому времени. В этот момент склонение Солнца составляло $22^\circ 46'$ при $E = +4,7^m$. Географические координаты пункта, который за весь 1985 г. находился ближе всего к Солнцу, таковы: $\varphi = -22^\circ 46'$ и $\lambda = 12^\circ + 4,7^m - (23^h 04^m - 3^h) = -7^h 59,3^m$; последнему значению соответствует $-119,8^\circ$. Пункт находится в Тихом океане примерно на 80 км севернее тропика Козерога.

А в каком пункте Земли в тот же момент времени точно в зените наблюдалась Луна?

Географическая широта соответствующей параллели должна быть равна склонению Луны на $23^h 04^m$ московского времени. Она составляет примерно $21,6^\circ$. Чтобы определить географическую долготу, необходимо учесть, что согласно теореме о разности местного времени долгота численно равна разности местного и гринвичского (при $\lambda = 0$) времени. Последнее равно $20^h 04^m$, а первое, как можно определить из «Астрономического календаря», составляет $22^h 01^m$ (момент

* Это составляет 3,3% от среднего расстояния от Земли до Солнца.

верхней кульминации Луны, т. е. наивысшего положения нашего спутника над горизонтом). Отсюда долгота искомого пункта получается равной $1^{\circ}57'$, или $29,25^{\circ}$. Он находится в Африке на севере Судана недалеко от Нила.

При использовании данных «Астрономического календаря» необходимо учитывать, что координаты Луны сильно изменяются в течение суток.

Что касается звезд, то и для них справедливо правило: звезда может быть видна вблизи зенита только в том случае, если ее склонение приблизительно равно географической широте пункта. Рассмотрим, например, звезду Денеб из созвездия Лебедь. По «Астрономическому календарю» (постоянная часть) определяем ее склонение ($45,2^{\circ}$). Отсюда находим, что Денеб может наблюдаться у зенита на географической широте Симферополя (около 45°). Поскольку период вращения Земли относительно звезд равен $23^{\circ}56'04''$, то как раз с таким периодом будут наблюдаться прохождения Денеба вблизи зенита. Если сегодня это событие произошло в $22^{\circ}00'$, то завтра оно случится на четыре минуты раньше, послезавтра — на восемь минут и т. д.

Это рассогласование между движением звезд и Солнца (оно обусловлено годичным перемещением нашего светила по эклиптике) приводит к тому, что видимость созвездий и звезд меняется в течение года. Например, в нашей стране Сириус хорошо наблюдается в новогоднюю полночь и никогда не виден в середине ночи в июле. Но на Южном полюсе Земли Сириус всегда стоит над горизонтом и потому хорошо виден в июле во время полярной ночи.

3. Когда Луна бывает самой яркой?*

Чтобы Луна была самой яркой, должны быть выполнены четыре условия: полнолуние, большая высота над горизонтом (при ясном небе), минимальное удаление от Земли и минимальное удаление от Солнца.

При прочих равных условиях наш спутник в полнолунии отражает к Земле примерно в 12,2 раза больше солнечного света, чем в первой четверти. Полную Луну (рис. 19,а; сплошные стрелки указывают направление лучей, идущих от Солнца, а прерывистые — направление к Земле) Солнце освещает из-за нашей спины, и отсутствие видимых теней деталей рельефа и микрорельефа (см. рис. 19,а) делает

* В данном случае под яркостью понимается общее количество света, попадающего в глаз наблюдателя за единицу времени.

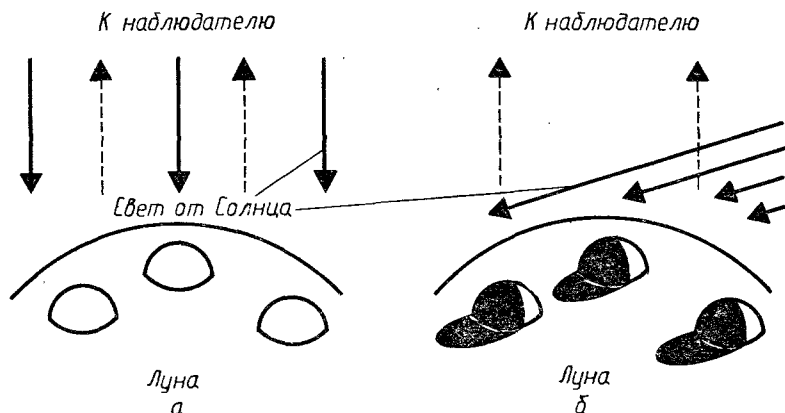


Рис. 19

поверхность Луны в этом случае особенно яркой. В полнолунии поверхностная яркость в 6,1 раза больше, чем когда Луна находится в первой четверти (рис. 19,б).

Немаловажное значение имеет и высота Луны над горизонтом: чем больше высота, тем меньше ослабление лунного света в атмосфере. На территории страны она бывает наибольшая около дня зимнего солнцестояния (22 декабря). Это объясняется тем, что направления на полную Луну и на Солнце диаметрально противоположны. Значит, при самом глубоком погружении декабрьского Солнца под горизонт Луна оказывается выше всего над горизонтом.

Ближе всего к Земле Луна бывает в среднем через каждые 27,56 суток. При этом ее расстояние от ближайшей точки поверхности Земли в 1,059 раза меньше среднего. Это соответствует возрастанию освещенности от Луны в 1,122 раза по сравнению со средним значением.

Наконец, ближе всего к Солнцу мы бываем в начале января. При этом освещенность Луны Солнцем в 1,034 раза больше средней.

В настоящее время Луна медленно из столетия в столетие удаляется от нас. Значит, когда-то она была ближе. Если даже она была только в два раза ближе к Земле, то и тогда при той же мощности излучения Солнца свет ее должен был в четыре раза превышать нынешний. Имеются основания полагать, что в прошлом поверхность Луны была более светлой. Следовательно, общее количество лунного света, льющегося на Землю, могло быть еще большим.

Во время новолуний наш спутник обязательно располагается точно на прямой, соединяющей центры Земли и

Солнца. Угол между этой прямой и направлением на Луну может достигать $5,3^\circ$. Наиболее «слабой» Луна должна быть во время новолуний, сопровождающихся затмением Солнца.

Итак, самой яркой Луна бывает зимой в полнолунии в момент верхней кульминации, причем расстояние Луны от Земли должно быть минимальным (Луна — в перигее). К этому следует добавить, что яркость Луны постепенно убывает: миллиард лет назад это светило было заметно ярче, чем в настоящее время.

4. Как ориентироваться по Солнцу и Луне?

В дневное время ориентируются по Солнцу с использованием часов. Ночью легче всего определить направление на север по Полярной звезде. Для этого достаточно мысленно опустить перпендикуляр от этой звезды на линию горизонта. Однако бывает, что Полярная звезда не видна, но сквозь легкие облака можно различить Луну. Поэтому полезно знать метод ориентирования по Луне.

Вначале рассмотрим, как ориентироваться по Солнцу.

Прежде всего нужно знать, сколько времени осталось до или прошло после полудня, понимаемого здесь как момент наивысшего положения Солнца над горизонтом. В этот момент ближайшая к Солнцу точка горизонта — точка юга.

Как определить момент полудня по декретному времени? Для этого необходимо знать две величины: географическую долготу λ данного пункта и уравнение времени E , зависящее от времени года и никогда не превышающее по абсолютному значению 16,5 мин. Долготу пункта можно определить по карте, а уравнение времени выписать из «Астрономического календаря» по дате. Тогда момент полудня определяется формулой

$$T_n = 14^h + E - \lambda + z + u,$$

где z — постоянная поправка для перехода от московского времени к декретному времени данного пункта, а значение u равно одному часу (зимнее время) или двум часам (летнее время).

Например, в пункте A ($\lambda = 2^\circ 56,0'$) 1 августа имеем $E = 6,3'$ и $u = 2^h$ при $z = 0$. Следовательно, $T_n = 13^h 10,3'$. Если наблюдения проводились 1 ноября, то $E = -16,4'$ и $u = 1^h$, тогда $T_n = 11^h 47,6'$.

Итак, зная время T_n наивысшего положения Солнца над горизонтом в данном месте, в этот момент установим вертикально шест на горизонтальной площадке и отме-

тим положение его тени. Тень будет вытянута с юга на север.

Имея часы, направление на юг по Солнцу можно приближенно определить в любой момент времени T . Для этого надо разность $T - T_n$ выразить в часах и долях часа и умножить полученный результат на 15° (угол, который проходит Солнце за час). Так мы определим угол, значение которого надо откладывать по горизонту влево от проекции Солнца на горизонт при $T > T_n$ и вправо — при $T < T_n$, чтобы получить точку юга. Например, при $T = 10^h$ и $T_n = 12^h 36^m$ этот угол составит $2,6 \cdot 15^\circ = 39^\circ$, и его следует отложить вправо ($T < T_n$) от проекции Солнца на горизонт в момент T .

Можно обойтись и без расчетов, если использовать циферблат и часовую стрелку часов. Предположим вначале, что у нас имеются часы редко встречающейся конструкции, циферблат которых разделен на 24 ч. Тогда процесс определения приближенного направления на юг оказывается наиболее простым: циферблат располагаем горизонтально так, чтобы конец часовой стрелки указывал на точку горизонта A , ближайшую к Солнцу (рис. 20); при этом направление из центра циферблата на деление, соответствующее моменту T_n , и будет искомым приблизительным направлением на юг (см. рис. 20).

Используя обычные часы с 12-часовыми метками, можно прийти к только что рассмотренному случаю, если вместо часовой стрелки использовать биссектрису угла между часовой стрелкой и лучом, проведенным через метку, соответствующую времени T_n (рис. 21). Если указанную биссектри-

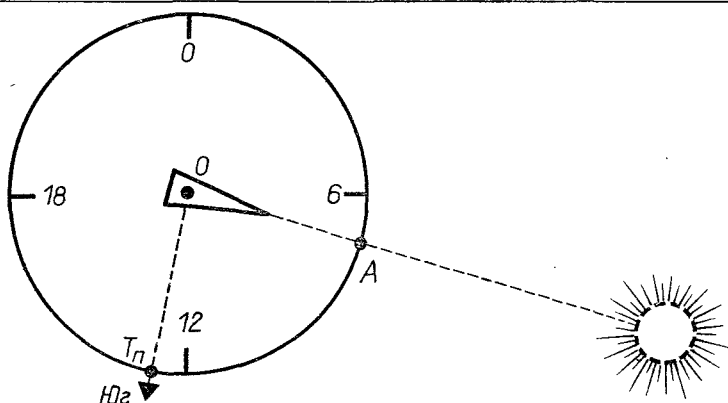


Рис. 20

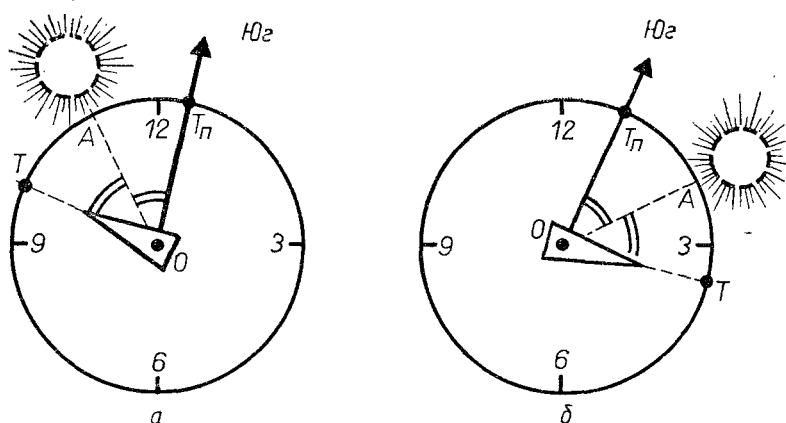


Рис. 21

су нацелить на точку горизонта A (см. выше), то луч OT_n приблизительно укажет направление на юг (см. рис. 21, а, б).

Следует помнить, что в интервале времени от $T_n - 12^h$ до T_n угол TOT_n , биссектриса которого определяется, нужно откладывать от направления OT по часовой стрелке, а в остальное время суток угол откладывается против часовой стрелки.

Более удобен следующий способ ориентирования по Солнцу, дающий, однако, менее точный результат. Часы с горизонтально расположенным циферблатом ориентируем так, чтобы часовая стрелка указывала на точку горизонта под Солнцем. Направление север — юг приблизительно покажет биссектриса угла между этой стрелкой и направлением из центра циферблата к 13 (зимой) или 14 (летом) часам. Результат будет тем точнее, чем ближе расположен наблюдатель к середине часового пояса, т. е. к меридиану с долготой, кратной 15° . Предполагается, что в данной местности используют обычное декретное время зимой и летнее время — летом.

В ночное время, когда Солнце не наблюдается, можно ориентироваться по Луне. Проще всего это сделать в полнолуние. В этот момент направления на Луну и на Солнце почти диаметрально противоположны (не вполне точно противоположны, так как мы не видим лунного затмения). Поэтому точку горизонта A , под которой находится Солнце, легко определить и затем надо применить только что рассмотренный метод ориентации по Солнцу.

При других фазах Луны для поиска точки A применяется правило: Солнце всегда располагается в той стороне,

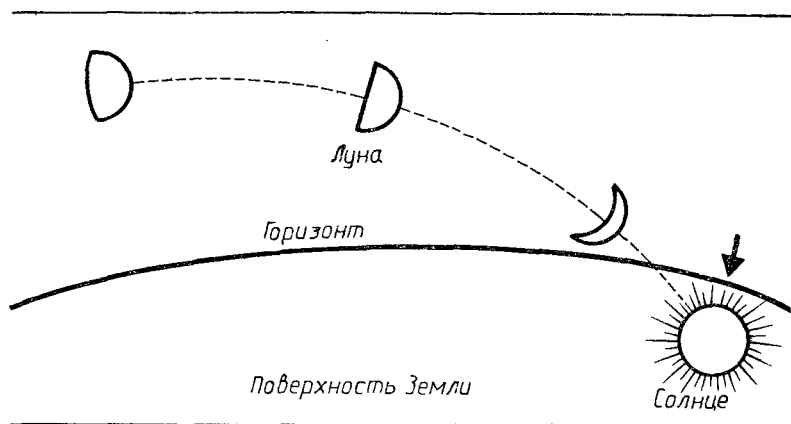


Рис. 22

куда своей выпуклостью обращен серп Луны, причем оно тем ближе к Луне, чем уже серп (рис. 22). Когда граница между дневным и ночным полушариями имеет вид отрезка прямой (эта граница называется терминатором, а видимый край лунного диска — лимбом), то угол между направлениями на Луну и на Солнце приблизительно равен 90° .

Кстати, еще древнегреческий астроном Аристарх Самосский знал, что указанный угол не точно равен 90° , и пытался использовать это обстоятельство для определения отношения расстояния Земля — Солнце к расстоянию Земля — Луна. Теперь мы знаем, что этот угол меньше 90° в среднем на $0,147^\circ$.

На рисунке 22 показаны положение и вид Луны в одно и то же время суток, но в разные даты, вскоре после захода Солнца. Пусть t — возраст Луны в сутках, т. е. время, истекшее с момента последнего новолуния. Тогда угол x , выраженный в градусах, между направлениями на Луну и на Солнце определится приближенной формулой

$$x \cong 12,2t.$$

Мы учли, что за сутки Луна смещается относительно Солнца* в среднем примерно на $12,2^\circ$. Зная угол x , можно определить положение точки A (см. выше).

Изложенные правила ориентирования по Солнцу и Луне при помощи циферблата и часовой стрелки часов дают лишь

* Это смещение происходит влево в направлении, приблизительно параллельном эклиптике.

грубый результат, так как Солнце движется в плоскости, образующей значительный угол с плоскостью горизонта (этот угол равен $90^\circ - \varphi$, где φ — географическая широта). Ошибка тем больше, чем южнее располагается пункт наблюдения и чем дальше данный момент отстоит от момента полудня. В полдень ошибка минимальна, и игнорирование упомянутого угла не сказывается на результате. Более точный метод ориентирования по Солнцу при помощи солнечных и обычных часов излагается в разделе V.

5. В какое время суток виден ИСЗ?

Сочетание букв ИСЗ расшифровывается как искусственный спутник Земли. Как правило, ИСЗ не имеет собственных мощных источников света, которые позволили бы его наблюдать с Земли. Поэтому ИСЗ виден только в случае, если он освещен Солнцем, т. е. не попал в тень Земли. Но на фоне дневного неба даже яркий спутник не виден. Следовательно, ИСЗ можно наблюдать вблизи вечерних или утренних сумерек, когда он еще не попал в земную тень, а рассеянный в атмосфере солнечный свет уже не является помехой. Обычно продолжительность времени, в течение которого можно видеть спутник поздним вечером или под утро на высотах 200—400 км, не превышает 1—2 ч.

Если ИСЗ летит на высоте несколько тысяч километров, то наблюдатель, находящийся на экваторе Земли, может видеть его даже глубокой ночью (рис. 23). Однако такие спутники приходится наблюдать в телескопы, так как свет их очень слабый. Невооруженным глазом наблюдаются только

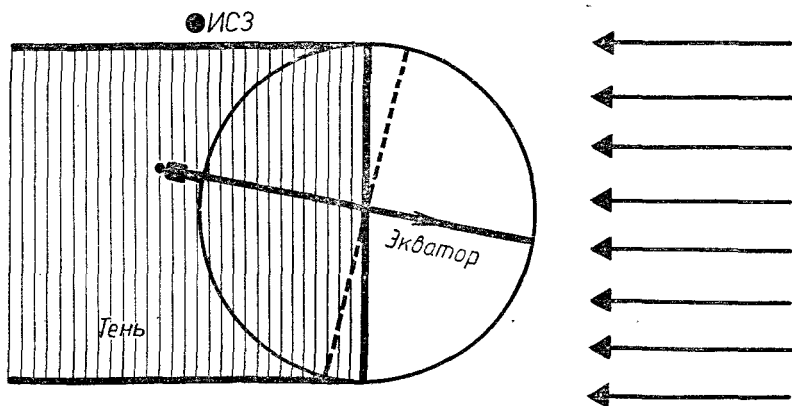


Рис. 23

спутники на низких орбитах*, об условиях видимости которых говорилось выше. Спутник тем легче наблюдать, чем он больше и чем выше отражательная способность его поверхности. Спутник, имеющий вид зеркального шара, пролетающий над головой на высоте 1 000 км, при диаметре 2 м будет казаться невооруженному глазу едва-едва различимой звездочкой.

В периоды белых ночей, когда вечерние сумерки смыкаются с утренними, спутник можно увидеть и в полночь.

Можно ли заметить спутник в виде черного пятнышка, перемещающегося на фоне диска Солнца? Если диаметр ИСЗ составляет 2 м, то с расстояния в 400 км он виден под углом около $1''$. Чтобы спутник стал заметным (при наблюдениях невооруженным глазом), его угловой диаметр должен быть в 50—200 раз большим (в зависимости от остроты зрения).

Предположим, что поздним вечером мы наблюдаем шарообразный спутник. Он, подобно Луне, будет иметь дневное и ночное полушария (рис. 24). Если бы при помощи мощного телескопа мы могли разглядеть его диск, то, несомненно, заметили бы смену фаз по мере перемещения спутника с запада на восток (часто встречающееся направление движения). Причем, пока спутник находится на западе, в той же стороне, что и Солнце, он будет выглядеть как узкий серп; по мере приближения спутника к нам диаметр диска и ширина серпа будут возрастать; удаляющийся на восток

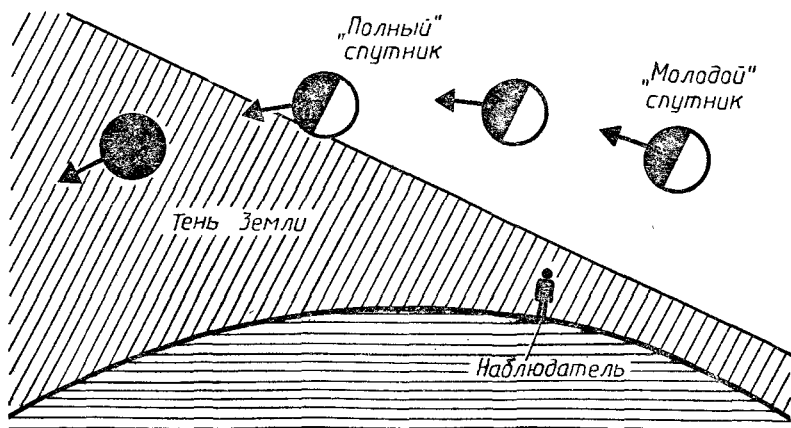


Рис. 24

* К низким относятся орбиты, расположенные не выше 1000 км над поверхностью Земли. На таких орбитах находится большинство спутников.

спутник мы воспримем как Луну, приближающуюся к полнолунию, но со все уменьшающимся диаметром. А невооруженным глазом мы увидим только светящуюся точку, яркость которой вначале постепенно возрастает при ее перемещении по небу, достигает максимума, затем медленно убывает. При вхождении в область тени спутник исчезает.

Если спутник имеет произвольную форму и вращается, то яркость его может периодически изменяться.

6. Откуда летят и где исчезают «падающие звезды»?

«Падающие звезды» не имеют никакого отношения к реальным звездам. Ни одно созвездие не теряет своих звезд после полета метеора (так называют «падающую звезду»). Метеор — это световое явление, возникающее в атмосфере при вторжении в нее из космоса метеорного тела — обычно небольшого (массой в несколько граммов и доли грамма) кусочка вещества, летящего со скоростью, в десятки раз большей скорости пули. На высотах 80—120 км, где атмосфера еще сильно разрежена, метеорное тело, раскаленное трением до высокой температуры, разогревает воздух. Важную роль здесь играет быстрое сжатие воздуха, сопровождающееся повышением его температуры. Образуется яркий, быстроисчезающий след, который и воспринимается в качестве метеора. Разные метеоры могут иметь разный цвет, который зависит от скорости метеорного тела. Последняя заключена в интервале от 11 до 73 км/с. Еще большие скорости означали бы, что метеорные тела приходят в Солнечную систему из межзвездного пространства; о таких случаях нет достоверных сведений.

В области следа воздух ионизирован и отражает радиоволны. Поэтому методом радиолокации метеоры можно наблюдать даже днем.

Известно, что особенности распространения и отражения радиоволн в атмосфере зависят от времени суток. Это объясняется тем, что в дневное время солнечное излучение ионизирует верхние слои воздуха и там появляется много свободных (т. е. не связанных с атомами) электронов. Радиоволны «раскачивают» эти частицы, передавая им свою энергию. Но электрон, встречаясь с ионом, «застревает» в нем. Поэтому ночью при отсутствии солнечного излучения число свободных электронов в воздухе резко уменьшается. Еще в 1932 г. было доказано, что на свойства ионосферы на высоте около 120 км могут влиять метеоры. Действие их особенно заметно в периоды метеорных потоков (см. ниже).

Частицы, вызывающие явление метеора, разнообразны по размерам: чем они мельче, тем их больше. Несомненно, должно возникать много очень слабых метеоров, настолько слабых, что они не воспринимаются нами. Здесь многое зависит от условий наблюдений. Если мы находимся вдали от города и наблюдаем при совершенно чистом небе (и нам не мешает свет Луны), то возможность обнаружить слабые метеоры увеличивается.

Очень яркие метеоры, дающие столько же света (или больше), как и молодая Луна, можно наблюдать и на довольно ярком фоне вечернего или утреннего неба, иногда даже днем. Такие метеоры называют болидами. Иногда явление болида завершается падением метеорита. Поэтому важно как можно точнее запомнить обстоятельства полета болида.

Число метеоров резко возрастает в периоды вхождения Земли в область орбиты когда-то распавшейся кометы. Сведения о таких периодах можно найти в «Астрономическом календаре». Наиболее ярким выражением таких метеорных потоков являются метеорные дожди.

Число метеоров, наблюдаемых в единицу времени, зависит от времени суток. Во второй половине ночи метеоры наблюдаются в два раза чаще, чем в первой половине (речь идет только о тенденции, часто нарушаемой особенностями появления метеорных потоков). Под утро явление метеора обусловлено частицей, летящей навстречу Земле.

Куда деваются «падающие звезды»? Обычно их вещество распадается на высотах 80—120 км, затем медленно оседает, слегка удобряя грунт микроэлементами. Реже падает метеорит. Существует и такая возможность: метеорное тело входит в атмосферу почти по касательной к поверхности Земли, образует яркий след и снова уходит в космос (рис. 25;

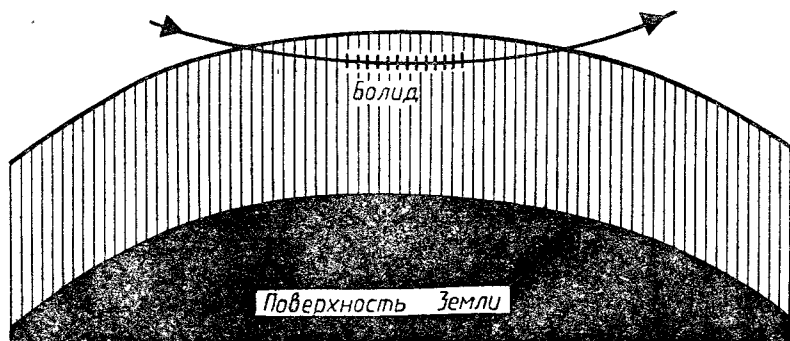


Рис. 25

заштрихована часть траектории, где виден болид). Иногда траектория обращена вогнутостью вверх из-за наличия подъемной силы, обусловленной особой формой тела. Наконец, метеорное тело может даже стать на время спутником Земли на вытянутой орбите, нижняя часть которой обязательно проходит на высотах 90—140 км.

Воздух атмосферы хорошо перемешивается благодаря вертикальным течениям. Химический состав воздуха (по объему 21% O_2 , 78% N_2 и 1% Ar , а также многочисленные другие газы в очень малых количествах) остается постоянным примерно до высоты 100 км.

Не исключена возможность того, что микроскопические споры земных живых организмов тоже достигают высот 80—100 км (этому могут способствовать извержения вулканов). Следовательно, некоторые из них имеют шансы стать пассажирами космических пришельцев, пролетающих на тех же высотах, прежде чем покинуть атмосферу. Вопрос в том, сумеют ли выжить эти споры при высоких температурах. Но если метеорное тело достаточно велико и не прогревается насквозь, то на его поверхности или во внутренней области, соединенной с поверхностью порами, могут существовать зоны пониженной температуры. Что, если попадающие туда споры не гибнут? Тогда метеорные тела-гастролеры могут быть разносчиками жизни в Солнечной системе.

III. СИЛЫ И ДВИЖЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

1. Почему Земля шарообразна?

Солнце, Луна, большие планеты, их достаточно крупные спутники и подавляющее большинство далеких звезд тоже шарообразны. Во всех случаях причиной этого является сила всемирного тяготения. Любая масса притягивает другую массу тем сильнее, чем меньше расстояние между ними, причем никакой экран (в виде еще каких-то масс) не способен изменить (усилить или ослабить) это притяжение. Поэтому разные части достаточно большого и массивного тела первоначально произвольной формы стремятся занять такие положения, при которых они находились бы как можно ближе друг к другу. Это стремление частей тела и приводит к тому, что оно принимает форму, близкую к форме шара. Сказанное выше не относится к телам привычных для нас размеров только потому, что в этом случае

силы иной природы и иных свойств оказываются гораздо мощнее гравитационных сил.

При отсутствии волн поверхность воды кажется совершенно плоской. Перпендикуляр, проведенный к этой поверхности, направлен почти точно к центру Земли. На самом деле поверхность воды не плоская, а близка к поверхности сферы радиусом около 6400 км. Это справедливо для поверхности воды и в луже, и в океане, если отвлечься от волн. Мысленно уберем всю воду из океана. Поверхность обнажившегося дна уже не будет такой гладкой, как поверхность воды. Мы увидим горы, долины и равнины. Но ни одна из неровностей рельефа не будет выступать над средней поверхностью больше чем на 20 км. При переходе ко все большим участкам дна поверхность его будет все больше походить на поверхность шара. Это объясняется тем, что в таких масштабах даже обычное твердое вещество приобретает свойство текучести и оно хорошо проявляется благодаря гравитационной силе, направленной к центру Земли.

Твердое тело отличается от жидкого тем, что в нем молекулы менее подвижны, благодаря чему силы взаимного притяжения и отталкивания между ними способны оказывать цементирующее действие, позволяющее телу сохранять свою первоначальную форму. Примем во внимание, что эти силы на малых расстояниях гораздо мощнее гравитационных, но вместе с тем они и гораздо быстрее убывают с расстоянием. Это приводит к тому, что при переходе ко все большим объемам вещества действие гравитационных сил суммируется, чего не происходит с межмолекулярными силами.

Поэтому когда тело достигает в поперечнике 1000 км и больше (нижний предел для диаметра тем меньше, чем больше плотность вещества и чем меньше то предельное напряжение, которое способно выдерживать тело, сохраняющее свою форму), то его форма определяется условием, чтобы гравитационное притяжение между любыми частями, далекими и близкими, уравновешивалось отталкиванием между соседними частями, которое препятствует изменению как общего объема тела, так и объема отдельных его частей. Таким образом, межмолекулярные силы в твердом теле помогают ему сохранить объем, но не первоначальную форму. Стремление всевозможных частей тела к наименьшим взаимным расстояниям при сохранении объема приводит к шарообразной форме.

Если космическое тело вращается, то необходимо еще учесть действие так называемых центробежных сил инерции.

Дело в том, что любая часть вращающегося тела стремится сохранять состояние равномерного прямолинейного движения относительно центра масс. Это состояние в данном случае не достигается из-за притяжения к центру; однако возникают центробежные силы, достигающие наибольшей величины на экваторе, где скорости вращения наибольшие. (Если бы исчезли гравитационные силы, то части тела разлетелись бы по разным направлениям.)

Шар планеты «раздается вширь» у экватора и сплюсчивается у полюсов. В случае Земли радиус, проведенный к полюсу, примерно на 21 км, или на 0,33%, короче радиуса, проведенного к точке экватора. Наиболее заметен эффект вращения у Сатурна — второй по величине планеты. Радиус Сатурна, проведенный к полюсу, на одну десятую (примерно на 5900 км) короче экваториального радиуса.

Итак, гравитационные силы стремятся придать телу шарообразную форму, а центробежные силы — расширить его у экватора и сжать у полюсов. О том, на каком уровне достигается компромисс между этими силами, свидетельствует наблюдаемая форма планеты. При равенстве объемов гравитация слабее у тела меньшей плотности. У Сатурна средняя плотность вещества составляет только 0,7 от плотности воды. В результате он и оказался сплюснутым у полюсов сильнее, чем Юпитер, хотя период осевого вращения последнего короче, чем у Сатурна. Зато плотность Юпитера в 1,9 раза больше, чем у Сатурна.

2. Почему Земля не падает на Солнце?

В действительности следует сказать, что Земля все время падает на Солнце, но никак не может упасть. Вот уже почти 5 млрд. лет она непрерывно движется по своей орбите, сочетая падение к Солнцу (благодаря его притяжению) с движением в поперечном направлении (унаследованным еще при самом возникновении Земли), в результате чего ее среднее расстояние до Солнца почти не меняется.

Имея скорость около 30 км/с, Земля за все это время прошла расстояние почти в 500 000 световых лет. (Световой год содержит приблизительно 10^{13} км.) Остальные планеты, за исключением Меркурия и Венеры, прошли меньший путь, так как их скорости меньше.

Земля участвует еще в общем движении Солнечной системы относительно соседних звезд и вместе с ними обращается вокруг центра Галактики (дисковидной звездной системы, наиболее населенные звездами области которой мы воспринимаем в качестве Млечного Пути). В этом движе-

нии Земля пробежала уже около четырех миллионов световых лет.

То, что на протяжении длительного времени скорость движения Земли вокруг Солнца почти не изменилась, объясняется несколькими причинами. Во-первых, масса Солнца и его притяжение почти не менялись. Во-вторых, остальные планеты, будучи весьма малыми по массе в сравнении с Солнцем, не смогли «сбить» Землю с ее обычной траектории своим притяжением. В-третьих, расстояния до звезд так велики, что случайные сближения их с Солнцем всегда происходят на безопасном большом удалении. Поэтому пролетающие мимо звезды не способны своим притяжением заметно изменить земную орбиту. В-четвертых, Земля движется в глубоком вакууме и скорость ее не может измениться из-за сопротивления среды.

Об отсутствии этой среды позаботилось само Солнце. Его мощный свет, а также солнечный ветер (заряженные частицы, испускаемые с большой скоростью по всем направлениям) «выдувают» из межпланетного пространства пыль, нейтральный и ионизированный газ. Чтобы убедиться в действенности этого процесса, достаточно обратить внимание на фотографии хвостов комет. Эти хвосты, как правило, направлены прочь от Солнца. Газ и пыль, истекающие из ядра кометы, движущейся относительно Солнца, образуют ее хвост протяженностью в десятки миллионов километров (рис. 26). Непрерывное распределение вещества в хвосте свидетельствует о непрерывности процесса истечения газа и пыли под действием солнечного излучения. Заметим, что световое давление и солнечный ветер, воздействуя на вещество хвостов комет, практически не влияют на движение Земли и планет.

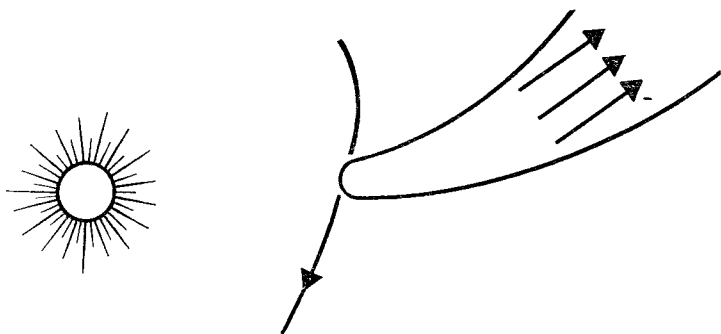


Рис. 26

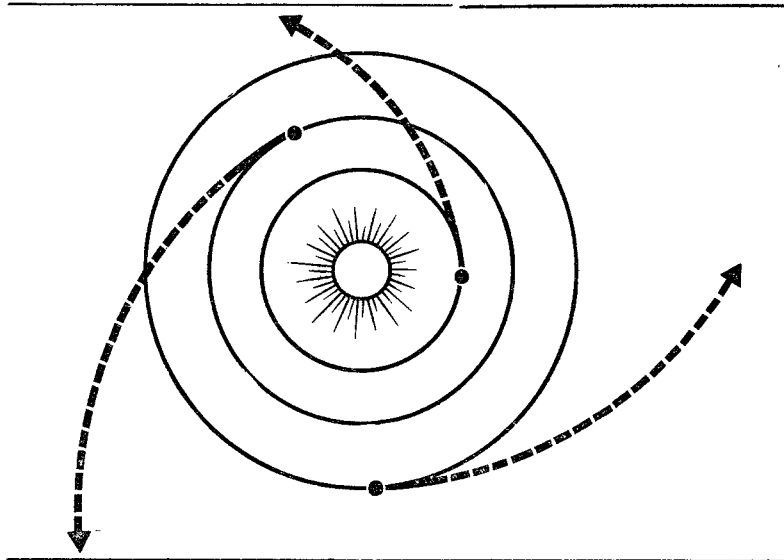


Рис. 27

Известно, что некоторые звезды, взрываясь, теряют до половины (иногда и больше) своей массы. Если бы внезапно уменьшилась в два раза масса Солнца, то все планеты, движущиеся сейчас по орбитам, близким к круговым, тут же перешли на параболические орбиты и вскоре разлетелись бы из Солнечной системы по разным направлениям (рис. 27). При меньшей потере массы планеты перешли бы на вытянутые, но замкнутые орбиты. Их средние расстояния от Солнца возросли бы. Ясно, что разлет планет привел бы к резкому изменению условий их освещенности Солнцем. Впрочем, Солнце не относится к числу взрывающихся звезд, хотя микровзрывы («микро» — только по космическим масштабам) там все же иногда случаются; их называют хромосферными вспышками.

А что произошло бы с орбитами при внезапном удвоении массы Солнца? Они бы уменьшились в размерах. Орбита Земли стала бы гораздо более вытянутой, а среднее расстояние до Солнца уменьшилось бы (рис. 28). Минимальное расстояние составило бы только треть нынешнего. Период обращения по новой орбите стал бы равен 141 суткам. В точке, ближайшей к Солнцу, освещенность возросла бы в 9 раз.

По новой орбите Земля двигалась бы очень неравномерно: в точке *P* ее скорость увеличилась бы в три раза по сравне-

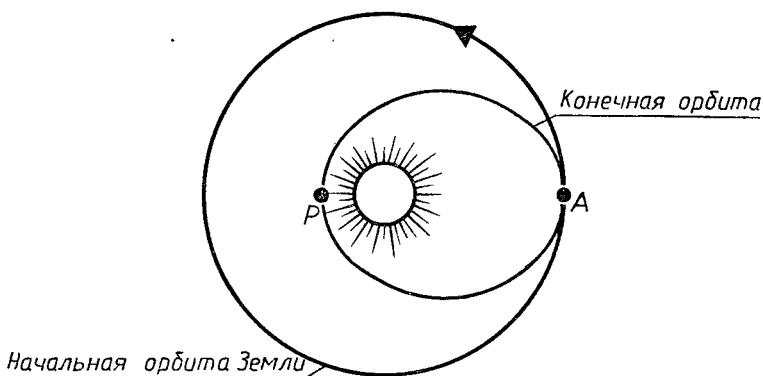


Рис. 28

нию со скоростью в точке *A* и составила бы около 90 км/с. Это привело бы к заметному удлинению продолжительности суток вблизи точки *P*, так как она определяется периодом осевого вращения Земли относительно меняющегося направления из центра Земли к Солнцу (читателю предлагается самостоятельно сделать и проанализировать соответствующий рисунок).

Мы обычно не обращаем внимания на то, что в начале января угловой диаметр Солнца на 3,3% больше, чем в начале июля (в январе Земля ближе всего к Солнцу). Но в данном примере угловой диаметр Солнца изменялся бы до трех раз!

Похожая ситуация встречается на Меркурии — ближайшей к Солнцу планете, обращающейся по сильно вытянутой орбите. Для воображаемого жителя Меркурия угловой диаметр Солнца меняется до полутора раз в течение года, который длится там 88 земных суток и всего 0,5 суток меркурианских. (Относительно звезд период вращения Меркурия составляет 58,65 суток, а относительно Солнца — 175,94 суток.)

Науке неизвестны процессы, которые реально могли бы привести к существенному изменению массы Солнца за короткое время. Предыдущие примеры имеют иллюстративный характер.

3. Когда мы движемся быстрее всего, будучи неподвижны относительно Земли?

Если учесть направление вращения Земли вокруг оси и движение ее вокруг Солнца (рис. 29), то можно прийти

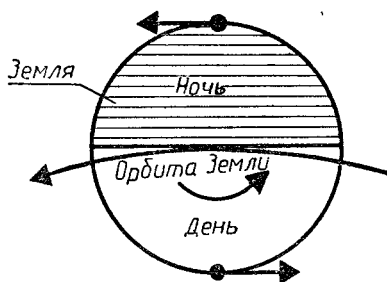


Рис. 29

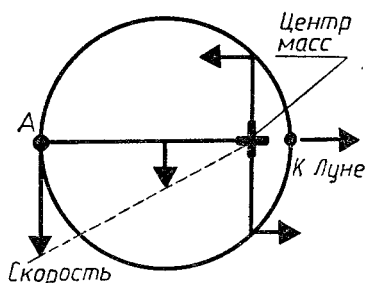


Рис. 30

к выводу, что быстрее всего мы движемся относительно Солнца в полночь. В этот момент наша скорость на 3348 км/ч больше, чем в полдень, при условии, что мы находимся на экваторе. На широте Москвы разность составит 1885 км/ч. В полночь наша скорость относительно оси Земли, равная $1674 \cos \varphi$ км/ч (φ — географическая широта*), складывается со скоростью движения Земли вокруг Солнца, которая в среднем составляет 107 154 км/ч. Быстрее всего Земля движется относительно Солнца в начале января (на 1800 км/ч быстрее, чем в среднем в течение года).

Однако в рассмотренном случае не учтено движение вокруг центра масс системы Земля — Луна. От центра Земли он отстоит в среднем на 4671 км. Его положение внутри Земли непрерывно меняется из-за вращения Земли вокруг оси и вытянутости орбиты Луны (и Земли). На рисунке 30 стрелками показаны скорости разных точек Земли относительно центра масс системы Земля — Луна, отмеченного крестиком. Наибольшую скорость в этом движении имеет точка А (107 км/ч). Нетрудно сообразить, что наибольшая скорость точки Земли достигается в полночь в момент новолуния (Луна в этот момент располагается между нами и Солнцем) и в среднем в течение года составляет на экваторе 108 935 км/ч. При прочих равных условиях скорость максимальна в тот момент, когда Луна находится в перигее (т. е. ближе всего к Земле).

Выше говорилось о движениях относительно Солнца. Но сама Солнечная система тоже движется относительно совокупности звезд, наблюдаемых невооруженным глазом, со скоростью около 71 000 км/ч почти точно в направлении

* Линейная скорость равна произведению угловой скорости на расстояние до оси вращения. Последнее на широте φ составляет долю $\cos \varphi$ от аналогичного расстояния на экваторе.

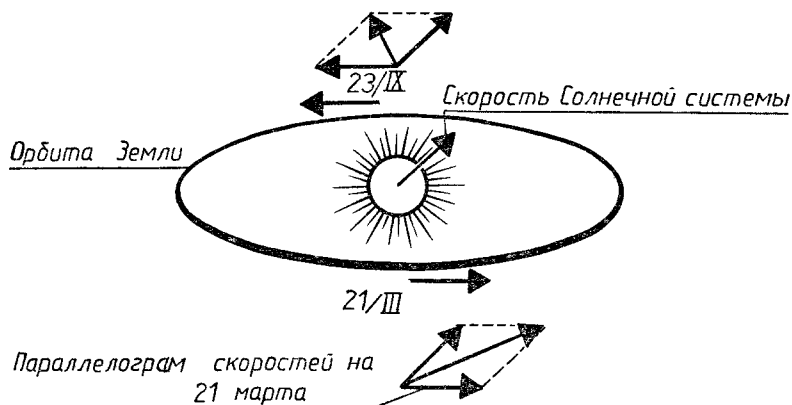


Рис. 31

звезды γ Геркулеса. Используя рисунок 31, можно убедиться в том, что наибольшая скорость Земли относительно совокупности звезд, видимых невооруженным глазом, достигается в марте, а наименьшая — в сентябре. Эти скорости приблизительно равны 159 840 км/ч и 86 400 км/ч. В марте максимальная скорость земного наблюдателя получается около полуночи, а в сентябре минимальная скорость достигается около полудня.

Существует еще одно движение, в котором мы участвуем вместе с совокупностью указанных выше звезд. Это движение вокруг центра Галактики со скоростью 250 км/с (900 000 км/ч) в направлении созвездия Лебедь. Точка, куда нацелен вектор этой скорости, находится примерно на продолжении «хвоста Лебеда» в 6° от его ярчайшей звезды (Денеб). Мы видим, как велика эта скорость. Поэтому ее и вообще скорости движения космических тел принято выражать в километрах в секунду (км/с).

Таким образом, для космоса характерно не только огромное расстояние между его объектами. Мы встречаемся здесь и с огромными скоростями. Самые далекие наблюдаемые галактики движутся относительно нас со скоростями, большими 250 000 км/с (удаляясь от нас).

Приведенный выше перечень движений Земли весьма далек от полноты. Следует отметить еще огромную скорость, с которой наша Земля движется вместе с Солнечной системой и всей Галактикой относительно других галактик (несколько сотен км/с). Наша планета участвует еще во множестве других, более медленных движений. Например, вращение Земли вокруг оси не совсем равномерное. Летом и

зимой Земля вращается с разной скоростью (различие скоростей так мало, что находится на пределе его обнаружения). Вращение Земли постепенно замедляется из года в год, так что за 100 лет продолжительность суток увеличивается на 0,0015 с. В результате за последний миллиард лет продолжительность суток возросла более чем на четыре часа. Ось Земли сама медленно поворачивается вокруг перпендикуляра к плоскости земной орбиты. Известно, что движение Луны вокруг Земли можно рассматривать как движение по эллипсу, размеры, форма и ориентация которого испытывают периодические изменения; аналогичные изменения происходят и с орбитой центра масс Земли вокруг центра масс системы Земля — Луна.

В астрономии, впрочем, как и во всех других науках, любой объект исследования кажется простым только на первый взгляд. Но чем больше и глубже его изучают, тем более сложным, многогранным он оказывается.

4. Какова особенность движений в космосе?

На поверхности Земли любое движение со временем затухает, если нет притока энергии извне. Причина этого в трении, сопротивлении среды. Значительная часть энергии движений, в которых участвует человек, идет на преодоление этих сил.

В космосе такие силы, как правило, отсутствуют. Поэтому достаточно некоторому телу придать импульс соответствующих значения и направления, и оно сможет достичь любого космического объекта, пусть даже удаленного на миллионы световых лет. Только прямое столкновение этого тела с каким-то другим способно остановить его движение.

В Солнечной системе вдали от планет притяжение Солнца преобладает над всеми другими силами (здесь имеются интересные исключения, о которых мы расскажем ниже). Поэтому траектории движений тел достаточно крупных размеров всегда обращены своей вогнутостью в сторону Солнца (рис. 32).

На Земле, желая сберечь силы, мы предпочитаем преодолевать расстояние между двумя пунктами по прямой, если этому ничто не мешает. Идти по прямой не труднее, чем по любому другому пути (здесь, конечно, мы пренебрегаем кривизной поверхности Земли, на которой происходят эти движения).

А вот для перемещения по прямой, например с Земли на Марс, пришлось бы затратить при непрерывно работающих реактивных двигателях огромную энергию. Действительно,

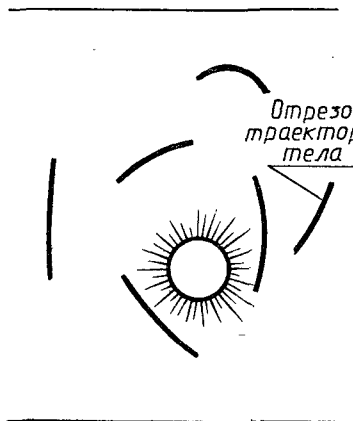


Рис. 32

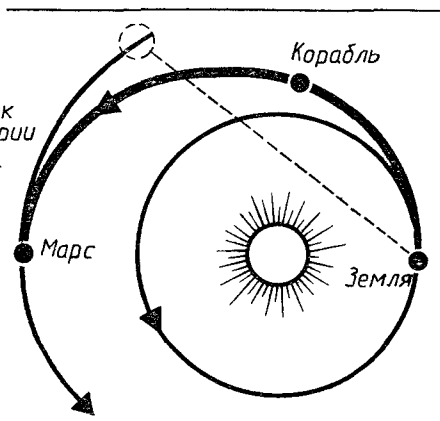


Рис. 33

чтобы автоматическая межпланетная станция (АМС) попала на Марс, двигаясь приблизительно по полуэллиптической траектории (рис. 33), достаточно сообщить ей в точке старта (на Земле) специально рассчитанный начальный импульс. Далее, находясь в поле тяготения Земли, Солнца и планет, станция летит по инерции. А чтобы заставить АМС двигаться по прямой (гипотетический перелет; см. рис. 33, штриховая линия), потребовались бы непрерывно работающие реактивные двигатели, не допускающие искривлений траектории под действием притяжений упомянутых тел.

В Галактику входит несколько сотен миллиардов звезд. Чтобы представить себе, насколько малы они в сравнении с разделяющими их расстояниями, рассмотрим модель, в которой все размеры и расстояния уменьшены по сравнению с действительными в 140 000 000 000 раз. В этой модели Солнце изобразится шариком диаметром 1 см, Земля станет крупинкой поперечником 0,1 мм на расстоянии около 1 м от Солнца. А ближайшая звезда Проксима Центавра окажется на расстоянии 290 км от Солнца.

Отсюда ясно, что вероятность столкновения двух звезд ничтожно мала. Поэтому движения звезд, как и движения планет, являются практически вечными*. Правда, при взаимных сближениях звезды, притягиваясь друг к другу, изменяют свои траектории.

* Хотя скорости звезд составляют десятки километров в секунду, за время человеческой жизни взаимное расположение звезд на небе остается практически неизменным: уж очень велики расстояния!

Гравитационные силы действуют между любыми массами, большими и малыми. Но есть еще силы, которые в отличие от гравитационных проявляют себя лишь при движении очень малых масс (скажем, меньше 1 г). К таким силам относится, в частности, сила давления электромагнитного излучения.

Эта сила настолько интересна, что заслуживает специального рассмотрения. Прежде всего ответим на вопрос: почему она заметна только в случае малых тел?

Электромагнитное излучение давит на поверхность с силой, пропорциональной площади S : $F = kS$, где k — величина, зависящая от свойств поверхности, ее ориентации относительно источника излучения и расстояния до этого источника. Согласно второму закону Ньютона сила сообщает телу ускорение a : $a = F/m$, где m — масса тела. Масса пропорциональна кубу радиуса тела R (будем считать тело шаром). Площадь поверхности пропорциональна величине R^2 . Значит,

$$a = kS/m = klR^2/R^3 = kl/R,$$

где l — постоянная. Отсюда видно, что ускорение a тем больше, чем меньше радиус тела. Гравитационное же ускорение не зависит от массы и радиуса ускоряющегося тела. Поэтому при достаточно малом радиусе ускорение, сообщаемое электромагнитным давлением, может стать больше гравитационного ускорения.

Рассмотрим тело, которое движется вокруг Солнца по круговой орбите, причем сила электромагнитного давления составляет только небольшую часть от гравитационной силы. Если бы действовала только последняя, то тело находилось бы на одной и той же орбите неограниченное время (если пренебречь притяжениями других тел Солнечной системы). Но благодаря упомянутому выше давлению появляется эффект паруса, который в одних случаях побуждает тело приближаться к Солнцу, а в других — удаляться (рис. 34). При падении фотона на зеркальную поверхность паруса фотон сообщает парусу импульс в направлении своего движения. При отражении фотона парус получает еще один импульс — в сторону, противоположную движению отскакившего фотона. Равнодействующая этих импульсов и есть конечный импульс, изображенный на рисунке 34 жирной стрелкой. В случае a этот импульс заставляет тело переходить на более низкую орбиту и постепенно приближаться к Солнцу. В случае b тело постепенно удаляется от Солнца.

Действие электромагнитного давления обладает свойством накапливаться со временем. Даже относительно не-

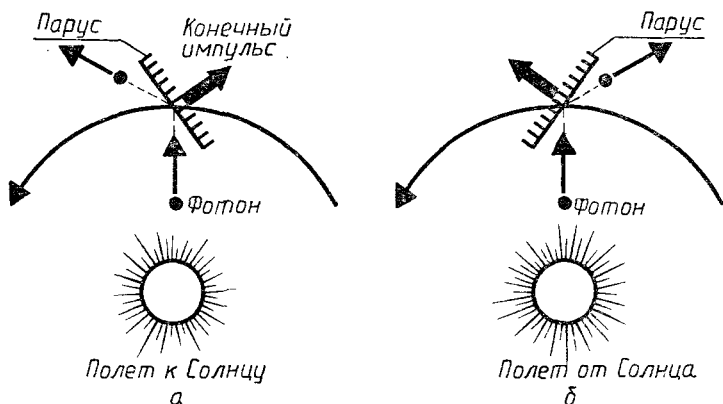


Рис. 34

большое давление, действуя на малое тело миллионы лет, способно заметно изменить его орбиту. Возможно, в будущем это свойство электромагнитного (светового) давления будет использовано при межпланетных перелетах. Источником излучения, оказывающего давление на парус, может служить и лазер высокой мощности, установленный, например, на Луне.

Заслуживает внимания еще один эффект электромагнитного давления. Допустим, что в космосе находится пластинка, одна часть которой зеркальная, а другая — черная. Благодаря тому что солнечные фотоны от зеркальной части отражаются, а в черной поглощаются (рис. 35), зеркальная часть будет испытывать большее давление и пластинка станет поворачиваться. Если ее обратная сторона однородна, то при последующем повороте будет восстановлено первоначальное положение и раскручивающий эффект электромагнитного давления будет постепенно накапливаться, ско-

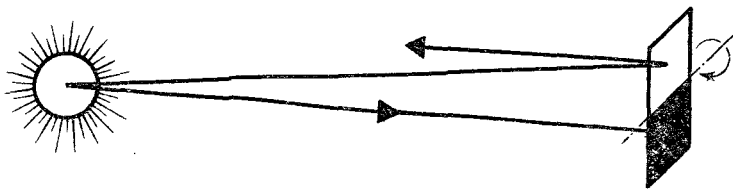


Рис. 35

рость вращения будет нарастать*, что в некоторых случаях приводит к разрушению пластинки из-за действия центробежных сил (см. выше). Вместо пластинки можно рассмотреть реальное небольшое космическое тело, у которого разные части отражают свет по-разному. Все сказанное применимо и к этому телу.

При изучении движения в космосе небольших тел нужно учитывать также испарение вещества с поверхности и возникновение реактивной силы. Кроме того, нужно принять во внимание, что межпланетное пространство заполнено разреженной плазмой — веществом, истекающим из солнечной короны. В этих условиях должна происходить электризация тел. При вращении же заряженного тела возникает магнитное поле...

Пока еще не создана теория, которая учитывала бы все многообразие явлений, имеющих отношение к движению малых космических тел.

Итак, достаточно крупные тела движутся в космосе под действием только гравитационных сил по орбитам, представляющим собой эллипсы** разной степени вытянутости (окружность — частный случай). В одних случаях размеры и форма этих эллипсов лишь слегка изменяются на протяжении миллиардов лет, в других — могут претерпевать сильные изменения. Так, орбита Юпитера почти не изменяется; комета же, пролетая мимо Юпитера, может сильно изменить свою орбиту под действием его притяжения. На движение малых тел, особенно тех, у которых массы не превышают нескольких граммов, кроме гравитационных сил, весьма существенно влияют и другие силы.

IV. МНОГООБРАЗИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

1. Каковы воздействия Солнца на Землю?

1. Притяжение Солнца примерно в 1660 раз слабее земного. Непосредственно мы его не ощущаем по той же причине, по которой космонавт на орбите не чувствует притяжения Земли. (Наша планета как бы гигантский косми-

* Если на обратной стороне пластинки имеются места с различной отражательной способностью, то в зависимости от положения этих мест скорость вращения может либо увеличиваться, либо уменьшаться.

** Мы рассматриваем здесь лишь движения относительно Солнца под действием только его притяжения, игнорируя взаимодействия тел друг с другом. В принципе в этом случае возможны также движения по параболам и гиперболам.

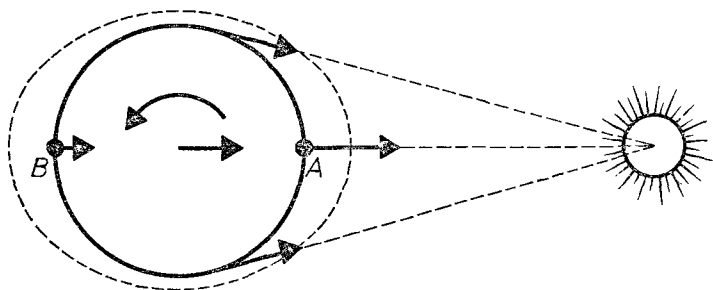


Рис. 36

ческий корабль, движущийся вокруг Солнца.) Но его вполне достаточно, чтобы заставить Землю обращаться по ее орбите.

2. Для разных положений пробной массы на поверхности Земли и в ее недрах сила, исходящая от Солнца, различна по абсолютному значению и (или) по направлению (рис. 36; различие сил преувеличено для большей наглядности). Это различие является одной из причин возникновения приливов в оболочках Земли (Луна тоже вызывает приливы). Водная оболочка деформируется так, что вблизи точек *A* и *B* возникают приливные горбы. Поскольку линия *AB* направлена на Солнце, а Земля вращается вокруг оси, то приливные горбы движутся относительно дна морей и океанов с востока на запад, тормозя вращение Земли. Угловая скорость вращения убывает, а продолжительность суток увеличивается.

3. Приток солнечной энергии абсолютно необходимое условие существования высокоразвитой жизни. Это общеизвестно. Обычно меньше обращают внимание на другое важное условие — постоянство потока энергии. Оно тоже выполняется, причем с достаточной точностью. Земля стала бы стерильной даже при кратковременном увеличении температуры на 500°C .

4. Притяжение Солнца наряду с его излучениями и магнитным полем предопределило не только сам факт образования планет из газово-пылевой туманности, но и наложило отпечаток на свойства этих планет. Близкие к Солнцу частицы туманности (рис. 37) сильно разогревались и не смогли удержать летучие вещества (водород и гелий) в таком же

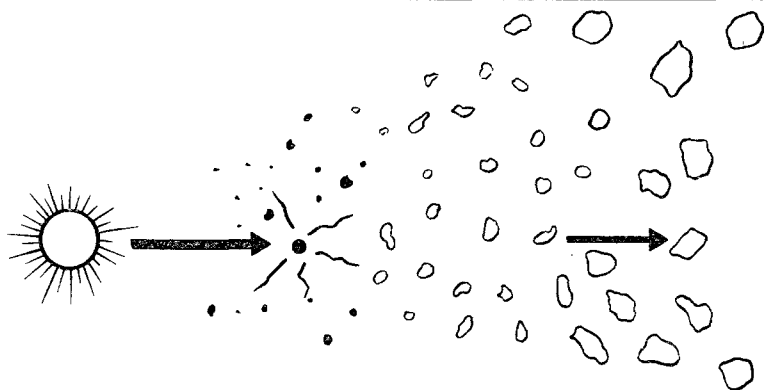


Рис. 37

количестве, как далекие от Солнца частицы. Поэтому ближайшие к Солнцу планеты, образовавшиеся из этого обедненного водородом и гелием вещества, имеют повышенную плотность и сравнительно небольшие размеры.

Этим не исчерпывается все многообразие воздействий Солнца на Землю, многие из которых, по-видимому, не установлены до сих пор.

Самый внешний слой атмосферы Солнца, граничащий с межпланетным пространством, называется короной. Чрезвычайно разреженная, но нагретая до нескольких миллионов кельвинов солнечная корона является источником «ветра», состоящего из электронов и ионов. Эти заряженные частицы движутся в магнитных полях Солнца по спиральям, навивающимся на магнитные линии. Последние тянутся от самой поверхности нашего светила, далеко простираясь в межпланетное пространство. Со скоростью около 500 км/с солнечный «ветер» обтекает область пространства вокруг Земли, где преобладает ее магнитное поле. Эта область называется магнитосферой Земли. Когда меняется скорость солнечного «ветра», то изменяются и свойства магнитосферы.

Поскольку основным химический элемент на Солнце — водород, то среди ионов солнечного «ветра» преобладают протоны. Часть протонов и электронов захватывается магнитным полем Земли, и они довольно длительное время совершают сложные колебательные движения между магнитными полюсами, изменяя свойства околоземного пространства.

Изменения на Солнце, связанные с появлением и исчезновением пятен (областей, где температура понижена на

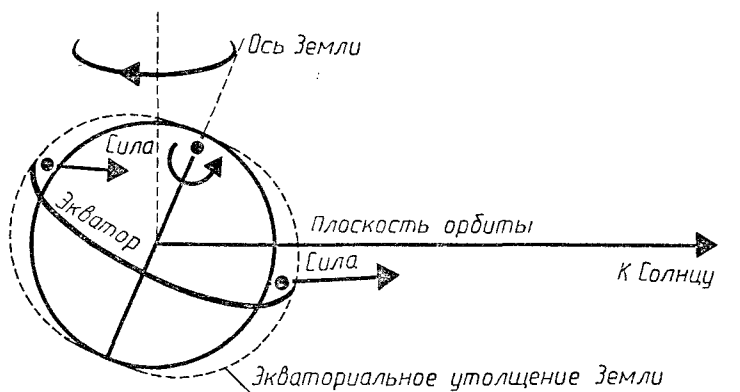


Рис. 38

1500 К по сравнению со средним значением около 5800 К), сказываются на силе солнечного «ветра», а также на интенсивности рентгеновского и ультрафиолетового излучений. Для Земли эти изменения незначительны. Она отзывается на них полярными сияниями, магнитными бурями (быстрыми колебаниями индукции магнитного поля), нарушениями радиосвязи (особенно сильными на дневной стороне), появлением и изменением размеров «окон» в слое озона на высоте 20—30 км над Антарктидой, а также колебаниями климата в отдельных местах, а возможно даже и по всей Земле.

Вместе с Луной Солнце вызывает прецессию — медленный поворот оси Земли вокруг перпендикуляра к плоскости ее орбиты (рис. 38). Прецессия возникает потому, что Земля сплюснута у полюсов и Солнце, которое, как правило, не находится в плоскости экватора Земли, притягивает более близкие к нему массы у экватора сильнее, чем такие же массы на противоположной стороне планеты. Если бы Земля не была волчком, то ее ось в конце концов оказалась бы повернутой так, чтобы различие этих сил больше не сказывалось на ее ориентации. Этого не происходит из-за вращения Земли, но зато возникает прецессия. Прежнее положение земная ось восстанавливает через каждые 26 000 лет*.

Не исключено, что явление прецессии приводит к изменению климата. Дело в том, что в настоящее время в северном полушарии зима приходится на период, когда Земля, двигаясь по эллиптической орбите, находится ближе всего к Солнцу, а значит, в целом получает больше солнечного

* Прецессия обусловлена совместным действием Солнца и Луны.

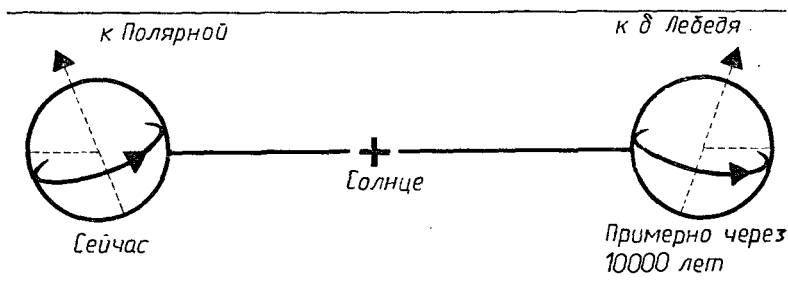


Рис. 39

тепла. Однако настанет время, когда зимой мы будем находиться дальше всего от Солнца (рис. 39). Зимние холода в северном полушарии будут обусловлены не только тем, что солнечные лучи образуют малые углы с плоскостью горизонта, но и тем, что расстояние до Солнца будет на 5 млн. км больше, чем в разгар лета. В этих рассуждениях не учитывалась будущая деятельность человечества. Повышенное образование углекислого газа и изменение свойств слоя озона (поглощающего ультрафиолетовое излучение) могут значительно усложнить картину изменения климата.

2. Влияет ли на нас Луна?

Вот что писал в самом конце прошлого века популяризатор астрономии В. Мейер: «С Луной мы сжились вполне. Ее спокойное сияние обливает земные предметы кротким бледным светом, который после слишком яркого дневного света делает и глаза, и душу восприимчивыми к мягким и нежным ощущениям, притупляющимся под действием трезвого солнечного света. На лик Луны мы можем смотреть прямо; она дружески улыбается нам, как молчаливый товарищ. Луна участвует в нашей земной жизни как часть нас самих».

Свет полной Луны примерно в 460 000 раз слабее солнечного. Его достаточно, чтобы разогнать ночной мрак хотя бы частично, но он несет слишком мало тепла, чтобы влиять на погоду.

Луна вошла в нашу жизнь и через календарь: понятия «месяц» и «неделя» связаны с периодом смены фаз Луны.

Луна своим притяжением вызывает более сильные приливы, чем Солнце. Замедление вращения Земли вокруг оси и прецессия в значительной мере обусловлены Луной.

Когда-то Луна была ближе к Земле. В то время колебания уровня воды в океанах значительно превосходили нынешние.

Благодаря этому сильно перемешивалось все, что было растворено и взвешено в водной оболочке Земли. По мнению астронома И. Д. Караченцева, это обстоятельство могло облегчить зарождение и первоначальное развитие жизни на нашей планете. Если это действительно так, то Луна в какой-то степени повлияла и на наше появление.

Луна притягивает нас примерно в 300 000 раз слабее, чем Земля, и в 180 раз слабее, чем Солнце. Почему же тогда лунные приливы сильнее солнечных? Когда мы рассматриваем причину приливов, то учитываем не абсолютные значения сил, а их разности в разных местах Земли. Хотя силы, исходящие от Солнца, значительно превосходят силы от Луны, они в то же время в разных пунктах различаются значительно меньше. Это объясняется особенностью закона всемирного тяготения и тем, что Солнце находится примерно в 390 раз дальше от нас, чем Луна.

Нельзя не упомянуть и о роли солнечных затмений в упрочении власти жрецов в древнем мире. На протяжении многих лет жрецы фиксировали моменты таких затмений и подметили следующую закономерность: по истечении 19 756 суток ($\approx 54,09$ года) после очередного затмения обязательно произойдет такое же (приблизительно в то же время суток, в том же месте Земли). Это — наименьший период (большой сарос), по истечении которого затмения повторяются приблизительно в той же временной последовательности. Значит, записав моменты всех затмений (солнечных и лунных), которые произошли за 54,09 года, можно на длительный период в будущем предсказывать все новые и новые затмения.

Выше мы несколько раз употребили слово «приблизительно». Дело в том, что повторяющиеся затмения оказываются не совсем одинаковыми и спустя примерно 1000 лет данная серия затмений сменяется уже другой. Наблюдаемые изменения побуждали древних астрономов вести регулярные записи моментов затмений. Это в какой-то степени способствовало развитию астрономии.

3. Существует ли в космосе зеркало для всей Земли?

Нашим космическим зеркалом является Луна. Это зеркало своеобразное — оно отражает в среднем только около 7% света, и в нем увидеть точное наше отражение нельзя (речь здесь идет не о зеркальном отражении, а о рассеивании света). Тень Земли, хорошо наблюдаемая в периоды лунных затмений, всегда имеет границу в виде дуги окружности. Это — одно из доказательств шарообразности нашей планеты, известных еще в древности.

Спустя несколько суток после новолуния (или за такое же время до него) хорошо наблюдается «пепельный свет», исходящий из ночного полушария нашего спутника. Это — солнечный свет, отразившийся от Земли, достигший Луны и после нового отражения вернувшийся к Земле. Свет этот голубоватый. Так задолго до полетов в космос был установлен цвет Земли.

Поскольку шарообразная наша Земля вращается, то в разные моменты она обращена к Луне разными частями своей поверхности. Если океанами — то «пепельный свет» довольно слабый: ведь области океанов, не закрытые облаками, — это наиболее темные места Земли. Если же к Луне, имеющей положительное склонение (см. выше), Земля обращена Евразией, то в зимний период яркость соответствующего «пепельного света» особенно велика. Конечно, на эту яркость влияет и облачность, усиливающая отражательную способность Земли.

«Пепельный свет» тем ярче, чем бо́льшая часть дневного полушария Земли обращена к Луне. С точки зрения воображаемого лунного наблюдателя, Земля тоже меняет фазы. Но если у нас Луна заходит и восходит, то для селенита (жителя Луны) Земля почти неподвижно стоит в одной и той же области неба. С обратной же стороны Луны наша Земля не видна.

Если направить бинокль на область «пепельного света», то там, на ночной стороне Луны, можно разглядеть лунные моря и самые крупные кратеры. «Земные» ночи на Луне гораздо светлее, чем «лунные» на Земле. Нужно только помнить, что небо на Луне всегда темное.

4. Влияют ли планеты на земные события?

Вопрос может показаться риторическим. Планеты слишком сильно удалены от Земли, чтобы своим притяжением, отраженным солнечным светом или магнитным полем, сколько-нибудь заметно воздействовать на Землю и на нас.

Тем не менее некоторые опосредствованные связи можно проследить достаточно четко. Нет сомнений, что закон всемирного тяготения лежит в основе понимания структуры и движений небесных тел и всей Метагалактики (обозримой области Вселенной). Без точных расчетов, опирающихся на тот же закон, немыслимы полеты в космос.

Но вспомним, как был открыт закон всемирного тяготения. Вначале Н. Коперник, стремясь объяснить особенности видимых движений планет, построил гелиоцентрическую модель мира (с центром в Солнце). Основываясь

на этой модели и учитывая результаты многолетних наблюдений за планетами, полученные Т. Браге, математик и астроном И. Кеплер открыл три закона движений планет. Наконец, из этих законов И. Ньютон вывел математическое выражение для силы, управляющей движениями планет.

Следовательно, именно планеты «помогли» открыть закон всемирного тяготения. Еще значительно раньше они вошли в жизнь некоторых народов через названия дней недели.

Учет положений планет на фоне звезд лежит в основе лженаучных астрологических предсказаний. В былые времена интерес к таким предсказаниям был настолько велик, что он существенно помогал ведению систематических наблюдений за звездным небом. Так астрология помогала астрономии.

Наблюдения за Луной в телескоп обнаруживают на ней многочисленные кратеры всевозможных размеров. Эти шрамы на поверхности нашего спутника возникли при падении тел из космоса. Аналогичные кратеры имеются на Меркурии, Венере, Марсе и его спутниках, спутниках Юпитера, Сатурна и Урана. Несомненно, их должно быть много и на Земле. Это было подтверждено при исследовании поверхности нашей планеты из космоса.

Имеются основания предполагать, что некоторые из кратеров на небесных телах возникают при падениях ядер комет. Орбиты этих тел очень вытянутые и могут пролегать вблизи планет-гигантов (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун), которые своим притяжением способны изменять эти орбиты и, следовательно, влиять на вероятность встречи комет с Землей. Что произойдет при такой встрече? Поскольку массы комет ничтожны в сравнении с массой Земли, то отдельные встречи обычно приводят лишь к катастрофам локального характера: взрыв, пожар, вывал леса, цунами и запыление атмосферы. Чем больше масштабы явлений, тем меньше их вероятность. Встреча с такой большой кометой, как комета Галлея, ядро которой имеет в поперечнике около 10 км, маловероятна. Но если бы она произошла, то катастрофа имела бы последствия глобального характера. Например, при падении такого тела в район Тихого океана прокатилась бы огромная волна. Это привело бы не только к временному затоплению больших участков суши, но и к интенсивному размещиванию воды в океанических глубинах. Известно, что там вода очень холодная (средняя температура глубинных вод составляет несколько градусов Цельсия). Тогда временно сильно охладилась бы и атмосфера.

ра. С другой стороны, в районе падения произошло бы выделение значительной тепловой энергии.

5. Воздействует ли Земля на небесные тела?

Хотя Луна притягивается Землей в 2,2 раза слабее, чем Солнце, однако этой силы достаточно, чтобы навечно «привязать» Луну к Земле. Дело в том, что ускорению a , сообщаемому Луне нашей планетой, нужно сопоставить разность ускорений Δa , сообщаемых Луне и Земле Солнцем. Величина Δa меняется при движении Луны по ее орбите. Минимальное значение отношения $a/\Delta a$ составляет около 90. Оно стало бы близким к единице лишь при уменьшении расстояния от Земли до Солнца в 4,5 раза. В этом случае связь между Луной и Землей стала бы непрочной.

В системе координат, связанной с окружающими звездами, Луна совершает полный оборот вокруг своей оси за 27,32 суток. Когда-то она вращалась, по-видимому, быстрее, но Земля, вызывая приливы в твердой оболочке Луны, «призвала к порядку» нашего спутника. Теперь, как известно, Луна, «выдерживая равнение», постоянно повернута к нам одной и той же стороной.

Обратная сторона Луны значительно более светлая и гористая, чем видимая с Земли. Следовательно, наша планета не только управляет движением Луны по орбите и вокруг ее оси, но и в какой-то степени определяет вид ее поверхности.

Несомненно, Земля способна сильно изменять движения и некоторых других небесных тел: астероидов, комет и метеорных тел (с поперечником до 1 км), пролетающих мимо. Однако такие близкие прохождения — маловероятные, редкие события.

А влияет ли Земля на другие планеты? Уже давно известно, что своим притяжением Земля лишь слегка «сбивает» другие планеты с их «нормальных» орбит, точно так же как и они сообщают «сбивают» Землю с ее орбиты. Но только недавно стало известно об одном удивительном явлении, которое, вероятно, тоже обусловлено Землей.

Речь пойдет о загадке вращения Венеры вокруг оси. Эта планета и Земля (как и другие планеты) обращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении — против часовой стрелки, если смотреть на орбиты со стороны Северного полюса Земли. Но угловые скорости этих движений различны. Поэтому в среднем через каждые 583,92 суток (синодический период) Венера нагоняет Землю, пролетая на минимальном расстоянии от нас, равном около 40 млн. км,

т. е. приблизительно в 100 раз большем расстоянии от Луны до Земли. Вокруг оси Венера вращается по часовой стрелке и очень медленно. Относительно звезд период вращения составляет около 243,0 суток, а относительно Солнца — 116,75 суток. Если разделить на последнее число приведенное выше значение синодического периода, то получим почти целое число: $5,0015 \pm 0,0013$. Здесь величина 0,0013 является так называемой средней квадратической ошибкой определения этого отношения. Таким образом, рассматриваемое отношение вполне может оказаться точно равным пяти. Это означало бы, что всякий раз, сблизившись с Землей, Венера поворачивается к нам точно одним и тем же своим полушарием.

Если такое совпадение не случайное, то придется признать, что Земля способна повлиять на вращение Венеры. Между тем, как показывает расчет, исходящая от Земли приливообразующая сила в ее максимуме на Венере почти в 17 000 раз слабее соответствующей приливообразующей силы от Солнца.

В заключение этого пункта нельзя не упомянуть еще об одном виде воздействий Земли на окружающие тела. Примерно 4 млрд. лет назад на Земле появилась жизнь. Эволюция привела к появлению разума, который можно рассматривать как мощную преобразующую силу. Земля уже «дотянулась» до Луны и планет своими автоматическими станциями. Люди, побывавшие на Луне, не только собирали образцы лунных пород, но и производили там взрывы. Цель этих взрывов — вызвать лунотрясения, анализ которых помогает выяснить особенности внутреннего строения нашего спутника.

6. Как звезды взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой?

Кое-что на эту тему говорилось в разделе, посвященном воздействию Солнца на Землю: ведь Солнце — ближайшая к нам звезда. В окрестности некоторых других звезд, вероятно, тоже существуют планеты, подобные Земле, но они еще не открыты.

Здесь же мы рассмотрим главнейшие среди известных видов воздействий звезд друг на друга и на окружающую среду. Разнообразие связей и взаимодействий обусловлено потрясающим воображение разнообразием мира звезд.

1. Связь посредством гравитации. Многие звезды входят в существующие длительное время пары, тройки и четверки. Примером здесь может служить система Мицара в Большой

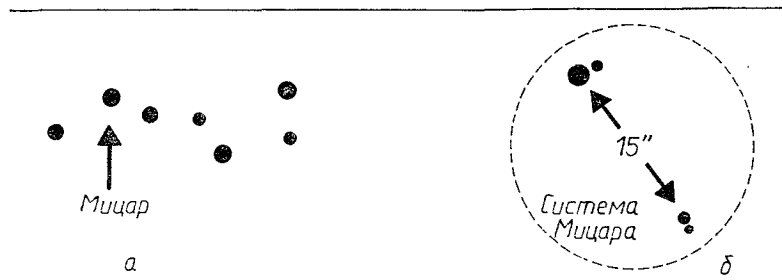


Рис. 40

Медведице, состоящая из четырех звезд (рис. 40). Часть звезд объединена в так называемые рассеянные и шаровые звездные скопления. Например, Плеяды в созвездии Тельца — рассеянное скопление, содержащее по крайней мере несколько десятков звезд. Объект М13 в созвездии Геркулеса — пример шарового скопления, содержащего сотни тысяч звезд.

Двойные и кратные звезды (кратные системы насчитывают от трех до восьми звезд) и звездные скопления вместе с отдельными звездами (и Солнцем) обращаются вокруг центра Галактики, содержащей 200—400 млрд. звезд. Известно множество других галактик. Как правило, последние тоже образуют пары, тройки и т. д., объединяются в группы и скопления.

Все перечисленные звездные системы и системы звездных систем могут существовать миллиарды (часто многие миллиарды) лет лишь благодаря гравитационным взаимодействиям между звездами и звездными системами.

2. Эффект быстрого изменения гравитационной связи. Рассмотрим двойную звездную систему, в которой компоненты (звезды) обращаются вокруг общего центра масс по круговым орбитам. Одна из звезд взрывается и за время, короткое в сравнении с орбитальным периодом, теряет значительную часть своей массы. Эта масса с большой скоростью (десятки тысяч километров в секунду) выбрасывается за пределы системы.

Подобные взрывы действительно происходят, хотя и очень редко, в случае так называемых сверхновых звезд. Необходимая для этого энергия выделяется при термоядерных реакциях.

Имеются две возможности: 1. Вещество выбрасывается преимущественно в одном направлении. Согласно закону сохранения количества движения остаток звезды приобретает ускорение в противоположном направлении (звезда —

ракета). 2. По всем направлениям выбрасывается одна и та же масса вещества и с одной и той же скоростью. Вторая возможность ближе к реальности, и мы ее рассмотрим более подробно.

Сразу после взрыва остаток звезды своей скорости не изменит (не успеет). Но гравитационная сила, действующая на другую звезду, резко ослабляется, орбита последней (относительно первой звезды) быстро изменяется. Интересно, что начальная скорость движения по новой орбите в точности равна скорости второй звезды перед взрывом первой.

Обозначим массы и скорости звезд до взрыва через M_1 , M_2 , \vec{v}_1 и \vec{v}_2 . Здесь скорости определены относительно центра масс системы. Поэтому имеем

$$M_1\vec{v}_1 + M_2\vec{v}_2 = 0$$

(количество движения системы относительно ее центра масс равно нулю). Пусть потерянная масса равна ΔM и $M'_1 = M_1 - \Delta M$ — конечная масса первой звезды. Согласно закону сохранения количества движения

$$M'_1\vec{v}_1 + M_2\vec{v}_2 + \Delta M\vec{v}_1 = 0.$$

Скорость центра масс системы, составленной из остатка первой звезды и неизменившейся второй звезды, определится равенством

$$\vec{v} = \frac{M'_1\vec{v}_1 + M_2\vec{v}_2}{M'_1 + M_2} = -\frac{\Delta M\vec{v}_1}{M'_1 + M_2}.$$

Итак, после взрыва система в целом получает приращение скорости, равное \vec{v} . Если, например, $v_1 = 100$ км/с, $\Delta M = 2/3 M_1$ и $M_2 = 1/5 M_1$, то $v = -125$ км/с. Знак «минус» означает, что система приобрела скорость в направлении, противоположном вектору начальной скорости первой звезды.

О характере новых орбит звезд относительно нового центра масс мы пока не говорили. В зависимости от величины ΔM эти орбиты могут быть замкнутыми или незамкнутыми. Если выполнено условие

$$\Delta M \geq 1/2 (M_1 + M_2),$$

то орбиты звезд, бывшие ранее круговыми, становятся незамкнутыми и система распадается.

3. Эффект близких проходов. Вероятность прямого столкновения двух звезд ничтожно мала. Но и во время случайных сближений, не сопровождающихся столкновением, может произойти заметное изменение скоростей. На

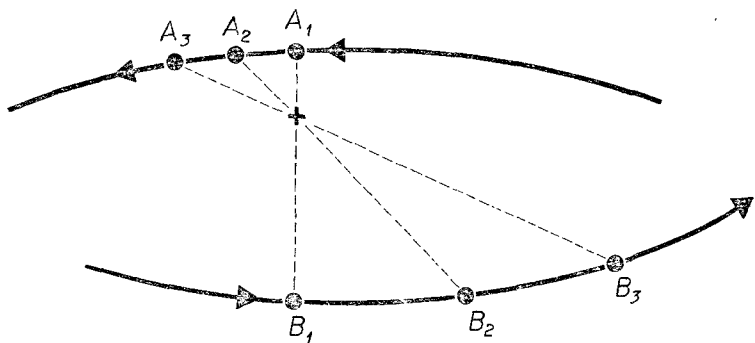


Рис. 41

рисунке 41 кружочками показаны положения звезд в период сближения, крестиком отмечено положение центра масс, относительно которого определены скорости. В любой момент центр масс делит отрезок, соединяющий звезды, на части, находящиеся в одном и том же отношении друг к другу (оно обратно пропорционально отношению масс). Поскольку так же относятся друг к другу и скорости, то можно сделать вывод: при сближениях скорость менее массивной звезды изменится больше. Если в этой системе координат сравнить скорости до сближения и после него, то окажется, что изменились только направления скоростей. Но при переходе к системе координат, связанной с центром масс того скопления (или в общем случае звездной системы), в состав которого входят эти звезды, окажется, что меняются и направления, и значения скоростей.

За время существования звездного скопления каждый его член многократно сближается с другими членами и всякий раз изменяет свою скорость. Если ее определять относительно центра скопления, то, учитывая правило сложения векторов, можно получить представление о том, как она меняется. Рисунок 42 поясняет, как меняется проекция скорости на некоторую плоскость. Жирная стрелка соответствует начальной скорости, прерывистая — конечной. Каждая маленькая стрелочка показывает изменение проекции скорости при отдельном сближении.

Силы, проявляющиеся при случайных сближениях, называют иррегулярными силами. Их действие постепенно накапливается и может привести как к уменьшению, так и к увеличению начальной скорости звезды. В последнем

случае скорость может превысить тот предел, за которым любая звезда должна покинуть скопление; этот предел — аналог второй космической скорости. Из сказанного следует, что звездные скопления постепенно распадаются, причем раньше других скопление покидают звезды наименьшей массы.

4. Игра сил в тесных двойных системах. Долгое время считали, что звезды существуют абсолютно независимо друг от друга, если не считать их взаимного гравитационного притяжения. Теперь известно много исключений из этого правила.

Если в двойной системе звезды достаточно близки друг к другу, то на определенной стадии эволюции одной из них может возникнуть интенсивный перенос массы от этой звезды к соседней. Перетекание вещества начинается с сильного раздувания внешних слоев звезды и поддерживается своеобразным сочетанием гравитационных сил с центробежной силой инерции (см. выше). Последняя появляется благодаря быстрому движению звезд вокруг общего центра масс. Даже и при отсутствии такой силы часть оболочки звезды-гиганта, достигшая окрестностей второй звезды, была бы захвачена последней. Это станет понятным, если учесть, что здесь притяжение второй звезды намного превосходит притяжение первой. Существование центробежной силы облегчает перенос. Перетекающее вещество может не сразу падать на вторую звезду, а образовывать вначале вокруг нее вращающийся диск. А часть вещества может даже покинуть систему.

Причиной расширения звезды (необходимое условие для начала перетекания вещества) являются в конечном счете термоядерные реакции. Они происходят не в центральной части звезды — ядре, как у Солнца, а в сравнительно тонком слое на границе ядра, где еще сохранилось «горючее», а температура и давление благоприятны для таких реакций. «Горючим» является обычно (но не всегда) водород, который постепенно превращается в гелий.

Представление о том, как выглядит двойная система, у которой происходит перенос массы от одной звезды к другой, дает рисунок 43.

5. Свет плюс гравитация. Встречаются случаи, когда рядом со звездой находится массивное пылевое облако, отражающее, рассеивающее и поглощающее свет. Звезда притягивает облако, а оно — звезду. Вместе с тем звезда воздействует на облако электромагнитным излучением. Давление этого излучения препятствует падению облака на звезду, а вся система звезда—облако ускоряется в

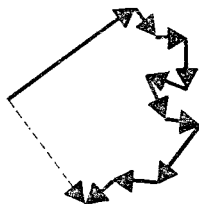


Рис. 42

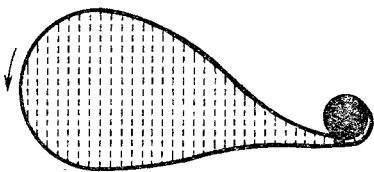


Рис. 43

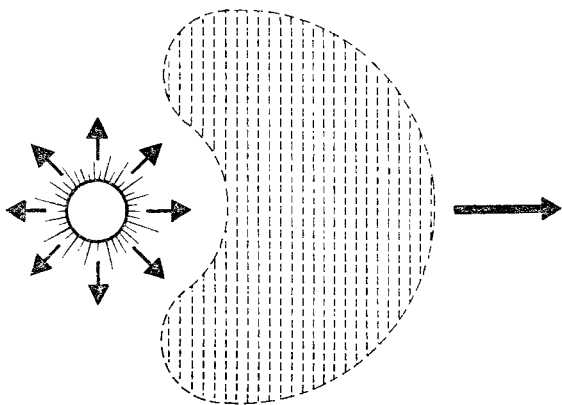


Рис. 44

направлении, указанном на рисунке 44 жирной стрелкой. Здесь есть аналогия с фотонной ракетой.

6. Воздействие из прошлого. Наиболее массивные звезды на определенной стадии эволюции взрываются, теряя значительную часть массы. Выброшенное вещество побывало в недрах звезды и изменило свой химический состав, так как участвовало в ядерных реакциях. Поэтому в результате взрывов химический состав межзвездной среды постепенно изменяется.

Новые звезды, образовавшиеся из этого изменившегося вещества, тоже могут взрываться, если их масса достаточно велика. Так, через межзвездную среду старые звезды воздействуют из далекого прошлого на звезды последующих поколений. Наше Солнце к звездам первого поколения не относится. Поэтому вполне вероятно, что его вещество уже

побывало в недрах других звезд (это же справедливо и в отношении того вещества, из которого состоят наши тела).

В Солнечную систему и на Землю из разных направлений льются потоки космических лучей (электронов, протонов и других остатков атомов различных элементов). Возможно, что они тоже образуются при взрывах звезд. На движение частиц космических лучей влияют магнитные поля межзвездного пространства. Траектории частиц весьма запутанные. Они совсем не похожи на те траектории, которые описывают звезды.

7. Коридоры в межзвездной пыли. Звезды отличаются друг от друга по массе, размеру, мощности полного излучения, температуре поверхности и по многим другим характеристикам. Они по-разному взаимодействуют с межзвездной средой. Те из них, которые имеют высокую температуру и мощное излучение (голубые гиганты и сверхгиганты), оказывают на межзвездную пыль особенно сильное давление. Вдоль траекторий подобных звезд возникают области разрежения пыли (рис. 45). Эта пыль ослабляет голубой свет сильнее, чем красный. Когда звезда удаляется от нас и ее свет распространяется вдоль коридора разрежения прежде, чем попасть к земному наблюдателю, то воспринимаемый нами цвет звезды соответствует ее натуральному цвету при данной температуре поверхности. Если же звезда приближается, то, с нашей точки зрения, она будет выглядеть более красной. Кроме того, при прочих равных условиях в первом случае звезда окажется более яркой, чем во втором.

Перечисленные здесь виды воздействий звезд на окружающие тела и вещество не исчерпывают всего, что известно

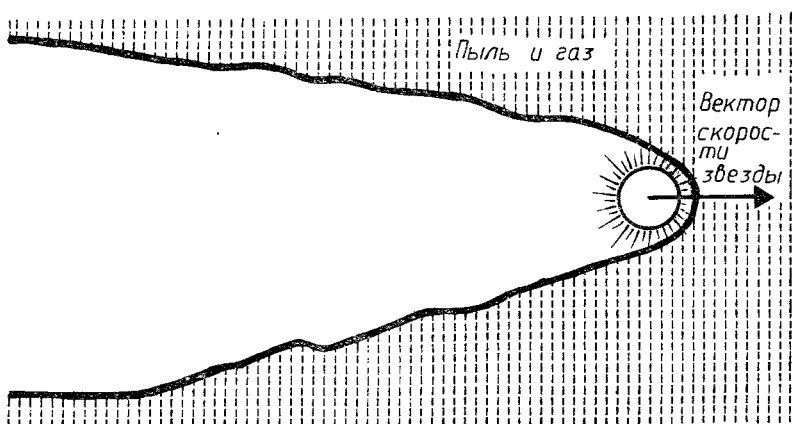


Рис. 45

науке. Это всего лишь примеры некоторых известных воздействий. Вряд ли будет ошибкой предположить, что очень многое здесь еще остается неизвестным.

V. КОСМОС И ЖИЗНЬ

1. Что такое биосфера?

Биосфера — живая оболочка Земли, простирающаяся от поверхности на 80 км вверх, в атмосферу, и погружающаяся на 10—15 км вглубь, в земные недра. У верхней и нижней границ биосферы встречаются только редкие микроорганизмы, а наибольшего расцвета жизнь достигает у поверхности, где соседствуют суша, воздух и вода.

На первый взгляд вопрос о биосфере не связан с астрономией. Но это не так. Биосфера — образование планетарное, существенно изменившее облик Земли. Возможные биосферы других миров Вселенной обнаружит и станет изучать прежде всего астрономия.

Астрономия имеет дело с интервалами времени в миллиарды лет. За такие периоды происходит, по-видимому, зарождение, развитие и невообразимое усложнение биосфер. Во всяком случае, на Земле четыре миллиарда лет назад существовали сравнительно простые живые организмы, а к настоящему времени их многочисленные потомки претерпели поистине фантастические изменения.

В этих изменениях важную роль играли и разнообразные влияния космоса (см. раздел IV, п. 1, 2 и 4), которые, по-видимому, известны еще далеко не все. Даже малозаметное воздействие, накапливаясь на протяжении миллионов и миллиардов лет, может произвести сильный эффект. В качестве примера укажем на поток космических лучей, льющийся из межзвездного пространства и от Солнца и временами подверженный сильным изменениям. В настоящее время он ответствен примерно за 30% величины естественной радиоактивности воздуха, которым мы дышим. Между тем радиоактивность среды является одной из важных причин изменений в наследственности и самой эволюции живого. Таким образом, если говорить о больших интервалах времени, влияние космических лучей на темпы эволюции в биосфере не вызывает сомнения. Может быть, при их отсутствии человек появился бы на миллионы лет позднее.

Первые отрывочные представления о некотором понятии можно получить путем простого перечисления связанных с ним других понятий. Со словом «биосфера» можно поста-

вить в связь слова «космос», «бессмертие», «иерархия» и «ноосфера».

Мы уже касались связи понятий *биосфера* и *космос*. Космос не только влияет на биосферу, но в известной мере является ее первоосновой (см. этот раздел, п. 3). Во всяком случае, жизнь обязана своим существованием не только веществу Земли, но и энергии Солнца, без притока которой прекратились бы почти все движения на поверхности планеты, а газы атмосферы сгустились бы в ледник толщиной менее 10 м.

Биосфера и бессмертие. Как мы хорошо знаем из собственного опыта, все живое стремится жить, и жить, пока для этого имеется хотя бы малейшая возможность и если это стремление не слишком сильно вредит другим живым структурам. Почему так получилось?

Все существующие с нами живые создания — растения, животные и микроорганизмы — это потомки победителей в той непрерывной борьбе за существование, которая длится уже миллиарды лет. Берущая начало от тех первых живых комочков цепочка рождений, которая в конце концов вывела на нас и современную нам биосферу, не прерывалась ни разу. Мы существуем благодаря тому, что все наши многочисленные предки стремились к бессмертию (самосохранению) и частично преуспели в этом, поскольку сейчас живем мы — их потомки. Все другие побеги древа жизни, в которых такое стремление угасло или не обрело достаточной силы, канули в небытие. Выходит, что биосфера в целом — это как бы гигантский инкубатор, в котором культивируется стремление к бессмертию.

Естественно предположить, что возможные биосферы других космических миров являются подобными же генераторами стремления к бессмертию.

Биосфера и иерархия. Вначале рассмотрим пример иерархической последовательности, в которой каждый следующий объект составлен из всех предыдущих: буква, слог, слово, часть предложения, предложение, абзац, страница, параграф (раздел, глава, часть), книга, все книги на данной полке библиотеки, отдел библиотеки, вся библиотека и т. д. Жизнь на Земле развивается по иерархической лестнице, в основном снизу вверх: вирус, клетка, многоклеточный организм, семья, племя или стая, государство, содружество (союз) государств, единый земной очаг разума. Здесь рассмотрена только одна из эволюционных цепочек биосферы, причем некоторые звенья цепочки были пропущены. Кроме того, последнее звено (единый земной очаг разума) еще не достигнуто эволюцией.

Понятие *ноосфера* широко применял В. И. Вернадский. Ноосфера — это сфера разума, как бы обволакивающая Землю и являющаяся плодом развития биосферы. Может быть, благодаря ноосфере земная жизнь войдет когда-то в иерархическую структуру еще более высокого порядка, включающую другие (пока неизвестные) космические ноосферы. Так, обсуждая свойства биосферы, мы снова приходим к понятию «космос».

По-видимому, без использования этого понятия невозможно обсуждать проблему далекого будущего человечества.

2. Каковы возможности для жизни в Солнечной системе за пределами Земли?

Во время первых полетов человека на Луну выполнялись меры предосторожности, чтобы не занести на нашу планету потенциально опасные для нас микроорганизмы. Впоследствии эти меры были отменены.

На Луне, на подавляющем большинстве спутников других планет, а также на Меркурии атмосфер практически нет. Отсутствие воздуха и жидкой воды, а также исключительно низкие температуры на поверхности почти всех спутников не допускают наличия там жизни. Ученые предполагают, что под внешней ледяной оболочкой спутника Юпитера Европы (толщина около 10 км) находится жидкий океан воды глубиной около 50 км. Может быть, жизнь имеется в этом океане?

Известные формы жизни едва ли смогли бы существовать в условиях плотной и горячей (температура до 470 °C) атмосферы Венеры, состоящей из углекислого газа с небольшими примесями других газов. Там нет жидкой воды. На Марсе ее тоже нет, атмосфера состоит в основном из углекислого газа, очень сильно разрежена, а типичные температуры на поверхности более низкие, чем у нас в Антарктиде в зимний период.

С точки зрения возможного существования жизни весьма интересны планеты-гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. В их атмосферах имеются все элементы, необходимые для построения белковых тел. Из-за обилия водорода там не может быть свободного кислорода, но последний имеется в связанном состоянии — в воде. Солнечного света эти планеты получают очень мало. Но там имеются собственные источники энергии — тепло приходит из глубоких недр. Существует гипотеза, согласно которой на ранней стадии эволюции планеты-гиганты были сильно раскалены.

В разделе II, п. 6 допускалось, что жизнь в виде микроорганизмов могла бы переноситься с одной планеты на другую при помощи метеорных тел, случайно пролетающих в атмосферах на достаточно больших высотах, чтобы не разрушиться, и на достаточно малых, чтобы прихватить зародыши жизни. Это всего только гипотеза, которая еще нуждается в подробном анализе. Если она верна, то шансы на обнаружение хотя бы примитивной жизни в Солнечной системе за пределами Земли резко повышаются.

3. Существовал ли в Солнечной системе развитый разум до появления человека?

Когда-то И. С. Шкловский предполагал, что, может быть, спутники Марса — Фобос и Деймос — имеют искусственное происхождение. Но изображения этих тел, переданные автоматической станцией, не содержат никаких признаков, которые подтверждали бы эту гипотезу.

Движения этих спутников имеют необычные свойства: Фобос постепенно приближается к Марсу; Деймос же, как выяснилось позднее, удаляется. То, что Фобос снижается, можно объяснить сопротивлением разреженной марсианской атмосферы только в том случае, если он очень легкий, например если он полый. Но полый спутник, скорее всего, должен быть искусственного происхождения.

С тех пор было найдено другое объяснение. Стационарный спутник Марса, т. е. неподвижно висящий над одной и той же точкой этой быстровращающейся планеты, имел бы период 24,6 ч и находился бы на высоте около 17 000 км. Расчет показывает, что достаточно массивный спутник, движущийся по более низкой орбите и с меньшим периодом (например, Фобос), станет вызывать в оболочке Марса приливы, обратное гравитационное воздействие которых на спутник приведет к постепенному его снижению. Противоположное действие окажут приливы на спутник, орбита которого проходит выше орбиты стационарного спутника. Именно это и наблюдается в случае Фобоса и Деймоса (рис. 46).

Минимальное расстояние между орбитами этих спутников когда-то было меньше. Может быть, они входили в единое тело? Сравнительный анализ поверхностей Фобоса и Деймоса (наибольшие поперечники этих тел не превышают 30 км) показал, что у Фобоса наблюдается гораздо больше кратеров в расчете на единицу площади. Следовательно, либо эти тела имеют разное происхождение, либо различие появилось в силу того, что вблизи Марса плотность потока

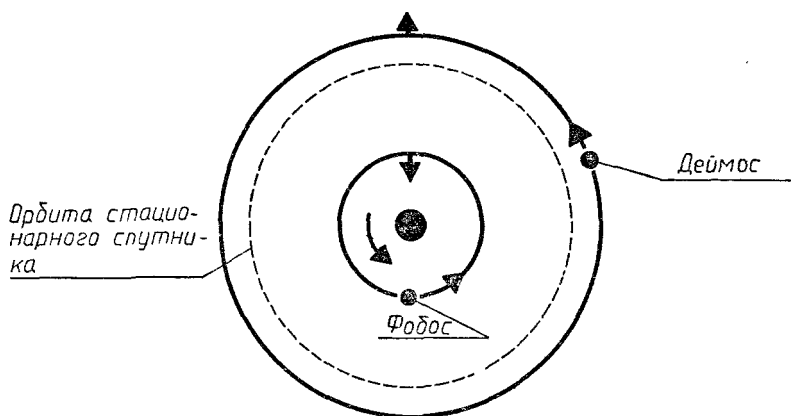


Рис. 46

метеорных тел (падение которых сопровождается образованием кратеров) повышена.

За те миллиарды лет, что живет биосфера Земли, в принципе могли возникать высокоразвитые разумные существа. Однако они не оставили нам никаких следов своего существования. Если они посещали другие планеты, то и там следы их могли уже стереться, так как достаточно быстрые изменения происходят и на других планетах. Существует больше шансов обнаружить следы посещения на спутниках планет и астероидах.

4. Может ли существовать жизнь за пределами Солнечной системы?

Как появилась жизнь на Земле, пока не установлено. Поэтому неизвестно, одинаковы ли те условия, которые благоприятствуют зарождению жизни, и те, которые необходимы для сохранения и развития жизни на протяжении миллиардов лет. Возможно, они разные. В пользу этого предположения свидетельствует то, что в наши дни не обнаружено никаких признаков зарождения живого из неживого на Земле. Не удастся воспроизвести процесс зарождения жизни и в лабораторных условиях. Имеются данные, согласно которым первоначальные, довольно сложные, составные части, необходимые для построения белковых структур, появились в межзвездном пространстве на поверхности мельчайших пылинок, причем там, где живые организмы существовать не могут. В пространстве между звездами обнаружено много органических соединений.

При отсутствии подробной информации об условиях зарождения и развития жизни можно рассуждать так: на Земле, обладающей определенным набором характеристик (масса, ускорение свободного падения, химический состав, расстояние от Солнца и многое другое), жизнь существует. Если на какой-нибудь другой планете имеется в наличии тот же набор, то и там может существовать жизнь. На Земле жизнь имеет свою историю — от появления составных частей живого (сложных органических молекул) до возникновения на границе суши, воздуха и воды живых существ. Похожую первоначальную историю должна иметь жизнь и на другой планете.

Нет оснований считать Солнце и семью планет вокруг него чем-то совершенно исключительным. Учитывая масштабы и однородность обозримой области Вселенной, включающей около 10^{20} звезд, можно допустить, что наша биосфера не является уникальной. Вместе с тем, поскольку мы все же не знаем, как зарождается жизнь, абсолютно исключить возможность нашей уникальности нельзя. Точно так же не может быть в настоящее время опровергнуто и высказывание такого рода: вблизи каждой тысячной звезды главной последовательности спектрального класса *G2* (т. е. с такими же свойствами, как у Солнца) имеется планета с биосферой. В таком случае жизнь оказалась бы весьма распространенным явлением не только во Вселенной, но и в нашей Галактике. Ближайшая к нам звезда, похожая на Солнце, — это Альфа Центавра: расстояние до нее 4,38 световых лет, или $4,14 \cdot 10^{13}$ км. От Солнца она отличается тем, что имеет в качестве спутника другую звезду, обращающуюся с периодом около 80 лет. На расстоянии, в сотни раз большем, находится третья звезда, тоже спутник. Этот спутник очень слабый: мощность его излучения в 26 000 раз меньше, чем у Альфы Центавра.

Как бы там ни было, идея о существовании жизни и очагов разума вне Земли привлекательна и заслуживает дальнейшего обсуждения.

5. Как ищут братьев по разуму?

Главный метод поиска, применявшийся до сих пор, — это прослушивание космоса в радиодиапазоне. На что рассчитывают ученые? При помощи радио-телескопов они надеются обнаружить либо направленную на нас радиопередачу, либо всенаправленный сигнал, посланный вслепую в надежде, что кто-то его перехватит, либо радиопереговоры каких-нибудь цивилизаций, либо какое-то

искусственное радиоизлучение, появляющееся, например, при работе многочисленных радио- и телестанций, обслуживающих внутренние нужды некоторой цивилизации.

Время поисков измеряется уже десятками лет, а положительных результатов все нет. Но работы продолжаются, и они планируются на будущее. Возможности современных крупнейших радиотелескопов таковы, что адресованные Земле сигналы они смогли бы принять даже с расстояния в 100 000 световых лет (это примерно 10^{18} км) при условии, что отправитель располагает такой же техникой, что и мы.

В 1974 г. было направлено радиопослание с закодированной информацией о Земле и ее жителях в сторону огромного шарового звездного скопления М13, насчитывающего сотни тысяч звезд, причем все они более старые, чем Солнце. Учитывая расстояние, ответа следует ожидать, если он будет дан, только через 48 000 лет.

Другой метод поиска заключается в тщательном анализе всех имеющихся данных о небесных объектах. Цель — выделение случаев, когда свойства объектов невозможно объяснить. Такие случаи изучал, в частности, литовский астроном В. Страйжис. Он обратил внимание на странные, с его точки зрения, особенности некоторых звезд. (Может быть, находящиеся поблизости цивилизации научились воздействовать на звезды.) Такой подход не является абсолютно бесплодным, хотя гораздо вероятнее, что будут отысканы вполне естественные объяснения свойств этих звезд.

6. Каков наш статус в космосе?

Допустим, что в космосе существуют другие цивилизации. Какое место среди них занимаем мы по уровню развития? Ответить можно только предположительно, так как ни одной другой цивилизации мы не знаем. Будем исходить из здравого смысла (несмотря на то, что философ Гегель когда-то назвал его предрассудком данной эпохи).

Возраст всего наблюдаемого мира радиусом около 10^{23} км составляет 15—20 млрд. лет. Жизнь на Земле существовала уже 4 млрд. лет назад. Возраст земной цивилизации можно оценить приблизительно в 10 тыс. лет. Допустим, что типичная космическая цивилизация живет не менее миллиона лет.

Одновременно с нами где-то существуют и молодые, и старые очаги разума. Мысленно выделим наугад один из них. Если он с одинаковой вероятностью имеет возраст, скажем, от одного года до миллиона лет, то остается довольно мало шансов встретить нам очаг с возрастом от

одного года до десяти тысяч лет. Значит, подавляющее большинство разумных миров обогнало нас в развитии.

Чтобы легче было понять это умозаключение, представим себе, что в коробке имеется 100 шаров и только один из них черный. Если мы, не глядя, возьмем какой-нибудь шар, то существует лишь один шанс из ста, что нам попадет черный. Теперь вернемся к нашей проблеме. Если в космосе имеется миллион очагов разума с возрастaми 1, 2, ..., 10^6 лет, то, очевидно, только 1% очагов имеет возраст до 10 000 лет. Предположим, что мы наконец обнаружили другую цивилизацию. Если вероятность обнаружения не зависит от возраста цивилизации, то встретить равную нам по возрасту или более молодую цивилизацию — это то же самое, что вытянуть черный шар в предыдущем примере.

В этом рассуждении есть изъян. Нам не известны ни законы развития космических цивилизаций, ни среднее время их жизни. Например, если каждая из них достигает своего расцвета в возрасте 10^4 лет, а затем угасает, то предыдущий вывод окажется ошибочным.

Но предположим, что вывод все же правильный — будем оптимистами относительно других цивилизаций, а значит, и относительно своего будущего. Тогда сразу же напрашивается еще один, причем очень интересный вывод: технически более развитым цивилизациям легче обнаружить нас, чем нам их. (Ведь расстояние от них до нас точно такое же, как и от нас до них!) В таком случае они должны обнаружить нас первыми!

Но до сих пор у нас нет никаких данных о том, что мы обнаружены. С учетом этого приходим к следующим двум возможностям:

1. Очаги разума встречаются так редко, что даже расстояние между соседями электромагнитный сигнал пробегает за время, большее времени их жизни. Обмен информацией невозможен. Но могут быть послания-памятники, не рассчитанные на ответ. Что, если для нас уже такой памятник где-то создан теми, кто предвидел в далеком прошлом наше появление и развитие? Но человечество в целом не доросло до понимания того, где и как этот памятник искать.

2. Расстояния между соседями достаточно мало для обмена информацией. Отсутствие предназначенных нам сигналов может означать, что с нами пока не хотят говорить. Ведь трудно допустить, что о нас не знают миры, намного опередившие нас в развитии. В этом случае наиболее перспективным путем приближения контакта может служить установление всеобщего справедливого мира на Земле. После этого мы станем более привлекательными для других.

VI. ВЫЧИСЛЕНИЯ С ПРОГРАММИРУЕМЫМ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОМ

Хотя предлагаемые программы рассчитаны на работу с ПМК типа МК-54 (а также МК-52, МК-56 и МК-61), они могут быть легко переделаны для работы с ПМК других типов, которые имеют программную память не меньшего объема.

В дальнейшем вместо принятых на клавиатуре ПМК типа МК-54 символов $x \rightarrow \Pi$ и $\Pi \rightarrow x$ будем для краткости писать в программах соответственно $x\Pi$ и Πx .

Все ответы на предлагаемые ниже вопросы, требующие использования ПМК, состоят из одних и тех же разделов, повторяющихся от вопроса к вопросу.

В *разделе 1* дается постановка задачи, приводятся необходимые формулы для тех, кто пожелает неформально изучить способ решения или составить самостоятельно программу для мини-ЭВМ, а также в некоторых случаях дается краткая блок-схема алгоритма.

В *разделе 2* приводится сама программа.

В *разделе 3* приводятся сведения о способе задания числовых параметров (какие параметры в какие регистры памяти и стека вводить). Описываются другие действия, предшествующие началу вычислений. Иногда в таких действиях нет необходимости. Даются сведения о способе представления результатов. Например, символы $I \rightarrow x$ означают, что искомая величина высвечивается на индикаторе. Символы $\Pi x3 \rightarrow x$ означают, что результат хранится в регистре памяти 3 и для его вызова на индикатор следует нажать клавиши Πx и 3.

В *разделе 4* приводится пример для контроля правильности введения программы.

При работе с тригонометрическими функциями следует учесть, что при использовании предлагаемых программ переключатель единиц измерения углов должен быть установлен на Γ (градусы).

1. Что такое юлианский день и как его определить?

1. Юлианские дни — это дни, отсчитываемые с момента так называемого среднего гринвичского полудня (Гринвич — обсерватория близ Лондона) 1 января 4713 г. до нашей эры. Ведется непрерывный счет таких дней. Когда пишут $J.D. = 2435544, 77891$, то имеют в виду, что с указанного

выше момента истекло 2435544, 77891 средних солнечных суток. Юлианские дни удобно использовать при нахождении интервала времени между двумя событиями. Очевидно, этот интервал равен разности числа юлианских дней, соответствующих второму и первому событиям. Если события достаточно удалены друг от друга во времени, то для решения задачи другим методом пришлось бы учитывать разную продолжительность месяцев, простых и високосных лет.

Допустим, некто родился в 14 ч 5 января 1960 г. Сколько времени он прожил к моменту 18 ч 10 августа 1986 г.? Для ответа на этот вопрос используем юлианские дни.

Искомый интервал времени можно определить как разность между числами юлианских дней. Для 0 ч 5 января 1960 г. имеем $J.D. = 2436938,5$. Для 0 ч 10 августа 1986 г. (и в первом, и во втором случае подразумевается гринвичское среднее время) имеем $J.D. = 2446652,5$. Разность составляет 9 714 суток. Пусть время рождения — владивостокское, а второй момент дан по московскому времени. Поскольку Владивосток находится в девятом часовом поясе, то его зимнее время опережает гринвичское на 10 ч (9 ч + 1 ч). Московское же летнее время опережает гринвичское на 4 ч (2 ч + 2 ч). Следовательно, первому и второму моментам соответствуют 14 ч — 10 ч = 4 ч и 18 ч — 4 ч = 14 ч по гринвичскому времени. Разность равна 10 ч, или примерно 0,4167 суткам. Поэтому искомый интервал времени составляет 9714,4167 суток.

Применяя приведенную ниже программу, правильный результат можно получить с 1 марта 1900 г. по 28 февраля 2100 г. Для моментов в XIX и XVIII вв. программа дает соответственно значения $J.D. - 1$ и $J.D. - 2$. Но при этом следует исключать месяцы с марта по декабрь 1900 и 1800 гг., когда указанная программа дает соответственно значения $J.D.$ и $J.D. - 1^*$.

Считаются известными число месяца D и номер месяца m (от 1 по 12), а также номер года J . Например, для 1 мая 1945 г. имеем $D = 1$, $m = 5$ и $J = 1945$.

Применяется формула

$$J.D. = [365,25j] + [30,6n] + D + 1720981,5, \quad (1)$$

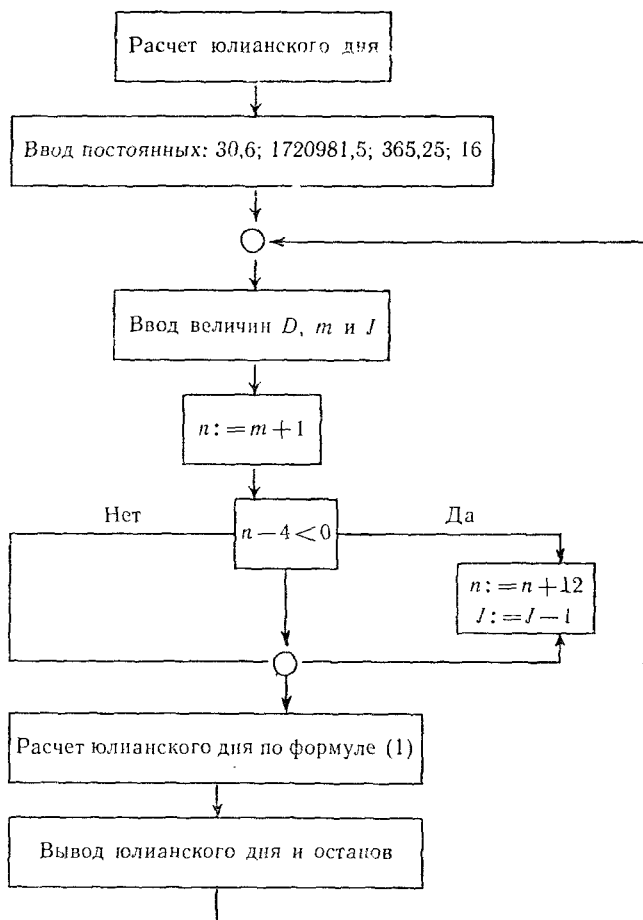
где

$$n = \begin{cases} m + 13, & m < 3, \\ m + 1, & m \geq 3; \end{cases} \quad j = \begin{cases} J - 1, & m < 3, \\ J, & m \geq 3. \end{cases}$$

Символ $[x]$ обозначает целую часть числа x .

* 1900 год относится к XIX в., а 1800 г. — к XVIII в.

Ниже приводятся упрощенная блок-схема программы и сама программа.



2.	xП3	4	—	Пх0	+
	С/П	—	xП5	+	С/П
	xП4	F $\overline{x \leq 0}$	Пх4	xП6	БП
	С/П	20	Пха	Пх5	00
	xП5	Пх2	×	Пх1	xПb
	Пх4	+	ПП	×	КПхb
	1	xП4	40	ПП	Пхb
	+	Пх5	Пх3	40	В/О
	xП4	1	+	Пх6	

Вначале вводятся команды первого столбца, затем — второго и т. д.

3. В в о д: 30,6 хПа; 1720981,5 хПО; 365,25 хП1; 16 хП2. Подобную запись здесь и в дальнейшем следует понимать так: набираем число 30,6 и нажимаем клавиши хП и а; остальные числа запоминаем соответственно в регистрах 0, 1 и 2. Если клавиша В/О не была нажата, то это следует сделать сейчас.

Продолжение ввода: D С/П; m С/П; J С/П. Такая запись означает, что вначале набирается число D , после чего нажимается клавиша С/П. Затем набирается число m и опять нажимается клавиша С/П. Наконец, то же самое проделывается с числом J . Этот порядок ни в коем случае нельзя нарушать.

Результат: $I \rightarrow J.D$. Эта запись означает, что результат (в данном случае — число юлианских дней) высвечивается на индикаторе.

4. В качестве примера рассмотрим 10 мая 1986 г. (0 ч по Гринвичу). В этом случае $D=10$, $m=5$ и $J=1986$. Вычисления по программе дают значение $J.D.=2446560,5$.

2. Как определить день недели по дате?

1. Ввиду того что при работе с ПМК результат имеет всегда вид числа, то вначале дням недели присвоим числа от 1 до 7, причем понедельнику соответствует 1, вторнику — 2 и т. д. Воскресенью соответствует число 7 (или 0). Так, если в результате вычислений получится число 3, то это будет означать, что искомый день недели — среда.

Поскольку юлианские дни отсчитываются с момента полудня в Гринвиче, то число юлианских дней, соответствующее началу даты (в Гринвиче), всегда выражается целым числом. Чтобы получить номер дня недели, достаточно определить остаток от деления на 7 числа юлианских дней, увеличенного на 1,5.

Предлагаемая ниже программа пригодна в тех же случаях, что и программа пункта 2.

2.	хП3	хП4	Пх5	КПхb	Пх1	+	×
	С/П	4	1	Пхb	×	хП8	Пх8
	хП4	—	—	Пх3	хПb	7	—
	С/П	$F[x < 0]$	хП5	+	КПхb	:	/—/
	хП5	20	Пх4	Пх0	Пхb	хПb	С/П
	Пх4	Пх2	Пха	+	Пх6	КПхb	БП
	1	+	×	хП6	+	Пхb	00
	+	хП4	хПb	Пх5	Пх7	7	

3. В в о д: 1,5хП7; 30,6хПа; 1720981,5хПО; 365,25хП1; 16хП2; D С/П; m С/П; J С/П.

Результат: $I \rightarrow n$. Здесь n — номер дня недели.

Вначале рассчитывается число юлианских дней, соответствующее рассматриваемой дате. Используется тот же алгоритм, что и в пункте 2. Затем к результату прибавляется число 1,5 и находится остаток от деления полученной величины на 7.

4. Пример. Для 16 апреля 1973 г. $D=16$, $m=4$ и $J=1973$. В результате вычислений получаем $n=1$ (понедельник).

3. Как рассчитать продолжительность дня?

1. Продолжительность дня зависит не только от времени года, но и от географических координат пункта: широты φ и долготы λ . Поэтому те данные, которые приводятся для продолжительности дня в календарях, нуждаются в поправках, иногда довольно больших, учитывающих координаты пункта. Предлагаемая ниже программа позволяет рассчитать продолжительность дня в любом пункте между полярными кругами и в любое время года без обращения к данным календарей и справочников.

Продолжительность дня (в дальнейшем обозначаемая ΔT) определяется как интервал времени между моментами восхода и захода верхнего края солнечного диска относительно истинного (или математического) горизонта с учетом атмосферной рефракции.

Вначале рассчитывается величина D^* , отличающаяся на постоянное слагаемое от числа юлианских дней, соответствующего рассматриваемой дате. Затем определяются вспомогательная величина λ и склонение Солнца. Наконец, рассчитывается величина ΔT .

Для вычисления продолжительности дня применяются следующие формулы:

$$m' = \begin{cases} m+13, & m < 3, \\ m+1, & m \geq 3; \end{cases} \quad J' = \begin{cases} J-1, & m < 3, \\ J, & m \geq 3; \end{cases}$$

$$D^* = [bJ'] + [30,6m'] + D - a - \lambda/360; \quad (2)$$

$$\bar{\lambda} = k//D^*/b// + l \sin(sD^* + m) + n; \quad (3)$$

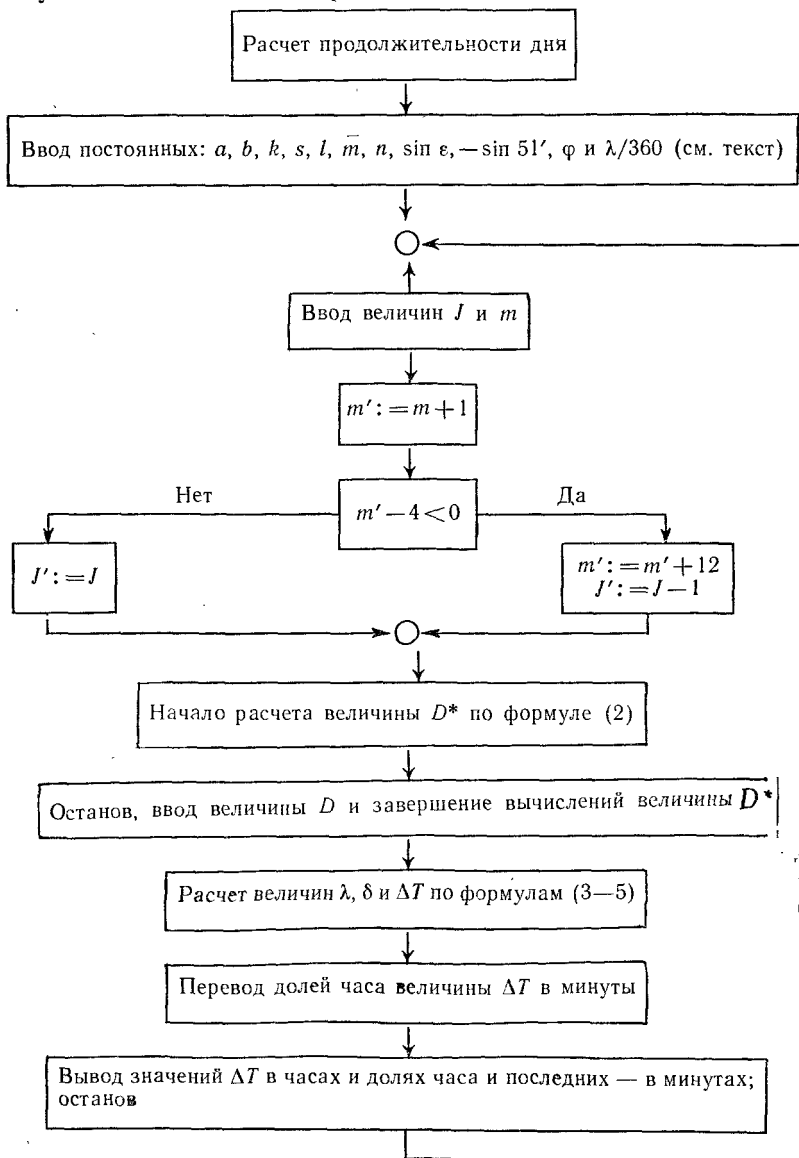
$$\delta = \arcsin(\sin \varepsilon \sin \bar{\lambda}); \quad (4)$$

$$\Delta T = (2/15) \arccos[(\sin 51' + \sin \varphi \sin \delta)/(\cos \varphi \cos \delta)]. \quad (5)$$

Здесь через J обозначен номер года (например, $J=1985$); m — номер месяца; D — число месяца; ε — наклон экватора Земли к плоскости ее орбиты; D — интервал времени в сутках, истекший с 0,0 января 1980 г. Кроме того, введено еще

несколько вспомогательных постоянных величин a, b, k и т. д., значения которых приводятся в разделе 3.

Блок-схема применяемого алгоритма дается в сокращенном виде. Алгоритм можно в значительной мере сократить, если считать известным число юлианских дней. В этом случае он начинается с расчета величины $\bar{\lambda}$.



2.	Пх4	,	+	Пх3	Пх8	6
	4	6	Пх9	×	F sin	0
	—	×	—	Пхb	Пх4	:
F	$\boxed{x < 0}$	ПП	хП4	+	F sin	ПП
	13	93	Пх1	F sin	×	93
	1	хП4	:	Пха	—	6
	6	Пх5	ПП	×	Пх8	0
	+	Пх1	93	+	F cos	×
	хП4	×	Пх1	Пхc	:	Пх4
	Пх5	ПП	×	+	Пх4	—
	1	93	Пх4	F sin	F cos	/—/
	—	Пх4	—	Пх6	:	хП4
	хП5	+	/—/	×	F cos ⁻¹	С/П
	Пх4	Пх0	Пх2	F sin ⁻¹	8	хПd
	3	—	×	хП4	×	КПхd
	0	С/П	Пх4	Пх7	хП4	Пхd
						В/О

3. В в о д: $a=723256,5 \times \text{ПО}$; $b=365,25 \times \text{П1}$;
 $k=0,9856473 \times \text{П2}$; $s=0,9866003 \times \text{П3}$; $l=1,9157 \times \text{Па}$;
 $\bar{m}=-3,762 \times \text{Пb}$; $n=278,8335 \times \text{Пc}$; $\sin \varepsilon=0,397819 \times \text{П6}$;
 $-\sin 51'=-1,48348 \cdot 10^{-2} \times \text{П7}$; $\varphi \times \text{П8}$; $\lambda/360 \times \text{П9}$;
 $\boxed{J \times \text{П5}; (m+1) \times \text{П4.}}$ (Обведенное рамкой вводится всякий раз при новой дате, даже если величины J и m остались прежними.)

Продолжение ввода: С/П; ДС/П.

Результат: $\text{Пхd} \rightarrow$ часы продолжительности дня; Пх4 и $I \rightarrow$ минуты.

4. П р и м е р. Пусть географическая долгота $\lambda=0$, а географическая широта $\varphi=62^\circ$. Для 6 января 1987 г. ($J=1987$, $m+1=2$ и $D=6$) продолжительность дня равна $5^{\text{h}}34^{\text{m}}$.

П р и м е ч а н и е. Программа обеспечивает вычисление продолжительности дня с точностью до минуты начиная с 1980 г. Географическая долгота предварительно должна быть выражена в градусах (иногда она приводится в часах и минутах времени). Продолжительность дня окажется меньше расчетной, если видимая линия горизонта проходит выше горизонтальной плоскости, проведенной через глаз наблюдателя.

4. Как вычислить моменты восхода и захода Солнца?

1. Моменты восхода $T_{\text{восх}}$ и захода $T_{\text{зах}}$ Солнца рассчитываются по декретному времени пункта. Пусть координаты этого пункта φ и λ ; N — номер часового пояса; величина u

равна 1 ч примерно с 1 октября по 31 марта и 2 ч — в остальное время года; H и M — часы и минуты продолжительности дня, определенные по программе предыдущего пункта; D^* — число дней, истекших с начала года (для 1 января $D^*=1$); ΔT — продолжительность дня в часах и долях часа; E — уравнение времени, которое рассчитывается здесь по приближенной формуле. Число дней D^* легко определяется при помощи календаря, но его можно найти и как разность между числами юлианских дней, соответствующих рассматриваемой дате и началу года.

В данном методе ошибка определения моментов восхода и захода Солнца может достигать 2^m . При сравнении результатов расчета с данными наблюдений следует учесть примечание, приведенное в конце предыдущего пункта.

Если ставится задача рассчитать моменты восхода и захода Солнца для всего года, то целесообразно рассматривать вначале только каждую четвертую дату, например 2, 6, 10 и т. д. января и т. д. Зная моменты $T_{\text{восх}}$ для 2 и 6 января, можно определить величину $T_{\text{восх}}$ для 4 января как среднее арифметическое этих чисел; точно так же можно определить момент восхода для 3 января, зная эти моменты для 2 и 4 января (снова находится среднее арифметическое), а также для 5 января, используя известные данные для 4 и 6 января. При вычислении моментов захода Солнца выполняются аналогичные действия.

Применяются следующие формулы:

$$\Delta T = H + M/60; x = 0,986 (D^* - 3);$$

$$E = 7,7 \sin x - 9,9 \sin (x + 283);$$

$$T_{\text{восх}} = 12^h + E/60 - \Delta T/2 - \lambda/15 + N \times 1^h + u;$$

$$T_{\text{зах}} = T_{\text{восх}} + \Delta T.$$

2.	В ↑	F sin	Пх5	+	С/П
	С/П	Пх0	:	хПа	БП
	Пх5	×	1	Пх7	00
	:	Пх8	2	+	хПb
	+	Пх2	+	хПс	КПxb
	хП7	+	Пх7	ПП	↔
	С/П	2	2	51	Пxb
	3	×	:	хПd	—
	—	F sin	—	Пха	Пх5
	Пх3	Пх1	Пх6	ПП	×
	×	×	—	51	В/О
	хП8	—	Пх4	хПb	

3. В в о д: $7,7 \times \text{П}0$; $9,9 \times \text{П}1$; $283 \times \text{П}2$; $0,986 \times \text{П}3$; $(N + u) \times \text{П}4$; $60 \times \text{П}5$; $\lambda/15 \times \text{П}6$; $HC/\text{П}$; $MC/\text{П}$; $D^* \times \text{С/П}$.

Результат: I , $\Gamma_{ab} \rightarrow$ минуты момента восхода; $\Pi_{ха} \rightarrow$ часы и доли часа момента восхода; $\Pi_{хд} \rightarrow$ минуты момента захода; $\Pi_{хс} \rightarrow$ часы и доли часа момента захода.

4. Пример. Для 1 января 1985 г. в пункте с координатами $\varphi = 50^\circ$ и $\lambda = 45^\circ$ ($N=2$) вычисления по программе предыдущего раздела дают $H=8^h$ и $M=10^m$, т. е. продолжительность дня составляет 8^h10^m . С учетом значения $u=1^h$ и $D^*=1$ использование этих данных приводит к такому результату: $T_{\text{восх}}=7^h57^m$ и $T_{\text{зах}}=16^h07^m$. Эти значения соответствуют декретному времени второго часового пояса.

5. Как определить возраст Луны?

1. Возрастом Луны называют интервал времени с момента последнего новолуния, когда направления с Земли на Солнце и Луну приблизительно совпадают. В среднем интервал времени между последовательными новолуниями составляет 29,53 суток. Это и есть максимальный возраст Луны. В момент полнолуния, когда направления с Земли на Солнце и Луну почти диаметрально противоположны, возраст Луны составляет около 14,76 суток. Почему выше использовались слова «в среднем» и «около»? Дело в том, что из-за движения системы Земля — Луна вокруг Солнца положение орбиты Луны относительно отрезка Земля — Солнце непрерывно меняется (имеются и другие причины такого изменения). Луна же движется по своей вытянутой орбите не вполне равномерно. Поэтому интервал времени от новолуния до полнолуния может отличаться от указанного выше значения в 14,76 суток до 1,12 суток в большую или меньшую сторону.

Если же пренебречь неравномерностью движения Луны и вытянутостью ее орбиты, то можно считать, что первой четверти, полнолунию и третьей четверти соответствуют значения возраста: 7,38; 14,76 и 22,15 суток. Значит, по возрасту Луны можно судить о том, какой вид она должна иметь в данный момент. Например, при возрасте 7,38 суток Луна имеет вид полукруга, выпуклость которого обращена вправо (на запад, в сторону Солнца). Выше всего над горизонтом такая Луна располагается вечером. При достаточно чистом небе можно видеть и остальную часть полушария нашего спутника, обращенного к Земле. Она освещена солнечным светом, отразившимся от Земли к Луне.

После момента первой четверти Луна продолжает «полнеть» и в момент полнолуния имеет вид круга, поднимаясь выше всего над горизонтом в полночь (возраст 14,76 суток). Затем Луна «худеет» и в возрасте 22,25 суток принимает

вид полукруга, обращенного выпуклостью влево. Такая Луна поднимается выше всего над горизонтом утром.

Ниже используются такие обозначения: D — выраженное в сутках время, истекшее с начала месяца по Гринвичу; m — номер месяца; J — номер года; $[x]$ — целая часть числа x и $\|x\|y\|$ — остаток от деления x на y ; t — искомый возраст Луны. Следует помнить, что московское время опережает гринвичское на три часа в зимнее время и на четыре часа — в летнее.

Рассмотрим пример определения величины D . Пусть 10 апреля московское время составляет 8^ч. В этот момент гринвичское время равно 4^ч. Значит, с начала месяца истек интервал времени 10,167 суток.

Для расчета возраста Луны применяется приближенная формула

$$t = \left\| \frac{k + 0,5 \sin(306 + 385,81692k')}{29,530585} \right\|,$$

где $k = [365,25j] + [30,6n] + D - 694039,3$;

$$n = \begin{cases} m + 13, & m < 3, \\ m + 1, & m \geq 3; \end{cases} \quad j = \begin{cases} J - 1, & m < 3, \\ J, & m \geq 3. \end{cases}$$

Далее используется метод последовательных приближений. Первое значение k' любое, следующие равны дроби в выражении для величины t в предыдущем приближении. Ошибка определения возраста Луны t , как правило, не превышает 0,3 суток. Достижение большей точности потребовало бы значительного усложнения формул.

2.	хПЗ	+	+	ПП	+
	С/П	хП4	хП6	52	F sin
	хП4	Пх5	Пх5	хПd	2
	С/П	1	Пх1	КПхd	:
	хП5	—	×	↔	Пх6
	Пх4	хП5	ПП	Пхd	+
	1	Пх4	66	—	Пхb
	+	Пха	Пх6	Пхb	:
	хП4	×	+	×	хП7
	4	ПП	хП6	С/П	В/О
	—	66	ПП	Пхc	хПd
	Fх < 0	Пх3	52	Пх7	КПхd
	20	+	ПП	×	Пхd
	Пх2	Пх0	52	Пх9	В/О

3. В в о д: 306хП9; 16хП2; 365,25хП1; —694039,3хП0; 30,6хПа; 29,530589хПb; 385,81692хПc; DC/П; mC/П; JC/П.

Р е з у л т а т: $T \rightarrow t$.

4. П р и м е р. Для 25 июня 1985 г. и момента 4^ч по московскому времени $D=25,0$, $m=6$ и $J=1985$. Расчет по приведенной программе дает $t=6,54$ суток (точное значение 6,50 суток).

При $D=16,37$, $m=2$ и $J=1980$ расчет дает $t=0,01$ (в данном случае имеем момент середины солнечного затмения).

При $D=7,74$, $m=3$ и $J=1970$ находим: $t=0,19$ (это, как и в предыдущем случае, середина солнечного затмения, и, значит, точное значение возраста равно нулю).

6. Как рассчитать географические координаты пункта?

1. Для точного определения географических координат необходимо использовать при наблюдениях специальные астрономические инструменты. Если применяются простые самодельные инструменты, задача решается с меньшей точностью, но и в этом случае результат может иметь практическое значение. Мы познакомимся с методом определения географических координат по Солнцу. С точки зрения применяемых инструментальных средств он относится к числу наиболее простых, а по количеству времени, затраченного на выполнение всех наблюдений, — к числу наиболее экономичных методов. Обработка результатов наблюдений довольно трудоемка, но применение ПМК облегчает ее.

Исходными данными являются высоты Солнца h_1 и h_2 , измеренные в моменты московского времени T_1 и T_2 . Первое наблюдение выполняется около полудня (h_1 и T_1), второе — 3 ÷ 5 ч спустя или за такое же время до первого наблюдения (h_2 и T_2).

Кроме того, необходимо знать склонение Солнца δ и уравнение времени E . Эти данные выписываются из «Астрономического календаря» на начало соответствующей даты в Гринвиче (δ_0 и E_0). Величины δ и E изменяются в течение суток. Впрочем, изменением величины E в данном случае можно пренебречь, т. е. считать $E=E_0$. Искомое склонение определяется по формуле

$$\delta = \delta_0 + \Delta\delta (\bar{T} - k),$$

где $\Delta\delta$ — изменение склонения за один час (оно приводится в «Астрономическом календаре»); $\bar{T} = (T_1 + T_2)/2$; $k=3$ или 4 (последнее значение соответствует летнему времени). Величину T необходимо выразить в часах и долях часа.

Например, пусть для 10 марта и момента $\bar{T}=15^{\text{ч}}36,6^{\text{м}}$ имеем

$\delta_0 = -4^\circ 12' 42''$ и $\Delta\delta = +58,8''$. Тогда $\bar{T} = 15,610^\circ$;
 $\delta = -4^\circ 12' 42'' + 58,8'' \cdot 12,61 \approx -4^\circ 00' 21'' \approx -4,00^\circ$.

Для измерения высоты Солнца можно использовать не-
 сложное устройство, схема которого показана на рисунке
 50. Для его изготовления достаточно иметь лист картона,
 нитку и небольшой грузик для отвеса. Инструмент состоит
 из плоскостей α и β , образующих друг с другом угол 90° ,
 измерительной шкалы CD и отвеса AB . Линия отвеса AB
 должна быть параллельна линии пересечения плоскостей
 OO_1 . Плоскость β направляется почти точно на Солнце.
 Нужно добиться того, чтобы оно едва-едва ее освещало,
 а граница OT тени от плоскости α хорошо была бы видна.
 Зная расстояние a и измерив отрезок x (см. рис. 47), можно
 определить высоту Солнца по формуле

$$h = \arctg(x/a).$$

Для повышения точности целесообразно во время дан-
 ного наблюдения сделать несколько измерений отрезка x ,
 каждый раз отмечая время. Затем определить средние ариф-
 метические из значений x и значений времени.

Для определения географических координат применяется
 метод последовательных приближений. Полагаем вначале
 $\varphi_0 = 50^\circ$ и определяем величины φ_1 , t_1 и λ_1 по формулам

$$t_1 = \arccos\left(\frac{\sin h_2 - \sin \varphi_0 \sin \delta}{\cos \delta \cos \varphi_0}\right);$$

$$\varphi_1 = \arccos\left(\frac{\sin h_1 - \sin \varphi_0 \sin \delta}{\cos \delta \cos (t_1 + \Delta T)}\right);$$

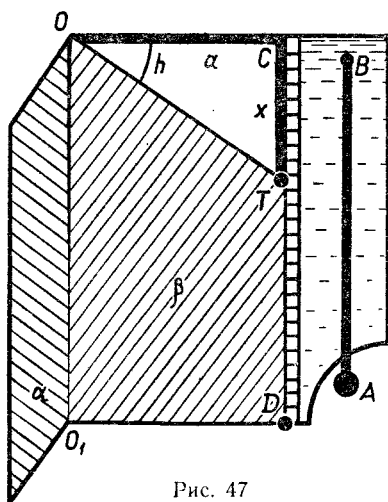


Рис. 47

$$\lambda_1 = 16 + E + t_1 - T_2; \Delta T = T_1 - T_2.$$

Затем повторяем все вычисления, заменив величину φ_0 в правых частях равенств на φ_I (в левых частях равенств следует тогда писать φ_{II} , t_{II} и λ_{II}). Процесс вычислений продолжается до тех пор, пока равенство $\varphi_n = \varphi_{n-1}$ не будет выполнено с точностью до $0,01^\circ$. Тогда можно считать $\varphi = \varphi_n$ и $\lambda = \lambda_n$.

2.	B↑	C/П	xП6	Пх2	xП0
	C/П	F sin	:	+	БП
	xП1	xП3	Пх0	F cos	22
	—	C/П	F cos	:	
	Пxb	F sin	:	F cos ⁻¹	
	×	xП4	F cos ⁻¹	xП9	
	xП2	Пх4	xП7	Пх0	
	1	Пх0	Пх1	—	
	6	F sin	+	Fx ²	
	Пxc	Пxd	xП8	Пxa	
	+	F sin	Пх3	—	
	Пх1	×	Пх5	F x < 0	
	—	xП5	—	63	
	Пxb	—	Пх6	Пх9	
	×	Пxd	:	C/П	
	xП1	F cos	Пх7	Пх9	

3. В в о д: $\delta xПd$; $E/60xПc$; $15xПb$; $50xП0$; $10^{-4}xПa$.

Значение E вначале выражается в минутах и долях минуты. В регистр c оно вводится, выраженное в долях часа.

Продолжение ввода: $T_1C/П$; $T_2C/П$; $h_1C/П$; $h_2C/П$. (Вводить новое число можно лишь после прекращения мелькания чисел на индикаторе.)

По окончании вычислений, которые продолжаются около 3—5 мин, на индикаторе высвечивается число φ . Оно, кроме того, хранится в регистре 9. Значение λ хранится в регистре 8.

4. П р и м е р. Наблюдения выполнены 30 апреля. Первая серия измерений сделана около местного полудня: среднее значение московского времени равно $T_1 = 13^h 16,7^m$; средняя высота Солнца составила $h_1 = 47,7^\circ$. Вторая серия измерений выполнена под вечер: $T_2 = 18^h 01,3^m$ и $h_2 = 20,7^\circ$. Ввиду того что меньшая из высот оказалась больше 18° , поправку на атмосферную рефракцию можно не вводить (поправка меньше $0,05^\circ$, а высоты в данном случае опреде-

лены с точностью до $0,1^\circ$). Если бы это условие не было выполнено, то наблюдаемую высоту следовало уменьшить на величину ρ , где

$$\rho \approx 0,016^\circ / \operatorname{tg} h.$$

При $h > 4^\circ$ это равенство определяет величину ρ с ошибкой, не превышающей $0,033^\circ$. При меньших высотах следует воспользоваться таблицей 1 (см. приложение), где значения ρ выражены в секундах дуги.

Вернемся к анализу данных наблюдений. Находим величину: $T = (T_1 + T_2)/2 = 15^{\text{h}}39,0^{\text{m}} = 15,65^{\text{h}}$. Для определения величин δ_0 и E_0 пригоден «Астрономический календарь» на любой год*. В частности, для 30 апреля 1985 г. $\delta_0 = +14^\circ 41' 23''$, $\Delta\delta = 46,2''$ и $E_0 = -2^{\text{h}}44^{\text{m}}$. Следовательно,

$$\delta = \delta_0 + \Delta\delta (T - 4), \delta = 14,84^\circ \text{ и } E = E_0 \approx -2,73^{\text{h}}.$$

Прежде чем вводить значения T_1 и T_2 , их следует выразить в часах и долях часа: $T_1 \approx 13,278^{\text{h}}$ и $T_2 \approx 18,022^{\text{h}}$.

Таким образом, в в.о.д. производится следующим образом: $14,84 \times \text{Пд}$; $-4,55 \cdot 10^{-2} \times \text{Пс}$; $15 \times \text{Пб}$; $50 \times \text{ПО}$; $10^{-4} \times \text{Па}$; $13,278 \text{С/П}$; $18,022 \text{С/П}$; $47,7 \text{С/П}$; $20,7 \text{С/П}$.

Результат: $\varphi \approx 57,05^\circ$; $\lambda \approx 43,71^\circ$ (округленные значения).

Заметим, что ошибке определения широты, равной $0,1^\circ$, соответствует на местности ошибка около 11 км. Такой же ошибке в определении географической долготы соответствует ошибка на местности, равная $11 \cos \varphi$ (в километрах).

7. Как рассчитать координаты планеты?

1. Данные об условиях видимости и координатах планет приводятся в «Астрономическом календаре». Но он не всегда имеется. Кроме того, иногда требуется знать расположение планет в достаточно отдаленном прошлом или будущем. В этих случаях поможет приведенная ниже программа для ПМК. Сравнительная простота применяемых формул получена ценой отказа от большой точности результата. Ошибки в координатах могут достигать $1-2^\circ$. Но и в таком приближении можно составить вполне правильное представление о том, когда и где можно увидеть данную планету.

Если изготовить подвижную карту неба (заготовка для ее изготовления приводится в школьном учебнике по астрономии), то, используя координатную сетку карты, можно легко определить положение планеты на фоне звезд отно-

* Это допустимо, если не ставится цель достижения максимальной точности.

сительно горизонта и небесного меридиана. Планеты всегда находятся вблизи эклиптики, которая нанесена на карту.

Кроме того, может быть полезна формула, дающая приближенное значение декретного времени T_d на момент, когда светило находится на южной половине небесного меридиана — выше всего над горизонтом:

$$T_d \approx \frac{\alpha - D^*}{15,1} + 18,4.$$

Здесь величина T_d выражена в часах и долях часа; α — прямое восхождение в градусах; D^* — порядковый номер даты с начала года. В период, когда применяется летнее время, найденное по этой формуле, значение T_d следует увеличить на один час. Если результат окажется большим 24^h , то его нужно уменьшить на 24^h .

Например, пусть 7 мая прямое восхождение Марса составляло 66° . Если год простой, то $D^* = 127$ и

$$T_d = \frac{66 - 127}{15,1} + 18,4, \quad T_d \approx 14,4^h.$$

Соответствующее летнее время равно $15,4^h$. Марс находится выше всего над горизонтом в разгар дня, и условия для его наблюдений у нас неблагоприятны. Но на Южном полюсе, где в этот период стоит полярная ночь, Марс можно увидеть и в этом случае, если склонение его отрицательно.

Смысл прямого восхождения α и склонения δ поясняется на рисунке 48, на котором $P_N P_S$ — ось, параллельная оси Земли. Обе координаты почти неизменны у звезд, медленно меняются у Солнца и планет, быстрее — у Луны и очень быстро — у искусственных спутников Земли.

Склонение светила можно грубо оценить, если из 90° вычесть значение угла между направлениями на это светило и на Полярную звезду.

Полезно знать прямые восхождения некоторых ярких звезд: α Андромеды (Альфарет) — 2° , α Ориона (Бетельгейзе) — 89° , γ Большой Медведицы (Фекда) — 178° и α Лир (Вега) — 279° .

Для расчета δ и α' (последняя отличается от величины α на постоянное слагаемое) применяются формулы

$$\alpha' = \arctg((y + y_0)/(x + x_0)); \quad \delta = \arcsin((z + z_0)/\Delta);$$

$$\Delta^2 = (x + x_0)^2 + (y + y_0)^2 + (z + z_0)^2;$$

$$x_0 = \cos \vartheta; \quad y_0 = \sin \vartheta \cos \varepsilon; \quad z_0 = \sin \vartheta \sin \varepsilon;$$

$$\theta = 280 + t + 2 \sin t, \quad t = 0,985626 (I. D. - 2451545);$$

$$x = r \sin(A + v); \quad y = r \sqrt{1 - e^2} \sin(B + v); \quad z = rc \sin(C + v);$$

$$\lg(v/2) \approx (1 + e) \lg(E/2); \quad r = a(1 - e \cos E);$$

$$E \approx M + e_0 \sin M; \quad M = a_0 + a_1 t.$$

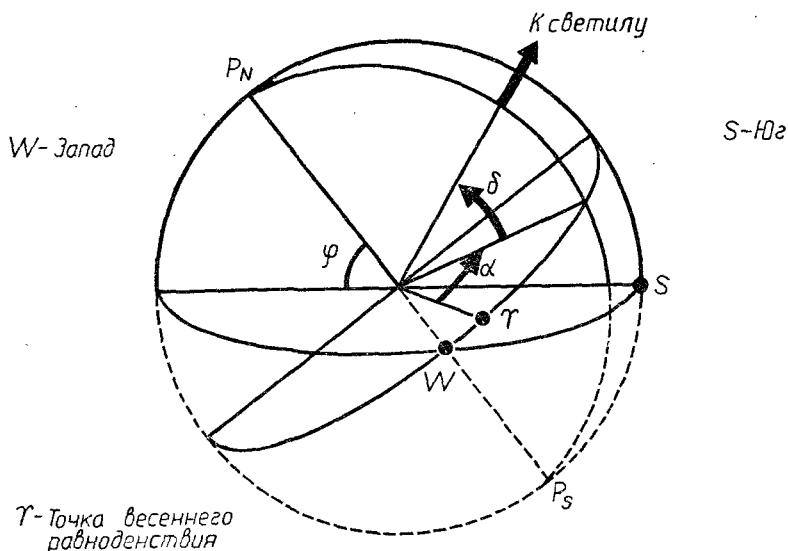


Рис. 48

Здесь $J.D.$ обозначает юлианский день момента наблюдения.

Постоянные $A, B, C, e, e_0, a, a_0, a_1, c$ приводятся в таблице 4 (см. приложение). Для расчетов необходимо знать юлианскую дату ($J.D.$) момента наблюдения. Формулы учитывают неравномерность движения планет по орбитам, наклон последних к плоскости эклиптики, а также изменения расстояний планет от Солнца. Из-за недостаточной памяти ПМК пришлось угол наклона эклиптики к небесному экватору округлить до 23° и пренебречь изменениями расстояния Земли от Солнца. В результате ошибки определения положений Меркурия, Венеры и Марса могут иногда достигать 2° ; положения Юпитера и Сатурна определяются значительно точнее.

После пуска программы, примерно через 40 с, на индикаторе высвечивается значение α' . Чтобы получить величину α , необходимо вначале узнать знак величины $x + x_0$, хранящейся в регистре b . Если $x + x_0 < 0$, то $\alpha = \alpha' + 180^\circ$. При $x + x_0 \geq 0$ следует положить $\alpha = \alpha'$. Если окончательное значение α получилось отрицательным, то к нему следует прибавить 360° . Нажатие клавиши C/P позволяет продолжить вычисления по программе; после останова на индикаторе высвечивается значение δ .

Величина $J.D.$ определяется по дате с помощью програм-

мы (см. вопрос 2). Тут же целесообразно вычислить и величину t (см. формулы).

За одни сутки среднее изменение прямого восхождения наибольшее у Меркурия, Венеры и Марса (1,1; 0,76 и 0,66° соответственно) и составляет десятые и даже сотые доли градуса у Юпитера и Сатурна.

0.0.2 01. - 02.07.83 X 04. x 09...

2.	$\Pi x6$	\times	$+$	$F \cos$	$B \uparrow$
	$\Pi x7$	$x\Pi d$	$F \sin$	\times	$F x^2$
	$\Pi x9$	1	$x\Pi 9$	$+$	$\Pi x c$
	\times	$\Pi x a$	$F B x$	$x\Pi c$	$F x^2$
	$+$	$F \cos$	$F \cos$	$\Pi x b$	$+$
	$B \uparrow$	$\Pi x 3$	$\Pi x 0$	$:$	$\Pi x b$
	$F \sin$	\times	$\Pi \Pi$	$F \operatorname{tg}^{-1}$	$F x^2$
	$\Pi x 4$	—	92	C/Π	$+$
	\times	$\Pi x 5$	$+$	$\Pi x 2$	$F \sqrt{\quad}$
	$+$	\times	$x\Pi b$	$\Pi \Pi$	$:$
	$x\Pi a$	$x\Pi a$	$\Pi x 1$	92	$F \sin^{-1}$
	2	$\Pi x 9$	$\Pi \Pi$	$\Pi x 8$	C/Π
	$:$	$B \uparrow$	92	\times	$\Pi x d$
	$F \operatorname{tg}$	$F \sin$	$\Pi x 8$	$\Pi x 9$	$+$
	$\Pi x 3$	2	$F \sin^{-1}$	2	$F \sin$
	1	\times	$F \cos$	3	$\Pi x a$
	$+$	2	\times	$F \sin$	\times
	\times	8	$\Pi x 9$	\times	B/O
	$F \operatorname{tg}^{-1}$	0	2	$+$	
	2	$+$	3	$x\Pi d$	

3. В в о д: $A x \Pi 0$; $B x \Pi 1$; $C x \Pi 2$; $e x \Pi 3$; $e^0 x \Pi 4$; $a x \Pi 5$; $a_0 x \Pi 6$; $a_1 x \Pi 7$; $C x \Pi 8$; $t x \Pi 9$.

Формула для расчета величины t приводится в пункте 1.

Р е з у л ь т а т: после первой остановки — α ; после второй — δ (см. выше).

4. П р и м е р. Координаты Марса 7 мая 1985 г. ($J.D. = 2446193$): $\alpha = 4^\circ 22,0''$; $\delta = +22^\circ 01'$ (более точные: $\alpha = 4^\circ 21,7''$; $\delta = 22^\circ 08'$). В нашей программе значение координаты α рассчитывается в градусах ($\alpha = 65,51^\circ$). 15 ÷ K 5

8. Как рассчитать период вращения Солнца?

1. Период вращения Солнца на его экваторе составляет 27,3 суток и увеличивается к полюсам. Это значит, что Солнце вращается не так, как вращается твердое тело. О периоде можно судить по перемещению на солнечном диске пятен — областей фотосферы, где температура понижена примерно на 1500 К по сравнению со средней температурой 5800 К. Фотосферой называют тот полупрозрачный

слой Солнца, откуда исходит почти все непосредственно воспринимаемое нами излучение. Этот слой имеет очень небольшую толщину в сравнении с солнечным радиусом. Вот почему диск нашего светила имеет такую четкую, резкую границу.

Поскольку мы вместе с Землей обращаемся вокруг Солнца в ту же сторону, в какую оно поворачивается около своей оси, то этот поворот воспринимается нами замедленным, а период вращения — удлинненным. То значение периода, которое приводилось выше, определено относительно земного наблюдателя (читателю предлагается самостоятельно вывести период вращения Солнца относительно звезд с учетом того, что за одни сутки Земля проходит в среднем $0,986^\circ$ по своей орбите).

Имея призмный бинокль или школьный телескоп, можно изучать вращение Солнца самостоятельно. Для этого достаточно зарисовать положение какого-то пятна и через несколько суток рисунок повторить. Затем нужно выполнить несложные измерения с помощью обычной линейки и применить приведенную ниже программу вычислений на ПМК.

Внимание. Следует помнить, что смотреть на Солнце в окуляры в коем случае нельзя! Запрет снимается лишь когда применяют специальные, очень плотные светофильтры.

Солнце можно изучать на экране.

Бинокль или телескоп направляют на Солнце и закрепляют в этом положении. Позади и ниже окуляра устанавливают экран (рис. 49), который нужно защитить от прямого солнечного света, идущего мимо бинокля (телескопа). На экране следует начертить две-три окружности радиусом 3—4 см. Плоскость экрана должна быть перпендикулярна солнечным лучам (достаточно точно, обеспечиваемой установкой на глаз), а изображение Солнца, полученное на нем, — совершенно круглым (не эллипсообразным), с четкой границей. Этому можно добиться перемещением экрана и фокусировкой изображения, ввинчивая или вывинчивая окуляр. Основная трудность заключается в такой отладке изображения, чтобы граница солнечного диска точно совпала с одной из окружностей, заранее начерченных на экране. И точно в момент этого совпадения следует мягким карандашом отметить положение пятна. Не притрагиваясь затем к экрану, выжидают одну минуту и снова отмечают положение пятна — с целью определения так называемой суточной параллели, по которой оно перемещается.

Наблюдения повторяют еще с одной-двумя окружностями

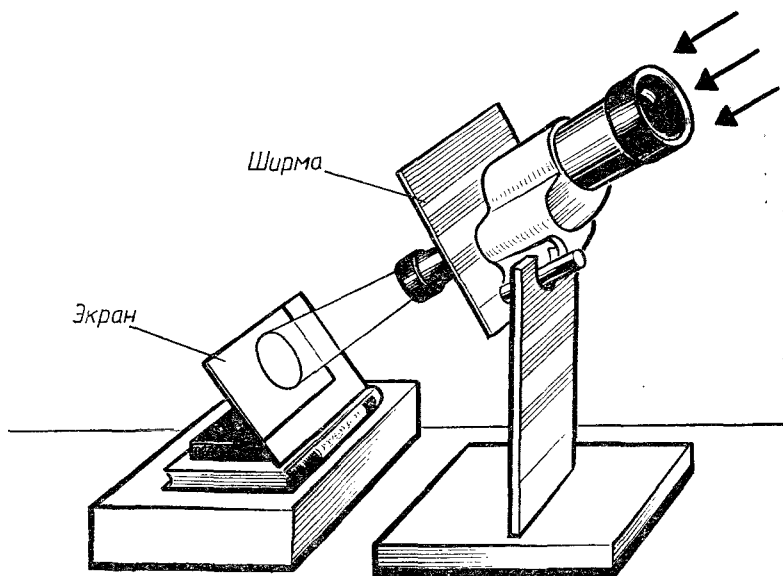


Рис. 49

ми и на том же экране записывают среднее время всех наблюдений (например, момент по московскому времени). Через двое-трое суток повторяют зарисовки того же самого пятна. Как отыскать это пятно? Чаще всего наблюдается (в бинокль) только одно пятно. Если же пятен много, то следует учесть, что они располагаются на диске компактными группами, и надо запомнить характерную конфигурацию группы, в которую вошло пятно. Полезно знать, что за трое суток пятно не может сместиться на солнечном диске более чем на треть диаметра этого диска.

На рисунке 50 S — пятно; отрезок SK указывает направление движения пятна (при движении всего диска); O — центр диска; ось Ox параллельна направленному отрезку SK ; направление оси Oy дано для случая, когда наблюдения ведутся с призмным биноклем. Если применяется школьный телескоп, рисунок следует повернуть на 180° .

Абсолютные величины координат пятна определяются по формулам (см. рис. 50)

$$|x| = \frac{SK}{AO} \text{ и } |y| = \frac{KO}{MO}.$$

Правило знаков указано на рисунке.

Перейдем к описанию обработки результатов измере-

ний. Исходными данными являются средние значения координат пятна x и y , определенные для двух серий наблюдений, разделенных интервалом времени Δt (выражаем его в сутках и долях суток). Задача заключается в нахождении гелиоцентрических координат пятна β и $\bar{\lambda}$. Широта β определяется относительно солнечного экватора, а долгота $\bar{\lambda}$ — относительно того из солнечных меридианов, который проходит через центр диска. Пусть $\bar{\lambda}_1$ и $\bar{\lambda}_2$ — долготы, соответствующие первой и второй сериям наблюдений. Тогда угловая скорость вращения Солнца относительно Земли определится формулой

$$\omega = (\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1) / \Delta t.$$

Если на Солнце несколько пятен, то возможен случай, когда в первой и второй сериях измерений мы наблюдаем не одно и то же пятно. Чтобы исключить этот случай, достаточно сопоставить значения другой координаты — β . Они должны совпадать с точностью до нескольких градусов.

Период вращения определяется по формуле

$$P = 360^\circ / \omega.$$

Применяются следующие формулы:

$$D^* = D + 30,4 (m - 1); \quad \lambda = 279 + 0,9856 D^*;$$

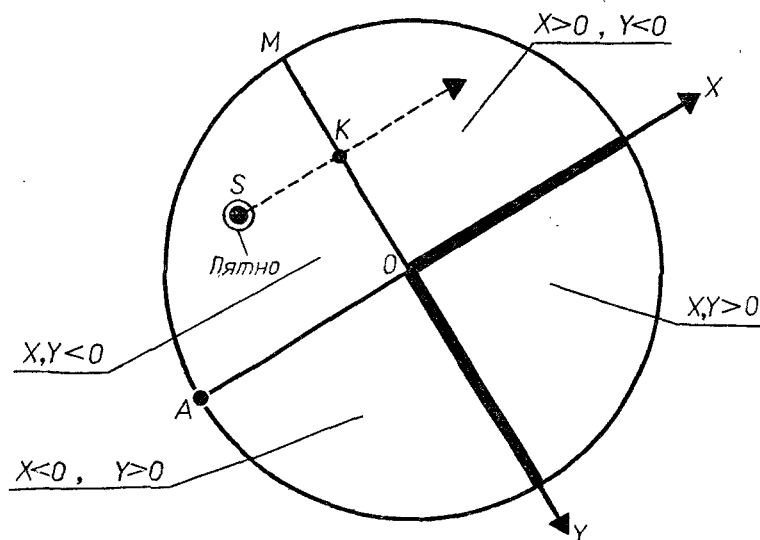


Рис. 50

$$P = \operatorname{arctg}(-0,4336 \cos \lambda) + \operatorname{arctg}[-0,1272 \cos (\lambda - 75,5)];$$

$$B = \arcsin [0,1262 \sin (\lambda - 75,5)];$$

$$\beta = \arcsin [(-x \sin P + y \cos P) \cos B + \sqrt{1-x^2-y^2} \sin B];$$

$$\lambda = \arcsin [(x \cos P + y \sin P) / \cos \beta].$$

Здесь m — номер месяца; D — число месяца; D^* — приближенное число суток с начала года; λ , P и B — вспомогательные величины. Эти формулы учитывают несовпадение плоскостей экватора Солнца и орбиты Земли (угол между ними составляет $7,25^\circ$).

2.	$B \uparrow$	$F \operatorname{tg}^{-1}$	$x \Pi b$	\times	$\Pi x d$
	C/Π	$\Pi x c$	$F B x$	$\Pi x a$	$\Pi x 9$
	$B \uparrow$	$\Pi x 5$	$\Pi x 8$	$F \sin$	\times
	1	+	$F x^2$	$x \Pi d$	+
	—	$x \Pi 7$	$\Pi x 9$	$\Pi x 8$	$\Pi x 7$
	$\Pi x 0$	$F \cos$	$F x^2$	\times	$F \cos$
	\times	$\Pi x 4$	+	—	:
	+	\times	1	$\Pi x b$	$F \sin^{-1}$
	$\Pi x 2$	$F \operatorname{tg}^{-1}$	—	$F \cos$	$x \Pi c$
	\times	+	$/- /$	\times	C/Π
	$\Pi x 1$	$x \Pi a$	$F \sqrt{\quad}$	+	$B \Pi$
	+	$\Pi x 7$	\times	$F \sin^{-1}$	00
	$x \Pi c$	$F \sin$	$\Pi x a$	$x \Pi 7$	
	$F \cos$	$\Pi x 6$	$F \cos$	$\Pi x c$	
	$\Pi x 3$	\times	$x \Pi c$	$\Pi x 8$	
	\times	$F \sin^{-1}$	$\Pi x 9$	\times	

3. Ввод: $30,4x\Pi 0$; $279x\Pi 1$; $0,9856x\Pi 2$; $-0,4336x\Pi 3$; $-0,1272x\Pi 4$; $-75,5x\Pi 5$; $0,1262x\Pi 6$; $xx\Pi 8$; $yx\Pi 9$.

Продолжение ввода: DC/Π ; mC/Π .

Результат: I , $\Pi x c \rightarrow \bar{\lambda}$; $\Pi x 7 \rightarrow \beta$.

4. Пример. 27 июля 1987 г. в первой серии измерений получено: $x_1 = -0,432$ и $y_1 = +0,354$ (средний момент $15^h 48^m$ московского времени). Во второй серии найдены значения: $x_2 = +0,110$ и $y_2 = +0,432$ ($14^h 35^m$ 30 июля).

В первом случае $m=7$ и $D=27$, во втором $m=7$ и $D=30$. Кроме того, $\Delta t = 2,949$ суток.

Вычисления по приведенной программе дают для первой серии $\bar{\lambda}_1 = -25,1^\circ$ и $\beta_1 = 29,9^\circ$, для второй — $\bar{\lambda}_2 = 12,5^\circ$ и $\beta_2 = 29,5^\circ$. Угловая скорость вращения относительно Земли равна: $\omega = [12,5^\circ - (-25,5^\circ)] : 2,949 \text{ сут} = 12,75^\circ/\text{сут}$; период составляет $P = 28,2$ суток. Угловая скорость вращения относительно звезд равна $13,74^\circ/\text{сут}$, чему соответствует период 26,2 суток (везде приведены округленные значения).

Приложение

Таблица 1

h	ρ
0,0°	2 120''
0,5	1 750
1,0	1 480
2,0	1 100
3,0	860
4,0	700

Таблица 2

h	$\Delta d/d$
0,0°	0,173
0,5	0,134
1,0	0,105
2,0	0,068
3,0	0,047
4,0	0,034

Таблица 3

Планета	γ
Венера	4,5
Марс	79
Юпитер	3,3
Сатурн	4,8
Уран	1,8
Нептун	1,2

Таблица 4

	Меркурий	Венера	Марс	Юпитер	Сатурн
A	167,1	221,5	65,6	104,1	182,5
B	79,9	133,0	336,2	14,7	93,5
C	67,4	124,2	332,5	11,1	87,0
e	0,206	0,007	0,093	0,048	0,056
e_0	11,8	0,4	5,3	2,8	3,2
a	0,387	0,723	1,524	5,203	9,555
a_0	174,8	50,4	19,4	20,0	317,1
a_1	4,1520138	1,6254944	0,5316639	0,0842972	0,0339333
c	0,4779	0,4134	0,4175	0,3946	0,3834

Литература

- Агекян Т. А. Звезды, галактики, метагалактика.— М.: Наука, 1981.
 Астрономический календарь. Постоянная часть.— М.: Наука, 1981.
 Астрономический календарь.— М.: Наука (издается на каждый год).
 Буткевич А. В., Зеликсон М. С. Вечные календари.— М.: Наука, 1984.
 Бялко А. В. Наша планета — Земля.— М.: Наука, 1989.
 Витинский Ю. И. Солнечная активность.— М.: Наука, 1983.
 Воронцов-Вельяминов В. А. Очерки о Вселенной.— М.: Наука, 1980.
 Дагаев М. М. Солнечные и лунные затмения.— М.: Наука, 1983.
 Дагаев М. М. Наблюдения звездного неба.— М.: Наука, 1983.

Даффет-Смит П. Практическая астрономия с калькулятором.— М.: Мир, 1982.

Доул С. Планеты для людей.— М.: Наука, 1974.

Кононович Э. В. Солнце — дневная звезда.— М.: Просвещение, 1982.

Липунов В. М. В мире двойных звезд.— М.: Наука, 1986.

Меес Ж. Астрономические формулы для калькуляторов.— М.: Мир, 1988.

Моше Д. Астрономия.— М.: Просвещение, 1985.

Псковский Ю. П. Новые и сверхновые звезды.— М.: Наука, 1985.

Симоненко А. Н. Астероиды.— М.: Наука, 1985.

Шевченко В. В. Луна и ее наблюдение.— М.: Наука, 1983.

Школьный астрономический календарь.— М.: Просвещение (издается на каждый учебный год).

Яхно Г. С. Наблюдения и практические работы по астрономии в средней школе.— М.: Просвещение, 1978.

	Уран	Нептун	Плутон
0 A			
1 B	168.729	55.806	223.757
2 C			
3 e	0.04756	0.00859	0.248
4 e ₀			
5 a	19.182	30.058	39.46
6 a ₀			
7 a ₁			
8 c			

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
I. Роль атмосферы при наблюдении небесных светил	4
Яркость и цвет светил	—
1. Почему мерцают звезды?	—
2. Почему меняется цвет звезд при мерцании?	—
3. Как далеко можно видеть корабль?	7
4. Почему диски Луны и Солнца деформированы у горизонта?	9
5. Как атмосферная рефракция удлиняет тень?	10
6. Почему ясное небо голубое, а светила у горизонта красные?	11
7. Почему Луна и Солнце кажутся такими большими у горизонта?	14
8. Как отличить яркую звезду от планеты?	18
9. Каковы яркость и цвет планет?	20
II. Видимые движения светил	21
1. Всегда ли Солнце в течение суток движется слева направо?	—
2. Где в данный момент светило стоит точно в зените?	23
3. Когда Луна бывает самой яркой?	26
4. Как ориентироваться по Солнцу и Луне?	28
5. В какое время суток виден ИСЗ?	32
6. Откуда летят и где исчезают «падающие звезды»?	34
III. Силы и движения в космическом пространстве	36
1. Почему Земля шарообразна?	—
2. Почему Земля не падает на Солнце?	38
3. Когда мы движемся быстрее всего, будучи неподвижны относительно Земли?	41
4. Какова особенность движений в космосе?	44
IV. Многообразие взаимосвязей	48
1. Каковы воздействия Солнца на Землю?	—
2. Влияет ли на нас Луна?	52
3. Существует ли в космосе зеркало для всей Земли?	53
4. Влияют ли планеты на земные события?	54
5. Воздействует ли Земля на небесные тела?	56
6. Как звезды взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой?	57
V. Космос и жизнь	64
1. Что такое биосфера?	—
2. Каковы возможности для жизни в Солнечной системе за пределами Земли?	66
3. Существовал ли в Солнечной системе развитый разум до появления человека?	67
4. Может ли существовать жизнь за пределами Солнечной системы?	68
5. Как ищут братьев по разуму?	69
6. Каков наш статус в космосе?	70
-VI. Вычисления с программируемым микрокалькулятором	72
1. Что такое юлианский день и как его определить?	—
2. Как определить день недели по дате?	75
3. Как рассчитать продолжительность дня?	76
4. Как вычислить моменты восхода и захода Солнца?	78
5. Как определить возраст Луны?	80
6. Как рассчитать географические координаты пункта?	82
7. Как рассчитать координаты планеты?	85
8. Как рассчитать период вращения Солнца?	89
Приложение	93
Литература	—

Учебное издание

ФЕСЕНКО БОРИС ИВАНОВИЧ

Астрономический калейдоскоп: вопросы и ответы

Зав. редакцией *Н. В. Хрусталь*

Спец. редактор *Л. С. Мордовцева*

Редактор *Г. Н. Федина*

Мл. редактор *О. В. Агапова*

Художник *В. А. Сайчук*

Художественный редактор *В. М. Прокофьев*

Технический редактор *Н. С. Шукина*

Корректор *Н. С. Соболева*

ИБ № 13483

Сдано в набор 10.09.91. Подписано к печати 15.04.92. Формат 84×108¹/₂. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 5,04. Усл. кр.-отт. 5,25. Уч.-изд. л. 5,29. Тираж 63 000 экз. Заказ 134.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Министерства печати и информации Российской Федерации. 127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано с диапозитивов Саратовского ордена Трудового Красного Знамени полиграфического комбината Министерства печати и информации Российской Федерации. 410004, Саратов, ул. Чернышевского, 59, в областной типографии управления печати и информации администрации Ивановской области, 153628, г. Иваново, ул. Типографская, 6. Заказ 3819.