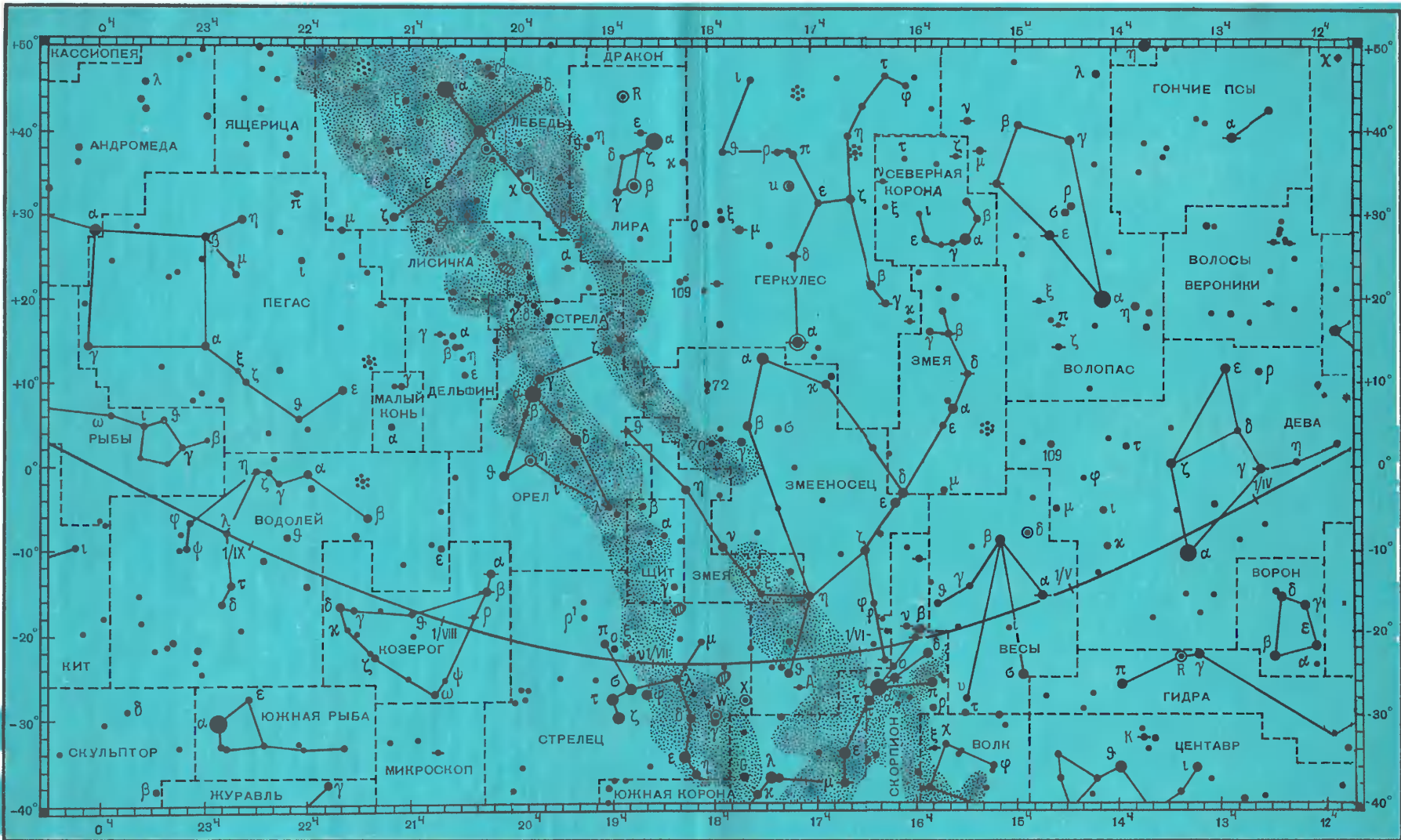
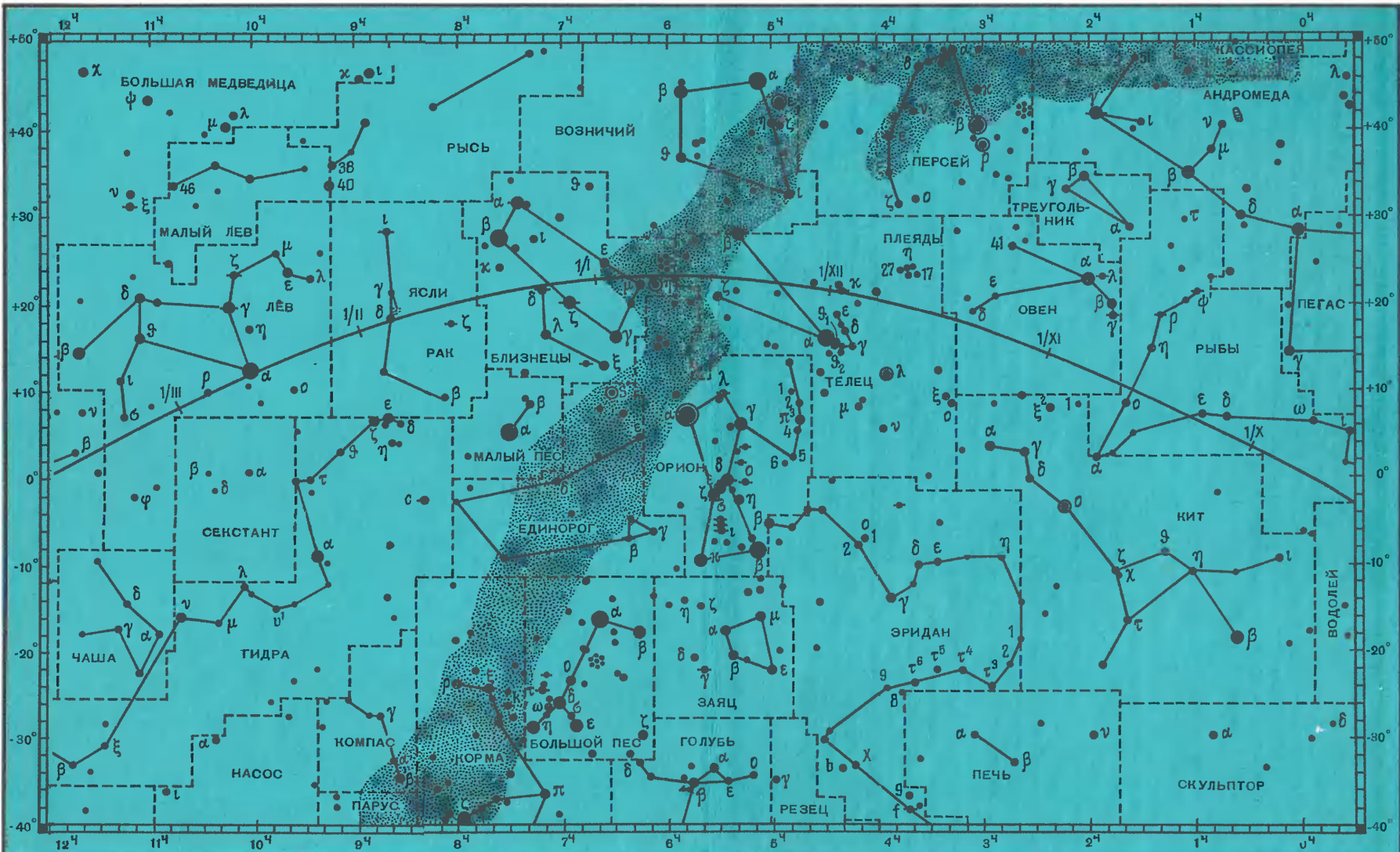


И. А. Климишин

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ АСТРОНОМИЯ

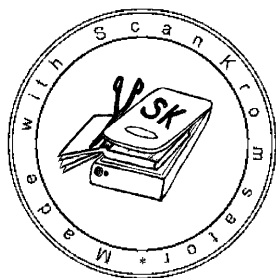






И. А. КЛИМИШИН

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ АСТРОНОМИЯ



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1991

ББК 22.6
К49
УДК 52 (023)

Рецензент
доктор физико-математических наук *Ю. Н. Ефремов*

Климишин И. А.

К49 **Элементарная астрономия.** — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. — 464 с.
ISBN 5-02-014478-9

Показывается, каким образом было получено то или иное знание в астрономии и как соответствующий результат может получить сам читатель. В частности, это относится к расчетам положения планет как методом Птолемея, так и в гелиоцентрической модели мира (даны графические методы), а также к предвычислению прохождения ИСЗ, к расчету времени полета к Венере и Марсу. Даются формулы для расчета условий в центре звезды, масштабной высоты ее атмосферы, оценки эффективности различных источников энергии. Излагаются методические советы для проведения любительских (учебных) наблюдений Солнца, Луны, планет и их спутников, комет и метеоров, переменных звезд и туманностей. Даются (в виде таблиц) сведения, самые необходимые для широкого круга читателей, в особенности для учащихся и преподавателей.

Для старшеклассников и студентов вузов, преподавателей и широкого круга любителей астрономии.

К 1605010000—087 100-91
053(02)—91

ББК 22.6

ISBN 5-02-014478-9

© «Наука». Физматлит, 1991

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	5
Введение	9
<i>Часть первая. Вселенная вокруг нас</i>	<i>28</i>
1. Космическая сцена	27
2. Сквозь тернии к звездам	50
3. Наш космический уголок	78
4. Наше Солнце	91
5. Планетная система	115
А. Большие планеты	115
Б. Малые тела	129
6. В мире звезд и туманностей	140
А. Стационарные звезды	141
Б. Нестационарные звезды	147
В. Туманности	155
7. Большая Вселенная	161
А. Наша Галактика	162
Б. Галактики и квазары	171
В. Вселенная расширяется?	184
<i>Часть вторая. Ключи к тайнам мироздания</i>	<i>191</i>
8. «Три кита» астрономии	192
9. Земля в мировом пространстве	208
10. Гармония планетных движений	225
11. Пути рукотворных светил	239
12. «Дешифровка» света и шума	249
13. Звезда как газовый шар	267
14. Могущество гравитации	285
15. Энергетика звезд	301
16. Чудо-теория размерностей	317
<i>Часть третья. Наблюдаем сами!</i>	<i>327</i>
17. Днем — Солнце	329
18. Ночью — звездное небо	339
19. Наблюдения Луны	353
20. Планеты и их спутники	370
21. Переменные звезды	381
22. Наблюдения метеоров	387
23. Завидная экзотика	390

Часть четвертая. Знаки. Числа. Таблицы	396
А. Общий отдел	397
1. Астрономические знаки и обозначения	397
2. Греческий и латинский алфавиты	398
3. Единицы длины	399
4. Юлианский период	400
5. Некоторые математические величины	401
6. Некоторые физические величины	402
7. Астрономические постоянные	403
Б. Солнечная система	405
8. Данные о Земле, Луне и Солнце	405
9. Элементы орбит планет Солнечной системы	409
10. Физические характеристики планет Солнечной системы	411
11. Спутники планет	412
12. Элементы орбит некоторых малых планет	416
13. Полные затмения Солнца и Луны в 1985—2000 гг.	417
14. Основные детали поверхности Луны	420
15. Важнейшие лунные кратеры	420
16. Параметры орбит искусственных спутников Земли	423
17. Расстояния от Земли, видимые угловые размеры и звездные величины планет	424
18. Даты соединений Венеры с Солнцем	424
19. Основные метеорные радианты	425
В. Звезды, звездные скопления, туманности и галактики	427
20. Названия и обозначения созвездий	427
21. Собственные названия звезд и их важнейшие характеристики	429
22. Перемещение Солнца по зодиакальным созвездиям	437
23. Даты восхода и захода некоторых ярких звезд на широте $\varphi = 50^\circ$	437
24. 40 самых ярких звезд неба	438
25. 40 ближайших звезд	440
26. 25 ярких двойных звезд	442
27. 10 звезд с наибольшими собственными движениями	443
28. 40 ярких переменных звезд	444
29. Яркие звездные скопления	445
30. Яркие туманности	446
31. Наиболее яркие галактики	447
Вместо заключения	448
Список литературы	461

ОТ АВТОРА

Уже простое созерцание звездного неба, в особенности в темную безлунную ночь, вызывает в каждом из нас восторг. И взирая на эти чарующие, сотканые из наиболее ярких звезд узоры, мы неминуемо задаем себе один вопрос за другим: как далеко от нас эти дивные источники света, какова их физическая природа, какие законы управляют их движением и развитием, как долго будут существовать эти светила, одно из которых — наше Солнце, и, наконец, есть ли там, в этих бездонных глубинах планеты, подобные нашей, есть ли там братья по разуму, с которыми мы могли бы повести разговор о тайнах мироздания, о своих достижениях и проблемах... Словом, мы интересуемся устройством окружающей нас Вселенной и ее отдельных частей, ее масштабами в пространстве и во времени — всем тем, что и составляет предмет науки о небе — *астрономии*.

Но книга по астрономии — не только сборник интригующих рассказов об удивительных планетах, звездах и галактиках, иначе — о других таинственных мирах, откуда нас могут посетить пока неизвестные нам братья по разуму. Ведь астрономия — одна из наук физико-математического цикла, в которой все оценивается числом и описывается определенным физическим законом. В наше время, скажем,

астрономы измеряют потоки излучения от небесных светил в различных спектральных диапазонах и в отдельных спектральных линиях, и полученные ими результаты составляют ряды чисел, имеющих, конечно, соответствующие размерности. Начиналась же астрономия с измерений угловых расстояний между светилами, причем древние астрономы использовали (скорее — разрабатывали и осваивали) соотношения геометрии, да еще «не простой», а сферической. Следовательно, и в начале науки о небе было число. Как тут не вспомнить, что более чем за 500 лет до н. э. древнегреческий философ Пифагор и его последователи высказывали убежденность в том, что в мире существует гармония чисел. Понимать это следует так: все в мире можно изучить и оценить числом! И, конечно же, за каждым числом «скрывается» определенный физический закон...

В этой книге, которая адресуется прежде всего юному любителю астрономии — учащемуся средней школы, автор и стремился показать, как «реализуется» в окружающем нас звездном мире эта гармония чисел или, другими словами, как были установлены важнейшие законы строения и эволюции Вселенной и ее отдельных частей и что мы знаем о них сегодня. Структура книги складывалась в значительной мере благодаря переписке с Председателем Совета по подготовке астрономических кадров при АН СССР академиком В. В. Соболевым, который высказал конкретное пожелание: дать ученику средней школы связный рассказ о современной астрономии как физико-математической науке с изложением физики процессов, происходящих на поверхностях и в недрах звезд, в межзвездном и межгалактическом пространстве. Такой подход был бы вполне оправданным, поскольку многие общие сведения по астрономии (например, смена времен года, причина солнечных и лунных затмений, строение Солнечной системы и физическая природа составляющих ее тел и др.)

сегодня учащиеся получают уже на уроках природоведения, физической географии, физики и химии.

С другой стороны, здесь уместно вспомнить следующие слова выдающегося французского популяризатора астрономии Камилла Фламмарiona (1842—1925):

«Астрономия вовсе не испещрена сухими цифрами, как это принято думать. Математические формулы, встречающиеся в ней, — это только леса, без которых нельзя было обойтись при постройке великолепного дворца. Пусть леса будут снесены и пусть дворец астрономии предстанет перед нами во всем своем ослепительном блеске.

Но отсюда не следует, конечно, что астрономический трактат, даже в популярном изложении, можно читать рассеянно и спустя рукава; наоборот, такую книгу, представляющую более реальный и захватывающий интерес, чем любой роман, нужно читать с большим вниманием, для того чтобы содержащиеся в ней научные истины надолго запечатлелись в памяти. Оканчивая последнюю страницу романа, мы знаем ровно столько, сколько знали, когда приступали к первой странице. Совсем иначе обстоит дело при чтении научного произведения: тут только тот человек, который совершенно не в состоянии абстрактно мыслить, не увеличивает своих познаний, не расширяет своего умственного кругозора. Мы думаем, что в наше время вряд ли найдется такой человек, который был бы настолько мало развит умственно, чтобы основные положения современной астрономии были ему недоступны» (Популярная астрономия. — М.; Л.: Детская литература, 1939. — С. 4).

Исходя из всех этих соображений, автор и построил книгу. Она состоит из четырех частей. В первой из них дано общее описание «Вселенной вокруг нас» — описание чуждого дворца, построенного к нашему времени многими поколениями строителей —

известных и мало известных астрономов. «Строительные леса», т. е. основные математические соотношения, без которых не было бы этого великолепного здания, вынесены во вторую часть. Мы полагаем, что этот материал может быть интересным как для учеников и «просто любителей», так и для преподавателей других дисциплин физико-математического цикла, скажем для осуществления межпредметных связей в процессе преподавания физики и геометрии. В третьей части изложены рекомендации, как проводить любительские астрономические наблюдения, в четвертой дана сводка важнейших сведений и таблиц, необходимых для любителя астрономии в его повседневной работе, в том числе и в школе.

Большую и всестороннюю помощь в процессе работы над этой книгой автор получил от С. М. Андриевского, Н. А. Башинской, В. А. Гаген-Торна, Б. И. Гнатыка, Н. Н. Гончука, М. М. и З. И. Горишных, Л. Ф. и В. А. Денчиков, В. В. Ивакова, П. П. Киричка, В. М. Кланички, Е. В. Климишиной, О. А. и Н. Н. Костюков, М. А. Лурье, И. А. Максимовича, Л. Е. Намца, И. И. Перкатыка, И. Е. Рахлина, Л. П. и Б. И. Савчаков, В. В. Соболева, М. А. и В. Т. Шелестовских, Н. Г. Юрчишина, И. Р. Юхновского и Я. С. Яцкива. Всем им автор выражает свою искреннюю благодарность.

Ивано-Франковский педагогический институт
им. В. С. Стефаника,

сентябрь 1988 г.

ВВЕДЕНИЕ

И если все науки возвышают дух человеческий, то больше всего это свойственно астрономии, не говоря уже о величайшем духовном наслаждении, связанном с ее изучением.

Николай Коперник

Этот большой мир существует независимо от нас, людей, и стоит перед нами как огромная вечная загадка, доступная, однако, по крайней мере отчасти, нашему восприятию и нашему разуму.

Альберт Эйнштейн

Что (изучается), где (искать объект на небосводе) и когда (его можно увидеть)— вот три вопроса, которые «встают перед наблюдателем во весь рост», как только он решит не ограничиваться тем, что рассказано в книжке о тех или иных объектах звездного неба, но увидеть их собственными глазами. Ответ на каждый из этих трех вопросов формулируется в виде набора некоторых чисел: «объект (***) звездной величины» «находится в (***) созвездии, его координаты (***) и (***)»; «виден он над горизонтом от (***) до (***) часа».

Вот почему раньше, чем приступить к рассказу о «Вселенной вокруг нас», мы вынуждены посоветовать читателю вооружиться знанием некоторых исходных понятий или, как принято говорить, элементами *астрогнозии*, что в переводе с греческого означает «знание звездного неба». И пока несколько вечеров уйдет на изучение этих вопросов, будем просто вглядываться в величественную панораму звездного неба, припоминая ставшее тривиальным утверждение: путь к изучению звезд начинается с того, что мы просто смотрим на них, восхищаемся ими.

О созвездиях. Уже с незапамятных времен люди выделяли на звездном небе отдельные группы ярких звезд, объединяли их в *созвездия*, присваивая им названия, в которых отражали быт и особенности своего мышления. Так поступали и древнекитайские, и вавилонские, и египетские астрономы. Многие названия созвездий, используемые нами сегодня,

пришли к нам из Древней Греции, где они складывались постепенно, на протяжении столетий.

В частности, в поэме «Труды и дни» древнегреческого поэта Гесиода (VIII в. до н. э.) упоминаются две группы звезд — Плеяды и Орион и звезды Арктур и Сириус. Живший немногим позже Гомер прибавил к ним еще Гиады, Боотеса (Волопаса) и Медведицу (Воз). А вот древнегреческий ученый Евдокс (IV в. до н. э.) выделял на звездном небе уже 45 созвездий. В своеобразной энциклопедии античной астрономии — «Альмагесте» Клавдия Птолемея (II в. н. э.) речь идет о 48 созвездиях. Это Большая Медведица, Малая Медведица, Дракон, Цефей, Боотес, Северный Венец, Человек на коленях (Геркулес), Лира или Падающий Ястреб, Птица или Лебедь, Кассиопея, Возничий, Офиух (Змееносец), Змея, Стрела, Орел, Дельфин, Малый Конь (Пегас), Андромеда, Северный Треугольник, Телец, Овен, Рыбы, Водолей, Козерог, Стрелец, Скорпион, Весы, Дева, Лев, Рак, Близнецы (эти последние от Тельца до Близнецов, получили наименование *зодиакальных созвездий*, от слова «зоон» — животное, по этим созвездиям совершают свой видимый путь на небе Солнце, Луна и планеты), Кит, Орион, Река Эридан, Заяц, Большой Пес, Малый Пес, Корабль Арго, Гидра, Чаша, Ворон, Альтарь, Кентавр, Зверь (Волк), Южный Венец и Южная Рыба. Все эти имена связаны с античной мифологией. И лишь одно, Волосы Вероники, — с исторической личностью: Вероникой звали жену египетского царя Птолемея Евергета (III в. до н. э.).

После кругосветных путешествий Магеллана (1519—1521 гг.) и его последователей астрономы начали интенсивно изучать небо южного полушария, дополняя список созвездий новыми именами. К тому же вскоре астрономия стала телескопической наукой. Рассматривая небо в телескоп, астроном становился как бы первооткрывателем большого количества звезд и довольно часто стремился выделить их на картах в отдельное созвездие. В частности, благодаря зятю И. Кеплера Барчиусу в 1624 г. на картах неба появились созвездия Жирафа, Единорога, Мухи и Голубя. Выдающийся польский ученый Ян Гевелий (1611—1687) выделил созвездия Гончих Псов, Ящерицы, Малого Льва, Секстанта, Лисички, Рыси и Щита.

В целом к началу XX в. насчитывалось 108 созвездий и девять отдельных групп звезд типа Плеяд. На конгрессе Международного астрономического союза в 1922 г. количество созвездий было уменьшено до 88. Тогда же были установлены существующие ныне границы между ними.

Величины звезд. Взглянув на небосклон, мы сразу замечаем, что одни звезды выглядят ярче, другие — слабее. Но как это впечатление передать числом?

Для этого астрономы используют понятие *видимой звездной величины*. Эту совершенно условную характеристику звезды ввел две тысячи лет назад древнегреческий астроном Гиппарх (II в. до н. э.). Он как бы сыграл роль жюри, тогда как звезды были претендентками на первое место в своеобразном конкурсе красоты. Самые яркие звезды Гиппарх назвал звездами первой величины («присудил» им первое место), те, что чуть слабее, — звездами второй величины (они «заняли второе место»), и т. д. Звезды, еле заметные глазом, были названы звездами шестой величины.

Звездные величины принято обозначать латинской буквой *m* (первой буквой латинского слова *magnitude* — величина, в то время считали, что звезды находятся на одинаковом расстоянии от Земли и звезда тем ярче, чем больше ее диаметр). Это обозначение пишется как показатель степени — справа сверху у соответствующего числа (например, 2^m).

Подчеркнем еще раз: видимая звездная величина — это совершенно условная характеристика яркости звезды. На самом же деле речь идет о величине *светового потока*, испускаемого той или другой звездой, точнее об измерении *освещенности* *E* — потока, падающего на единичную площадку, перпендикулярную лучу зрения. Понятно, что существует формула перехода от звездной величины *m* к освещенности *E*: $m = -13,89^m - 2,5 \lg E$. Мы приводим ее здесь, чтобы подчеркнуть, что в конечном итоге никакого «произвола» нет.

Далее, в астрономии вместо выражения «освещенность от звезды» используется понятие *блеск*. Принято говорить: «блеск звезды 5^m », понимается же это так: «освещенность, созданная звездой, видимая величина которой равна 5^m , на нормальной к лучам площадке».

В середине XIX в. было установлено, что поток энергии от звезды 1-й величины в 100 раз больше, чем от звезды 6-й величины, т. е. $E_1/E_6 = 100$. Иначе говоря, разности в пять звездных величин соответствует изменение потоков (освещенностей) в сто раз. Отсюда следует, что если блеск светил отличается на одну звездную величину, то отношение потоков от них

равно $\sqrt[5]{100} = 2,512$. Общая же связь между блеском двух звезд E_1 и E_2 и их звездными величинами m_1 и m_2 записывается в виде *формулы Погсона*

$$\frac{E_2}{E_1} = 2,512^{m_1 - m_2}. \quad (\text{B.1})$$

Сегодня видимые звездные величины определены для многих сотен тысяч звезд. Для этого пришлось шкалу звездных величин «продолжить» в сторону больших чисел (для более слабых звезд) и в противоположную сторону отрицательных чисел для оценки видимой звездной величины планет, Луны и Солнца, а также некоторых звезд.

Видимая звездная величина ярчайшей звезды неба — Сириуса $m_s = -1,5^m$, Солнца $m_\odot = -26,6^m$, полной Луны $m_\zeta = -12,7^m$. Нетрудно по формуле Погсона подсчитать, что Солнце посылает на Землю в 10 млрд раз большую энергию, чем Сириус.

Названия звезд. В далеком прошлом астрономы удовлетворялись тем, что определяли положения отдельных звезд на «рисунке» того существа, которое они себе вообразили на основе совокупности ярчайших звезд созвездия (например, «звезда Сердце Скорпиона»). Позже многие яркие звезды (всего свыше 250) получили собственные названия, причем наиболее изобретательными были арабские астрономы. Важный шаг вперед здесь сделал итальянский астроном Алессандро Пикколомини (1508—1578). В своем атласе звездного неба «О неподвижных звездах» (1540 г., книга переиздавалась не менее четырнадцати раз на итальянском языке, была издана на латинском и французском языках) он обозначил звезды каждого созвездия греческими и латинскими буквами в порядке убывания блеска. Эту традицию закрепил немецкий астроном Иоганн Байер (1572—1625), юрист по образованию, адвокат г. Аугсбурга, который, как написано на его могиле, «далее многих

в пространство проникнув, к нашему взору приблизил он дальние звезды, к небу стремятся пытливым умом». Еще позже английский астроном Джон Флемстид (1646—1719) в пределах каждого созвездия обозначил звезды порядковыми номерами, что частично используется и сегодня (например, звезда 61 Лебеда). Тем самым тысячи звезд как бы получили свои «паспорта», и теперь уже легко можно было установить, о которой из них идет речь.

Для звезд, блеск которых со временем меняется, принято обозначение прописными буквами латинского алфавита: R, S, ..., Z, RR, RS, ..., RZ, AA, ..., ZZ— всего таким образом в каждом созвездии можно обозначить 334 звезды. Последующие, по мере их открытия, переменные звезды обозначаются (в каждом созвездии отдельно) просто порядковым номером, перед которым проставляется прописная латинская буква V (от слова *variable* — переменный), например V 335 Лебеда.

Нелишне отметить, что при составлении атласов астрономы изображали небо в двух вариантах (точнее, пользуясь одним из двух): таким, каким мы видим его с Земли, или же таким, каким оно изображалось на поверхности небесного глобуса. В первом случае изображение созвездий будет прямым, во втором — зеркальным (рис. 1 и 2).

Список созвездий и собственных названий звезд в каждом из них дан в части IV (Таблицы 20 и 21):

Небесная сфера. Астроном имеет практически постоянную необходимость указывать положение светил на небе. Этими светилами могут быть естественные объекты — планеты, кометы, Луна — и искусственные — «рукотворные» спутники Земли или космические аппараты, направленные к Луне, Венере, Марсу и т. д. Где этот объект «сейчас»? Сказать «вблизи звезды» — это все равно, что сказать «космонавты совершили посадку близ г. Караганды»: достаточно, чтобы получить общее представление, но совершенно недостаточно, если есть необходимость оказать космонавтам срочную помощь...

Взглянем на глобус — уменьшенную модель Земли. Он «опоясан» сеткой меридианов и параллелей, с помощью которых мы можем с высокой точностью указать место, где произошло то или иное событие (например, упомянутое приземление космонавтов):

столько-то градусов и минут восточной долготы и столько-то градусов и минут северной широты (рис. 3). Эти несколько чисел передают по радио, и слушатели на всем земном шаре, подойдя к глобусу или карте, сразу находят соответствующее место.

При изучении звездного неба мы обычно ограничиваемся установлением угловых расстояний между

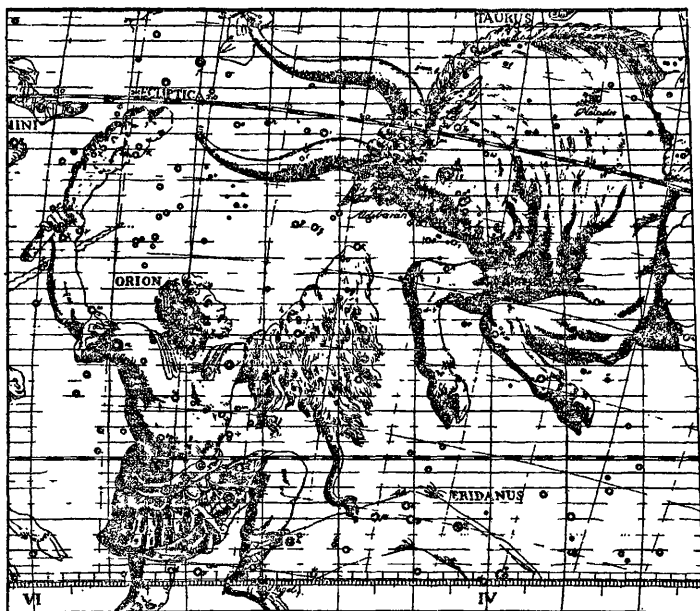


Рис. 1. Фигуры созвездий Тельца и Ориона из звездного атласа Флемстида (изображение прямое)

светилами. Поэтому можно представить себе небо в виде гигантского глобуса произвольного радиуса с тем, однако, условием, что наблюдатель находится в его центре. Очевидно, что на этом глобусе также можно изобразить определенную координатную сетку, с помощью которой и можно будет указывать положение светил на небе.

Уместно прежде всего отметить следующее. Тот факт, что одни светила расположены ближе к нам, а другие дальше, на глаз не улавливается. Благодаря этому оказывается возможным (и весьма удобным) предположить, что все они находятся на одинаковом

расстоянии от наблюдателя или, как принято говорить, — на *небесной сфере*.

Небесной сферой называется воображаемая вспомогательная сфера произвольного радиуса, на которую проецируются все светила так, как их видит наблюдатель в определенный момент времени из определенной точки пространства.

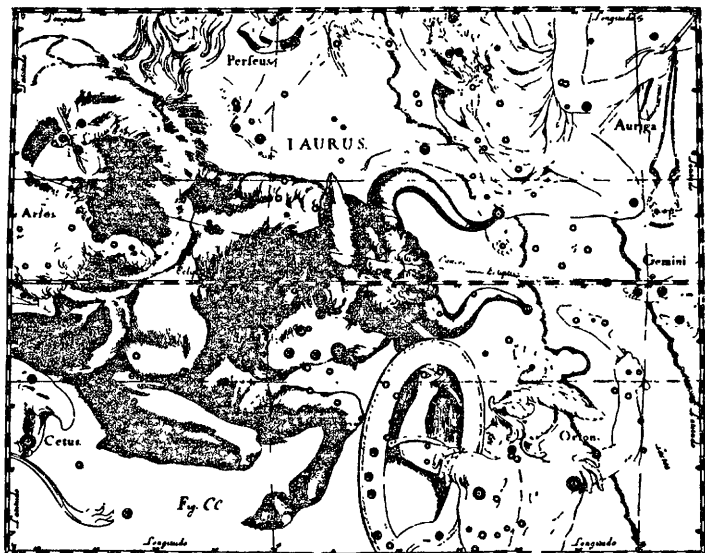


Рис. 2. Фигуры созвездий Тельца и Ориона из звездного атласа Яна Гевелия (изображение зеркальное)

Далее будут использованы понятия *большого* и *малого кругов* (в смысле окружностей). Поэтому напомним, что при всяком сечении сферы плоскостью образуется круг. При этом круг, секущая плоскость которого проходит через центр сферы, называется *большим кругом*, в противном случае — *малым кругом*.

Точки пересечения небесной сферы с отвесной линией, проходящей через ее центр, называются: верхняя — *зенит* (Z), а нижняя — *надир* (Z'). Большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к отвесной линии, называется *математическим горизонтом* (или просто *горизонтом*). Дуга



Рис. 3. Сетка географических координат

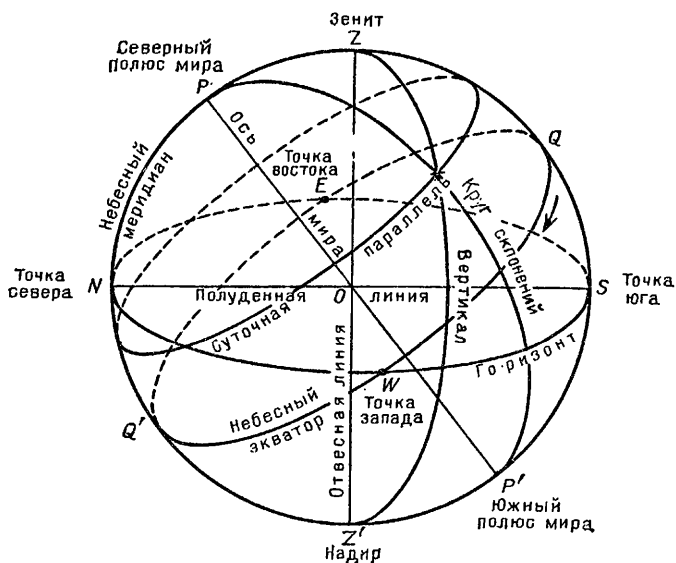


Рис. 4. Основные точки и линии небесной сферы; стрелкой указано направление ее вращения

большого круга, проходящего от зенита через светило к надиру, называется *вертикалом* (рис. 4).

Диаметр небесной сферы, вокруг которого происходит ее вращение, именуется *осью мира*. Точки пересечения оси мира с небесной сферой называются *полюсами мира*. Тот полюс, относительно которого вращение небесной сферы происходит против часовой стрелки (для наблюдателя, находящегося в центре сферы), называется *северным полюсом мира*, противоположный — *южным полюсом мира*.

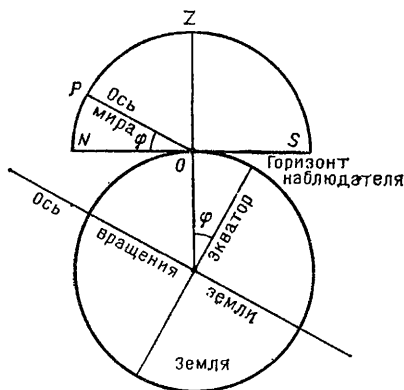


Рис. 5. Связь между высотой полюса мира и географической широтой наблюдателя

Так как по сравнению с расстояниями до звезд размеры Земли ничтожны, то направления на полюс мира из места наблюдения и из центра Земли параллельны. Поэтому (рис. 5) в любом пункте Земли

высота полюса мира над горизонтом h_p равна географической широте места φ .

Большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется *небесным экватором*. Небесный экватор делит небесную сферу на два полушария: *северное* и *южное*. С горизонтом он пересекается в двух точках: в *точке востока E* и в *точке запада W*. Вертикал, проходящий через точку *E*, называется *первым вертикалом*. Суточные движения светил совершаются по *суточным параллелям*.

Большая окружность, проходящая через полюсы мира и зенит, называется *небесным меридианом*. Он делит небесную сферу на два полушария: *восточное* и *западное*. Плоскость небесного меридиана пересекается с плоскостью математического горизонта по прямой линии, которая называется *полуденной линией*. Она же пересекается с горизонтом в *двух* точках: в *точке севера* N и в *точке юга* S . Точкой севера называется та, которая ближе к северному полюсу мира, точка юга ближе к южному полюсу мира.

Большая окружность, проходящая через полюсы мира и через светило M , называется *часовым кругом*, или *кругом склонения светила*.

И, наконец, видимое годичное движение Солнца происходит по большой окружности, которая называется *эклиптикой*. Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора под углом ϵ , который для середины 1990 г. составлял $23^{\circ}26'25,5''$. Точки пересечения эклиптики с небесным экватором называются *точками весеннего и осеннего равноденствий*. Через точку весеннего равноденствия (она обозначается знаком созвездия Овна Υ) Солнце 20 или 21 марта переходит из южного полушария небесной сферы в северное. Через точку осеннего равноденствия Ω (знак созвездия Весов) — 22 или 23 сентября Солнце переходит из северного полушария в южное. Точки эклиптики, отстоящие на 90° от точек равноденствий, называются *точками солнцестояний*.

Горизонтальная система небесных координат. Простейшей из систем небесных координат является *горизонтальная система*. В ней основной плоскостью является плоскость математического горизонта, а нуль-пунктом — точка юга S . В этой системе координат задаются и измеряются *азимут* светила A и высота светила над горизонтом h . Азимут светила измеряется дугой от точки юга к западу вдоль горизонта до вертикала светила. Высота светила h измеряется от горизонта вдоль вертикала до светила. Как азимут, так и высота измеряются в градусах.

Вместо высоты светила h часто измеряют *зенитное расстояние* z , причем очевидно, что $z = 90^{\circ} - h$ (рис. 6).

Экваториальные системы координат. В астрономии используют две *системы экваториальных координат* небесных светил. В *первой* системе основной пло-

скостью является плоскость небесного экватора, а основной точкой — точка пересечения небесного меридиана с небесным экватором Q , находящаяся над

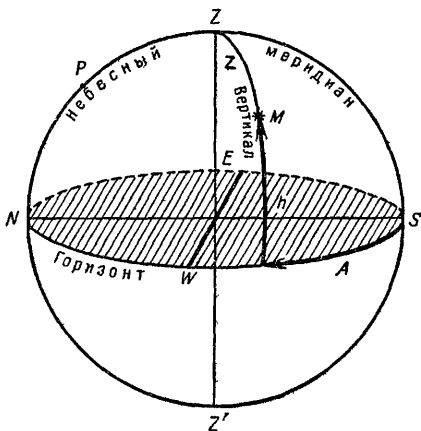


Рис. 6. Направление отсчета азимута A и высоты h светила в горизонтальной системе небесных координат

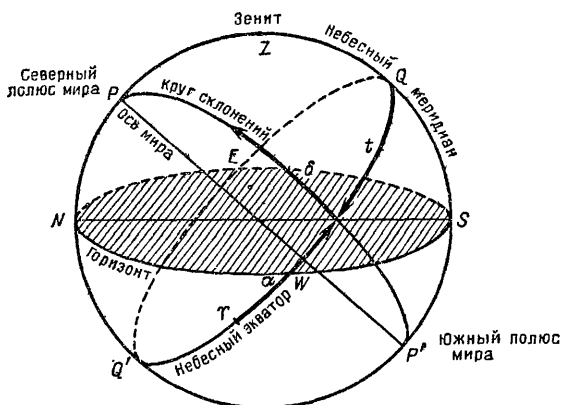


Рис. 7. Направление отсчета часового угла t , прямого восхождения α и склонения δ в экваториальных системах небесных координат

точкой юга S (рис. 7). При этом измеряются такие две координаты: *часовой угол* светила t и *склонение* светила δ . Часовой угол светила t измеряется от верхней точки небесного экватора (т. е. точки Q) вдоль небесного экватора к западу до круга

склонения светила. Он измеряется в градусах (от 0° до 360°), но чаще всего — в часовой мере (от 0 до 24^h), причем переход от одних единиц измерения к другим осуществляется на основе соотношений $1^h = 15^\circ$, $1^m = 15'$, $1^s = 15''$, $1^\circ = 4^m$.

Склонение светила δ измеряется дугой от небесного экватора вдоль круга склонений до светила. Измерение производится в градусах от 0 до $+90^\circ$ для светил, находящихся в северном полушарии, и от 0 до -90° в южном полушарии.

Во второй системе экваториальных координат используются такие координаты: *прямое восхождение* светила и его склонение. Прямое восхождение светила α измеряется дугой от точки весеннего равноденствия Υ вдоль небесного экватора навстречу видимому суточному вращению небесной сферы до круга склонения светила. Вторая координата δ — та же, что и в первой экваториальной системе. Прямое восхождение α измеряется обычно в часовой мере: от 0 до 24^h .

Эклиптическая система координат. Для удобства в определении положений на небе Солнца, а также движущихся практически вдоль эклиптики Луны и планет, уже древние астрономы ввели *эклиптическую* систему координат. Основной плоскостью в ней является плоскость эклиптики. Перпендикуляр к этой плоскости, проведенный через центр небесной сферы, пересекает небесную сферу в *полюсах эклиптики*. Большой круг, проходящий через светило и полюсы эклиптики, называется *кругом широты*. Измеряются здесь *эклиптическая долгота* λ и *эклиптическая широта* β . Эклиптическая долгота λ отсчитывается (в градусах) от точки весеннего равноденствия Υ вдоль эклиптики навстречу суточному вращению небесной сферы до круга широты светила. Эклиптическая широта β отсчитывается вдоль круга широты от эклиптики до светила. Измеряется она также в градусах — от 0 до $+90^\circ$ в направлении к северному полюсу эклиптики, находящемуся в созвездии Дракона, и от 0 до -90° к южному полюсу эклиптики.

Кульминации светил. *Кульминацией* светила называется его прохождение через небесный меридиан. В *верхней* кульминации светило пересекает ту часть небесного меридиана, на которой находится зенит. Кульминация называется *нижней*, если светило пере-

секает нижнюю часть меридиана, на которой расположен надир.

Географическая широта наблюдателя φ , склонение светила δ и его высота h в момент кульминации связаны между собой элементарными соотношениями, которые читатель легко установит с помощью

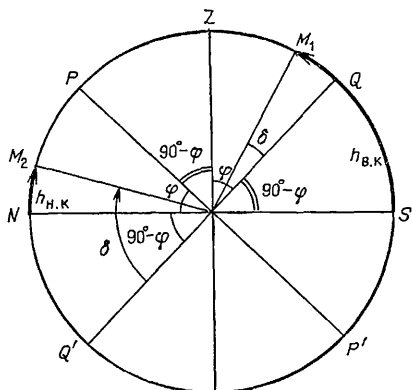
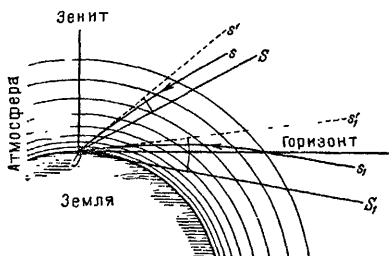


Рис. 8. К установлению связи между высотой светила h в момент верхней кульминации ($h_{в.к}$), нижней кульминации ($h_{н.к}$), его склонением δ и географической широтой наблюдателя φ

рис. 8. Отсюда также видно, что если склонение светила $\delta < -(90^\circ - \varphi)$, то оно никогда над горизонтом наблюдателя не появляется, если же $\delta > (90^\circ - \varphi)$, то светило никогда не скрывается за горизонтом.

Рис. 9. Влияние атмосферной рефракции (схематический рисунок). Светило S_1 находится под горизонтом, но вследствие рефракции оно видно над горизонтом по направлению S'_1 , светило S мы видим в направлении S'



Рефракция. В природе существуют причины, из-за которых измеренные координаты отличаются от истинных. Одной из них является рефракция.

Астрономической рефракцией принято называть явление отклонения света в земной атмосфере от прямолинейного пути из-за его преломления в земной атмосфере (рис. 9). Рефракция как бы приподнимает

светило над горизонтом на угол ρ , который и называется *углом рефракции*. Он сложным образом зависит от плотности и давления атмосферы. На горизонте угол рефракции в среднем равен $35'$, т. е. он превышает угловые размеры Солнца и Луны. Поэтому в тот момент, когда от горизонта отрывается нижний край солнечного или лунного диска, на самом деле только начинает восходить его верхний край. При заходе этих светил, наоборот, в момент, когда горизонта касается его нижний край, на самом деле диск уже полностью находится под горизонтом. Так мы наблюдаем восход как Солнца и Луны, так и других светил несколько раньше, и их заход позже, чем они происходили бы на планете, лишенной атмосферы.

Сутки как единица измерения времени. Для измерения времени обычно используются три единицы: *сутки*, *месяц* и *год*. Первая связана с ритмичной сменой дня и ночи. Вторая напоминает о том, что когда-то наши предки отсчитывали время, ориентируясь по смене внешнего вида (фаз) Луны. Третья обусловлена сменой сезонов. В значительной степени излагаемый ниже материал читателю уже известен. Поэтому здесь мы остановимся лишь на некоторых важнейших моментах.

Итак, *сутки* — это промежуток времени, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг своей оси относительно какой-нибудь точки (ориентира) на небе. Таким ориентиром может быть Солнце, и тогда речь идет о *солнечных сутках*. Но им может быть и любая звезда — в этом случае мы говорим о *сутках звездных*.

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра диска Солнца называется *истинными солнечными сутками*. За начало солнечных суток принимается момент нижней кульминации Солнца. *Истинное солнечное время* $T_{\odot}$ — это время, истекшее с момента нижней кульминации центра диска Солнца.

Однако длительность истинных солнечных суток на протяжении года неодинакова. Связано это с тем, что видимое движение Солнца происходит не по небесному экватору, а по эклиптике, к тому же это движение неравномерно (поскольку Земля обращается вокруг Солнца не по круговой, а по эллиптической

орбите). Поэтому было введено понятие *среднего экваториального солнца* — фиктивной точки, перемещающейся равномерно по небесному экватору. Промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего солнца назван *средними солнечными сутками*. Время же T_λ , истекшее с момента нижней кульминации среднего солнца, называется *средним солнечным временем*. Истинное солнечное время $T_\odot$ связано со средним временем T_λ *уравнением времени* η . Его записывают так:

$$\eta = T_\lambda - T_\odot. \quad (\text{B.2})$$

Численное значение уравнения времени η дается на каждый день во всех астрономических календарях. О практическом использовании уравнения времени мы поговорим ниже (см. с. 334).

Системы солнечного времени. Говоря о прохождении Солнца через небесный меридиан, тем самым подчеркивают, что речь идет о *местном времени*, т. е. времени данного географического меридиана. Но, как известно, с 1884 г. используется система *поясного времени*: линиями, идущими от северного полюса Земли к южному, земной шар разделен на 24 *часовых пояса* (рис. 10). Участок земной поверхности, ограниченный меридианами, расположенными к востоку и западу на $7,5^\circ$ от гринвичского, получил название *нулевого часового пояса*. Основным меридиан 1-го часового пояса ($N=1$) отстоит от гринвичского меридиана на 15° к востоку, второго ($N=2$) — на 30° , и т. д.

Местное среднее солнечное время гринвичского меридиана ($N=0$) принято в качестве *всемирного времени*. Оно обозначается T_0 . Если наблюдатель находится на географической долготе λ к востоку от Гринвича, то кульминации светил он наблюдает на λ [часов] раньше. Поэтому его местное среднее солнечное время T_λ равно

$$T_\lambda = T_0 + \lambda. \quad (\text{B.3})$$

В СССР весной 1930 г. декретом правительства было введено *декретное время*: стрелки всех часов были переведены на 1 час вперед относительно поясного времени. Так как поясное время T_Π наблюдателя,

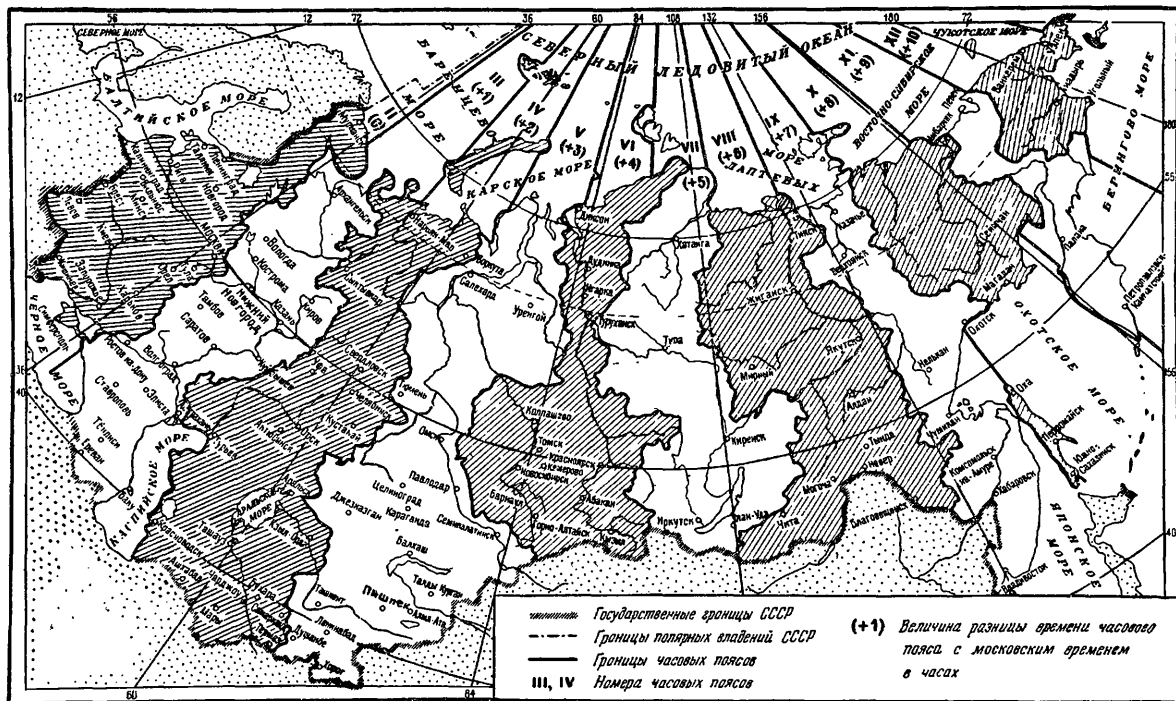


Рис. 10. Часовые пояса в СССР

находящегося в поясе с номером N , равно

$$T_n = T_0 + N^h, \quad (\text{В.4})$$

то его декретное время

$$T_d = T_n + 1^h = T_0 + (N^h + 1^h). \quad (\text{В.5})$$

Комбинируя формулы (В.3) и (В.5), находим правило перехода от декретного времени к местному:

$$T_\lambda = T_d - (N^h + 1^h) + \lambda. \quad (\text{В.6})$$

В два часа ночи в последнее воскресенье марта в нашей стране осуществляется переход на *летнее время*: стрелки часов переводятся на один час вперед. Таким образом, летнее время

$$T_\lambda = T_d + 1^h. \quad (\text{В.7})$$

Переход обратно к декретному времени производится в три часа ночи в последнее воскресенье сентября. В 1990 г. ряд административных районов от летнего времени отказался.

Эфемеридное и атомное время. Скорость вращения Земли вокруг своей оси постепенно уменьшается. Поэтому продолжительность суток (и секунды как их $1/86\,400$ части) сегодня несколько иная, чем была, скажем, в 1900 г. Между тем, при расчетах положений планет, Луны и искусственных спутников Земли необходимо иметь стандартную, неизменную во времени масштабную единицу времени. В качестве единицы такого равномерного, так называемого *ньютонковского*, или *эфемеридного*, времени и принята секунда, равная средней солнечной секунде в 1900 году.

В 1964 г. осуществлен переход на *атомное время*, течение которого определяется атомными или молекулярными процессами. В качестве эталона времени Международный комитет мер и весов принял атомные цезиевые часы. Было введено новое определение секунды. Сегодня *секунда* — это промежуток времени, за который происходит $9\,192\,631\,770$ колебаний электромагнитной волны, которую излучает атом цезия. С 1 января 1972 г. все страны мира перешли на счет времени с помощью атомных часов.

Звездное время. *Звездными сутками* принято называть промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями точки

весеннего равноденствия. Звездные сутки начинаются в момент верхней кульминации точки Υ . *Звездное время* s — это время, истекшее от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия.

Так как Солнце по отношению к звездам непрерывно перемещается в направлении, противоположном суточному вращению небесной сферы, т. е. от запада к востоку, и за сутки это перемещение составляет почти 1° , то солнечные сутки длиннее звездных на $3^m56,56^s$. Начало звездных суток совпадает с началом истинных солнечных суток 23 сентября, с каждым же последующим днем оно наступает на $3^m56,56^s$ раньше. За год это составляет ровно одни сутки: звездных суток в году на единицу больше, чем солнечных.

Звездное время S_0 на начало солнечных суток приводится во всех астрономических календарях. Приближенно его можно рассчитать по формуле

$$S_0 = 6^h40^m + 2^hD. \quad (\text{B.8})$$

Здесь D — дата, выраженная в месяцах и их долях. Например, для 15 марта имеем $D = 2,5$ и $S_0 = 6^h40^m + 5^h00^m = 11^h40^m$.

После того как найдено время S_0 (положение точки Υ на небесной сфере на начало солнечных суток), нетрудно уже рассчитать звездное время и на любой заданный момент времени T_λ . При этом пользуются таблицами. Приближенно, однако, можно принять, что

$$s \approx S_0 + T_\lambda. \quad (\text{B.9})$$

Очевидно, что речь идет о *местном звездном времени*, отсчитанном на меридиане наблюдателя.

Как видно из рис. 7, для любой звезды выполняется условие

$$s = t + \alpha, \quad (\text{B.10})$$

и если звезда находится в верхней кульминации, то $t = 0$, $s = \alpha$:

в любой момент звездное время равно прямому восхождению звезды, которая в этот момент находится в верхней кульминации.

Об использовании звездного времени s и его связи с солнечным временем см. также в § 18.

Каталоги. В окружающем нас звездном и галактическом мире встречаются самые разнообразные объекты — нестационарные и двойные звезды, рассеянные и шаровые скопления, взаимодействующие галактики, квазары и др. Чтобы навести и поддерживать определенный порядок во все возрастающем потоке информации, астрономы уже давно проводят своеобразную «инвентаризацию» объектов неба и составляют каталоги (списки) их «по профилю». Едва ли не первый каталог звезд был составлен Гиппархом (II в. до н. э.). Одним из наиболее известных является каталог французского астронома Шарля Мессье (1730—1817), в котором насчитывается 109 объектов — туманностей, звездных скоплений и галактик, «мешавших» его поискам комет. В частности, известная галактика из созвездия Андромеды имеет в этом каталоге номер 31, поэтому ее обозначают как объект М 31 (читается «Мессье 31»).

Часто используется также нумерация по «Новому генеральному каталогу туманностей и звездных скоплений» (сокращенное обозначение NGC), составленному в 1888 г. английским астрономом Йоханном Дрейером (1852—1926). Упомянутая выше галактика М 31 имеет в нем номер 224 (говорится «объект NGC 224»).

Упомянем еще, что обозначение 3С означает «Третий Кембриджский каталог радиисточников», VV — каталог взаимодействующих галактик, составленный Б. А. Воронцовым-Вельяминовым, FSR — каталог пульсаров.

В заключение полезно отметить следующее: собственные названия звезд, о которых речь будет идти ниже, «пришли» к нам из немецкого языка. Так, для нас стали привычными названия Мицар, Мегрец, Альферац и др. Между тем у англоязычных народов те же названия читаются иначе: Мизар, Мегрез, Альфераз, что ближе к их исходному арабскому звучанию.

ВСЕЛЕННАЯ ВОКРУГ НАС

Радость видеть и понимать
есть самый прекрасный дар природы.

Альберт Эйнштейн

Здесь мы познакомимся с общей картиной строения и эволюции Вселенной и ее отдельных частей. Мы убедимся, сколь прав был Камилл Фламмарин, когда говорил: «Астрономия — это основа общего образования. Изучение ее не только не представляет никаких трудностей, но наоборот, доставляет удовольствие, которое все увеличивается, по мере того как мы ближе знакомимся с чудесами мироздания... Наука о звездах и планетах... воочию показывает, что без нее человек никогда не знал бы, какое место он занимает во Вселенной; поэтому изучение ее, даже в элементарном виде, необходимо для каждого, кто хочет считать себя образованным человеком».

Но все начинается с первого шага. В данном случае — с изучения общего вида звездного неба, созвездий, отдельных наиболее примечательных объектов небосвода.

1. КОСМИЧЕСКАЯ СЦЕНА

В своей совокупности звезды (объединенные в созвездия) образуют фон — сцену, на которой время от времени разыгрываются интересные и даже, в недалеком прошлом, казавшиеся страшными явления: затмения Солнца (а тогда на небе видны ярчайшие звезды) и Луны, «звездные дожди», полеты метеоров и просто «блуждания» нескольких светил — *планет*, а иногда и появление «звезды-гости»... Мы знаем, что древним людям все это казалось предзнаменованием грядущих событий. Вот как написано в одном китайском трактате: «Если в течение одного сезона [Меркурий] не появляется, в это время не будет мира; если же все четыре сезона года [Меркурий] не появляется, в Поднебесной случится большой голод»...

Посочувствуем же древним людям и приступим к изучению отдельных созвездий и их наиболее ярких звезд.

Окрестности северного полюса мира. В близком соседстве с Северным полюсом мира находятся созвездия Большой Медведицы, Малой Медведицы, Дракона, Кассиопеи, Цефея, Жирафа и Рыси. Они, если так можно высказаться, несут круглосуточную вахту, не скрываясь за горизонт (для жителей северного полушария Земли примерно от 50° с. ш.). Однако условия для их наблюдений на протяжении года изменяются. Это обусловлено годичным перемещением Солнца по эклиптике.

Обычно изучение звездного неба начинается с поиска **Большой Медведицы** (рис. 11). При этом часто забывают, что ее семь ярких звезд — всего лишь часть этого крупнейшего (второго после Гидры) созвездия. Но уже требуется некоторая фантазия, чтобы во всех остальных, более слабых звездах увидеть фигуру гигантского медведя (рис. 12).

Древнегреческая легенда рассказывает, что Большая Медведица — это дочь Ликаона, правившего Аркадией (горная область в центре Пелопоннесского полуострова). Полюбил ее верховный бог древних греков Зевс, и родила она ему сына Аркада. Но жестокая и ревнивая Гера, супруга Зевса, превратила ее в Медведицу. И пока несчастная мать бродила лесами, сын ее вырос и стал отличным охотником. Однажды, увидев медведицу, Аркад вознамерился убить ее. Но тут своевременно подоспел посланец Зевса и поднял их обоих на небо. Аркад был пастухом (Волопасом), и это созвездие находится рядом с Большой Медведицей. О нем речь пойдет несколько позже.

У многих народов мира семь ярких звезд Большой Медведицы именуются Ковшом с Ручкой или Большим Возом. Положение Воза относительно горизонта на определенный момент времени на протяжении года постепенно меняется (рис. 13). Это, кстати, позволяло нашим далеким предкам определять время по положению Ковша и Ручки, в чем легко убедиться, построив так называемые полярные часы (см. § 18).

Список собственных названий наиболее ярких звезд в каждом созвездии дан в конце этой книги

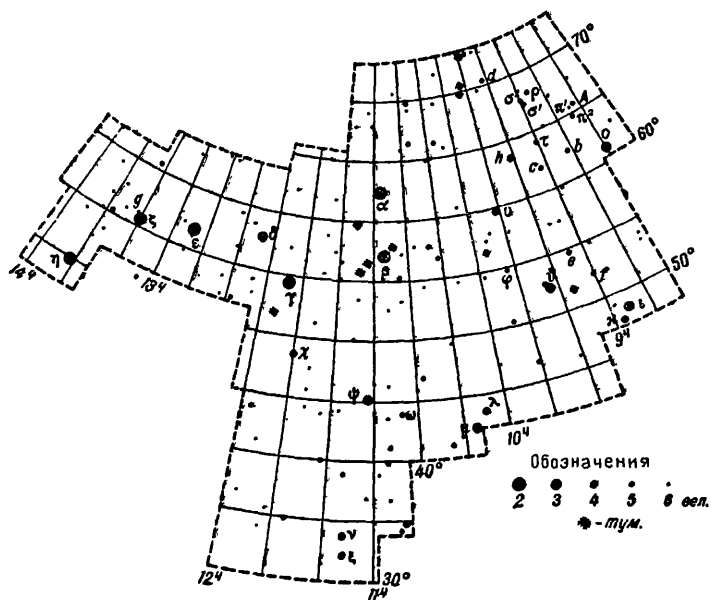


Рис. 11. Созвездие Большой Медведицы

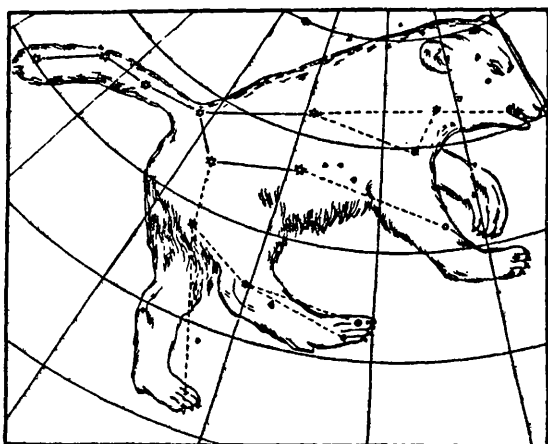


Рис. 12. Изображение созвездия Большой Медведицы в старинном атласе

(см. табл. 21). Здесь, однако, упомянем, что семь звезд Ковша Большой Медведицы имеют следующие названия (в скобках указаны их видимые звездные величины): α — Дубхе ($1,8^m$), β — Мерак ($2,4^m$), γ — Фекда ($2,4^m$), δ — Мегрец ($3,3^m$), ε — Алиот ($1,8^m$), ζ — Мицар ($2,1^m$) и η — Бенетнаш ($1,9^m$).

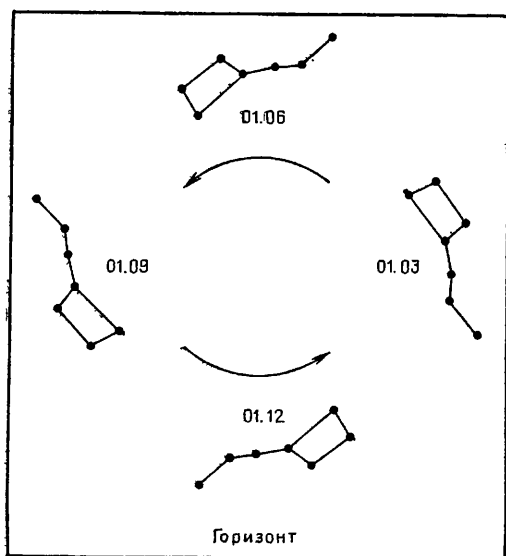


Рис. 13. Положение ковша Большой Медведицы (Большого Вяза) относительно горизонта в 20 часов местного времени в начале осени, зимы, весны и лета

Посмотрим теперь, вокруг чего же вращается это созвездие, а с ним и весь небосвод. Проведем через две крайние звезды Ковша (через «задние колеса» и «край» Вяза) воображаемую прямую линию. Отложив на ней пять отрезков, равных расстоянию между звездами α и β , находим положение *северного полюса мира* недалеко (на расстоянии примерно в полтора угловых диаметра Луны) от звезды α *Малой Медведицы* (рис. 14). Ее название — Полярная ($2,0^m$) — и происходит, по-видимому, от греческого «полео» — вращаюсь.

По одной из легенд, Малая Медведица — это служанка, сопровождавшая Каллисто в ее скитаниях.

Возле созвездий Большой и Малой Медведиц протянулась цепочка звезд созвездия Дракона (рис. 15). Упомянем, что примерно за 2700 лет до н. э. звезда α Дракона играла роль Полярной звезды. Почему это так, будет рассказано ниже.

А теперь проведем воображаемую прямую линию от звезды Мицар через Полярную на такое же расстояние. Здесь мы видим группу из пяти ярких звезд, образующих как бы букву *W* латинского алфавита.

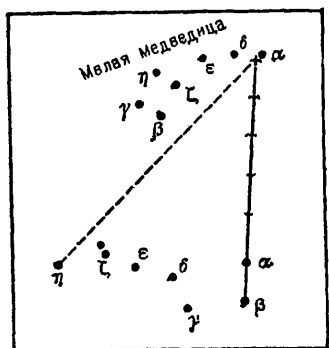


Рис. 14. Положение Северного полюса мира среди звезд

Это созвездие **Кассиопеи**. Самая яркая его звезда α называется Шедар ($2,2^m$), звезда β ($2,3^m$) — Каф, звезда δ ($2,7^m$) — Рукба. Не плохо бы запомнить, что от Полярной через звезду Каф проходит направление на точку весеннего равноденствия Υ .

Между созвездиями Дракона и Кассиопеи находится созвездие **Цефея**. Пять его самых ярких звезд образуют как бы небольшой домик, крыша которого «тянется» к Полярной. Ниж-

ний левый угол «домика» заняла звезда δ — переменная, ставшая типичным представителем около 700 *пульсирующих переменных звезд* — *цефеид*.

Согласно легенде, дракон Ладон на краю Земли, где титан Атлас держал на своих плечах небосвод, стерег яблоню с золотыми яблоками. Совершая свой одиннадцатый подвиг, Геракл (Геркулес) достиг этого края Земли, и Атлас, усыпив дракона, сорвал яблоко для него, пока Геракл поддерживал небесную сферу.

Цефей и Кассиопея — это царь и царица Эфиопии. Кассиопея будто бы однажды похвасталась, что она красивее не только всех женщин мира, но и nereid — дочерей морского бога Нереея. В наказание за это боги наслали на Эфиопию страшное морское чудовище — Кита, которое выходило на берег и пожирало людей и животных. Оракул возвестил, что спасти страну можно, лишь отдав на съедение страшилищу юную царскую дочь Андромеду. И бедную девушку

приковали к скале. Спас ее Персей, пролетающий как раз мимо на крылатом коне Пегасе (об этих созвездиях речь ниже). Но Кассиопея не хотела дать Андромеду в жены Персею, и за это боги поместили привередливую царицу в ковш, который каждые сутки переворачивается вверх дном. Такие «трюки» должны были научить ее скромности...

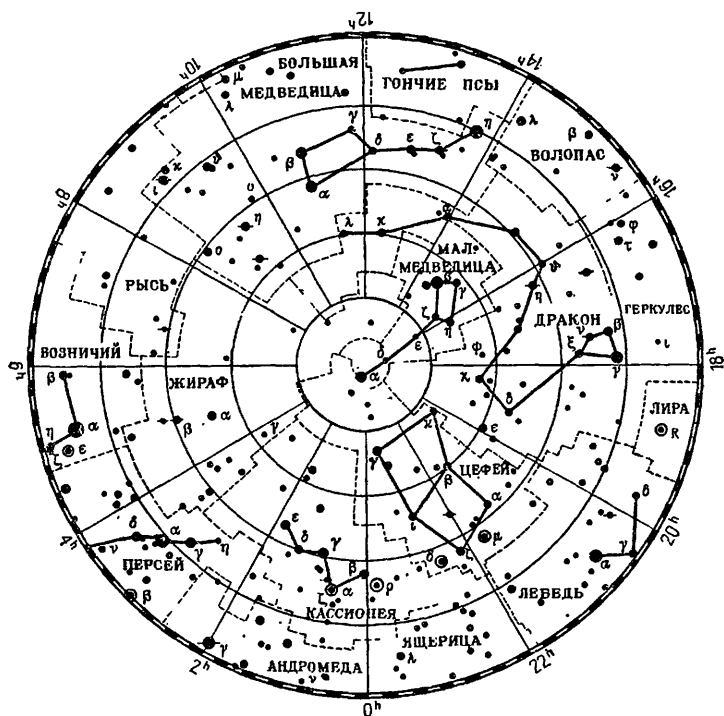


Рис. 15. Околополярные созвездия

От «головы» Большой Медведицы до Кассиопеи протянулось созвездие **Жирафа**, под ним — **Рыси**. Но нужно и в самом деле иметь «рысьи глаза» (как говорил польский астроном Ян Гевелий), чтобы увидеть здесь хотя бы десяток звезд...

Осеннее небо. Понятно, что если осматривать небо с вечера до утра (особенно зимой), то на нем на протяжении одной ночи можно увидеть почти все созвездия, которые в принципе видны на данной географической широте. Мы, однако, будем говорить

о созвездиях «осеннего», «зимнего» и т. д. неба. Это значит, что в каждом конкретном случае речь идет о тех из них, которые можно увидеть в южной части неба около 20 часов по местному времени на начало соответствующего сезона, например 1 сентября в 20 часов и т. д.

Условия видимости отдельных созвездий в зависимости от времени суток для всех сезонов на географической широте $\varphi \approx 50^\circ$ ясны из рис. 16, 18, 20 и 22. Для дальнейшего изучения взаимного расположения созвездий следует воспользоваться также картами звездного неба, помещенными на форзацах (на внутренней стороне переплета).

Итак, отыскав на небе созвездие Большой Медведицы, передвигаемся от ее «хвоста» влево. Прямо на западе в виде раскрытого парашюта раскинулось созвездие **Волопаса** с его ярчайшей звездой Арктуром (от греческого «арктос» — медведь и «урос» — сторож). Согласно легенде, это — уже упоминавшийся сын Каллисто Аркад.

К востоку (слева) от Волопаса — полукруг серебряных звездочек. Это **Северная Корона**. Ее будто бы подарил своей супруге Ариадне бог Дионис, а после свадьбы этот подарок был помещен на небо.

В юго-западной части неба, почти у зенита расположилось созвездие **Геркулеса** (Геракла) — как бы две цепочки протянувшихся к горизонту звезд. На древних картах здесь изображали фигуру человека, склонившегося на колено. Легенда рассказывает, что однажды Геракл, этот самый популярный герой древнегреческой мифологии, в битве с врагами растратил все свои стрелы. Тогда его отец Зевс послал на Землю каменный дождь, этими камнями Геракл и победил врагов. На небе якобы герой «изображен» в момент, когда он склонившись подбирает камень.

Имя Геракла глубоко символично. Ведь смыслом его жизни было дать земле мир и покой, уничтожить жестоких чудовищ, которые приносили людям горе (рис. 17). О некоторых из них мы упомянем ниже. Здесь вспомним лишь басню Эзопа. Когда Геракл появился на Олимпе, то дружески приветствовал всех богов, кроме Плутона — бога богатства. Удивленному Зевсу Геракл объяснил это так: «Я отвернулся от него с презрением, так как, когда мы оба жили на Земле, я почти всегда видел его около злых людей»...

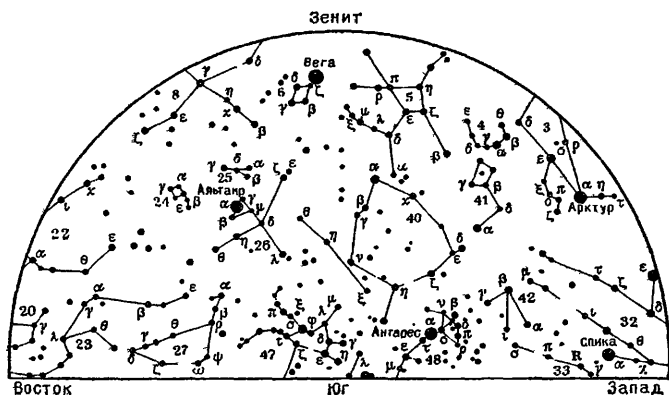
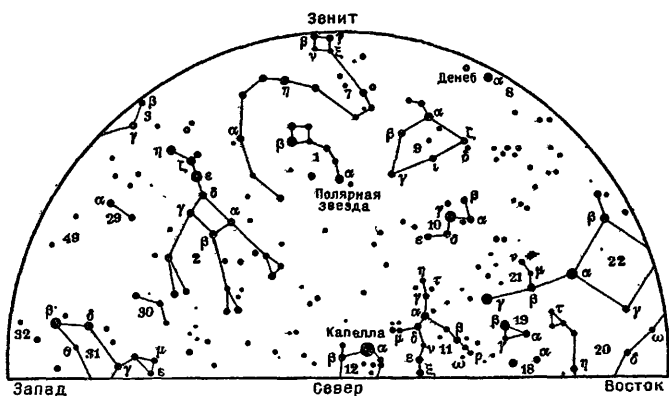


Рис. 16. Положение звезд на северном (вверху) и на южном небосклоне (по местному времени): 10 августа в 21 ч, 25 августа в 20 ч, 10 сентября в 19 ч, 25 апреля в 4 ч. Созвездия северной части небосклона: 1—Малая Медведица, 2—Большая Медведица, 3—Волопас, 7—Дракон, 8—Лебедь, 9—Цефей, 10—Кассиопея, 11—Персей, 12—Возничий, 18—Овен, 19—Треугольник, 21—Андромеда, 22—Пегас, 29—Гонимые Псы, 30—Рыбы, 31—Малый Лев, 32—Лев, 33—Дева, 49—Волосы Вероники. Созвездия южной части небосклона: 3—Волопас, 4—Северная Корона, 5—Геркулес, 6—Лиры, 8—Лебедь, 20—Рыбы, 22—Пегас, 23—Водолей, 24—Дельфин, 25—Стрела, 26—Орел, 27—Козерог, 32—Дева, 33—Гидра, 40—Змееносец, 41—Змея, 42—Весы, 47—Стрелец, 48—Скорпион

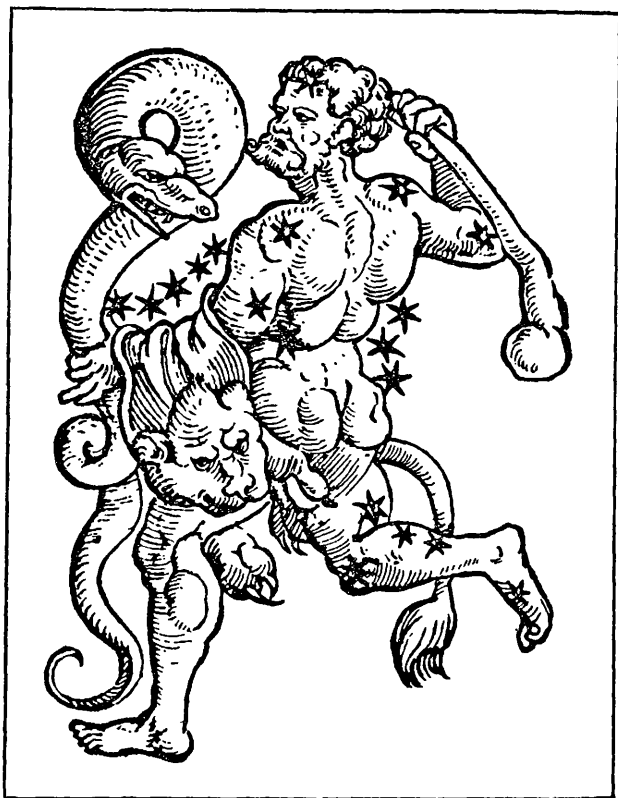


Рис. 17. Изображение Геракла в звездном атласе Гигиния (XVII в.)

Прямо в южной части неба, недалеко от зенита видим созвездие **Лиры**: четыре относительно слабые звездочки образуют почти идеальный параллелограмм, рядом с которым находится ярчайшая звезда северного полушария неба — Вега (точнее, она здесь вторая по яркости после Арктура, однако из-за красноватого цвета последнего Вега кажется более яркой). Тут же, ближе к востоку — красивейшее созвездие осеннего неба — **Лебедь**, протянувшееся в виде исполинского креста. На картах здесь изображали летящую на юг птицу (оба созвездия см. на рис. 22).

По одной из легенд, Лебедь — это Кикн, сын бога войны Ареса, который защищал Трою и был побеж-

ден Ахиллом в рукопашном бою. Греки считали лебедя воинственной птицей, вступавшей в бой даже с орлом. Лира будто бы изображает музыкальный инструмент бога Аполлона, который он изготовил себе, натянув струны на панцирь черепахи.

В «среднем ярусе» созвездий прямо на востоке — **Пегас** с его красивым Квадратом (рис. 16 и 18). Передвигаясь теперь к западу, последовательно находим изящный ромбик — созвездие **Дельфина**, далее — созвездие **Орла** с его наиболее яркой звездой Альтаир ($0,8^m$). Между созвездиями Орла и Лебеда расположены созвездия **Стрелы** и **Лисички**. Искать их следует, сопоставляя небо с картой.

Пегас — это конь, выскочивший из тела горгоны Медузы после того, как Персей отрубил ей голову. Пегас — символ поэтического вдохновения. «Оседлать Пегаса» — в переносном смысле значит стать поэтом. По одной из легенд, дельфин указал богу морей Посейдону убежище дочери Нереея Амфитриты, куда она скрылась, отказываясь стать супругой Посейдона. Орел в греческой мифологии — посланец отца богов Зевса. Появление Орла на небе связывают с Прометеем. Титан Прометей похитил огонь с Олимпа, принес его людям, научил их письму, зодчеству. Разгневанный Зевс велел приковать Прометея к кавказской скале и пробить ему грудь копьем. Каждое утро прилетал большой орел и клевал печень титана, которая за ночь заживала вновь. Тысячелетиями продолжались муки Прометея, пока, наконец, Геракл стрелой из лука не убил орла и не освободил титана. Эта стрела и находится рядом с Орлом.

Долгое время в южной части созвездия Орла выделяли отдельно созвездие Антиноя. Это был юноша необыкновенной красоты, любимец римского императора Адриана. Когда в 131 г. н. э. Антиной утонул в Ниле, император горько оплакивал его и заложил в честь Антиноя город. Упомянутое же соединение двух созвездий должно было означать, что Антиной орел поднял на небо, где он будто бы подносит олимпийцам амброзию — напиток бессмертных богов.

Справа от созвездия Орла под созвездием Геркулеса находятся созвездия **Змееносца** и **Змеи** (рис. 16). «Голова» Змеи дотянулась до Северной Короны, тогда как ее хвост — до западной границы созвездия Орла. Согласно легенде, Змееносец — это Асклепий

(латинское — Эскулап), сын Аполлона и смертной женщины Корониды. Аполлон отдал его на воспитание кентавру Хирону, научившему Асклепия искусству врачевания. От богини Афины Асклепий будто бы получил кровь, истекавшую из горгоны, причем та, которая исходила из левой части тела, приносила людям смерть, а истекавшая из правой части — давала им жизнь. Ею Асклепий воскрешал мертвых, за что Зевс убил его молнией. Когда об этом узнал Аполлон, то удалился в страну гипербореев оплакивать сына. Золотые слезы бога, попадая в море, образовывали янтарь, греческое название которого — электрон, т. е. «солнечный камень».

По другой легенде, Асклепий получил траву, которой он мог воскрешать мертвых, от Змея. И здесь уместно вспомнить «Эпос о Гильгамеше» (шумерском царе XXVII в. до н. э.), в котором змея, наоборот, украла чудодейственный цветок, который Гильгамеш будто бы нашел в глубинах океана. Этим цветком человек обеспечил бы себе бессмертие. Однако, когда усталый Гильгамеш, возвращаясь домой, остановился, чтобы отдохнуть, «змея, почуяв аромат цветка, поднялась из укрытия, украла цветок и, возвращаясь назад, сбросила кожу...» Иначе говоря, змея украла у человека бессмертие: по представлениям древних, она, меняя кожу, живет вечно.

Кстати, у древних римлян Змея была символом времени. На многих изображениях она проглатывает свой хвост, что символизирует повторение циклов. Известно, что и греки, и римляне ожидали повторного золотого века. Мол, повторяются же дни, фазы Луны и сезоны года!..

Пройдемся теперь обратно от запада к востоку вдоль горизонта. Перед нами пройдет половина, шесть из двенадцати, зодиакальных созвездий — тех созвездий, по которым Солнце совершает свой видимый годичный путь на небе. На западе — созвездие **Девы** с ярчайшей звездой Спикой (1,0^m), ближе к востоку — созвездие **Весов**, далее — **Скорпиона**, **Стрельца** (это созвездие в указанное время находится прямо на юге), слева от него — созвездие **Козерога** и еще левее — **Водолея**. Зодиакальные созвездия принято обозначать соответствующими знаками («знаками Зодиака»), табличка которых приведена в конце книги.

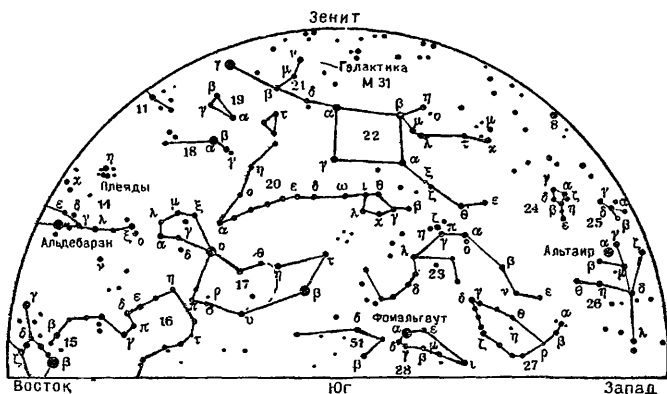
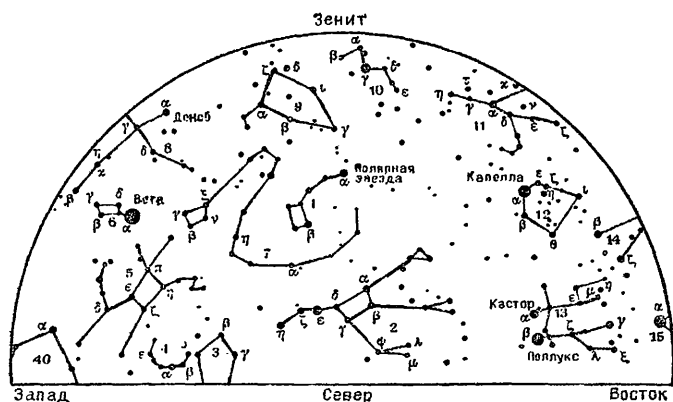


Рис. 18. Положение звезд на северном (вверху) и на южном небосклоне (по местному времени): 5 ноября в 21 ч, 20 ноября в 20 ч, 5 декабря в 19 ч, 20 декабря в 18 ч, 5 августа в 3 ч. Созвездия северной части небосклона: 1—Малая Медведица, 2—Большая Медведица, 3—Волопас, 4—Северная Корона, 5—Геркулес, 6—Лири, 7—Дракон, 8—Лебедь, 9—Цефей, 10—Кассиопея, 11—Персей, 12—Возничий, 13—Близнецы, 14—Телец, 15—Орион, 40—Змееносец. Созвездия южной части небосклона: 8—Лебедь, 11—Персей, 14—Телец, 15—Орион, 16—Эридан, 17—Кит, 18—Овен, 19—Треугольник, 20—Рыбы, 21—Андромеда, 22—Пегас, 23—Водолей, 24—Дельфин, 25—Стрела, 26—Орел, 27—Козерог, 28—Южная Рыба, 51—Скульптор

А вот легенды об этих созвездиях. На протяжении многих столетий появление созвездия Девы на вечернем небе совпадало с жатвой. Оно и стало эмблемой жатвы. На картах Деву изображали с колосом в руке. «Спика» в переводе и означает «колос». Вероятно, раньше Деву изображали со снопом, но со временем на место снопа «установили» созвездие Волос Вероники. Древние поэты считали, что Дева — это богиня справедливости Дике, которая последней в конце «золотого века» оставила Землю. По другой легенде, Дева — это Афина (римское — Минерва) — богиня плодородия и мирного труда. Она будто бы научила людей укрощать коней и волов, делать телеги и строить корабли. Она дала людям соху и борону, веретено и ткацкий станок. Афина — покровительница наук и богиня мудрости. Ее изображали в виде суровой и величественной девы, у ног которой сидит ее священная птица — сова. Праздник Минервы в Риме (квинкватрии) отмечался в марте. Его праздновали ремесленники и учителя, которые тогда получали плату за обучение детей.

Некоторые легенды утверждают, что Дева — это Сивилла, легендарная женщина-пророчица, с пальмовой ветвью в руке спускающаяся в ад (это символично, так как через созвездие Девы Солнце переходит в южное полушарие неба). Как известно, так называемые сивиллины книги (сборники высказываний легендарной Сивиллы) хранились в римских храмах и охранялись специальными жрецами. По требованию римского сената жрецы открывали книги и «узнавали» из них, будет ли успешным то или иное задуманное мероприятие.

Весы держит в руке богиня справедливости Дике. Созвездие Скорпиона олицетворяет собой животное, от жала которого по велению богини охоты умер охотник Орион. Этот скорпион напугал коней, запряженных в колесницу бога Солнца Гелиоса, когда ею управлял его сын Фазтон. Колесница сбилась с пути, и кони помчали ее слишком близко к Земле, на которой от страшного жара начали пересыхать реки и гореть леса. Зевс поразил Фазтона молнией, и он упал в реку Эридан.

Стрелец — это кентавр Хирон, единственный из кентавров, бывший справедливым, мудрым и доброжелательным к людям. Он был учителем почти всех

древнегреческих героев и другом Геракла. Во время охоты Геракл случайно ранил Хирона отравленной стрелой. Претерпевая тяжелые муки, Хирон пожелал смерти и передал свое бессмертие Прометею.

Созвездие Козерога олицетворяет бога Пана, покровителя пастухов и охотников, пасечников и рыбаков, которого греки изображали с человеческой головой и на козлиных ногах. Существовало поверье, будто бы Пан своим криком сеет в стане врагов панику и обращает их в бегство.

И, наконец, созвездие Водолея — это будто бы Девкалион, сын Прометея, царь фессалийского города Фтия. Когда Зевс однажды решил уничтожить людей за их несправедную жизнь, Девкалион по совету отца построил корабль, на котором и спасся вместе со своей женой Пиррой. На девятый день корабль остановился около горы Парнас. Здесь Девкалион принес жертву Зевсу и узнал от его посланца Гермеса, что для возрождения человеческого рода им следует бросить через плечо кости матери. Девкалион понял, что речь идет о камнях. И в самом деле, брошенные им камни превращались в мужчин, те же, которые бросала Пирра, — в женщин.

Зимнее небо. Начнем «путешествие» 1 декабря в 19 часов местного времени (это около 20 часов декретного времени). В северной части неба Большая Медведица чуточку как бы приподнимается на задних ногах, а ее хвост опускается влево вниз (рис. 18). Но мы сосредоточиваем свое внимание на южной части небосклона и мысленно пройдемся по нему с востока к западу «по самому верхнему ярусу», потом обратно «по среднему ярусу» и вернемся на запад уже вдоль горизонта.

Высоко над восточной частью горизонта в виде перевернутой буквы У протянулось созвездие **Персея** (рис. 19). Справа от него, ближе к зениту — **Андромеда**. Находящаяся здесь знаменитая галактика из созвездия Андромеды буквально тянется к зениту. И прямо перед нами в южной части неба красуется **Квадрат Пегаса**.

Со всеми этими «действующими лицами» мы уже немного знакомы. Напомним лишь, что Персей — внук царя древнегреческого города Аргоса Акрисия, которому Оракул однажды возвестил, что его ждет гибель от руки собственного внука. После этого



Рис. 19. Изображение Персея из находящейся в Каире рукописи арабского астронома X в. Абд ар-Рахмана ас-Суфи

Акрисий заточил свою единственную дочь Данаю в подземелье. Однако Зевс проник туда в виде золотого дождя, и у Данаи родился сын Персей. Когда царь узнал о рождении внука, он заключил мать и сына в деревянный ящик и пустил его в море. Ящик прибило к острову Серифу. Персей быстро мужал. Когда царь этого острова Полидект стал преследовать Данаю, решив взять ее себе в жены, Персей встал на защиту своей матери. Тогда-то царь и послал его на крайне опасный подвиг — принести голову Медузы, одной из трех Горгон. Жили они на крайнем западе, по ту сторону океана. Взгляд их обращал живые существа в камень, вместо волос на их головах шевелились змеи. С помощью богов, передавших ему крылатые сандалии, мешок, шлем-невидимку, меч и отполированный до зеркального блеска щит,

Персей достиг цели, отрубил голову Медузы и благополучно возвращался домой. По пути он спас Андромеду и женился на ней. Приняв участие в спортивных состязаниях, герой бросил диск слишком сильно. Диск упал на голову одному из зрителей. Увы, это был его дед...

В юго-западной части неба хорошо видны уже известные нам созвездия Орла и Водолея. Под Квадратом Пегаса протянулась цепочка слабых звезд, которая на юго-востоке резко поднимается вверх к созвездию Андромеды. Это созвездие **Рыб**, а слева от них — созвездие **Овна**, оба зодиакальные. В созвездии Рыб, чуть ниже звезды ω находится в наше время точка весеннего равноденствия, которая обозначается... знаком Овна γ .

По одной из легенд Зевс некогда вел тяжелую борьбу за власть с Тифоном — чудовищем с сотней змеиных голов, из ртов которых извергалось пламя. Боги не устояли перед нападением Тифона на Олимп и убежали в Египет, где приобрели вид различных животных. Дочь Зевса, богиня любви и красоты Афродита и ее сын Эрот бросились в реку Евфрат. Так появились на небе «Рыбы».

Овен — это золоторунный баран, с которым связана такая легенда. Богиня облаков Нефела горячо полюбила царя Беотии Афаманта и родила ему двоих детей — Фрикса и Геллу. Со временем Афамант женился на дочери Кадма (основателя Фив) Ино, которая возненавидела детей Нефелы и при помощи колдовства вызвала в стране засуху. После этого она стала добиваться того, чтобы Фрикса и Геллу принесли в жертву богам. Нефела спасла своих детей, закутав их в облака. На золоторунном баране дети убежали из Европы в Азию, но по пути Гелла упала в пролив, который греки называли ее именем: море Геллы — Геллеспонт. Сейчас это Дарданеллы. Фрикс добрался до Колхиды, где принес золоторунного барана в жертву Зевсу. Позже шерсть барана — золотое руно — вернули в Грецию смелые аргонавты, путешествовавшие в Колхиду на корабле «Арго».

На нижнем ярусе в восточной части небосклона красуется созвездие **Тельца** с его эффектной компактной группой звезд — скоплением Плеяды. Это зодиакальное созвездие. Справа от него и ниже созвездия Рыб находится созвездие **Кита**, по соседству

с которым слева у самого горизонта протянулась цепочка звезд Эридана, а справа созвездия Скульптора и Южной Рыбы.

В виде Быка (Тельца) древние греки чествовали Зевса. Легенда рассказывает, что Зевс превратился в быка, чтобы похитить финикийскую царевну Европу в то время, когда она с подругами играла на берегу моря. Затем он переплыл с нею на остров Крит. Плеяды — семь дочерей титана Атланта, которых будто бы преследует Орион. Боги превратили их сначала в голубей, потом — в звезды. Голову быка «образует» другое рассеянное скопление — Гиады. По легенде, гиады — это нимфы, которые воспитали бога Диониса, что весьма символично: Бог вина вскормлен нимфами дождя. Легенда рассказывает, что Семела, дочь фиванского царя Кадма, полюбила Зевса и однажды пожелала увидеть его во всем величии. Зевс долго убеждал ее не требовать этого, но безуспешно. И когда он прибыл к ней на колеснице, с молниями и громами, Семела сильно испугалась и родила шестимесячного ребенка — Диониса, которого Зевс зашил себе в бедро. После того как Дионис пробыл там положенных еще три месяца, он был передан на воспитание Гиадам.

Весеннее небо. Сегодня 1 марта, 19 часов местного времени (часы показывают примерно 20 часов декретного, строго это будет лишь на географическом меридиане, проходящем через середину пояса). Взглянув на северную часть небосклона, замечаем, что Большая Медведица, «задрав голову вверх, опустила хвост к горизонту». В южной части небосвода у самого зенита красуется созвездие **Возничего** с его наиболее яркой звездой Капеллой (рис. 20).

С созвездием Возничего связано много легенд. Вот одна из них. Царь города Писа Еномай, отличавшийся превосходным умением править колесницей, был извещен оракулом, что погибнет от руки жениха своей дочери Гипподамии. Поэтому он решил отдать свою дочь в жены тому, кто победит его в соревновании на колеснице. Но если соревнование выигрывал Еномай, то, по условию, побежденного ожидала смерть. Так Еномай у храма своего отца бога Ареса положил головы тринадцати претендентов... Вызов Еномая принял другой царь — Пеллопс. Он подкупил богатыми подарками возничего Еномая Миртилла,

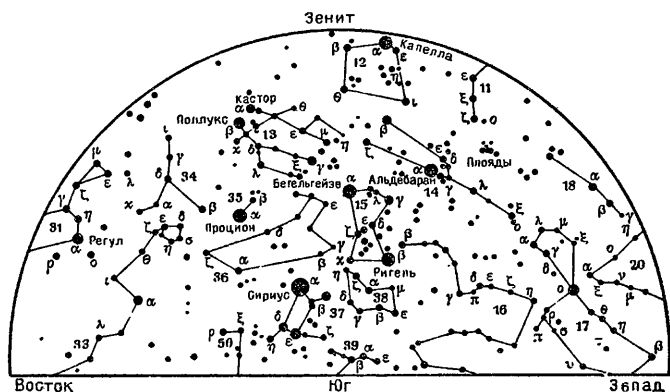
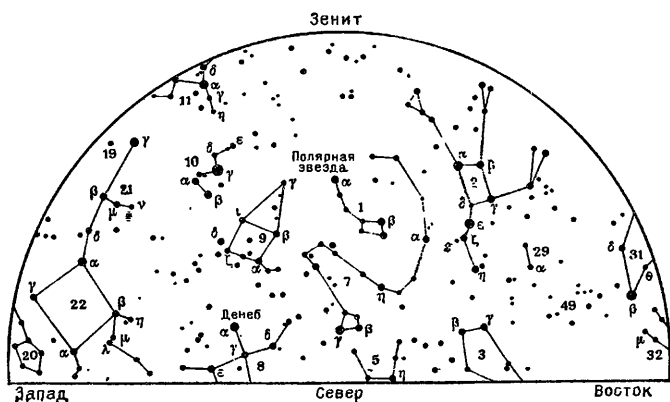


Рис. 20. Положение звезд на северном (вверху) и на южном небосклоне (по местному времени); 20 января в 22 ч, 5 февраля в 21 ч, 20 февраля в 20 ч, 5 марта в 19 ч, 20 октября в 4 ч. Созвездия северной части небосклона: 1 — Малая Медведица, 2 — Большая Медведица, 3 — Волопас, 5 — Геркулес, 7 — Дракон, 8 — Лебедь, 9 — Цефей, 10 — Кассиопея, 11 — Персей, 19 — Треугольник, 20 — Рыбы, 21 — Андромеда, 22 — Пегас, 29 — Гонимые Псы, 30 — Малый Лев, 31 — Лев, 32 — Дева, 49 — Волосы Вероники. Созвездия южной части небосклона: 11 — Персей, 12 — Возничий, 13 — Близнецы, 14 — Телец, 15 — Орион, 16 — Эридан, 17 — Кит, 18 — Овен, 20 — Рыбы, 31 — Лев, 33 — Гидра, 34 — Рак, 35 — Малый Пес, 36 — Единорог, 37 — Большой Пес, 38 — Заяц, 39 — Голубь, 50 — Корма

тот вынул из колесницы Еномая бронзовую чеку и вместо нее вставил восковую. Пеллопс победил и женился на Гипподамии, а Миртилла коварно сбросил в море, чем вызвал на себя гнев богов. Отец Миртиллы бог Гермес взял сына на небо. В древних атласах Возничего изображали с козой на плечах. Согласно одной из легенд, это коза Амалфея, молоком которой был вскормлен Зевс.

Созвездия, которые видны в западной части неба, уже нам известны. Это, в частности, Овен, слева от которого на юго-западе виден Телец. Передвигаясь мысленно от него к востоку, находим очередное зодиакальное созвездие — **Близнецы**. Левее Близнецов расположены еще два зодиакальных созвездия — **Рак** и (прямо на востоке) **Лев** с ярчайшей его звездой Регул ($1,4^m$). Солнце проходит около этой звезды 22 августа.

Близнецы, согласно древнегреческой легенде, — это Кастор и Полидевк (Поллукс) — два брата, нежно любившие друг друга, второй, однако, был сыном Зевса и, следовательно, бессмертным. Когда Кастор погиб в битве, Полидевк не захотел жить без него и просил Зевса послать ему смерть. Зевс и поднял их обоих на небо. Общее название братьев — **Диоскуры**, что означает «юноши Бога» (диос — по-гречески, бог). В Греции и Италии Диоскуров чествовали как покровителей гостеприимства. Существовало поверье, будто они укрощают бури на море, являясь на верхушках мачт кораблей в виде языков пламени. А вот на древних китайских и японских картах звездного неба на месте Близнецов рисовали бабочек, которые для японцев являются символом верности.

Рак будто бы вцепился своими клешнями в ногу Геракла, когда тот боролся с Гидрой, жившей вблизи города Лерны и пожиравшей людей и животных.

В центре созвездия Рака есть хорошо заметное невооруженным глазом туманное пятнышко — звездное скопление Ясли. Философ Платон высказал мысль, что это — отверстие в «тверди небес», через которое на Землю спускаются души новорожденных младенцев...

Лев же, согласно легенде, жил вблизи города Немей («Немейский лев») и опустошал окрестности. Убить его никому не удавалось, так как его кожа была твердой, как сталь. Совершая свой первый из

двенадцати подвигов, Геракл оглушил зверя дубинкой и задушил руками.

Украшением звездного неба является несомненно созвездие **Ориона**. Не вечернем небе оно появляется с конца ноября и в середине ночи красуется в его южной части всю зиму. К весне оно восходит задолго до заката Солнца и, как только стемнеет, уже видно в юго-западной части небосвода. Орион — охотник, и его на небе сопровождают **Большой Пес** (слева внизу) и **Малый Пес** (слева вверху). Впрочем, Малый Пес отделен от «своего хозяина» Единорогом. «Из-под ног» Ориона «выскакивает» **Заяц**, еще ниже — «стремится спрятаться за горизонтом» **Голубь**. «У ног» Большого Пса — созвездие **Кормы**, за которой — созвездие **Парусов**. Это части существовавшего ранее созвездия Корабля Арго. Длинной цепочкой слабых звезд между созвездиями Ориона и Кита протянулось созвездие **Эридана**. На юго-востоке же у границы созвездия Рака расположилась голова **Гидры** — самого крупного по площади созвездия (рис. 21).

По одной из легенд Орион — сын бога морей Посейдона, гигант, страстный охотник, убивавший всех зверей без исключения. За это Артемида, покровительница животных, убила Ориона, наслав на него Скорпиона. Впрочем, на небе эти два «действующих лица» играют между собой в прятки: не успевает Скорпион появиться над горизонтом, как Орион скрывается за ним в противоположной части небосвода.

По представлениям древних греков, Эридан — легендарная река, текущая в стране далекого севера, где Солнце будто бы заходит всего лишь один раз в году, где земля ежегодно дает два урожая и где люди умеют летать...

Согласно другой легенде, мастера, строившего корабль Ясону для его путешествия в Колхиду за золотым руном, звали Аргос, отсюда и название «корабль Арго». При постройке корабля мастер будто бы использовал материал из священного дуба Зевса, поэтому корабль мог разговаривать и давать путешественникам советы.

А вот какую удивительную историю рассказывали о Единороге лет 700 назад. Это ужасный зверь, однако если перед ним стоит красивая девушка, то единорог, забывая о своей кровожадности, кладет ей

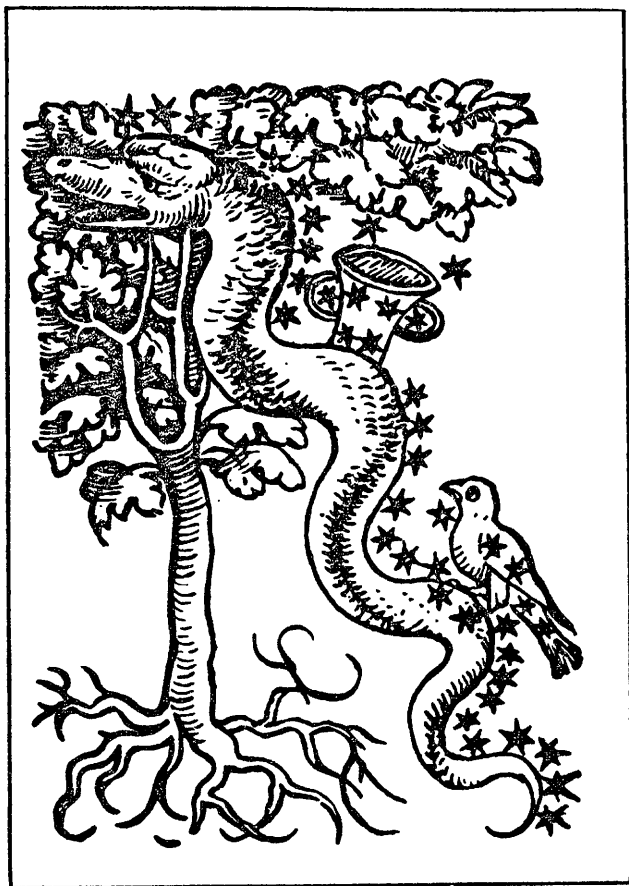


Рис. 21. Изображение Гидры, Чаши и Ворона в звездном атласе Гигиния

голову на грудь и засыпает. И тогда с ним можно делать все что угодно.

Летнее небо. И вот годичный цикл ритмичной смены созвездий в южной части неба замкнулся (рис. 22). 1 июня на географической широте 50° Солнце заходит в 20 часов местного времени и к 21-му часу (около 23 часов летнего времени) мы уже различаем на небе наиболее яркие звезды каждого из созвездий. В зените — Ручка Ковша Большой Медведицы, к югу от нее — Гончие Псы и еще ниже, между Волопасом

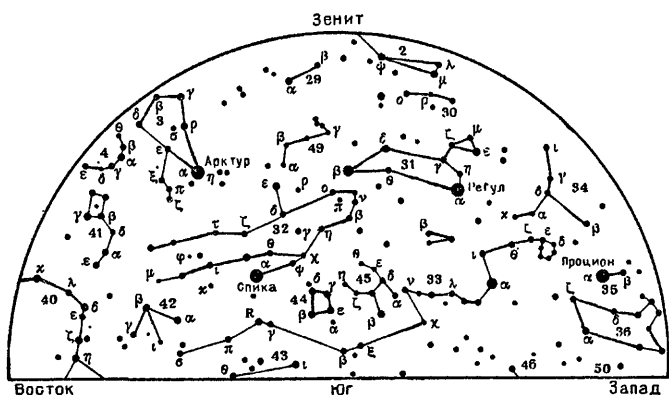
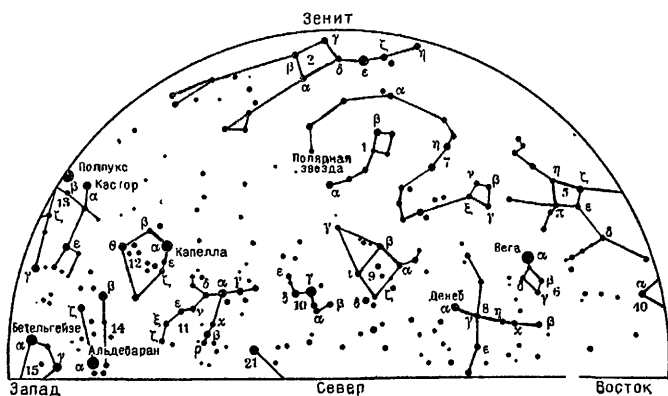


Рис. 22. Положение звезд на северном (вверху) и на южном небосклоне (по местному времени): 20 апреля в 22 ч, 5 мая в 21 ч, 20 мая в 20 ч, 5 июня в 19 ч, 20 декабря в 6 ч. Созвездия северной части небосклона: 1 — Малая Медведица, 2 — Большая Медведица, 5 — Геркулес, 6 — Лира, 7 — Дракон, 8 — Лебедь, 9 — Цефей, 10 — Кассиопея, 11 — Персей, 12 — Возничий, 13 — Близнецы, 14 — Телец, 15 — Орион, 21 — Андромеда, 40 — Змееносец. Созвездия южной части небосклона: 2 — Большая Медведица, 3 — Волопас, 4 — Северная Корона, 29 — Гонимые Псы, 30 — Малый Лев, 31 — Лев, 32 — Дева, 33 — Гидра, 34 — Рак, 35 — Малый Пес, 36 — Единорог, 40 — Змееносец, 41 — Змея, 42 — Весы, 43 — Кентавр, 44 — Ворон, 45 — Чаша, 46 — Компас, 49 — Волосы Вероники, 50 — Корма

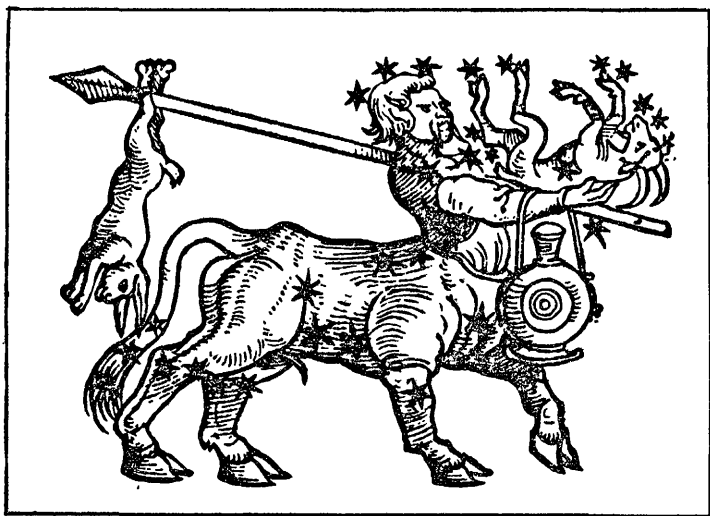


Рис. 23. Изображение Кентавра в атласе Гигиния

и Львом, — Волосы Вероники. На «спине» Льва «устроился» Малый Лев. Уже упоминавшаяся Гидра протянулась вдоль горизонта с запада на юго-восток. На ее «спине» расположены созвездия Секстанта, Чаши и Ворона. Прямо на юге красуется созвездие Девы. Ниже «хвоста» Гидры скрылось созвездие Кентавра (Центавра) (рис. 23), слева от которого под созвездием Весов «выглядывает» Волк.

Как уже отмечалось, название созвездия Волос Вероники связывают с историческими личностями. Вероника, супруга египетского царя Птолемея Еввергета, ревностно молилась богам, чтобы они сохранили ее мужа в бою с сирийским царем Селевком (245 г. до н. э.), обещав им принести в жертву свои роскошные волосы. И когда фараон возвратился с победой, Вероника исполнила свой обет. Однако ночью волосы кто-то украл. Успокаивая рассвирепевшего фараона, придворный астроном Конон сказал, что вот только что на небе появилась группа новых звезд. Это, мол, боги поместили на небе волосы его любящей и верной супруги.

Ворон — это будто бы нимфа Коронида, которую боги превратили в ворона за то, что она рассказывала всем встречным об их секретах. По другой ле-

генде, Аполлон, приготавливая благоухания своему отцу Зевсу, послал ворона с чашей за водой. По пути птица увидела финиковую пальму и стала ожидать, пока созреют плоды. Отведав их, птица поняла, что опаздывает, поймала в когти Гидру и, возвратившись к Аполлону, сказала, что этот сторож не разрешил ей набрать воды. Всезнающий бог наказал ворона, лишив его белого цвета (с той поры ворон стал черным), и поместил его на небе вместе с чашей на «спине» у Гидры.

И, наконец, легенда о кентавре. Однажды Геракл путешествовал со своей молодой женой Деянирой. У переправы через реку Эвну они встретили кентавра Несса, который на своей спине перевозил путников через реку. Геракл пошел через реку вброд, а Деяниру поручил перевозчику, который вдруг, прельщенный ее красотой, решил похитить супругу Геракла. Но Геракл пустил в него отравленную стрелу и смертельно ранил врага. Умирая, кентавр сказал Деянире, что его кровь имеет чудодейственную силу возвращать потерянную любовь. Много лет спустя Деянире показалось, будто бы она и впрямь теряет любовь Геракла. Она натерла кровью кентавра новую одежду и передала ее своему супругу. Но когда она узнала об ужасных страданиях, причиненных этим Гераклу, то, пораженная скорбью и отчаянием, вонзила себе в сердце меч. Геракл же приказал отнести себя на вершину горы и зажечь под ним погребальный костер. Пламя костра было усилено ударившей в него молнией: это Зевс при раскатах грома поднял Геракла на небо, сделав его бессмертным...

Здесь остается еще добавить, что через созвездия Лебедя, Орла, Стрельца и в противоположную сторону — через созвездия Кассиопеи, Возничего, Ориона и Большого Пса протянулась полоса Млечного Пути. Это, как утверждали древние греки, молоко супруги Зевса богини Геры, пролившееся, когда она оттолкнула от своей груди маленького Геракла, которого ей поднес Зевс.

2. СКВОЗЬ ТЕРНИИ К ЗВЕЗДАМ

«Per aspera ad astra» — этими словами, приписываемыми римскому философу Сенеке (ок. 5 г. до н. э. — 65 г. н. э.), принято характеризовать стре-

мительное продвижение человеческого разума сквозь дебри неведения, предрассудков и ошибок к пониманию законов мироздания.

Первые страницы истории астрономии еще фактически не заполнены. Мы знаем, однако, что элементы определенных астрономических знаний необходимы были людям и в Древнем Египте, и в Вавилоне, в Индии, в Китае, во всех уголках нашей планеты, где люди жили, сеяли и собирали урожай, где они занимались скотоводством и охотой, совершали путешествия через пустыни и моря. Всем им необходимо было уметь ориентироваться во времени и в пространстве. Не случайно само слово «ориентироваться» происходит от латинского «ориенс» — восток. Для многих людей положение на небе некоторых созвездий, в особенности зодиакальных, было ориентиром к началу тех или других хозяйственных работ. Например, у евреев слово «алеф» означает «телец», а также «один», «первый», так именуется и первая буква их алфавита. И это понятно: около 4000 лет до н. э. как раз при входе Солнца в созвездие Тельца наступала пора пахать и сеять.

Жизнь объединенных в племена и государства людей немыслима без определенных систем счета времени — *календарей*. Единицы же счета времени людям предоставила сама Природа. Это сутки как промежуток времени, на протяжении которого происходит смена дня и ночи. Это, далее, смена (на протяжении 29,53 суток) внешнего вида (*фаз*) Луны, что привело к появлению месяца как календарной единицы счета времени в 29 и 30 дней. И, наконец, это смена времен года, хотя прошло немало столетий, пока люди установили, что соответствующая единица — год — содержит 365,24 суток. И получилось так, что едва ли не каждое племя разрабатывало свой собственный календарь.

Уже за несколько тысяч лет до н. э. древние наблюдатели заметили пять светил, которые, передвигаясь примерно вдоль эклиптики из одного зодиакального созвездия в другое, эпизодически описывали на небе петли (рис. 24). Эти светила впоследствии были названы греками *планетами*, т. е. «блуждающими». В своих названиях они до наших дней сохранили имена древнеримских богов: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. К блуждающим светилам были

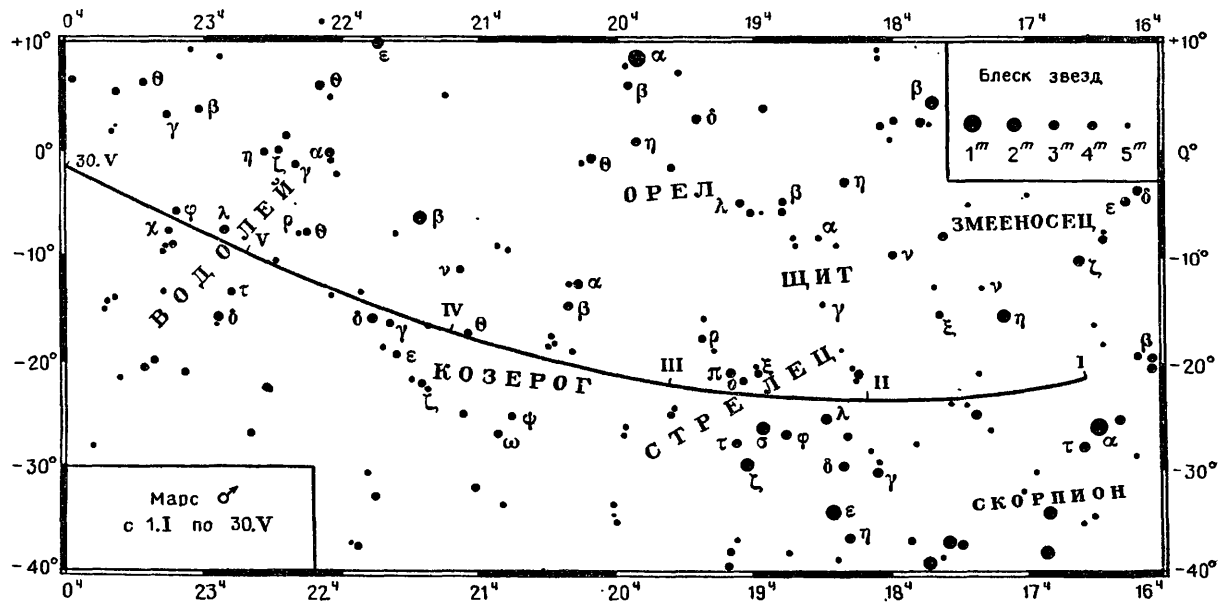


Рис. 24а. Видимый путь Марса среди звезд в январе — мае 1990 г.

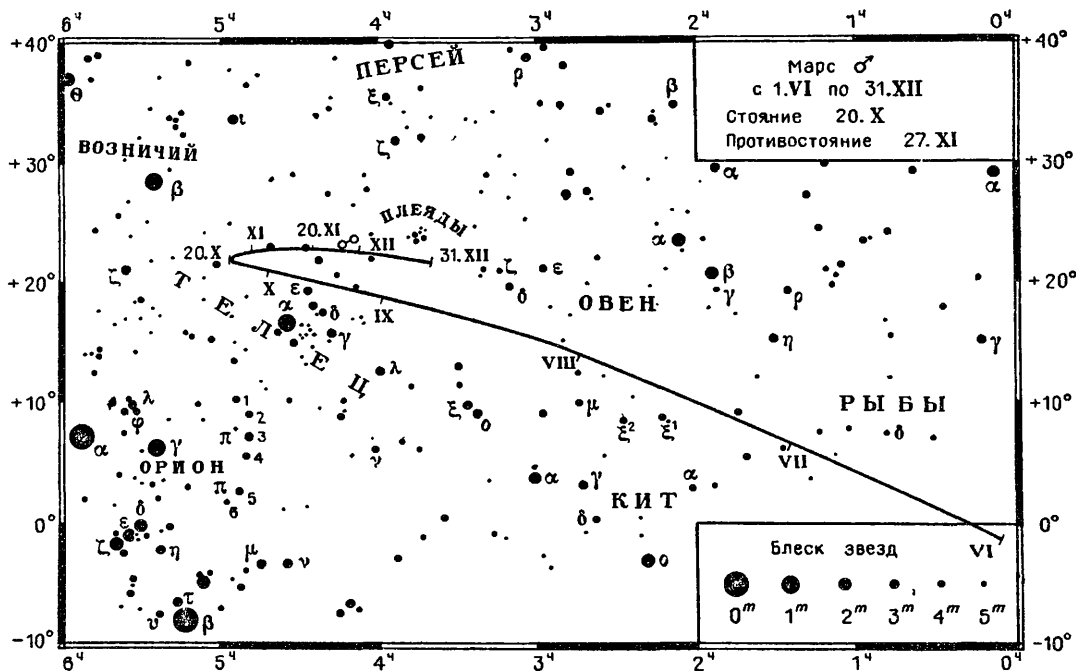


Рис. 246. Видимый путь Марса среди звезд в июне — декабре 1990 г.

причислены также Луна и Солнце. Общее их число — семь — стало священным, именами планет многие народы называли дни семидневной *недели*. Появилась и лженаука — *астрология*, приверженцы которой стремились по расположению планет среди созвездий предугадать судьбу целых стран и отдельных людей...

Сквозь тьму веков. Уже древние люди справедливо полагали, что астрономия может дать ответы и на такие важные для каждого вопросы, как «что такое наша Земля?», «каковы ее размеры?», «каково ее место во Вселенной?» и т. д. Поиски ответов на них были долгими и нелегкими.

Первые ответы на вопрос «как устроен окружающий мир?» древние люди составляли на основе своих непосредственных впечатлений. Так, не ощущая никаких движений Земли, люди, естественно, предположили, что она неподвижна. Наблюдая, как Солнце, Луна, весь небосвод вращаются вокруг Земли, они восприняли это как непреложный факт. У них не было оснований сомневаться в том, что Земля плоская. И, наконец, таким логичным казалось предположение, что она расположена в центре мира...

В древнем Вавилоне сформировалось представление, будто Земля имеет вид выпуклого круглого острова, плавающего в мировом океане. На земную поверхность будто бы опирается небо — твердый каменный свод, к которому прикреплены звезды и планеты и по которому совершает свою ежедневную прогулку Солнце. Примечательно, что у древних шумеров слово «на» обозначало и «небо» и «камень». Позже основные элементы этой вавилонской модели мира встречаются и у древних евреев; ее, в частности, придерживались и авторы Библии. Например, в книге Иова говорится, будто бы «Бог... распростер небеса твердые, как литое зеркало» (Иов, 37, 18). Кстати, даже гениальный «законодатель неба» Иоганн Кеплер (1571—1630) еще подсчитывал расстояние до упомянутой «хрустальной» сферы звезд и нашел, что оно составляет «четыре миллиона радиусов Солнца»...

По-видимому, именно в древней Греции на смену простому созерцанию явлений природы и их наивному толкованию приходят попытки научно объяснить эти явления, разгадать истинную причину их

появления. В частности, выдающийся мыслитель Гераклит Эфесский (ок. 544—470 гг. до н. э.) высказал предположение о непрерывном развитии мира. Философ Демокрит (ок. 460—370 гг. до н. э.) предугадал, что все во Вселенной, в том числе и человек, состоит из мельчайших, невидимых глазом материальных частиц — атомов. Согласно Демокриту, Вселенная состоит из бесконечного множества миров, образующихся вследствие столкновения атомов, причем одни миры рождаются, другие находятся в состоянии расцвета, третьи разрушаются. Демокрит догадывался, что Млечный Путь является скоплением большого числа звезд.

У философа Пифагора (ок. 580—500 гг. до н. э.) мы находим мысль о том, что Земля имеет форму шара и что она висит в пространстве без какой бы то ни было поддержки. Философ Аристотель (384—322 гг. до н. э.) в своем труде «О небе» уже приводит величину земной окружности, из чего следовало, что радиус Земли $R_{\oplus}$ в современной мере равен примерно 10 000 км.

По Аристотелю, все встречающиеся на Земле тела состоят из четырех элементов, или «стихий», — земли, воды, воздуха и огня, тогда как небесные тела состоят из иной, неуничтожимой формы материи — эфира. Аристотель стремился дать научное обоснование геоцентрической (от греч. «гео» — земля) модели мира. Он утверждал, что упомянутые четыре «стихии» располагаются друг над другом в виде концентрических сфер. Каждый элемент, сместившись со своего «естественного» места, стремится снова занять его. Поэтому, мол, в природе и наблюдаются движения тяжелых элементов вниз (к «центру Вселенной»), а легких вверх, где они переходят в состояние покоя. Против уже существовавших в то время представлений о возможном вращении Земли вокруг своей оси и ее движении в пространстве Аристотель и его последователи выдвинули казавшиеся в то время неопровержимыми доказательства: если бы Земля вращалась вокруг своей оси, то возникал бы встречный ветер, который сдувал бы все с ее поверхности в сторону запада, а движение Земли неминуче было бы обнаружено по изменению на протяжении года углового расстояния между произвольно взятой на небе парой звезд.

Сейчас мы знаем, что земная атмосфера в равной мере принимает участие в суточном вращении Земли, расстояния же до звезд оказались столь велики, что смещения близких звезд на фоне далеких удалось измерить лишь в XIX в.

Сохранилась до наших дней работа Аристарха Самосского (ок. 320—230 гг. до н. э.), в которой он, измерив угловое расстояние Луны от Солнца в первой четверти (получив, однако, угол 87° вместо $89^\circ 51'$), сделал попытку определить размеры и расстояния до Луны и Солнца. По Аристарху, радиус Луны равен около $0,37R_\oplus$, Солнца — $7R_\oplus$, расстояние от Земли до Луны — $19R_\oplus$, до Солнца — еще в 19 раз больше, т. е. около $361R_\oplus$. По-видимому, имея в виду большие по сравнению с Землей размеры Солнца, Аристарх и высказал предположение, «что неподвижные звезды и Солнце не меняют своего места в пространстве, что Земля движется по окружности вокруг Солнца», как об этом сообщал позже Архимед (ок. 287—212 гг. до н. э.).

Во II в. до н. э. величайший античный астроном Гиппарх определил размеры Луны с исключительной точностью. По Гиппарху, радиус Луны равен $0,27R_\oplus$, что мало отличается от принятого ныне. Расстояние до Луны этот выдающийся астроном определил в $59R_\oplus$ (истинное среднее значение — $60,3R_\oplus$). Однако расстояние до Солнца со времени Птолемея и вплоть до XVII в. принималось равным $1120R_\oplus$, т. е. примерно в 20 раз меньше истинного.

Первые попытки построить модель мира, в которой объяснялись бы прямые и попятные движения планет, были сделаны Евдоксом Книдским (ок. 408—353 гг. до н. э.) и Аристотелем. Но шедевром античной астрономии стал труд выдающегося александрийского ученого Клавдия Птолемея (II в. н. э.) «Альмагест», в котором была построена оригинальная теория планетных движений.

В связи с этим нельзя не обратить внимание на следующее: в то время, когда все остальные науки о природе были, образно говоря, в зачаточном состоянии, астрономы благодаря Птолемею уже имели метод, позволявший с достаточной для того времени точностью рассчитать положение планет на небе на любое число лет вперед! Кто склонен недооценивать сделанное Птолемеем, пусть попробует по величине

петли (см. рис. 24) предугадать, где эта планета будет, скажем, через два года. Поэтому к модели Птолемея стоит присмотреться повнимательнее.

Геоцентрическая модель Птолемея. В модели мира Птолемея планета P движется с угловой скоростью ω

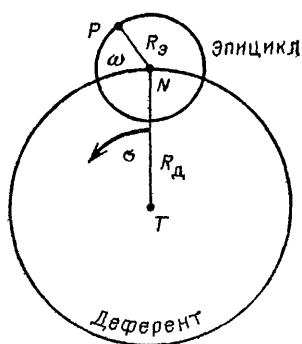


Рис. 25. Деферент и эпицикл планеты P в системе мира Птолемея

по малой окружности — *эпициклу*, центр которого — «средняя планета» N — обращается с угловой скоростью σ по *деференту* вокруг Земли (рис. 25). Из-за сложения обоих движений планета в пространстве описывает петлеобразную кривую — *гипоциклоиду* (рис. 26), что в проекции на небесную сферу при вполне определенных значениях угловых скоростей ω и σ , а также величинах отношений радиуса эпицикла R_e к радиусу деферента R_d ($\delta = \frac{R_e}{R_d}$) для каждой из планет полностью объясняло ее движение на

небе. Значения δ , ω и σ Птолемей определил с большой точностью. Они приведены в табл. 1 § 10. Отметим, что в связи с особенностями движения планеты Меркурий и Венера были названы *нижними*, Марс, Юпитер и Сатурн — *верхними* планетами.

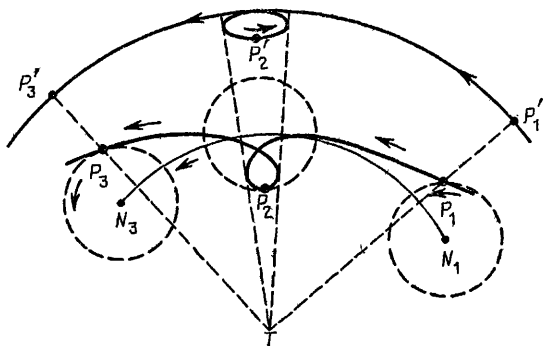


Рис. 26. Гипоциклоида, которую описывает планета P в пространстве, и ее проекция на небесную сферу

небе. Значения δ , ω и σ Птолемей определил с большой точностью. Они приведены в табл. 1 § 10. Отметим, что в связи с особенностями движения планеты Меркурий и Венера были названы *нижними*, Марс, Юпитер и Сатурн — *верхними* планетами.

В системе мира Птолемея 1) центры эпициклов нижних планет всегда расположены на прямой, соединяющей Землю с Солнцем и 2) каждая из верхних планет находится на эпицикле строго в том же направлении, в котором относительно Земли находится Солнце, иначе говоря, радиусы-векторы эпициклов Марса, Юпитера и Сатурна всегда параллельны между собой (рис. 27). Видно также, что верхняя

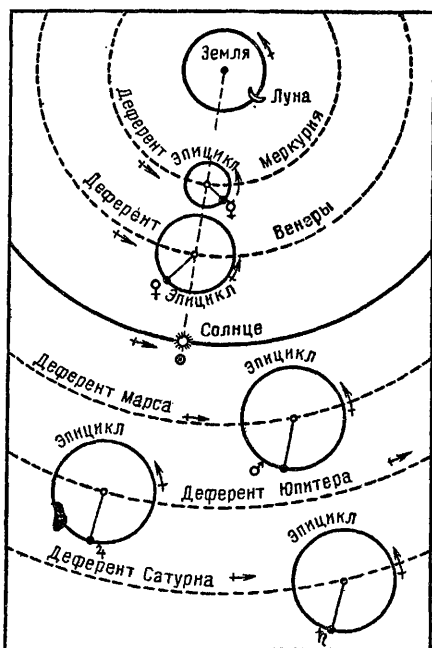


Рис. 27. Система мира Птолемея

планета, занимая на небе положение, противоположное Солнцу (*противостояние* планеты), находится в ближайшем к Земле положении — в *перигее* (греч. «пери» — вблизи). В момент же соединения планеты с Солнцем, когда направления на оба светила совпадают, планета находится в *апогее* — в наиболее удаленной от Земли точке (греч. «апо» — вдали).

Возникает вопрос: если система Птолемея ошибочна, поскольку она основывалась на ложном представлении о неподвижной Земле как центре мироздания, то почему расчеты, проведенные на ее основе,

дают правильные результаты? Ведь именно поэтому она использовалась астрономами почти 1400 лет. Ответ на поставленный вопрос очевиден: это система кинематическая. Птолемей не объяснял (да и не мог объяснить), почему движение планеты именно такое, каким он его описывал. Но каждое движение относительно. И, как это ни парадоксально звучит, Птолемей описал и смоделировал движение каждой из планет совершенно правильно — так, как его действительно видит наблюдатель с Земли. Эпикл верхней планеты и есть отображение движения Земли вокруг Солнца (в случае нижней планеты это ее деферент).

Разложение рабовладельческого общества и, в частности, падение Римской империи, а также распространение христианства привели к регрессу в развитии наук, и в частности естествознания. Так, известный теолог Августин (354—430) утверждал, что главной целью человеческого ума является познание Бога и собственной души, тогда как исследование окружающего мира ради него самого осудил как грех праздної любознательности. Тогда же произошел возврат к представлениям о плоской Земле... В Европе началось тысячелетие застоя, именуемое средневековьем. И лишь на арабском Востоке и в Средней Азии астрономия обогащалась новыми наблюдениями и идеями.

Канун революции. В XV в. началась эпоха крупных географических открытий. Европа как бы пробуждалась от состояния своеобразного оцепенения. Здесь появились выдающиеся прогрессивные мыслители, среди них были и деятели церкви, которые отбрасывали привычные для всех представления об окружающем мире, чем иногда и существенно опережали уровень науки своего времени. Одним из них был кардинал Николай Кузанский (1401—1464). В противовес Аристотелю, Николай Кузанский утверждал, что в отношении вещества, из которого состоят Земля и небесные тела, между ними нет никакого различия. Он предполагал также, что Земля является таким же небесным телом, как Солнце, Луна и другие светила, причем «ни одна из звездных областей не лишена жителей». Примечательны и взгляды Леонардо да Винчи (1452—1519): он считал природу Земли, Луны, Солнца и других небесных тел одинаковой, он

утверждал также, что каждое светило имеет собственный центр притяжения.

Примечательно, что в работах Николая Кузанского и его современников и предшественников, например ректора Парижского университета Жана Буридана (ок. 1300—1358) и его ученика Николая Орема (ок. 1323—1382), уже встречаются правильные выводы от относительности движения. Люди постепенно осознали масштабы Земли, и им показалось сомнительным, чтобы такой небольшой по размерам шар оставался неподвижным, а далекий небосвод, двигаясь с фантастической скоростью, делал полный оборот вокруг Земли за сутки.

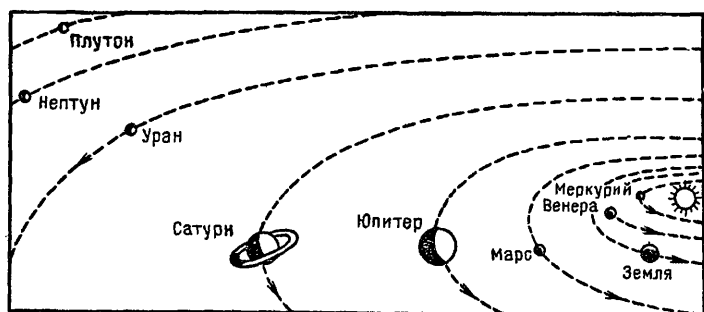


Рис. 28. Движение планет вокруг Солнца в системе мира Коперника

К тому же с помощью данных Птолемея было трудно согласовать между собой сведения о положениях той или другой планеты, разделенных промежутком времени в несколько сотен лет. Поэтому его система все больше усложнялась, в нее вводили множество дополнительных эпициклов, что сделало ее исключительно громоздкой. Явно противоречила наблюдениям построенная Птолемеем теория движения Луны. В итоге перегруженная эпициклами модель Птолемея рухнула. Произошла революция во взглядах на мир и место Земли во Вселенной...

Гелиоцентрическая система мира Коперника. Основы новой астрономии, правильного научного мировоззрения заложены великим польским ученым Николаем Коперником (1473—1543). На пьедестале памятника ему в Варшаве об этом сказано так: «Он остановил Солнце и сдвинул Землю». Новая система

мира (рис. 28), которая в дальнейшем получила название коперниковой, или *гелиоцентрической* (от греч. «гелиос» — Солнце), была изложена в его книге «О вращении небесных сфер» (1543 г.).

Приняв, что в центре мира находится Солнце, Коперник естественным образом объяснил смену дня

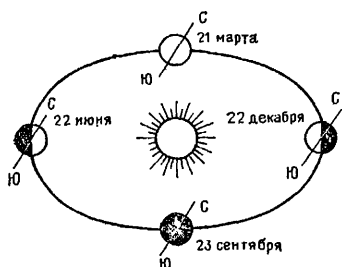


Рис. 29. Сохранение неизменным в пространстве наклона оси суточного вращения Земли к плоскости ее орбиты в процессе движения планеты — причина смены времен года

и ночи вращением Земли вокруг своей оси, смену времен года — обращением Земли вокруг Солнца (рис. 29) и петлеобразное движение планет — движением наблюдателя (рис. 30). Приняв также расстояние от Земли до Солнца в качестве масштабной

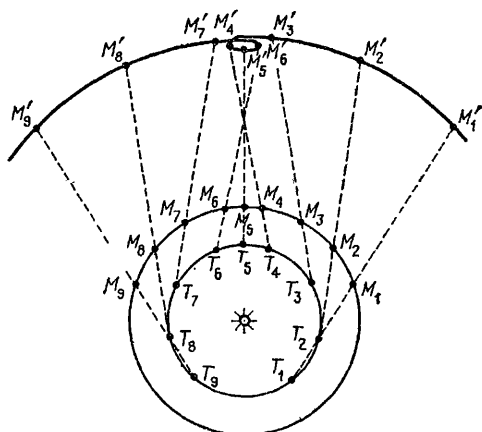


Рис. 30. Петлеобразное движение планеты — следствие перемещения как планеты, так и Земли вместе с наблюдателем

единицы, Коперник установил относительные расстояния всех остальных планет от Солнца. Он также определил *сидерический*, или *звездный*, период T обращения каждой из планет вокруг Солнца, т. е. ее

истинный период обращения по отношению к далеким звездам.

Вначале католическая церковь с интересом отнеслась к работе Коперника, а высшие церковные сановники даже поощряли его и настойчиво советовали опубликовать ее как можно скорее. Причиной этому была, возможно, обсуждавшаяся в то время проблема реформы календаря. Но после того как в 1582 г. эта реформа была проведена, после страстных выступлений Джордано Бруно (1548—1600) против лицемерия, невежества и стяжательства католического и протестантского духовенства, в особенности против монастырских имуществ и доходов, и одновременно с учением о множественности обитаемых миров (а этим опровергалось представление, будто Земле и человеку отведено в мироздании исключительное место!), — выступлений, закончившихся в 1600 г. трагической смертью Бруно на костре, после блестящих астрономических открытий Галилео Галилея (1564—1642) с помощью изготовленных им телескопов, в 1616 г. великое учение Коперника было запрещено. Сама же книга Коперника «О вращении небесных сфер» вплоть до 1818 г. фигурировала в «Индексе запрещенных книг»...

Величайшую заслугу Коперника перед человечеством Фридрих Энгельс оценил такими словами: «Революционным актом, которым исследование природы заявило о своей независимости... было издание бессмертного творения, в котором Коперник бросил... вызов церковному авторитету в вопросах природы. Отсюда начинается свое летосчисление освобождение естествознания от теологии... с этого времени пошло гигантскими шагами также и развитие наук...»^{*)}.

Телескопические открытия Галилея. Пользуясь телескопом, дававшим увеличение всего в три раза, Галилей установил, что Луна «не имеет гладкой поверхности, но... покрыта огромными горами, глубокими пропастями и обрывами», что Млечный Путь состоит из бесчисленного множества неподвижных звезд, что планета Юпитер имеет четырех спутников и что Венера «подобно Луне» изменяет свои фазы.

^{*)} Энгельс Ф. Диалектика природы. — М.: Политиздат, 1975. — С. 8. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. — 2-е изд. — Т. 20. — С. 347.

Из этих открытий следовали исключительно важные выводы.

Прежде всего, если поверхность Луны подобна земной поверхности, то это ближайшее к нам небесное тело состоит из тех же элементов, что и Земля, а не из придуманного Аристотелем эфира. Наблюдая множество звезд, недоступных невооруженному глазу,

Галилей сделал правильный вывод, что расстояния до звезд неодинаковы и что, следовательно, никакой «хрустальной сферы» нет. Вращение спутников вокруг Юпитера показывало, что Земля не является единственным центром тяготения, что этим свойством обладают и другие небесные тела, следовательно и Солнце, а потому предположение об обращении планет вокруг него вполне разумно. Это подтверждала планета Венера, изменяя свои фазы совершенно иначе, чем это могло быть в системе Птолемея (рис. 31).

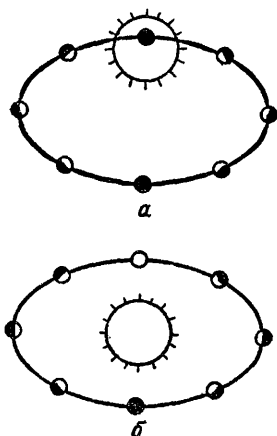


Рис. 31. Смена фаз Венеры в модели мира Птолемея (а) и Коперника (б)

О единстве материальной природы Земли и Солнца говорили открытые Галилеем (а независимо от него и тремя другими учеными), пятна на Солнце, к тому же наблюдения за ними привели к выводу, что Солнце вращается вокруг своей оси, т. е. имеет такое движение, которое Коперник предположил для нашей планеты.

Обо всем этом Галилей и рассказал в книге «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой» (1632 г.), после чего предстал перед судом инквизиции, был вынужден отречься от своих взглядов и до конца жизни находиться под ее надзором. Лишь в 1979 г. в Ватикане было объявлено, что великий ученый пострадал несправедливо...

Но остановить развитие науки уже было невозможно. Вскоре были установлены законы движения планет и сформулирован закон всемирного тяготения — причина этих движений.

Законы Кеплера. В своей гелиоцентрической системе мира Коперник сохранил представление древних философов о равномерном круговом движении. Иначе говоря, планеты, по Копернику, двигались по эпициклам равномерно и так же центры этих эпициклов обращались вокруг Солнца. Можно думать, что Коперник понимал искусственность таких построений и именно поэтому задерживал публикацию своей книги.

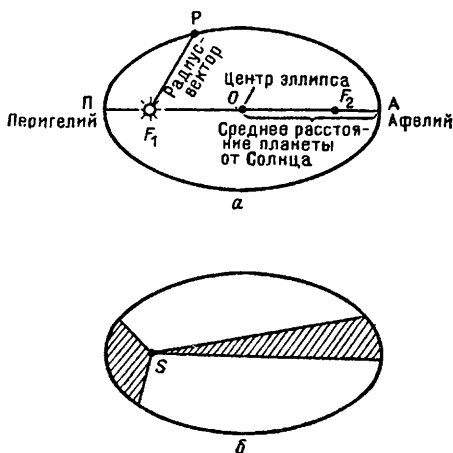


Рис. 32. Иллюстрация первого (а) и второго (б) законов Кеплера

Истинные законы движения планет на основе исключительно точных по тому времени 20-летних наблюдений Марса, проведенных датским астрономом Тихо Браге (1546—1601), открыл Кеплер. Вот они:

1. Орбита каждой планеты есть эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце.

2. Радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает равные площади (рис. 32).

3. Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы их средних расстояний от Солнца (как кубы больших полуосей их орбит):

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{a_1^3}. \quad (2.1)$$

Создание механики неба В 1687 г. вышла из печати книга английского физика и астронома Исаака Ньютона (1643—1727) «Математические начала

натуральной философии», в которой был сформулирован закон всемирного тяготения:

Каждые две материальные частицы взаимно притягиваются с силой, прямо пропорциональной квадрату расстояния между ними, т. е.

$$F = \frac{G\mathcal{M}_1\mathcal{M}_2}{r^2}. \quad (2.2)$$

Здесь $\mathcal{M}_1$ и $\mathcal{M}_2$ — массы частиц, r — расстояние между ними, $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг² — постоянная тяготения, или гравитационная постоянная.

На основе этого закона Ньютон создал новое направление в астрономии — небесную механику, задачей которой является исследование движения небесных тел под действием их взаимного притяжения. И первым успехом здесь было обобщение им же третьего закона Кеплера. Оказалось, что если две массы $\mathcal{M}_1$ и $\mathcal{M}_2$ обращаются вокруг своего центра тяжести с периодом T на расстоянии a друг от друга, то всегда верно соотношение

$$\frac{(\mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2) T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G}. \quad (2.3)$$

Тем самым оказалось возможным определять массы далеких небесных тел.

Пусть, например, $\mathcal{M}_\odot$, $\mathcal{M}_\oplus$ и $\mathcal{M}_\zeta$ — массы Солнца, Земли и Луны, $T_\oplus$ и T_ζ — периоды обращения Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли, $a_\oplus$ и a_ζ — большие полуоси земной и лунной орбит. Записав соотношение (2.3) сначала для системы Солнце — Земля, потом — для системы Земля — Луна и приравняв их левые части, найдем, пренебрегая массой спутника по сравнению с массой центрального тела, значение массы Солнца, выраженное в массах Земли

$$\mathcal{M}_\odot = \left(\frac{T_\zeta}{T_\oplus} \right)^2 \left(\frac{a_\oplus}{a_\zeta} \right)^3 \mathcal{M}_\oplus.$$

Аналогично путем сравнения данных о системе Земля — Луна и системе «планета — ее спутник» определяется масса любой планеты.

Первый триумф. В процессе своего обращения вокруг Солнца каждая из планет подвергается воздействию со стороны других своих соседей. В итоге происходят отклонения (иначе возмущения) в движении

планет, которые также изучаются небесной механикой. Так, после открытия в 1781 г. (можно сказать, случайно) английским астрономом Уильямом Гершелем (1738—1822) планеты Уран вскоре обнаружилось, что в ее движении имеются отклонения от кеплеровской орбиты. Полагая, что они вызваны притяжением еще неизвестной планеты, находящейся за Ураном, английский астроном Джон Адамс (1819—1892) и французский ученый Урбен Леверье (1811—1877) независимо друг от друга провели сложные расчеты и определили положение этой планеты среди звезд. По просьбе Леверье молодой астроном Берлинской обсерватории Иоганн Галле (1812—1910) сразу же после получения письма 23 сентября 1846 г. и обнаружил новую планету — Нептун. Так, по образному выражению Ф. Энгельса, «на кончике пера» была открыта новая планета, ознаменовав триумф небесной механики и гелиоцентрической системы.

Так как не все отклонения в движении Урана объяснялись возмущениями со стороны планеты Нептун, то поиски источника возмущающей силы были продолжены. Они привели к успеху уже в XX в.: в 1930 г. американский астроном Клайд Томбо (род. в 1906 г.) открыл девятую планету Солнечной системы — Плутон.

Начала астрофизики. В ответ на вопрос о том, узнают ли когда-нибудь люди, из чего состоят Солнце и звезды, каковы законы их строения и развития, древнегреческий философ Сократ (469—399 гг. до н. э.) заявил: «Все это навсегда останется тайной для смертного, и, конечно, самим богам грустно видеть стремление человека разгадать то, что они навсегда скрыли от него...»

Спустя две тысячи лет примерно то же утверждал французский философ Огюст Конт (1798—1857): «Мы ничего не можем узнать о звездах, кроме того, что они существуют. Даже температура их навсегда останется неопределенной...»

Оба мудреца ошиблись. Могущественным оружием астрономов в их исследованиях далеких звезд и галактик стал спектральный анализ, будущее которого предвидел еще Ньютон. В 1802 г. английский физик Вильям Волластон (1766—1828) обнаружил, что прошедший через призму солнечный свет пересечен темными линиями. Немногим позже Йозеф

Фраунгофер (1787—1826) уже открыл в спектре Солнца свыше 500 отдельных темных линий, которые сегодня и называются *фраунгоферовыми*. А установив, что одна из линий солнечного спектра занимает в спектре то же место, что и яркая линия в спектре масляного пламени, он получил первое доказательство того, что Солнце состоит из тех же химических элементов, что и Земля. Не случайно на могиле этого немецкого физика написано: «Он приблизил к нам звезды»...

Разработку же спектрального анализа осуществили немецкие ученые Густав Кирхгоф (1824—1887) и Роберт Бунзен (1811—1899). Сравнивая спектр Солнца со спектрами различных земных соединений, они показали, что в атмосфере Солнца содержится много тех же химических элементов, что и на Земле. Вскоре наука о физическом строении небесных тел — *астрофизика* — праздновала свою первую победу. В 1868 г. во время полного солнечного затмения в спектре наружного слоя Солнца (хромосферы) была обнаружена линия ранее неизвестного элемента — гелия. И лишь в 1895 г. этот «солнечный элемент» был найден и на Земле.

Еще две революции. Масштабы изучаемой Вселенной увеличивались с каждым десятилетием. Она же оказалась поистине необъятной. Потому-то, в частности, пришлось подыскивать все новые единицы измерения расстояний. Так, во времена Кеплера в качестве масштабной единицы еще пользовались радиусом Земли или Солнца. Вскоре ею стало расстояние от Земли до Солнца под названием *астрономическая единица* — а. е. (1 а. е. = 150 млн км). Гершель для оценок расстояний от Земли до звезд ввел *световой год*: расстояние, которое, двигаясь со скоростью 300 000 км/с, световой луч проходит за один год, т. е. за 31 556 926 секунд, так что 1 световой год (св. год) = $= 9,46 \cdot 10^{15}$ м = 63 271,5 а. е. Во второй половине прошлого века появилась еще одна единица — *парсек* (пк) — расстояние, с которого радиус земной орбиты виден под углом $1''$: 1 пак = 206 265 а. е. = $= 3,26$ св. года = $3,09 \cdot 10^{16}$ м. Пришлось, однако, укрупнять и эти последние, используя *килопарсеки* и *мегапарсеки* (1 кпк = 1000 пак, 1 Мпк = 1 000 000 пак).

Подсчитывая число звезд, видимых в различных направлениях, Гершель двести лет назад пришел

к выводу, что наша звездная система имеет протяженность 5800 световых лет и толщину 1100 световых лет и что Солнце находится практически в ее центре. И лишь в 1918 г. американский астроном Харлоу Шепли (1885—1972) показал, что наша Галактика значительно больше по своим размерам и что Солнце расположено на ее далекой окраине (рис. 33). Это

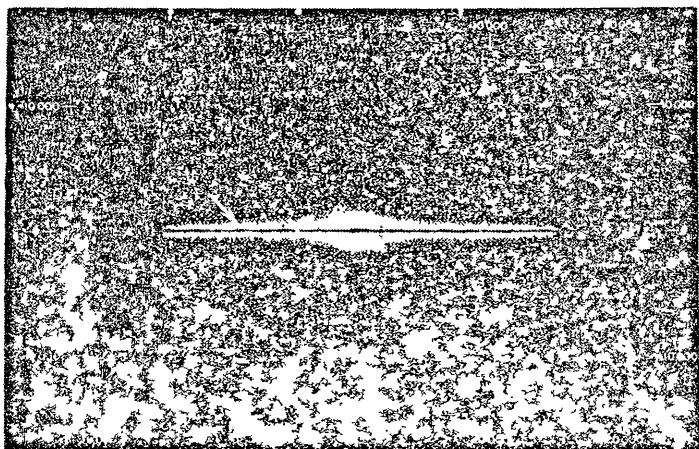


Рис. 33. Схема строения нашей Галактики, рассматриваемой «с ребра». Стрелкой отмечено положение Солнца. Белые кружки — шаровые скопления звезд. Указана шкала расстояний в парсеках

был второй важный шаг в освобождении от *антропоцентризма* — представления о центральном месте человека во Вселенной.

Даже в начале XX в. большинство астрономов были склонны полагать, что все звезды и видимые на небе туманные пятна — эллиптические и спиральные туманности — образуют единую систему — *нашу Галактику*. Но в 1924 г. американский астроном Эдвин Хаббл (1889—1953) показал, что упомянутые туманности на самом деле являются далекими галактиками. Еще через пять лет (в 1929 г.) он же установил, что этот мир галактик непрерывно расширяется. Стало ясно, что наша Галактика с ее 150 млрд звезд — всего лишь песчинка в бескрайнем океане таких же звездных систем. Свойства этой расширяющейся Вселенной изучают сегодня на основе созданной

Альбертом Эйнштейном (1879—1955) общей теории относительности и полученных из нее русским ученым А. А. Фридманом (1888—1925) нестационарных моделей Вселенной. Сегодня астрономы изучают другие звездные системы на расстоянии до десяти миллиардов световых лет...

3. НАШ КОСМИЧЕСКИЙ УГОЛОК

Уголок Вселенной, в котором живем мы, это наша Солнечная система, конкретнее наша Земля — голубая, как ее называли космонавты, планета. Вместе со своим спутником Луной, как бы соревнуясь в скорости с другими планетами, Земля обращается вокруг Солнца, которое для всех них является источником света и тепла, а для нашей планеты — еще и источником энергии, поддерживающей все многообразие существующей здесь жизни.

Численные данные о Земле, как, впрочем, и о Луне, Солнце и планетах Солнечной системы, приведены в табл. 8—19 (см. часть четвертую). Поэтому здесь мы ограничимся главным образом теми вопросами, которые в последние годы вызвали у каждого из нас самый большой интерес или даже озабоченность (как в случае с «озоновыми дырами»).

Строение Земли. Наша планета — одно из небесных тел, находящееся у нас под ногами в буквальном смысле этих слов. И, конечно же, мы знаем о ней гораздо больше, чем о других планетах Солнечной системы. Более того, все данные о Земле используются в качестве эталона при изучении других планет.

Тем не менее недра Земли скрывают еще очень много тайн, а в истории нашей планеты есть много чистых, незаполненных страниц. Ведь Земля по-своему живет! В ее недрах и на поверхности происходят процессы, которые в большинстве случаев незаметны на первый взгляд и мало ощутимы на протяжении жизни одного поколения. А ведь пространства, скрытые сегодня водами морей и океанов, в прошлом были заняты сушей. На месте обширных современных равнин некогда были моря... Где была легендарная Атлантида? И почему процессы появления и исчезновения под водой целых материков возможны?

Формулируя эти вопросы, мы тем не менее осознаём, что человек начал изучать свою планету не так уж давно. Скажем, всего «каких-нибудь» три тысячи лет назад, как рассказывал Гомер, на щите героя Троянской войны Ахилла Земля изображалась в виде плоского диска, окруженного со всех сторон бескрайним Океаном. Чуть позже (ок. 500 г. до н. э.) древнегреческий географ Гекатей Милетский указывал даже размеры этого диска — около 8000 км в нашей обычной мере.

Эти параллели мы приводим не случайно, а чтобы подчеркнуть: многое из того, чего древние люди не знали или совершенно не понимали, уже установлено и разгадано. Но возникают новые вопросы! И нам приходится примириться с тем, что ответы на большинство из них получают лишь последующие поколения людей.

Итак, Земля — планета (т. е. холодное, твердое небесное тело) со средним радиусом в 6371 км и массой $6 \cdot 10^{24}$ кг, она окружена гидросферой («сфера воды») массой в 0,024 % от указанной и атмосферой («сфера воздуха») массой в $5,2 \cdot 10^{18}$ кг, т. е. 0,00009 % массы Земли.

Говоря о внутреннем строении Земли, выделяют: 1) *внутреннее ядро* радиусом около 1300 км, в котором вещество находится в твердом состоянии, 2) *внешнее ядро*, радиус которого равен примерно 3500 км; здесь в слое толщиной около 2200 км, окружающем внутреннее ядро, вещество находится в жидком состоянии, 3) *оболочку*, или *мантию*, толщиной около 2900 км и, наконец, 4) *кору*, или *литосферу* (от греч. «литос» — камень), толщина которой равна 4—10 км под океанами и 30—70 км под материками.

Схема внутреннего строения Земли представлена на рис. 34, где показано также изменение температуры, плотности и давления по мере приближения к центру планеты. Эти числа — весьма ориентировочные. На многие вопросы, относящиеся к строению, химическому составу и физическим условиям в глубоких недрах Земли, сегодня нет еще четких, исчерпывающих ответов. И это потому, что мы еще плохо знаем свойства вещества при высоких давлениях.

В частности, пока нет единого мнения о характере распределения химических элементов в недрах Земли.

По одной из существующих теорий, ядро Земли состоит из железа с примесью серы и никеля, тогда как мантия — из окислов кремния, магния и железа. Другие авторы считают более вероятным, что Земля однородна по своему составу, а различия в физических свойствах ядра и мантии (они устанавливаются

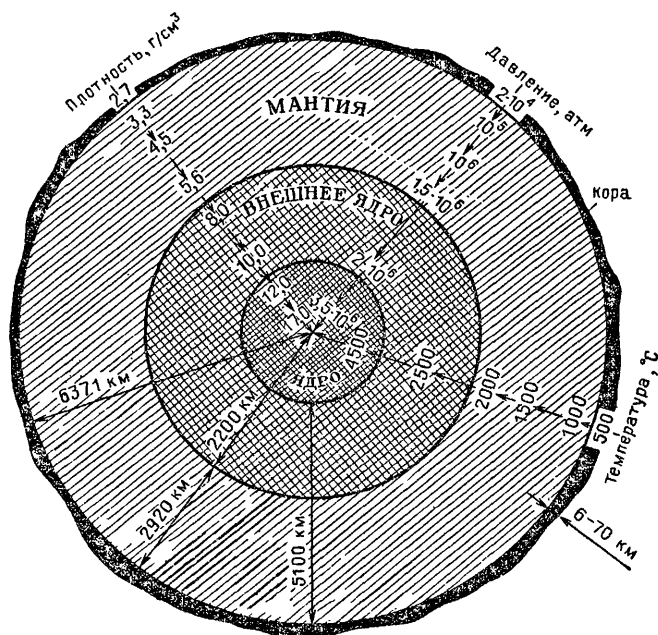


Рис. 34. Схема внутреннего строения Земли

на основе особенностей распространения сейсмических волн, возникающих при землетрясениях) обусловлены высоким давлением в ее недрах, под действием которого вещество переходит в качественно новое состояние.

Как говорится, непосредственное изучение земных недр лишь начинается: в США уже пробурены две скважины глубиной в 9,2 и 9,6 км. В СССР — на Кольском полуострове и на Кавказе — прокладываются две скважины глубиной до 15—20 км.

Возраст Земли. На протяжении многих столетий люди довольствовались подсчетами, проведенными на основе имеющихся в Библии данных о возрасте от-

дельных личностей. Так, в частности, можно получить, что «от Адама» до выхода в свет «Начал» Ньютона прошло $5508 + 1687 = 7195$ лет (или даже на полторы-две тысячи меньше, так как в этих подсчетах имеются весьма серьезные расхождения!).

Впервые научный ответ на вопрос «сколько лет Земле?» попытался дать соотечественник и друг Ньютона Эдмонд Галлей (1656—1742)*), сформулировав вопрос так: «почему в море вода соленая?» Галлей предположил, что в момент образования мирового океана вода в нем была пресной. Всю же накопившуюся в океане соль приносят реки, постоянно вымывающие ее из горных пород и почвы. Однако для конкретных расчетов необходимо знать, сколько кубических километров воды приносят все реки Земли в океаны и моря за один год и сколько соли (кг/м^3) содержится в воде при ее выходе в океан. И хотя более или менее достоверных данных об этом Галлей не имел, он все же сделал вывод, что возраст Земли превышает 10 000 лет. Позже тем же методом получали числа от 90 до 350 млн лет.

Галлей предположил также, что возраст Земли можно определить, измеряя толщину осадочных пород. В самом деле, ежегодно реки выносят в моря огромное количество песка, глины и т. д. ($3.5 \cdot 10^{10}$ т,

*) Подробный рассказ об этой незаурядной личности читатель найдет в книге Н. А. Беляева и К. И. Чурюмова «Комета Галлея и ее наблюдение» (М.: Наука, 1985). Это Галлей уговорил Ньютона напечатать «Начала» и взял на себя все издержки по их изданию. Когда ему, уже 50-летнему ученому, был поручен перевод с арабского на латинский трактата Аполлония Пергского «О конических сечениях», то Галлей, не зная арабского, используя уже переведенные несколько страниц как ключ, перевел весь манускрипт и даже внес в него важные исправления. Он отказался от повышения оклада ему (и последующим директорам Гринвичской обсерватории), сказав: «Не делайте этого; если место директора будет приносить доход, тогда на него станут стремиться уже не астрономы». Историки астрономии отмечали, что «его любили все, так как он любил всех. Его любознательность и душевное тепло, полное сочувствия сердце, открытое каждому, приносили радость всем, кто с ним общался... Он жил и умер как человек, едва поднявшийся над уровнем бедности... Честолюбивые стремления были ему чужды... И благодаря этому его никогда не покидало светлое настроение, которого не могли его лишить ни болезнь, ни старость». И еще: «Он украшал все, чего бы ни касался». И как тут вслед за поэтом не сказать: «Природа-мать, когда б таких людей ты иногда не посылала миру, заглохла б нива жизни»...

так что за 10 млн лет все, что возвышается над уровнем моря, может быть перенесено в него). Все это постепенно оседает на дне и под давлением превращается в твердые породы — известняки, песчаники и т. д. Для формирования такого слоя толщиной в один метр необходимо в среднем около 5000 лет. Открытые слои осадочных пород толщиной в несколько километров встречаются в горах, на равнинах их толщину измеряют при бурении глубоких скважин. Геологи исследовали осадочные слои в различных точках земной поверхности и обнаружили, что они сформировались в различное время. Общая же толщина (т. е. сумма толщин отдельных слоев различного возраста) достигает 100 км, соответствует примерно 500 млн годам.

Понятно, что оба эти метода являются малонадежными, а главное — они ничего не говорят о возрасте Земли как планеты. А именно так поставил вопрос французский ученый Жорж Бюффон (1707—1788). Он предположил, что Земля и другие планеты Солнечной системы образовались при столкновении с Солнцем гигантской кометы и, следовательно, Земля на начальной стадии своего развития была в расплавленном состоянии. Бюффон сделал попытку установить возраст Земли с помощью эксперимента, определяя продолжительность охлаждения раскаленных каменных пушечных ядер. Он предположил, что охлаждение Земли продолжалось во столько раз больше, во сколько раз ее масса превышает массу пушечного ядра. Так Бюффон пришел к выводу, что возраст Земли равен 75 000 лет.

Спустя 150 лет после экспериментов Бюффона задачу об охлаждении раскаленной вначале Земли рассмотрел английский физик Уильям Томсон лорд Кельвин (1824—1907), учитывая закономерности переноса тепла из недр Земли к ее поверхности. Согласно Томсону возраст нашей планеты 27 млн лет.

Однако в конце XIX в. и эта, сравнительно большая величина уже не могла удовлетворить ученых, прежде всего — геологов и палеонтологов (палеонтология, как известно, изучает выкопанные остатки организмов, исследует их историческое развитие и связь с окружающей средой). Правильный ответ на вопрос о возрасте Земли был получен в начале XX в. с по-

мощью радиоактивного метода. Разработку его начал Эрнест Резерфорд (1871—1937).

Как известно, каждый радиоактивный изотоп характеризуется определенным промежутком времени, на протяжении которого его количество уменьшается вдвое, — периодом полураспада $T_{1/2}$. В природе существует несколько сотен радиоактивных изотопов, однако у большинства из них $T_{1/2}$ не превышает нескольких минут. Для определения возраста Земли (а также Луны и метеоритов) использованы изотопы урана и тория. Схема распада ^{238}U показана на

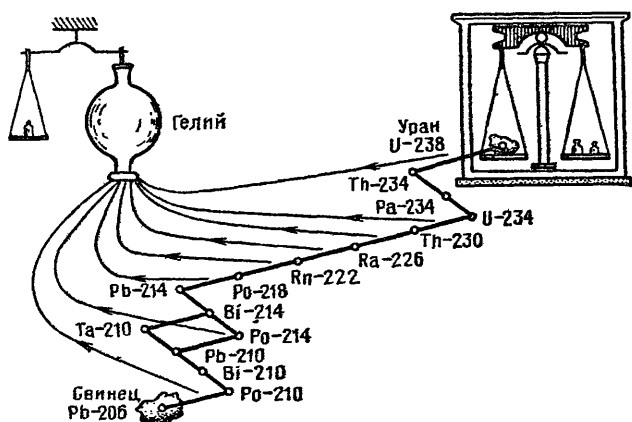


Рис. 35. Схема распада изотопа ^{238}U и его использования для определения возраста горных пород

рис. 35, короче, она выглядит так: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8^4\text{He}$. Аналогично, $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7^4\text{He}$, $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6^4\text{He}$. Период полураспада ^{235}U 0,71 млрд лет, изотопа ^{238}U — 4,51 млрд лет, ^{232}Th — 13,4 млрд лет. В частности, из одного килограмма урана через 100 млн лет выделяется 13 г свинца и 2 г гелия, через 2 млрд лет — 225 г свинца и 35 г гелия.

На этой основе и было установлено, что возраст Земли как планеты — 4,5 млрд лет.

Загадки химсостава. Химический состав Земли в целом и ее отдельных оболочек как будто уже известен. Если «в целом», то, как полагают, по массе здесь 39,8 % железа, 27,7 % кислорода, 14,5 % кремния, 0,04 % углерода. Если же рассматривать ее внешние слои — литосферу, гидросферу и атмосферу,

то соотношение элементов оказывается несколько иным: кислорода — 49,4 %, кремния — 25,8 %, алюминия — 7,5 %, железа — 4,7 %, углерода — 0,087 %.

Сейчас почти общепринятой является теория, по которой Земля, другие планеты и само Солнце образовались из одного и того же газопылевого облака.

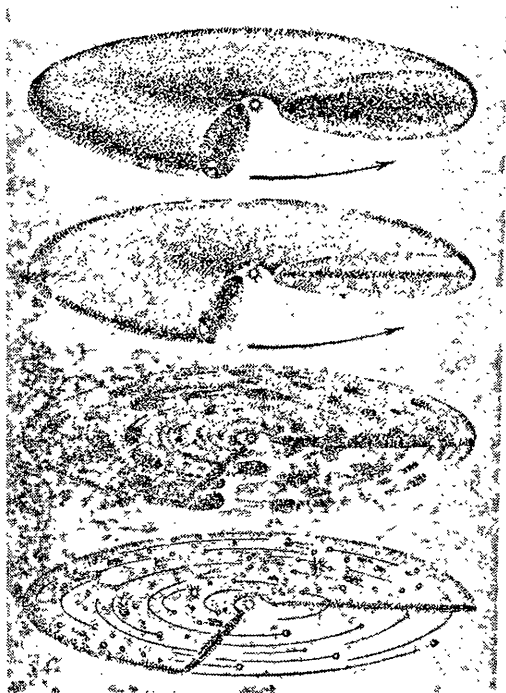


Рис. 36. Схема образования планет из роя небольших твердых холодных тел — планетезималей

Точнее, около 9/10 массы облака, сжимаясь, превратились вскоре в протосолнце («молодое Солнце»), тогда как оставшаяся масса, обращаясь вокруг возникшего силового центра, охлаждалась и сплющивалась, в ней возникали отдельные пылинки и твердые тела небольших размеров — планетезимали. Из этих последних, благодаря их взаимному притяжению, «лепились» планеты (рис. 36).

При этом потоки световых лучей и легких частиц, летящих от протосолнца, должны были «выметать»

из ближайших его окрестностей легкие химические элементы — водород и гелий. Благодаря же столкновениям «солнечных» энергичных протонов и нейтронов с веществом, из которого формировались планеты, происходили так называемые реакции скалывания. В итоге и образовались ядра легких химических элементов — лития, бериллия и бора, которых на Земле значительно больше, чем в атмосфере Солнца.

Распространенность химических элементов в Солнечной системе (отражающая главным образом содержание их в атмосфере Солнца) и масса различных газов земной атмосферы и всей воды на Земле показаны соответственно на рис. 37 и 38. Как видно, в атмосфере Солнца на каждые 10 частиц (атомов) водорода приходится одна частица гелия. Между тем на Земле гелия примерно в 100 000 раз меньше, чем водорода. Уместно вспомнить к тому же, что около 100 т водорода ежедневно «испаряется» из верхних слоев земной атмосферы в межпланетное пространство. Отсюда следует вывод: находившиеся в первоначальной туманности, из которой образовались планеты, водород и гелий действительно были «выметены» из ближайших окрестностей Солнца. Имеющийся же в атмосфере Земли водород — это результат диссоциации молекул воды, которые в этой туманности находились, по-видимому, в замороженном состоянии.

Обращает на себя внимание и тот факт, что в атмосфере Солнца кислорода всего в два раза больше, чем углерода. На Земле это отношение равно 700 : 1. Кто знает, возможно все дело в том, что проведенные до сих пор расчеты залежей органических ископаемых (нефти, газа, угля) нуждаются в корректировке и что их на самом деле гораздо больше...

Все еще остается дискуссионным вопрос о первичной атмосфере Земли. Сегодня она состоит на 78,03 % из азота, 20,99 % — кислорода, 0,94 % — аргона и 0,03 % — углекислого газа плюс ничтожная примесь водяного пара и «всего прочего». По одним предположениям, первичная атмосфера Земли, давление которой в сто раз превышало нынешнее, состояла из водорода, метана, аммиака и водяных паров. Лишь примерно 1,5 млрд лет назад в ней появился кислород в количестве 1/1000 его современного

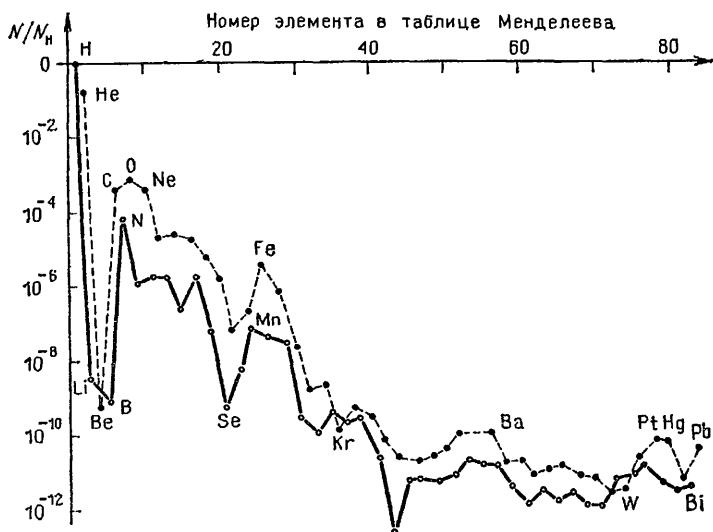


Рис. 37. Распространенность химических элементов в Солнечной системе относительно содержания в ней водорода; сплошными отрезками соединены точки элементов с нечетными номерами, штриховыми — с четными

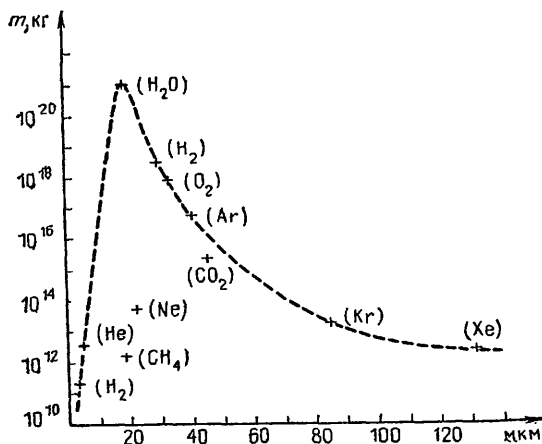


Рис. 38. Массы газов земной атмосферы и воды океана в зависимости от их молекулярной массы

содержания (так называемая *точка Юри*), а около 700 млн лет назад — в количестве 1/100 (*точка Пастера*). Это связывалось с развитием жизни (см. Ясаманов Н. Я. Современная геология. — М.: Недра, 1987. — С. 111).

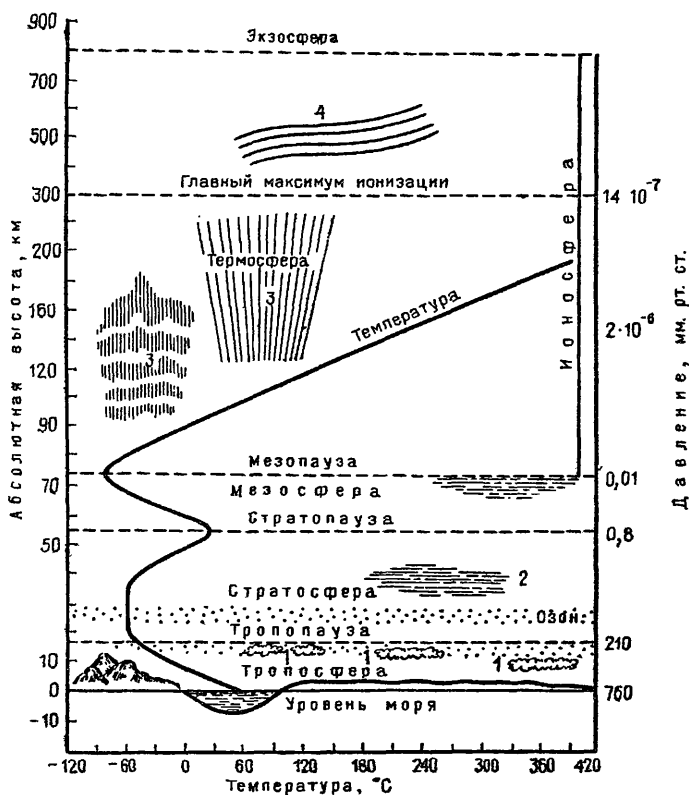


Рис. 39. Схема строения земной атмосферы: 1, 2 — облака различных типов, 3, 4 — полярные сияния

Скорее всего, однако (см. Войткевич Г. В. Основы теории происхождения жизни. — М.: Недра, 1988. — С. 104), «данные современной геохимии и космохимии не дают никаких указаний на присутствие водорода, аммиака и метана в ранних планетах земной группы». Не исключено, что основная роль в первичной атмосфере Земли принадлежала водяному пару и углекислому газу, причем масса ее не превышала 1,5 % массы современной атмосферы.

Схема строения земной атмосферы «на сегодняшний день» показана на рис. 39.

Парниковый эффект. Средняя температура земной поверхности в наше время равна $+15^{\circ}\text{C}$. Оказывается, что это — чудесный дар Природы. На самом деле освещаемая Солнцем Земля должна бы иметь среднюю температуру примерно на 30° (по другим данным даже на 40°) меньшую. Установилась же эта повышенная температура, благодаря которой Земля является дивным оазисом жизни, из-за парникового эффекта.

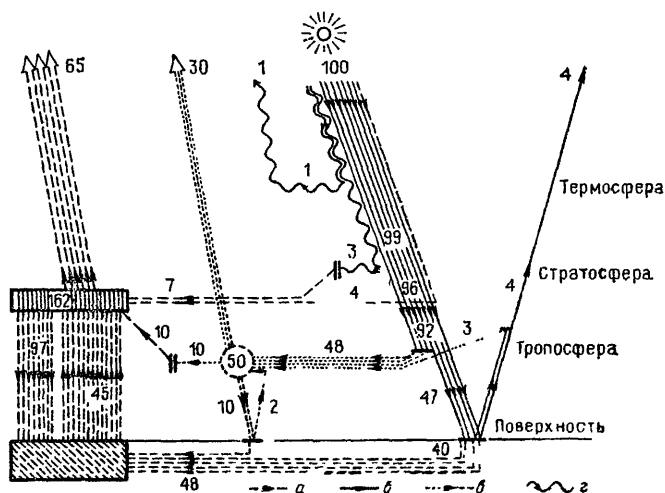


Рис. 40. Схема теплового баланса Земли: *а* — инфракрасное излучение, *б* — прямой видимый свет, *в* — рассеянный видимый свет, *г* — ультрафиолетовое излучение

Парниковый эффект возник на Земле вследствие присутствия в ее атмосфере водяных паров и углекислого газа. Его сущность становится понятной, если внимательно присмотреться, как распределяется солнечная энергия, попадающая на Землю, на схеме теплового баланса Земли (рис. 40), которую мы заимствуем из книги А. В. Бялко «Наша планета — Земля» (М.: Наука, 1983. — С. 125). Примем, что на Землю попадает сто условных единиц солнечной энергии. Один процент, далекий ультрафиолет солнечного спектра, поглощается молекулами на высотах более 100 км. Еще три процента ближнего ультрафиолета

поглощаются озоном и четыре процента инфракрасного излучения — водяными парами в верхних слоях тропосферы.

Подавляющая же часть солнечного излучения (92 %), приходится на «окно прозрачности» атмосферы от 290 до 2400 нм, проникает в приземные слои воздуха. Здесь 45 % его, главным образом коротковолновое излучение, рассеивается воздухом, придавая небу голубой цвет. В итоге поверхности Земли достигает 47 % начального светового потока, из чего примерно 7 % отражается обратно (однако из них почти половина рассеивается в атмосфере). Всего же поверхность Земли поглощает 40 % энергии солнечных лучей и еще 8 % предварительно рассеянных в земной атмосфере.

На протяжении многих миллионов лет установилось определенное равновесие: такое же количество энергии Земля излучает обратно в космическое пространство, однако в инфракрасной области спектра, с максимумом вблизи длин волн около 8600 нм. Но по «стечению обстоятельств» излучение как раз этих длин волн усиленно поглощается прежде всего водяными парами и переизлучается частично обратно к земной поверхности (этот баланс показан на рис. 40 в его левой части). В конечном итоге Земля нагрелась до такой (более высокой) температуры, при которой общий поток энергии вверх в точности равен идущему от Солнца лучистому потоку.

Примечательно, что именно благодаря парниковому эффекту перепады температуры на Земле в течение суток не превышают 15 °С.

Как уже отмечалось, в наше время в атмосфере Земли содержится около 0,23 % водяного пара и 0,03 % углекислого газа. Но в прошлом их могло быть в ней больше или меньше (как полагают, в 10—15 раз). Это, по всей видимости, являлось непосредственной причиной изменений климата на нашей планете.

«Проблема озона». Молекулы кислорода O_3 — озона — образуются в земной атмосфере на высоте от 10 до 100 км, причем наибольшая их концентрация приходится на высоту 25—30 км. Можно сказать, что в этих слоях атмосферы Земля существует определенное динамическое равновесие: под действием ультрафиолетового излучения Солнца молекула O_2

диссоциирует на два атома кислорода, которые (отдавая свою энергию третьей частице) соединяются с молекулами O_2 . Поглощая же ультрафиолетовые кванты солнечного света, молекулы озона разрушаются. Этот повторяющийся непрерывно цикл приводит к весьма важному результату: к поверхности Земли губительное для всего живого ультрафиолетовое излучение Солнца не доходит. А между тем, если бы этот слой озона сжать до «нормальных условий» у поверхности Земли при давлении в одну атмосферу, то вблизи экватора его толщина была бы равной всего около 1,5 мм, на географической широте 60° — до 3 мм.

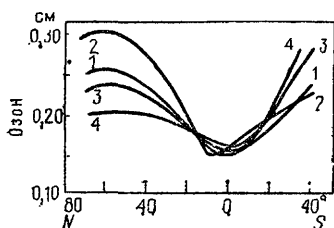


Рис. 41. Изменение общего содержания озона в атмосфере Земли в зависимости от широты для января (1), апреля (2), июля (3) и октября (4)

Такова она, эта «броня», охраняющая все живое на Земле. Но, как следует из расчетов, среднее сокращение озона на 5 % приводит к увеличению ультрафиолетовой радиации на 5—10 %. И сразу становится очевидной вся ее хрупкость...

Из только что сказанного следует, что общее количество озона в высоких широтах больше, чем в низких. Более того, его распределение с высотой существенно зависит не только от широты, но и от времени суток и в особенности от времени года (рис. 41). В высоких широтах весной озона в полтора раза больше, чем осенью. Это связано с особенностями циркуляции воздуха вдоль меридианов в верхних слоях атмосферы Земли.

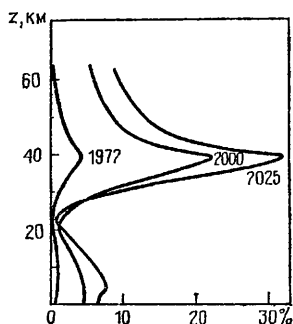
Оценки показывают, что в среднем молекула озона живет около двух лет. А если равновесие в его содержании нарушено, то оно восстанавливается на высотах больше 25 км за 15 минут, в слое между 20 и 25 км — за несколько суток и за гораздо больший промежуток времени ниже 20 км.

Разрушение озона (если не учитывать процессов поглощения им ультрафиолетового излучения Солн-

ца) происходит по многим причинам. Около 10 % его уничтожает «нечетный» водород (соединения H , OH , HO_2), еще примерно 50 % содержания озона на высоте в 20 км разрушают окислы азота NO и NO_2 , образующиеся здесь из закиси азота N_2O . Эта последняя поступает с поверхности Земли, выделяясь после внесения в почву азотных удобрений, а также заносится в стратосферу сверхзвуковыми самолетами.

Разрушает озон и хлор, который является, в частности, составляющим элементом фреонов — инертных газов, используемых в холодильных установках,

Рис. 42. Прогноз потерь озона — последствия выброса в атмосферу соединений хлора, если их производство сохранится на уровне 1973 г.



в различного рода распылителях аэрозоля, в установках кондиционирования воздуха и т. д. (рис. 42). Продолжительность жизни этих веществ в атмосфере Земли измеряется 50-ю (для фреона-11 $CFC1_3$) и 70-ю (фреон-12 CF_2Cl_2) годами. «В настоящее время ежегодно около 10 миллионов тонн испарившегося фреона поступает в атмосферу. Там молекулы фреона перемешиваются с ее основными компонентами и заносятся при этом на высоты 20—30 км, где жадно вступают в химические соединения с молекулами озона. При последующих реакциях с молекулами кислорода фреон опять восстанавливается, и таким образом он постепенно накапливается в верхних слоях атмосферы. В настоящее время мировое производство фреона растет примерно на 20 % в год. Если в ближайшие годы это безобразие не прекратить, то, как показывают расчеты, через несколько десятилетий толщина озонного слоя в атмосфере начнет ощутимо уменьшаться... Неразумное и даже

самоубийственное поведение человечества вполне можно уподобить поведению сошедшего с ума экипажа космического корабля, буравящего его стенки, что неизбежно приведет к разгерметизации» (*Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум.* — 6-е изд. — М.: Наука, 1987. — С. 276).

К счастью, как в нашей стране, так и за рубежом уже принимаются меры к сокращению производства фреонов.

Однако кроме фреона в атмосферу выбрасываются и некоторые другие соединения хлора (например, C_2Cl_4 , C_2HCl и т. д.), которые также в результате фотохимических реакций образуют атомарный хлор, вступающий в реакцию с озоном. Их в общей сложности вырабатывается в четыре раза больше, чем фреонов.

И еще один «виновник» разрушения озона — космические лучи, т. е. заряженные частицы высоких энергий, движущиеся из галактического пространства и от Солнца, вторгающиеся в земную атмосферу и отклоняющиеся магнитным полем Земли к ее полюсам. Проникая на высоты до 30 и даже до 5 км, эти частицы приводят к уменьшению озона на 25 % и больше, причем это понижение концентрации озона (озонная дыра) сохраняется несколько недель и более.

Как видим, факторов, определяющих динамику озонного слоя, много. Если же говорить о биологических эффектах колебания содержания озона в атмосфере, то они могут быть весьма серьезными. Однако исследование всех этих вопросов лишь начинается.

Климат Земли. Когда говорят о климате определенного региона Земли, имеют в виду метеорологические характеристики: температуру, осадки, ветры, влажность воздуха, усредненные более чем за 20-летний период. Примечательно, что само это слово в переводе с греческого означает «наклон». Имеется в виду наклон оси суточного вращения Земли (или соответствующий ему наклон плоскости небесного экватора) к плоскости эклиптики. Ведь им определяется поток солнечной энергии на конкретный участок земной поверхности. Конечно, имеется и множество других факторов, влияющих на климат Земли, и среди них далеко не последнюю роль играет переменность потока заряженных частиц, движущихся от

Солнца и врывающихся в верхние слои земной атмосферы.

Геологи приводят многочисленные доказательства того, что за последний миллиард лет на Земле в среднем было гораздо теплее (температура в среднем была на 40° выше), чем в настоящее время, так что льдов не было и в полярных областях. «Однако этот теплый режим прерывался сравнительно короткими интервалами ледниковых периодов продолжительностью порядка 10 млн лет, отделенных друг от друга несколькими сотнями миллионов лет. Примерно 50 млн лет назад произошло что-то такое, что вызвало постепенное ухудшение климата. Это ухудшение достигло кульминации около 2 млн лет назад. С нею пришел новый тип климата, характеризующийся сменой ледниковых и межледниковых периодов, которых, вероятно, было около двадцати. Этот тип климата предположительно продолжает сохраняться на Земле и в наше время» (Митчелл Дж. М. // Энергия и климат. — М.: Гидрометеиздат, 1981. — С. 83).

Колебания климата в относительно недалеком прошлом проиллюстрированы на рис. 43. Как видно, около 10 000 лет назад закончился последний ледниковый период, на протяжении которого, в частности, уровень Мирового океана был примерно на 100 м ниже, чем в наши дни, а площадь континентальных ледниковых щитов в три раза превышала сегодняшнюю. О более мелких колебаниях климата, отмечавшихся за последние две тысячи лет, мы еще поговорим в § 4.

Одной из важных причин существенных колебаний климата является изменение параметров земной орбиты — эксцентриситета e , наклона плоскости небесного экватора к плоскости эклиптики ϵ (см. § 9 и 10) и медленного вращения орбиты Земли в пространстве (прецессии орбиты), определяемой величиной $e \sin \pi$, где π — долгота перигелия — углового расстояния самой близкой к Солнцу точки орбиты Земли от направления на точку весеннего равноденствия (рис. 44). Эта идея была высказана в 1842 г. французским математиком Адамаром и в 1930 г. развита югославским геофизиком Милутином Миланковичем (1879—1958). Вся перечисленная здесь группа факторов меняет приходящую к Земле солнечную радиацию

(инсоляцию), которая обратно пропорциональна квадрату расстояния от Земли до Солнца.

Анализ показал, что эксцентриситет земной орбиты меняется в пределах от 0,0007 до 0,0658 с периодом около 100 тыс., 425 тыс. и 1200 тыс. лет. Угол ϵ меняется в пределах от $22,068^\circ$ до $24,568^\circ$ с периодом около 41 тыс. лет и 200 тыс. лет. Прецессия орбиты

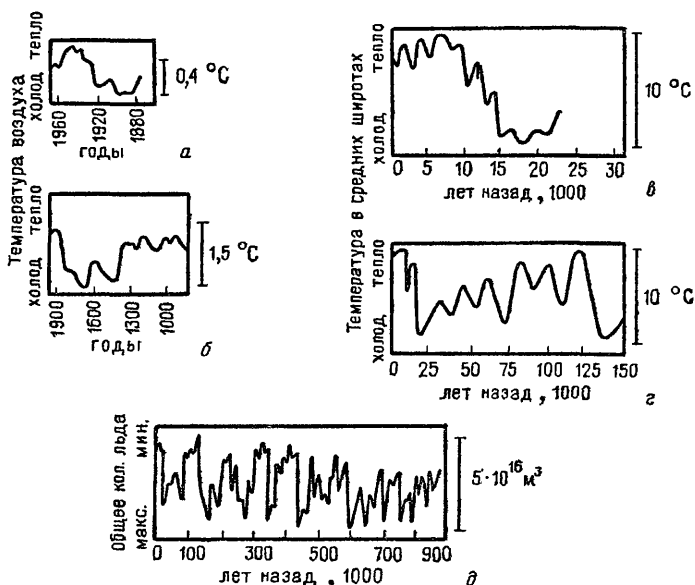


Рис. 43. Характеристики климата прошлого: изменение средней температуры за последние сто лет (а), тысячу лет (б), 25 тысяч лет (в) и 150 тысяч лет (г), а также изменение глобального объема льда за последние 900 тысяч лет (д)

(параметр $e \sin \pi$) колеблется в пределах от 0,03 до 0,07 с периодом около 21 000 лет. С учетом всех этих факторов были проведены расчеты инсоляции за последние 500 тыс. лет, данные о которых заимствованы нами из книги Борисенкова Е. П. «Климат и деятельность человека» (М.: Наука, 1982. — С. 48) и частично воспроизведены на рис. 45. Как видно, «чередование ледниковых-межледниковых эпох удивительно хорошо согласуется с периодами колебания параметров земной орбиты и наклона оси Земли. При учете всех трех факторов амплитуды изменения инсоляции составили около 5 % относительно сред-

них летних значений, что весьма много. Это равноценно изменению инсоляции вследствие уменьшения солнечной постоянной примерно на те же 5 %... Детальные расчеты советских специалистов показали, что очередной минимум инсоляции, который почти на 5 % ниже современной величины инсоляции, будет

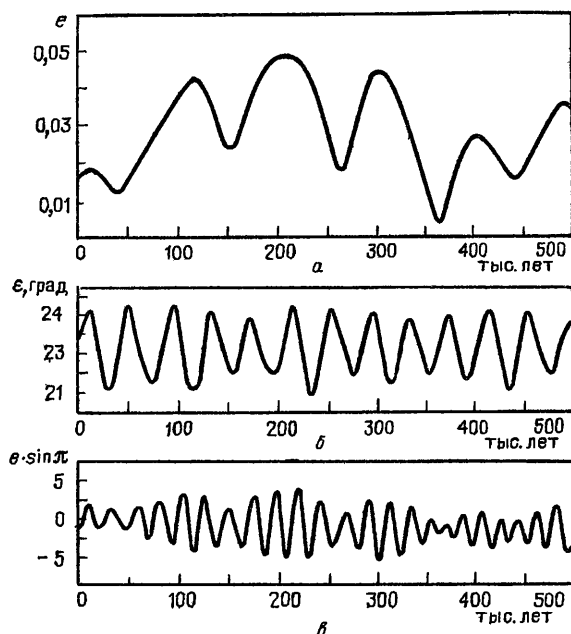


Рис. 44. Изменение эксцентриситета e (а), наклона ϵ плоскости небесного экватора и плоскости эклиптики (б) и процессии земной орбиты — параметра $e \sin \pi$ (в) за последние 500 тысяч лет

наблюдаться через 11 тыс. лет... Сейчас Земля находится в фазе межледниковья и приближается к эпохе оледенения со средней скоростью уменьшения инсоляции порядка 0,2—0,4 % за тысячу лет».

В двух словах отметим, что перечисленные факторы действуют так: холодные периоды соответствуют времени движения Земли по орбите с наименьшим эксцентриситетом, а также наименьшим углам наклона экватора к эклиптике. Третий эффект действует дифференцированно: в настоящее время Земля ближе всего к Солнцу в январе, поэтому зима в северном полушарии теплее, а лето в южном

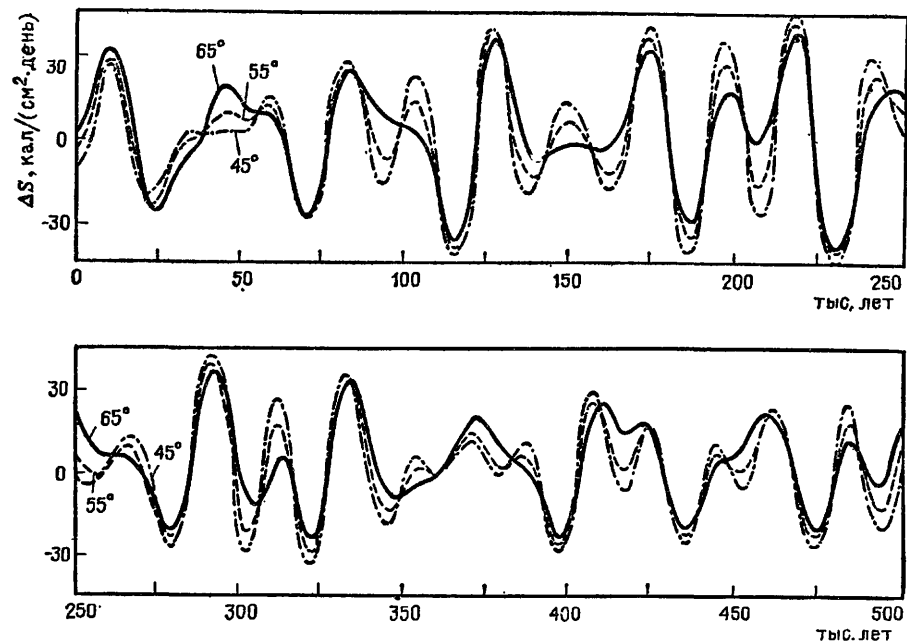


Рис. 45. Временной ход летней инсоляции за последние 500 тысяч лет на широтах 45°, 55° и 65°

полушарии холоднее, тогда как через 10—11 тыс. лет зима северного полушария и лето южного полушария станут холоднее, а зима южного полушария и лето северного — несколько теплее.

Климатический режим больших регионов Земли изменяется вследствие процессов, происходящих на Солнце (см. § 4), а также процессов «чисто земных» — поднятий и опусканий земной коры, изменения направлений морских течений, извержений вулканов и т. д. Более подробно читатель может узнать об этом из книг, приведенных в списке литературы.

Здесь мы хотим подчеркнуть такую мысль. Изменения климата Земли — процесс закономерный. Но в наше время «свою лепту» может внести (и уже вносит!) человек. Он поистине меняет облик своей планеты, радикально ее преобразовывает, и эта его деятельность имеет отрицательные стороны. Ведь, как отметил выдающийся советский геофизик Ферсман А. Е. (1883—1945), за последние пять столетий человечество извлекло из земли не менее 50 млрд тонн углерода, 2 млрд т железа, 20 млн т меди, 20 тыс. т золота... В наше время ежегодно сжигается около 3 млрд т каменного угля и более 1,5 млрд т нефти. Тем самым каждый год в земную атмосферу добавляется свыше 10 млрд т углекислоты. Производство энергии в мире растет с ускорением в 2 % в год (рис. 46). Годовое потребление энергии в мире в 1985, 2000 и 2025 гг. оценено в $3,3 \cdot 10^{20}$, $5,7 \cdot 10^{20}$ и $12,4 \cdot 10^{20}$ Дж. Согласно прогнозам (рис. 47) роль угля как источника энергии будет все возрастать.

И вот теперь возвратимся к тому, с чего начал весь этот разговор, — о возможном влиянии человека на всю окружающую его среду и, как следствие этого, на климат Земли. Ведь, как показывает расчет, содержание CO_2 в атмосфере Земли около 2000 г. будет на 27,5 % больше, чем в 1860 г. К 2035 г. оно по сравнению с 1970 г. удвоится, а к 2100 г. возрастет в 3—5, а возможно и в 5—8 раз. Увеличение же углекислого газа в атмосфере в два раза приведет к росту средней температуры на Земле на 3°C . Тем самым к 2100 г. средняя температура на Земле может повыситься на 6°C , а в полярных районах на 18°C . И это — всего лишь эффект углекислого газа.

За счет же выброса фреонов, даже если он сохранится на уровне 1977 г., температура на Земле

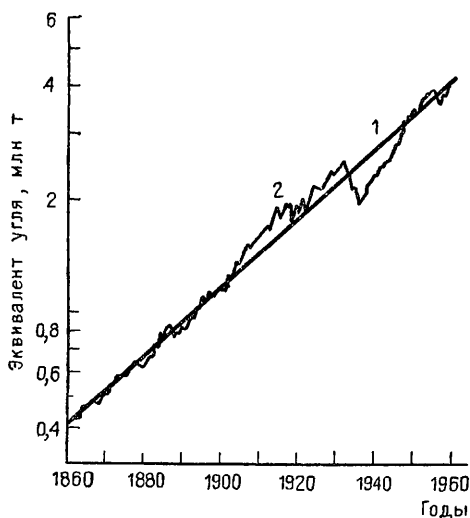


Рис. 46. Средний (1) и фактический (2) рост производства энергии в мире

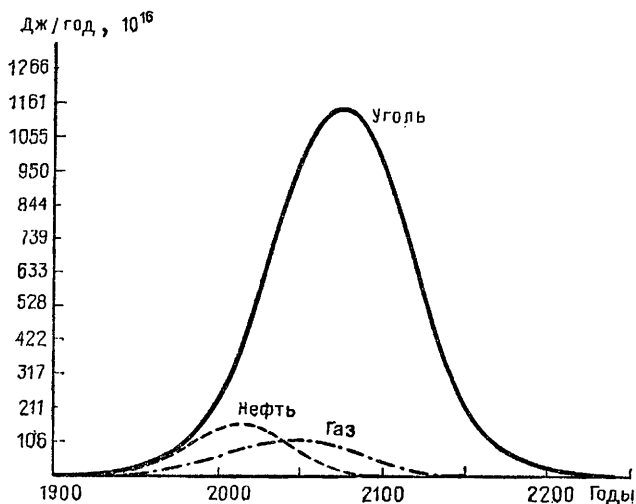


Рис. 47. Предполагаемый рост различных источников топлива в мире

к 2025 г. повысится на $0,9^{\circ}\text{C}$. Но к 2025 г. удвоится концентрация окиси азота N_2O в атмосфере (в частности, за счет ускоренного использования азотных удобрений). Это в свою очередь даст увеличение температуры на поверхности Земли на $0,5^{\circ}\text{C}$.

Трудно пока оценить эффект локального перегрева почвы вблизи мощных энергетических станций, которые сегодня еще лишь проектируются...

Да, наша планета прекрасна, и жизнь на ней с каждым десятилетием становится все насыщеннее и разнообразнее. Но мы видим, сколь тонкая она, эта «подстройка» всех параметров земной орбиты, параметров земной атмосферы. И, радуясь завтрашнему дню, пора каждому из нас научиться задавать себе этот важный вопрос: а все ли я лично делаю для того, чтобы сохранить эту дивную красоту для будущих поколений (для своих детей и внуков, в конце концов). Ведь еще надолго Земля останется не только «колыбелью разума», но и оазисом, где должна совершенствоваться и сохраняться жизнь во всех ее проявлениях...

Спутник Земли — Луна. Луна — ближайшее к Земле небесное тело. Ее радиус равен 1737 км, масса в 81,3 раза меньше массы Земли, а средняя плотность в полтора раза меньше земной. Температура на лунном экваторе колеблется от $+130^{\circ}\text{C}$ в полдень до -170°C в полночь, причем продолжительность солнечных суток на Луне составляет 29,5 земных.

Изучение Луны начал Галилей, впервые направивший на нее построенный им телескоп. В марте 1610 г. он в «Звездном вестнике» писал: «Из наблюдений, неоднократно повторенных, мы пришли к заключению, что поверхность Луны не гладкая, и не ровная, и не в совершенстве сферическая, как полагал в отношении ее великий легион философов, а, напротив того, неровная, шероховатая, испещренная углублениями и возвышенностями, наподобие поверхности Земли».

Уже невооруженным глазом на Луне хорошо различаются светлые области — «материки», занимающие около 60 % лунного диска, и темные «моря» (40 %). Наиболее эффектными деталями лунной поверхности являются *кратеры* (рис. 48). Установлено, что их число N обратно пропорционально квадрату

диаметра кратера $D(N \sim D^{-2})$. Отсюда следует, что почти все они — результат выпадения на поверхность Луны метеорных тел (см. § 5, раздел Б), для которых распределение по размерам подчиняется той же



Рис. 48. Кратеры Арзахель (вверху), Альфонс и Птолемей

зависимости. Сам процесс образования лунных кратеров был проанализирован и подробно аргументирован в работе К. П. Станюковича и В. В. Федынского (1947 г.), а позже В. А. Бронштэном и другими отечественными и зарубежными авторами (рис. 49). Веским доводом в пользу метеоритного происхождения лунных кратеров является построенная в 1949 г. американским ученым Р. Болдуином диаграмма, на которой сопоставлены диаметры кратеров и их глу-

бины как для лунных кратеров, так и заведомо взрывных структур: воронок от бомб, снарядов и крупных наземных взрывов (рис. 50).

По аналогии с земными «образцами» на Луне выделяют: 1) *маары* — мелкие (диаметром до 5 км) круговые впадины, обрамленные более высокими краями, 2) *кальдеры* — кратеры с плоским дном, расположенные на вершине горы, и 3) *кулообразные горы* с небольшими кратерами на вершине. Для

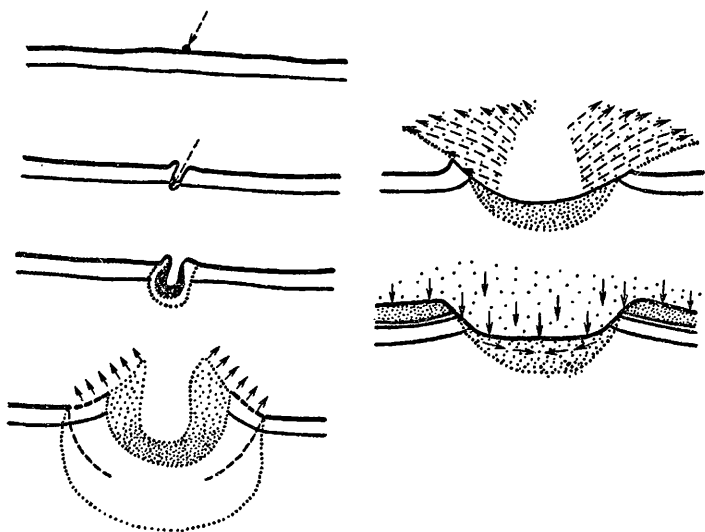


Рис. 49. Процесс образования ударного кратера на Луне

лунного ландшафта характерны также протяженные системы *лучей*, гигантские *трещины* и *борозды*.

«Моря» — это области, заполненные темным веществом, напоминающим застывшую вулканическую лаву. Краевые поднятия на периферии морей называются *кордильерами*. Различная яркость отдельных участков поверхности Луны объясняется тем, что «материки» в среднем отражают примерно 9 % солнечных лучей, тогда как «моря» — всего около 4 %.

Начиная с 1959 г. в СССР и США по направлению к Луне для всестороннего ее исследования было запущено более пятидесяти космических зондов различных типов. В частности, три из советских автоматических межпланетных станций (АМС) совершили

мягкую посадку на Луну и доставили на Землю образцы лунных пород, две АМС доставили на поверхность Луны автоматические лаборатории «Луноход» (рис. 51). В декабре 1972 г. в США была успешно завершена начатая в 1969 г. программа «Аполлон», в ходе которой 12 человек пробыли на Луне в общей

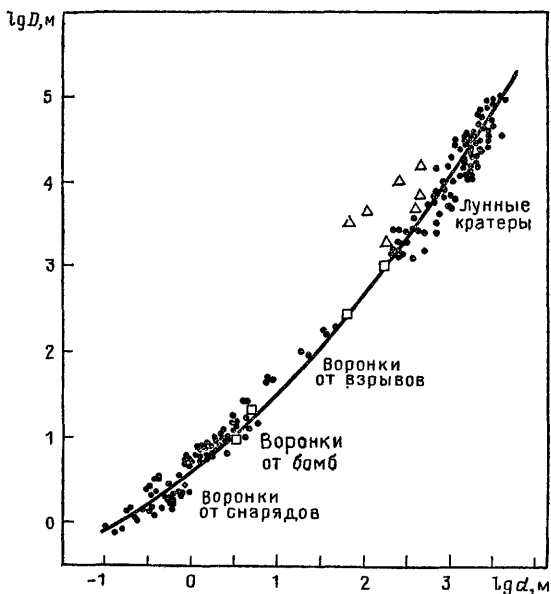


Рис. 50. Зависимость диаметра кратера D от его глубины d для взрывных кратеров

сложности 300 часов (рис. 52). На Луне были установлены комплекты научной аппаратуры — сейсмометры, магнитометры, лазерные отражатели, собрано около 400 кг образцов лунных пород.

Что же мы узнали нового о Луне, о ее строении, о ее далеком прошлом? Прежде всего, оказалось, что образцы лунных пород состоят из тех же химических элементов, что и земные породы, хотя имеются некоторые различия в их относительном содержании (так, в них гораздо меньше платины, золота и серебра).

В результате продолжительной бомбардировки лунной поверхности метеоритами на ней образовался

рыхлый обломочный покров толщиной около шести метров, названный *реголитом*. Одна из его составляющих — *брекчия* — смесь мелких частиц минералов (обломков горных пород), сцементированных стеклом.

Установленные на Луне сейсмометры регистрировали от 600 до 3000 лунотрясений в год, однако выделяемая сейсмическая энергия в миллиард раз

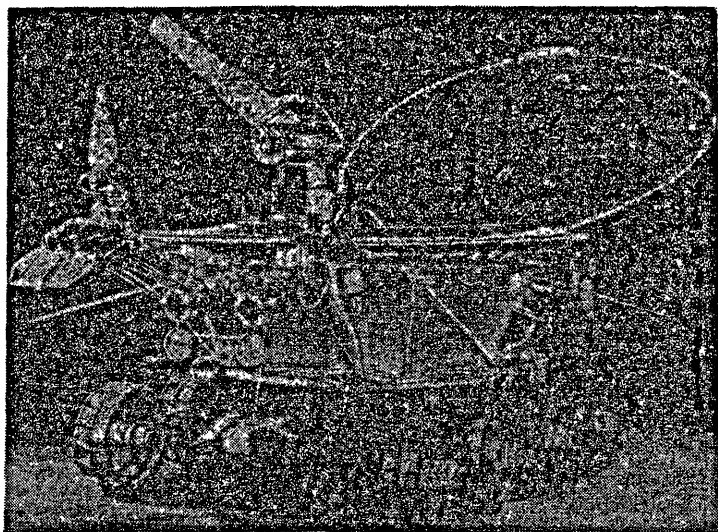


Рис. 51. «Луноход-1»

меньше, чем на Земле (среднее лунотрясение оценивается двумя баллами по шкале Рихтера). Было выделено два типа лунотрясений. Первые связаны с процессами в глубоких недрах Луны (около 1000 км), их спусковым механизмом, по-видимому, являются приливные силы: эти лунотрясения наблюдаются при прохождении Луны через перигей или апогей своей орбиты, т. е. через каждые 13,6 суток. Колебания второго типа происходят в лунной коре. В итоге удалось построить модель внутреннего строения Луны.

При рассмотрении внутреннего строения Луны принято выделять кору толщиной около 60 км, верхнюю мантию толщиной 250 км, среднюю мантию,

расположенную на глубинах 300—800 км, нижнюю мантию и небольшое железное ядро радиусом в несколько сотен километров. Эти две последние обра-

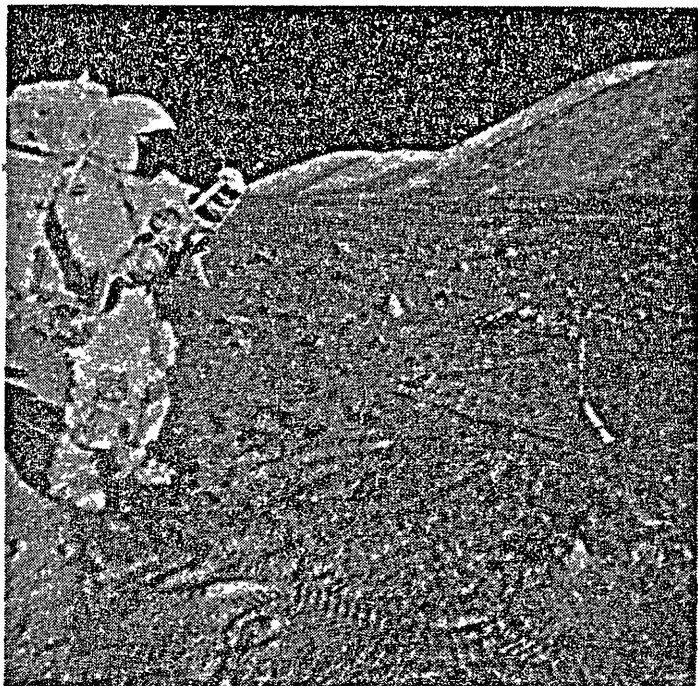


Рис. 52. Первые люди на Луне

зуют вместе *астеносферу* — зону пониженной прочности, возможно находящуюся в частично расплавленном состоянии. Температура в верхней части этого слоя оценивается в 1800 К.

Атмосферы как таковой Луна не имеет, хотя крайне разреженная газовая оболочка у нее и обнаружена. Основными ее компонентами являются водород, гелий, неон и аргон. Их концентрация в 10^{13} раз меньше, чем концентрация частиц в земной атмосфере. Тем не менее она все же в 100—1000 раз больше, чем концентрация частиц в солнечном ветре (см. § 4). По-видимому, Луна окружена пылевым облаком, протяженность которого сравнима с радиу-

сом лунного шара, а концентрация в нем пылевых частиц размером ~ 70 мкм в 10^4 — 10^5 раз больше, чем в межпланетном пространстве.

До сих пор изучено меньше половины образцов лунных пород (остальные хранятся в сейфах до того времени, когда будут разработаны новые методы исследования). Установлено, что их возраст находится в пределах от 3,13 до 4,4 млрд лет. Отсюда следует, что Луна образовалась примерно в то же время, что и Земля, согласно расчетам Е. Л. Рускол — на расстоянии около 10 земных радиусов от нашей планеты. Одновременно началось ее медленное удаление от Земли, которое продолжается и теперь со скоростью 4 см/год. Оно сопровождается уменьшением скорости вращения Земли вокруг своей оси.

Об особенностях движения Луны вокруг Земли мы еще поговорим в § 9, а о наблюдениях ее перемещения среди звезд и отдельных деталей ее поверхности — в § 19.

4. НАШЕ СОЛНЦЕ

«Из камня»... «величиной в ступню». Сегодня мы уже знаем, что Солнце, как и другие звезды, — это огромный раскаленный газовый шар (см. § 13). Светится же оно потому, что в его недрах происходит синтез ядер гелия (§ 15).

Но путь к этому знанию был долгим и нелегким. Первоначальные же представления о Солнце были весьма примитивными. Достаточно вспомнить взгляды древнегреческих философов Анаксагора (ок. 500—428 гг. до н. э.) и Демокрита (ок. 460—370 гг. до н. э.), полагавших, что Солнце — раскаленная глыба камня. Разогревалось же оно будто бы или вследствие быстрого вращения, или в результате своего быстрого поступательного движения.

В этих наивных высказываниях была, тем не менее, крупица истины: ведь тут утверждалось, что другие небесные тела состоят из тех же веществ (используя современную терминологию, скажем — из тех же химических элементов), что и Земля! Поэтому большим шагом назад было уже упоминавшееся (см. § 2) утверждение Аристотеля, будто Солнце и другие небесные светила состоят из какой-то особой, неизменной и неуничтожимой формы материи —

эфира. Мы уже знаем, что в этом усомнился Николай Кузанский.

Со времени Коперника и Кеплера представление об одинаковой природе вещества, из которого состоят Земля и другие планеты, Солнце и звезды, казалось все более очевидным. О физических же условиях на

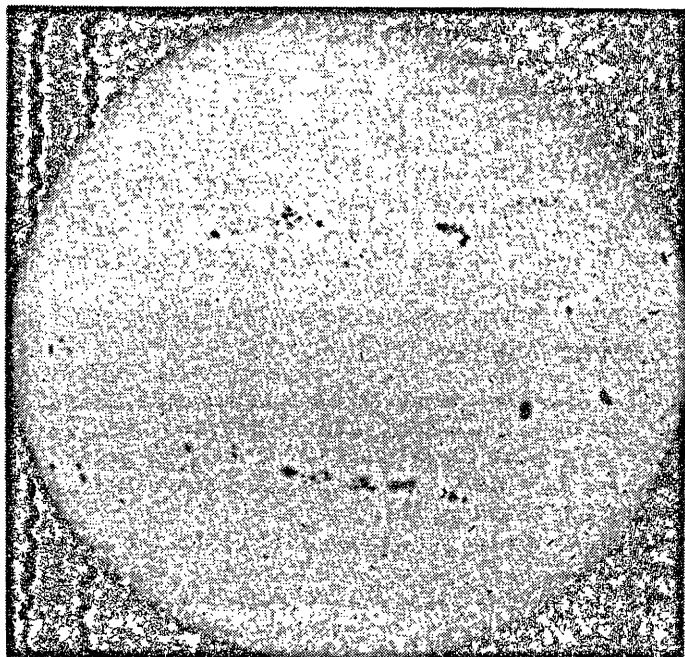


Рис. 53. Фотография Солнца, полученная в декабре 1957 г., когда на Солнце наблюдалось особенно много пятен

поверхности Солнца (как и в его недрах) никто и ничего конкретного сказать не мог.

Так, наблюдая Солнце в телескоп, астрономы констатировали наличие на его поверхности темных образований — солнечных *пятен* (рис. 53). И французский академик Лаир выдвинул следующую гипотезу: Солнце — это как бы большая капля жидкости, в которой плавают мелкие темные тела. Они-то, дескать, и наблюдаются в виде пятен. Но большинство

астрономов XVII века было склонно полагать, что поверхность Солнца твердая, как и у Земли, а пятна — это результат вулканических извержений (так полагал Держем) или просто кратеры на вершинах солнечных гор (Ф. Уолстон). Доподлинно известно, что выдающийся голландский ученый Христиан Гюйгенс (1629—1695) так и не составил себе определенного представления о том, в каком состоянии — жидком или твердом — находится солнечное вещество... Как мы увидим далее (см. также раздел «Начала астрофизики» в конце § 2) эта проблема была решена лишь в середине XIX в.

По-своему нелегко решался вопрос о размерах Солнца. Древнегреческий философ Гераклит (ок. 544—470 гг. до н. э.) высказал предположение, что Солнце «величиной в человеческую ступню». Аристарх Самосский, как мы уже знаем, определил его радиус в 7 радиусов Земли. Но лишь со времен Ньютона стало известно, что радиус Солнца в 109 раз больше, чем радиус Земли.

Сопоставляя параметры, которыми характеризуются движение Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли, астрономы определили, что масса Солнца M в 330 000 раз больше, чем масса Земли.

Температура и спектр Солнца. Может показаться невероятным, но греясь в лучах нашей дневной звезды, астрономы всего каких-нибудь 250 лет назад предполагали, что этот свет исходит от «облаков, которыми закутано Солнце». И Ньютон, и позже Гершель легко допускали, что под этими облаками на твердой поверхности Солнца живут разумные существа, которые строят города, изучают окружающий их мир...

Первую оценку температуры солнечной поверхности дал американский астрофизик Гомер Лейн (1819—1880) в 1869 г. Имея определенные экспериментальные данные о количестве энергии, излучаемой раскаленными телами, Лейн пришел к выводу, что температура на поверхности Солнца равна 30 000 К. В дальнейшем это число все уточнялось. Во многих учебниках, изданных в начале XX в., дается меньшее значение — 10 000 К.

По-видимому, как первое, так и второе значение многие астрономы и любители астрономии ставили под сомнение. Иначе трудно объяснить, почему в

двух книгах К. Фламмарiona — его «Небе» и «Популярной астрономии» — этого конкретного числа нет. Во второй из упомянутых книг Фламмарion об этом говорит пространно: «Что касается теплоты, испускаемой Солнцем, то самый страшный жар наших печей, жар, при котором плавятся все наши тугоплавкие металлы — железо, платина, иридий, — настоящий лед по сравнению с теплом Солнца. Максимальная температура наших лучших плавильных печей достигает 2500° — 3000° . Но это сущие пустяки, конечно, по сравнению с гигантским светилом, которое удалено от нас на $149\frac{1}{2}$ миллионов километров и посылает нам лишь одну двухмиллиардную часть всей испускаемой им теплоты».

Последнее утверждение понятно: если радиусом, равным 1 а. е., описать сферу, то ее площадь будет в 2 млрд раз больше площади круга с радиусом, равным радиусу Земли. Но мы здесь видим, что Фламмарion вопрос о температуре подменяет рассказом о величине потока излучаемой Солнцем энергии. Эту величину мы именуем *светимостью* Солнца, она равна $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт: столько энергии проходит через всю описанную вокруг Солнца сферу в единицу времени.

Но эта энергия излучается звездой, радиус которой $R_{\odot}$. А еще сто лет назад было установлено, что количество энергии, излучаемой единицей поверхности светящегося тела, пропорционально четвертой степени его температуры. Именно так было найдено, что эффективная температура поверхности Солнца равна 5800 К.

Своеобразным «паспортом» каждой звезды, в том числе и Солнца, является ее спектр. В солнечном спектре (рис. 54) зарегистрировано более 30 000 линий, принадлежащих 72 химическим элементам. Конечно, на Солнце «присутствуют» и остальные 20 элементов. Просто их линии очень слабые и заметить их на общем фоне нелегко.

О внешних слоях Солнца. Только что мы несколько раз использовали слово «поверхность», хотя какая может быть (в общепринятом значении этого слова) поверхность у газового шара?

Конечно, никакой поверхности у Солнца (и у других звезд) нет, и этот термин используется условно. В строении внешних слоев Солнца выделяют *фото-*

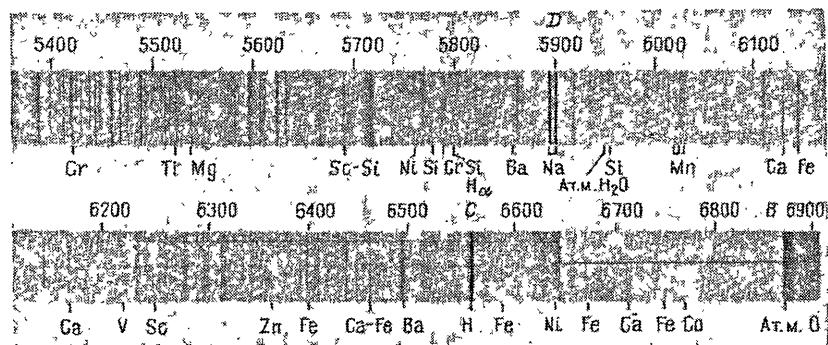


Рис. 54. Часть солнечного спектра оптического диапазона; указана принадлежность линий химическим элементам
Числа обозначают длины волн в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$)

сферу («сферу света», если перевести с греческого), *хромосферу* («сферу цвета») и *корону*. Фотосфера — это слой газа толщиной около 700 км, в котором формируется приходящее к Земле излучение Солнца. Как раз через середину этого слоя и «проведена» условная поверхность нашей звезды, используемая для различных расчетов, конкретно — отсчета высот (вверх) и глубин (вниз).

Хромосфера — слой толщиной около 10 000 км, лежащий над фотосферой. Ее можно видеть в моменты полных солнечных затмений в виде окружающего Солнце кольца ярко-красного цвета. Именно благодаря наличию этого разреженного слоя газа мы наблюдаем в спектре Солнца темные линии: идущие «снизу», из более плотных слоев, фотоны света поглощаются в хромосфере и сразу же(!) переизлучаются. Но (вот в чем «соль») с одинаковой вероятностью — в любом направлении, в том числе в 50 % случаев обратно в сторону Солнца. А это значит, что в какой-то определенной частоте к Земле (и к наблюдателю) приходит меньше энергии — образуется темная линия в спектре (рис. 55). Остается добавить, что так поглощаются и переизлучаются лишь определенные порции энергии, соответствующие переходам электронов в атомах на высшие энергетические уровни.

Как мы уже знаем, атмосфера Солнца в основном состоит из водорода: его здесь в девять раз больше, чем гелия; всех же остальных химических элементов по числу частиц в солнечном веществе очень мало. В этом причина красного цвета хромосферы, и объясняется это так. В каждом кубическом сантиметре объема хромосферы содержится около 10^{15} частиц. Из каждого же миллиарда атомов водорода в одном «в данный момент времени» электрон находится на втором энергетическом уровне. Поглощая идущий «снизу» фотон красного диапазона спектра, электрон переходит на третий уровень и тут же «соскакивает» обратно вниз, на второй уровень, излучая ту же порцию энергии, но, как только что говорилось, — в произвольном направлении. Резюмируя, скажем: когда диск Солнца покрыт Луной, мы наблюдаем большое число фотонов, переизлученных атомами хромосферы в спектральной линии H_{α} , расположенной в красной части солнечного спектра.

Во время полного солнечного затмения главное внимание привлекает к себе серебристо-белого цвета корона (рис. 56). Исследования ее спектра привели к выводу, что температура вещества здесь достигает

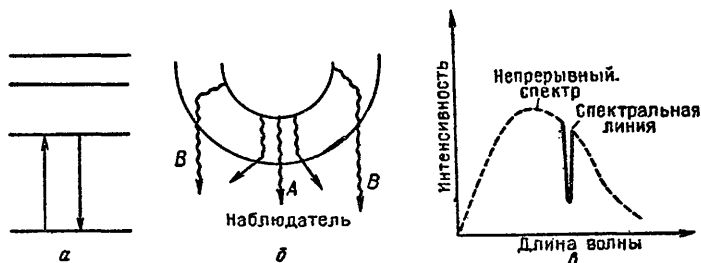


Рис. 55. К объяснению механизма образования линий в спектре Солнца и других звезд: в результате перехода электрона на высший энергетический уровень и обратно вниз (а) происходит изменение направления движения фотона, из-за чего к наблюдателю приходит меньшее число фотонов (б), в итоге в непрерывном спектре образуется «провал» — «недостаток» энергии, т. е. линия поглощения. Во время же полного солнечного затмения к наблюдателю приходят фотоны В, переизлученные в хромосфере главным образом в линии H_{α} , поэтому он видит вокруг темного диска красноватое кольцо солнечной хромосферы

$3 \cdot 10^6$ К, а в отдельных областях она еще в десять — двадцать раз больше! Солнечная корона «незаметно» расширяется в межпланетное пространство, образуя на расстоянии в несколько $R_{\odot}$ поток вещества, именуемый *солнечным ветром*.

Гранулы и пятна. При визуальных и фотографических наблюдениях фотосферы Солнца (в особенности проведенных со стратостатов и искусственных спутников Земли) легко заметить, что она по своей яркости не является однородной. Фотосфера как бы состоит из огромного количества небольших светлых зернышек — *гранул*, расположенных на более темном фоне (рис. 57). Диаметр этих образований около 700 км, их среднее время жизни семь минут. Потом гранула распадается и на ее месте возникают новые.

Исследование скоростей газа в гранулах и их окрестностях приводит к выводу, что гранулы — это струи горячего газа (температура в них на 350—400 К выше, чем в промежутках между гранулами), которые поднимаются вверх со скоростями около

0,5 км/с. В темных промежутках между гранулами вещество, наоборот, опускается вниз.

Так было установлено, что вещество «под поверхностью» Солнца находится в состоянии своеобразного «кипения», или *конвекции* (см. § 13, раздел «Конвективный перенос энергии»). Его горячие элементы поднимаются вверх, холодные опускаются вниз.

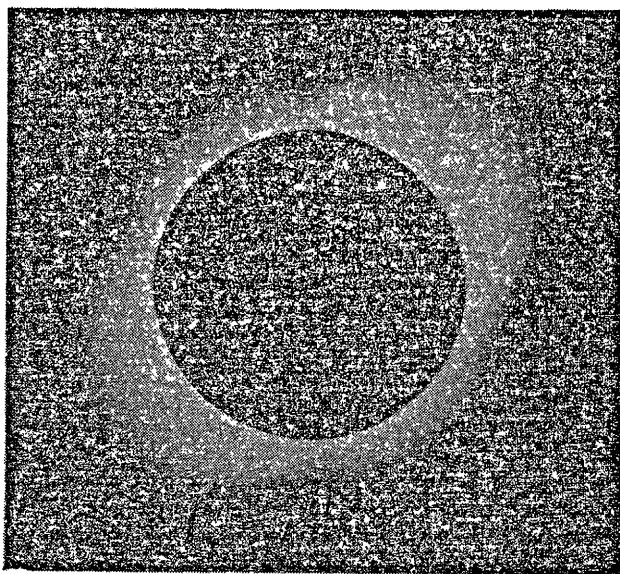


Рис. 56. Солнечная корона

Но упомянутое вещество — это в значительной мере ионизованный газ, т. е. плазма! А мы уже знаем, что при движении электрических зарядов возникают магнитные поля. В одних местах они имеют противоположные направления и поэтому взаимно уничтожаются, в других — объединяются в *магнитные трубки*. Эти последние «всплывают» на поверхность Солнца, «расталкивая» газ фотосферы и образуя то, что мы называем *солнечными пятнами* (рис. 58). Так как магнитное поле подавляет конвекцию, то температура газа в области пятна на 1500—2000 К меньше, чем в спокойной фотосфере.

Конечно, поток энергии, идущий снизу, должен все же как-то «пробиться» на поверхность Солнца.

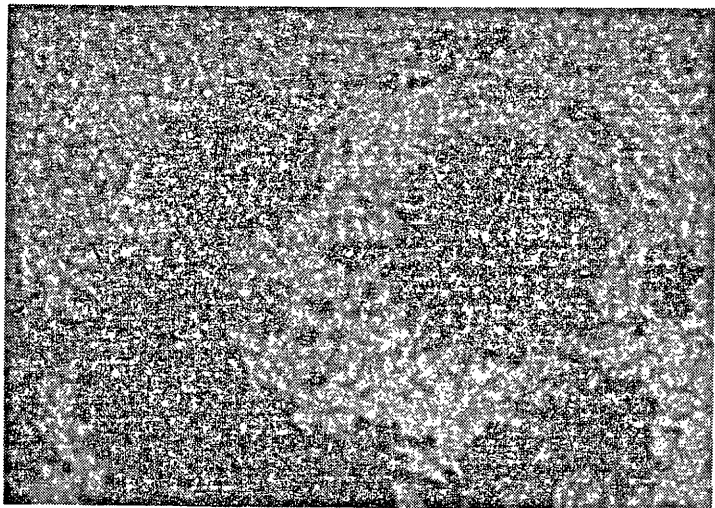


Рис. 57. Солнечная грануляция и группа пятен (снимок получен в США на высоте 24 км)

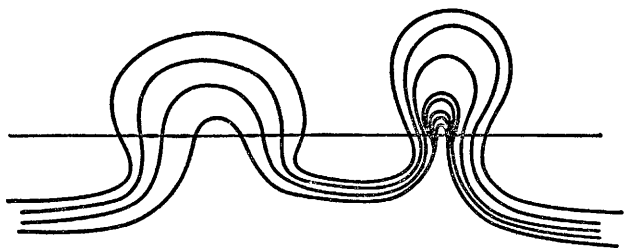


Рис. 58. Схема выхода трубок магнитного поля на поверхность Солнца

И если пятно — преграда, то он «прорывается» несколько в стороне от него. Так вблизи пятен появляются (точнее, задолго до появления самого пятна) хорошо заметные яркие образования — *факелы*.

Поднимаясь вверх, магнитная трубка «тянет» за собой частично ионизованное вещество солнечной фотосферы. Ведь ионизованные частицы «наматываются» на силовые линии магнитного поля и могут разве

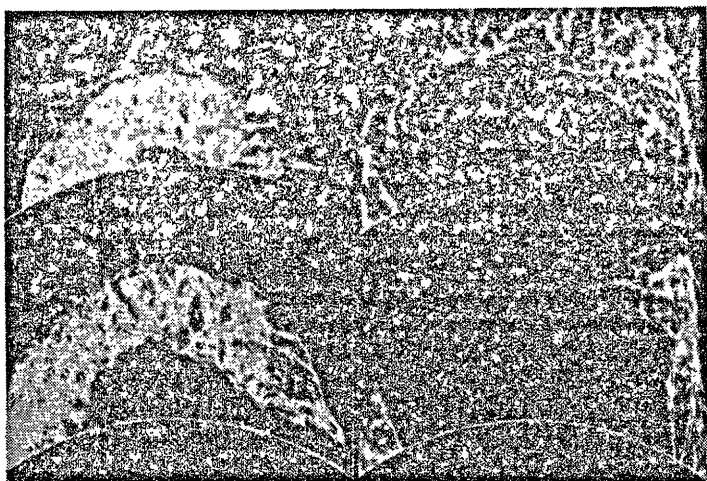


Рис. 59. Развитие протуберанца, наблюдавшееся в течение часа

что, двигаясь по спирали, скользить вдоль упомянутых линий. В итоге образуются своеобразные арки — *протуберанцы* — высотой в десятки тысяч километров, наблюдающиеся с помощью специальных светофильтров на краю солнечного диска. Иногда можно увидеть, как за весьма короткое время (несколько десятков минут) протуберанец со скоростью до 700 км/с выбрасывается вверх, в корону (рис. 59).

Наблюдения за положением пятен на диске Солнца привели к выводу, что Солнце вращается вокруг своей оси, делая по отношению к далеким звездам полный оборот за 25,4 суток, а по отношению к обращающейся вокруг него Земле за 27,3 суток. Поэтому условия наблюдений пятен меняются (некоторые пятна живут на протяжении трех оборотов

Солнца!). Протуберанцы же, если только они проецируются на диск Солнца, наблюдаются на нем в виде тонких темных *волокон*.

Цикличность активности Солнца. Солнечные пятна — одно из проявлений *солнечной активности*. Уже в середине XIX в. было установлено, что число пятен на Солнце в различные годы неодинаково: в одни пятна очень много, в другие на протяжении многих месяцев на диске Солнца нет ни одного пятнышка. Средний промежуток времени между двумя максимумами солнечной активности равен 11,1 года. Установил это в 1852 г. швейцарский астроном Рудольф Вольф (1816—1893). Он же ввел *число Вольфа* как количественную характеристику солнечной активности:

$$W = 10g + f. \quad (4.1)$$

Здесь g — количество групп солнечных пятен, f — полное число всех пятен во всех группах. Усредняя числа Вольфа по месяцам и используя далее их среднее значение за год, получают график зависимости солнечной активности от времени (рис. 60).

О методике наблюдений солнечных пятен и определения чисел Вольфа мы поговорим еще в части третьей.

Солнечные вспышки. Одним из наиболее мощных проявлений солнечной активности являются *солнечные вспышки* (рис. 61). Лучше всего они видны в свете линии H_{α} , но иногда — и в белом свете. В годы максимума солнечной активности их может быть около 10 в сутки!

Обычно вспышки возникают в областях между пятнами, у которых магнитное поле имеет противоположное направление. При сближении этих пятен происходит уничтожение (*аннигиляция*) поля, вследствие чего выделяется энергия (буквально за несколько секунд!), эквивалентная взрыву нескольких миллионов водородных бомб. Процесс развития вспышки продолжается около 5—10 минут, размер области, охваченной вспышкой, всего около 1000 км.

Во время вспышки возникает мощное излучение в ультрафиолетовом, рентгеновском и радиодиапазоне. При этом появляются также весьма энергичные протоны, электроны, более тяжелые ядра различных химических элементов, которые движутся от

Солнца со скоростью до 30 000 км/с. Это *солнечные космические лучи*.

Что же происходит на Земле, если на Солнце в результате вспышки интенсивность *рентгеновского излучения* возрастает в несколько сотен раз? Об этом

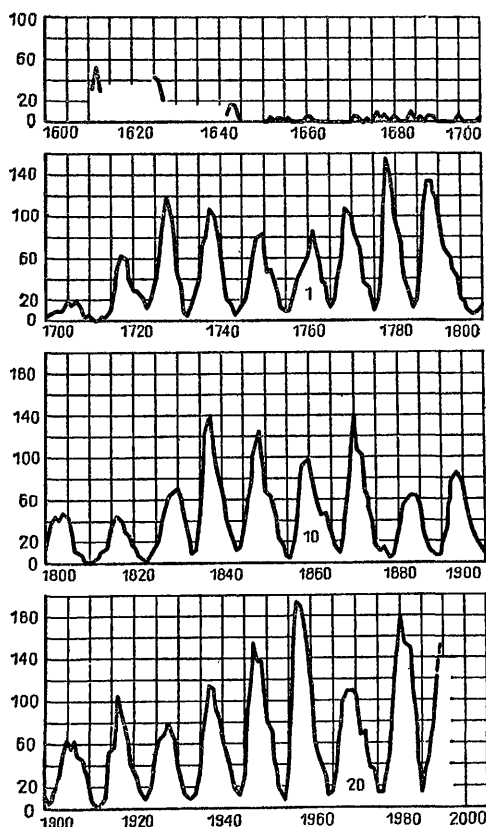


Рис. 60. Изменение чисел Вольфа со временем

уже «кое-что» известно. Через 8 мин 20 с рентгеновские кванты достигают земной атмосферы, дополнительно «разбивают» на ионы молекулы, ионизуют атомы, в итоге происходит появление большого количества заряженных частиц, которые движутся, создают электрические токи и, соответственно, магнитные поля. Тем самым происходит возмущение общего магнитного поля Земли (стрелка компаса хаотически

изменяет свое направление). Возмущения же магнитного поля, как оказалось, заметно влияют на человеческий организм (точнее, на всю биосферу). В частности, происходит спазм кровеносных сосудов, из-за чего уменьшается приток крови к мозгу. Одновременно из-за этого повышается кровяное давление. Человек становится вялым, его внимание притупляется.

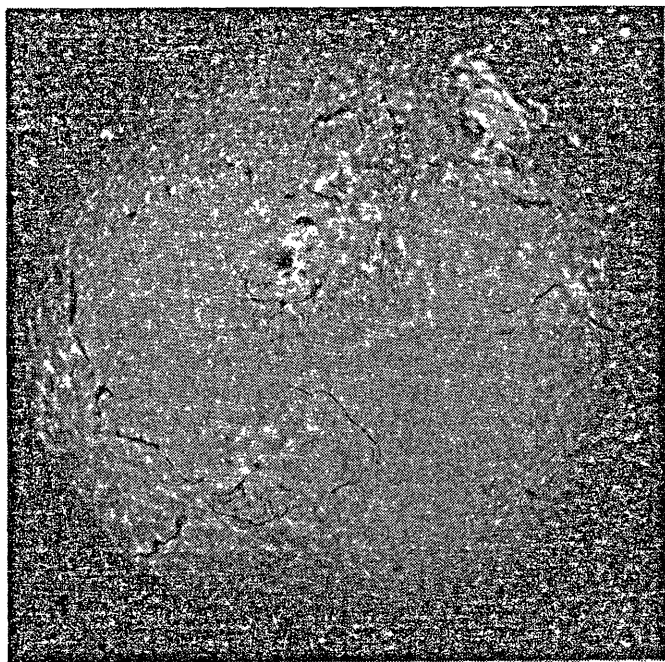


Рис. 61. Солнечная вспышка (справа сверху). Видны также пятна и светлые факелы

Итог всего этого таков: когда на Солнце много пятен и происходят вспышки, в несколько раз возрастает число инфарктов и инсультов, случаев травматизма на производстве, происшествий на автодорожных магистралях. Поэтому, в частности, в эти периоды следует ограничивать скорость автомобильного транспорта...

Солнце — климат — биосфера. Возвратимся еще раз к вопросу о климате нашей планеты и посмотрим,

как, по всем имеющимся данным, он зависит от процессов, происходящих на Солнце. Данные рис. 60 четко указывают на существование 11-летнего цикла солнечной активности, а также и большего (векового) периода в 80—90 лет: число W в максимуме активности меняется от цикла к циклу. По всей видимости, существует также цикл в 1800—2000 лет. Этот последний существенно влиял на условия жизни в масштабах всей нашей планеты.

Так, сегодня Сахара — каменистая и песчаная пустыня. Но в ее пещерах найдены изображения гиппопотамов, слонов, жирафов, страусов, плывущих на челнах людей. Из этого следует, что каких-нибудь четыре тысячи лет назад в Сахаре были полноводные реки, богатая растительность, самый разнообразный мир животных. Окончательное превращение Сахары в пустыню произошло в первом тысячелетии нашей эры.

С периодом ~ 1900 лет существенно колеблется уровень воды в озерах и морях, что четко прослеживается на примере Каспийского моря. Как известно, в V в. н. э. на его берегу был построен порт Дербент и крепость. Сейчас останки ее стен находятся на глубине около 5 м. Следовательно, во время строительства крепости уровень моря был по крайней мере на 4 м ниже сегодняшнего. В XI—XIV вв. она находилась на глубине 7—8 м. Такова амплитуда колебания уровня Каспийского моря на протяжении 1900 лет... Все еще скрыты под водой и руины столицы Хазарского каганата Итиль, располагавшейся с VIII в. в низовьях Волги, на обоих ее берегах.

Примечательна и история колонизации Исландии и открытия Америки норманнами в IX—X вв. В момент открытия Исландии в 860 г. климат этого острова был гораздо мягче сегодняшнего. Плодородные земли и богатые растительностью пастбища были и в Гренландии, где в IX в. существовали два поселения норвежцев с общим числом жителей около 5000 человек.

В 999 г. один из норвежских кораблей из-за жестокого шторма вместо Гренландии оказался у берегов новой, ранее неизвестной земли, получившей название Винланд (страна винограда). Так была открыта Америка, куда четыре года спустя на трех кораблях отправились 160 переселенцев.

Однако с XIV в. в северном полушарии, и в частности в Европе, количество осадков существенно увеличилось. Оледенение Арктики достигло значительных размеров, Гренландия была блокирована льдами, и на долгие 200 лет связь с ней прервалась. А когда, наконец, к ней удалось пробиться сквозь льды, там не оказалось уже ни одного человека.

По всем данным влажный период 1900-летнего цикла, который начался в XIV—XV вв., заканчивается. Вскоре снова начнется продолжительный (на 300—400 лет) период засух, потепление Арктики, высыхания степных озер Сибири и западного Казахстана, дальнейшее понижение (еще на 3—4 м) уровня Каспийского моря и т. д. На все это, конечно, наложатся эффекты, связанные с уже упоминавшейся деятельностью человека. И прогнозирование изменений климата в глобальном масштабе — дело крайне трудное. К тому же не всегда мы сразу обнаруживаем истинные причины того или другого явления. Так, в последние годы колебания уровня Каспийского моря объясняются... изменением наклона его дна!

Причиной же упомянутых тысячелетних колебаний климата несомненно является изменение солнечной активности, в частности количества пятен на Солнце. Как показали расчеты (по записям в древних летописях и хрониках), в XIII—XIV вв. солнечная активность была наибольшей за все последние 200 лет. Установлено, что в средних широтах с увеличением солнечной активности возрастает повторяемость циклонов, что, в свою очередь, ведет к увеличению количества осадков.

Существуют изменения климатического режима и на протяжении 11-летнего цикла. Обнаруживаются они, в частности, путем анализа радиального прироста дерева (рис. 62). Так, в южных областях Европейской части СССР в годы максимумов лето чаще бывает сухим и жарким и упомянутый прирост наименьший. И наоборот, он наибольший в годы минимумов солнечной активности, когда летом выпадает много дождей. Если же дерево росло более ста лет, то в упомянутой зависимости обнаруживается и влияние векового цикла. Опять-таки в годы пониженной активности прирост наибольший, а по мере приближения к вековому максимуму он уменьшается.

...и человек. Влиянием солнечной активности на человека русский ученый А. Л. Чижевский (1897—1964) заинтересовался еще в 1915 г. Именно ему и удалось сделать вполне определенные выводы о тесной взаимосвязи организма человека с окружающей средой, и прежде всего с процессами, происходящими на Солнце.

В прошлые годы тяжелым несчастьем для людей были эпидемии чумы, холеры, тифа. Чума, названная

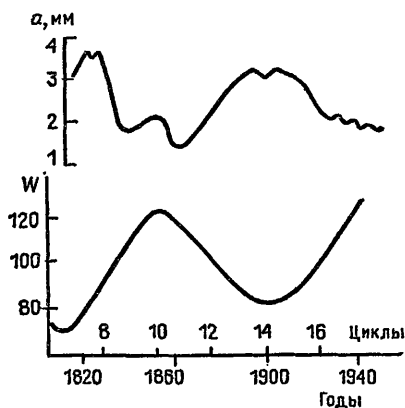


Рис. 62. Изменение радиального прироста сосны (в мм) на протяжении 90-летнего цикла солнечной активности (внизу — числа Вольфа W)

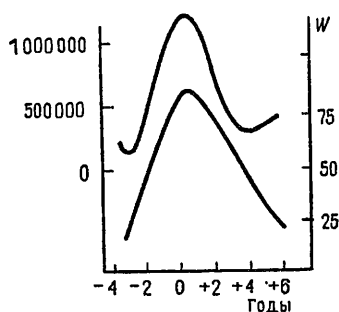
«черной смертью», вихрем пронеслась над нашей планетой, уничтожая миллионы людей. И вот А. Л. Чижевский, изучая исторические документы, сопоставил даты наибольших эпидемий чумы с моментами максимумов солнечной активности за промежуток почти в 2000 лет. Оказалось, что вспышки этого заболевания приходились преимущественно на годы высокой активности Солнца. И что весьма интересно: об этой болезни начали практически забывать в середине XIX в., хотя население Земли увеличивалось и контакты между людьми все усиливались.

На протяжении всей первой половины второго тысячелетия холера свирепствовала лишь в Юго-Восточной Азии. Однако в XIX в. волна заболеваний холерой шесть раз прокатилась почти по всей Земле. Из анализа статистических данных следует, что разгар эпидемии почти всегда совпадал с максимумом солнечной активности. Это хорошо видно из рис. 63, составленного А. Л. Чижевским по данным о количестве заболеваний холерой в России в 1823—1923 гг.

На этом рисунке все солнечные циклы сведены в один средний цикл и цифра 0 на горизонтальной шкале соответствует максимуму активности. На левой шкале указано среднее количество заболеваний за четыре, три и т. д. года до максимума и после него. Как видно, чем больше пятен на Солнце, тем больше на Земле было заболеваний холерой.

А. Л. Чижевский обнаружил также, что число заболеваний возвратным тифом наибольшее в первый год после максимума солнечной активности. Сейчас, конечно, благодаря прививкам эта картина выглядит

Рис. 63. Количество заболеваний холерой в России с 1823 по 1923 гг. (верхняя кривая) и ход чисел Вольфа W по данным А. Л. Чижевского



не столь отчетливо. Примерно такова же динамика заболеваний скарлатиной и дифтеритом.

Как заметил В. М. Ягодинский в своей книге «Космический путь биосферы» (М.: Знание, 1975 г.), крайне загадочной является история проказы. В Европе в XIII в. насчитывалось около 2 млн больных этой грозной болезнью. Однако в последующие столетия их количество существенно уменьшилось, и до конца XVII в. проказа практически исчезла с территории Европы. Однако сто лет назад она опять здесь появилась, и если это заболевание как-то связано с тысячелетним циклом солнечной активности, то приходится ожидать, что количество больных ею со временем будет увеличиваться.

Обращает на себя внимание тенденция снижения заболеваний туберкулезом, проявившаяся за последние сто лет (рис. 64). Хотя успехи медицины в подавлении этой тяжелой болезни несомненны, все же общая тенденция в уменьшении числа больных определяется в значительной степени и «космическим фактором», природу которого еще предстоит разгадать.

Механизмы влияния окружающей среды на человеческий организм несомненно разнообразны. В целом можно утверждать, что в ритме с процессами, происходящими, скажем, на Солнце, в определенной степени изменяются функции отдельных его систем, изменяются защитные свойства организма, иногда понижаются барьеры, которыми организм защищает себя от несущих ему болезнь микробов.

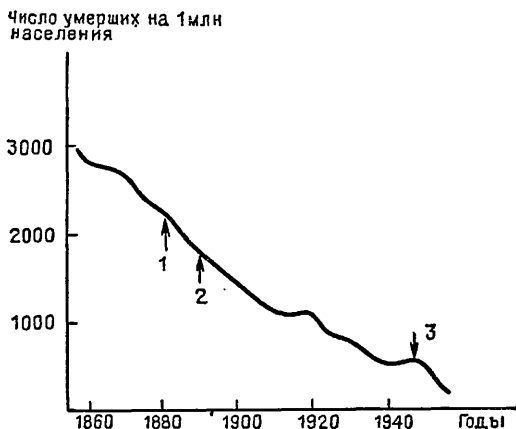


Рис. 64. Средние показатели смертности от туберкулеза в Англии и Франции в 1860—1955 гг. По оси абсцисс — годы, по оси ординат — показатель смертности (на 1 млн населения). Стрелка 1 — открытие туберкулезной палочки, 2 — введение туберкулиновой вакцины, 3 — начало химиотерапии (Будущее науки. — М.: Знание, 1986, вып. 19. — С. 208)

Например, заражение кишечными и капельными инфекциями происходит через ротовую полость и носоглотку. Здесь важным барьером является слюна, способная довольно быстро растворять микроорганизмы, убивать их. И вот оказалось, что это столь ценное свойство слюны зависит от процессов, происходящих на Солнце: в минимуме солнечной активности оно существенно больше, чем в максимуме.

Определенным образом солнечная активность «регулирует» и кислотность желудочного сока: чем больше число Вольфа W , тем меньше в желудочном соке соляной кислоты. Становится понятным, почему возбудители холеры, которым «по вкусу» щелочная среда, легче попадают в кишечный тракт именно в годы максимума солнечной активности.

Всем известны также бактерицидные свойства крови, обусловленные присутствием в ней лейкоцитов и сложных белковых соединений — антител. По некоторым данным, в максимуме солнечной активности способность сыворотки крови растворять микроорганизмы на 30 % меньше, чем в минимуме.

В ритме с интенсивностью проявлений солнечной активности изменяется способность крови образовывать тромбы и растворять их: с ростом числа пятен активность фибринолиза (способности растворять тромбы) уменьшается...

Конечно, все это требует проверки и перепроверки, ведь на человеческий организм одновременно действуют сотни самых различных факторов. Нет сомнения, однако, что возникшее в глубокой древности представление о воздействии на человека процессов, происходящих, образно говоря, далеко от его жилища, содержат крупицу истины.

5. ПЛАНЕТНАЯ СИСТЕМА

А. Большие планеты

По своим физическим характеристикам (размеры, массы, средние плотности) большие планеты принято разделять на две группы. В группу планет типа Земли входят Меркурий, Венера, Земля и Марс. К группе

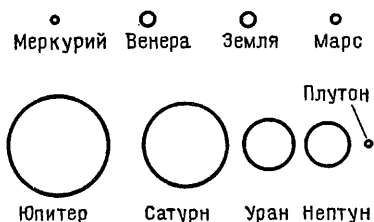


Рис. 65. Сравнительные размеры больших планет

планет-гигантов принадлежат Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Самая далекая планета Плутон «самовольно» выделилась, как мы уже знаем, из обеих групп (рис. 65).

Меркурий. Меркурий — ближайшая к Солнцу планета: она обращается вокруг него на расстоянии, в 2,5 раза меньшем, чем Земля, и поэтому, в расчете на единицу площади, получает от него в шесть раз

большую энергию. По своим размерам Меркурий всего в 1,4 раза больше Луны.

Долгое время полагали, что в своем обращении вокруг Солнца Меркурий всегда повернут к нему одной и той же стороной (как Луна к Земле). И лишь в 1965 г. в результате радиолокационных исследований было установлено, что по отношению к далеким звездам Меркурий делает полный оборот за 58,6 земных суток. Таким образом, оказалось, что на протяжении каждых 176 суток планета делает три оборота по отношению к звездам, два витка по орбите и один оборот по отношению к Солнцу. Иначе говоря, одни сутки на этой планете длятся два ее года.

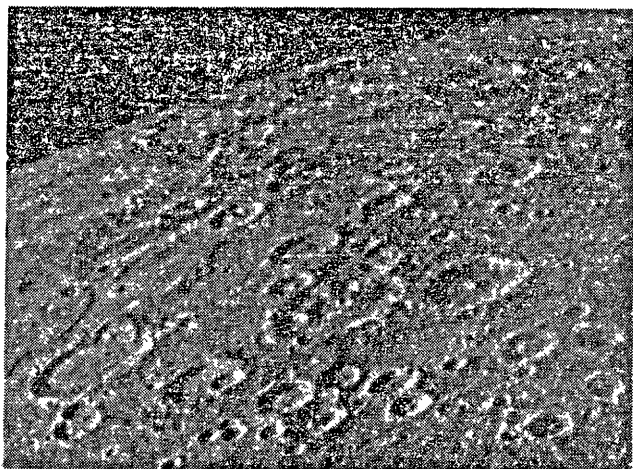


Рис. 66. Кратеры на поверхности Меркурия

Физические условия на Меркурии весьма неблагоприятны для посещения этой планеты: поверхность экваториальной зоны нагревается днем до $+430^{\circ}\text{C}$ (в умеренных зонах — до $+340^{\circ}\text{C}$), ночью поверхность планеты охлаждается до -180°C .

Трижды в 1974—1975 гг. автоматическая межпланетная станция «Маринер-10» прошла вблизи Меркурия, причем ближайшее расстояние от планеты составляло всего 320 км. Получено несколько тысяч снимков. Оказалось, что поверхность Меркурия щедро

усеяна кратерами (рис. 66). Поэтому вполне можно было бы назвать эту планету близнецом Луны. И здесь уместно вспомнить, что еще в 1947 г. К. П. Станюкович и В. В. Федынский в уже упоминавшейся работе, относящейся к проблеме образования кратеров на планетах, высказали мнение, что кратеры, подобные лунным, должны быть на всех телах Солнечной системы, лишенных атмосферы, в первую же очередь на Марсе, на астероидах. И мы далее будем неоднократно убеждаться в том, что это предвидение оказалось совершенно правильным!

На Меркурии встречаются и совершенно новые, по сравнению с Луной, детали поверхности: *эскарпы* — обрывы протяженностью в сотни и даже тысячи километров и высотой 2—3 км, разделяющие два, в общем ничем не отличающихся района. Высота гор на Меркурии достигает четырех километров.

Установлено присутствие у Меркурия сильно разреженной газовой оболочки, состоящей главным образом из гелия. Давление у поверхности планеты примерно в 500 млрд раз меньше, чем у поверхности Земли. Меркурий захватывает частицы солнечного ветра, которые через 200 дней (в среднем) отрываются от нее, на их место приходят другие.

А вот еще одна примечательная особенность в движении этой планеты: так как нижние соединения (см. § 10) планеты с Солнцем повторяются через каждые (в среднем) 116 земных суток, а это — два периода вращения планеты вокруг своей оси, то, «проскакивая» между Землей и Солнцем, Меркурий повернут к Земле всегда одним и тем же полушарием.

Венера. По своим размерам и массе Венера — почти такая же, как наша Земля. Но она примерно в 1,4 раза ближе к Солнцу и получает от него почти в два раза больше лучистой энергии, чем Земля.

Поверхность Венеры скрыта от нас плотной атмосферой и облаками. (Кстати, вывод о том, что Венера окружена мощной атмосферой, сделал М. В. Ломоносов (1711—1765) в 1761 г., наблюдая прохождение планеты по диску Солнца.) Поэтому лишь в 1966 г. было установлено, что Венера вращается вокруг своей оси относительно далеких звезд с периодом 243,2 земных суток, причем не против часовой стрелки (как Земля и другие планеты), если смотреть с северного полюса, а по часовой стрелке. Отсюда уже можно

найти, что день на Венере длится 116,8 земных суток, а год равен ... двум ее суткам.

В результате полетов АМС «Венера» и «Вега» (СССР) и «Маринер» (США) установлено, что атмосфера планеты состоит на 96 % из углекислого газа. Азота здесь около 4 %, кислорода меньше 0,1 %, водяного пара около 0,02 %. Температура вблизи поверхности Венеры составляет $+470^{\circ}\text{C}$, давление 93 атмосферы, плотность всего в 14 раз меньше плотности воды. Космонавт, оказавшийся на поверхности планеты, в направлении Солнца увидел бы лишь большое пятно повышенной яркости...

Как и на Земле, но в гораздо большей степени, высокая температура у поверхности Венеры установилась благодаря парниковому эффекту (см. раздел о нем в § 3). По-видимому, главную роль в этом сыграл углекислый газ.

На протяжении многих десятилетий Венера для астрономов была планетой загадок. И оглядываться

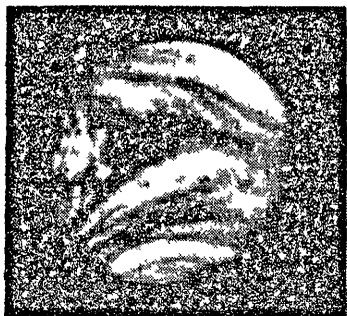


Рис. 67. Фотография Венеры в ультрафиолетовой области спектра, полученная АМС «Маринер-10» (США) в 1974 г.

«назад», вспоминать даже несостоявшиеся открытия, устарелые взгляды весьма полезно... Вот один из таких примеров. Американский астроном Персивал Ловелл (1855—1916) заметил на Венере длинные узкие полосы, которые он посчитал естественными каналами. В 60-х годах французские астрономы на обсерватории Пик-дю-Миди наблюдали на экваторе этой планеты горизонтальную «стрелочку» и благодаря ей пришли к выводу, что Венера, или по крайней мере ее атмосфера, вращается в противоположную сторону с периодом в четверо суток. После полетов к Венере АМС оказалось, что в ее плотных слоях образуются хорошо заметные в ультрафиолете мозаики светлых и

темных участков, преимущественно вытянутых вдоль экватора в виде исполинских стрел (рис. 67). Вывод о вращении облачных масс с периодом, близким к четырем суткам, подтвердился: вещество атмосферы Венеры на высоте около 50 км движется со скоростями порядка 100 м/с, т. е. 360 км/ч — в 60 раз быстрее линейной скорости вращения точек экватора планеты.

В 1966 г. издательство «Мир» выпустило книгу американского популяризатора О. О. Байндера «Загадки астрономии». Из нее мы узнаём, что 25 лет назад большая часть астрономов полагала: поверхность Венеры — бескрайняя пустыня от полюса до полюса. Но была высказана и противоположная гипотеза, состоявшая в том, что вся поверхность планеты покрыта водой. Именно так (и эдак) можно было объяснить



Рис. 68. Часть телевизионной панорамы поверхности Венеры, переданной АМС «Венера-9» в октябре 1975 г.

высокое (тогда уже установленное) процентное содержание углекислого газа в атмосфере. А вот английский астроном Фред Хойл предположил, что большая часть поверхности Венеры покрыта океанами нефти, которая, благодаря высокой температуре планеты, испаряется и закрывает небо жирными облаками. После запуска АМС «Венера» все прояснилось: поверхность Венеры — действительно пустыня (рис. 68).

Долгим был спор о том, «бросят ли вызов альпинистам венерианские джомолунгмы». Астрономы прошлого века создали представление, будто разрывы в облачном покрове Венеры, которые они якобы наблюдали, позволяли увидеть освещенные солнечными лучами горные вершины высотой до 15—20 км. На Венере будто бы есть пик, поднимающийся на 44 км, который был бы не под силу покорителям Джомолунгмы (Эвереста).

Первые результаты радиолокационных наблюдений Венеры привели, казалось, к противоположному

выводу: высота «холмов» на Венере не превышает двух метров. Вскоре, однако, все было уточнено. Оказалось, что на Венере имеются действительно высокие горы, вдвое выше, чем на Луне (почти до 20 км). Но наиболее удивительно то, что Венера, как и Луна и Меркурий, покрыта кратерами, которых особенно много у экватора планеты.

Новую страницу в исследовании поверхности Венеры вписали АМС «Венера-15 и 16». На этих искусственных спутниках были установлены радиолокаторы бокового обзора, позволившие, в частности, подробно изучить расположение длинейших горных хребтов и долин, покрывающих эту планету загадок.

По-видимому, на Венере происходят мощные извержения вулканов. Так, космический аппарат «Пионер-Венера» (США, запуск 1978 г.) зафиксировал поступление в атмосферу Венеры гигантского количества двуокиси серы, в 50 раз превысившее норму. Установлено также, что в атмосфере Венеры отношение дейтерия к водороду в сто раз больше, чем в атмосфере Земли. Отсюда следует вывод, что в далеком прошлом на Венере существовали океаны, подобные земным. Полагают, что основная потеря воды произошла в первые несколько сотен миллионов лет существования планеты.

Марс. Эта планета примерно вдвое меньше Земли по диаметру и в девять раз — по массе. На протяжении нескольких столетий наблюдатели видели в телескопы светлые области на поверхности Марса, получившие названия *материков*, и темные участки, названные *морями*. Вблизи полюсов ритмично появляются белые пятна — *полярные шапки*, исчезающие в начале лета соответствующего марсианского полушария.

В 1877 г. американский астроном Асаф Холл (1829—1907) открыл два спутника Марса — Фобос и Деймос. И в том же году итальянец Джованни Скиапарелли (1835—1910), составляя карту поверхности Марса, заметил, что «все огромное пространство континентов покрыто сетью тонких линий... темного цвета,... они напоминают тончайшую паутинную сеть, натянутую на диск».

Было использовано слово «канал», и этим как бы дан толчок фантазии... Скиапарелли обнаружил на Марсе 113 каналов, которые будто бы тянулись в дли-

ну до 4000 км, имея ширину до 300 км, П. Ловелл насчитал их уже около 700 (рис. 69). Были высказаны предположения, что это — сооружения, выполненные разумными существами, населяющими планету, способными (эта гипотеза появилась в 1959 г.) даже запускать искусственные спутники своей планеты.

После запуска в сторону Марса АМС обнаружилось, что фотографии отдельных участков его поверхности, полученные с близких расстояний, очень трудно или вообще невозможно отождествить с зарисовками и фотографиями этой планеты, сделанными при

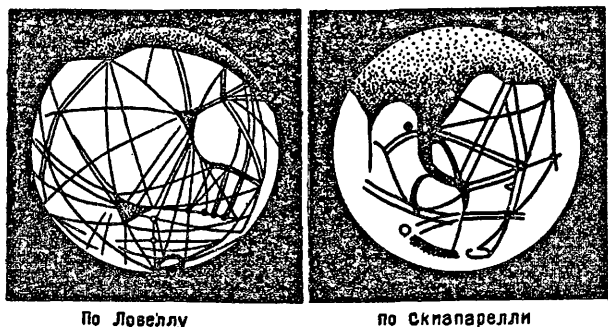


Рис. 69. «Каналы» на Марсе, как их «видели» в телескоп Скиапарелли и Ловелл

наблюдениях с Земли. Поэтому детали поверхности Марса, наблюдаемые с Земли (в том числе и «каналы»), принято называть «детальями альбедо», т. е. иллюзорными деталями, возникающими из-за неодинаковых отражательных свойств отдельных участков этой планеты.

Но, оказывается, на Марсе есть «кое-что другое», достойное удивления. Прежде всего его поверхность во многих отношениях напоминает лунный пейзаж: она усеяна кратерами и круглыми бассейнами, иссечена широкими и глубокими рвами — *грабенами*, системами узких, параллельно расположенных трещин — *риллей*, протяженность которых достигает 1800 км, ширина 1 км и глубина нескольких сотен метров. Но главное, на Марсе имеются извилистые ложбины с притоками — руслоподобные образования длиной иногда свыше 1000 км и шириной до 200 км

(рис. 70). Как полагают, когда-то на этой планете климат был гораздо более теплым, так что на ней тогда существовали моря и реки...

Сейчас температура на Марсе в среднем составляет около -70°C . У экватора она днем бывает примерно -10°C , ночью падает ниже -100°C . Еще холоднее вблизи полюсов планеты. Потому-то водяные



Рис. 70. Русло высохшей реки (?) на Марсе

пары и углекислый газ там вымерзают, образуя полярные шапки, толщина которых, по различным оценкам, может составлять от 1 м до 1 км.

Атмосфера Марса на 95 % состоит из углекислого газа. В ней содержится также 2,7 % азота, 1,6 % аргона, около 0,13 % кислорода, 0,1 % водяного пара. Давление у поверхности Марса в 160 раз меньше, чем на уровне моря на Земле.

Аппараты «Викинг» (США), совершившие в 1976 г. мягкую посадку на поверхность Марса, передали на Землю панорамные снимки (рис. 71). И земляне убедились, что эта планета — безжизненная пустыня...

Два спутника Марса — мелкие небесные тела, напоминающие по форме картофелины. Размер Фобоса примерно 22×30 км, Деймоса — 15×12 км. На полученных «Викингами» снимках Фобоса видны кратеры и борозды, расстояния между которыми 200—



Рис. 71. Панорама Марса, переданная «Викингом-1» (США) 3 августа 1976 г. Слева — большая каменная глыба длиной 2 м и высотой 1 м

300 м (рис. 72). Возможно, это объясняется тем, что этот спутник находится внутри предела Роша (см. § 14) и вскоре будет разорван.

И как тут не упомянуть о том, что в «Путешествиях Гулливера» (1726 г.) писатель Джонатан Свифт упомянул существование двух спутников Марса. Вот этот текст об астрономах летающего острова Лапуты: «...они открыли две маленькие звезды или спутника, обращающихся около Марса, из которых ближайший к Марсу удален от центра планеты на расстояние, равное трем ее диаметрам, а более отдаленный находится от нее на расстоянии пяти таких диаметров. Первый совершает свое обращение в течение десяти часов, а второй — в течение двадцати одного с половиной часа...»

Мы предоставляем читателю сопоставить эти данные с табл. 11 (см. часть четвертую) и убедиться, что Свифт ошибся не так уж и много. Главное — он

предвидел, что один из спутников Марса движется вокруг него быстрее, чем это делает сама планета!

Эта ситуация до сих пор остается исторической головоломкой. По-видимому, Свифт исходил из предположения, что если у Земли один спутник, а у Юпитера — четыре, то у Марса их, по каким-то законам симметрии что ли, должно быть два. Что же касается

периодов обращения спутников, то почему не быть случайному совпадению...

Планеты-гиганты. О каждой из них, конечно, можно сказать много интересного. Общее у них то, что все они состоят главным образом из водорода (около 80 %) и гелия (порядка 20 %) с небольшими примесями метана и аммиака... в атмосфере и относительно небольшими долями силикатов в самых глубоких недрах. Примечательно, что как Юпитер, так и Сатурн излучают в инфракрасном и радиоволновом диапазонах в два-три раза больше энергии, чем они получают ее от Солнца. Это значит, что планеты-гиганты как бы непрерывно сжимаются, освобождая некоторую часть своей потенциальной энергии (см. § 14).

Рис. 72. Снимок Фобоса, полученный «Викингом-2» (США) с расстояния около 900 км

Юпитер «славится» своим Большим Красным Пятном (рис. 73). Не так давно предполагали, что это — гигантский остров из гелиевого льда, плавающий в водородном океане, позже — что это гигантский постоянно извергающийся вулкан. Но скорее всего верно предположение нашего ученого Г. С. Голлицына, согласно которому мы наблюдаем исполинский вихрь, который в атмосфере Юпитера может существовать тысячи лет.

Четыре из 16 спутников Юпитера были открыты Галилеем, они хорошо видны в бинокль. Но самое

удивительное открылось после того, как в 1979 г. вблизи Юпитера пролетели две АМС «Вояджер» (США). Так, на спутнике Ио оказалось девять действующих вулканов, выбрасывающих вещество до 300 км в высоту (это единственный в Солнечной системе вулканически активный спутник). Поверхность

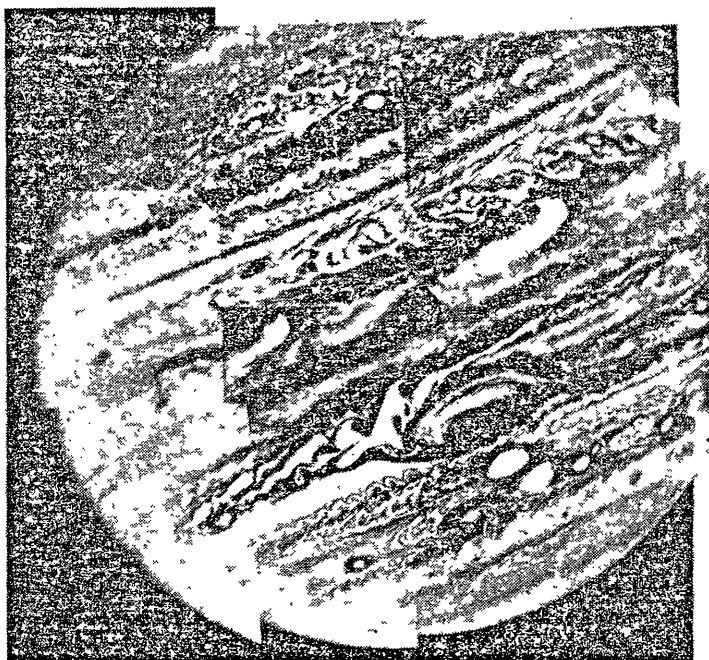


Рис. 73. Составной снимок Юпитера, полученный с «Вояджера-1» (март 1979 г.)

спутника Европа оказалась удивительно гладкой, но покрытой сетью тонких кривых линий; как полагают, это трещины в толстой ледяной коре. Поверхность Ганимеда (который, кстати, по своим размерам больше Меркурия) испещрена длинными бороздами, тогда как на Каллисто были замечены кратеры всевозможных размеров (рис. 74).

Но что самое удивительное — подтвердилось высказанное еще в 1960 г. киевским астрономом С. К. Всехсвятским (1905—1984) предположение о

том, что все большие планеты, в том числе Юпитер (а не только Сатурн), окружены кольцами из мелких камней и пыли.

Говоря о планете Сатурн, прежде всего обращают внимание на то, что его средняя плотность в восемь раз меньше земной и в два с лишним раза меньше, чем у Солнца. Имеется картинка, на которой нарисован Сатурн (конечно, со своими кольцами), плавающий в ванной, наполненной водой.

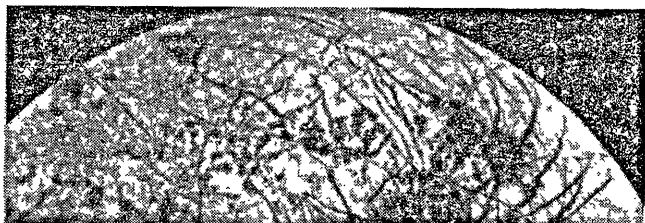


Рис. 74. Спутник Юпитера Европа («Вояджер-2», 1979 г.)

У Сатурна 17 спутников и кольцо, точнее целая система колец (рис. 75). Радиус внешнего кольца превышает 900 000 км, толщина же не больше 4 км. Моделью кольца Сатурна может быть диск диаметром около 250 м и толщиной всего 1 мм! Почему эта система частиц существует до сих пор в таком виде, пока неизвестно. Как и спутники Юпитера, луны Сатурна каждая по-своему интересна и загадочна. Так, поверхность Тефии довольно светлая и покрыта кратерами, причем один из них имеет диаметр 400 км. Большой кратер такого же диаметра обнаружен на Мимасе. Энцелад сравнивают с гигантской замороженной в космосе каплей воды, на одной из сторон которой, обращенной к Сатурну, видны многочисленные искривленные бороздки, тогда как на противоположной — многочисленные метеоритные кратеры. Большой интерес вызывает самый крупный спутник Сатурна — Титан, единственный из спутников в Солнечной системе, окруженный плотной атмосферой. Стоит она в основном из азота (85 %) и аргона (около 12 %), хотя всего десять лет назад предполагалось, что ее главные составляющие — метан и аммиак. По-своему интересен восьмой спутник Са-

турна Япет: его тыльная сторона примерно в десять раз ярче передней, обращенной к планете (кстати, все спутники этой и других планет, как и Луна, обращены к своей планете одной и той же стороной).

Планета Уран обращается вокруг Солнца «лежа на боку», и в этом «нарушении всех приличий» с ним солидарны его 14 спутников: плоскости их орбит почти перпендикулярны к плоскости эклиптики. Кроме

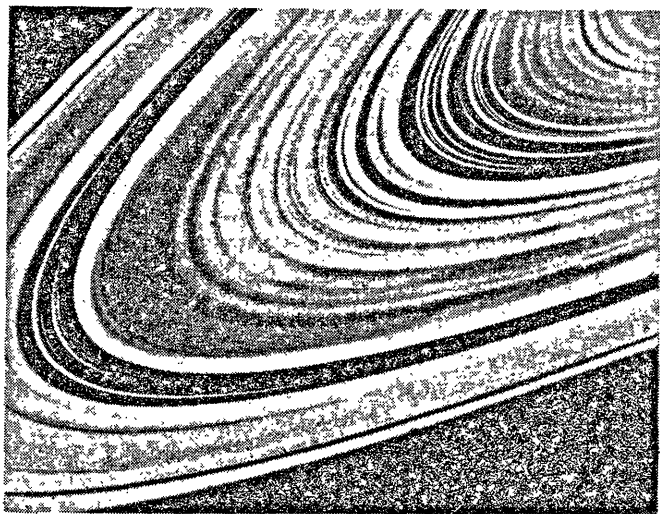


Рис. 75. Тонкая структура колец Сатурна

того, как и предвидел С. К. Всехсвятский, Уран имеет газопылевые кольца, открытые в 1977 г.; всего их насчитывают девять.

Планета Нептун обращается вокруг Солнца на среднем расстоянии 30 а. е. «Построен» он, по-видимому, из замороженной воды и других распространенных в космосе водородных соединений, около 20 % здесь — соединения кремния и металлов. Один из восьми его спутников, Тритон — единственный из крупных спутников в Солнечной системе, движущийся вокруг своей планеты в обратную сторону. Имеются у Нептуна и кольца, впрочем, возможно, речь идет не о кольце в строгом смысле этого слова, а большой

дуге шириной примерно в 15 км. Как бы там ни было, четко зафиксировано затемнение этим объектом звезды при перемещении Нептуна на небе.

Система Плутон — Харон. Плутон находится в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля и, следовательно, получает от него в 1600 раз меньшую энергию на единицу площади. Принято было говорить, что Плутон — это холодный, темный и безмолвный мир, поверхность которого представляет собой замерзший метановый океан, поскольку температура на этой планете рекордно низка: -230°C . Так оно и есть, однако сейчас Плутон оказался намного интереснее благодаря открытию в 1978 г. его спутника Харона.

Многие открытия в астрономии сделаны «на пределе возможного». Здесь тот же случай. На снимках, полученных с помощью 155-сантиметрового рефлектора Морской обсерватории (США), в изображении Плутона было замечено «отклонение от окружности», причем небольшой выступ в каждую из трех ночей, когда производилась съемка, был ориентирован по-разному.

После изучения сделанных ранее снимков установлено: у Плутона есть спутник, обращающийся вокруг него с периодом 6 сут 9 ч 51 с. Планета и ее спутник повернуты друг к другу одной и той же стороной. Но Харон помог установить массу Плутона (даже в учебнике 1976 г. в соответствующей графе стоял знак вопроса...): она в 422 раза меньше массы Земли или в 5 раз меньше массы Луны. Масса спутника еще в 30 раз меньше. Впрочем, цифры эти содержат много неопределенностей и в различных источниках они несколько различны. Как, впрочем, и ответ на вопрос: «кем был Плутон в прошлом»? Есть мнение, что это бывший спутник Нептуна, «крупно поссорившийся» со своим «напарником» — Тритоном. Мол, сильные гравитационные возмущения между ними привели к тому, что один из них — Плутон — был выброшен из системы Нептуна. По другой гипотезе, этому содействовала гипотетическая планета Фазтон, которая когда-то прошла вблизи Нептуна, «возмутила спокойствие его спутников», но и сама при этом крепко пострадала, оказавшись далеко от Солнца...

Б. Малые тела

Правило Тициуса — Бодe. Еще в XIX в. немецкие астрономы Иоганн Тициус (1729—1796) и Иоганн Бодe (1747—1826) установили, что расстояния планет от Солнца можно представить простой зависимостью

$$r = (0,3 \cdot 2^n + 0,4) \text{ а. е.}$$

Так, для Меркурия при $n = -\infty$ имеем $r = 0,4$ (на самом деле оно равно 0,387), для Венеры $n = 0$, $r = 0,7$ (на самом деле 0,723), для Земли $n = 1$, $r = 1$, для Марса при $n = 2$, $r = 1,6$ (истинное значение 1,523). При $n = 3$ получаем расстояние $r = 2,8$ а. е., на котором планеты нет. Большой планеты! При $n = 4$ имеем $r = 5,2$ а. е. — это расстояние Юпитера. Далее $n = 5$ дает $r = 10$ (точное значение 9,546) — Сатурн.

В 1796 г. пять европейских астрономов во главе с венгерским ученым Францем Цахом (1754—1832) создали общество («отряд небесной полиции»), поставившее своей целью обнаружить «что-то» на расстоянии, соответствующем порядковому номеру $n = 3$ («выследить и поймать беглого подданного Солнца»). Однако открытие было сделано случайно директором сицилийской обсерватории в г. Палермо Джузеппе Пиацци (1746—1826) при составлении им каталога звезд. В первый вечер нового, XIX в., 1 января 1801 г. в созвездии Близнецов Пиацци обнаружил звездочку 7-й величины, которая за сутки сместилась почти на 6'. Расчеты показали, что этот объект движется по эллиптической орбите, большая полуось которой $r = 2,77$ а. е. Эта первая из *малых планет*, или *астероидов* (т. е. «звездообразных» объектов) была названа Церерой по имени античной богини плодородия, считавшейся покровительницей Сицилии.

Малые планеты. Спустя год после открытия Цереры немецкий астроном Генрих Ольберс (1758—1840), бывший, кстати, практикующим врачом, обнаружил на том же расстоянии от Солнца вторую малую планету — Палладу. В 1804 г. была открыта Юнона, в 1807 г. — Веста. До конца XIX в. было открыто более 400 малых планет, сейчас же их известно свыше 3000.

Каждый астероид, орбита которого уже подробно изучена, получает имя. Первая их сотня, за немногими исключениями, названа именами богинь грече-

ского и римского пантеона. Потом астрономы обратились к мифам других народов, далее — к эпосу. Так, например, «появились» на небе герои Троянской войны — «греки» и «тройяны». Они, кстати, демонстрируют правильность так называемой ограниченной задачи трех тел (см. § 14): «греки» движутся практически по орбите Юпитера на 60° впереди его, «тройяны» — на 60° позади (рис. 76). К тому же в каждой

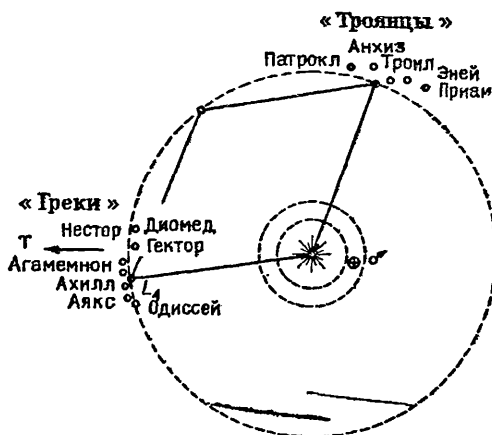


Рис. 76. «Греки» и «тройяны» в системе «спутников» Юпитера

этой группе насчитывают до 20 объектов с диаметром порядка 150 км, мелких же астероидов и в одной, и в другой группе может быть до тысячи.

К концу XIX в. были открыты несколько астероидов, орбиты которых проникают внутрь марсианской. Им, в отличие от «примерных» (которым давали названия с женскими окончаниями), начали давать мужские имена. Сейчас известно около 80 астероидов, которые приближаются к орбите Земли, а некоторые из них (как, например, Икар, сближающийся с Солнцем в перигелии на расстояние всего в 28 млн км) проникают внутрь орбиты Меркурия. Их принято делить на три группы, названные по имени одного из представителей каждой из них: группу Амура, группу Аполлона и группу Атона. Первые из них в перигелии приближаются к орбите Земли, оставаясь вне ее. Аполлонцы в перигелии проникают внутрь земной орбиты, у атонов большие полуоси орбит $a \leq 1$ а. е.

Примечательно, что если сориентировать орбиты этих астероидов так, чтобы их перигелии находились на одной прямой, то они в районе перигелиев образуют пробелы — люки, внутри которых расположены орбиты больших планет (рис. 77). Можно сказать, что расчищая пространство на своем пути, планеты «захватывали» одни астероиды и «изгоняли» другие.

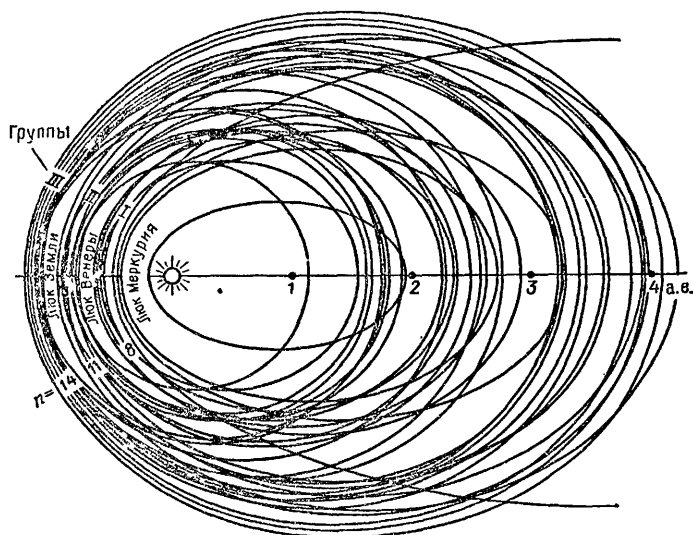


Рис. 77. Орбиты 34 аполлонцев, атонцев и амурцев с совмещенными перигелиями

Долго и нелегко решался вопрос о размерах астероидов. Неудивительно поэтому, что в различных книгах приведены плохо согласующиеся между собой числа. Лишь в последние годы разработаны надежные методы, основанные на одновременном изучении блеска астероидов и степени поляризации идущего от них света. Оказалось, что диаметр Цереры равен 1020 км, Паллады — около 600 км, Весты — 525 км, Юноны — чуть меньше 250 км. К тому же было обнаружено, что в кольце астероидов имеется 11 других объектов, размеры которых превышают 250 км (рис. 78).

Проведены подсчеты общего объема, который бы заняли уже известные астероиды, если бы их собрать вместе: они уместились бы в кубе со стороной около

500 км. По-видимому, общий объем астероидного вещества составляет около 10^8 км³. И если его средняя плотность равна $3,5 \cdot 10^3$ кг/м³, то общая масса астероидов $3,5 \cdot 10^{20}$ кг, а это в 200 раз меньше массы Луны!

Вопрос о происхождении астероидов все еще дискутируется. Еще Ольберс выдвинул гипотезу, согласно которой Церера и Паллада (он тогда еще не знал, что астероидов столь много...) — это осколки некогда

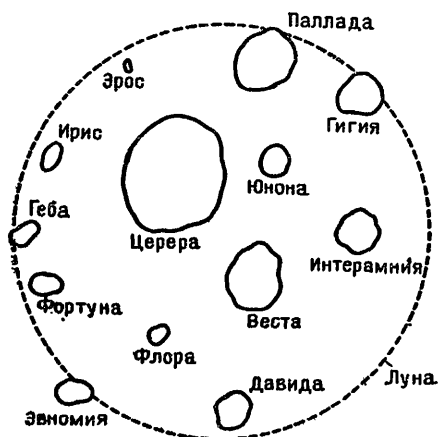


Рис. 78. Сравнительные размеры крупнейших астероидов

существовавшей большой планеты, разрушенной взрывом. Планеты, которой даже имя было придумано: Фаэтон. И совсем недавно гипотеза Ольберса всесторонне обсуждалась еще раз. Одни высказывали мнение, что Фаэтон разрушился в результате быстрого осевого вращения. Другие — потому, что он подошел слишком близко к Юпитеру. С. К. Всехсвятский предполагал, что Фаэтон разрушился вследствие мощных вулканических процессов. Кажется, однако, что верх берет альтернативная точка зрения: с самого начала в поясе астероидов сформировалось не один, а несколько объектов, которые в дальнейшем подверглись дроблению.

Кометы. В переводе с греческого слово «комета» означает «длинноволосый», «хвостатый». Аристотель полагал, что кометы — сгущения поднимающейся вверх наиболее легкой из четырех «земных» стихий —

огня и что они на короткое время формируются в земной атмосфере. И лишь Тихо Браге прямыми наблюдениями доказал, что на самом деле они находятся гораздо дальше Луны. А сподвижник Ньютона Эдмонд Галлей установил, что эти светила принадлежат к Солнечной системе. Он рассчитал орбиты 24 ярких комет, появлявшихся с 1337 г. по 1698 г., обнаружил сходство орбит комет 1531 г., 1607 г. и 1682 г. и пришел к выводу, что в эти годы появилась одна и та же комета, обращающаяся вокруг Солнца с периодом в 76 лет по эллиптической орбите. Галлей предсказал появление этой кометы в 1758 г., что и подтвердилось. С тех пор она зовется именем Галлея.

С давних времен появление кометы на небосклоне вызывало среди людей панику и ужас. Да что говорить про далекие времена. Вот сообщения прессы 1910 г., когда ожидалось очередное прохождение кометы Галлея вблизи Солнца. Из Мадрида: «Население Испании ожидает появления кометы с большим беспокойством... Печать отмечает чрезвычайное развитие самоубийств и объясняет это страхом перед кончиной мира...». Из Вены: «Среди населения, особенно в провинции, паника... Были случаи самоубийств от страха. Иные крестьяне, в ожидании конца мира, распродали свое имущество и предаются пьянству»...

Может, и впрямь не следует удивляться: если на небе эдакое хвостатое светило (рис. 79), да еще говорят, что оно заденет своим хвостом Землю (в мае 1910 г. Земля прошла через хвост кометы Галлея), а этот хвост («как говорят ученые») состоит из отравляющих газов, как тут не устрашиться людям, которые до этого и не подозревали о существовании науки о небесных светилах...

К настоящему времени уже зарегистрировано около 1200 комет. Некоторые из них (каждая четвертая) возвращаются к Солнцу по нескольку раз (таких комет известно более 120). Но лишь один раз в 20 лет появляется комета, хорошо видимая невооруженным глазом.

На больших расстояниях от Солнца кометы представляют собой глыбы твердого вещества — обыкновенного льда и льда из метана и аммиака. В них «вморожены» привычные для нас горные породы и металлы.

В строении комет выделяют *голову*, состоящую из *ядра* (радиусом порядка 10 км) и *оболочки* (в момент прохождения кометы вблизи Солнца ее размеры могут превышать расстояние от Земли до Луны, а иногда сравнимы с диаметром Солнца), и *хвост*, протяженность которого иногда достигает 150 млн км (что равно расстоянию от Земли до Солнца). Для пяти наиболее крупных комет оценки их масс дали от $5 \cdot 10^{16}$ до $6 \cdot 10^{22}$ г.

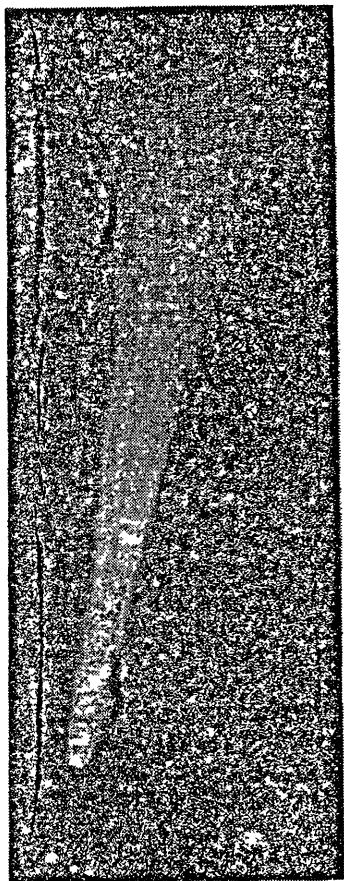


Рис. 79. Комета Галлея в 1910 г.

Отметим, что если большие и малые планеты обращаются вокруг Солнца в одном направлении (против часовой стрелки, если смотреть с Северного полюса мира), то кометы «не придерживаются никаких правил». В частности, комета Галлея движется практически навстречу Земле (рис. 80).

В марте 1986 г. во время очередного прохождения кометы Галлея вблизи Солнца советские АМС «Вега-1» и «Вега-2» со скоростью около 80 км/с прошли соответственно на расстоянии 8890 и 8030 км от ее ядра. Были получены телевизионные изображения кометы и ее

ядра. Благодаря усилиям ученых всех стран (осуществлен также общеевропейский проект «Джотто» и японский «Комета») установлено, что ядро имеет форму «картофелины» размером 16 км $\times$ 8 км, что оно вращается вокруг своей оси с периодом в 53 ча-

са и что поверхность ядра покрыта темной пористой коркой, температура которой 100°C ...

Метеоры и метеориты. Метеором называется световое явление, возникающее на высоте от 130 до 80 км при вторжении в земную атмосферу частицы — *метеорного тела* из межпланетного пространства. Скорости движения метеорных тел по отношению к Земле могут быть различными — от 11 до 75 км/с в зависимости от того, догоняет ли метеорное тело Землю при ее обращении вокруг Солнца или же движется ей навстречу.

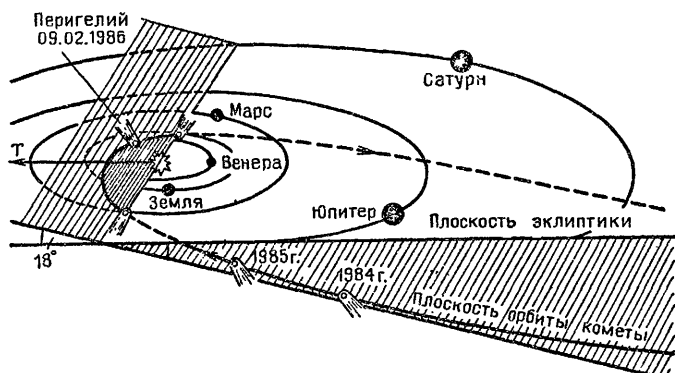


Рис. 80. Орбита кометы Галлея

В целом на протяжении суток могут быть зарегистрированы около 28 000 метеоров, видимая звездная величина которых $m = -3^m$. Масса метеорной частицы, вызывающей это явление, составляет всего около 5 г. Метеоров, имеющих звездную величину $m + 1$, в среднем в 2,5 раза больше, чем m -й величины. Во столько же раз меньше их масса.

Кроме единичных (*спорадических*) метеоров время от времени можно наблюдать *метеорные потоки* или дожди. И если обычно за один час наблюдатель регистрирует 5—15 метеоров, то во время метеорного дождя 100, 1000 и даже до 10 000. Метеорные потоки на протяжении нескольких ночей проявляются примерно в одной и той же области неба. Если их следы продолжить назад, то они пересекутся в одной точке, которая называется *радиантом* метеорного потока (рис. 81).

Источником метеорных частиц являются, по-видимому, кометы. Число известных радиантов метеорных потоков достигает 1000, из них около 60 — неоднократно наблюдавшиеся визуально. А так как созвездий на небе насчитывается всего 88, то в названии

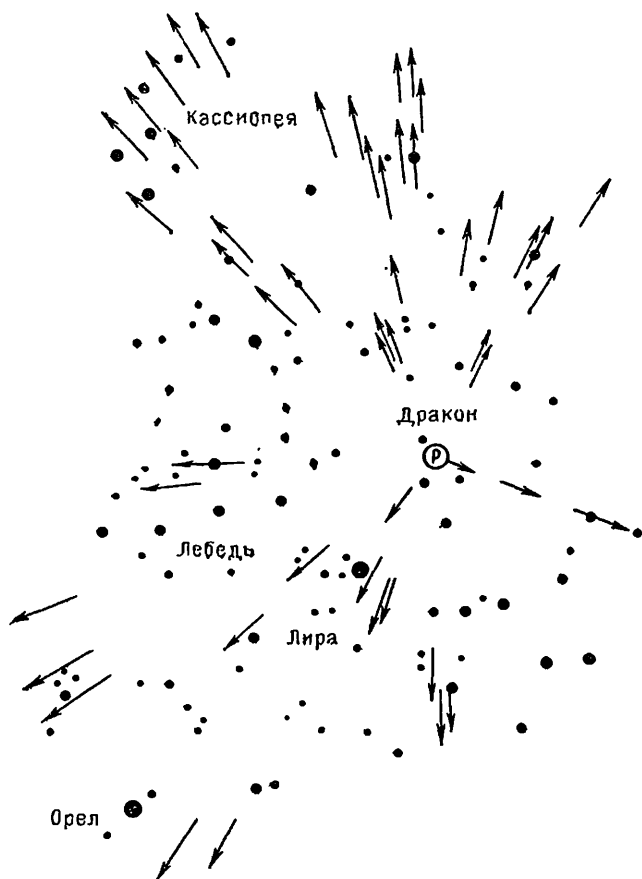


Рис. 81. Радиант метеорного потока Драконида

метеорного потока обычно указывают звезду, вблизи которой находится его радиант (например, α -Виргиниды, α -Цигниды и т. д.). Информацию о дате активности метеорного потока и подробную инструкцию для наблюдений метеоров читатель найдет в «Астрономическом календаре. Постоянная часть». Сокра-

щенный список основных метеорных радиантов мы даем в табл. 19.

Очень яркие метеоры называются *болидами* (от греч. «болидос» — метательное копьё). Их следы иногда видны 15—20 минут. Особо яркие болиды бывают видны даже днем.

В отдельных случаях крупное метеорное тело при своем движении в атмосфере не успевает испариться и достигает поверхности Земли. Этот остаток метеорного тела называется *метеоритом*. На протяжении года на Землю выпадает примерно 2000 метеоритов.

В зависимости от химического состава метеориты подразделяются на *каменные хондриты*, *каменные ахондриты*, *железные* и *железокаменные метеориты*.

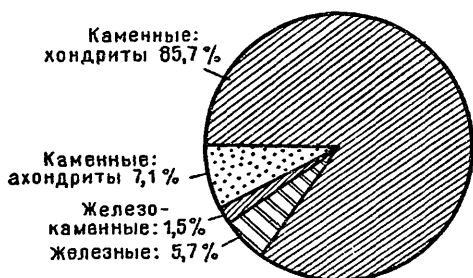


Рис. 82. Соотношение между числом падающих на Землю метеоритов разных классов

(рис. 82). Древнегреческое слово «хондрос» означает «пшеничное зерно». *Хондрами* называют мелкие круглые частицы (размером от нескольких микрометров до сантиметра) серого цвета, часто с коричневым оттенком, обильно вкрапленные в каменную массу (рис. 83).

Каменные метеориты, в которых хондр нет, называются ахондритами. Как установлено, в хондрах содержатся практически все химические элементы, причем (за небольшими исключениями) в том же соотношении, что и в атмосфере Солнца. Как оказались эти «слезы Природы» в «законсервированном» виде внутри обычного каменного вещества, еще предстоит узнать...

По-своему интересны железные метеориты. Если отполированную поверхность железного метеорита протравить кислотой, на ней появляются своеобразные

фигуры — системы продольных и поперечных полос (рис. 84). Эти *видманштеттеновы фигуры*, названные так по имени австрийского ученого А. Видман-

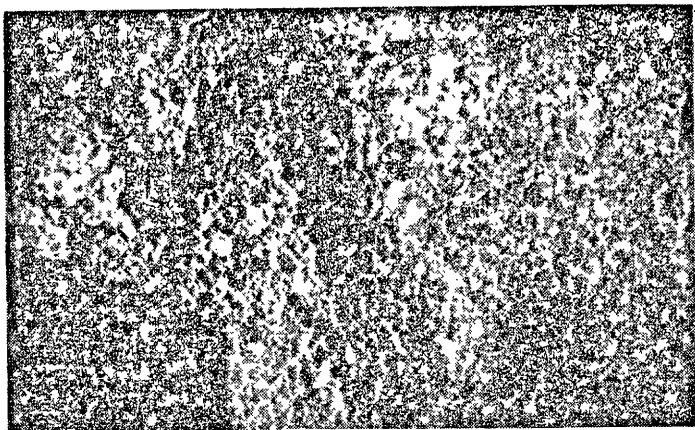


Рис. 83. Поверхность разлома метеорита, выпавшего в 1918 г. Многочисленные шарики — хондры

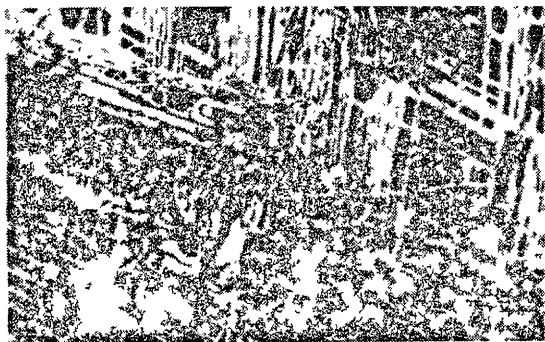


Рис. 84. Участок полированной поверхности железного метеорита с видманштеттеновыми фигурами (увеличено)

штеттена (1753—1849), представляют собой тонкие пластины никелистого железа, где в одном случае никеля около 7 %, в другом — от 30 до 50 %. Такая структура образуется в результате медленного охла-

ждения вещества, первоначально разогретого до температуры около 2300 К.

Все говорит о том, что метеориты — обломки астероидов. Однако вопрос об источниках их первоначального нагрева еще предстоит изучить...

В тех случаях, когда в атмосферу Земли влетает метеоритное тело, масса которого превышает 100 000 т, оно углубляется в грунт на 4—5 своих поперечников, вся его кинетическая энергия превращается в тепло и в итоге возникает сильнейший взрыв, при котором метеорное тело в значительной степени испаряется. На месте взрыва образуется воронка (кратер) или, как ее теперь называют, *астроблема* (что в переводе с греческого означает «космическая рана»). На поверхности Земли методами аэрофотосъемки уже обнаружено около 130 астроблем.

До сих пор ведутся споры о природе Тунгусского метеорита. Наиболее вероятной представляется гипотеза, высказанная еще в 1930 г. Фредом Уипплом (США), согласно которой роль метеорного тела здесь «сыграла» комета, взорвавшаяся на высоте в несколько километров над поверхностью Земли.

Что за Плутоном? На протяжении последних 200 лет астрономы упорно стремились решить загадку — откуда все же «берутся» кометы. Но лишь всего 40 лет назад голландский астроном Ян Оорт обосновал вывод: Солнечная система окружена гигантским облаком комет, простирающимся на расстоянии от 20 000 до 200 000 а. е. от Солнца. В этом облаке Оорта должно бы насчитываться около 100 млрд комет, которые под действием возмущений от близко проходящих звезд иногда изменяют свои орбиты и устремляются внутрь Солнечной системы.

В последнее время астрономы пришли к выводу, что кроме упомянутого существует еще «внутренний резервуар» вещества, внутренняя граница которого удалена от Солнца на расстояние всего в 2000 а. е. и в котором комет в сто — тысячу раз больше, чем во внешнем.

В 1984 г. появилось сенсационное сообщение группы американских ученых: на Земле будто бы примерно каждые 26 млн лет происходит вымирание отдельных видов животных. Другая группа ученых пришла к выводу, что за последние 250 млн лет с той же периодичностью на Земле возникали кратеры. Откуда

следовал вывод: каждые 26 млн лет Земля подвергалась периодической бомбардировке какими-то космическими телами (определеннее, на Землю выпадали «кометные дожди», примерно одна комета в 2000 лет). Из-за этого якобы прозрачность земной атмосферы, а тем самым и условия, скажем, для произрастания растительной пищи животных, резко ухудшались.

Чтобы объяснить все это, еще одна группа американских ученых высказала предположение, согласно которому наше Солнце имеет звезду — спутника. «Компаньоном» Солнца будто бы является небольшая невидимая звезда с массой $\sim 0,01 M_{\odot}$, обращающаяся вокруг Солнца по вытянутой эллиптической орбите с периодом 26 млн лет. Для этой звезды уже и название было подобрано — Немезида, в честь древнегреческой богини возмездия, карающей чересчур самодовольных людей. В перигелии Немезида пересекала бы внутреннюю часть облака Оорта и, возмущая движение находящихся здесь кометных тел, порождала бы на нашей планете обильные кометные дожди.

С другой же стороны, движение американских АМС «Пионер-10 и 11», первая из которых находится уже далеко за орбитой Плутона, как свидетельствуют регистрируемые сигналы с борта этих станций (1988 г.), не показывает никакого заметного воздействия со стороны Немезиды. Отсюда следует, что за пределами орбиты Плутона не может быть не только звезды — спутника Солнца, но и планеты с массой порядка массы Юпитера. Масса возможной 10-й планеты, если таковая там есть, не превышает пять масс Земли.

Читателю, интересующемуся этим вопросом, необходимо следить за публикациями новостей науки в журналах «Природа» и «Земля и Вселенная».

6. В МИРЕ ЗВЕЗД И ТУМАННОСТЕЙ

Можно утверждать, что с ближайшей к нам звездой — Солнцем — мы уже достаточно хорошо знакомы, хотя «кое-что» и остается загадочным (например, почему поток нейтрино из солнечных недр меньше расчетного). Но мир далеких звезд весьма разнообразен...

А. Стационарные звезды

Многообразие в мире звезд. Взглянув на усеянное звездами ночное небо, мы убеждаемся в том, что звезды различаются между собой как по блеску, так и по цвету. Есть среди них голубые, белые, оранжевые, красные. Исследование же звезд с помощью телескопов показало, что это многообразие является еще более впечатляющим.

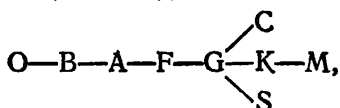
Так, поверхностные температуры различных звезд находятся в пределах от 2500 до 50 000 К. Существенно различаются между собой звезды по мощности излучения, т. е. *светимости* — количеству энергии, излучаемой ими с поверхности в единицу времени. Наиболее мощные излучают в несколько миллионов раз больше, наиболее слабые — в сотни тысяч раз меньше, чем Солнце. То же можно сказать и о размерах звезд. Есть звезды-гиганты и сверхгиганты, радиусы которых в тысячи и десятки тысяч раз больше солнечного. И, наоборот, есть звезды-карлики, радиусы которых в десятки и сотни раз меньше радиуса Солнца. Диаметры же нейтронных звезд вообще измеряются всего 20-ю километрами...

Используя формулу (1.3), астрономы определяют массы звезд, если две компоненты обращаются вокруг общего центра масс так, что удастся измерить расстояние каждой из них до упомянутого центра. Оказалось, что разноразмерные в массах звезд значительно уже: наиболее массивные звезды примерно в 50 раз «тяжелее» Солнца, наименьшие — в 100—500 раз «легче» его.

Своеобразным «паспортом» звезды является ее спектр. Знатоки-специалисты, изучающие звездные спектры, утверждают, что среди многих миллионов звезд невозможно найти и двух, у которых спектры были бы абсолютно тождественны.

Тем не менее за последние сто лет астрономы приложили много усилий для классификации звезд по спектрам. Это значит, что, объединяя большие группы звезд в единый *спектральный класс*, обычно пренебрегают «мелкими различиями». Всего же таких спектральных классов девять (иногда выделяют и больше): O, B, A, F, G, K, M, C, S. Эту спектральную последовательность звезд представляют в таком

легко запоминающемся виде:



причем внутри каждого класса вводят еще подразделение на 10 подклассов (например, A0, A1, A2,, A9, F0, ...).

Звезду относят к тому или другому спектральному классу, ориентируясь на интенсивность атомарных спектральных линий и молекулярных полос (рис. 85).

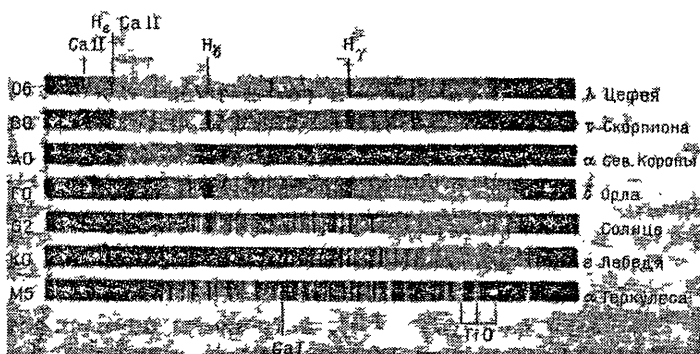


Рис. 85. Спектры звезд различных классов

Но принадлежность звезды к тому или другому спектральному классу определяется также ее цветом и по поверхностной температурой. Звезды класса О голубые, их температура больше 30 000 К, класса В — голубовато-белые, температура больше 10 000 К, класса А — белые, температура от 10 000 К до 7500 К, класса F — желтовато-белые, температура от 7500 К до 6050 К и т. д. Наше Солнце принадлежит к спектральному классу G — типичная желтая звезда.

Наличие «второго этажа» и «подвала» (классов С и S) говорит о том, что в общем спектры принадлежащих им звезд схожи, однако есть различия в интенсивности линий, принадлежащих какому-то конкретному химическому элементу: у класса С — углерода, у класса S — много молекулярных полос окиси циркония (ZrO).

Отметим, что спектральные классы O—F0 принято называть *ранними*, классы F—M — *поздними*.

Диаграмма спектр — светимость. В начале XX в., после того как астрономы надежно определили спектральные классы и светимости нескольких сотен звезд, возник вопрос: а нет ли между этими параметрами определенных связей? Иначе говоря, если, скажем, температура поверхности звезды равна 6000 К, может ли ее светимость принимать какие угодно значения или вполне конкретные?

Сопоставление светимостей звезд с их спектральными классами (т. е. с их поверхностными температурами) было сделано в 1905—1913 гг. датским ученым Эйнаром Герцшпрунгом (1873—1967) и американским астрофизиком Генри Расселом (1877—1957). Поэтому *диаграмму спектр — светимость* называют также *диаграммой Герцшпрунга — Рассела*. На этой диаграмме по оси абсцисс откладывают спектральные классы звезд (поверхностную или эффективную температуру), по оси ординат — светимости звезд L (или *абсолютные звездные величины* M — величины, которые имели бы звезды, если бы они находились на расстоянии 10 пк).

На рис. 86 приведена диаграмма спектр — светимость для звезд из окрестностей Солнца. Как видно, звезды на поле диаграммы располагаются не беспорядочным образом, а выстраиваются в несколько узких полос — *последовательностей*! Примерно 90 % звезд ложится на *главную последовательность*, пересекающую диаграмму слева направо и сверху вниз. Положение Солнца на ней отмечено крестиком, звезды Сириус — квадратиком.

В правом верхнем углу располагается компактная группа *гигантов* и выше — *сверхгигантов*. Кругом здесь показано положение звезды Поллукса, треугольником — звезды Бетельгейзе. В левом нижнем углу находятся *белые карлики*. Статистика в целом такова: примерно на тысячу звезд главной последовательности приходится одна звезда-гигант, на тысячу гигантов — один сверхгигант. Около 10 % звезд находятся в группе белых карликов.

Сопоставление между собой параметров звезд, принадлежащих той или другой последовательности, показало, что между ними существуют определенные зависимости, которые можно записать в виде формул.

В частности, для звезд главной последовательности светимость L звезды определяется ее массой $\mathcal{M}$:

$$L \approx \left(\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_{\odot}} \right)^4 L_{\odot}, \quad (6.1)$$

где $\mathcal{M}_{\odot}$ и $L_{\odot}$ — масса и светимость Солнца. Довольно часто астрономы используют ее для оценки массы

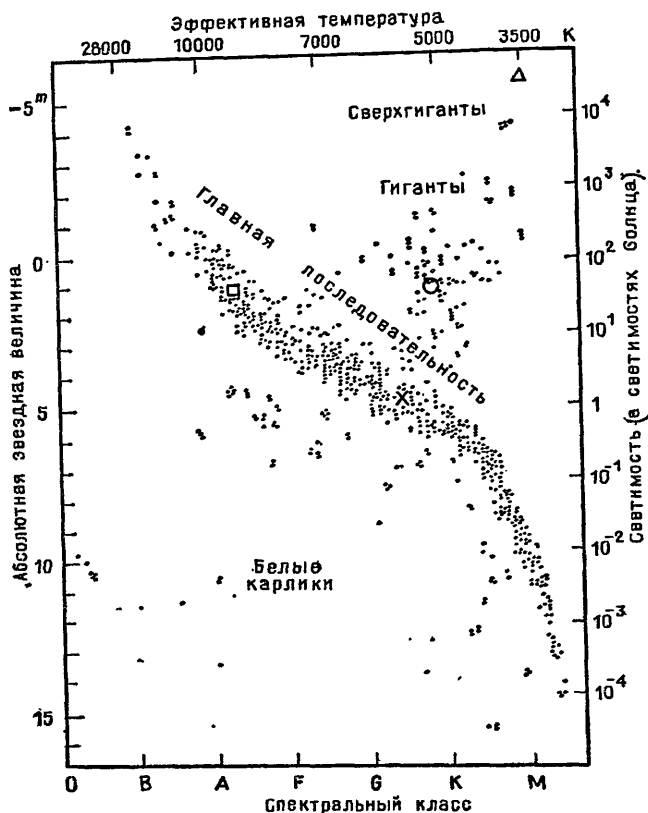


Рис. 86. Диаграмма спектр — светимость для звезд из окрестностей Солнца

звезды: эту характеристику определить непосредственно значительно труднее, чем светимость.

Классы светимости. Подробный анализ спектров звезд — гигантов и карликов одного и того же спектрального класса показал, что в интенсивностях отдельных линий имеются существенные отличия. Это

позволяет каждую звезду, учитывая особенности ее спектра, относить не только к определенному спектральному классу, но и к определенному *классу светимости*. Сейчас принято выделять: класс светимости 0 — ярчайшие сверхгиганты, I — сверхгиганты (этот класс подразделяют на три подкласса: Ia, Iab, Ib),

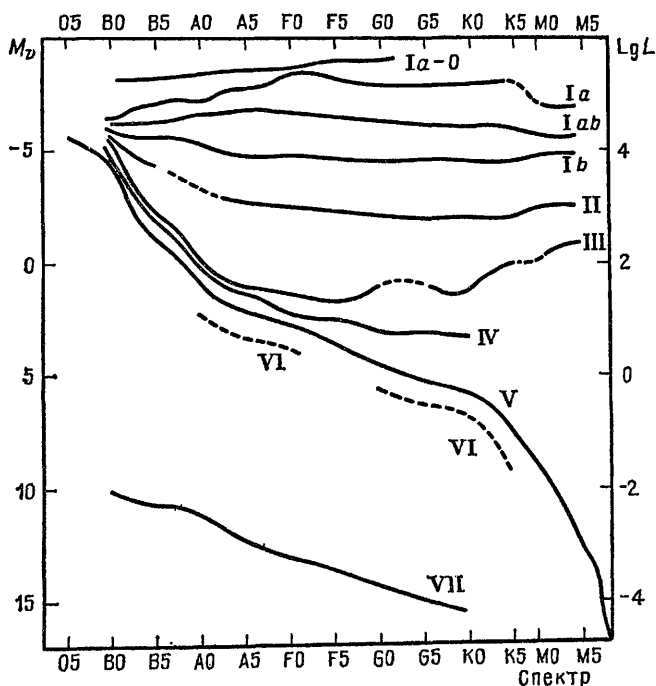


Рис. 87. Последовательности звезд различных классов светимости на диаграмме спектр — светимость

II — яркие гиганты, III — нормальные гиганты, IV — субгиганты, V — карлики главной последовательности, VI — субкарлики, VII — белые карлики (рис. 87).

Обычно класс светимости указывается после спектрального класса звезды. Например, Солнце — звезда класса G2 V.

Установление отличий в спектрах звезд различных классов светимости позволило по известной видимой звездной величине звезды и найденной из рис. 87 светимости определить расстояние до звезды. Можно лишь удивляться изобретательности астрономов в их

стремлении раскрыть тайны мироздания, здесь конкретно — узнать масштабы звездной системы, в которую входит и наше Солнце.

Кратные системы. Как оказалось, более половины звезд — кратные системы, в которых две, три и больше звезд обращаются вокруг общего центра масс. Список 25 наиболее ярких двойных звезд приведен в табл. 26.

В ряде случаев плоскость, в которой компоненты двойной системы обращаются вокруг общего центра масс, ориентирована в пространстве так, что с Земли видно, как одна звезда затмевает другую. В итоге суммарная яркость системы уменьшается. Изменение

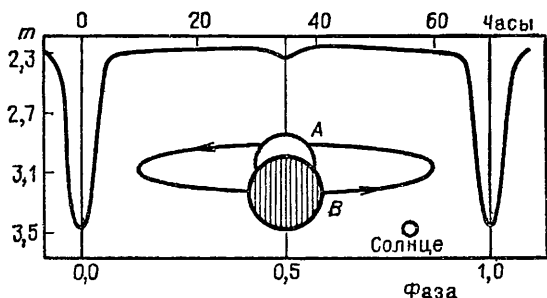


Рис. 88. Модель затменной переменной звезды Алголь и ее кривая блеска. В том же масштабе изображено Солнце

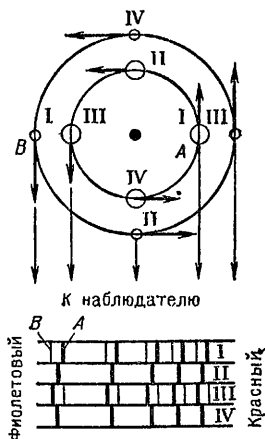
блеска системы во времени называется *кривой блеска* (рис. 88). Как раз звезда Алголь (β Персея) является типичным представителем свыше 4000 *затменных переменных звезд*. Период изменения блеска в различных случаях различен: от нескольких десятков минут до 10 000 суток.

В некоторых случаях затмения (ослабления блеска) не наблюдаются, а двойственность системы устанавливается по ритмичному сдвигу линий в спектре звезды к его фиолетовому или красному концу. Если блеск компонент примерно одинаков, то наблюдаются линии обеих звезд, причем эти линии на протяжении периода меняются местами (рис. 89). Уже известно около 2500 *спектрально-двойных* звезд. Периоды их различны — от 2,4 часа (γ Малой Медведицы) до 60 лет (ϵ Гидры).

Уместно отметить, что система из трех и более звезд будет устойчивой лишь в случае, если расстоя-

ния между компонентами будут существенно разными. Рассмотрим в качестве примера звезду Кастор (α Близнецов). Это система из шести звезд, объединенных в три пары — компоненты А, В и С. Период обращения в системе АВ — 420 лет, компонента С обращается вокруг общего центра масс с периодом около

Рис. 89. Схема смещения линий спектрально-двойной звезды. У главной, более массивной и яркой звезды А линии в спектре сильнее, а амплитуды колебаний меньше. Римские цифры обозначают соответствие спектров положениям звезд на орбитах



1000 лет. Все три компоненты — спектрально-двойные звезды, их периоды обращения соответственно 9,2, 2,9 и 0,8 суток.

Б. Нестационарные звезды

Классификация. Упомянутые выше затменные переменные звезды изменяют свой блеск вследствие чисто механической причины — затмения одной компоненты другой. Существует, однако, большая группа звезд, переменность блеска которых обусловлена процессами, происходящими в их недрах. Уже открыто около 30 000 *физических переменных звезд*. В зависимости от характера переменности их принято подразделять на две основные группы:

1) *пульсирующие переменные*, у которых изменения блеска связаны с колебаниями их радиусов и поверхностной температуры около некоторых средних значений,

2) *вспыхивающие переменные*, изменения блеска которых связаны с внезапным выделением энергии в результате взрывоподобного процесса.

Группа пульсирующих переменных подразделяется на несколько типов: *цефеиды* (звезды типа δ Цефея), *виргиниды* (тип W Девы), *лириды* (тип RR Лиры), *долгопериодические переменные* (представитель — звезда α (Мира) Кита), *полуправильные переменные* и др. Общее число известных пульсирующих переменных звезд достигает 15 тысяч.

В группу *вспыхивающих* (другое, более точное их название — *эруптивные*) звезд объединяют звезды, у которых наблюдаются нерегулярные во времени и большие по амплитуде изменения блеска. Эти изменения могут быть связаны с различного рода выбросами вещества из звезды — *эрупциями* (звезды типа

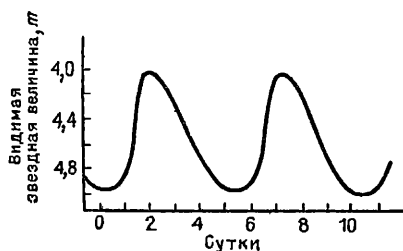


Рис. 90. Кривая блеска звезды типа δ Цефея

Тельца, UV Кита и др.) или же взрывоподобными явлениями (*новые* и *сверхновые* звезды).

Пульсирующие переменные звезды. В 1784 г. английский любитель астрономии Джон Гудрайк (1764—1786), потерявший в детстве после тяжелой болезни слух и речь, обнаружил, что четвертая по блеску звезда в созвездии Цефея (δ Цефея) регулярно меняет свой блеск от $3,5^m$ до $4,3^m$ с периодом 5,37 суток (рис. 90). Сегодня таких звезд, цефеид, известно более 700. Периоды изменения их блеска находятся в пределах от 1 до 100 суток. «Близнецы» цефеид, виргиниды, выделены в отдельную группу потому, что их блеск на $1,5^m$ — $2,0^m$ слабее. Кроме того, цефеиды на небе располагаются вдоль Млечного Пути, тогда как виргиниды распределены равномерно относительно центра Галактики (находящегося в созвездии Стрельца).

Лириды (их известно почти 5000) пульсируют с периодами от 0,05 до 1,2 суток и амплитудами от $0,5^m$ до 2^m . Это звезды-гиганты ранних спектральных классов. На противоположном конце диаграммы

спектр — светимость находятся долгопериодические и полуправильные переменные звезды (рис. 91). Первые из них изменяют свой блеск с периодом от 80 до 1000 суток, причем амплитуды колебаний блеска больше $2,5^m$. Конкретно, у Миры Кита («Мира» — по-латыни «чудесная») блеск на протяжении 331,65 суток меняется от $2,0^m$ до $10,1^m$. Таких звезд известно почти 5000. Это звезды-гиганты и сверхгиганты. Гораздо

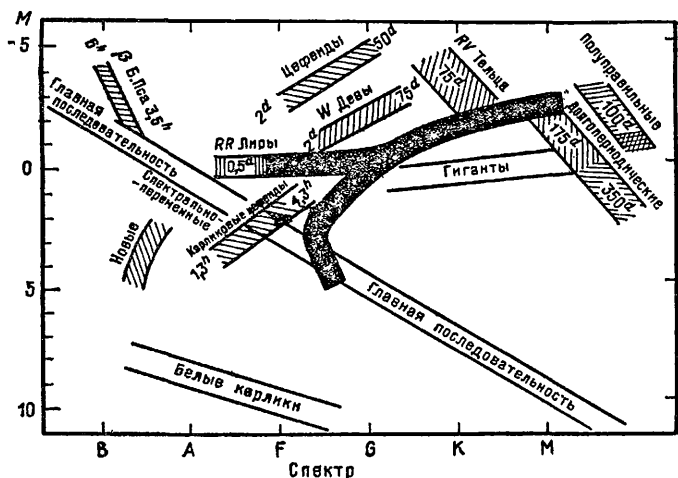


Рис. 91. Положение различных групп пульсирующих переменных звезд на диаграмме спектр — светимость

меньшие амплитуды (меньше 2^m) у полуправильных переменных, также гигантов; периоды изменения блеска здесь находятся в пределах от 30 до 1000 суток. Всего этих звезд известно около 2300.

Список 40 ярчайших переменных звезд дан в табл. 28.

О том, что изменение блеска перечисленных здесь типов переменных звезд происходит вследствие их пульсаций — ритмичного расширения и сжатия звезды, свидетельствуют их спектры: в ритме с изменением блеска линии сдвигаются относительно среднего положения то в красную, то в фиолетовую сторону. Пользуясь формулой эффекта Доплера (12.16), можно по величине смещения линии определить и скорость движения светящегося слоя атмосферы звезды.

Возьмем к примеру звезду δ Цефея. Ее средний радиус равен $2 \cdot 10^8$ км, т. е. $30R_{\odot}$. Смещение линий в

спектре вправо и влево указывает на движение фотосферы звезды со скоростями от $+20$ км/с (движение к центру звезды) до -20 км/с (движение от центра звезды — к наблюдателю). Соответственно, радиус звезды то увеличивается на $1,4 \cdot 10^6$ км (на 7 %), то уменьшается примерно на столько же (рис. 92). В ритме изменяются и температура звезды, и ее спектральный класс.

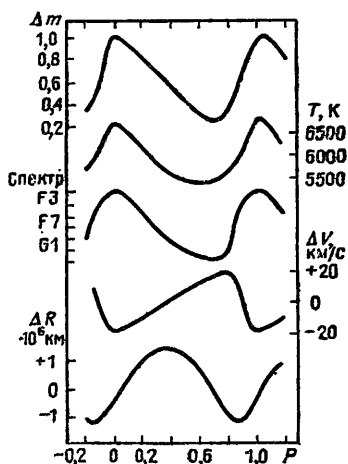


Рис. 92. Изменение видимой звездной величины (Δm), температуры (T), спектра, скорости фотосферного слоя (Δv) и радиуса звезды (ΔR) на протяжении периода P звезды δ Цефея

Примечательно, что наибольшее смещение линий в красную сторону происходит в минимуме, а в синюю — в максимуме блеска. Это значит, что

минимум блеска наступает тогда, когда фотосфера звезды, «проскакивая» через свое среднее положение, движется по направлению к центру звезды.

Во время максимума блеска слой фотосферы при расширении звезды снова переходит через это среднее положение относительно ее центра (рис. 93). Теорию, объясняющую механизм пульсаций звезд со всеми их «тонкостями», развил горьковский астрофизик С. А. Жевакин.

«Маяки Вселенной». Уже в начале XX в. было установлено, что период изменения блеска цефеиды P тем больше, чем она мощнее, т. е. чем больше ее светимость L (рис. 94). Благодаря этому оказалось возможным, измеряя период пульсации P по наблю-

дениям, оценивать расстояние r как до самой звезды, так и до той группы звезд, в которой она находится. Поэтому цефеиды были названы «маяками Вселенной». И это название они получили вполне заслуженно. Ведь цефеиды — звезды-гиганты. С помощью крупных телескопов их можно наблюдать даже в других, близких от нас галактиках. При разработке этого метода не обошлось, однако, без трудностей.

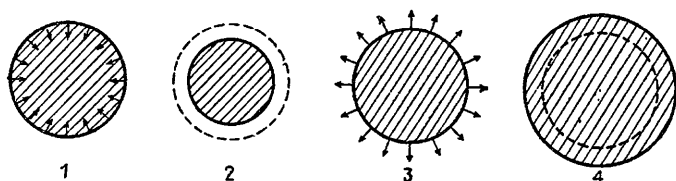


Рис. 93. Положение излучающего слоя (фотосферы) цефеиды относительно его среднего (штриховая линия) положения: в момент минимума (1) и максимума (3) блеска. Стрелками указано направление движения слоя

Весь драматизм развития методов определения расстояний во Вселенной подробно описан в книге Ю. Н. Ефремова «В глубины Вселенной» (3-е изд. — М.: Наука, 1984).

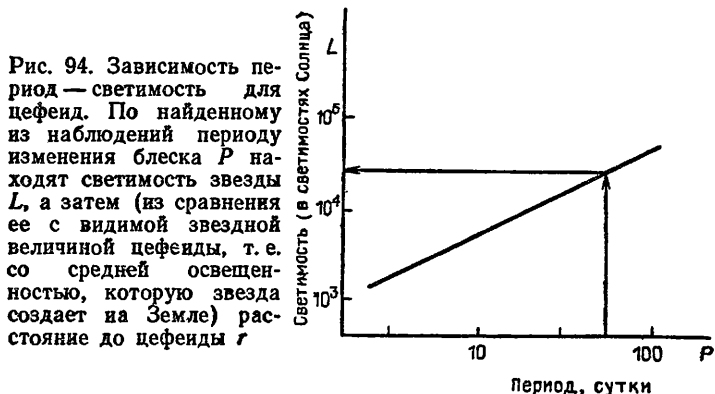


Рис. 94. Зависимость период — светимость для цефеид. По найденному из наблюдений периоду изменения блеска P находят светимость звезды L , а затем (из сравнения ее с видимой звездной величиной цефеиды, т. е. со средней освещенностью, которую звезда создает на Земле) расстояние до цефеиды r

Новые и сверхновые звезды. До сих пор в нашей Галактике зарегистрировано около 200 вспышек новых звезд, а в галактике Андромеды их наблюдалось еще больше — около 300.

Новые звезды до вспышки — это карликовые горячие звезды, ничем не примечательные и особого внимания к себе не привлекавшие. Поэтому лишь в

немногих случаях потом становится известным, «чем» была звезда до вспышки. Развивается же во времени это явление так. На протяжении 1—100 дней светимость звезды увеличивается в 100—1 000 000 раз. После достижения наибольшей яркости звезда медленно (в течение нескольких лет) ослабевает до первоначального блеска (рис. 95). Тщательные и всесторонние наблюдения приводят к выводу, что при вспышке с поверхности звезды со скоростью около 1000 км/с

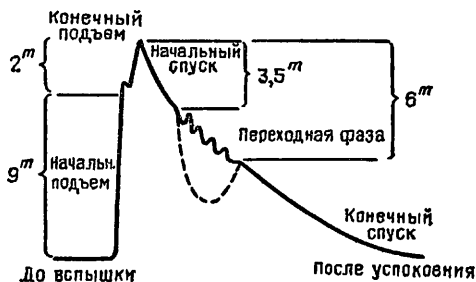


Рис. 95. Кривая изменения блеска типичной новой звезды

выбрасывается вещество, масса которого порядка $0,001 M_{\odot}$. За время вспышки звезда высвечивает энергию около 10^{38} Дж — столько наше Солнце расходует за 10 000 лет.

Около 30 лет назад было установлено, что новые являются двойными системами, в которых расстояние между компонентами очень мало, а вспышка — это результат перетекания вещества от одной звезды к другой: «укладывание» на звезду дополнительных слоев вещества приводит к повышению температуры ее недр и все возрастающему выделению энергии, которое и заканчивается взрывом.

Вспышка сверхновой звезды — самое грандиозное явление, которое время от времени наблюдают астрономы (по расчетам в Галактике сверхновая вспыхивает один раз в каждые 50—100 лет). В максимуме блеска светимость сверхновой более чем в четыре миллиарда раз превышает светимость Солнца. Если такая вспышка происходит в другой галактике, то по яркости сверхновая сравнивается с ней (рис. 96). Общее количество энергии, излучаемое за время вспышки, оценивается в 10^{42} — 10^{44} Дж. А это уже столько, сколько Солнце излучит за всю свою жизнь...

Кривые блеска сверхновых весьма разнообразны. Учитывая особенности спектров этих звезд, их подразделяют на два типа (рис. 97). В сверхновых I типа (их принято обозначать SN I) блеск поддерживается

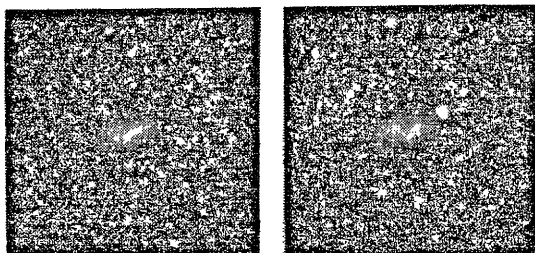


Рис. 96. Вспышка сверхновой, зарегистрированная в галактике NGC 3389 (снимок получен на Крымской астрофизической обсерватории АН СССР в марте 1967 г. телевизионным методом)

на уровне максимального около недели. После этого на протяжении около 25 дней он уменьшается со скоростью $0,1^m$ в сутки. Далее угасание звезды резко

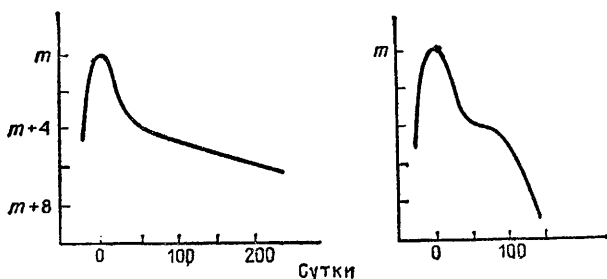


Рис. 97. Кривые блеска сверхновых I (слева) и II типов

замедляется. Здесь светимость звезды уменьшается по экспоненциальному закону вдвое за каждые 55 суток. Исследования спектра звезды приводят к выводу, что при вспышке сверхновой I типа от звезды отрывается оболочка с массой порядка $0,3M_{\odot}$, которая со скоростью около 15 000 км/с расширяется в межзвездное пространство.

У сверхновых II типа (SN II) блеск поддерживается на максимальном уровне около 20 дней. Далее блеск звезды уменьшается на несколько величин,

после чего у многих сверхновых светимость на протяжении нескольких десятков дней остается практически неизменной (формируется так называемое «плато» на кривой блеска). После этого наступает заключительная стадия развития вспышки, на которой светимость звезды резко уменьшается. Анализ спектра звезды показывает, что ее оболочка массой около $1M_{\odot}$ разлетается со скоростью до 10 000 км/с. В некоторых случаях, по-видимому, происходит разлет всего вещества звезды.

23 февраля 1987 г. произошла вспышка Сверхновой (когда речь идет об определенной звезде, слово «Сверхновая» пишется с прописной буквы) в ближайшей к нам галактике — Большом Магеллановом Облаке. Сейчас она интенсивно изучается. Пока астрофизики пришли к выводу, что это — сверхновая II типа, что до вспышки она имела массу от 15 до $25M_{\odot}$ и радиус от 30 до $54R_{\odot}$, а поверхностную температуру порядка 20 тыс. К, т. е. была голубым гигантом.

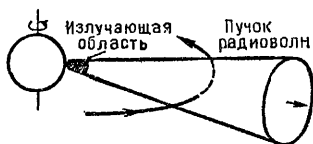
Пульсары — остатки сверхновых. В августе 1967 г. группа английских радиоастрономов неожиданно для себя обнаружила в созвездии Лисички источник необычных радиосигналов: импульсы продолжительностью около 0,3 секунды, которые повторялись через каждые 1,337301 секунды. Позднее было установлено, что этот промежуток времени (период P) даже на протяжении полугода выдерживается с точностью до 10^{-8} с. Однако амплитуда сигнала менялась. В частности, на протяжении некоторого времени сигнал вообще не регистрировался. Но время его начала с высокой точностью можно было рассчитать заранее.

Это был первый из *пульсаров* — источников импульсного радиоизлучения, которых уже известно около 400. Исследование их пространственного распределения показало, что эти объекты располагаются вблизи Млечного Пути. Период большинства пульсаров близок к 0,75 с. У четырех известных пульсаров он значительно меньше: $1,54 \div 6$ мс.

Сопоставляя различные наблюдательные данные, астрономы пришли к выводу, что пульсары являются остатками сверхновых звезд, тем более что пульсар обнаружен и в Крабовидной туманности — остатке вспышки Сверхновой 1054 г. Речь идет о том, что вспышка сверхновой возникает вследствие резкого сжатия звезды на заключительном этапе ее развития.

При этом, образно говоря, в ее ядре из-за больших плотностей электроны «вдавливаются» в протоны, так что в итоге вещество звезды представляет собой нейтронный газ, и поэтому оно способно сжаться до больших, порядка ядерной, плотностей. Соответственно

Рис. 98. Модель пульсара типа «маяк»



но и размеры нейтронной звезды невелики — порядка 20—30 км. Согласно модели типа «маяк» (рис. 98)

пульсар — это вращающаяся нейтронная звезда, магнитная ось которой не совпадает с осью вращения.

Излучающая область находится «над» магнитными полюсами, и наблюдатель видит импульс лишь в тот короткий промежуток времени, когда пучок излучения направлен к нему.

Если нейтронная звезда является компонентой двойной системы и на нее «переливается» вещество от обычной звезды, то реализуется тот или другой вариант *рентгеновского пульсара*.

В. Туманности

Диффузные туманности. В нашей звездной системе — Галактике — насчитывается около 150 млрд звезд. По всем данным, они составляют 98 % ее массы. Остальные 2 % вещества находятся в распыленном состоянии в виде газа и межзвездной пыли. Большая часть этого вещества скапливается в огромные облака — галактические *туманности*, диаметры которых достигают сотен световых лет. В основном эти облака сосредоточены вблизи Млечного Пути.

Нетрудно заметить, что Млечный Путь между созвездиями Орла и Скорпиона выглядит раздвоенным. В каждой из этих половинок во многих местах также встречаются «дыры», где ярких звезд практически не видно. Именно так и «напоминают» о себе большие группы *газопылевых туманностей*. Это они плотно

укрыли от нас ядро Галактики, которое, как уже отмечалось, находится в созвездии Стрельца.

Лишь изредка, если вблизи газопылевой туманности находится горячая звезда, туманность «засветится». Как плохое зеркало, она частично отражает свет

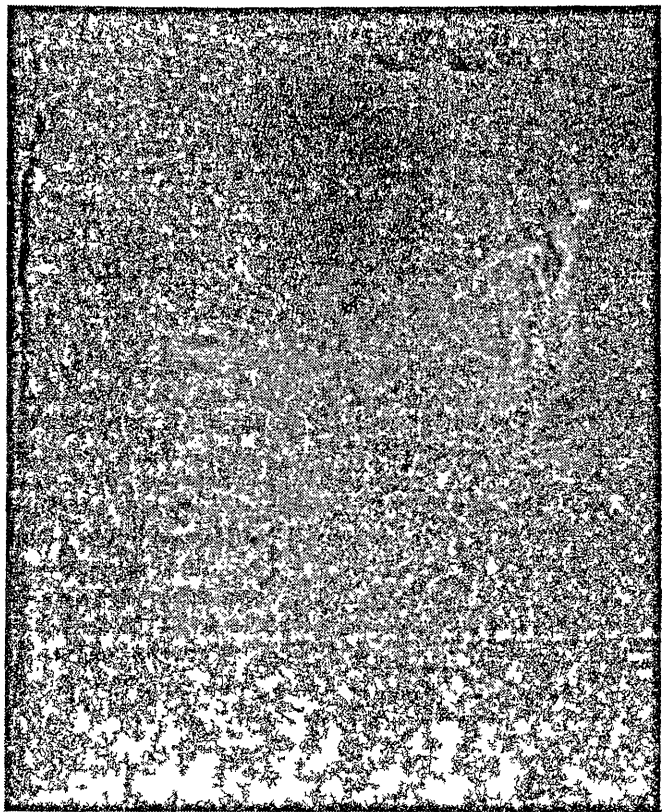


Рис. 99. Газовая туманность в созвездии Ориона

звезды к наблюдателю и становится видимой. *Светлых туманностей* известно около 150 (рис. 99). Однако близкое соседство яркой звезды случается не так уж часто. Поэтому оценки приводят к выводу, что *темных туманностей* в Галактике может быть в 1000 раз больше.

Удивительно выглядят ассоциации двух туманностей различной плотности и температуры (рис. 100). Холодные, более плотные массы как бы углубляются в светлую туманность, образуя так называемые «слоновые хоботы». При дальнейшем их сжатии горячим

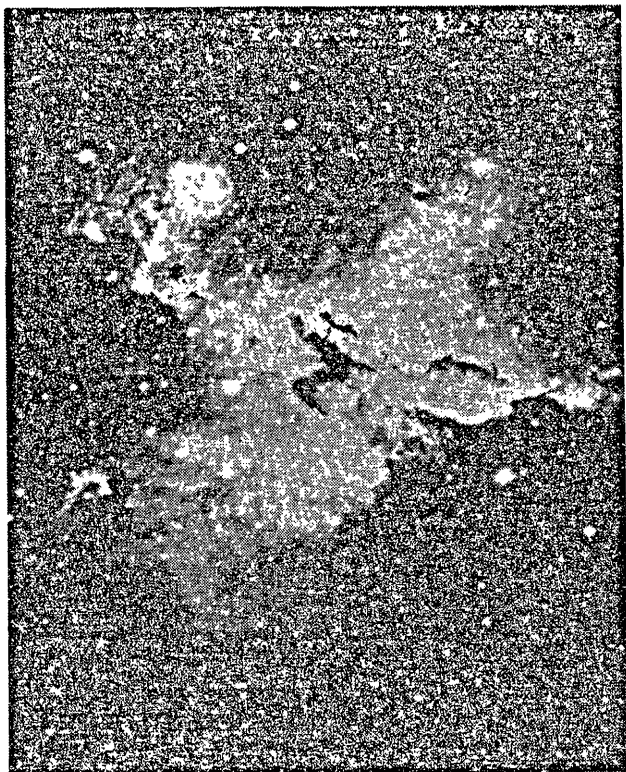


Рис. 100. Газовая туманность в созвездии Змеи. Видны темные «слоновые хоботы» и изолированные глобулы

газом отдельные сгустки холодных газопылевых облаков изолируются, образуя, возможно, «зародыши» звезд следующего поколения.

Планетарные туманности. Уже известно около 1000 планетарных туманностей (рис. 101). Большинство из них — это слабые, еле заметные диски зеленоватого оттенка, весьма напоминающие далекие планеты

(поэтому они так и называются) Уран и Нептун. Ни одну из этих туманностей нельзя увидеть с помощью бинокля. Наиболее известными являются планетарные туманности в созвездиях Водолея и Лирь.

Вопрос о том, «откуда берутся» эти объекты, по-видимому, уже надежно разрешен, и многое для этого сделал выдающийся советский астрофизик И. С. Шкловский (1916—1985). Планетарные туманности — конечный итог (совместно со звездами — белыми карликами) развития звезды, масса которой не

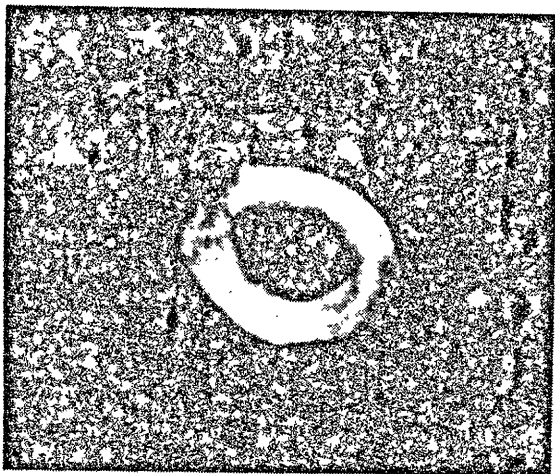


Рис. 101. Планетарная туманность в созвездии Лирь

превышает $1,2M_{\odot}$. В процессе «выгорания» водорода в недрах звезды ее ядро сжимается, тогда как оболочка разбухает*). Такой процесс перестройки звезды происходит непрерывно, но на протяжении длительного времени незаметен. «При возрасте» около 10 млрд лет упомянутое сжатие ядра приводит к образованию белого карлика с одновременным отделением оболочки «бывшей» звезды. Эта оболочка со скоростью 20—50 км/с расширяется в межзвездное пространство. И время жизни такой туманности оценивается всего в несколько десятков тысяч лет.

*) На этот механизм образования красного гиганта из звезды главной последовательности указал еще в 1938 г. эстонский астроном Эрнст Эпик (1893—1985).

Найдено объяснение и зеленоватому оттенку, которым отличаются планетарные туманности. Анализ их спектра приводит к выводу, что вещество в туманностях сильно разрежено. Поглощая фотоны коротковолнового излучения горячей звезды, рождающегося

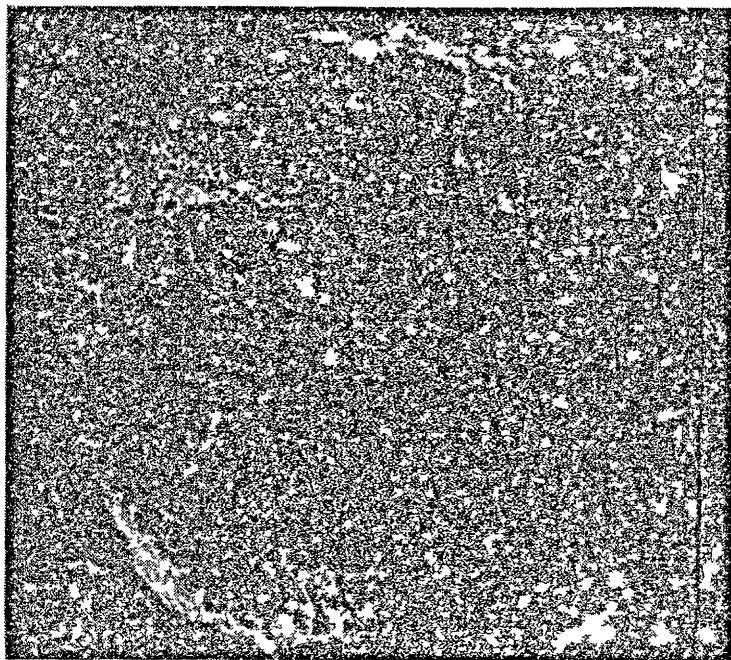


Рис. 102. Волокнистая туманность «Петля» в созвездии Лебедя

белого карлика, газ туманности «перерабатывает» его в излучение в отдельных спектральных линиях. Кроме того, атомы и ионы возбуждаются здесь (электроны переходят на высшие энергетические уровни) вследствие их столкновения со свободными электронами. В веществе туманности много кислорода и азота. Именно благодаря переходам электронов с верхних на более низкие уровни в этих двух элементах излучается большое количество энергии в линиях, принадлежащих зеленой части спектра.

Остатки сверхновых. Результатом давних катастроф — вспышек сверхновых — являются *волокну-*

стые туманности, наблюдаемые скорости расширения которых достигают сотен километров в секунду. Туманностей — остатков вспышек сверхновых уже известно около 130. Одной из них является туманность Петля в созвездии Лебедя (рис. 102). Угловые размеры этой огромной волокнистой туманности равны

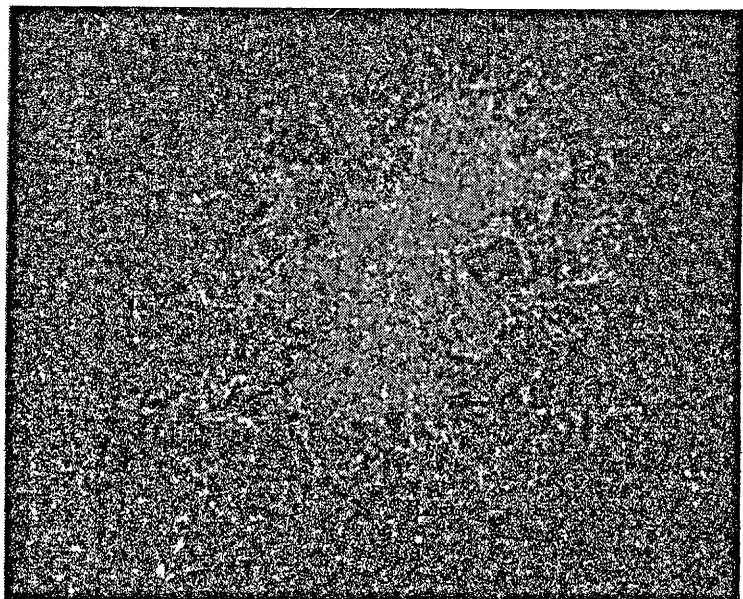


Рис. 103. Крабовидная туманность в созвездии Тельца

$2,8^\circ$, что при расстоянии до нее, равном около 800 пк, соответствует линейному радиусу порядка 20 пк. Туманность светится за счет энергии, запасенной оболочкой сверхновой во время взрыва.

Другим типичным представителем объектов этого типа является Крабовидная туманность (рис. 103). Это остаток вспышки в созвездии Тельца 4 июля 1054 г. Сверхновой, которую было видно днем в течение 23 суток.

На протяжении долгого периода времени предполагалось, что эта туманность является скоплением большого числа звезд. И лишь в 1913 г. была уста-

новлена ее истинная природа. Теперь мы уже знаем, что расстояние до этого удивительного объекта равно 5500 световым годам, что она расширяется со скоростью порядка 1000 км/с и что она состоит как бы из двух взаимно проникающих туманностей — аморфной и волокнистой. Первая дает непрерывный спектр без линий, вторая — линейчатый спектр. Еще в 1953 г. И. С. Шкловский показал, что Крабовидная туманность светится за счет торможения сверхбыстрых (релятивистских) электронов в магнитном поле, пронизывающем туманность.

Источником энергии туманности является пульсар NP 0531, который в ней находится, почти в ее центре. Период этого пульсара $P = 0,033$ секунды. Как оказалось, с тем же периодом вспыхивает звезда 16,5-й величины, достигая в максимуме блеска величины $13,9^m$ (рис. 104).

Туманности — остатки сверхновых являются мощными источниками радиоизлучения, а некоторые из них — и рентгеновского излучения.

7. БОЛЬШАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Как мы уже знаем, У. Гершель двести лет назад построил первую модель Галактики, преуменьшив ее размеры в 15 раз. Изучая многочисленные туманности, разнообразие форм которых он первый и обнаружил, Гершель пришел к выводу, что некоторые из них являются далекими звездными системами «типа нашей звездной системы». Он писал: «Я не считаю необходимым повторять, что небеса состоят из участков,

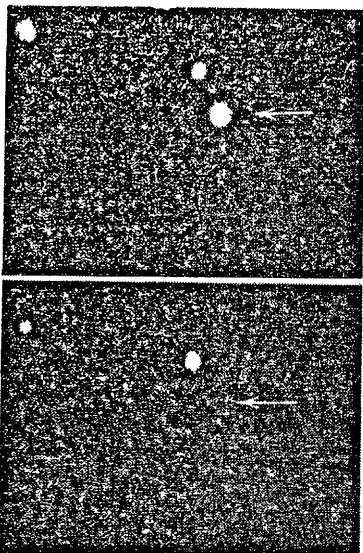


Рис. 104. Пульсар NP 0531 (место пульсара отмечено стрелкой). На верхнем снимке пульсар виден, на нижнем не виден

в которых солнца собраны в системы». И еще: «...эти туманности также могут быть названы млечными путями — с малой буквы в отличие от нашей системы».

Получилось все же так, что сам Гершель в дальнейшем занял в отношении природы туманностей другую позицию. И это не случайно. Ведь ему удалось доказать, что большинство открытых и наблюдавшихся им туманностей состоят не из звезд, а из газа. И решение вопроса о природе эллиптических и спиральных туманностей стало возможным лишь недавно, в 20-е годы нынешнего века. Всего каких-нибудь 70 лет назад мы узнали, что наша Галактика — лишь песчинка в бескрайнем океане таких же звездных систем...

А. Наша Галактика

Звездные скопления и ассоциации. Ранее уже отмечалось, что в окрестностях Солнца почти каждая вторая звезда является двойной, что довольно часто встречаются системы из трех, четырех и больше звезд.

В Галактике обнаружены и более сложные звездные системы — *рассеянные* и *шаровые звездные скопления*. Сейчас известно около 1200 рассеянных скоплений. В каждом из них насчитывается от нескольких десятков до нескольких тысяч звезд (рис. 105). В основном это звезды главной последовательности, здесь мало красных гигантов и сверхгигантов. Группируются эти скопления исключительно вдоль Млечного Пути. Их диаграмма спектр — светимость интересна тем, что подавляющее большинство входящих в рассеянное звездное скопление звезд «ложатся» на главную последовательность (рис. 106).

В шаровых скоплениях (рис. 107) насчитываются сотни тысяч и даже миллионы звезд. Среди них очень мало бело-голубых, зато очень много красных гигантов. Всего известно около 150 шаровых скоплений. Они равномерно концентрируются к центру Галактики. Примечательной особенностью диаграммы спектр — светимость шарового скопления является отсутствие верхней части главной последовательности (рис. 108). Вместо нее четко выделяется протянувшаяся вправо вверх ветка субгигантов и почти горизонтально от верхней части главной последовательности идет ветвь гигантов. На ней имеется «провал»,

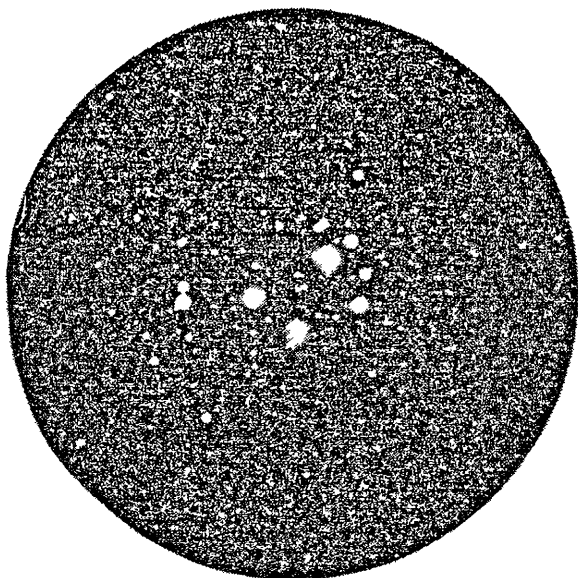


Рис. 105. Фотография рассеянного звездного скопления Плеяды в созвездии Тельца

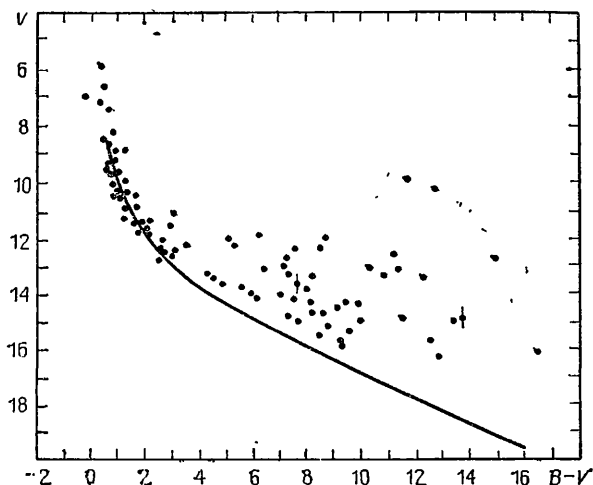


Рис. 106. Диаграмма спектр — светимость для рассеянного скопления NGC 2254; на горизонтальной шкале вместо спектрального класса указан цвет в условных единицах (красный — справа), на вертикальной — видимая (визуальная) звездная величина

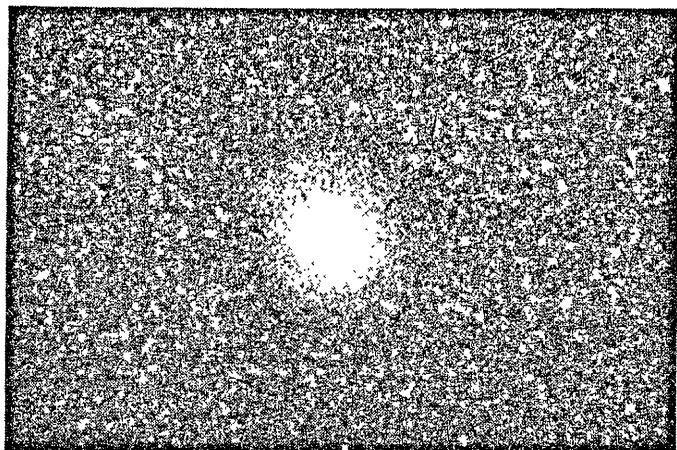


Рис. 107. Шаровое звездное скопление в созвездии Геркулеса

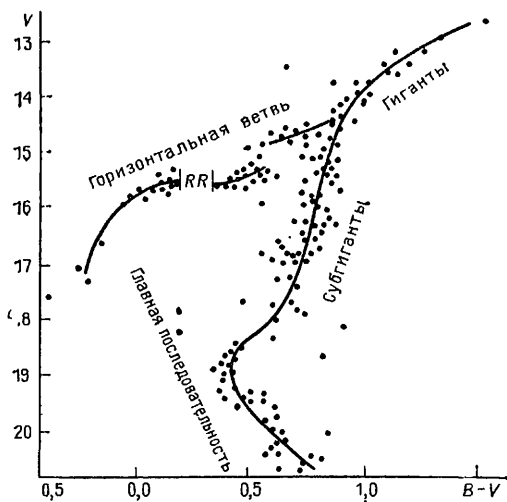


Рис. 108. Диаграмма спектр — светимость (цвет — видимая звездная величина) для шарового скопления М 3 в созвездии Гончих Псов

который заполняется лиридами — переменными звездами типа RR Лиры.

Указанные здесь особенности диаграмм спектр — светимость для рассеянных и шаровых скоплений свидетельствуют о существенном различии в возрасте составляющих их звезд. В шаровых скоплениях звезды «прожили» уже достаточно долго. Те из них, которые имели массы в несколько солнечных, уже как-то закончили свою жизнь, а те, у которых масса порядка или чуть больше солнечной, расходуя водород в своих недрах, «потянулись» вверх в область гигантов. Расчеты приводят к выводу, что возрасты многих рассеянных скоплений равны двум-трем миллиардам лет, тогда как шаровые скопления в пять-шесть раз старше: их возраст, по-видимому, достигает 12—14 млрд лет.

Известен еще один тип звездных группировок — *звездные ассоциации*. О-ассоциации (их известно около 50) — это группы по 20—30 звезд, куда входят звезды спектральных классов O, B и др. Зарегистрировано также около 700 Т-ассоциаций — скоплений неправильных переменных звезд-карликов, преимущественно желтых и красных. Это группы молодых звезд.

Подсистемы галактики. Уже отмечалось, что рассеянные и шаровые скопления располагаются в пространстве весьма неодинаково. Первые группируются вдоль Млечного Пути, или, как принято говорить, в плоскости Галактики, проведенной через середину Млечного Пути. Вторые — образуют своеобразный рой вокруг центра Галактики. Это указывает на возможность выделять в Галактике крупномасштабные подсистемы звезд, которые в целом образуют единую систему звезд.

В 1947 г. московский астроном Б. В. Кукаркин (1909 — 1977), исследуя распределение в Галактике переменных звезд различных типов, выделил в ней три *подсистемы*: плоскую, промежуточную и сферическую. Сейчас принято выделять пять подсистем: *плоскую молодую, плоскую старую, промежуточную «диск», промежуточную сферическую и сферическую* (рис. 109). В сферическую подсистему входят шаровые скопления, субкарлики, короткопериодические цефеиды — лириды. В промежуточную сферическую — долгопериодические переменные и некоторые другие. К промежуточной системе «диск» относятся

большинство звезд главной последовательности, в том числе Солнце, новые звезды, планетарные туманности, красные гиганты. Плоская старая подсистема включает звезды класса А, плоская молодая подсистема — звезды классов О и В, звезды, входящие в Т-ассоциации, и др.

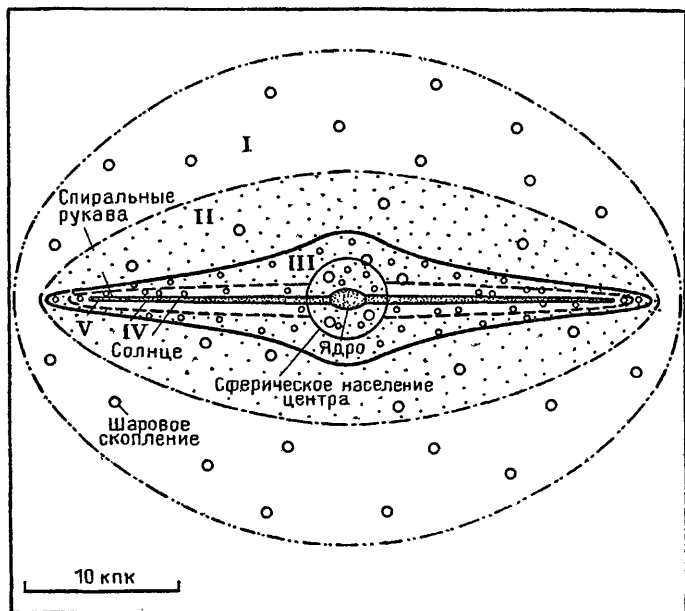


Рис. 109. Подсистемы Галактики: I — сферическая (гало), II — промежуточная сферическая, III — диск, IV — старая плоская и V — молодая плоская

Концентрация вещества существенно возрастает при приближении к плоскости Галактики. Поэтому она со стороны имеет вид, показанный на рис. 110.

В самом названии подсистем имеется указание на их относительный возраст, подтверждающийся данными о химическом составе звезд, из которых эти подсистемы «построены». В атмосферах звезд сферической составляющей тяжелых химических элементов (в частности, металлов) примерно в сто раз меньше, чем у звезд плоской молодой подсистемы. И этим как бы «прорисовывается» порядок образования звезд в Галактике: сначала — во всем ее сферическом объ-

еме. Наиболее массивные из них быстро расходуют запасы своего «горючего», вспыхивают как сверхновые, пополняя тяжелыми химическими элементами вещество межзвездной среды. Оно между тем, обращаясь вокруг центра галактики, «оседает» к ее плоскости, в нем происходит формирование «второго поколения», и т. д.

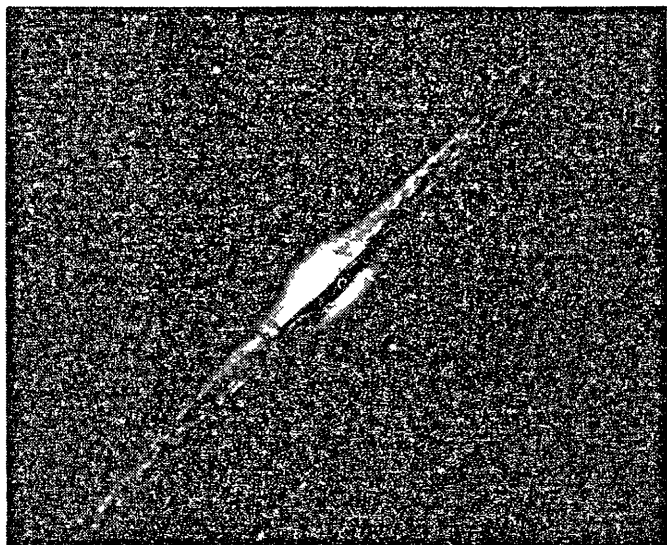


Рис. 110. Спиральная галактика NGC 891, видимая с ребра

До сих пор мы говорили о звездах, их скоплениях, о различных типах туманностей. Но пространство между ними не является пустым: оно также заполнено веществом, хотя и в разреженном состоянии. Его присутствие в межзвездном пространстве устанавливается так: спектральные линии при изучении спектрально-двойной звезды ритмично меняют свое положение, меняются местами линии, принадлежащие обоим компонентам. Но если пространство между этой звездой и наблюдателем заполнено газом, то в спектре звезды некоторые линии не будут принимать участия в упомянутом ритмичном, на протяжении периода P , смещении «вправо-влево».

Как и в случае звездных атмосфер, главной составляющей межзвездного газа является водород.

Исследовать особенности его распределения в Галактике удалось с помощью радиотелескопов: нейтральный водород излучает линию с длиной волны 21 см. Оказалось, что вещество в целом образует в Галактике спиральную структуру (рис. 111). Как межзвездный газ, так и значительная часть звезд, в особенности ранних спектральных классов, «укладываются» в спирали. Мы говорим, что наша Галактика принадлежит к классу спиральных галактик.

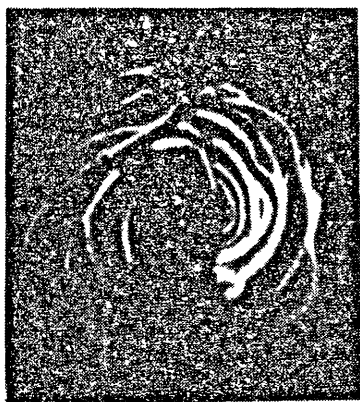


Рис. 111. Спиральное распределение водорода в Галактике; в разрыве спиралей сверху кружком показано положение Солнца

«Зоны Н II». Прежде всего напомним, что в астрофизике принято нейтральный атом обозначать римской цифрой I, однократно ионизованный атом — цифрой II, и т. д. Например, Н I — это нейтральный водород, Н II — ионизованный водород, Fe XXIV — атом железа, от которого оторвано 23 электрона, и т. д.

А теперь констатируем тот факт, что в межзвездной среде значительная часть водорода находится в молекулярном состоянии и, как показали исследования, температура этого межзвездного вещества близка к 100 К.

Ситуация резко меняется вблизи (скажем точнее, в окрестностях) звезд ранних спектральных классов О и В. Ведь эти звезды излучают огромное число фотонов, способных «вырвать» электрон из атома водорода, — фотонов лаймановского континуума (см. § 12). Например, звезда Спика (α Девы), спектральный класс которой В2, в одну секунду излучает 10^{46}

таких «жестких» фотонов. Следовательно, столько же атомов водорода она способна ионизовать (опять-таки в секунду).

Поэтому сразу же после своего «рождения» горячая звезда начинает ионизовать водород в окружающем ее межзвездном пространстве. В результате вокруг нее образуется *протяженная зона ионизованного водорода*, или, короче, *зона Н II*. Как показывает теоретический анализ, а также наблюдения, температура в зоне Н II в среднем близка к 10 000 К.

Конечно, оторванный от протона электрон стремится обратно «воссоединиться» с ним: в газе непрерывно происходят процессы рекомбинации. Примерно 40 % электронов рекомбинирует непосредственно на первый уровень, остальные — сначала на 2-й, 3-й и т. д. уровни, после чего переходят вниз. Кванты лаймановского континуума, излучаемые при переходе электрона непосредственно на первый уровень, немедленно поглощаются в зоне, все остальное излучение свободно выходит на бесконечность.

Следовательно: 1) вокруг горячей звезды образуется зона Н II радиусом в несколько десятков световых лет, 2) зона Н II «перерабатывает» значительную часть ультрафиолетового излучения звезды в видимый свет, благодаря чему эта звезда (точнее, «ее» зона) становится наблюдаемой, и 3) относительно тонкая граница раздела неионизованного и ионизованного водорода — ионизационный фронт — движется в сторону от звезды (рис. 112). Это понятно: при одинаковой концентрации частиц в области Н I и в зоне Н II различие в температуре в сто раз приводит к тому, что давление в зоне Н II в сто раз превышает давление неионизованного газа.

Расширяясь со скоростями в несколько десятков километров в секунду, ионизованный газ огибает неоднородности плотности, сжимает их, а это содействует формированию молодых звезд.

Галактика вращается. Вид звездного неба ритмично изменяется на протяжении года. Однако взаимное расположение звезд на небе кажется нам неизменным. Потому-то древние астрономы полагали, что звезды неподвижны.

И лишь в 1718 г., сравнив положение на небе нескольких звезд с данными древних каталогов, Э. Галлей обнаружил, что координаты этих звезд (Сириуса,

Арктика и Альдебарана) изменились. Вскоре у астрономов сформировалось убеждение в том, что такие перемещения звезд свойственны каждой из них и что это

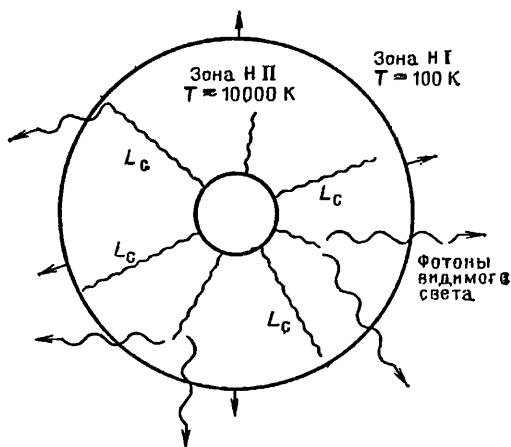


Рис. 112. Зона H II («зона Стремгrena»), образуемая вокруг горячей звезды

обусловлено их движением в пространстве, в конечном итоге — их движением вокруг центра Галактики.

Рассматривая проблему движения звезд, астрономы ввели понятие *собственного движения* звезды, под-

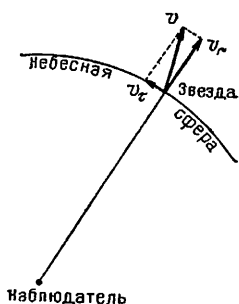


Рис. 113. Составляющие пространственной скорости звезды

разумевая под этим угловое перемещение на небесной сфере за 1 год. Это принято обозначать греческой буквой μ . Конечно, по отношению к наблюдателю звезда движется со скоростью v в произвольном, по отношению к линии «наблюдатель — звезда», направлении (рис. 113). Но если расстояние до звезды известно, то по измеренному собственному движению звезды μ нетрудно оценить и ее *тангенциальную скорость* v_t — проекцию ее скорости v на небесную сферу. Вто-

рую составляющую — проекцию скорости v_r на направление «наблюдатель — звезда» — *лучевую скорость* — определяют по смещению линий в спектре.

К настоящему времени уже измерены собственные движения около 300 000 звезд, а лучевые скорости — более чем у 20 000 звезд. Наибольшее из известных собственное движение имеет «летающая звезда Барнарда» ($9,7^m$): $\mu = 10,8''$. В наше время она находится в созвездии Змееносца. Менее чем за 200 лет эта звезда перемещается среди звезд на величину диаметра Луны. Точные фотографические наблюдения за такими звездами (см. таблицу 27) используются для выяснения вопроса о том, есть ли вблизи других звезд планетные системы. Если да, то «прямолинейно» перемещается центр масс системы, сама же звезда будет отклоняться то вправо, то влево от этого прямолинейного пути.

Всестороннее исследование собственных движений и лучевых скоростей звезд позволило сделать вывод, что

по отношению к ближайшим звездам Солнце движется в направлении созвездия Лиры. Вместе же со своими соседями оно, примерно со скоростью 250 км/с, движется в направлении созвездия Лебедя, обращаясь вокруг центра Галактики за 200 млн лет.

Б. Галактики и квазары

Открытие галактик? История «открытия» мира *галактик* весьма поучительна. Она наглядно показывает, сколь трудно астрономам «прорваться» «сквозь тернии к звездам». Поэтому еще раз напомним некоторые, наиболее важные этапы этой эпопеи.

Итак, Гершель, убедившись, что целый ряд «млечных путей» на самом деле представляет собой истинные туманности, которые находятся в нашей Галактике, пришел под конец жизни к весьма пессимистическому выводу: «Все, что за пределами нашей собственной системы, покрыто мраком неизвестности».

Не будем удивляться поэтому той категоричности, с которой английский астроном Агнесса Кларк писала в книге «Система звезд» (1890 г.): «Можно с уверенностью сказать, что ни один компетентный ученый, располагающий всеми имеющимися доказательствами, не станет придерживаться мнения, что хотя

бы одна туманность является звездной системой сравнимой по размерам с Млечным Путем. Практически установлено, что все объекты, наблюдаемые на небе (как звезды, так и туманности), принадлежат к одному огромному агрегату»...

Беда вся была в том, что долгое время астрономы не умели определять расстояния до этих звездных систем. Так, из проведенных в 1907 г. измерений будто бы следовало, что расстояние до «Туманности Андромеды» не превышает 19 световых лет. Четыре года спустя астрономы пришли к выводу, что это расстояние составляет около 1600 св. лет. И в том, и в другом случае создавалось впечатление, что упомянутая туманность и в самом деле находится в нашей Галактике.

Очень интересная дискуссия по этому поводу состоялась в 1920 г. в Вашингтоне в Национальной академии наук США между двумя известными астрономами Харлоу Шепли и Гербером Кертисом (1872—1942) о месте эллиптических и спиральных туманностей во Вселенной. К этому времени в некоторых из этих туманностей были зарегистрированы вспышки новых звезд. Кертис предположил, что в максимуме блеска упомянутые звезды излучают столько же энергии, что и новые звезды нашей Галактики. Так, он установил, что расстояние до Туманности Андромеды равно 500 000 световых лет. Это и дало Кертису основание утверждать, что спиральные туманности — это далекие звездные вселенные, подобные Млечному Пути. С таким выводом Шепли не соглашался, и его рассуждения также выглядели логично. Предположим, говорил он, что Туманность Андромеды имеет такие же размеры, как и наша Галактика (300 000 световых лет по его оценке). Тогда, зная ее угловые размеры, находим, что расстояние до данной туманности составляет 10 млн световых лет! Но тогда непонятно, почему наблюдавшиеся в Туманности Андромеды новые звезды имеют большую яркость, чем в нашей Галактике. Если же яркость новых в этой «туманности» и в нашей Галактике одинакова, то отсюда следует, что Туманность Андромеды в 20 раз меньше нашей Галактики.

Природу спиральных туманностей окончательно удалось установить Эдвину Хабблу, который в конце 1923 г. обнаружил в Туманности Андромеды первую,

а вскоре еще несколько цефеид. Оценив их видимые величины и периоды, Хаббл нашел, что расстояние до этой «туманности» составляет 900 000 световых лет. Этим была поставлена точка над *i* — установлена принадлежность спиральных «туманностей» к миру звездных систем типа нашей Галактики (рис. 114).

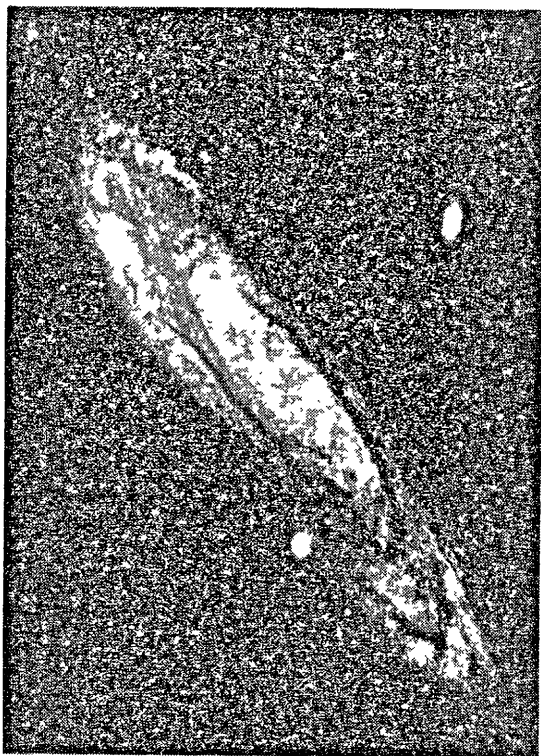


Рис. 114. Туманность Андромеды — одна из ближайших к нам галактик

Если же говорить о расстояниях до этих объектов, то их еще предстояло уточнять и пересматривать. Достаточно сказать, что на самом деле расстояние до галактики М 31 в Андромеде равно 2,3 млн световых лет. Весь же драматизм в разрешении этой проблемы подробно описан в уже упоминавшейся книге Ю. Н. Ефремова «В глубины Вселенной», а также в

книге В. А. Бронштэна «Гипотезы о звездах и Вселенной» (М.: Наука, 1974).

В качестве иллюстрации того, как возникают ошибки, упомянем, однако, следующее. Зоны ионизованного водорода (зоны Н II) хорошо видны не только в самых отдаленных уголках нашей Галактики, но и в ряде других галактик. Конечно, издалека они видны как точечные объекты, т. е. так же, как звезды. А ведь один из методов установления расстояний до галактик следующий: выделяют самые яркие звезды и полагают, что светимости этих ярчайших звезд в

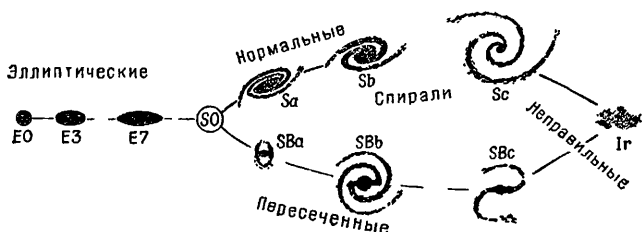


Рис. 115. Классификация галактик по Хабблу («камертонная диаграмма Хаббла»)

других галактиках такие же, как и в нашей звездной системе. И вот, устанавливая расстояния до ближайших галактик, Хаббл посчитал упомянутые зоны Н II за ярчайшие звезды. Но светимость зоны Н II примерно в десять раз больше, чем у ярчайшей звезды! Следовательно, Хаббл приуменьшил расстояния до галактик, в которых эти объекты были им выделены...

Типы галактик. Мир галактик оказался удивительно огромным. Но еще большее удивление вызывает многообразие его форм.

Первую и довольно удачную классификацию галактик по их внешнему виду предпринял уже Хаббл в 1925 г. (рис. 115). Он предложил относить галактики к одному из следующих трех типов: 1) *эллиптические* (обозначаемые буквой Е), 2) *спиральные* (S) и 3) *неправильные* (Ir). Некоторое время полагали, что эта классификация имеет эволюционный смысл, т. е., что галактики «передвигаются» вдоль «камертонной диаграммы» Хаббла, последовательно меняя свою форму. Сейчас этот взгляд считается ошибочным.

К эллиптическим были отнесены те галактики, которые имеют вид правильных кругов или эллипсов и яркость которых плавно уменьшается от центра к периферии (рис. 116). Эту группу подразделяют на восемь подтипов от E0 до E7 по мере увеличения видимого сжатия галактики. Линзовидные галактики S0 похожи на сильно сплюснутые эллиптические системы, однако имеют четко выделенное центральное звездообразное ядро.

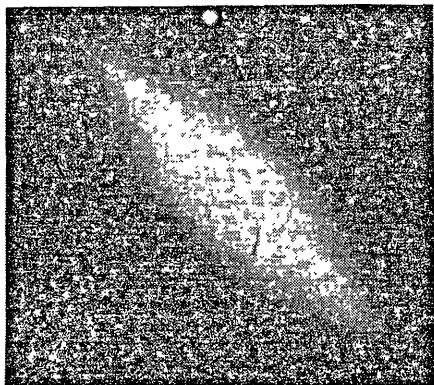


Рис. 116. Эллиптическая галактика NGC 3115 типа E7

Спиральные галактики, в зависимости от степени развития спиралей, подразделяются на подклассы Sa, Sb и Sc. У галактик типа Sa основной составной частью является ядро, тогда как спирали выражены еще слабо. Переход к последующему подклассу — констатация факта все большего развития спиралей и уменьшения видимых размеров ядра. Как видно из рис. 115, параллельно нормальным спиральным галактикам существуют еще так называемые *пересеченные спиральные системы* (SB). У галактик этого типа очень яркое центральное ядро пересекается по диаметру поперечной полосой. Из концов этой перемычки и начинаются спиральные ветви, причем в зависимости от степени развития спиралей эти галактики делятся на подтипы SBa, SBb и SBc (рис. 117).

К неправильным галактикам (Ir) отнесены объекты, у которых отсутствует четко выраженное ядро и не обнаружена вращательная симметрия. Их

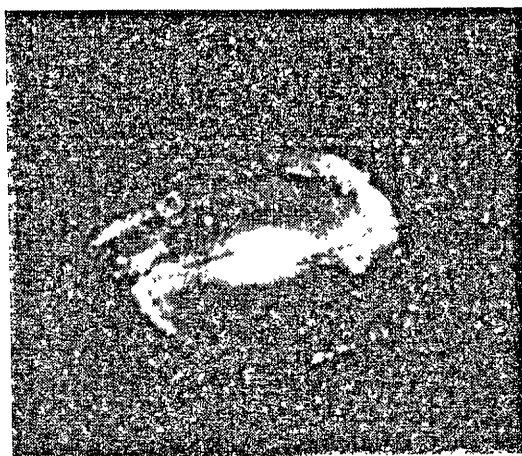
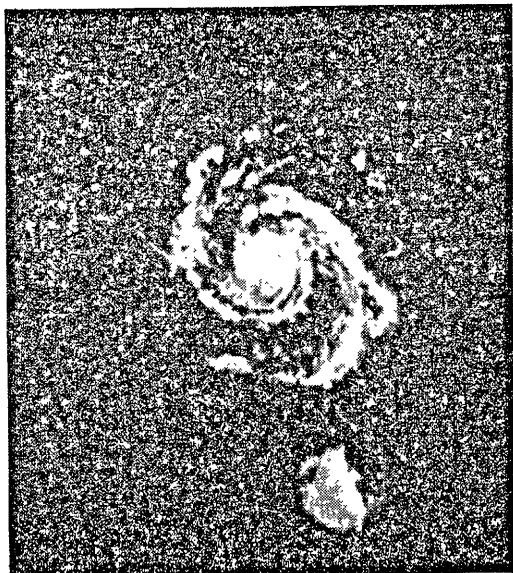


Рис. 117. Спиральная галактика М 51 (вверху) и пересеченная спиральная галактика NGC 1300

типичными представителями являются Магеллановы Облака (рис. 118).

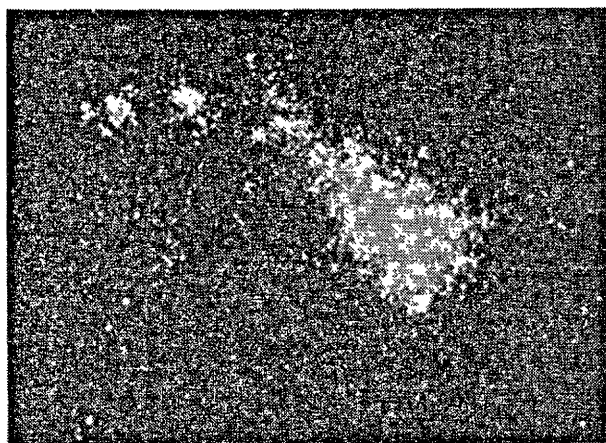
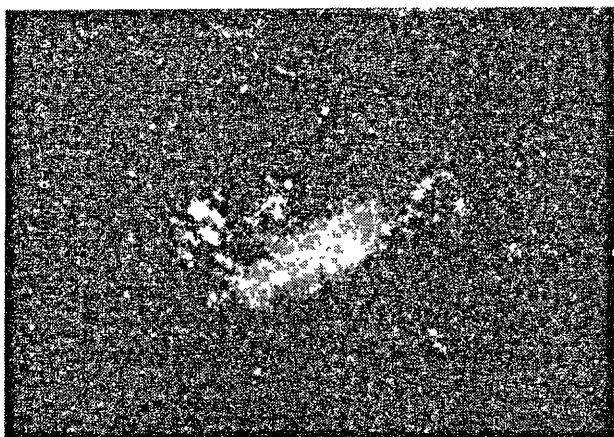


Рис. 118. Большое (вверху) и Малое Магеллановы Облака

Среди нескольких тысяч ярчайших галактик насчитывается 17 % эллиптических, 80 % спиральных и около 3 % неправильных.

В 1957 г. советский астроном Б. А. Воронцов-Вельяминов (род. в 1904 г.) открыл существование «*взаимодействующих галактик*» — галактик, связанных «перемычками», «хвостами», а также «гамма-

форм», т. е. галактик, у которых одна спираль «закручивается», тогда как другая «раскручивается» (рис. 119). Позже были открыты компактные галактики, размеры которых составляют всего около 3000 световых лет, и изолированные в пространстве звездные системы с поперечником всего 200 световых

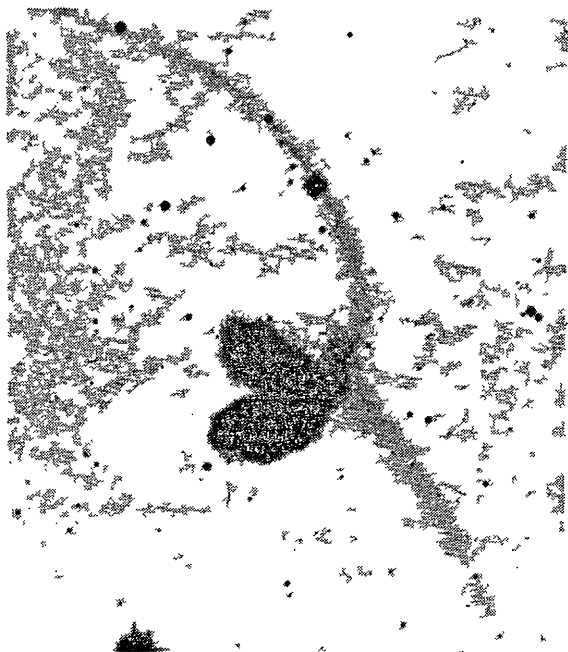


Рис. 119. Взаимодействующие галактики VV 21 (негатив)

лет. По своему внешнему виду они практически не отличаются от звезд нашей Галактики.

Активные галактики. С 1943 г. астрономы ведут наблюдение за галактиками, в спектрах которых заметны широкие эмиссионные линии, свидетельствующие о мощных движениях газа со скоростями в несколько тысяч километров в секунду. Многие галактики выделяются интенсивным свечением в ультрафиолетовой части спектра. Это представители активных галактик.

Были обнаружены мощные источники радиоизлучения, среди которых прежде всего большой интерес на много лет вызвал радиоисточник «Лебедь А» (точечные источники радиоизлучения было принято называть именем созвездия, в котором они находятся, с добавлением буквы латинского алфавита А, В, С и т. д. по мере уменьшения их интенсивности). Как

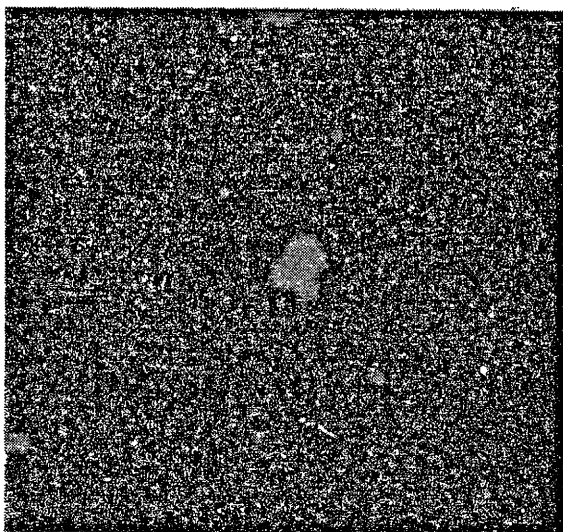


Рис. 120. «Сдвоенная» галактика в созвездии Лебедя — мощный источник радиоизлучения «Лебедь А»

только его координаты были установлены с высокой точностью, астрономы произвели фотографирование этого участка неба на 5-метровом телескопе. Оказалось, что на месте радиоисточника находится слабая (18^m) двойная галактика, расстояние до которой равно 700 млн световых лет (рис. 120). Удивительным было то, что светимость источника Лебедь А в радиодиапазоне оказалась в миллион раз большей, чем это должно быть, если излучают обычные звезды. Иначе говоря, оказалось, что здесь действует совершенно другой механизм излучения. О нем уже была речь выше: так же светится Крабовидная туманность — за

счет торможения сверхбыстрых электронов в магнитных полях.

Примечательно, что радиоволны приходят к нам не от самой галактики. Области, где они возникают, находятся на расстоянии в сто тысяч световых лет по обе стороны от оптического источника. Впечатление

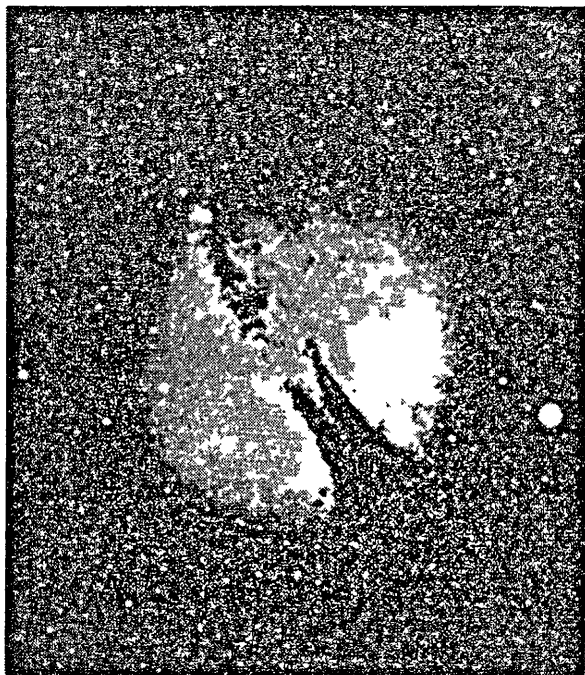


Рис. 121. Эллиптическая галактика NGC 5128 в созвездии Кентавра — мощный источник радиоизлучения

такое, как будто из этой галактики свыше 100 тыс. лет назад в противоположные стороны со скоростями, близкими к скорости света, было выброшено («выстрелено») излучающее в радиодиапазоне вещество.

Мощным источником радиоизлучения является эллиптическая галактика NGC 5128 в созвездии Кентавра (рис. 121). Здесь уже четыре области радиоизлучения, расположившихся вдоль прямой, практически перпендикулярной темной полосе поглощающего

вещества, две — вблизи галактики, две другие — симметрично на значительном расстоянии от нее.

Не менее интересным объектом является и радиисточник Дева А — эллиптическая галактика М 87 почти сферической формы, из центра которой вырывается яркая струя вещества (рис. 122).

Все это — свидетельства активности ядер галактик. И здесь уместно вспомнить о том, что, в частности, представление о взрывоподобных процессах в ядрах галактик было развито В. А. Амбарцумяном (род. в 1908 г.) еще в 1955 г. Он предположил, что

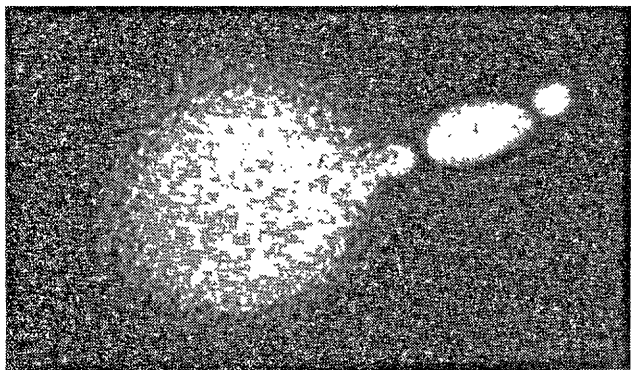


Рис. 122. Эллиптическая галактика М 87

ядра галактик могут содержать значительные массы «дозвездного вещества», т. е. вещества, о свойствах которого мы сегодня еще практически ничего не знаем, и что в ядрах галактик существуют еще неизвестные нам источники энергии.

Квazarы. С 1963 г. астрономы изучают еще один удивительный класс объектов — *квazarы* (QUASAR — сокращение английского названия «квазизвездные источники радиоизлучения»). Названы они так потому, что на фотографических пластинках ничем не отличаются от обычных звезд. А между тем эти объекты находятся далеко за пределами нашей Галактики (об этом говорит большое красное смещение линий в их спектрах, о чем еще речь ниже). Светимости квазаров в ряде случаев в сотни раз превышают светимость всей нашей Галактики с ее 150 млрд звезд; в

инфракрасной области спектра эти объекты излучают еще в десять тысяч раз большую энергию. Многие квазары — мощные источники рентгеновского излучения.

В спектрах квазаров уже отождествлены линии почти всех химических элементов, встречающихся в атмосферах обычных звезд. Однако непрерывный

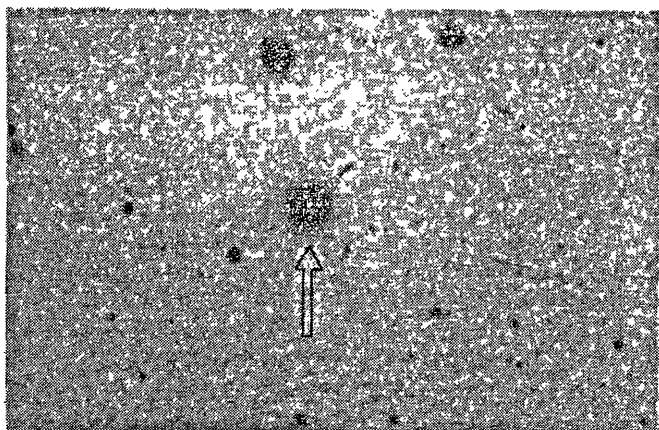


Рис. 123. Квазар 3С 273 (негатив)

спектр квазара не похож на спектр Солнца или любой другой звезды: распределение энергии в нем соответствует *синхротронному* механизму, т. е. высвечиванию энергии сверхэнергичными электронами, движущимися в магнитных полях.

Первым из отождествленных был квазар в созвездии Девы, который в Третьем Кембриджском каталоге радиоисточников помещен под номером 373, — объект 3С 373 (рис. 123). Расстояние до него равно 3 млрд световых лет.

Уже открыто около 4000 квазаров, расстояния до которых различно — от 260 млн световых лет до более чем 12 млрд световых лет. Из того факта, что у многих квазаров обнаружена переменность блеска с амплитудой до 3^m и что это изменение блеска происходит на протяжении одной — нескольких недель, следует, что линейные размеры их относительно невелики. Ведь колебание блеска является результатом

определенного физического процесса, охватывающего всю поверхность квазара!

Сейчас наиболее вероятной представляется гипотеза, по которой квазары — это ядра активных галактик.

Любопытна методика поиска квазаров. Дело в том, что у них по сравнению с обычными звездами имеется избыток излучения в ультрафиолетовой части спектра. Поэтому для отыскания квазара избранную площадку неба фотографируют дважды — один раз с ультрафиолетовым фильтром, второй раз с синим. Время экспозиции подбирается так, чтобы обычные звезды на обеих пластинках имели одинаковый блеск. Квазар же «сигнализирует» о себе повышенной яркостью в ультрафиолете.

Пространственное распределение. «В нулевом приближении» из наблюдений можно сделать вывод, что галактики распределены в пространстве равномерно (конечно, они «избегают» зоны Млечного Пути, но это — следствие поглощения их излучения межзвездным веществом нашей Галактики, плотность которого особенно велика вблизи полосы Млечного Пути).

Более детальный анализ показал, что галактики, как и звезды, образуют *группы* и *скопления*, в которые входят от десятков до десятков тысяч членов. Иногда концентрация галактик в скоплениях столь велика, что они практически касаются друг друга. Сейчас известно около 4000 таких скоплений. Одним из наибольших (в нем насчитывается около 40 000 галактик) является скопление в созвездии Волос Вероники. Оно находится на расстоянии около 400 млн световых лет от нас и занимает на небе участок диаметром почти 12° .

Уже обнаружены *сверхскопления* — огромные системы размерами 50—150 Мпк, состоящие из нескольких богатых скоплений, мелких групп и одиночных галактик. Удивительным оказалось то, что эти сверхскопления образуют в пространстве гигантские волокноподобные структуры, состоящие, подобно бусинкам на нитке, из сверхскоплений и огромных пустот — «каверн», или воидов. Каверны ограничиваются «стенками» из галактик. И хотя до сих пор подробно исследовано около 1 % всей наблюдаемой Вселенной, можно утверждать следующее: распреде-

ление вещества во Вселенной имеет ячеистую структуру. Галактики располагаются в стенках ячеек, разделенных большими пустотами, напоминая... швейцарский сыр (рис. 124).

С другой же стороны, из всего этого следует вывод о том, что в больших масштабах Вселенная яв-

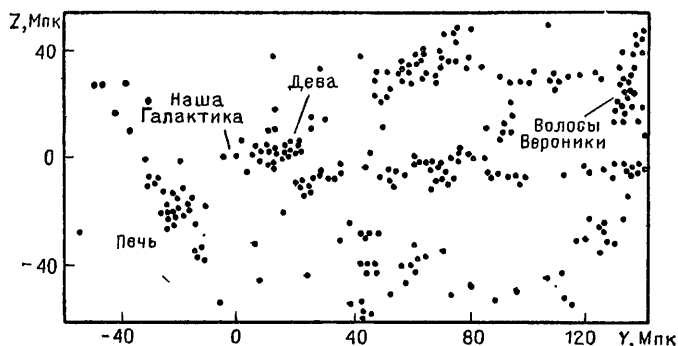


Рис. 124. Ячеистое распределение галактик в пространстве (в разрезе, проходящем через сверхскопление в Волосах Вероники)

ляется однородной. А это как раз вполне согласуется с современными теориями ее происхождения и развития.

В. Вселенная расширяется?

«Красное смещение». Большие и важные открытия часто делаются совершенно неожиданно. Так случилось и с открытием красного смещения в спектрах галактик.

Спектральные исследования спиральных и эллиптических «туманностей» были начаты в 1912 г. на основе таких соображений: если они действительно расположены за пределами нашей Галактики, то они не участвуют в ее вращении и поэтому их лучевые скорости будут свидетельствовать о движении Солнца. Ожидалось, что эти скорости будут порядка 200—300 км/с, т. е. будут соответствовать скорости движения Солнца вокруг центра Галактики.

Между тем, за несколькими исключениями, лучевые скорости галактик оказались гораздо больше: они измерялись тысячами и десятками тысяч километров в секунду (рис. 125). В 1929 г. Э. Хаббл уже имел возможность сопоставить скорость движения га-

лактики v с расстоянием до нее r для 36 объектов. Оказалось, что эти две величины связаны условием прямой пропорциональности:

$$v = Hr. \quad (6.2)$$

Это выражение получило название *закона Хаббла*, а постоянная H — *постоянной Хаббла*. Ее численное значение Хаббл в 1929 г. определил в 500 км/(см·Мпк). Однако мы уже знаем, что он ошибся в установлении расстояний до галактик. После многократных исправлений и уточнений этих расстояний численное значение постоянной Хаббла сейчас принимается равным $H = 50$ км/(с × Мпк).

Закон Хаббла используется для определения расстояний до далеких галактик и квазаров.

Последствия ошибки. Величина, обратная постоянной Хаббла, имеет размерность времени. Из формулы (6.2) следовало бы, что

$$\frac{1}{H} = t_H = \frac{r}{v}$$

является временем, за которое определенная галактика проходит расстояние, отделяющее ее от наблюдателя. Таким образом, из (6.2) следует вывод, что t_H лет назад вещество, из которого состоят звезды и галактики, было сконцентрировано «в одной точке». Наблюдаемые скорости разлета галактик достигают сотни тысяч км/с. Создается впечатление, что t_H лет назад произошел огромный взрыв, который и явился началом развития Вселенной в ее современном виде.

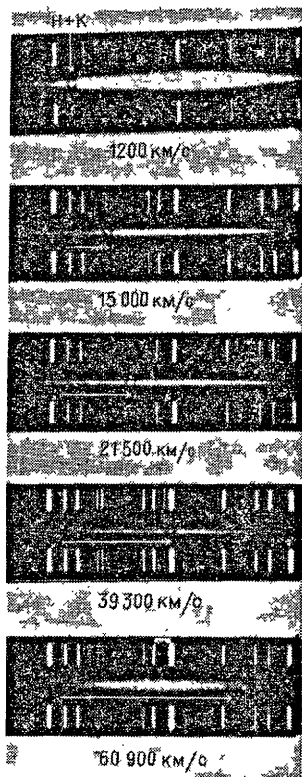


Рис. 125. Красное смещение в спектрах галактик. Стрелкой указано положение линий H и K кальция

Но при постоянной Хаббла 500 км/(с·Мпк) время $t_H = \frac{1}{H}$ составляет всего 1,9 млрд лет. Между тем в 30-е годы уже было установлено, что возраст Земли как планеты вдвое больше.

Вот почему на протяжении нескольких десятилетий некоторые астрономы и физики стремились найти какое-то другое объяснение красному смещению. И лишь после того, как была пересмотрена шкала межгалактических расстояний и величина t_H возросла до 19 млрд лет, противоречие между возрастом Земли и возрастом Вселенной исчезло.

О «самом начале». Из факта расширения Вселенной следовало, что примерно 15 млрд лет назад ее вещество было сконцентрировано до бесконечно большой плотности. Такое состояние называется *сингулярностью*, и оно противоречило всему накопленному физическому опыту.

Существовал еще один вопрос: какой была Вселенная на ранних стадиях своего развития — холодной или горячей? Ответ на него был получен в 1965 г., когда было зарегистрировано *реликтовое радиоизлучение* — потоки электромагнитных волн на длине волны 7,35 см. Интенсивность этого излучения не зависела от направления, его нельзя было приписать известным радиоисточникам. Расчет показал, что на одну частицу вещества приходится миллиард квантов реликтового излучения. Из теории следует, что вначале это были кванты далекого гамма-диапазона и что в эти мгновенья температура во Вселенной достигала миллиардов градусов — Вселенная была горячей.

Отсылая читателя к книге И. Д. Новикова «Как взорвалась Вселенная» (М.: Наука, 1988 — Библиотечка «Квант», вып. 68), всего лишь конспективно перечислим основные этапы развития Вселенной, каких представляют себе сегодня астрономы (рис. 126). Руководящей идеей здесь был вывод о высокой температуре Вселенной на начальных этапах ее развития. Ведь параллельно физики проводили изучение изменения свойств вещества по мере роста энергии составляющих его частиц. «Смычка» астрономии и физики привела к представлению о рождении Вселенной из вакуума, точнее из ложного вакуума, в котором первоначально частицы не имеют масс и в кото-

ром они существуют в виртуальном (от лат. *virtua-lis* — возможный), а не реальном, состоянии. В процессе резкого раздувания Вселенной вначале при температуре свыше 10^{30} К порождаются сверхтяжелые частицы — X- и Y-бозоны, которые далее распадаются

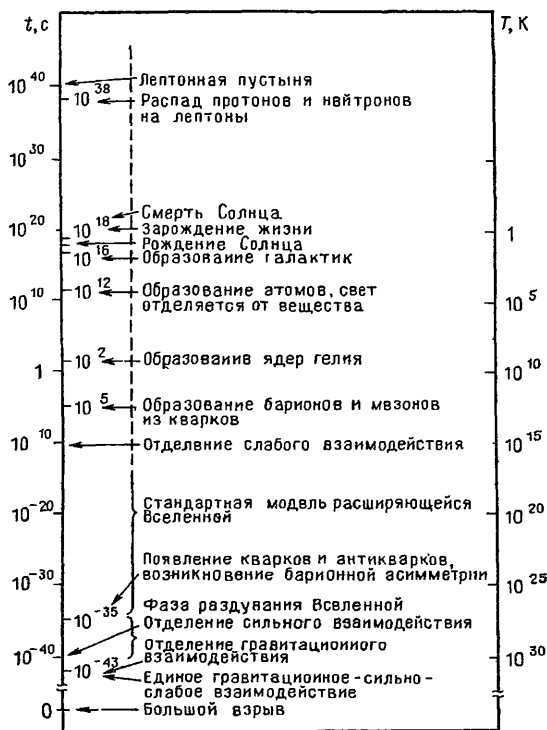


Рис. 126. Развитие процессов во Вселенной после ее «рождения»

на кварки и антикварки. Эти последние после существенного уменьшения температуры образуют обычные для нас частицы.

На этапе раздувания Вселенная разбивается на множество соприкасающихся областей — *доменов*, в каждом из которых свойства могут быть различными. При этом образуются *космические струны* — тонкие нити (толщиной порядка нескольких радиусов атома водорода), в которых сконцентрирована очень большая масса (около 10 т на один сантиметр длины или

еще больше). Пересекаясь сами с собой в ходе расширения Вселенной, космические струны могли бы образовывать петли, которые позже играли роль «затравки» для образования галактик.

По истечении одной секунды с момента «начала», как только температура уменьшилась до 10 млрд К, значительная часть нейтронов и протонов объединилась, образовав ядра гелия. Через 100 с число частиц водорода составляло 90 %, а гелия — около 9 %, остальное приходилось на другие элементы. По массе водород составлял около 75 %, гелий — 25 %. Таким был химический состав вещества к началу формирования галактик и звезд. Оно началось при $t \approx 1$ млн



Рис. 127. Сгущения в звуковой волне, действующие как зародыши конденсации вещества

лет, когда температура во Вселенной уменьшилась до 3000 К и когда в основном закончились процессы рекомбинаций электронов с протонами и ядрами гелия.

О том, как происходило обособление частей в начале однородного вещества в галактики и их скопления, спор все еще продолжается. Несомненно одно: важную роль в этом сыграла гравитационная неустойчивость. И здесь уместно вспомнить, что еще в 1902 г. английский астроном и физик Джеймс Джинс (1877—1946) установил, что под действием силы тяготения бесконечно протяженное облако («столбик газа») распадается на отдельные сгустки, поскольку если через среду проходит звуковая волна длиной больше некоторого критического значения, то образовавшееся сгущение действует как зародыш конденсации и притягивает к себе окружающее вещество (рис. 127). Математические соотношения, описывающие этот процесс, мы приведем ниже (см. § 16), исходя из теории размерностей.

Остается добавить, что в виде галактик и их скоплений сосредоточено всего несколько процентов массы, находящейся во всей наблюдаемой нами Вселенной. Иначе трудно объяснить, почему скопления галактик еще не «развалились»: скорости движения

каждой галактики слишком велики и суммарная кинетическая энергия системы оказывается гораздо большей потенциальной энергии их взаимодействия. Приходится предполагать, что в скоплениях содержится «скрытая масса», о природе которой можно лишь догадываться. Возможно, это большие облака нейтрино, если только эти частицы имеют отличную от нуля массу покоя, или же какие-то еще неизвестные нам элементарные частицы...

Антропный принцип. Анализ процессов, происходящих во Вселенной, всей иерархии ее структур свидетельствует об их зависимости от удивительной согласованности параметров, определяющих процессы в микромире, на уровне атомов и атомных ядер. Вот несколько примеров.

1. Наиболее распространенный химический элемент — водород — устойчив потому, что масса электрона m_e ($\approx 0,5$ МэВ) меньше разности масс нейтрона m_n и протона m_p : $m_e < m_n - m_p = \Delta m_N$ ($\approx 1,3$ МэВ). Если бы масса электрона была в три раза больше, происходил бы коллапс (от лат. *collapsus* — рухнувший, развалившийся) атома водорода по схеме $p + e^- \rightarrow n + \nu$. Это значит, что галактики и звезды состояли бы целиком из нейтронов, а более сложных форм вещества — атомов и молекул — в такой Вселенной не было бы.

2. Если бы разность масс нейтрона и протона Δm_N превышала значение 2,9 МэВ, то дейтрон (^2H) был бы нестабильным. Из-за этого синтез гелия и более тяжелых элементов в недрах звезд стал бы невозможным. Вселенная состояла бы целиком из водорода.

3. Если бы сила взаимодействия между нуклонами была всего на несколько процентов больше, то бипротон (система « pp » или изотоп ^2He) был бы стабильной частицей. В этом случае водород катастрофически быстро превратился бы в гелий, который оказался бы единственной составляющей вещества во Вселенной. И наоборот, если бы сила взаимодействия была всего на 5 % слабее, то дейтрон как устойчивая система не мог бы существовать. Следовательно, было бы невозможным образование ядер гелия.

4. В окружающем нас мире электростатическая сила отталкивания протонов в атомном ядре меньше, чем их притяжение, обусловленное действием ядерных сил. Очевидно, что обратная зависимость между

этими величинами сделала бы существование сложных ядер невозможным.

5. Если бы гравитационная постоянная G была, скажем, в десять раз больше, то время пребывания Солнца на главной последовательности измерялось бы всего несколькими десятками миллионов лет.

6. Сейчас физики и астрономы говорят о том, что в принципе возможно существование миров с иным числом измерений. Наше пространство трехмерно. И... оказывается, что лишь в пространстве трех измерений могут существовать устойчивые планетные системы.

7. Наконец, развитие всех наблюдаемых материальных структур во Вселенной — галактик, звезд и планет, да и появление жизни на Земле — оказывается возможным потому, что плотность вещества во Вселенной именно такая, какая есть, а не другая. Если бы она была значительно меньше, то силы инерции преобладали бы над силами тяготения, поэтому галактики и звезды, по-видимому, образоваться не смогли бы. При значительно большей плотности время расширения было бы слишком малым, чтобы около одной из звезд — нашего Солнца — мог появиться наблюдатель.

Из этих примеров (а их можно подыскать еще с десятков) видно, что в нашей Вселенной, как принято говорить, «действует скрытый принцип, организующий ее определенным образом». Но объясняется он так: наша Вселенная — не единственная. В Мире, по-видимому, существует вакуум большой, возможно бесконечномерной размерности. В нем самопроизвольно возникают всевозможные вселенные с различными размерностями, наборами взаимодействий между частицами и различными численными значениями фундаментальных постоянных. И как раз одна из множества вселенных в этом сложном и еще далеко не до конца понятом Мире — наша Вселенная...

КЛЮЧИ К ТАЙНАМ МИРОЗДАНИЯ

Любознательность — одно из постоянных и непреходящих качеств сильного ума.

Сэмюэл Джонсон (1751 г.)

Рассказ о строении окружающего нас звездного и галактического мира, об управляющих им законах, о путях его эволюции мы в целом воспринимаем сегодня как что-то само собой разумеющееся. В этом, безусловно, проявление уже глубоко укоренившейся в каждом из нас веры в науку, в ее, как представляется, почти неограниченные возможности. При этом мы вспоминаем слова выдающегося французского ученого Рене Декарта (1596—1650): «Нет ничего столь удаленного от нас, чего бы мы не смогли постичь, или столь потаенного, чего бы мы не смогли открыть». А также слова его не менее видного соотечественника Блеза Паскаля (1623—1662): «Удивительно не то, что Вселенная бесконечна, а то, что человек способен раскрыть ее тайны...»

Но если мы сравниваем работу астронома с особенностями проведения исследований представителями других естественных наук, то не можем не отметить ее кардинальное отличие. Физик, химик, биолог или геолог изучает тот или другой образец, имея его непосредственно перед собой. Объект своего исследования он может «прощупать руками» в любой момент и в буквальном смысле этих слов. Астроном же, как принято говорить, сидит на дне протяженного воздушного океана и всего лишь улавливает слабые световые потоки, приходящие к нему от того или другого небесного объекта. И тем не менее совершается нечто чудесное. Не выходя из стен своего учреждения, астроном определяет расстояние до этого объекта, как будто измерил его своими шагами, говорит о температуре на его поверхности, как будто побывал на нем, о массе объекта, как будто своими руками укладывал его на какие-то огромные весы, о химическом составе, как будто ему удалось как-то «зачерпнуть» крупицу вещества из его атмосферы. Более того,

астроном рассказывает о строении звездных недр, как будто ему удалось пробуравить хотя бы одну звезду до ее центра, он строит схемы развития звезд, галактик и Вселенной в целом на протяжении миллиардов лет, хотя не в состоянии проследить за этим развитием даже какую-нибудь одну сотню лет...

И хотя в своем продвижении к свету, к пониманию законов мироздания люди долго блуждали во мраке неизвестности, ошибались, горизонт их познания постепенно и неуклонно расширялся. А здание науки о небесных светилах — астрономии — становилось все прекраснее...

8. «ТРИ КИТА» АСТРОНОМИИ

Рассказывая о величественном здании астрономии, К. Фламмарин стремился избегать формул, назвав их «строительными лесами». Конечно, при первом знакомстве со зданием лесá действительно ни к чему, они лишь мешают обзору. Но вот мы осмотрели здание, и оно буквально ошеломило нас своей грандиозностью и невероятной сложностью своих отдельных элементов. И здесь-то уже неминуемо возникает вопрос: да как же, с помощью каких ухищрений зодчим удалось соорудить это рукотворное чудо? И на чем, на каком фундаменте оно держится?

Как известно, в далеком прошлом люди создали представление о Земле, удерживающейся на трех китах. Такие аллегории оказываются зачастую очень емкими. Воспользовавшись ею, мы можем сказать, что как раз на трех китах, как на самом прочном фундаменте, и удерживается современная астрономия.

«Кит первый». Первый из упомянутых «китов» — это мощная светоприемная техника: телескопы со вспомогательными приборами (спектрографами, электрофотометрами, электронно-оптическими преобразователями, светофильтрами и т. д.) и регистрирующими приспособлениями (астрономические фотоэмульсии, фотоэлектронные умножители, многоанодные микроканальные матричные приемники и др.). Нет нужды доказывать, что без телескопа наша Вселенная казалась бы очень тесной, а общая картина ее строения, составленная на основе визуальных наблюдений, крайне убогой. Построенное на этой основе

здание астрономии было бы так похоже на сегодняшнее, как хижина бедного рыбака на царский дворец...

Как отмечалось (§ 2), уже первый, весьма несовершенный телескоп позволил Галилею сделать исключительно важные выводы о природе Луны, Юпитера (как силового центра) и Млечного Пути, об обращении Венеры вокруг Солнца. Узнав об этих открытиях, начали строить телескопы и другие ученые и любители астрономии.

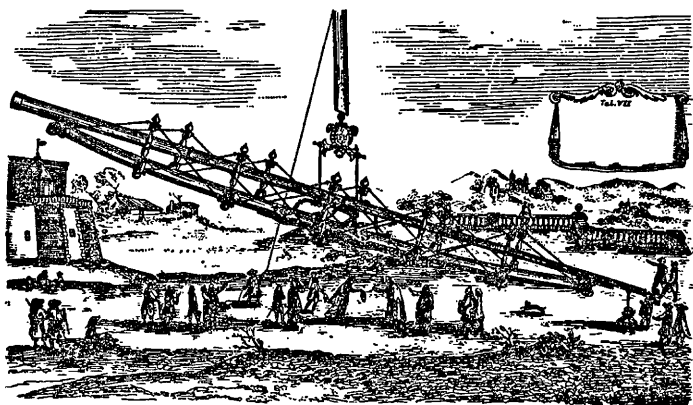


Рис. 128. «Воздушный телескоп» XVII в.

Нельзя, однако, сказать, что эти первые шаги телескопостроения были легкими, скорее наоборот. Ведь сразу же обнаружилось, что изображение в телескопе сильно искажено и «расцвечено» всеми красками радуги. Чтобы уменьшить этот эффект хроматической aberrации, увеличивали фокусное расстояние линзы объектива. Известно, что в некоторых случаях при диаметре линзы 5—20 см длина телескопа достигала 40 и больше метров (рис. 128). Это были так называемые «воздушные» телескопы, они сооружались на протяжении около ста лет.

Сразу же после создания Галилеем линзового телескопа (*рефрактора*) были предложены схемы зеркальных телескопов — *рефлекторов*. Но, кажется, Ньютон был первым, построившим в 1668 г. рефлектор с диаметром зеркала 2,5 см и фокусным расстоянием 16,5 см, дававшим 41-кратное увеличение (рис. 129). Материалом для изготовления зеркала

был сплав из шести частей меди, двух частей олова и одной части мышьяка. Изготовление таких телескопов было делом сложным, и очень часто свое искусство мастера строго засекречивали. Так, в Эдинбурге и Лондоне на протяжении 36 лет прекрасные телескопические зеркала изготавливал Д. Шорт. Перед своей смертью в 1668 г. он уничтожил все чертежи и рецепты...

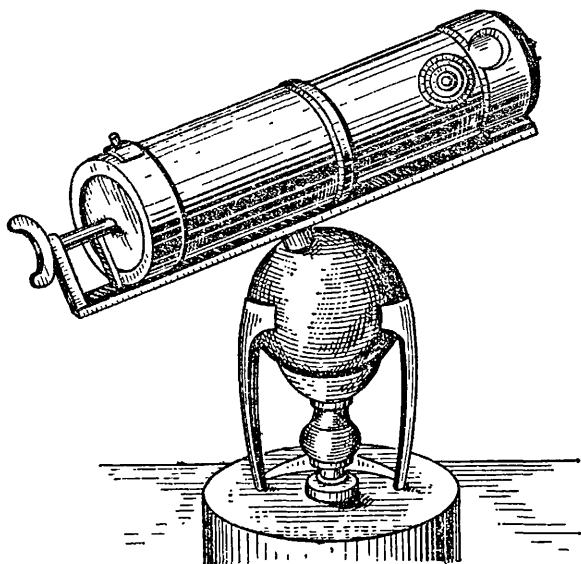


Рис. 129. Зеркальный телескоп Ньютона

Вообще телескопы тех времен были весьма несовершенными. Зеркала от собственного веса прогибались, трескались, их отшлифованная поверхность быстро темнела, — телескопы, как тогда говорили, «слепли».

В XIX в. строители телескопов научились изготавливать двухлинзовые объективы, у которых хроматическая аберрация существенно уменьшалась. Но в споре с рефлектором линзовый телескоп опять потерпел поражение: объектив в трубе телескопа крепится за тонкие края, линзы же тяжелы и от собственной тяжести прогибаются (соответственно деформируется, ухудшается качество изображения). Поэтому самый большой рефрактор имеет диаметр объектива 102 см, ус-

тановлен он в Йерксской обсерватории (США) в 1896 г.

Между тем в 1856 г. был изобретен химический способ серебрения стеклянных зеркал, и телескоп-рефлектор как бы родился во второй раз. В начале 1918 г. на обсерватории Маунт Вилсон (США) был введен в действие 2,5-метровый рефлектор. Это на нем Эдвин Хаббл получил материал, который позволил выйти за пределы нашей Галактики.

В 1930 г. рефлектор «родился» в третий раз: был разработан метод покрытия зеркал тонкой алюминиевой пленкой, которая наносится на зеркало путем распыления в вакууме. Сами же зеркала изготавливаются сейчас из кристаллизованного стекла, коэффициент расширения которого практически равен нулю.

Как известно, крупнейший в мире 6-метровый рефлектор в 1975 г. был установлен в СССР на Северном Кавказе (рис. 130). Диаметр его башни 44 м, толщина зеркала 65 см, масса около 40 т, фокусное расстояние 24 м. Масса инструмента с монтировкой превышает 850 т. Труба телескопа установлена на жесткой сварной платформе, вращающейся вокруг вертикальной оси. Ведение телескопа за светилом осуществляется по командам специальной электронной управляющей машины.

Вторым по величине является 5-метровый телескоп обсерватории Маунт Паломар (США). В обоих случаях хорошее изображение получается лишь вблизи оптической оси зеркала, и это поле имеет угловой диаметр около $3'$, что составляет $1/10$ видимого диаметра Луны. С помощью коррекционных линз его расширяют до $16'$ и более.

В последние годы введено в действие около десяти телескопов системы Ричи—Кретьена с диаметром главного зеркала 3—4 м. Поле зрения этих телескопов достигает $40'$ — $50'$. Проводится полная автоматизация процессов наблюдений и обработки полученной информации, в том числе осуществляется дистанционное управление телескопами. Сегодня наблюдения можно проводить, воссоздавая на экране телевизора изображение, построенное в фокальной плоскости телескопа, на расстоянии в несколько тысяч километров от него. Достигается это с помощью искусственных

спутников Земли и благодаря оригинальным приемникам излучения (см. ниже).

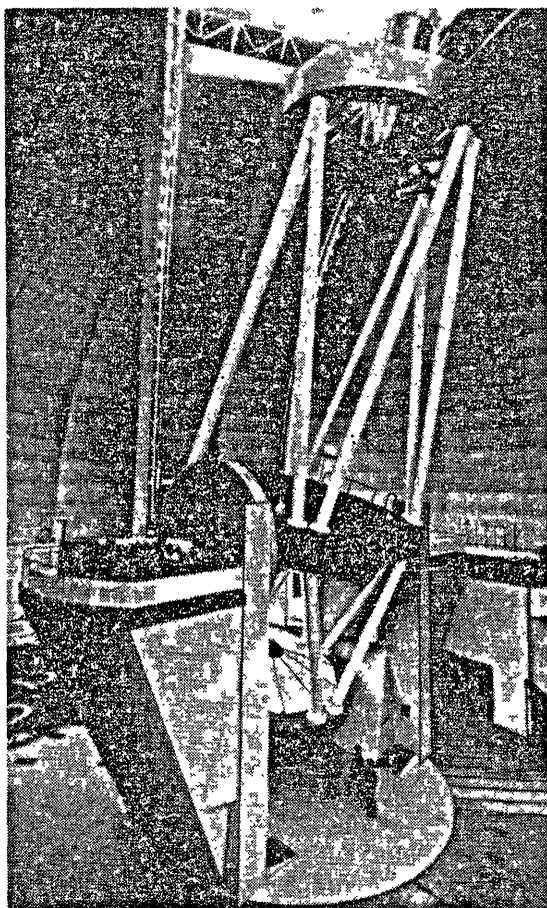


Рис. 130. Крупнейший в мире 6-метровый рефлектор

Вспомогательные приборы. Само по себе изображение объекта, полученное в фокусе телескопа, в особенности если это далекая звезда, мало что дает для изучения его природы. Мы узнаем, конечно, больше, если при этом определим еще и цвет этого объекта. Но самое лучшее — это сфотографировать его спектр.

Поэтому *спектрограф* — самый важный и распространенный из вспомогательных приборов (рис. 131).

Широко используются в астрономии *светофильтры*. С их помощью удается выделить излучение объекта в отдельных диапазонах длин волн и тем самым установить особенности распределения энергии в его

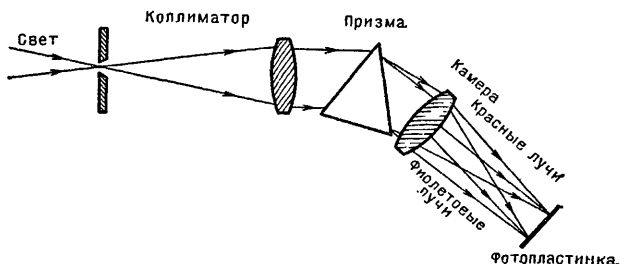
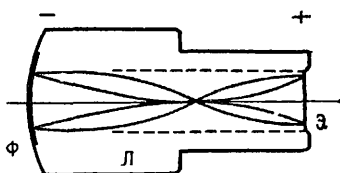


Рис. 131. Оптическая схема призмного спектрографа

спектре с гораздо меньшей потерей времени. А вот *интерференционно-поляризационный фильтр*, у которого ширина полосы пропускания меньше $0,5 \text{ \AA}$, позволяет изучать внешние слои Солнца, в которых происходит интенсивное поглощение и переизлучение, скажем, линии H_{α} — главной линии серии Бальмера (см. далее рис. 169).

Рис. 132. Схема электронно-оптического преобразователя (ЭОП): Φ — фотокатод, L — электронная линза, $\mathcal{E}$ — экран. Показаны примерные траектории фотоэлектронов



В настоящее время для нужд астрономии сконструированы одно- и многокаскадные *электронно-оптические преобразователи* (ЭОП), работа которых основана на принципе фотоэффекта (рис. 132). Фотоны света падают на фотокатод, и вырванные в результате фотоэффекта электроны ускоряются в электрическом поле. Анод прибора изготовлен в виде цилиндрической трубки, играющей роль фокусирующей системы. Фотоэлектроны свободно проскакивают сквозь нее и, ударяясь в покрытый люминофором экран, резко тормозятся, а экран светится.

Значительное усиление яркости слабых объектов получают сегодня с помощью *телевизионных систем*. Телевизионный телескоп состоит из пяти основных блоков электронной аппаратуры: 1) передающей телевизионной трубки, 2) видеоусилителей, 3) канала связи, 4) приемной телевизионной трубки — кинескопа и 5) блоков питания и регулировки режима работы. Изображение, разложенное на видеосигналы и усиленное, в конечном итоге преобразуется в оптическое изображение на экране кинескопа.

Приемники излучения. Примерно с 1880 г. в астрономии систематически используется *фотографический* метод наблюдений. В настоящее время более 50 %

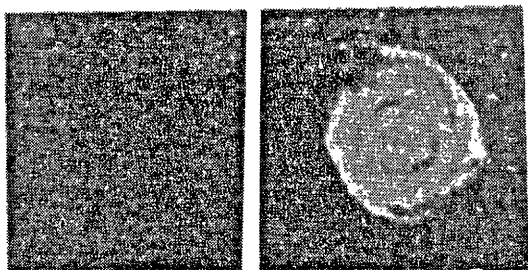


Рис. 133. Область планетарной туманности NGC 7293, сфотографированной на 76-сантиметровом рефлекторе с выдержкой 70 мин. Слева — на нечувствительной пластинке, справа — на очувствительной теплым азотом

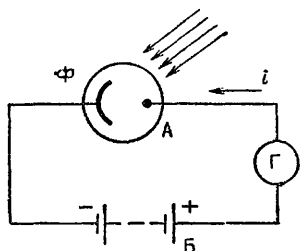
всех астрономических наблюдений осуществляется путем фотографирования объектов или их спектров на фотоэмульсию. Фотоэмульсия, в отличие от глаза, способна накапливать фотоны света, на ней одновременно могут быть зафиксированы сотни и тысячи светил, а полученное изображение определенного участка неба или объекта может сохраняться десятки лет.

В последние годы астрономы используют около 20 различных типов фотоэмульсий. Разработаны различные методы их гиперсенсibilизации (очувствления), что позволяет в несколько раз сократить продолжительность экспозиции (рис. 133). Давно уже производится фотографирование неба на цветную фотопленку. При наблюдениях газовых туманностей этот метод дает возможность непосредственно вы

явить особенности их строения и распределения в них физических параметров — плотности и температуры.

С середины 40-х годов астрономические наблюдения проводятся и с помощью *фотоэлектронных умножителей* (ФЭУ), являющихся составной частью фотоэлектрических фотометров. Прибор работает на принципе фотоэффекта (рис. 134). Фотоэлектрические наблюдения сводятся к регистрации фототоков самописцем на бумажной ленте или в памяти электронной счетной машины. Проводятся они обычно с помощью набора светофильтров: ультрафиолетового U , синего

Рис. 134. Принципиальная схема включения фотоэлемента с внешним фотоэффектом: Φ — фотокатод, A — анод фотоэлемента, Γ — гальванометр, B — батарея питания, i — фототок



B , желтого V , красного R и т. д., и каждое такое наблюдение (отдельный отсчет) сравнивается с соответствующими данными о некоторых уже подробно изученных звездах — *фотометрических стандартах*. Тем самым устанавливается видимая звездная величина объекта в каждом из фильтров (т. е. в том или другом спектральном интервале). Соответственно использованному фильтру эти величины обозначаются теми же буквами: U , B , V , R и т. д. Разности полученных в различных спектральных интервалах величин: $U - B$, $B - V$ — указывают на температуру объекта, их принято называть *показателями цвета*.

С 70-х годов в астрономии началось использование *твердотельных приемников излучения*, действие которых основано на присущем всем полупроводникам явлению внутреннего фотоэффекта. Разработаны так называемые *многоанодные микроканальные матричные приемники* (рис. 135). Важнейшей частью такого приемника является микроканальная пластина — набор из большого числа тесно расположенных стеклянных трубочек с диаметрами порядка 10—15 мкм и длиной в 50—100 раз больше. На внутреннюю поверхность трубочек наносят специальное покрытие.

Изображение строят на фотокатоде с помощью телескопической системы. Фотоэлектроны, попадая в трубочки, через их катодные концы, соударяются со стенками и порождают потоки вторичных электронов, которые и собираются на аноде — на отдельных электродах матричного элемента, подключенных к счетному устройству. Так достигается усиление сигнала

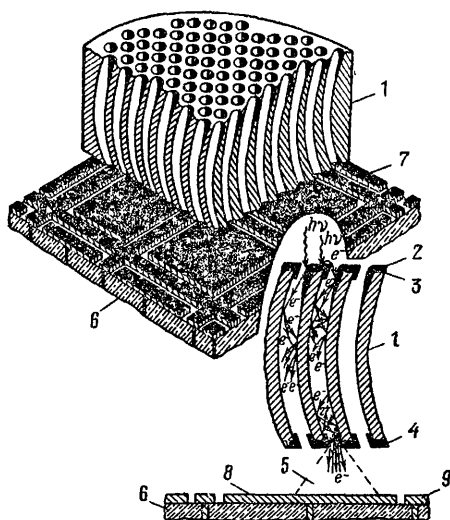


Рис. 135. Схема многоанодного микроканального матричного приемника с дискретной анодной матрицей: 1 — микроканальная матричная пластинка, 2 — непрозрачный фотокатод, 3 — входной электрод, 4 — выходной ускоряющий электрод (анод), 5 — выходной пакет зарядов, 6 — керамическая подложка, 7 — дискретная анодная матрица, 8 — отдельный электрод матричного элемента, 9 — межэлементный экранирующий электрод

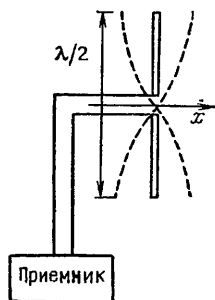
в сотни миллионов раз, а данные измерений могут быть зафиксированы электронной счетной машиной. Прибор устанавливается в специальном разборном корпусе, в котором поддерживается высокий вакуум.

Радиотелескопы. Смело можно утверждать, что без наблюдений в радиодиапазоне самые интересные проблемы астрономии оставались бы и сегодня вне поля зрения ученых.

Составными частями радиотелескопа являются антенна, фидерная линия (электрическая линия, по которой передается энергия), радиоприемник и регистратор. Чаще всего используются *дипольные* и *пара-*

болические антенны. Простейшим примером первой являются два металлических стержня, общая длина которых равна половине принимаемой длины волны λ (рис. 136). Обычно, однако, используется не один, а несколько диполей, установленных в одной плоскости на расстоянии $\lambda/2$ один от другого. Диполи соединяют с приемником так, чтобы колебания величины тока, возбужденного падающей перпендикулярно электромагнитной волной и поступающего в приемник от каждого из них, имели одну и ту же фазу. По существу,

Рис. 136. Простейшая схема радиотелескопа; в качестве антенны использован полуволновой диполь. Такой инструмент имеет наибольшую чувствительность в направлениях, перпендикулярных диполю



такая антенна является *радиоинтерферометром*, принцип работы которого читателю известен из курса физики.

Антенны дипольного типа имеют серьезный недостаток: они могут работать лишь на той волне, для которой они построены. Параболическая же антенна (рис. 137) собирает в фокусе излучение всех длин волн. В фокусе зеркала устанавливается *облучатель* — полуволновой диполь, который и принимает излучение заданной длины волны.

Излишне говорить, что речь идет об очень слабых сигналах. И, благодаря достижениям современной физики, используемые радиометры способны зарегистрировать сигнал, интенсивность которого (в соответствии с формулой Рэлея — Джинса (12.5)) эквивалентна приращению температуры в 0,001 К. Это достигается с помощью трех типов *усилителей* сигнала: парамагнитных (мазеров), параметрических (использующих свойство полупроводниковых диодов изменять свою емкость под воздействием внешнего электрического поля) и транзисторных.

Одной из лучших в мире является антенна радиотелескопа РТ-70 с диаметром зеркала 70 м, введен-

ная в строй под Евпаторией в конце 1978 г. Годом раньше на Северном Кавказе установлен радиотелескоп «РАТАН-600», состоящий из 895 отдельных зеркал, каждое из которых представляет собой прямоугольник размером $2 \times 7,4$ м². Установлены они в виде круга диаметром почти 600 м. Из каждой примерно 220 зеркал можно формировать параболическую поверхность, которая фокусирует радиоизлучение на небольшую антенну-облучатель.

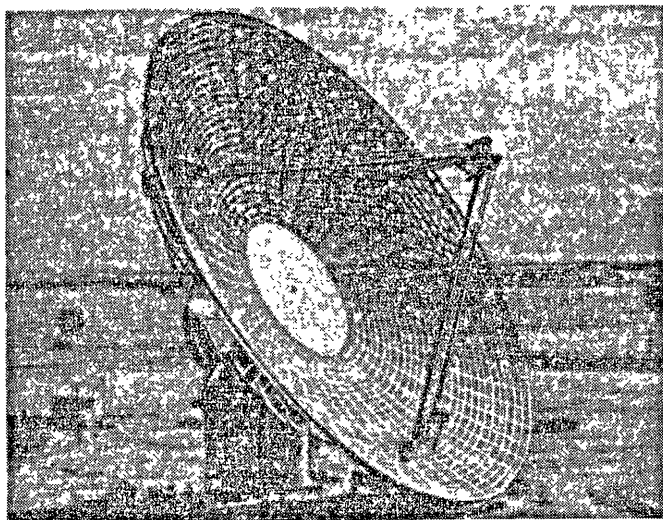


Рис. 137. Параболическая антенна диаметром 65 м и весом 300 т австралийского радиотелескопа

Изучение структуры радиоисточников проводится сегодня методами *сверхдальной радиоинтерферометрии*. Для этого используются попарно крупные антенны, расположенные на расстояниях до 12 000 км. Сигналы, принятые антенной, регистрируются на магнитной ленте или видеоманитофоне, а потом сопоставляются («накладываются» один на другой) с помощью специального *коррелятора*. Для синхронизации записей на обеих лентах впечатываются сигналы времени от высокоточных атомных стандартов.

Приемники других диапазонов. Для регистрации излучения в ближнем и среднем инфракрасных участках спектра (до 20 мкм) используются обычные теле-

скопы с объективами из специальных сортов стекла. В качестве детекторов инфракрасного излучения используются полупроводниковые болометры, в которых величина падающей лучистой энергии измеряется по изменению электрического сопротивления пластины-экрана.

Как и в ультрафиолете, рентгеновском и гамма-диапазоне, значительная часть инфракрасных наблюдений проводится с борта космических аппаратов и орбитальных станций типа «Салют» и «Мир». В частности, в 1977 г. на станции «Салют-6» был установлен первый в мире бортовой субмиллиметровый телескоп с диаметром главного параболического зеркала 1,5 м.

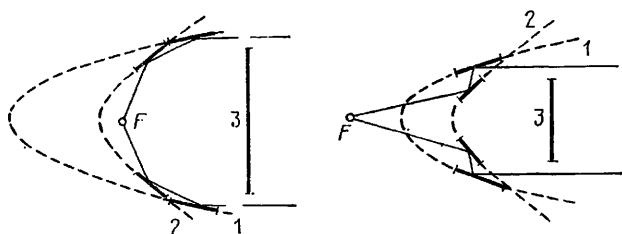


Рис. 138. Схема рентгеновского телескопа-рефлектора. 1 и 2 — параболическое и гиперболическое зеркала, 3 — непрозрачный экран

Ультрафиолетовое излучение с длиной волны меньше 1600 Å регистрируется с помощью счетчиков Гейгера — Мюллера и вторично-электронных умножителей открытого типа (ВЭУ), которые отличаются от обычных ФЭУ тем, что не имеют защитного вакуумного баллона. Изображения Солнца в рентгеновском диапазоне получают с помощью зеркального телескопа со скользящим падением лучей (рис. 138). Для регистрации и анализа рентгеновских квантов с энергиями $E < 100$ кэВ используются пропорциональные счетчики, устройство и принцип работы которых аналогичны счетчикам Гейгера. В качестве детекторов гамма-излучения используются сцинтилляционные и черенковские счетчики, ядерные эмульсии и искровые камеры. Схема гамма-телескопа показана на рис. 139. Гамма-телескоп устанавливается под сцинтилляционным счетчиком — колпаком, который регистрирует заряженные частицы и исключает их из числа событий,

зафиксированных самим телескопом. Попадая в конвертор (слой свинца), гамма-квант либо передает часть своей энергии электрону (тогда происходит комптоновское рассеяние), либо превращается в пару электрон — позитрон (это явление называется *конверсией* гамма-квантов). Проходя через счетчики, эти частицы далее вызывают вспышки света, которые и регистрируются фотоумножителями. Напомним, что

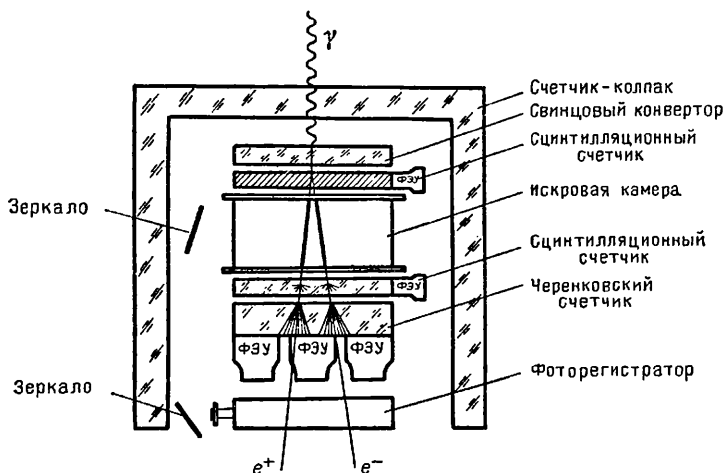


Рис. 139. Схема гамма-телескопа

искровая камера — это сосуд, заполненный рабочим газом, в котором также установлено большое число электродов. Пролетая через искровую камеру, частица или жесткий квант ионизует газ вдоль своего пути, и как только это произошло, управляющие счетчики подают на электроды импульс высокого напряжения в несколько десятков киловольт. В результате по ионизованному газу (следу частиц) проскакивает искра — *стриммер*. Для считывания информации о происхождении жесткого гамма-кванта или частицы используется фотокамера или ФЭУ.

Разрабатываются методы регистрации нейтрино, образующихся в недрах Солнца при синтезе ядер гелия (15.1). Рассматривается возможность регистрации *гравитационных волн*, возникающих в космическом пространстве при асимметричном движении вещества, в частности движении двойных звезд вокруг общего центра масс.

Освоение этих новых каналов информации уже привело к расширению наших представлений о масштабах происходящих во Вселенной процессов, но не исключено, что главные открытия еще впереди...

«Кит второй». Так можно назвать всю совокупность законов, идей и методов теоретической физики, установленных и разработанных за последние триста лет, истекших со дня выхода основополагающей книги Ньютона «Математические начала натуральной философии» (1687 г.), но главным образом — за последние сто лет. Ведь первые двести лет из упомянутого промежутка времени ушли на разработку небесной механики, и лишь последнее столетие — на выяснение ф и з и к и процессов, происходящих на поверхности и в недрах звезд и планет.

Разговор здесь следует начать с напоминания о взглядах Аристотеля на природу небесных тел: они, по его мнению, состоят из некоей «совершенной», неуничтожимой формы материи — эфира. Аристотель противопоставил «земное», «преходящее» «небесному и вечному», и, как известно, на протяжении более чем двух тысячелетий о природе небесных светил никто и ничего конкретного сказать не мог. Были, конечно, гениальные догадки (высказанные, в частности, Николаем Кузанским, см. § 2), но лишь с середины XIX в. благодаря уже упоминавшимся работам Бунзена и Кирхгофа, в которых были отождествлены фраунгоферовы линии солнечного спектра с эмиссионными линиями десятка земных элементов, стало ясно: мир планет и звезд, туманностей и галактик по своей физической природе одинаков, он состоит из одних и тех же химических элементов, хотя, конечно, пропорции их могут быть самые разные.

Стало ясно, что вещество звезд и туманностей находится в газообразном состоянии и, следовательно, при его изучении можно использовать законы, уже установленные на Земле (в частности, при изучении ее атмосферы), в наших земных лабораториях. Как эти конкретные законы используются при решении отдельных задач астрофизики, мы увидим ниже. Здесь же подчеркнем, что в последние десятилетия «взаимный статус» двух родственных наук — физики и астрономии — изменился: в наше время лабораторией стало уже все безграничное пространство Вселенной; именно в этих масштабах устанавливаются новые

законы Природы. Не случайно (точнее, предвидя дальнейшие успехи на этом пути) советский физик Л. А. Арцимович (1909—1973) однажды сказал: XXI век будет веком астрономии, веком глубокого проникновения человека в тайны мироздания...

«Кит третий». И, наконец, важной основой современной астрономии является весь сложный и многообразный математический аппарат и прежде всего — дифференциальное, интегральное и тензорное исчисление (а сейчас и совершенно новые методы расслоенных многомерных пространств и др.). Здесь уместно вспомнить слова Г. Галилея: «Философия записана в огромной книге, раскрытой перед нашими глазами. Однако нельзя понять книгу, не зная языка и не различая букв, которыми она написана. Написана же она на языке математики, а ее буквы — это треугольники, окружности и другие геометрические фигуры, без помощи которых ум человеческий не может понять в ней ни слова; без них мы можем лишь наугад блуждать по темному лабиринту». Мы вспоминаем эти слова, чтобы еще раз подчеркнуть, как далеко вперед ушла наука и в использовании новых методов изучения Вселенной.

Посмотрим сначала, как в конкретные задачи астрономии входит, скажем, метод дифференциального исчисления, на примере движения планеты (ее масса m) вокруг Солнца (масса $M_\odot$). В соответствии с законом всемирного тяготения (формула (2.2) в § 2) на планету действует сила F . Но пропорционально величине этой силы согласно второму закону Ньютона ($F = ma$), планета получает направленное к Солнцу ускорение a . Пока обе упомянутые здесь формулы предельно просты. Мы можем приравнять обе силы и получить соотношение $a = -\frac{GM}{r^2}$. Но задача заключается в том, чтобы установить, как изменяются координаты и скорость планеты во времени, если в какой-то начальный момент $t = 0$ она находилась в точке с координатами x_0 , y_0 и z_0 и имела скорость v_0 (ее компоненты в проекции на оси координат v_x^0 , v_y^0 , v_z^0). И здесь-то необходимо вспомнить, что ускорение a — это величина, показывающая, насколько быстро изменяется во времени скорость тела: $a = \frac{dv}{dt}$. В свою очередь, скорость — это изменение пути dr за

время dt : $v = \frac{dr}{dt}$. Поэтому имеем $a = \frac{d}{dt} \left(\frac{dr}{dt} \right) = \frac{d^2r}{dt^2}$ и вместо простенького соотношения для ускорения получаем дифференциальное уравнение второго порядка $\frac{d^2r}{dt^2} = -\frac{GM}{r^2}$. Для решения уравнение расписывают в проекциях на координатные оси и получают три уравнения типа $\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{GM}{r^3}x$, так как $\frac{x}{r} = \cos \varphi$, где φ — угол между направлением на планету и осью x , и т. д. В итоге после интегрирования и получают законы Кеплера.

Изучение движения планеты вокруг Солнца — так называемая *задача двух тел* — самое легкое дело. Куда сложнее учесть возмущения, производимые третьим, четвертым и т. д. телом. Скажем, движение Луны вокруг Земли является очень сложным из-за отклонения формы нашей планеты от сферической; поэтому нельзя предположить, что вся масса Земли сосредоточена в ее центре, а также из-за притяжения Луны Солнцем и другими планетами. Поэтому оно описывается уравнениями, насчитывающими в общей сложности около 1500 слагаемых, а все расчеты для ответа на вопрос, где будет Луна на небе завтра и через год, проводятся с точностью до 15-го знака после запятой.

По-своему сложна, скажем, и задача о распределении физических параметров — давления p , плотности ρ , температуры T и химического состава (усредненной молекулярной массы μ) с расстоянием r от центра звезды до ее внешних слоев, условно называемых ее поверхностью. Заметим лишь, что здесь, исходя из общих свойств звездного вещества (насколько сильно оно способно поглощать падающее на него излучение, происходит ли превращение одних химических элементов в другие с выделением энергии), составляются четыре дифференциальных уравнения типа $\frac{dT}{dr} = f(p, \rho, \mu, r)$, которые решают на мощных электронно-вычислительных машинах численными методами (грубо говоря, так: задают ориентировочные значения всех упомянутых параметров в центре звезды и далее находят численное значение прироста их при переходе «мелкими шажками» от точки $r=0$ к точке $r=r_1$, скажем, в этой точке температура $T=$

$= T_0 + dT$, и т. д. Согласование сразу не будет получено, поэтому расчет начинается сначала с другим набором параметров).

Свойства же Вселенной в целом изучают на основе общей теории относительности, а ее «язык» — тензорное исчисление.

Так что же — «лесá», о которых говорил Камил Фламарион, столь сложны и тяжелы, что «простому смертному» (учащемуся средней школы, просто любителю астрономии) они не под силу, и поэтому «незачем и тын городить?» И да, и нет. Да, потому что показать «на пальцах», как рассчитывается строение звезды и тем более пути ее эволюции, никак нельзя (максимум возможного изложен только что). Нет, поскольку все же многие весьма интересные проблемы астрономии решаются весьма успешно и с помощью элементарных математических соотношений, скажем, самой простой геометрии. Среди них, например, важнейшая задача установления масштабов нашей Вселенной — определение расстояний в Солнечной системе и до многих тысяч ближайших звезд. В ряде случаев удастся получить кое-что и не решая вовсе эти сложные дифференциальные уравнения. Мы дальше таким образом определим температуру в центре Солнца. Есть также интересная теория размерностей, пользуясь которой (если только не складывать килограммы с километрами!), также можно получить многие важные соотношения и выводы.

Поэтому попробуем все же приглядеться к упомянутым «строительным лесам». К одним — поближе, к другим — как уж удастся...

9. ЗЕМЛЯ В МИРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

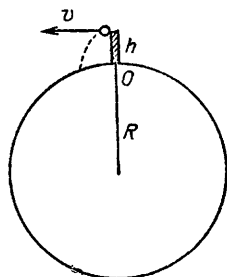
Первый и едва ли не важнейший из вопросов, стоящих перед людьми с древнейших времен, был сформулирован римским философом Сенекой (ок. 3 г. до н. э. — 65 г. н. э.) так: «Важно было бы исследовать, мир ли вращается вокруг Земли, которая остается неподвижной, или Земля вертится, тогда как мир стоит... Эта задача достойна наших размышлений, ибо мы должны знать, в каком состоянии мы находимся: обрекла ли судьба нашу Землю на вечный покой или же, наоборот, она одарила Землю быстрым движением; заставили ли боги все небесные тела двигаться

вокруг нас или же мы сами около них вращаемся».

Сегодня показалось бы диким утверждение, что Земля неподвижна, т. е. что она не вращается вокруг своей оси, а вместе со своим спутником Луной не обращается вокруг Солнца. А ведь это в свое время требовало доказательств! Посмотрим сначала, как они, эти важные «ключи к тайнам мироздания», были подобраны и какие задачи удалось решить в результате их правильного выбора.

Доказательства вращения. Сначала мы констатируем факт: по отношению к далеким звездам Земля делает полный оборот за $T_s = 86\,164$ секунды солнечного времени ($= 23^h 56^m 04^s$). Отсюда можно определить ее угловую скорость $\omega = \frac{2\pi}{T_s} = 2\pi/86\,164$ рад/с и линейную скорость на экваторе $v_0 = \omega R = 465$ м/с. Скорость на географической широте φ меньше и соответственно равна $v_\varphi = v_0 \cos \varphi$.

Рис. 140. Траектория падения тела с башни высотой h , расположенной на экваторе планеты радиуса R



Во времена Коперника доказательства подвижности Земли еще не были известны. Они появились позже в результате изучения вопроса: а что должно быть, если Земля действительно вращается? Сначала мы и рассмотрим эти явления.

1. *Отклонение падающих тел к востоку.* Этот вывод следует из таких элементарных рассуждений. Примем для простоты, что измерение проводится на экваторе планеты радиуса R . Из рис. 140 видно, что линейная скорость вершины башни (точка A) $v_A = \omega(R + h)$ больше скорости ее основания (точки O) $v_0 = \omega R$. В своем падении с башни тело, по закону инерции, сохраняет свою первоначальную скорость, т. е. выполняется равенство $v = \omega r = \text{const}$. А так как расстояние r от центра планеты уменьшается, то,

следовательно, увеличивается угловая скорость тела. Поэтому оно обгонит основание башни и упадет на поверхность Земли к востоку от этого основания. И если эксперимент проводят на географической широте φ , то величину упомянутого отклонения l можно заранее рассчитать по формуле

$$l_1 = \frac{2}{3} \omega h \sqrt{\frac{2h}{g}} \cos \varphi, \quad (9.1)$$

где g — ускорение силы тяжести.

Вывод этой формулы довольно громоздок. И мы здесь ограничимся элементарным рассуждением, которое приводит к той же зависимости величины l от всех параметров задачи при условии, что точка O — основание башни — совершает не вращательное, а поступательное движение. Начнем с того, что если на тело действует ускорение силы тяжести g и оно падает с высоты h , то время этого падения $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$. По отношению к точке O тело, находившееся на высоте h (на башне), имеет скорость $\Delta v = v_A - v_0 = \omega h$. Следовательно, за время t оно сдвинется вперед на расстояние

$$l = \Delta v t = \omega h \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (9.2)$$

Но так как на самом деле обе точки совершают вращательное движение, то вывод выражения для l несколько усложняется. Его получают методами теоретической механики.

В частности, при $\varphi = 49^\circ$ и $h = 68$ м имеем $l_1 = 8,1$ мм — величину вполне измеримую, если только эксперимент проводится со всей тщательностью (лучше всего — в глубокой шахте). Попытки зарегистрировать это явление осуществлялись неоднократно. По некоторым данным, первые уверенные результаты были получены в 1792 г. итальянцем Гульельмини.

2. *Отклонение брошенного отвесно вверх ядра.* В своей «Астрономии» Камил Фламмаринон рассказывает, что еще в XVII в. два любознательных мужа — Мерсен (монах) и Пти (этот был военным) — производили выстрелы из пушки вертикально вверх, интересуясь, упадет ли ядро обратно (рис. 141). Далее читаем: «Этот опасный опыт они производили несколько раз, и так как не оказались настолько мет-

кими, чтобы ядро угодило им как раз в голову, то заключили, что ядро осталось навсегда в воздухе (от себя добавим: в те времена они могли даже еще думать, что ядра застревают в «небесной тверди»). Но... при повторении опыта в Страсбуре ядро отыскалось в нескольких сотнях метров от пушки».

Любопытно, что Фламарион утверждал, будто «если выстрелить из пушки, обратив ее прямо вверх к зениту, то ядро снова упадет в жерло пушки» и что, мол, «причина очевидна» (далее шло «обоснование



Рис. 141. Попытка обнаружить вращение Земли: стрельба из пушки вертикально вверх. Гравюра 1690 г. с надписью на французском языке: «Упадет ли обратно?»

этого» — см. *Перельман Я. И.*, Занимательная астрономия. — М.: Гостехиздат, 1958. — С. 177). На самом же деле ядро, брошенное вверх с начальной скоростью v , отклоняется к западу от пушки и падает от нее на расстоянии

$$l_2 = \frac{4}{3} \omega \frac{v^3}{g^2} \cos \varphi. \quad (9.3)$$

Формула эта опять-таки выводится методами теоретической механики. Обратим, однако, внимание на то, что если тело брошено вверх со скоростью v , то за время его движения $t = \frac{v}{g}$ оно поднимается на высоту $h = \frac{v^2}{2g}$. Следовательно, $l_2 = 2l_1$. В частности, если $v = 300$ м/с и $\varphi = 48^\circ$, то $l_2 = 18$ м.

Нельзя, конечно, не подивиться ошибке Фламариона. Ведь здесь «все очевидно»: в процессе движения ядра сначала вверх, потом вниз (мы опять ради простоты будем считать, что эксперимент проводится на экваторе) величина его горизонтальной скорости сохраняется, т. е. $v = \omega r = \text{const}$. Но с увеличением

расстояния ядра от $r = R$ до $r = R + h$ угловая скорость ω ядра на протяжении всего времени его полета будет меньше угловой скорости пушки. Следовательно, ядро должно упасть к западу от нее.

3. *Маятник Фуко*. Как читатель уже хорошо знает, опыт с качанием маятника является наиболее наглядным доказательством вращения Земли (рис. 142).

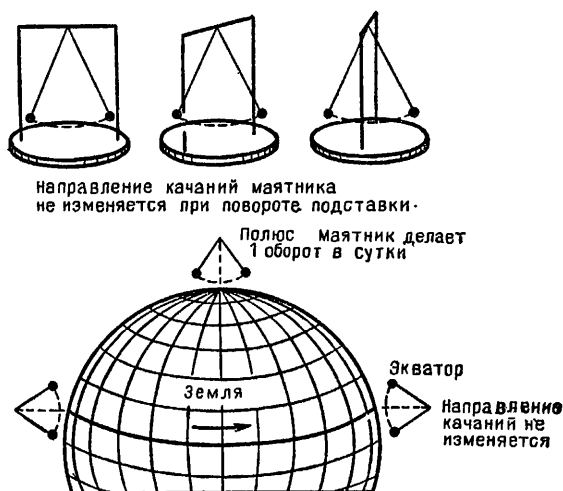


Рис. 142. Доказательство вращения Земли вокруг оси при помощи маятника

Установленный на полюсе маятник сохранял бы плоскость своих колебаний неподвижной по отношению к далеким звездам. Следовательно, относительно земных ориентиров упомянутая плоскость поворачивалась бы вокруг вертикали на 15° в час (звездный!). На широте φ этот угол равен $15^\circ \sin \varphi$. В частности, для Москвы он составляет $12,5^\circ/\text{ч}$. Остается напомнить, что впервые опыт с качанием маятника осуществлен французским физиком Жаном Фуко (1819—1868) в 1851 г.

4. *Сплюснутость Земли у полюсов*. Из-за вращения Земли возникает центробежная сила, величина которой пропорциональна расстоянию до оси вращения. В итоге форма Земли отклоняется от сферической, а ее полярный радиус на 22 км меньше экваториального.

Среди других явлений, обусловленных вращением Земли, упомянем подмывание правого берега реки в северном полушарии и левого — в южном (независимо от того, куда течет вода). Здесь опять-таки срабатывает то же стремление сохранить скорость, как и при падении тел с башни. Это и отклонение артиллерийских снарядов: в северном полушарии вправо, в южном — влево. Вращение Земли можно обнаружить и по периодическому смещению линий в спектрах звезд, полученных при восходе и заходе светил. Также «упорядочено» вращением Земли направление ветров.

Эллипс земной орбиты. На следующих двух страницах мы рассмотрим доказательства движения Земли вокруг Солнца — годовое *параллактическое смещение* звезд и *абerrацию*. Здесь же констатируем факт: Земля обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, как и другие планеты Солнечной системы. Поэтому напомним основные свойства такого движения.

Как известно, *эллипс* — это замкнутая кривая линия, обладающая тем свойством, что сумма расстояний каждой ее точки от двух внутренних — фокусов — есть величина постоянная и равная наибольшему диаметру эллипса (рис. 143). Последний называется

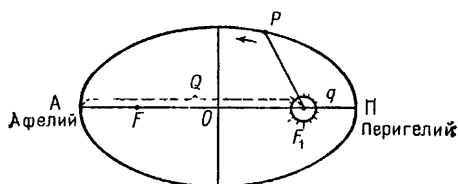


Рис. 143. Эллипс как орбита Земли, по которой она движется вокруг Солнца

большой осью эллипса. Точка O называется центром эллипса. Отношение смещения фокуса от центра $OF = c$ к величине большой полуоси $OP = a$, т. е. величина $e = \frac{OF}{OP} = \frac{c}{a}$, называется *эксцентриситетом* эллипса. Ближайшая к Солнцу точка орбиты Π называется *перигелием*, наиболее удаленная A — *афелием* (от греч. «пери» — вблизи, «апо» — вершина). Большая ось орбиты AP называется еще *линией апсид*.

Линия F_1P , соединяющая планету P и Солнце, называется *радиусом-вектором планеты*.

Расстояние планеты от Солнца в перигелии q и в афелии Q находится по таким формулам:

$$q = a(1 - e), \quad Q = a(1 + e). \quad (9.4)$$

Величина большой полуоси земной орбиты $a_{\oplus} = 1,496 \cdot 10^{11}$ м, ее эксцентриситет $e_{\oplus} = 0,0167$. В наше время Земля проходит через перигелий 2—3 января, и тогда она на 2,5 млн км ближе к Солнцу, в афелии (5—6 июля) она на столько же дальше от него по сравнению со средним значением расстояния. Разделив длину пути $l = 2\pi a_{\oplus}$, который Земля проходит за год, на число секунд в году, находим среднюю скорость движения Земли по орбите $v = 29,8$ км/с. Оказывается, выгодно устроившись на своей планете, мы мчимся в межпланетном пространстве в сто раз быстрее пули!

Остается добавить, что сидерический период обращения Земли вокруг Солнца (по отношению к далеким звездам) — *звездный год* — равен 365,2564 средних солнечных суток, или $365^d 6^h 09^m 10^s$.

Суточный и годичный параллаксы. Так как Земля вращается вокруг оси и перемещается в пространстве, то близкие светила ритмично смещаются на фоне далеких. Такое смещение называется *параллактическим*. А поскольку греческое слово «параллакс» в переводе означает опять-таки «смещение», то получается что-то вроде масла масляного...

Упомянутое смещение, во-первых, подтверждает факт движения Земли. Во-вторых, что не менее важно, астрономы научились использовать его для определения расстояний до небесных светил.

Прежде всего, в процессе суточного вращения Земли наблюдатель, находящийся на ее поверхности, оказывается то по одну, то по другую сторону по отношению к центру планеты. Из-за этого наблюдаемое положение на небесной сфере тел Солнечной системы (а они относительно близки к нам!) несколько изменяется. Так, наблюдатель, находящийся на экваторе в точке A , увидит восходящую Луну среди звезд почти на 2° (!) «левее», чем его коллега, наблюдающий в это же время в точке B закат Луны (рис. 144).

Угол p (т. е. OMA), под которым наблюдатель увидел бы со светила радиус Земли, перпендикулярный к

лучу зрения, называется *горизонтальным параллаксом*.

Наибольший, конечно, параллакс Луны $p_{\text{л}} = 57'$, тогда как параллакс Солнца $p_{\text{с}} = 8,79''$. В общем из треугольника $ОМА$ (или $ОМВ$) видно, что

$$\Delta = \frac{R}{\sin p}, \quad (9.5)$$

где R — радиус Земли. Но при малых углах $\sin p \approx p$, если угол p измерен в радианах. В одном же радиане

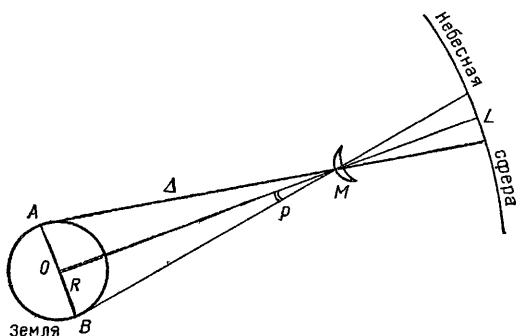


Рис. 144. Параллактическое смещение Луны относительно звезд при одновременном ее наблюдении с двух противоположных точек земного экватора, вид со стороны полюса. OL — направление, по которому видел бы Луну наблюдатель из центра Земли, p — горизонтальный параллакс

насчитывается $206\,265''$. Так как обычно угол p измеряется в секундах дуги, то формула (9.5) принимает вид

$$\Delta = \frac{206\,265''}{p''} R. \quad (9.6)$$

Ее как раз и используют при определении расстояний Δ (AM практически равно OM) до тел Солнечной системы. Только Солнечной! Ведь параллактическое суточное смещение звезд пренебрежимо мало — оно меньше $0,00004''$!

Расстояния до звезд определяются путем измерения *годового параллакса* π — угла, под которым со звезды был бы виден радиус земной орбиты a (рис. 145). Так как этот угол π очень мал даже для

ближайших звезд, то по аналогии с формулой (9.6) имеем

$$r = \frac{206\,265''}{\pi''} a, \quad (9.7)$$

где r — искомое расстояние до звезды.

Этим путем уже измерены расстояния примерно 10 000 звезд, у которых $\pi > 0,005''$. Для ближайшей звезды — Проксимы (лат. прохіта — «ближайшая») Центавра $\pi = 0,76''$.

Поиски смещений близких звезд на фоне далеких проводились много сотен лет астрономами различных стран, сообщения об обнаружении этого эффекта появлялись в печати неоднократно. Впервые смещение звезды (ею была α Лиры) на общем звездном фоне надежно определил русский ученый В. Я. Струве в Дерпте (Тарту) в 1824 г.

Тем самым, кстати, было получено второе доказательство правильности представлений Н. Коперника об обращении Земли вокруг Солнца. Первое было обнаружено несколько раньше. Это — аберрация.

Аберрация. *Аберрацией* называется кажущееся смещение положения светила на небесной сфере, возникающее за счет движения наблюдателя. Ведь свет распространяется хотя и с очень большой, но все же конечной

Рис. 145. Параллактическое смещение близкой звезды на общем звездном фоне вследствие обращения Земли вокруг Солнца — одно из доказательств этого движения

скоростью c . Если наблюдатель перемещается со скоростью v (рис. 146, а), то за время движения луча света от объектива телескопа до окуляра (обозначим это время через τ), наблюдатель смещается на расстояние $v\tau$. В итоге светило видно не в направлении PS , а в направлении QS' . В частности, за счет годичного движения Земли звезда, находящаяся в полюсе эклиптики, описывает в течение года около своего истинного положения малый круг с ра-

диусом $20,5''$ (рис. 146, б). Все другие звезды описывают *абerrационные эллипсы* с полуосями $20,5''$ и $20,5'' \sin \beta$, где β — эклиптическая широта звезды. Звезда, находящаяся в плоскости эклиптики, «колеблется» вдоль отрезка дуги длиной $20,5'' \times 2 = 41''$.

Явление абerrации было открыто английским астрономом Джеймсом Брадлеем (1693—1762) в 1727 г.

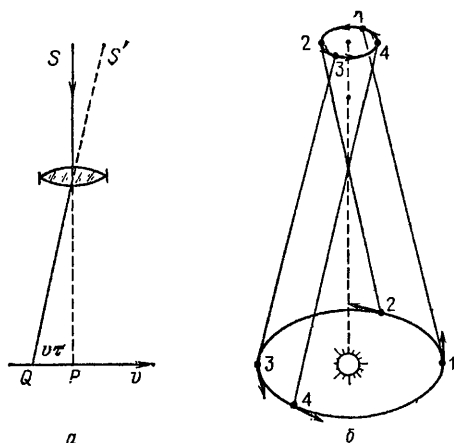


Рис. 146. Абerrация света — еще одно доказательство движения Земли в пространстве

Прецессия и нутация. Явление прецессии («предварения равноденствий») было открыто во II в. до н. э. Гиппархом. Сущность его заключается в следующем:

точка весеннего равноденствия Υ (от которой отсчитываются прямые восхождения звезд!) перемещается по эклиптике навстречу видимому годичному движению Солнца со скоростью $50,3''$ в год, или 1° в 72 года (рис. 147).

Конечно, может возникнуть вполне законный вопрос: точка Υ — это фиктивная точка пересечения двух воображаемых окружностей, как же можно определить ее перемещение? Оказывается, очень просто. За 169 лет до Гиппарха было зафиксировано полное затмение Луны как раз в такую весеннюю ночь, когда от захода Солнца до его восхода и от восхода до

захода через малое отверстие в сосуде вытекало одинаковое количество воды, т. е. в момент весеннего равноденствия. Понятно, что в момент наибольшего вхождения Луны в тень Земли центр ее диска проектировался на точку осеннего равноденствия. И вот астрономы Аристилл и Тимохарис измерили угловое расстояние 18 звезд от центра диска Луны на этот



Рис. 147. Перемещение точки весеннего равноденствия навстречу движению Солнца — причина непрерывного изменения небесных координат всех звезд. γ_0 — положение во времена Гиппарха

момент. По счастливой случайности полное затмение Луны во время весеннего равноденствия удалось пронаблюдать и Гиппарху. Он и заметил, что, в частности, звезда Спика (α Девы) приблизилась к точке осеннего равноденствия $\approx$ на 2° (она во времена Гиппарха «опережала» осеннее равноденствие на 6° , а во времена Тимохариса — на 8°). Это и давало среднее смещение за год $43''$.

Причину явления прецессии объяснил Ньютон. Так как Земля несколько сплюснута у полюсов, то ее можно рассматривать как идеальный шар, в экваториальной плоскости которого «налеплен» дополни-

($=27^d07^h43^m11,5^s$) возвращается к той же звезде. Этот промежуток времени T называется *сидерическим месяцем*.

Среди звезд Луна передвигается с запада на восток со средней угловой скоростью $13,2^\circ$ в сутки, т. е. за час более чем на величину своего диаметра.

Внешний вид (фазы) и *конфигурации* (этим словом называют некоторые характерные положения нашего спутника относительно Солнца) Луны определяются ее угловым расстоянием от Солнца. Строго

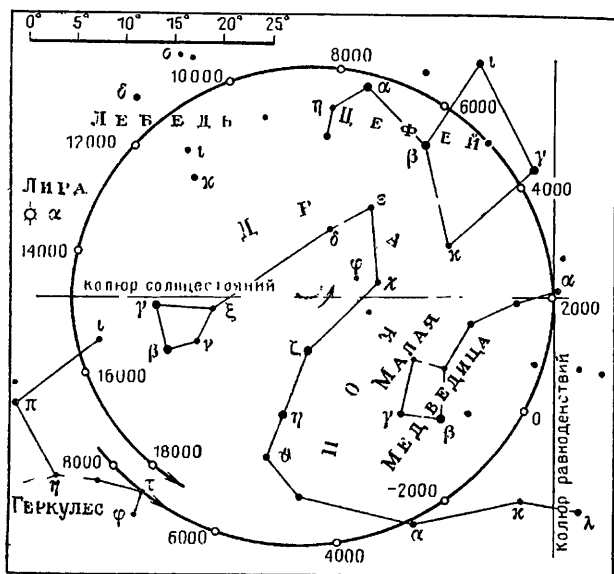


Рис. 149. Прецессионное движение Северного полюса мира. Точками в центре показаны положения полюса эклиптики

говоря, фаза Φ — величина, измеряемая числом: она равна отношению наибольшей ширины освещенной части b лунного диска к его диаметру d , т. е. $\Phi = \frac{b}{d}$. Однако обычно мы используем сложившиеся издавна названия фаз.

Положение, когда Луна при своем движении вокруг Земли оказывается между Солнцем и Землей (рис. 150, верхнее положение; см. также рис. 153),

называется *соединением*. К Земле Луна в это время обращена неосвещенной стороной, и ее вообще не видно. Это *новолуние*. Первое появление узкого серпа Луны на вечернем небе древнегреческие астрономы называли *неоменией* («новая Луна»). От неомении и было удобным начинать счет дней в календарном месяце.

Спустя примерно семь суток после новолуния Луна уже видна на небе в форме полукруга. Эта фаза называется *первой четвертью*, а соответствующая ей конфигурация — *восточной квадратурой*. Луна при этом удалена на 90° к востоку от Солнца. Еще приблизительно через восемь суток Луна находится в *про-*

тивостоянии с Солнцем — наступает *полнолуние*. Спустя еще семь суток Луна оказывается в *западной квадратуре*, соответствующая фаза называется *третьей*, или *последней четвертью*. Цикл заканчивается через 29,53 суток ($=29^d 12^h 44^m 2,8^s$). Этот промежуток времени S называется *синодическим месяцем*.

Затмения Солнца и Луны. Причина затмений читателю уже известна. *Затмение Солнца* происходит в новолуние, когда тень Луны падает на Землю, а *затмение Луны* — в полнолуние, когда Луна входит в тень Земли (рис. 151).

Рассмотрим несколько числовых величин. По «счастливой случайности» в наше время Солнце находится во столько раз дальше от Земли, чем Луна, во сколько его линейный диаметр больше лунного, — в 400 раз. Поэтому угловые диаметры d обоих светил в среднем одинаковы и равны $31'$. Если же говорить точнее, то когда Земля находится в перигелии, угловой диаметр Солнца $d_\odot = 32'36''$, а когда в афелии, $d_\odot = 31'31''$. Диаметр же Луны в перигее $d_\zeta = 33'32''$, а в апогее $d_\zeta = 29'20''$. Отсюда следует, что когда центры Солнца, Луны и Земли расположены на

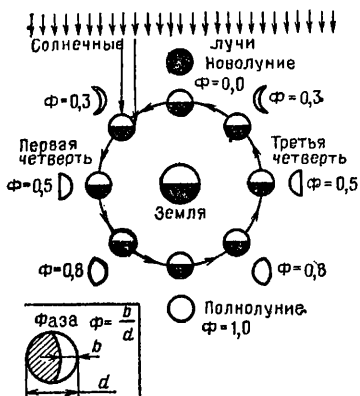


Рис. 150. Конфигурации и фазы Луны

одной прямой, затмение будет *полным* при $d_{\odot} > d_{\ominus}$ и *кольцеобразным* при $d_{\odot} < d_{\ominus}$. В этом последнем случае края солнечного диска остаются незакрытыми и на несколько десятков секунд (или просто секунд) образуют вокруг темного диска Луны тонкий блестящий ободок.

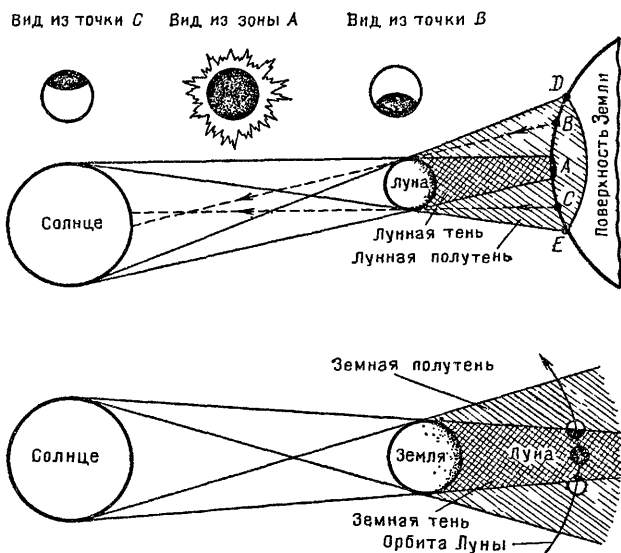


Рис. 151. Схемы полного солнечного (а) и лунного (б) затмений

Вследствие движения Луны вокруг Земли и вращения Земли вокруг своей оси лунная тень перемещается по земной поверхности со скоростью около 0,5 км/с приблизительно с запада на восток, образуя полосу полного солнечного затмения шириной, равной в среднем 200 км (но не больше 270 км), и длиной в несколько тысяч километров. Тень Луны вступает на западе при восходе Солнца и покидает Землю через несколько часов на востоке при заходе Солнца. Продолжительность полного солнечного затмения, если Луна в перигее, достигает 7 минут.

«Выше» и «ниже» полосы полного затмения в широкой зоне лунной полутени наблюдается *частное солнечное затмение*. Здесь диск Луны покрывает лишь часть солнечного диска.

Диаметр земной тени на расстоянии Луны почти втрое превышает диаметр Луны, и если она погружается в эту тень полностью, затмение Луны будет полным. Если же Луна проходит в тени Земли близ ее края, лунное затмение будет частным.

Очевидно, что если бы Луна обращалась вокруг Земли в плоскости эклиптики, то затмения Солнца происходили бы в каждое новолуние, а затмения Луны — в каждое полнолуние, т. е. через каждые 29,53 суток. Однако плоскость орбиты Луны наклонена к эклиптике под углом $i = 5^{\circ}9'$. Поэтому затмение Солнца случается лишь тогда, когда в момент новолуния Луна находится вблизи эклиптики, например, проходит через один из узлов своей орбиты. В других случаях ее тень проходит «выше» или «ниже» Земли (рис. 152).

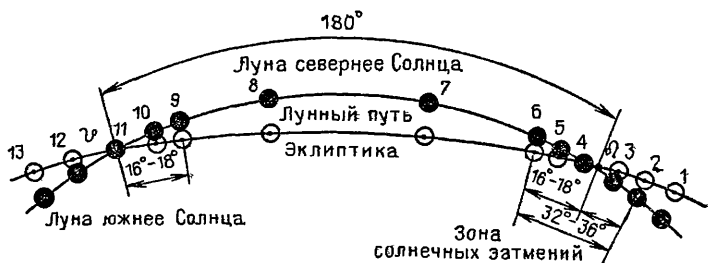


Рис. 152. Положение лунной орбиты на небесной сфере относительно эклиптики. Затмения Солнца происходят, если новолуние имеет место при угловом расстоянии Солнца от узла лунной орбиты не больше $16^{\circ}-18^{\circ}$

Промежуток времени в 27,21222 суток, спустя который Луна возвращается к тому же узлу своей орбиты, называется *драконическим месяцем*. Он меньше сидерического месяца, и «виной» этому сплюснутость Земли. Из-за этого (уже упомянутого ранее) эффекта возникает не только прецессионное движение оси вращения Земли, но и поворот плоскости лунной орбиты навстречу движению Луны: на $1,5^{\circ}$ за драконический месяц, примерно на 19° в год и на 360° за 18 лет и 7 месяцев (6793 средних суток). Следовательно, через каждые 27,21 суток Луна пересекает эклиптику в точке, смещенной на $1,5^{\circ}$ к западу по сравнению с предыдущей, и незримо описывает на небесной сфере совершенно новую траекторию.

Вот почему, кстати, мы можем видеть карты звездного неба, на которые нанесен годичный путь Солнца (его смещение на 1° — на два своих угловых диаметра — произойдет лишь через 72 года!), но не имеем карт, на которых был бы нанесен путь Луны: для каждого нового промежутка времени в 27,21 суток приходится рисовать этот путь заново...

Итак, на эклиптике имеются две воображаемые точки, через которые Луна проходит из состояния «под эклиптической» в состояние «над эклиптической» — *узлы лунной орбиты*. Эти точки непрерывно перемещаются по эклиптике навстречу Солнцу. Промежуток времени, за который центр диска Солнца проходит через один и тот же узел лунной орбиты, называется *драконическим годом*. Он равен 346,62 суток.

Затмения Солнца и происходят в случае, когда Солнце и Луна одновременно находятся вблизи одного и того же узла лунной орбиты. При этом не обязательно в самом узле, но начиная с такого расстояния $\Delta\lambda$ (и кончая таким же по другую сторону узла), при котором наблюдатель, находящийся где-то на поверхности Земли, сможет увидеть, как при своем движении по орбите Луна как бы касается диска Солнца (см. рис. 152). Расчет показывает, что $\Delta\lambda \approx 16,5^\circ$. Следовательно, вся «эффективная зона» с лунным узлом в ее центре имеет протяженность 33° . Так как Солнце за сутки передвигается по эклиптике на 1° , всю упомянутую зону оно проходит за 33 суток и этот промежуток времени больше синодического месяца — 29,53 суток. Поэтому по крайней мере один раз при прохождении Солнца через эту зону будет новолуние и, следовательно, солнечное затмение. Когда же новолуние случается в начале вхождения Солнца в «эффективную зону», то спустя 30 суток произойдет еще одно солнечное затмение (а между ними лунное). Через 173,31 суток Солнце приблизится к другому узлу лунной орбиты и ситуация повторится.

Драконический год короче тропического на 18,6 суток. Поэтому очередное приближение Солнца к узлу лунной орбиты может произойти еще в текущем календарном году. Следовательно, в году может произойти не менее двух затмений Солнца, но их может быть и пять (это случилось в 1805 и 1935 гг. и повторится снова в 2206 и 2709 гг.).

Лунное же затмение происходит лишь в случае, если в момент полнолуния центр земной тени отстоит от узла меньше чем на $10,6^\circ$. Следовательно, здесь ширина «эффективной зоны» всего $21,2^\circ$, а это меньше синодического месяца, и Луна в полнолунии может пройти через узел до или после того, как через него пройдет тень Земли. Поэтому в некоторые годы не бывает ни одного лунного затмения, наибольшее же их количество в году — три.

Два ближайших полных солнечных затмения, видимых в СССР, будут 9 марта 1997 г. (полоса полного затмения пройдет по Сибири около Иркутска и Хабаровска) и 11 августа 1999 г. (Крым и Закавказье).

10. ГАРМОНИЯ ПЛАНЕТНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Теория движения планет — важная часть раздела астрономии, именуемого *небесной механикой*. Мы уже отмечали, что используемый здесь аппарат («строительные леса») — сложные системы дифференциальных уравнений. Конечная цель их решения — указать с высокой точностью, где будет та или другая планета, например, через год или десять — сто лет.

И все же «прочувствовать» всю гармонию движения планет можно не углубляясь в «большую теорию», если воспользоваться упрощенными моделями. Сначала мы увидим, как рассчитывал положения планет на небе Птолемей, а вслед за ним и другие астрономы на протяжении почти 15 столетий. Потом попробуем сделать это на основе теории Коперника (опять-таки графическим методом). Начнем же с некоторых общих свойств и характеристик, которыми описывается видимое движение планет, и прежде всего — с их конфигурацией.

Как и у Луны, у планет тоже выделяют конфигурации. У нижних планет (рис. 153) это *нижнее соединение* планеты с Солнцем (тогда планета ближе всего к Земле — *b*), *наибольшая западная элонгация* (т. е. наибольшее удаление планеты от Солнца к западу — *c*), *верхнее соединение* планеты с Солнцем — *d* и *наибольшая восточная элонгация* — *a*. Наибольшая элонгация Меркурия 28° , Венеры 48° .

У верхних планет конфигурации называют аналогично лунным (рис. 153): *соединение* планеты с

Солнцем, западная квадратура (планета удалена от Солнца на 90° к западу), противостояние (эклиптические долготы Солнца и планеты отличаются на 180° — планета восходит в момент захода Солнца) и восточная квадратура.

В обоих случаях конфигурации перечислены в том порядке, в котором они наблюдаются.

Периоды обращения планет. О сидерическом, или звездном, периоде T обращения планеты вокруг Солнца уже говорилось. За этот промежуток времени

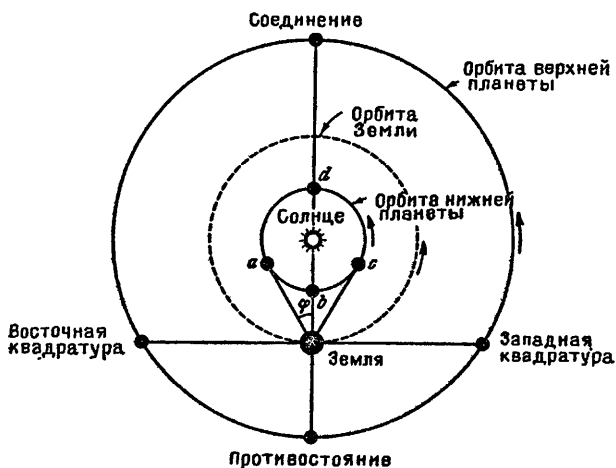


Рис. 153. Конфигурации планет

планета совершает полный оборот вокруг Солнца по отношению к далеким звездам. Наблюдатель, находясь на движущейся Земле, определяет синодические периоды планет (греч. «синодос» — соединение). Синодическим периодом обращения планеты называется промежуток времени S между двумя последовательными одноименными конфигурациями планеты. Их величины для каждой из планет даны в табл. 9 (часть четвертая).

Понятно, что для каждой из планет ее периоды T и S связаны между собой посредством сидерического периода обращения Земли вокруг Солнца $T_\odot$. Связь эта называется *уравнением синодического движения*. Рассуждения, с помощью которых она выводится, имеют общий характер; они используются в равной мере и при сопоставлении соответствующих периодов

обращения Луны вокруг Земли, и для определения, скажем, периода совпадения перигелия и зимнего солнцестояния (§ 8).

Итак, пусть $T_{\oplus}$ — сидерический период обращения Земли (звездный год), T и S — сидерический и синодический периоды обращения планеты. Сначала предположим, что это нижняя планета. За сутки она перемещается по орбите на угол $360^{\circ}/T$, тогда как Земля — на угол $360^{\circ}/T_{\oplus}$. Разность этих величин дает

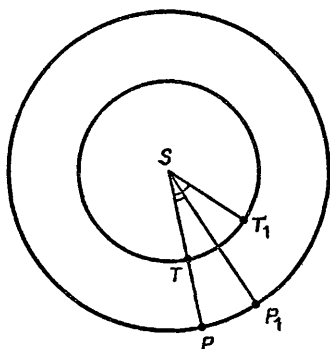


Рис. 154. К выводу формулы для синодического периода обращения планеты

относительное смещение планеты (она обращается с большей угловой скоростью) вперед по отношению к Земле за сутки, т. е. $360^{\circ}/S$ (рис. 154). Таким образом, уравнение синодического движения для нижней планеты имеет вид

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}}. \quad (10.1)$$

Верхние планеты движутся с меньшей угловой скоростью, чем Земля, поэтому из аналогичных рассуждений находим для этого случая

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}. \quad (10.2)$$

Именно из этих соотношений при известных $T_{\oplus}$ и S определяется сидерический период обращения T для каждой планеты.

Элементы орбит планет. Для лучшего понимания особенностей движения планет на небе необходимо иметь представление о всех характеристиках, или элементах, их орбит, как это показано на рис. 155.

Говоря об орбите планеты, называют прежде всего *большую полуось a* и *эксцентриситет e* . Тем самым составляется определенное представление о ее размерах и форме.

Далее необходимо знать положение плоскости орбиты в пространстве, т. е. *наклон i* плоскости орбиты планеты к плоскости эклиптики, и *долготу восходящего узла Ω* , т. е.

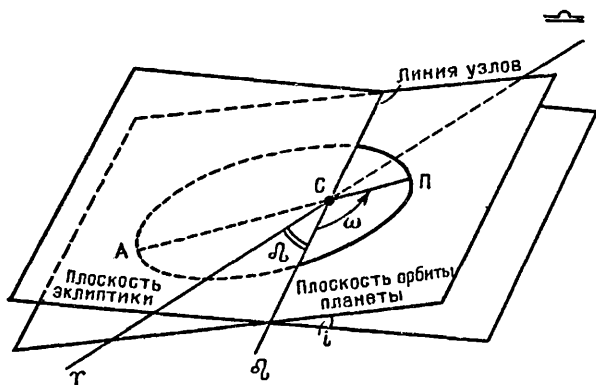


Рис. 155. Элементы орбит планет

угловое расстояние Ω от точки весеннего равноденствия до *восходящего узла* — точки, в которой планета пересекает плоскость эклиптики, двигаясь по направлению к ее северному полюсу; противоположная точка орбиты, в которой планета снова пересекает плоскость эклиптики, но уже в другом направлении, называется *нисходящим узлом ϖ* . Линия, соединяющая узлы, называется *линией узлов*.

Кроме того, необходимо знать положение орбиты в ее плоскости, т. е. *угловое расстояние ω перигелия от восходящего узла*.

И, наконец, необходимо знать, в какой точке орбиты планета находилась в определенный момент времени. Обычно задается момент прохождения планеты через перигелий t_0 .

Очевидно, что если бы нижние планеты обращались вокруг Солнца строго в плоскости эклиптики, то в каждом нижнем соединении с Солнцем наблюдалось бы прохождение планеты (Меркурия или Венеры) по диску Солнца. На самом же деле это происхо-

дит лишь в случае, когда в момент нижнего соединения планета оказывается вблизи узла своей орбиты.

Для Меркурия $i = 7^\circ$, для Венеры $3^\circ 24'$. Поэтому «обычно» и та, и другая планета «проскакивает» то «выше», то «ниже» диска Солнца. Последние прохождения Меркурия состоялись 10 ноября 1973 г. и 13 ноября 1986 г.; в будущем это произойдет 6 ноября 1993 г. Венера прошла по диску Солнца 6 декабря 1882 г., и это явление повторится 8 июня 2004 г. и 6 июня 2012 г.

Вслед за Птолемеем. Итак, попробуем рассчитать положение планет, скажем Венеры и Юпитера, методом Птолемея, т. е. исходя из представления, что Земля неподвижна и находится в центре планетных движений. Для этого нам необходимы следующие параметры (кинематические характеристики модели мира Птолемея): отношение радиуса эпицикла R_e к радиусу деферента R_d ($\delta = \frac{R_e}{R_d}$), угловая скорость движения планеты по эпицентру ω и угловая скорость движения «средней планеты» по деференту σ . Они приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Кинематические характеристики модели мира Птолемея

Планета	Отношение радиуса эпицикла к радиусу деферента, $\delta = \frac{R_e}{R_d}$	Угловая скорость движения планеты по эпициклу ω , град/сут	Угловая скорость движения «средней планеты» по деференту σ , град/сут
Меркурий	0,376	3,10	0,986
Венера	0,72	0,617	0,986
Марс	0,658	0,462	0,524
Юпитер	0,192	0,902	0,083
Сатурн	0,108	0,952	0,033

Далее, для удобства счета дней будем пользоваться табличкой порядковых чисел дней в году на конец каждого месяца:

31 января	31,	31 мая	151,	30 сентября	273,
28 февраля	59,	30 июня	181,	31 октября	304,
31 марта	90,	31 июля	212,	30 ноября	334,
30 апреля	120,	31 августа	243,	31 декабря	365.

Сначала — о планете Венера. Известно, например, что 19.01.1986 г. она была в верхнем соединении с Солнцем и эклиптическая долгота обоих светил была равна 300° . Необходимо узнать, где будет эта планета 24.09.1988 г.

Устанавливаем, что упомянутые даты отделены промежутком в $365 - 19 + 365 + 244 + 23 = 978$ суток. При угловой скорости планеты при движении по эпициклу $\omega = 0,617$ град/сут она проходит на нем

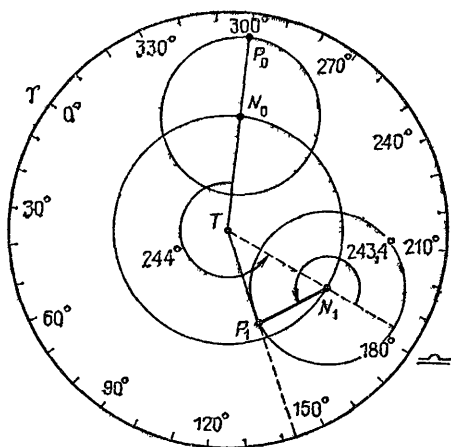


Рис. 156. К расчету положения Венеры методом Птолемея (задано начальное положение на 19.01.86, рассчитывается на 24.09.88)

угол $\Omega = \omega t = 603,4^\circ$. «Средняя планета», двигаясь по деференту с угловой скоростью $\sigma = 0,986$ град/сут, сдвинется на угол $\Sigma = \sigma t = 964^\circ$.

Нарисуем эпицикл и деферент Венеры, используя найденное Птолемеем их отношение $R_э/R_д = 0,72$ (рис. 156). Зафиксируем, что в момент верхнего соединения планеты с Солнцем она в модели Птолемея находится в наиболее удаленной от Земли точке эпицикла. Теперь, чтобы определить положение планеты на заданную дату в будущем, отложим от известного положения «средней планеты» ($\lambda_0 = 300^\circ$) против часовой стрелки угол 964° , т. е. (если отбросить два полных цикла по 360°) угол 244° . Так найдем положение «средней планеты» N_1 (центра эпицикла).

Далее, приняв за центр точку N_1 , тем же радиусом R_e проведем эпицикл и от направления на апогей (наиболее удаленную точку эпицикла) опять-таки против часовой стрелки отложим угол $603,4^\circ$, т. е. угол $603,4^\circ - 360^\circ = 243,4^\circ$. Это и будет положение планеты Венера на момент времени t . На пересечении линии TP_1 с эклиптической отсчитаем эклиптическую долготу планеты на 24 сентября 1988 г.: $\lambda = 143^\circ$. Пользуясь картой экваториальной части звездного неба (рис. 157), установим, что Венера в указанное время находится в созвездии Льва и что ее прямое восхождение $\alpha \approx 9^h 35^m$. Заглянув в «Астрономический календарь», найдем, что на самом деле $\alpha \approx 9^h 22^m$.

В принципе, конечно, задача решена успешно, хотя точность не очень уж приемлема. Но ведь при расчете не учитывался тот факт, что мы наблюдаем Венеру с различных точек эллиптической орбиты Земли. (Птолемей для такого учета принимал, что орбитой «средней планеты» является *эксцентр*, т. е. что Земля находится не в центре деферента, а в точке, несколько смещенной по отношению к этому центру; короче говоря, Птолемей умел такие расчеты проводить гораздо точнее!) Тем не менее этот расчет дает полное представление о том, как древние астрономы устанавливали местонахождение планет на небе на много дней, месяцев и лет вперед (а для составления гороскопов — и назад).

Теперь проведем аналогичные расчеты для Юпитера, взяв интервал времени гораздо больший. Возьмем за исходный момент противостояние 24.01.1979 г. По теории Птолемея планета в это время находится в перигее, т. е. занимает свое ближайшее к Земле положение на эпицикле. Решим вопрос: где находилась эта планета через девять лет и восемь месяцев, т. е. 24.09.1988 г. — спустя 3554 суток.

Из таблицы 1 мы знаем отношение радиуса эпицикла к радиусу деферента $R_e/R_d = 0,19$, скорость движения планеты по эпициклу $\omega = 0,902$ град/сут и скорость движения центра эпицикла по деференту $\sigma = 0,083$ град/сут. Из «Астрономического календаря» выписываем эклиптическую долготу Юпитера на исходную дату: $\lambda_0 = 122^\circ$.

Как и раньше, рисуем схему (рис. 158). Из расчета следует, что планета прошла на эпицикле угол

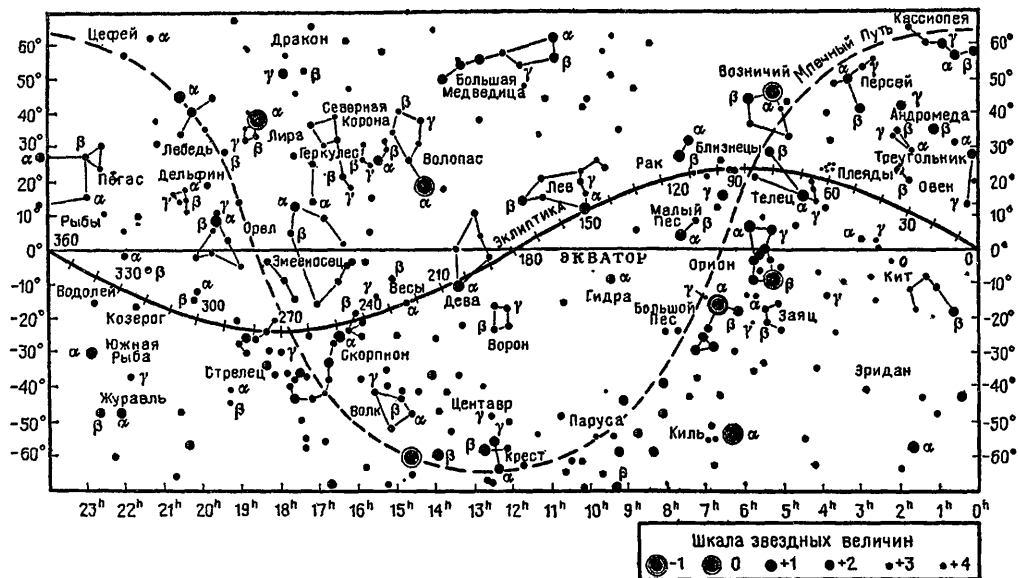


Рис. 157. Экваториальная часть звездного неба; числа на эклиптике — эклиптические долготы

к Земле точка «спирали» соответствует противостоянию планеты.

С движущейся Земли. Напомним прежде всего, что рассчитанные наперед положения светил на небе принято называть эфемеридами (греч. «эфемеридес» — дневник). Попробуем теперь определить также графическим методом приближенное местонахождение планет на небе при наблюдении с Земли, обращающейся вокруг Солнца.

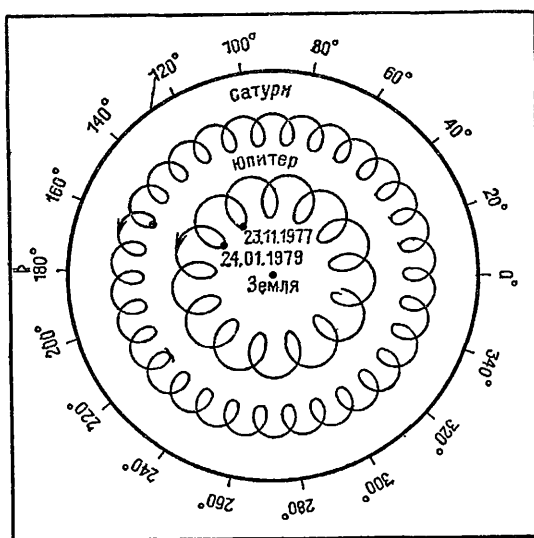


Рис. 159. Движение Юпитера и Сатурна относительно Земли. Отмечено положение Сатурна на 01.03.79

Для определения эфемерид Венеры и Марса нарисуем орбиты Венеры, Земли и Марса (рис. 160) со строгим соблюдением их относительных расстояний от Солнца, а также с сохранением ориентации их орбит относительно точки весеннего равноденствия Υ . На орбите Земли удобно указать даты года, соответствующие положению Земли в каждый заданный момент времени. Четвертая, внешняя окружность будет использована для отсчета гелиоцентрической долготы l , которую измеряем от направления на точку Υ против часовой стрелки, и, как это мы увидим далее, также для отсчета эклиптической долготы планеты λ .

Точность таких расчетов здесь невелика, но главное—принцип!

Для расчетов необходимо иметь гелиоцентрические долготы планет на определенную «исходную» дату. Другими словами, необходимо указать, где по отношению к точке Υ была та или другая планета, если смотреть на нее «из центра Солнца». Эти данные

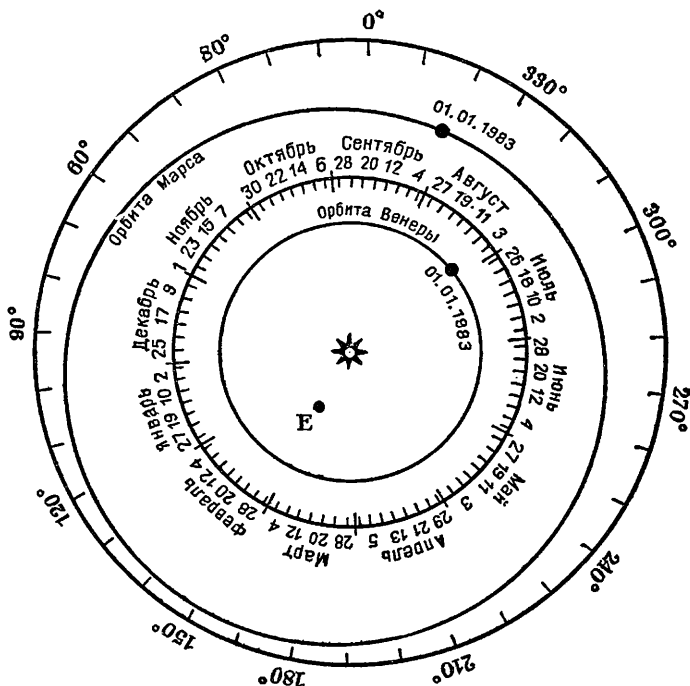


Рис. 160. Орбиты Венеры, Земли и Марса. Указано положение Венеры и Марса на 01.01.83. Для большей точности при расчетах положения Марса следует считать, что его угловое перемещение является равномерным относительно точки E

можно взять из «Астрономического календаря». Так, на 1 января 1983 г. гелиоцентрическая долгота Венеры $l_V^{(0)} \approx 313^\circ$, Марса— $l_M^{(0)} \approx 342^\circ$, на 1 января 1988 г. $l_V^{(0)} \approx 357^\circ$, $l_M^{(0)} \approx 209^\circ$.

Примем теперь во внимание, что за промежуток времени T (сидерический период обращения) планета описывает вокруг Солнца дугу в 360° . Каждые земные сутки она передвигается на угол $\omega = \frac{360^\circ}{T}$, а за

t земных суток — на угол ωt . Следовательно, в момент времени t гелиоцентрическая долгота планеты $l = l^{(0)} + \omega t$.

Это значение l находим на окружности долгот и, двигаясь по прямой к центру (к Солнцу), устанавливаем положение планеты в точке пересечения упомянутой прямой с орбитой планеты. Однако наблюдаем эту планету мы с Земли и для ее идентификации обычно используем иную координату — эклиптическую долготу λ . Оказывается, для определения этой последней можно воспользоваться той же шкалой долгот, условно смещая Землю в центр круга (а точнее, сдвигая круг долгот и совмещая его центр с Землей). Для этого проводим направление «Земля — планета» (но не наоборот!) и переносим его параллельно от центра Солнца до окружности долгот. Теперь уже отсчитываем на ней эклиптическую долготу планеты. Пользуясь картой (см. рис. 157), где на эклиптике нанесены эклиптические долготы λ , устанавливаем положение планеты среди звезд. Как и раньше, мы пренебрегаем тем фактом, что на самом деле планеты движутся не строго вдоль эклиптики.

Рассмотрим два примера.

Гелиоцентрическая долгота Венеры на 1 января 1983 г. известна ($l_V^{(0)} = 313^\circ$). Определим, где была эта планета 31 марта 1988 г.

Найдем прежде всего, что с 1 января 1983 г. до конца 1987 г. насчитывается 1825 суток ($= 365 \times 4 + 366 - 1$) и с 1 января по 31 марта 1988 г. — еще 91, что вместе составляет 1916 суток. Полный оборот вокруг Солнца Венера совершает за $224,7^d$. Поэтому фактически следует искать, исключив полные циклы, положение планеты на $1916 - 224,7 \times 8 = 118,4$ суток вперед. Мы уже знаем, что в системе координат, связанной с Солнцем, планета за одни сутки передвигается на угол $\omega = \frac{360^\circ}{T}$, конкретно Венера — на

$\frac{360^\circ}{224,7} = 1,602$ град/сут. За $118,4^d$ гелиоцентрическая долгота Венеры увеличится на $1,6^\circ \times 118,4 = 189,4^\circ$, и в целом она будет равной $313^\circ + 189,4^\circ \approx 402^\circ$ (-360°) $\approx 142^\circ$, что почти в точности соответствует данным «Астрономического календаря».

Отложим это значение на окружности долготы, проведем направление «Земля — Венера» (от поло-

жения Земли на 31 марта!) и перенесем его параллельно от центра Солнца к той же шкале. Так найдем, что эклиптическая долгота Венеры 31 марта 1988 г. была $\lambda = 53,5^\circ$. Планета находилась в созвездии Тельца, ее прямое восхождение $\alpha \approx 3^h 25^m$ (по «Астрономическому календарю», $3^h 33^m$).

Теперь найдем положение Марса на 10 июля 1988 г. Эту дату от 1 января 1983 г. отделяют 2117 суток, в которые укладываются два полных оборота вокруг Солнца и еще 644 дня. За одни сутки Марс в среднем описывает дугу $360^\circ/687 = 0,524^\circ/\text{сут}$, а за 644 земных суток он передвинется на своей орбите на угол $0,524 \times 644 = 338^\circ$.

Здесь, однако, следует вспомнить, что орбита Марса существенно отличается от круговой: эксцентриситет эллипса $e_M \approx 0,1$. Следовательно, Солнце находится в одном из фокусов эллипса на расстоянии $c = e a_M$ от его центра, а угловая скорость движения планеты зависит от ее расстояния до перигелия. При графических расчетах положения Марса сначала, пользуясь данными «Астрономического календаря» (Постоянная часть. — М.: Наука, 1981, с. 557), проведем линию апсид (линию перигелий — афелий орбиты Марса: долгота перигелия этой орбиты на 1975,0 равна 336°). Далее, приняв определенный масштаб для величины радиуса земной орбиты a_T (в миллиметрах), радиусом $a_M = 1,52 a_T$ опишем окружность, центр которой сместим относительно центра орбиты Земли на величину $c = 0,1 a_M$ в направлении к долготе 256° , как это показано на рис. 160. На таком же расстоянии от центра орбиты Марса (еще ближе к числу 156°) отметим точку E — второй фокус орбиты Марса (помня, что на самом деле мы должны бы рисовать эллипс!). Именно относительно точки E планета движется с постоянной угловой скоростью, численное значение которой уже найдено.

Итак, за 644 суток Марс сместился по орбите на угол 338° , а его исходное положение соответствовало гелиоцентрической долготе $l_M^{(0)} = 342^\circ$. Установив центр транспортира в точке E , отложим 338° , прибавив их к начальному значению $l_M^{(0)}$, и тем самым найдем положение Марса на его орбите. В направлении же «Солнце — Марс» на окружности долгот отсчитаем новую гелиоцентрическую долготу Марса $l_M \approx 313^\circ$.

Теперь проведем от центра Солнца прямую, параллельную направлению «Земля — Марс», найдем на окружности долгот и эклиптическую долготу Марса на 10 июля 1988 г.: $\lambda_m \approx 354^\circ$. Планета находилась в созвездии Рыб, ее прямое восхождение было $\alpha \approx 23^h45^m$ (по «Астрономическому календарю»,

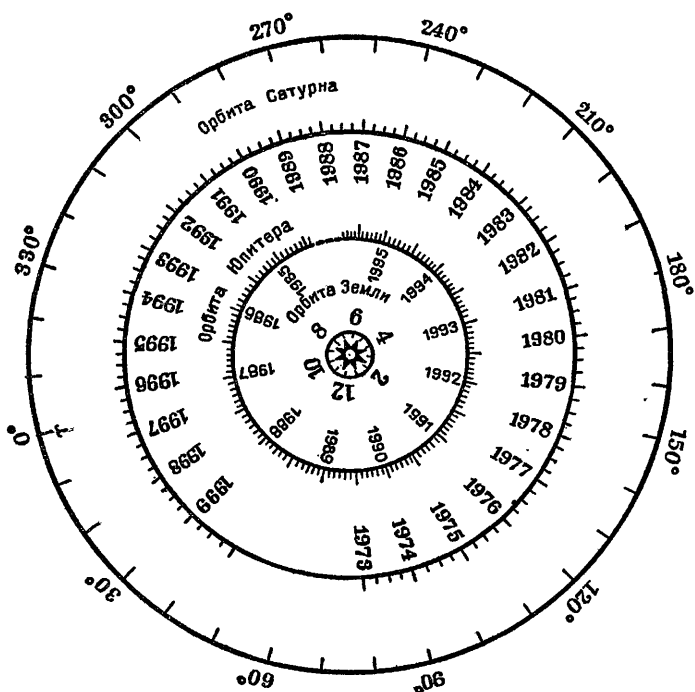


Рис. 161. Орбиты Земли, Юпитера и Сатурна (числами 1984 и т. д. указаны положения планет на начало года), на внешнем круге отсчитываются долготы планет

23^h59^m). Погрешность в обоих случаях обусловлена главным образом неточностью геометрических построений. Но гармония в движении планет здесь как на ладони...

Кстати, если расчет ведется для моментов времени, отделенных десятком и более лет, то, как правило, необходимо исключать полные циклы обращения планеты в сутках, не прибегая к расчету смещения планеты в градусах, или учитывать тысячные доли угловой скорости планеты. Например, умножив

1,6° на 1916 суток, получим 3066°, тогда как истинное смещение планеты Венера за это время $1,602^\circ \times \times 1916 = 3070^\circ$. Четыре градуса — величина ощутимая!

Планеты Юпитер и Сатурн перемещаются среди звезд довольно медленно: Юпитер за год проходит дугу 30,3°, Сатурн — 12,2°. Первый совершает полный оборот вокруг Солнца за 11,86 г., второй — за 29,57 г. Поэтому их положение на орбите можно указать на много лет вперед (рис. 161). Для определения эклиптической долготы планеты в определенную дату соединим соответствующее положение Земли и планеты на орбитах и проведем параллельную прямую от Солнца до окружности долготы, где и отсчитаем эклиптическую долготу. После этого на карте рис. 157 определим местонахождение планеты.

11. ПУТИ РУКОТВОРНЫХ СВЕТИЛ

Движение ИСЗ. 4 октября 1957 г. запуском в СССР первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) началась космическая эра в истории человечества. Сегодня ИСЗ, орбитальные станции и движущиеся к другим небесным телам космические аппараты (КА) помогают решать многие из проблем, возникших перед человечеством в его стремлении вперед по пути прогресса. Основоположником *космонавтики* — науки о методах и средствах полетов человека в окружающее его мировое пространство — является выдающийся русский ученый К. Э. Циолковский (1857—1935).

Движение ИСЗ вокруг Земли описывается законами Кеплера (см. § 2). В простейшем случае кругового движения скорость спутника на орбите определяется формулой (4.4), так что

$$v_k = 7,91 \sqrt{\frac{R}{R+H}} \text{ км/с.} \quad (11.1)$$

Здесь R — радиус Земли, H — высота ИСЗ над поверхностью Земли. Следовательно, для запуска ИСЗ необходимо: 1) поднять его на высоту $H \geq 200$ км — выше плотных слоев земной атмосферы — и 2) сообщить ему круговую скорость около 8 км/с. Это достигается с помощью многоступенчатых ракет. Запуск ИСЗ производится под определенным углом i

к плоскости земного экватора. В случае первых советских ИСЗ этот угол наклона плоскости орбиты ИСЗ к плоскости экватора был равен 65° (рис. 162).

Если скорость движения ИСЗ по круговой орбите известна, то нетрудно определить и время, за которое



Рис. 162. Схема орбиты искусственного спутника Земли, движущегося в плоскости, угол наклона которой к плоскости земного экватора $i = 65^\circ$

он совершает полный оборот вокруг нашей планеты, — его сидерический период обращения T ,

$$T = \frac{2\pi(R + H)}{v_k} = 84,4 \sqrt{\left(\frac{R + H}{R}\right)^3} \text{ мин,} \quad (11.2)$$

который, впрочем, выводится также из третьего закона Кеплера.

Как видно из табл. 16 (см. часть четвертую), при $H = 200$ км $T = 88^m 25^s$, а при $H = 500$ км $T = 94^m 32^s$. Если же высота спутника над поверхностью Земли составляет 35 800 км, то его период обращения равен $23^h 56^m 04^s$. За это же время Земля совершает полный оборот вокруг оси относительно звезд. Поэтому если орбита такого ИСЗ лежит в плоскости земного экватора, то этот ИСЗ обращается вокруг Земли с той же угловой скоростью — 15° в час,

с которой вращается Земля. Спутник поэтому будет «висеть» над определенной точкой земного экватора. Такую орбиту принято называть *стационарной*.

Обычно спутник обращается вокруг Земли по эллиптической орбите. Ее ближайшую к Земле точку (как и в случае Луны) называют перигеем, наиболее удаленную — апогеем.

Понятно, что в то время, как спутник «наматывает» свои невидимые витки на орбите, Земля под ним безостановочно вращается вокруг оси. На поверхности нашей планеты можно начертить проекцию

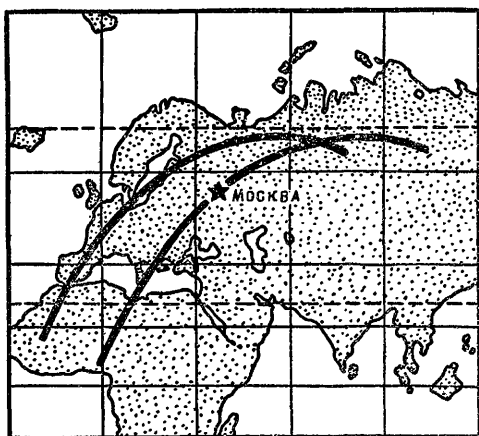


Рис. 163. Проекция двух соседних витков траектории ИСЗ на земную поверхность при $i = 65^\circ$

пути спутника — геометрическое место точек, в которых ИСЗ был виден в зените (рис. 163). Учтем при этом, что в связи с видимым перемещением Солнца по эклиптике на 1° в сутки, Земля относительно звезд поворачивается за указанное время на 361° . За одну минуту планета повернется на угол $\frac{361^\circ}{1440}$ (в сутках 1440 минут!), а за период обращения спутника T на угол $\psi = 0,25^\circ T$. В частности, при $T = 89^m$ имеем $\psi = 22,3^\circ$, при $T = 92^m$ $\psi = 23,1^\circ$, как это и показано в табл. 16 части четвертой.

Но Земля не является идеальным шаром, а несколько сплюснута у полюсов. Поэтому, как и в случае с Луной, плоскость орбиты ИСЗ непрерывно поворачивается навстречу движению самого спутника.

За один оборот спутника угол поворота орбиты изменяется величиной

$$\omega = 0,6^\circ \left(\frac{R}{R+H} \right)^2 \cos i.$$

При $H \ll R$ смещение определенной точки Земли относительно плоскости орбиты спутника равно $\Phi = \Psi + \omega = 0,25T + 0,6^\circ \cos i$ — на столько смещается к западу проекция траектории спутника на поверхность Земли.

Где можно увидеть спутник послезавтра и в котором часу? Вам сообщили, что сегодня крайне интересный спутник прошел в вашей местности в зените ров-

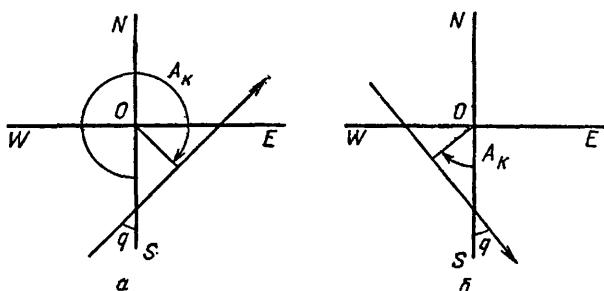


Рис. 164. Проекция восходящего (а) и нисходящего (б) витков ИСЗ на поверхность Земли; O — положение наблюдателя, A_k — азимут точки кратчайшего расстояния до ИСЗ

но в 22 часа, скажем, летнего времени. Его период обращения T известен. Где можно будет увидеть этот спутник завтра? В котором часу? А послезавтра? Оказывается, эту задачу предвычисления условий видимости ИСЗ на много дней вперед может решить каждый школьник.

Прежде всего несколько слов об общих условиях видимости спутников. Пусть φ — географическая широта места наблюдения. Тогда при $\varphi < i$ спутник проходит в поле зрения наблюдателя, двигаясь в направлении с юго-запада на северо-восток (восходящий виток) или же с северо-запада на юго-восток (нисходящий виток) и пересекая направление меридиана наблюдателя под углом $q = \arcsin[\cos i \operatorname{cosec} \varphi]$ (рис. 164). В частности, при $\varphi = 49^\circ$, $i = 65^\circ$ имеем $q = 40^\circ$; при $i = 52^\circ$ имеем для того же наблюдателя

$q = 70^\circ$. В случае $\varphi > i$ наблюдатель видит спутник лишь в южной части неба.

Период обращения спутника чаще всего бывает несоизмерим с продолжительностью суток. Например, если $T = 89^m$, то $1440^m : 89^m = 16,14$. Иначе говоря, спутник совершил 16 полных оборотов (витков) на орбите за время $89^m \times 16 = 1424^m$ и появился над горизонтом на $\Delta t = 1440^m - 1424^m = 16^m$ раньше, чем это было в предыдущие сутки. Следующий, 17-й виток был спустя 89^m , или же на $89^m - 16^m = 73^m$ позже, чем в предыдущие сутки. Если высота спутника над Землей $H = 250$ км, то в этом прохождении он уже виден для наблюдателя не будет.

Предположим, что в первый день спутник прошел через зенит. На следующий день он, сделав 16 витков, придет на параллель наблюдателя раньше. Земля еще не успеет завершить полный оборот по отношению к Солнцу, т. е. вокруг своей оси. Следовательно, спутник будет виден в юго-восточной части неба. Проекция орбиты ИСЗ сместится к востоку на угол $\Delta l = 361^\circ - 16^\circ$. Следующий, 17-й ($n + 1$ -й) виток будет виден на западе. Измеренное вдоль параллели наблюдателя смещение орбиты ИСЗ на запад равно $\Delta l = 17^\circ - 361^\circ$.

Итак, для предвидения появления спутника над горизонтом необходимо подобрать ближайший восточный и западный витки (n и $n + 1$), рассчитать поправки Δt и Δl для следующего дня (при заданном периоде обращения ИСЗ T) и прибавить эти поправки к значениям момента прохождения ИСЗ t_0 и расстояния проекции орбиты спутника (подспутниковой точки) на параллель наблюдателя l_0 для исходных суток:

$$t = t_0 + \Delta t, \quad l = l_0 + \Delta l. \quad (11.3)$$

Поправки Δt и Δl удобно рассчитать для целого набора периодов T и высот H по формулам

$$\begin{aligned} \Delta t &= \begin{cases} Tn - 1440^m, \\ T(n + 1) - 1440^m; \end{cases} \\ \Delta l &= \begin{cases} (0,25 T + 0,6^\circ \cos i)n - 361^\circ, \\ (0,25 T + 0,6^\circ \cos i)(n + 1) - 361^\circ \end{cases} \end{aligned} \quad (11.4)$$

и изобразить их графически (рис. 165).

Зная высоту ИСЗ H над поверхностью Земли, нетрудно определить и его ожидаемую угловую высоту h над горизонтом в меридиане (h_m) и в направлении

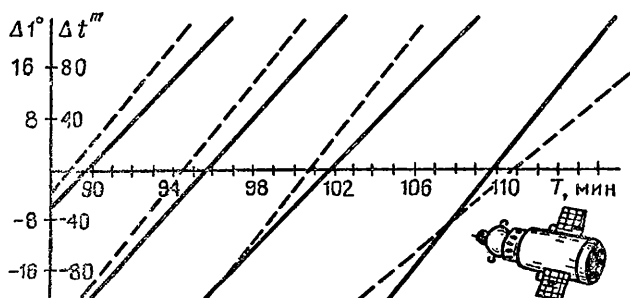


Рис. 165. График поправок Δt и Δl для расчета моментов и места прохождения ИСЗ при $i = 52^\circ$

кратчайшего расстояния до него (h_k). Азимут кратчайшего расстояния найдем по формулам $A_k = 90^\circ + q$ или $A_k = 270^\circ + q$ для восходящего и $A_k = 90^\circ - q$ или $A_k = 270^\circ - q$ для нисходящего витков. Соответствующие формулы имеют вид

$$\begin{aligned} h_m &= \operatorname{arctg} \left(\frac{360^\circ H}{2\pi R l \cos \varphi} \operatorname{tg} q \right), \\ h_k &= \operatorname{arctg} \left(\frac{360^\circ H}{2\pi R l \cos \varphi} \frac{1}{\cos q} \right). \end{aligned} \quad (11.5)$$

Напомним, что здесь l — расстояние в градусах подспутниковой точки от наблюдателя, измеренное вдоль параллели. Эти формулы получены в предположении, что $H < R[\sec(i - \varphi) - 1]$.

Результаты расчетов высот h_m и h_k при $\varphi = 49^\circ$, $i = 65^\circ$ приведены в табл. 16 Б.

Наконец, вернемся к началу этого разговора. Нам дано $t_0 = 22^{\text{h}}00^{\text{m}}$; известно также, что период обращения спутника $T = 91^{\text{m}}$ (высота спутника над поверхностью Земли $H = 320$ км), $i = 65^\circ$, $\varphi = 49^\circ$.

Так как в день, который будем считать исходным, ИСЗ прошел в зените, то $l_0 = 0^\circ$. Из рис. 165 находим, что для упомянутого периода поправка на время прохождения ИСЗ в следующие сутки $\Delta t = +16^{\text{m}}$ и смещение траектории за сутки $\Delta l = +5^\circ$. Следовательно, в первый после исходного день ИСЗ пройдет в $22^{\text{h}}16^{\text{m}}$, подспутниковая точка сдвинется на 5° к за-

паду, спутник будет наблюдаться в северо-западной части неба на высоте $h_k \approx 50^\circ$. На второй после исходного вечер он будет виден в 22^h32^m , подспутниковая точка сместится еще на 5° к западу, высота спутника над горизонтом в направлении его кратчайшего расстояния будет уже около 30° . Можно будет наблюдать прохождение ИСЗ в том же 16-м витке (а это именно так) и на третий день в 22^h48^m . На четвертый же вечер следует поискать прохождение спутника на 15-м витке в момент $22^h48^m + 0^h16^m - 91^m = 21^h33^m$. Теперь спутник пройдет в юго-восточной части неба, подспутниковая точка сместится к востоку на угол $4\Delta l - \psi = 20^\circ - 23^\circ = -3^\circ$. В направлении кратчайшего расстояния ИСЗ будет виден на высоте $\sim 65^\circ$.

К Венере и Марсу. Начиная с 1961 г. созданные в нашей стране автоматические межпланетные станции (АМС) прокладывают пути к Венере, а с 1962 г. и к Марсу. Вслед за ними по тем же путям устремились и американские АМС. В итоге к настоящему времени уже получены исключительно важные сведения как о Венере и Марсе, так и о других планетах Солнечной системы. Здесь мы ограничимся такими вопросами: как, по каким орбитам осуществляются перелеты к ближайшим планетам, когда возможен полет, а если произведена посадка, то когда можно вернуться обратно на Землю.

1. Наименьшие энергетические усилия требуются при запуске АМС по полуэллиптической траектории, которую называют также *гомановской* (по имени немецкого ученого В. Гомана) или *котангенциальной*. Последнее название говорит о том, что орбиты АМС и планеты-цели касаются, причем это происходит в точке, противоположной положению Земли относительно Солнца (рис. 166). В этом случае величина большой полуоси орбиты АМС равна $a_A = \frac{1}{2}(a_T + a_P)$, где a_T и a_P — соответственно большие полуоси орбиты Земли и планеты. Продолжительность же полета АМС Δt определяется из третьего закона Кеплера. Так как сидерический период T_A обращения АМС вокруг Солнца по этой орбите был бы равен величине $T_A = \sqrt{a_A^3}$ лет (здесь a_A задается в астрономических единицах), то $\Delta t_A = \frac{1}{2}T_A$ лет (эту величину удобнее выражать в сутках — N).

В частности, в случае запуска АМС к Венере имеем $a_A = \frac{1}{2}(1,00 + 0,72) = 0,86$ а. е.; $T_A = 0,797$ года, так что $\Delta t_A = 0,399$ года или $N_V = 146$ суток. При запуске АМС к Марсу $a_A = 1,26$ а. е., $T_A = 1,418$ года, $\Delta t_A = 0,709$ года и $N_M = 259$ суток.

2. Посмотрим теперь, каково взаимное положение планеты и Земли в момент старта АМС и ее финиша при найденной выше продолжительности полета N_P .

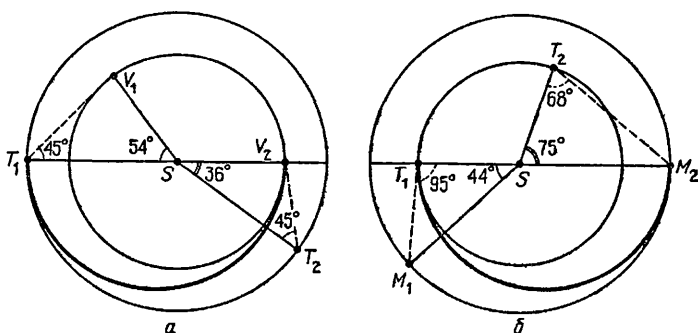


Рис. 166. Гомановские траектории полета АМС к Венере (а) и Марсу (б); направление движения планет и АМС — против часовой стрелки

Прежде всего примем во внимание, что каждая из планет движется по орбите с определенной угловой скоростью $\omega = 360^\circ/T$, где T — ее сидерический период обращения вокруг Солнца. Для Венеры (V), Земли (T) и Марса соответственно имеем

$$\omega_V = 1,6^\circ/\text{сут}, \quad \omega_T \approx 1^\circ/\text{сут}, \quad \omega_M \approx 0,52^\circ/\text{сут}.$$

Если длительность полета АМС по гомановской траектории равна N_P суток, то угол ψ между радиус-векторами Земли и планеты (P) в наиболее благоприятный для старта момент (угол начальной конфигурации) определяется из очевидного соотношения

$$\psi = 180^\circ - \omega_P N_P. \quad (11.6)$$

Нетрудно также определить взаимное положение планеты и Земли в момент финиша АМС. Так как за N_P суток АМС проходит угол 180° , а Земля — $\omega_T N_P$, то за N_P суток планета P опережает Землю на угол

$$\varphi = 180^\circ - \omega_T N_P. \quad (11.7)$$

Для Венеры $\psi = -54^\circ$: Венера в момент старта АМС в своем движении вокруг Солнца находится позади Земли на угол 54° . В это время планета находится почти в наибольшем угловом удалении от Солнца ($\sim 45^\circ$) и наблюдается вечером. Расстояние до нее по прямой около 120 млн км. К моменту сближения АМС с Венерой Земля находится позади Венеры на угол $\varphi = 36^\circ$ на линейном расстоянии от нее около 90 млн км. Планета видна утром в 45° от Солнца. За 146 суток АМС проходит путь свыше 350 млн км.

Для Марса $\psi = 44^\circ$: в момент старта АМС эту планету можно видеть во второй половине ночи на угловом расстоянии около 95° от Солнца и линейном расстоянии примерно 160 млн км от Земли. К моменту сближения АМС с Марсом Земля находится впереди него на угол $\varphi = 75^\circ$. Расстояние до Марса тогда около 240 млн км. Планета видна на вечернем небе на угловом расстоянии около 68° от Солнца. В своем движении от Земли к Марсу АМС проходит расстояние порядка 500 млн км.

Если параметры φ_P , ω_P и ω_T известны, то нетрудно самому установить момент возможного старта АМС в сторону той или иной планеты. Пусть λ_P^0 и λ_T^0 — взятые из «Астрономического календаря» гелиоцентрические долготы планеты и Земли для даты, с которой начинается отсчет суток. Очевидно, что благоприятный для старта момент наступает в случае, если выполняется соотношение $\lambda_P - \lambda_T = \psi_P$ или

$$(\lambda_P^0 + \omega_P n) - (\lambda_T^0 + \omega_T n) = \psi. \quad (11.8)$$

Отсюда следует, что

$$n = \frac{\psi + (\lambda_T^0 - \lambda_P^0)}{\omega_P - \omega_T}. \quad (11.9)$$

Если при положительном знаменателе в числителе получается отрицательное число, то его следует увеличить на 360° . Это равносильно предположению, например, что нижняя планета совершила k полных оборотов вокруг Солнца, тогда как Земля — на один меньше ($k - 1$); для верхних планет картина будет обратной. Произведя деление, получим число суток n , истекших от начального момента.

Например, 31 декабря 1987 г. $\lambda_T^{(0)} \approx 99^\circ$, $\lambda_M^{(0)} \approx 209^\circ$. Через сколько суток был возможен запуск АМС на Марс? По формуле (11.9) определяем $n \approx 138^d$. И в самом деле, около 19 мая 1988 г., как это можно установить по «Астрономическому календарю», Марс находился впереди Земли на 44° .

Время ожидания. Итак, произведен запуск АМС (или космического корабля с экипажем на борту!) на Венеру или Марс. Выполнены все запланированные эксперименты. Как долго следует ожидать на планете момента старта для возврата на Землю по той же гомановской траектории?

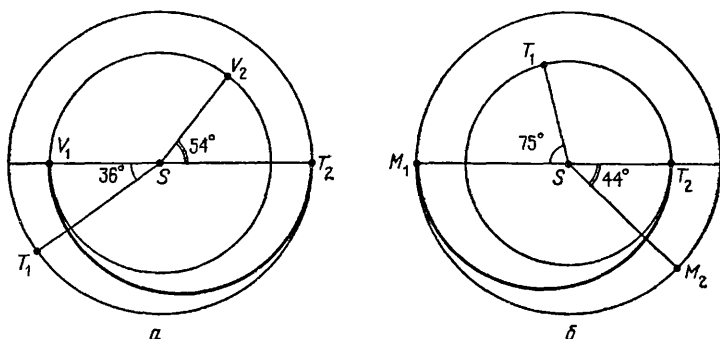


Рис. 167. Гомановские траектории для возвращения АМС с Венеры (а) и Марса (б) на Землю; направление движения планет и АМС — против часовой стрелки

Поскольку в задачах кинематики знак времени можно изменить на обратный (поменять местами начало и конец явления), сразу скажем: если на рис. 166 изменить направления движения планет и АМС, то АМС, стартовав с позиции P_2 (V_2 или M_2), «нашла» бы Землю в точке T_1 ее орбиты. Иначе говоря, для старта АМС с планеты P необходимо, чтобы разность гелиоцентрических долгот Земли и планеты, λ_T и λ_P , составила угол φ_P . Конкретно, при старте с Венеры Земля в своем движении вокруг Солнца должна находиться впереди нее на угол $\varphi_V = 36^\circ$, при старте с Марса — позади него на угол $\varphi_M = 75^\circ$ (рис. 167, где все положения планет являются зеркальными отображениями рис. 166).

В случае же экспедиции на Венеру связь между исходными значениями долгот имеет вид $\lambda_V^{(0)} = \lambda_T^{(0)} + 36^\circ$,

тогда как в момент старта АМС с Венеры $\lambda_V = \lambda_T - 36^\circ$. На момент времени t долготы планеты и Земли определяются через угловую скорость движения так:

$$\begin{aligned}\lambda_V &= \lambda_V^{(0)} + \omega_V t - 360^\circ k, \\ \lambda_T &= \lambda_T^{(0)} + \omega_T t - 360^\circ (k - 1),\end{aligned}$$

где полные циклы в 360° исключаются, поскольку после достижения долготы 360° начинается ее отсчет от 0° . В итоге находим общую формулу для времени ожидания на планете момента, благоприятного для возвращения на Землю,

$$t_P = \frac{360^\circ - 2|\varphi_P|}{\omega_P - \omega_T}. \quad (11.10)$$

Понятно, что полное время экспедиции $t_{\text{экс}} = \Delta t_A + t_P + \Delta t_A = 2\Delta t_A + t_P$.

В случае Венеры имеем $t_V \approx 480^d$, для Марса 438^d . Следовательно, полное время путешествия на Венеру составляет около 770^d , на Марс — 956^d .

12. «ДЕШИФРОВКА» СВЕТА И ШУМА

Источник информации — фотоны. Разложив белый солнечный свет в спектр, Ньютон предсказывал этому эффекту большое будущее: «...безусловно тот, кто будет внимательно и настойчиво исследовать эти вещи, не останется без богатых плодов своего труда». Действительно, изучение дисперсии света привело к развитию спектрального анализа, благодаря которому стали возможны исследования физической природы небесных тел.

Как уже отмечалось в § 2, еще в прошлом веке на основе спектрального анализа были сделаны два исключительно важных вывода:

1) Солнце и другие звезды состоят из тех же химических элементов, что и Земля. Более того, один из них — гелий — сначала был обнаружен в атмосфере Солнца и лишь спустя 27 лет на Земле.

2) Звезды — это огромные газовые шары. Именно газ и пары, нагретые до высокой температуры, дают *линейчатый спектр излучения*, а если за ними расположен яркий источник непрерывного излучения, то результатом будет *линейчатый спектр поглощения*.

В XIX в. были разработаны методы качественного анализа состава звездных атмосфер. Тогда же было обнаружено в результате экспериментов и теоретически обосновано положение, что количество энергии ε , излучаемое нагретым черным телом с единицы поверхности в единицу времени, пропорционально четвертой степени его абсолютной температуры

$$\varepsilon = \sigma T^4, \quad (12.1)$$

где σ — постоянная. Эта формула получила название *закона излучения Стефана — Больцмана*. Она дала возможность определять *эффективную температуру* звезды T_{ef} , измеряя количество энергии, которое приходит от нее к земной поверхности (если, конечно, установлено расстояние до нее). Заметим, что эффективная температура звезды в 1,23 раза больше ее *поверхностной температуры*.

Сто лет назад был установлен и закон смещения Вина: длина волны λ_m , соответствующая максимуму интенсивности излучения черного тела, обратно пропорциональна его температуре:

$$\lambda_m = \frac{\text{const}}{T}. \quad (12.2)$$

На этой основе удалось, хотя и неточно, определить температуру поверхности Солнца (см. § 4).

Однако для количественного анализа состава вещества Солнца и звезд необходимы были новые идеи. Появились они уже в XX в. Это прежде всего представление о квантовой природе излучения, согласно которому свет является совокупностью множества элементарных частиц — *фотонов*, не имеющих массы покоя и движущихся со скоростью $c = 300\,000$ км/с. Мы уже знаем, что у фотона наиболее ярко выражена двойственность основных черт элементарных частиц: фотон распространяется как электромагнитная волна, но поглощается и излучается как отдельная частица. Каждый фотон переносит определенную порцию (*квант*) энергии, которая равна

$$\varepsilon = h\nu, \quad (12.3)$$

где h — *постоянная Планка*. Кроме частоты ν для характеристики электромагнитной волны используется ее длина $\lambda = c/\nu$.

Вторая важная идея была сформулирована в 1913 г. Нильсом Бором (1885—1962) после разработки планетарной модели атома в виде двух известных *постулатов Бора*: 1) электрон в атоме может находиться в одном из многих дискретных состояний и 2) он излучает энергию при переходе из одного состояния (которое характеризуется энергией E_2) в другое (оно характеризуется энергией E_1 , причем $E_2 > E_1$). Энергия излученного фотона при переходе из одного состояния в другое или, как говорят, с уровня 2 на уровень 1, равна разности упомянутых энергий: $h\nu = E_2 - E_1$. И наоборот, при переходе с уровня 1 на уровень 2 та же энергия поглощается.

Нетрудно подсчитать, что так как от Солнца на площадку, перпендикулярную к его лучам, приходит энергия $0,14 \text{ Вт/см}^2$ при средней частоте излучения $\bar{\nu} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ и энергии одного «среднего» фотона $\bar{\epsilon} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$, то за одну секунду на площадку в один квадратный сантиметр от него приходит $3 \cdot 10^{17}$ фотонов. Так как при удалении от источника поток энергии от него через фиксированную площадку изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то от ближайших звезд (расстояния до них в 300 000 раз больше, чем до Солнца) на один квадратный сантиметр приходит всего около $3 \cdot 10^6$ фотонов в секунду. От далеких же галактик на 1 см^2 приходит всего один фотон за тысячу секунд! Вот почему нужны мощные телескопы и чувствительные приемники излучения...

Излучение черного тела. Прежде всего напомним, что одним из важнейших разделов астрономии является астрофизика.

Это астрофизика, пользуясь твердо установленными физическими законами, дает объяснение физическим процессам, происходящим в окружающем нас мировом пространстве, изучает строение, физические свойства и химический состав небесных тел. Первой задачей астрофизики явилось объяснение спектров небесных тел.

В этом было очень полезным представление о *черном теле* — теле, способном полностью поглощать всю падающую на него энергию.

Конечно, поглощая энергию, тело нагревается, и этот процесс не может продолжаться до бесконечности. В какой-то момент времени устанавливается тепловое равновесие. Тело нагрелось до температуры T и излучает энергию в «своем» диапазоне длин волн, соответствующем этой температуре. Формулу, по которой при заданной температуре черного тела можно рассчитать величину интенсивности его излучения в зависимости от частоты ν , вывел в 1900 г. Макс Планк (1858—1947). Эта формула имеет вид

$$I_{\nu}(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{Гц} \cdot \text{ср}}, \quad (12.4)$$

где k — постоянная Больцмана, $e = 2,718...$ — основные натуральных логарифмов.

Эта формула имеет две асимптоты. В случае больших частот, когда в знаменателе единиц можно пренебречь, из (12.4) следует *формула Вина*. И, наоборот, если $h\nu \ll kT$, можно воспользоваться разложением в ряд: $e^x \approx 1 + x + \dots$, и вместо (12.4) получить *формулу Рэлея — Джинса*

$$I_{\nu}(T) = \frac{2kT}{c^2} \nu^2, \quad (12.5)$$

к которой мы вернемся в дальнейшем.

Теперь посмотрим, насколько применима формула (12.4), скажем, при изучении распределения энергии в спектре Солнца, которое приведено на рис. 168. Изобразив здесь же кривые Планка, рассчитанные для нескольких значений абсолютной температуры T , найдем, что, строго говоря, ни одна из расчетных кривых не совпадает в точности с наблюдаемым распределением энергии в спектре Солнца. Тем не менее в области длин волн, больших 5000 Å, с некоторыми оговорками его можно отождествить с кривой, соответствующей температуре 6500 К. Эта температура называется *цветовой температурой* Солнца для данного участка спектра. Аналогично вводится понятие *цветовой температуры* и для других небесных тел.

Со стороны длин волн, меньших 4000 Å (400 нм), в спектре Солнца виден резкий спад интенсивности. Объяснить его можно, исходя из конкретных представлений о механизмах излучения и поглощения ато-

мами вещества солнечной (и молекулами земной) атмосферы.

Сказанное выше проясняет распределение энергии в непрерывном спектре. При рассмотрении особенностей линейчатого спектра необходимо выяснить, почему определенная спектральная линия имеет ту, а не иную длину волны и, кроме того, почему ее интенсивность «не больше и не меньше» наблюдаемой. Ответы на эти вопросы опять-таки свя-

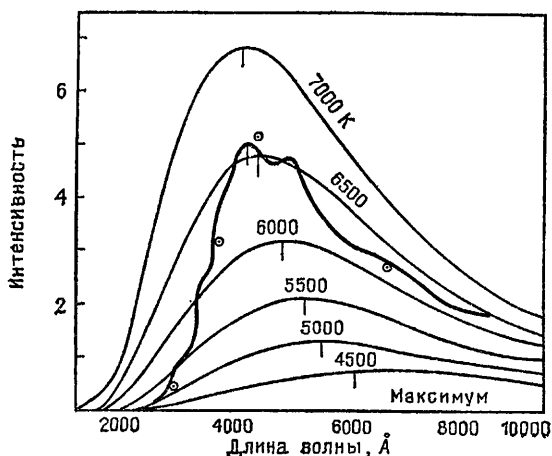


Рис. 168. Распределение энергии в спектре Солнца и кривые Планка

заны с процессами, происходящими внутри атома. Их-то мы сейчас и рассмотрим, ограничиваясь простейшим атомом водорода.

О спектральных сериях и континуумах. Как уже отмечалось, в соответствии с постулатами Бора электрон в атоме может находиться на одном из энергетических уровней. Конкретно в случае атома водорода энергия уровня E_n определяется его «номером», или главным квантовым числом n ($= 1, 2, 3$ и т. д.):

$$E_n = -\frac{13,5}{n^2} \text{ эВ.} \quad (12.6)$$

Напомним, что 1 эВ — это единица энергии, равная кинетической энергии, которую приобретает электрон при прохождении разности потенциалов в 1 В в ваку-

уме: $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Электрон с энергией 1 эВ имеет скорость около 590 км/с ; длина волны, соответствующая энергии в 1 эВ , равна $12\,404 \text{ \AA}$.

В «нормальном» состоянии электрон в атоме находится на самом низком, первом уровне. Однако в результате столкновения атома с другой частицей или с квантом света может произойти *возбуждение* атома — переход электрона на высший уровень — или *ионизация* атома — переход электрона в свободное состояние. Энергия $\varepsilon_{1k} = |E_1| - |E_k|$, необходимая для перевода электрона с уровня $n = 1$ на уровень k , называется потенциалом возбуждения атома, тогда как энергия $\chi_n = |E_n|$, необходимая для отрыва электрона с уровня n , — *потенциалом ионизации* с уровня n . В частности, потенциал возбуждения второго уровня атома водорода $\varepsilon_{12} = 10,12 \text{ эВ}$, а потенциал ионизации с первого уровня $\chi_1 = 13,5 \text{ эВ}$.

Время пребывания атома в возбужденном состоянии измеряется малыми долями секунды. Так, на втором уровне электрон может находиться $3 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. Время пребывания атома в ионизованном состоянии прямо пропорционально корню квадратному из температуры газа T и обратно пропорционально концентрации частиц N . При $N = 10^{20} \text{ м}^{-3}$ и $T = 10\,000 \text{ К}$ оно равно $0,025 \text{ с}$.

При переходе электрона с уровня $k > n$ на уровень n энергия ε_{nk} освобождается в виде кванта света, длину волны которого для водорода можно найти по формуле

$$\lambda = 912 \frac{n^2 k^2}{k^2 - n^2} \text{ \AA}. \quad (12.7)$$

В результате такого же излучения многих атомов и образуется *эмиссионная спектральная линия*. И наоборот, если электроны переходят с уровня n на уровень k , образуется *линия поглощения*.

Переходы со всех вышележащих уровней на заданный уровень n образуют серию спектральных эмиссионных линий (в обратном случае — серию линий поглощения). Для водорода при $n = 1$ серия называется *главной*, или *серией Лаймана* (рис. 169), которая находится в далекой ультрафиолетовой области спектра. В этой серии переходу со второго уровня на первый соответствует линия L_α с длиной волны $\lambda = 1216 \text{ \AA}$. Переходы с высших уровней на второй

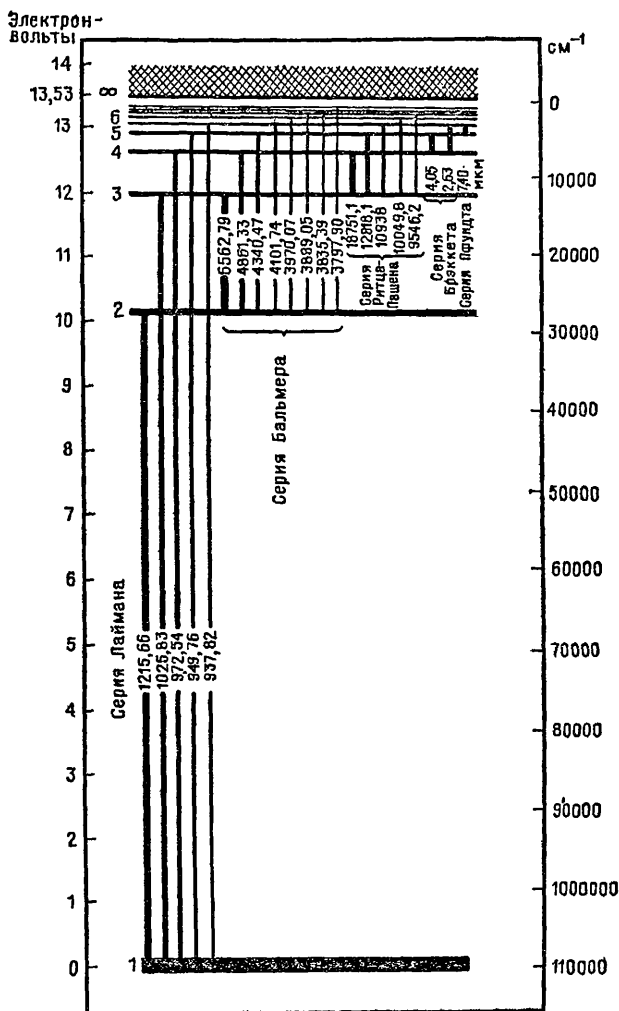


Рис. 169. Спектральные серии атома водорода. Справа на вертикальной шкале отложено волновое число — количество длин волн, укладывающихся в 1 см

($n=2$) образуют *серию Бальмера*. В частности, переходу $3 \rightarrow 2$ соответствует красная линия H_α ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$). Переходы с высших уровней на третий и четвертый дают в инфракрасном диапазоне спектра соответственно *серии Пашена* и *Брэккета*.

Очевидно, что энергия ионизирующего кванта $\epsilon = h\nu$ может превышать потенциал ионизации χ_n . В этом случае оторванный от атома электрон движется со скоростью v , значение которой определяется из уравнения фотоэффекта

$$h\nu = \chi_n + \frac{mv^2}{2}. \quad (12.8)$$

Переход электрона из свободного состояния (с уровня $k = \infty$) на уровень n называется *рекомбинацией*. При этом излучается квант света в непрерывном спектре — в *континууме*. *Лаймановский континуум* ограничен длинами волн $\lambda \leq 912 \text{ \AA}$, *бальмеровский* — $\lambda \leq 3646 \text{ \AA}$. В каждом конкретном случае частота ν излучаемого кванта, согласно уравнению фотоэффекта (12.8), определяется скоростью движения свободного электрона v . Отметим, что кванты лаймановского континуума кратко обозначаются так: L_c — квант. Именно их мы имели в виду, рассматривая формирование зон III вокруг звезд ранних спектральных классов (см. § 5).

Излучение энергии атомами в результате переходов электронов с одного энергетического уровня на другой (*связанно-связанные переходы*) и рекомбинаций (*свободно-связанные переходы*) — это две составляющие теплового излучения газа, нагретого до температуры T . Но в газе осуществляются еще и *тормозные процессы* — *свободно-свободные переходы* электронов вблизи имеющих электрический заряд атомных ядер, при которых излучаются кванты всевозможных частот. Вместе взятые эти процессы в основном и определяют особенности спектров небесных тел.

Формулы Больцмана и Саха. Итак, на первый из поставленных выше вопросов мы уже имеем ответ: с помощью формулы (12.7) нетрудно рассчитать длины волн, в которых состоящая из водорода атмосфера звезды поглощает (а газовая туманность, зона III да и атмосфера звезды класса O излучает) энергию. С помощью аналогичных формул рассчитываются длины волн и для других атомов и ионов.

На вопрос же о том, какой будет интенсивность той или другой линии (т. е. будет эта линия сильной, еле заметной или она вообще отсутствует на фоне не-

прерывного спектра), ответ получают с помощью формул Больцмана и Саха.

Обозначим через N_1 и N_2 соответственно количества атомов водорода, в которых электроны находятся на основном ($n=1$) и втором ($n=2$) уровнях. Тогда формула Больцмана в этом простейшем случае атома водорода имеет вид

$$\frac{N_2}{N_1} = 4e^{-\frac{117\,900}{T}}. \quad (12.9)$$

В частности, для солнечной атмосферы при температуре $T=5700$ К находим $N_2 \approx 4 \cdot 10^{-9} N_1$: при указанной температуре атомы водорода практически полностью находятся в основном состоянии. Но все же не все! В каждый момент времени у каждого из четырех атомов на миллиард электронов находится на втором уровне и, следовательно, может поглощать кванты света, соответствующие, в частности, переходам $2 \rightarrow 3$ (линии H_α). Если же в хромосфере Солнца концентрация частиц в среднем оценивается числом 10^{14} см^{-3} , то, следовательно, в указанной единице объема всегда имеются сотни тысяч атомов водорода, поглощающих со второго уровня. Потому-то мы и наблюдаем в спектре Солнца темные линии серии Бальмера. По той же причине в спектре хромосферы видны яркие эмиссионные линии той же серии, механизм образования которых проиллюстрирован на рис. 55.

С помощью формулы Саха (опять мы ограничимся газом, состоящим из чистого водорода) рассчитывают, сколько из общего числа частиц в единице объема N находится в данный момент в ионизованном состоянии. Для водорода число свободных электронов N_e всегда равно числу ионизованных атомов — протонов N_p . Поэтому формула Саха здесь имеет такой простой вид:

$$\frac{x}{1-x} = \frac{2,24 \cdot 10^{15}}{N} T^{3/2} e^{-\frac{157\,200}{T}}. \quad (12.10)$$

Здесь $x = N_p/N$ — степень ионизации водорода. Для нижних слоев солнечной атмосферы при температуре $T=5700$ К и концентрации атомов $N = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ имеем $N_p \approx 0,0004 N$: водород практически не ионизован. Однако в более высоких слоях той же атмосферы, где $T \approx 6000$ К, а $N \approx 10^{11} \text{ см}^{-3}$,

$N_p \approx 0,2N$, т. е. степень ионизации составляет уже около 20 %. Сравнивая результаты расчетов по формулам (12.9) и (12.10), находим, что электрон «довольно охотно» переходит в свободное состояние. И, возвращаясь еще раз к вопросу о красном цвете хромосферы, отметим, что в значительной степени он связан и с рекомбинациями, хотя, как уже отмечалось выше, время пребывания электрона в свободном состоянии гораздо больше, чем на возбужденном уровне. Упомянем же мы здесь оба эти процесса для того, чтобы подчеркнуть, что в каждом случае может действовать не один, а несколько механизмов излучения. И задача исследователя — провести их сравнительный анализ поточнее...

Нетепловое излучение. Выше была записана формула Планка и ее важная асимптота — формула Рэлея — Джинса. На рис. 168 было проиллюстрировано распределение энергии в непрерывном спектре типичной звезды — нашего Солнца. Мы упомянули о том, что такое излучение Солнца и звезд называется тепловым.

Теперь взглянем на распределение энергии в спектре Крабовидной туманности (рис. 170), а также типичной активной галактики NGC 1068 (рис. 171). Как видно, с уменьшением частоты ν интенсивность излучения этих объектов (регистрируемый поток от них) не только не уменьшается, как это должно было бы быть в соответствии с формулой Рэлея — Джинса, но, наоборот, возрастает!

То же самое наблюдается при изучении ряда других туманностей в нашей Галактике, при регистрации радиоизлучения Солнца во время «разгорания» солнечных вспышек. «Удивляют» и планеты-гиганты. Если, например, предположить, что формула Рэлея — Джинса «работает», то здесь имеется непонятное увеличение температуры при переходе до больших длин волн, на которых проводится регистрация излучения. Ведь расчет показывает, что Солнце может нагреть Юпитер до температуры всего 103 К. Между тем излучение Юпитера в инфракрасной области спектра соответствует температуре 133 К, на длине волны 10,3 см — около 870 К, а при $\lambda = 21, 31$ и 68 см соответственно 3000, 5500 и 50 000 К.

К сожалению (скажем это всего лишь в шутку!), мы так и не знаем, как астрономы «выкручивались

бы» в попытках как-то объяснить перечисленные выше данные наблюдений. Нельзя же полагать, что температура во внешних слоях Юпитера в десять раз

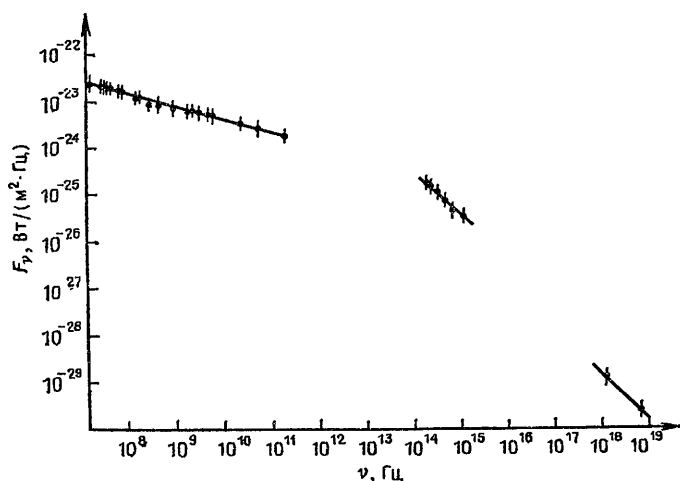


Рис. 170. Распределение энергии в спектре Крабовидной туманности

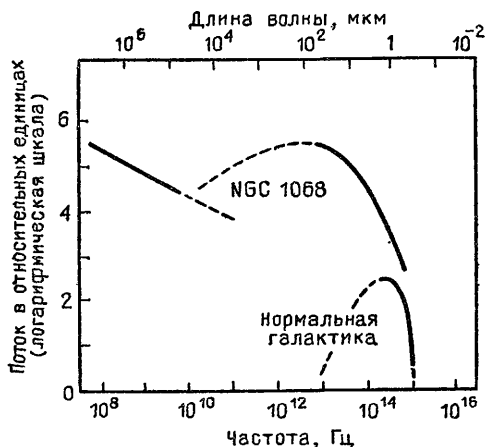


Рис. 171. Распределение энергии в спектре нормальной галактики и в спектре активной галактики NGC 1068

больше, чем в фотосфере Солнца! А радиоизлучение галактик? Ну, в одном случае — речь идет об источнике Лебедь А (см. рис. 120) — еще можно было говорить о столкновении двух галактик (и такая

гипотеза некоторое время существовала), но в других случаях...

Дело в том, что пока радиоастрономия делала свои первые шаги, физики уже обнаружили и даже развили теорию нетеплового излучения. Конкретнее — *синхротронного излучения*, возникающего в ускорителях частиц вследствие «торможения» сверхбыстрых электронов в магнитном поле. Повторим еще раз: электроны, ускоренные в синхротронах до скоростей v , близких к скорости света c , светятся — излучают

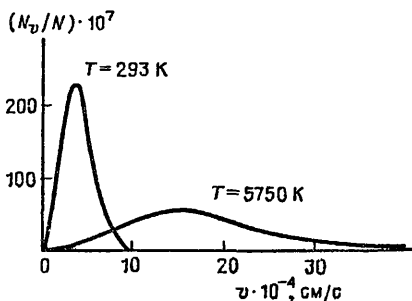


Рис. 172. Распределение частиц (атомов аргона) по скоростям при температурах 293 и 5750 К. По оси абсцисс отложены скорости частиц газа, по оси ординат — число частиц, имеющих такую скорость при заданной температуре

видимые глазом электромагнитные волны. И это излучение нетепловое, т. е. оно не связано с упомянутыми выше процессами рекомбинаций и торможения электронов в поле атомных ядер.

Здесь следует внести еще такое уточнение. Излучение называют *тепловым*, если излучающие частицы распределены по скоростям в соответствии с *формулой Максвелла*

$$dN = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv. \quad (12.11)$$

Здесь N — общее число частиц в единице объема, dN — число частиц, имеющих скорость от v до $v + dv$.

Из рис. 172 видно, сколь сильно зависит распределение частиц по скорости от температуры газа. Наибольшее число частиц движется со скоростью, отвечающей максимуму кривой распределения; эта скорость называется *наивероятнейшей*. Ее численное значение определяется по формуле

$$v_* = \sqrt{\frac{2kT}{m}}. \quad (12.12)$$

где $m = \mu m_H$ — масса атома, причем $m_H = 1,67 \times 10^{-27}$ кг — масса атома водорода и μ — молярная масса атома. Для нейтрального водорода $\mu = 1$ и при $T = 6000$ К наивероятнейшая скорость $v_* = 10$ км/с.

В случае же, когда скорости электронов близки к скорости света ($v \approx c$), принято говорить о распределении частиц по энергиям E . Энергия же такой *релятивистской частицы* связана с ее скоростью соотношением

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (12.13)$$

где m_0 — масса покоя частицы. Оказалось, что релятивистские частицы не подчиняются максвелловскому распределению по скоростям. Их распределение по энергиям приближенно записывается так:

$$dN(E) = \frac{K}{E^\gamma}, \quad (12.14)$$

где K — постоянная величина, γ — показатель спектра. Из теории следует, что интенсивность излучения I_ν релятивистских электронов связана с напряженностью магнитного поля H и частотой ν такой зависимостью:

$$I_\nu = \text{const } H^{\frac{\gamma+1}{2}} \nu^{-\frac{\gamma-1}{2}}. \quad (12.15)$$

Из совокупности всех имеющихся данных о межзвездной среде, о туманностях, в том числе Крабовидной, о структуре галактик сделан вывод, что

1) в космических пространствах вещество пронизано магнитными силовыми линиями и 2) как в межзвездном пространстве, так и во многих туманностях — остатках сверхновых — и, очевидно, в некоторых далеких галактиках имеются мощные потоки релятивистских частиц — *космических лучей*, составляющими которых и являются релятивистские электроны.

По крайней мере для туманностей типа Крабовидной источником этих сверхбыстрых частиц является *пульсар* — сжавшееся ядро «бывшей» обычной

звезды, а теперь *нейтронная звезда*. В итоге было найдено, что показатель спектра релятивистских электронов $\gamma = 2,6$. Поэтому зависимость интенсивности космического синхротронного излучения от частоты имеет вид

$$I_{\nu} \sim \nu^{-0,82}, \quad (12.15')$$

а это, как видим, совершенно «что-то иное», чем формула Рэлея — Джинса.

С помощью синхротронного механизма и удалось объяснить особенности распределения энергии в спектре Крабовидной туманности и сходных с нею объектов, спектры активных галактик. Мы уже знаем, что вокруг Юпитера имеется *радиационный пояс* — своеобразная оболочка из сверхбыстрых частиц, которые тормозятся в магнитном поле планеты и излучают радиоволны.

Частично синхротронный механизм объясняет и особенности радиоизлучения активного Солнца. Мы говорим «частично», так как, оказывается, Природа богата на выдумки. Дело в том, что если в ионизованной среде (плазме) возникают волновые движения и если эта среда неоднородна (а плотность в атмосфере Солнца уменьшается с высотой), происходит *конверсия волн* — их трансформация в другие, в том числе электромагнитные волны. Теория этого вопроса оказалась весьма сложной, и все же *плазменная астрофизика*, которая им занимается, уже достигла несомненных успехов.

Попутно упомянем еще о двух механизмах, влияющих на «конечный» спектр далекого источника энергии. Оказалось, что в космическом пространстве может возникать *переходное излучение*. Это происходит при «пролете» электрона сквозь пылевую частицу, точнее при переходе электрона сначала из вакуума в пылевую частицу, а потом из частицы в вакуум.

Наконец, если в межзвездной среде на пути между источником фотонов и наблюдателем находится облако релятивистских электронов, то при столкновении фотона с частицей эта последняя передает ему часть своей энергии. Вследствие этого *комптоновского рассеяния* частота фотона ν может увеличиться в тысячи раз. Отсюда следует, что регистрируемый наблюдателем спектр совершенно не будет похож на истинный, первоначальный спектр упомянутого отда-

ленного объекта. Конкретнее, частота может возрасти в $2(E/m_0c^2)^2$ раз и поэтому «шум» — радиоизлучение объекта — может превратиться в «свет» — в электромагнитные волны видимого диапазона.

Уширение спектральных линий. Разговор о количественной дешифровке спектра звезды будет неполным, если не рассмотреть вопрос о ширине спектральной линии. Дело в том, что из теории следует, что эта ширина должна быть порядка $0,0001 \text{ \AA}$. Это так называемая *естественная ширина линии*. На самом же деле она в тысячи раз больше. Почему?

Ответ на этот вопрос формулируется так: расширение спектральных линий обусловлено, во-первых, тепловым движением атомов и, во-вторых, размытостью самих энергетических уровней.

Относительно первого скажем следующее. Скорости частиц в атмосфере звезды распределены в соответствии с формулой Максвелла (12.11). Если атом движется к наблюдателю (от центра звезды), то поглощается квант с частотой, большей ν_0 ; при его движении вглубь, — квант с частотой, меньшей ν_0 . Тем самым вместо поглощения строго в частоте ν_0 , соответствующей, скажем, переходу $2 \rightarrow 3$, происходит также поглощение квантов «справа» и «слева» относительно «центральной» частоты ν_0 .

Здесь как раз следует вспомнить об известном в оптике *эффекте Доплера*: если источник света движется относительно наблюдателя со скоростью v , то длина волны, воспринятая наблюдателем, связана с испускаемой источником света длиной волны λ_0 соотношением $\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$. Другими словами, из-за движения источника света существует доплеровский сдвиг излучаемой им длины волны на величину

$$\Delta\lambda = \lambda_0 \frac{v}{c}. \quad (12.16)$$

Наибольшее число атомов движется с наимвероятнейшей скоростью (12.12). Соответствующее этой скорости смещение длины волны

$$\lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda_0 = \frac{\lambda_0}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

называется *доплеровской шириной спектральной линии*. Ею определяется форма центральной части спектральной линии.

Не имея возможности углубляться в теорию, отметим, что уширение энергетических уровней (благодаря чему поглощается частота $\nu < \nu_0$ и $\nu > \nu_0$) происходит и за счет столкновений поглощающих атомов с окружающими их частицами. В итоге оказывается, что чем этих частиц больше, тем спектральная линия шире (рис. 173).

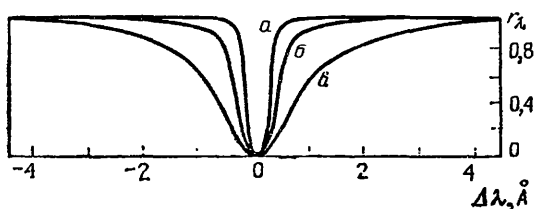


Рис. 173. Зависимость формы профиля спектральной линии от концентрации частиц в атмосфере звезды ($N_a < N_b < N_v$)

Следовательно, изучая ширины спектральных линий, принадлежащих определенному атому, устанавливают как число поглощающих атомов, так и физические условия в звездной атмосфере (в частности, температуру поглощающих частиц).

«Необычные» линии. В § 5 мы отметили, что нейтральный водород излучает линию с длиной волны 21 см. Используя соответствующие методы анализа (в том числе формулу эффекта Доплера), удалось построить схему распределения нейтрального водорода в Галактике, как это показано на рис. 111.

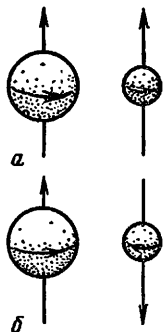
Здесь пришла пора приглядеться к упомянутому эффекту излучения поближе. Начнем с того, что протон и электрон, из которых состоит атом водорода, можно представить себе (это очень грубая аналогия) как два шарика, быстро вращающихся вокруг своих осей. При этом, конечно, возможны два варианта: а) направление вращения обеих частиц одинаково и б) частицы вращаются в противоположные стороны (рис. 174). На языке квантовой механики говорят, что в первом случае спины протона и электрона параллельны, во втором — антипараллельны. Из каждых четырех атомов нейтрального водорода, как оказалось, три находятся в состоянии «а» и один — в состоянии «б».

Если атом водорода, находящийся в состоянии «а», «предоставлен сам себе», то за время, примерно

равное 11 млн лет, он перейдет из него в состояние «б», излучив при этом порцию энергии, — в совокупности (излучает-то много частиц, пространство межзвездное огромно!) это и образует эмиссионную линию 21,11 см. Обратный переход из состояния «б» в состояние «а» происходит благодаря столкновению атома водорода с другой частицей.

А вот второй пример необычного излучения. В феврале 1965 г. в спектре туманности W 49 (расположена она в созвездии Орла; в оптический телескоп не

Рис. 174. Схема, объясняющая излучение атома водорода в линии 21 см: квант излучается при изменении направления спина электрона — переходе атома из состояния «а» в состояние «б»



видна) была обнаружена интенсивная эмиссионная линия с частотой 1667 МГц ($\lambda = 18$ см). Вскоре такие же линии были найдены в спектрах примерно 50 % ярких газовых туманностей, в том числе и в спектре туманности Ориона, причем источники такого излучения располагаются в основном по краям туманностей.

Непонятным оказалось вот что: каким образом столь интенсивные линии могут иметь крайне малые ширины. Из расчета следовало, что такую узкую линию молекулы могут излучать лишь при температуре около 3 К. В то же время интенсивности линий соответствуют температуре на много (до 10^{15} !) порядков выше. Поэтому американские ученые предположили вначале, что эти линии излучает какое-то неизвестное вещество — «мистерium».

Между тем все оказалось и проще и сложнее. Проще потому, что это излучение было излучением молекулы ОН. А то, что двухатомные молекулы ОН, СН и др., присутствующие в межзвездном пространстве, могут излучать радиоволны, предвидел И. С. Шкловский шестнадцатью годами раньше

упомянутого открытия. Он же и провел соответствующие расчеты. Сложнее — поскольку речь идет о *космических мазерах*. Ими являются сравнительно плотные конденсации вещества размером, в 10—20 раз превышающим диаметр Солнечной системы, массой $M \approx 1M_{\odot}$ и плотностью 10^{-15} кг/м³. Молекулы OH, находящиеся во внешних слоях такой конденсации, поглощают идущее «снизу» инфракрасное излучение.

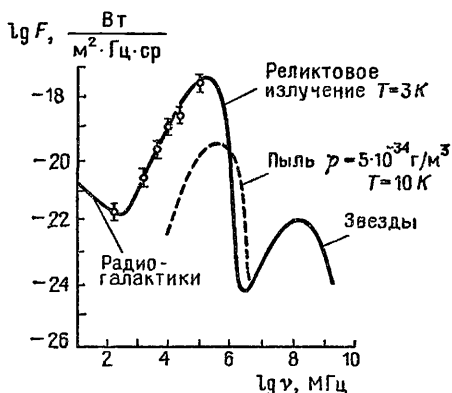


Рис. 175. Общий спектр среднего излучения в Метагалактике от отдельных источников и реликтовое излучение (кружки — данные наблюдений)

В итоге, образно говоря, система переводится на высший энергетический уровень. При переходах на основной уровень (а эти переходы стимулируются излучением «снизу») происходит высвечивание энергии в линии 18 см, а также в еще трех близких к этому значению длинах волн.

Уже известно около 400 источников мазерного излучения. Значительное количество из них — это несомненно зарождающиеся звезды; особенно их много в изображенной на рис. 99 туманности Ориона.

Реликтовые фотоны. В § 6 было отмечено, что «плотность» открытого в 1965 г. *реликтового радиоизлучения* такова, что на одну частицу вещества приходится миллиард фотонов этого излучения. Проверим, так ли это.

Прежде всего отметим, что реликтовое излучение — тепловое. Его интенсивность была промерена в достаточно широком диапазоне волн — от 0,8 до 73 см. Установлено, что распределение интенсивности

по длинам волн соответствует тепловому излучению с абсолютной температурой $T = 2,7$ К, причем здесь оно существенно больше радиоизлучения звезд и далеких радиоисточников (рис. 175).

Но если пространство заполнено тепловым излучением, то, согласно теории, в единице объема содержится лучистая энергия

$$u_R = a_R T^4, \quad (12.17)$$

где $a_R = 7,5 \cdot 10^{-16}$ Дж/(м³·К⁴) — постоянная плотности излучения. При температуре $T = 2,7$ К плотность энергии реликтовых квантов равна $4 \cdot 10^{-20}$ Дж/см³. Средняя энергия одного кванта $\bar{\epsilon} = 2,7kT \approx 10^{-22}$ Дж. Поэтому среднее число квантов в единице объема $N_\gamma = u_R/\bar{\epsilon} \approx 40$ см⁻³.

С другой же стороны, из наблюдений следует, что плотность вещества в наблюдаемой Вселенной «в среднем» равна 10^{-27} кг/м³, что соответствует концентрации частиц $N \approx \rho/m_H \approx 0,5$ м⁻³ или $5 \cdot 10^{-7}$ см⁻³. Отсюда и следует, что на каждый нуклон приходится около 10^9 квантов.

13. ЗВЕЗДА КАК ГАЗОВЫЙ ШАР

Уравнение состояния. Как мы уже знаем, Солнце и звезды — это огромные газовые шары. При обсуждении вопроса об их строении прежде всего следует выяснить, каковы свойства вещества, их составляющего. Оказалось, что в подавляющем большинстве случаев астрономы имеют дело с *идеальным газом* — газом, для которого объемом самих частиц и силами взаимодействия между ними можно пренебречь. Есть, однако, и важная особенность: плотность, давление и температура газа не являются одними и теми же во всем объеме звезды, а существенно возрастают по мере приближения к ее центру. Поэтому во внешних слоях многих звезд атомы еще объединены в молекулы, тогда как с увеличением глубины число частично и полностью ионизованных атомов все увеличивается. В центральных областях звезд происходят реакции термоядерного синтеза; освобождающаяся при этом энергия медленно просачивается к поверхности звезды (см. § 15).

Итак, состояние звездного вещества описывается следующими термодинамическими параметрами:

давлением p , плотностью ρ и температурой T , причем, в соответствии со сказанным выше, все они являются функциями расстояния r от центра звезды. Четвертым параметром будет относительная молекулярная масса μ . Как известно, в случае идеального газа они связаны между собой *уравнением состояния (уравнением Клапейрона — Менделеева)*

$$p = \frac{A}{\mu} \rho T. \quad (13.1)$$

Здесь $A = 8,31$ Дж/(моль·К) — универсальная газовая постоянная.

Отметим, что если газ состоит из нейтральных атомов водорода, то относительная молекулярная масса $\mu = 1$, для молекулярного водорода $\mu = 2$, у полностью ионизованного — $\mu = 1/2$, так как при подсчете числа частиц электрон равноправен с протоном. Аналогично, для нейтрального гелия $\mu = 4$, а для полностью ионизованного — $\mu = 4/3$, так как в этом случае каждый атом гелия дает три частицы. Относительная молекулярная масса полностью ионизованного любого тяжелого элемента близка к двум ($\mu \approx 2$). Если через X , Y и Z обозначить соответственно весовые доли водорода, гелия и остальных химических элементов в их смеси, то при полной ионизации атомов имеем

$$\mu = \frac{4}{8X + 3Y + 2Z}. \quad (13.2)$$

Далее мы увидим, что от величины параметра μ существенно зависит значение температуры в центре звезды.

Столкновения частиц. Распределение частиц по скоростям в соответствии с формулой (12.11) устанавливается после нескольких соударений частиц друг с другом. Пусть $\sigma_a = \pi r_a^2$ — площадь сечения частицы: при радиусе атома $r_a \approx 10^{-10}$ м имеем $\sigma_a \approx 3 \cdot 10^{-20}$ м². Тогда *длина свободного пробега l_* и время между двумя столкновениями частиц t_** определяются из соотношений

$$l_* \approx \frac{1}{\sigma_a N}, \quad t_* \approx \frac{l_*}{v_*} \approx \frac{1}{\sigma_a N v_*}. \quad (13.3)$$

В атмосфере Солнца $N \approx 10^{23}$ м⁻³. Отсюда находим, что там $l_* \approx 0,001$ м и при наимвероятнейшей ско-

рости $v_* \approx 10$ км/с, $t_* \approx 10^{-7}$ с за одну секунду частица испытывает 10 млн столкновений. С глубиной, по мере приближения к центру Солнца (как и любой другой звезды) N увеличивается, поэтому l_* и t_* значительно уменьшаются.

Собственно говоря, сам по себе этот вопрос не столь важен для нас и занимать им место здесь не следовало бы. Но он полезен в качестве аналогии с другим процессом, имеющим место в недрах и атмосферах звезд, — процессом рассеяния фотонов на электронах. Как мы увидим ниже, им определяется верхний предел массы звезды.

Внутренняя энергия частиц. Как известно, средняя кинетическая энергия частицы равна $\frac{3}{2} kT$, где k — уже многократно упоминавшаяся постоянная Больцмана. Следовательно, если в единице объема имеется N частиц, то их тепловая энергия (в расчете на 1 м^3)

$$u = \frac{3}{2} N k T = \frac{3}{2} \frac{A}{\mu} \rho T = \frac{3}{2} p.$$

Сказанное можно использовать и для ориентировочного подсчета тепловой энергии звезды с массой $\mathcal{M}$. Пусть средняя масса частицы равна m . Тогда звезда состоит из $\mathcal{M}/m$ частиц и их тепловая энергия будет приближенно равна

$$U = \frac{3\mathcal{M}kT}{2m}. \quad (13.4)$$

Мы, конечно, «чутьочку» погрешили против истины, приняв, что температура T одинакова во всем объеме звезды. Но как мы увидим далее, подавляющая часть массы звезды расположена вблизи ее центра в объеме радиусом 0,3—0,4 радиуса звезды. Тем самым входящий в формулу параметр T — это температура глубоких недр звезды. Для ее оценки и будет в дальнейшем использована формула (13.4).

Равновесие гравитирующей массы. Роли всемирного тяготения в «установлении порядка во Вселенной» отведен целый § 14. Здесь же подчеркнем, что именно закон всемирного тяготения определяет структуру, внутреннее строение небесных тел. Именно всех.

Конечно, звезды существенно отличаются от планет и их спутников уже тем, что их вещество находится в различных фазовых состояниях. Но общим для них является то, что те и другие находятся в состоянии гидростатического равновесия, благодаря чему расстояние произвольно взятого элемента массы от центра конфигурации остается практически неизменным на протяжении многих миллионов (и даже миллиардов) лет.

Конечно, в этой «простоте» имеются скрытые тенденции, о чем с исчерпывающей ясностью говорил И. С. Шкловский: «...История существования любой

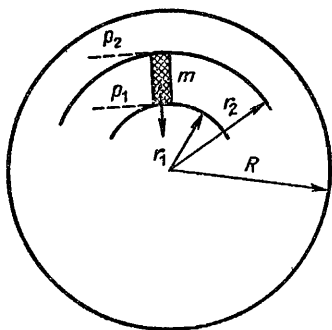


Рис. 176. К выводу условия гидростатического равновесия звезды

звезды — это поистине титаническая борьба между силой гравитации, стремящейся ее неограниченно сжать, и силой газового давления, стремящейся ее «распылить», рассеять в окружающем межзвездном пространстве. Многие миллионы и миллионы лет длится эта «борьба». В течение этих чудовищно больших сроков силы равны. Но в конце концов... победа будет за гравитацией. Такова драма эволюции любой звезды» (Звезды: Их рождение, жизнь и смерть.— М.: Наука, 1984.— С. 112).

Здесь мы и посмотрим, как под действием этих двух сил устанавливается равновесие газового шара. Впрочем, до тех пор, пока не используется конкретный вид уравнения состояния, все рассуждения, как говорится, имеют общий характер.

Итак, рассмотрим шар с массой M и радиусом R . Выделим в нем (рис. 176) элемент массы m на расстоянии r_1 от центра. Пусть ρ — плотность вещества в данном месте, $dr = r_2 - r_1$ и S — соответственно высота столбика газа и его поперечное сечение. Тогда масса этого элемента $m = \rho S dr$. Обозначим через $M(r)$ массу, находящуюся внутри сферы радиуса r . В соответствии с законом всемирного тяготения (2.2) сила притяжения, действующая на выделенный эле-

мент массы со стороны массы $\mathcal{M}(r)$, равна

$$f = \frac{G\mathcal{M}(r)m}{r^2} = \frac{G\mathcal{M}(r)}{r^2} \rho S dr.$$

Если бы эта сила ничем не уравновешивалась, то выделенный нами элемент массы свободно падал бы к центру. Время этого *свободного падения* t_G можно оценить по известной формуле равномерно-переменного движения с ускорением g : $t = \sqrt{\frac{2r}{g}}$. И так как ускорение силы тяжести $g = \frac{G\mathcal{M}}{r^2}$, то расстояние, равное радиусу шара R , избранный нами элемент массы прошел бы за время

$$t_G \approx \sqrt{\frac{2R}{g}} \approx \sqrt{\frac{2R^3}{G\mathcal{M}}}. \quad (13.5)$$

В случае Солнца при $\mathcal{M}_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ кг, $R_\odot = 7 \cdot 10^8$ м находим $t_G \approx 3000$ с. Всего-то! Между тем Солнце существует миллиарды лет, и удерживается оно в состоянии равновесия потому, что давление p_1 , действующее на произвольно взятый элемент массы «снизу», больше, чем давление p_2 , действующее на него «сверху»: $p_2 < p_1$. Именно избыток давления $dp = p_1 - p_2$ уравнивает силу притяжения. Поэтому *условие гидростатического равновесия* можно записать в виде $f + dpS = 0$ или, подставляя в явном виде силу притяжения, представить его таким образом:

$$\frac{dp}{dr} = - \frac{G\mathcal{M}(r)}{r^2} \rho. \quad (13.6)$$

Это важнейшее уравнение теории внутреннего строения звезд. Мы увидим сейчас, что из него можно «выудить» кое какую информацию и не решая его...

Высота однородной атмосферы. Вот первая задача: если плотность в фотосфере и хромосфере Солнца с высотой уменьшается, то по какому закону — так сказать, «насколько быстро это происходит»? Ответ на нее можно получить из уравнения (13.6). Для этого используем «меру длины» — *шкалу высот* или *высоту однородной атмосферы* β . Это такая высота, на которой плотность вещества уменьшается в $e = 2,72$ раза. Получим ее исходя из формул (13.1) и

(13.6). Для этого предположим, что температура вещества с высотой не меняется ($T = \text{const}$), а также, что масса $\mathfrak{M}(r)$ равна полной массе $\mathfrak{M}$. Примем также, что ускорение силы тяжести $g = \frac{G\mathfrak{M}}{R^2}$ постоянно. Воспользуемся также соотношением для скорости звука a :

$$a = \sqrt{\gamma \frac{AT}{\mu}}, \quad (13.7)$$

из которого следует, что при $T = \text{const}$ плотность ρ связана с давлением газа соотношением $p = \frac{a^2}{\gamma} \rho$. При этих упрощениях из (13.6) следует такое дифференциальное уравнение:

$$\frac{dp}{dr} = - \frac{\gamma g}{a^2} p$$

или

$$\frac{dp}{p} = - \frac{1}{\beta} dr.$$

Так как

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x + C,$$

то в итоге получаем известную *барометрическую формулу* (приняв, что $r_2 - r_1 = h \ll r_1$)

$$p = p_1 e^{-\frac{h}{\beta}}, \quad (13.8)$$

а поскольку $p = \frac{a^2}{\gamma} \rho$, аналогично запишем и выражение для плотности:

$$\rho = \rho_1 e^{-\frac{h}{\beta}}. \quad (13.9)$$

Величина

$$\beta = \frac{a^2}{\gamma g}$$

и называется высотой однородной атмосферы. У поверхности Земли имеем $a = 330$ м/с, $g = 9,8$ м/с² и отношение удельных теплоемкостей $\gamma = 7/5 = 1,4$ (поскольку вещество состоит из двухатомных молекул). В итоге из (13.9) находим, что $\beta = 8$ км: на такой высоте над поверхностью Земли плотность воздуха уменьшается в 2,72 раза.

Для Солнца ускорение силы тяжести $g = 274 \text{ м/с}^2$, скорость звука в фотосфере, где температура $T \approx 5800 \text{ К}$, $a \approx 9,2 \text{ км/с}$. Вещество здесь — одноатомный газ, для которого $\gamma = 5/3 = 1,667$. Поэтому высота однородной атмосферы в данном случае $\beta \approx 185 \text{ км}$. Иначе говоря, примерно каждые 200 км плотность уменьшается в три раза.

После этого становится понятным, почему мы наблюдаем резкую границу Солнца — четкий *край солнечного диска*. Дело в том, что при изучении края диска наблюдатель принимает излучение, образующееся в столбике газа, ориентированном вдоль луча зрения (рис. 177). Очевидно, что чем дальше от центра Солнца, тем меньше атомов, переизлучающих идущее снизу излучение, находится в таком столбике, тем меньше квантов будет «переадресовано» по направлению к наблюдателю. Расчет показывает, что изменение интенсивности от $I = 0$ до максимального значения происходит в слое толщиной около 300 км. С Земли этот слой виден под углом всего $0,4''$. Он и воспринимается наблюдателем как резкий край солнечного диска.

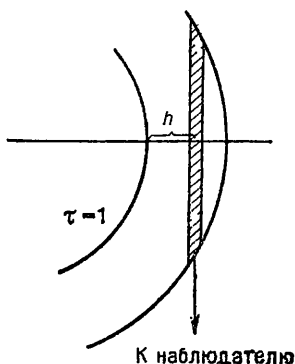


Рис. 177. Число переизлучающих частиц вдоль луча зрения в фотосфере Солнца возрастает с глубиной, благодаря чему край диска Солнца выглядит очень резким

Конечно, во внешних слоях Солнца (как и других звезд) температура с высотой изменяется. И все же уравнение типа (13.8) позволяет оценивать степень неоднородности атмосферы. Понятно также, что в атмосферах Солнца и звезд плотность уменьшается с расстоянием и постепенно происходит переход к весьма разреженному состоянию, типичному для межзвездной среды. Поэтому в строгом смысле «поверхности» у звезд нет. Но есть определенный тонкий слой, который принято считать поверхностью: нижний слой уже «слишком плотный», тот же, который выше, — «весьма разреженный»...

Потенциальная энергия звезды. *Потенциальной энергией звезды* (в принципе — любого небесного тела) с массой $\mathcal{M}$ и радиусом R называется работа, которую необходимо было бы выполнить, чтобы распылить всю массу тела $\mathcal{M}$ на бесконечность. Рассчитывается она довольно сложно методами высшей математики. Мы, однако, получим по крайней мере зависимость между этой характеристикой звезды и ее массой и радиусом путем следующих элементарных рассуждений. Разделим массу $\mathcal{M}$ на две равные части, так что $m_1 = m_2 = \mathcal{M}/2$, и разведем их на расстояние l , равное радиусу тела R . При этом, конечно, будет выполнена работа $\Omega = Fl \approx \frac{G m_1 m_2}{l^2} l \approx \frac{G \mathcal{M}^2}{4R}$.

Что мы уже имеем? Мы получили зависимость потенциальной энергии звезды от ее массы $\mathcal{M}$ и радиуса R : потенциальная энергия прямо пропорциональна квадрату массы (не кубу, не пятой степени...), а это не так уж и мало! Что касается того, что речь идет о распылении всего вещества, к тому же на гораздо большие расстояния, то в полученном выражении численный коэффициент несколько увеличивается. Строгая теория дает для потенциальной энергии звезды такое выражение:

$$\Omega = -\frac{3}{2} \frac{G \mathcal{M}^2}{R}. \quad (13.10)$$

Мы его получим позже (§ 16) методом теории размерностей.

Понятно, что при сжатии распыленного облака массой $\mathcal{M}$ до размеров, определяемых радиусом R , энергия Ω освобождается.

Для Солнца при уже упомянутых выше $\mathcal{M}_\odot$ и $R_\odot$ находим $|\Omega_\odot| \approx 5,9 \cdot 10^{41}$ Дж.

Из теории следует, что при сжатии облака половина его потенциальной энергии идет на разогрев недр будущей звезды (протозвезды), вторая же половина излучается в окружающее пространство. Формула (13.10) может быть использована при рассмотрении энергетического баланса вспышки сверхновой звезды. Ранее (§ 5) отмечалось, что при вспышке излучается энергия порядка 10^{42} — 10^{44} Дж, выделяется же ее, по-видимому, еще больше. «Получить» эту энергию «проще простого»: достаточно уменьшить радиус звезды на несколько порядков. Так и говорят:

на заключительном этапе эволюции звезды, имеющей массу $\mathcal{M} > 1,2\mathcal{M}_\odot$, происходит *коллапс* — резкое сжатие ее ядра, что и сопровождается взрывным выделением (освобождением) потенциальной энергии звезды. О «спусковом крючке» коллапса мы еще поговорим в § 15.

Температура звездных недр. После того как мы получили выражение для потенциальной энергии звезды и знаем, что половина этой энергии идет на разогрев звездных недр, мы уже можем оценить среднюю температуру $\bar{T}$ вещества звездных недр. Для этого приравняем $\frac{1}{2}|\Omega|$ тепловой энергии частиц звезды, которую мы записали ранее в виде соотношения (13.4). Так находим, что

$$\bar{T} \approx \frac{G\mathcal{M}m}{2kR}. \quad (13.11)$$

Предположим, что вещество, из которого образовалось Солнце, состояло из чистого водорода (масса частицы $m = m_H = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг). Подставляя значения массы и радиуса Солнца в (13.11), находим $\bar{T} \approx 11 \cdot 10^6$ К. Это нижний предел температуры, которая может «реализоваться» в центре звезды типа Солнца. Кроме того, если среднее значение массы частицы больше m_H (молекулярная масса неионизованного вещества $\mu = 1$ и $m = \mu m_H$), то соответственно будет большей и $\bar{T}$.

Значение температуры в центральных областях звезды можно оценить также исходя из уравнения (13.6). Для этого предположим, что плотность ρ постоянна по всему шару и равна ее среднему значению $\bar{\rho}$, которое получим, разделив массу звезды $\mathcal{M}$ на ее объем $V = \frac{4}{3}\pi R^3$. Конечно, уравнение (13.6) — дифференциальное, и его решение в общем дается очень нелегко. Но, к счастью, существует оценочный метод рассмотрения задач такого типа. Вместо отношения приростов величин в уравнение можно поставить отношение разностей предельных значений этих же величин! Так, примем, что на поверхности звезды при $r_2 = R$ давление равно нулю ($p_2 = 0$), а в центре при $r_1 = 0$ давление $p_1 = p_c$. Поэтому в уравнении (13.6) вместо dp ставим $0 - p_c = -p_c = -\frac{A}{\mu}\bar{\rho}T_c$, а вместо dr $R - 0 = R$. Также вместо $\mathcal{M}(r)$ используем полную

массу $\mathcal{M}$ и, наконец, заменяем r на R . В итоге и получаем выражение для оценки температуры в центре звезды:

$$T_c \approx \frac{\mu G \mathcal{M}}{AR}. \quad (13.12)$$

Для Солнца весовое содержание водорода, гелия и тяжелых элементов равно соответственно $X=0,73$, $Y=0,25$ и $Z=0,02$. По формуле (13.2) находим молекулярную массу вещества Солнца $\mu \approx 0,6$. Подставляя в (13.12) все остальные параметры, найдем, что температура в центре Солнца $T_c \approx 14 \cdot 10^6$ К.

Нельзя не порадоваться тому обстоятельству, что самые точные вычисления с помощью быстродействующих ЭВМ дают для температуры в центре Солнца практически тот же результат!

Благодаря столь высокой температуре в недрах звезд становятся возможными реакции ядерного синтеза (§ 15). При этом возникают гамма-кванты, длина волны которых около $0,001 \text{ \AA}$, а их энергия — около 10^4 кэВ. Перенос этой энергии к поверхности звезды может осуществляться двумя механизмами: переизлучением и конвекцией. Мы должны хотя бы кратко рассмотреть каждый из них, чтобы лучше понять особенности внутреннего строения звезд.

Лучистый перенос энергии. В процессе медленного «просачивания» квантов энергии к поверхности звезды они многократно поглощаются и переизлучаются. При этом происходит дробление каждого кванта на многие сотни и тысячи квантов меньших частот. В итоге из одного гамма-кванта образуется несколько миллионов квантов видимого света — фотонов. Сам же процесс поглощения фотона атомом можно представить как результат его столкновения с частицей, «оказавшейся» на его пути. В этом смысле каждый атом можно рассматривать как своеобразный экран, преграждающий путь фотонам. По аналогии со столкновениями частиц (см. формулы (13.13)) можно говорить об эффективном сечении взаимодействия фотона с атомом и длине пробега излучения частоты ν .

Здесь принято различать *истинное поглощение* фотона, если, скажем, произошло поглощение L_c -кванта при ионизации атома водорода, и *рассеяние*, когда фотон, столкнувшись с частицей, всего лишь из-

менил направление своего движения. Это последнее происходит, например, в земной атмосфере: ее молекулы рассеивают солнечные лучи, причем чем короче длина волны, тем рассеяние сильнее. Такое рассеяние света называется *рэлеевским*. В атмосферах белых и голубых звезд много свободных электронов, и они, как своеобразные маленькие экранчики, рассеивают излучение всех длин волн. Это — *томсоновское* рассеяние.

Эффективное сечение взаимодействия фотона с атомом принято называть *коэффициентом поглощения* k_ν . Он имеет наибольшее значение за пределом серии и в дальнейшем с ростом частоты уменьшается пропорционально ν^{-3} . Так, у предела лаймановской серии атома водорода $k_{\nu_1} \approx 0,63 \cdot 10^{-21} \text{ м}^2$. Длина свободного пробега кванта в этом случае

$$l_\nu \approx \frac{1}{k_\nu N}.$$

В частности, в атмосфере Солнца, где концентрация частиц $N \approx 10^{23} \text{ м}^{-3}$, она равна всего 0,01 м. Вблизи центра звезды, где плотность на семь-девять порядков выше, длина свободного пробега кванта энергии до «очередного» поглощения ничтожно мала.

Заметим, что при решении многих задач строения звезд и их атмосфер используют *объемный коэффициент поглощения* α , рассчитанный на единицу объема, а также средний по спектру *коэффициент непрозрачности* κ в расчете на единицу массы ($\kappa = \alpha/\rho$). Обычно проводится расчет этих коэффициентов для широкого «набора» значений плотности и температуры; на основе таких расчетов составляют специальные таблицы.

Конвективный перенос энергии. При определенных условиях в недрах звезд лучистое равновесие нарушается и перенос тепла осуществляется движущимся потоком вещества. Здесь реализуется что-то похожее на кипение воды в установленном на огне сосуде. Первоначальная температура воды относительно невелика, поэтому при подводе тепла снизу молекулы воды, нагреваясь, сами еще «успевают» путем столкновений передать часть своей энергии вверх. Но вскоре этот механизм теплопроводности оказывается недостаточным, и для переноса тепла вклю-

чается другой — конвекция, т. е. перемещение масс вещества (кипение).

Рассматривая движение конвективного элемента вверх (рис. 178), принимают во внимание, что давление вне и внутри него одинаково. Условием же существования конвекции является следующее: движение будет продолжаться, если плотность внутри конвективного элемента меньше, а температура выше, чем в

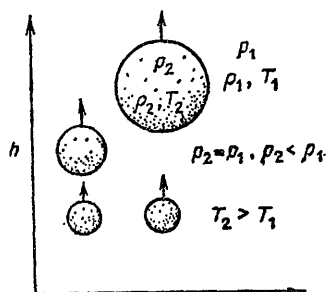


Рис. 178. Перенос энергии конвективными элементами. Движение нагретого вещества вверх продолжается, если температура вне его уменьшается с высотой быстрее, чем внутри

окружающей его среде (это следует из (13.1), если это соотношение записать для газа «внутри» и «вне» конвективного элемента и приравнять давления).

Из теории следует, что конвективный поток энергии будет тем больше, чем больший путь проходит поднимающийся элемент газа. Расстояние l , которое проходят конвективные элементы, прежде чем рассеяться в окружающей среде, называется *длиной пути перемешивания*. Обычно полагают, что в неоднородных оболочках звезд длина пути перемешивания равна шкале высот, т. е. что $l \approx \beta$.

Наблюдаемым проявлением конвекции, которая имеет место во внешней части оболочки Солнца, является грануляция (см. § 4). Если и в самом деле реализуется условие $l \approx \beta$, то протяженность конвективной зоны Солнца достигает 100 000 км, т. е. она равна $1/17 R_{\odot}$. Но если длина пути перемешивания больше β (скажем, $l \approx 1,5\beta$ или даже $l \approx 2\beta$), то толщина конвективной зоны составляет всего 25 000 км... Вот такая неопределенность. Но что поделаешь — в лабораторных условиях реализовать неоднородность среды трудно!

Модели звезд. Только что нам удалось оценить температуру в центре звезды типа Солнца. И теперь мы с большим пониманием можем говорить о том,

что астрофизики, приняв за основу уравнение (13.6) и имея определенные представления о поглощательных свойствах вещества звездных недр и выделении там энергии, умеют «строить» модели звезд, т. е. находят распределение давления, плотности и температуры от центра звезды к ее поверхности, если только ее параметры — масса M , радиус R и светимость L — заданы заранее (рис. 179).

Вот результаты этих расчетов.

Установлено, что, как правило, по своему строению звезды неоднородны, т. е. в их недрах обязательно «работают» оба механизма переноса энергии.

О нашем Солнце мы уже говорили: в его недрах действует лучистый перенос энергии, во внешней оболочке — конвективный. Оказалось, что так же построены все звезды нижней части главной последовательности; более того, у них толщина внешней конвективной зоны тем больше, чем меньше эффективная температура звезды (рис. 180). И наоборот, у звезд верхней части главной последовательности внешней конвективной зоны нет. Но зато такие звезды обладают большим (протяженностью до одной четверти радиуса звезды) конвективным ядром, окруженным лучистой оболочкой.

Гораздо более сложна модель звезды красного гиганта и особенно сверхгиганта. Так, в центре звезды-гиганта находится изотермическое ядро, в котором температура практически постоянна (его радиус составляет около $0,001R$, масса $0,25M$). Ядро окружено очень тонким слоем, в котором происходит выделение энергии за счет термоядерных реакций. Далее идет слой толщиной около $0,1R$, в котором энергия переносится лучеиспусканием. Все это «погружено»

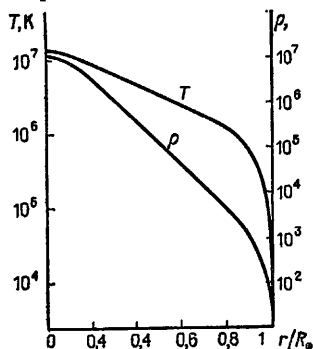


Рис. 179. Распределение плотности и температуры с расстоянием от центра Солнца — «модель Солнца». Плотность дана в единицах измерения 10^{-2} кг/м^3

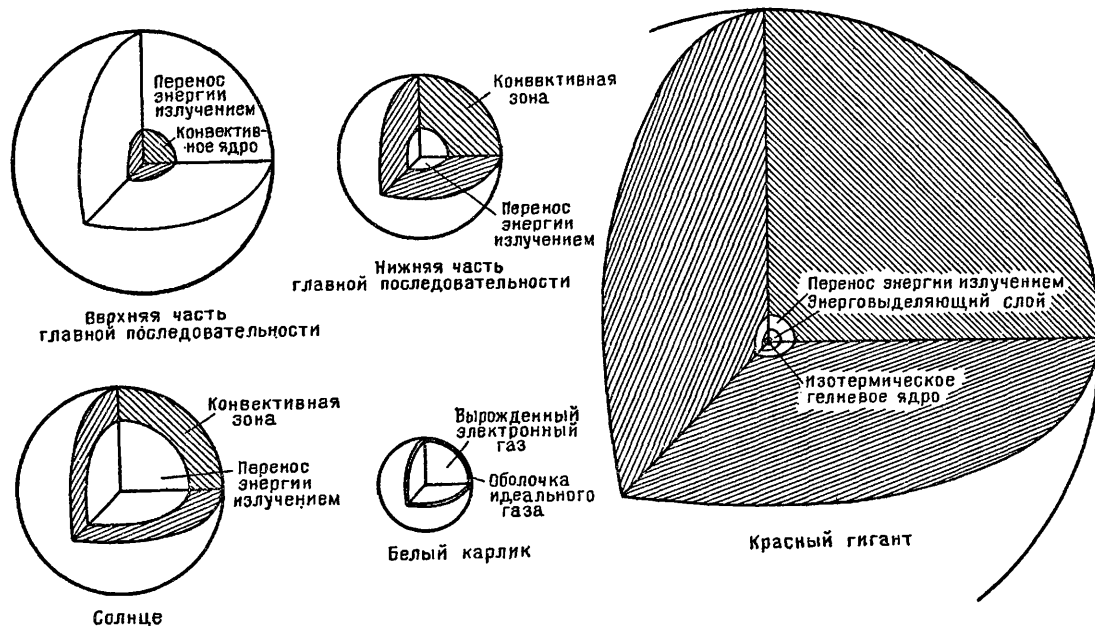


Рис. 180. Модели звезд различных типов

в конвективную оболочку, протяженность которой достигает $9/10$ радиуса звезды.

Строение звезд различных типов показано на рис. 180. О белых карликах несколько слов будет сказано ниже.

Эддингтоновский предел. Выше было упомянуто томсоновское рассеяние света, т. е. рассеяние на свободных электронах. Мы, однако, «приберегли» для этой строки число, которым этот эффект описывается: эффективное сечение («площадь экрана») здесь обозначается через σ_T и $\sigma_T = 6,65 \cdot 10^{-29} \text{ м}^2$.

Говоря о диаграмме спектр — светимость (см. рис. 86), мы также «забыли» упомянуть, что чем больше масса звезды M , тем выше ее место на главной последовательности, т. е. тем голубее будет ее цвет (выше ее поверхностная температура). Другими словами, в атмосферах массивных звезд атомы ионизованы и основную роль в рассеянии света играют электроны («работает» томсоновское рассеяние света).

До сих пор уже неоднократно говорилось о том, что между частицей и фотоном может происходить обмен энергией, ее рассеяние. Но ведь каждый квант света несет с собой и импульс, равный $\frac{h\nu}{c}$. Следовательно, если частица (будь то атом или электрон) поглощает или рассеивает квант света, то она получает также от него и его импульс, т. е. как бы получает толчок в направлении, в котором двигался квант. И вот какие выводы можно сделать из этого.

Пусть L — светимость звезды, R — ее радиус. Тогда на единицу площади приходится поток энергии $\frac{L}{4\pi R^2}$. Будем рассматривать звезду раннего спектрального класса, в оболочке которой лучистый перенос энергии «регулируют» свободные электроны. Умножив $\frac{L}{4\pi R^2}$ на σ_T , находим количество рассеянной энергии, а разделив полученное на скорость света c , получаем действующее на электрон *лучистое давление*. Теперь примем для простоты, что атмосфера звезды состоит из водорода, так что число электронов в ней в расчете на единицу объема равно числу протонов. На каждый же протон действует сила тяготения, направленная к центру звезды и равная $\frac{GMm_H}{R^2}$, где

$\mathcal{M}$ — масса звезды и m — масса протона, а G — гравитационная постоянная. Приравняв эти две величины, получим *эддингтоновский предел светимости*

$$L_E = \frac{4\pi c m_H}{\sigma_T} \mathcal{M} \approx 1,3 \cdot 10^{31} \left(\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot} \right) \text{ Вт.} \quad (13.13)$$

Иначе говоря, светимость не может быть больше L_E , так как в противном случае давление излучения приведет к разлету вещества звезды в окружающее ее пространство. При этом, хотя давление излучения действует непосредственно на электроны, «убегают» и протоны — ведь они связаны с электронами электростатическими силами!

Тем самым можно определить максимально возможную массу звезды, которая формируется из «обломка» газопылевой туманности. Ведь, как отмечалось в § 5, из наблюдений следует, что у звезды главной последовательности светимость L определяется ее массой $\mathcal{M}$: $L = L_\odot \left(\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot} \right)^4$. А ведь через стадию звезды главной последовательности проходят все без исключения звезды! Поэтому, приравняв это значение светимости L ее эддингтоновскому пределу L_E , найдем искомый верхний предел массы звезды: $\mathcal{M} \leq 70 \mathcal{M}_\odot$.

Об «экзотических» звездах. Строение белых карликов и нейтронных звезд изучают, используя аппарат квантовой механики и даже общей теории относительности. Поэтому здесь мы ограничимся всего лишь несколькими общими замечаниями.

В идеальном газе, из которого и «построены» обычные звезды, при его полной ионизации свободные электроны «равноправны» с ионами. И если этот газ — чистый водород, то электроны увеличивают его давление ровно вдвое. Это следует из формулы (13.1), если вместо значения $\mu = 1$ принять $\mu = 1/2$. Как и ионы, электроны распределяются по скоростям в соответствии с формулой Максвелла (12.11).

При большой плотности в недрах звезды реализуются условия для перехода вещества в особое, вырожденное состояние, в котором именно электроны играют главную роль. Более или менее наглядное объяснение вырождения примерно таково. В идеальном газе число свободных электронов в единице объ-

ема всегда меньше числа энергетических состояний, которые могут быть заняты ими (можно сказать иначе — скоростей, с которыми могут двигаться электроны). Однако при сжатии газа с увеличением числа частиц в единице объема наступает момент, когда число электронов становится больше числа возможных энергетических состояний. В соответствии же с принципом Паули, «железно работающим» в квантовой механике, в каждом из таких энергетических состояний не может находиться больше двух электронов. Поэтому электроны «вынуждены» занимать все возможные энергетические состояния от наименьшей до наибольшей скорости (от $v=0$ до $v=v_{\max}$). Если при этом $v_{\max} \ll c$ (c — скорость света), то вырождение называется нерелятивистским, при $v_{\max} \approx c$ — релятивистским. На графике типа рис. 172 распределения частиц по скоростям получим прямоугольник, одна из сторон которого примыкает к оси ординат.

Обращает на себя внимание тот факт, что давление вырожденного газа определяется плотностью среды и не зависит от ее температуры. Так, в случае вырожденного электронного газа (нерелятивистское вырождение) квантовая механика дает такую зависимость:

$$p = 3,1 \cdot 10^9 \rho^{5/3} \text{ Н/м}^2. \quad (13.14)$$

Мы уже знаем, что если равновесие конфигурации обеспечивается давлением вырожденного электронного газа, то ее радиус при массе в одну солнечную равен всего 5000 км, т. е. около $0,007 R_{\odot}$ — по порядку величины он равен радиусу Земли! Средняя плотность такой звезды — четыре тонны в одном кубическом сантиметре. Расчет показывает, что температура внутри *белого карлика* на протяжении примерно от центра до $0,98 R$ имеет практически одно и то же значение 10^7 К. Снаружи белый карлик окружен тонкой оболочкой «обычного» вещества, в котором при подходе к поверхности звезды температура резко уменьшается примерно до 10 000 К.

Нейтронная звезда — еще один тип равновесных конфигураций, равновесие которой поддерживается вырожденным нейтронным газом. Сам же нейтронный газ — результат процессов «вдавливания» электронов в атомные ядра, их взаимодействия с прото-

нами по схеме $p + e^- \rightarrow n + \nu$. Это как будто происходит в фазе коллапса звезды с массой около $3M_{\odot}$. Из теории следует, что давление нейтронного газа описывается формулой типа (13.14) с той только разницей, что численный коэффициент равен $5,3 \cdot 10^3$. Это связано с различием масс частиц, обеспечивающих равновесие, — электрона и нейтрона. Впрочем, в случае нейтронного газа приходится в выражение для давления вносить еще поправки на взаимное притяжение нейтронов под действием ядерных сил и на отталкивание нейтронов при больших плотностях....

Не вдаваясь в тонкости строения нейтронных звезд, отметим лишь особенности поведения их вещества в сильном магнитном поле, пронизывающем его. В обычных условиях, если исходить из квантовомеханических представлений, атом водорода можно рассматривать состоящим из практически точечного положительного заряда — ядра и отрицательно заряженного облачка — электрона. Именно диаметр этого облачка, около 10^{-10} м, и определяет размеры атома. В сверхсильном магнитном поле это отрицательное облачко вытягивается вдоль магнитной силовой линии. При этом существенно (в десятки раз) возрастает энергия отрыва электрона от атома. В поле с магнитной индукцией $B = 1$ ГТл (10^{13} Гс), вполне типичной для пульсаров, являющихся нейтронными звездами, происходит деформация электронных оболочек всех атомов, а сила взаимодействия между атомами резко возрастает. В итоге атомы сближаются таким образом, чтобы ядро одного из них входило в плотную часть электронного облака другого. Так образуются «молекулы» — полимерные цепочки, вытянутые, точнее закрученные в тугие спирали вдоль силовых линий. Такие цепочки принято называть *нитевидными кристаллами Рудермана*.

В итоге существенно увеличивается плотность вещества. Так, плотность железа в поле 100 МТл составляет 2700 т/м³, т. е. она возрастает более чем в 30 раз. Температура плавления нитевидных кристаллов составляет десятки миллионов кельвинов. Благодаря этому на поверхности нейтронной звезды вещество находится... в кристаллизованном состоянии.

14. МОГУЩЕСТВО ГРАВИТАЦИИ

Одна из четырех. Гравитация определяет внутреннее строение небесных тел, их форму и движение в пространстве. Она если и не самый главный, то по крайней мере один из важнейших «ключей» к тайнам мироздания. Всего же их известно четыре. Речь идет о существовании в природе четырех типов материальных связей между физическими объектами, четырех взаимодействий: *электромагнитного, слабого, сильного и гравитационного.*

Напомним, что электромагнитное взаимодействие регулирует взаимодействие частиц, имеющих электрический заряд или магнитный момент; благодаря ему существуют атомы и молекулы, электромагнитные волны, происходит аннигиляция (уничтожение) и рождение пары электрон-позитрон и др. Слабое взаимодействие «управляет» процессами распада нестабильных частиц (например, $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$), взаимодействием нейтрино с веществом. Сильное взаимодействие «ответственно» за прочную связь нуклонов в атомных ядрах, за превращения барионов. Гравитационное взаимодействие управляет движением небесных тел, им определяется строение всего окружающего нас мира.

Ранее (см. § 6) мы уже упомянули о современных взглядах на эволюцию Вселенной, о ее «рождении» из «вакуумной пены», отметили, что на самом раннем этапе развития температура во Вселенной достигала фантастических значений, больших 10^{30} К. Тогда, оказывается, различия между упомянутыми выше взаимодействиями еще не было. И лишь постепенно, по мере понижения температуры происходило «отщепление» сначала гравитации, затем сильных взаимодействий и, наконец, слабого взаимодействия, как это показано на рис. 126.

Наш рассказ о могуществе гравитации мы начнем сейчас со ставшего уже тривиальным вопроса о первой космической скорости, о движении Луны. Однако закончить его мы намерены на самом «высоком регистре»: упомянуть о современных представлениях, согласно которым наша Вселенная замкнута, а ее полная масса... равна нулю. И здесь прежде всего уместно обратить внимание на одно явление, общее для

гравитации и сильного взаимодействия, — на *дефект массы*.

Итак, из теории следует, что на ранней стадии эволюции Вселенной появившиеся буквально на мгновение сверхтяжелые частицы — *бозоны* — распадаются на *кварки* — частицы с дробным электрическим зарядом (возможно, это они — истинные «кирпичики» мироздания). Вскоре, объединяясь по три, кварки образуют протоны и нейтроны — привычные для нас структурные единицы вещества.

Но согласно оценкам масса кварка по крайней мере в пять раз больше массы протона (см. *Мухин К. Н. Занимательная ядерная физика*. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — С. 281). Получается так, что из массы в $15m_p$ рождается частица в $1m_p$. Куда же девается $14m_p$?

Все дело в том, что существует понятие *энергии покоя* частицы, связанной с ее массой покоя m *формулой Эйнштейна*

$$E = mc^2, \quad (14.1)$$

где c — скорость света. При объединении трех кварков с образованием протона (или нейтрона) имеет место дефект массы: результирующая масса меньше суммы масс частиц, вступающих во взаимодействие, на величину Δm . И эта последняя уходит из сформировавшейся системы в качественно новом виде — в виде электромагнитного излучения.

Величину освободившейся энергии определяют, умножая дефект массы Δm на квадрат скорости света.

Мы увидим далее, что точно так же, в результате синтеза более сложных ядер освобождается энергия в недрах звезд. Но мы увидим также, что формула (14.1) дает ключ к пониманию того, почему все же Луна вращается вокруг Земли, а Вселенная расширяется...

Задача двух тел. Мы уже знаем, что законы Кеплера (§ 2) являются следствием действия закона всемирного тяготения (2.2), знаем также, что движение по эллипсу — это всего лишь частный случай решения *задачи двух тел*. Так называется задача о движении

двух небесных тел, притягивающих друг друга по закону всемирного тяготения.

Все же мы напомним, как получают характерные скорости движения тела («пробной частицы», спутника, планеты) в поле «силового центра». Рассмотрим материальную частицу с массой m , обращающуюся вокруг тела с массой M по круговой орбите. На эту частицу действует *сила притяжения*, направленная к центру орбиты (рис. 181)

$$F_a = \frac{GMm}{r^2}, \quad (14.2)$$

где G — постоянная гравитации.

Тем не менее частица m на массу M не падает. Почему? Да потому, что поскольку она движется по криволинейной траектории, на нее действует также *центростремительная сила*

$$F_v = \frac{mv^2}{r}, \quad (14.3)$$

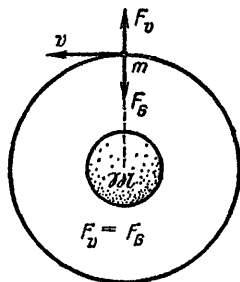


Рис. 181. К выводу первой космической скорости

где v и r — соответственно скорость частицы m и ее расстояние до «силового центра».

Приравняв эти две силы, находим формулу для *круговой скорости*:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{GM}{r}}. \quad (14.4)$$

Если вместо M и r в эту формулу подставить массу Земли и ее радиус, то получим первую космическую скорость ($v_1 \approx 8$ км/с), о которой речь шла в § 11.

Есть еще и *вторая космическая скорость*, вывод формулы для которой мы сделаем несколько позже. А сейчас лишь констатируем, что эта *параболическая скорость* v_{II} в $\sqrt{2}$ раза больше круговой: $v_{II} = \sqrt{2} v_{кр}$, и перечислим типы орбит, по которым движется масса m в зависимости от значения ее скорости v_0 на каком-то расстоянии r_0 от силового центра (будем полагать, что в точке r_0 эта скорость перпендикулярна радиусу-вектору тела). Имеем:

1. $v_0 < v_{кр}$ — начальная скорость меньше круговой. Тело движется по эллипсу, у которого начальная точка r_0 является наиболее удаленной от массы M .

2. $v_0 = v_{кр}$ — тело движется по круговой орбите.
3. $v_{кр} < v_0 < v_{II}$ — тело движется по эллиптической орбите, причем по мере увеличения скорости v_0 ее эксцентриситет возрастает от $e \approx 0$ до $e \approx 1$.
4. $v_0 = v_{II}$ — скорость тела равна параболической. Орбита перестает быть замкнутой, и тело, пройдя точку r_0 , уходит на бесконечность.
5. $v_0 > v_{II}$ — тело движется по гиперболе, изогнутость которой тем меньше, чем больше начальная скорость v_0 (рис. 182).

Поверхности равного потенциала. Для характеристики гравитационного поля вокруг массы $\mathcal{M}$ оказалось удобным ввести понятие *гравитационного потенциала*

$$\Phi = - \frac{G\mathcal{M}}{r}. \quad (14.5)$$

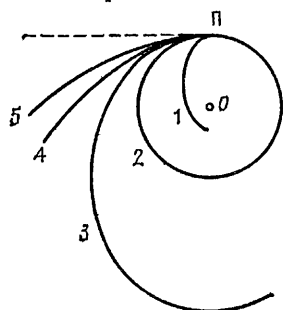


Рис. 182. Типы траекторий в задаче двух тел

Поверхность сферы радиуса r , описанной вокруг массы $\mathcal{M}$ принято вызывать *поверхностью равного потенциала* или *экипотенциальной поверхностью*, и если пробной частице m задана соответствующая этому расстоянию скорость $v_{кр}$, то эта частица

будет «скользить» по экипотенциальной поверхности сколь угодно долго без дополнительной затраты энергии.

При перемещении частицы m с расстояния r_1 от массы $\mathcal{M}$ на расстояние r_2 выполняется работа A , равная разности потенциалов Φ_1 и Φ_2 , умноженной на значение массы m :

$$A = m(\Phi_2 - \Phi_1). \quad (14.6)$$

В частности, если $r_2 = r_1 + \Delta r$, где Δr — малая величина ($\Delta r \ll r_1$), то из (14.6) найдем, пользуясь разложением в ряд $\left(\frac{1}{1+\alpha} \approx 1 - \alpha + \dots\right)$,

$$\begin{aligned} A &= -m \left[\frac{G\mathcal{M}}{r_1 + \Delta r} - \frac{G\mathcal{M}}{r_1} \right] = -\frac{G\mathcal{M}m}{r_1} \left[\frac{1}{1 + \Delta r/r_1} - 1 \right] = \\ &= \frac{G\mathcal{M}m}{r_1} \left[1 - \frac{\Delta r}{r_1} - 1 \right] = \frac{G\mathcal{M}m}{r_1^2} \Delta r = F(r_1) \Delta r. \end{aligned}$$

Но это хорошо известное соотношение: работа равна произведению силы на пройденный путь.

Очевидно, что если $r_2 < r_1$ (частица m приближается к массе $\mathcal{M}$), то происходит освобождение энергии.

В том случае, если $r_2 = \infty$, говорят о перемещении частицы на бесконечность. Следовательно, работа, которую необходимо выполнить, чтобы преодолеть силу притяжения массы $\mathcal{M}$ и удалить массу m на бесконечность, равна

$$A = \varphi m = \frac{G\mathcal{M}m}{r_1}. \quad (14.7)$$

Как же мы удаляем упомянутую массу m ? Мы можем «толкнуть» ее вверх с какой-то начальной скоростью v (рис. 183), т. е. сообщить ей определенную начальную кинетическую энергию

$$E = \frac{mv^2}{2}. \quad (14.8)$$

Очевидно, частица m не упадет обратно на массу $\mathcal{M}$, если будет выполняться условие $E \geq A$. При условии же $E = A$ получается выражение для второй космической скорости

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2G\mathcal{M}}{r}}. \quad (14.9)$$

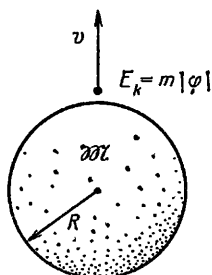


Рис. 183. К выводу второй космической скорости

Как видим, и в самом деле она в $\sqrt{2}$ раза больше первой космической скорости.

Потенциальная энергия системы тел. Два тела с массами $\mathcal{M}_1$ и $\mathcal{M}_2$ обращаются вокруг общего центра масс, находясь на расстоянии a друг от друга. Какую работу необходимо выполнить, чтобы удалить взаимно эти массы на бесконечность? Иначе говоря, какова величина *потенциальной энергии системы двух тел*?

Полагая в (14.6) $r_2 = \infty$, находим, что

$$\Omega = -\frac{G\mathcal{M}_1\mathcal{M}_2}{a}. \quad (14.10)$$

Это и есть искомая величина.

Нетрудно подсчитать, что для системы Земля — Луна, где $\mathcal{M}_{\oplus} = 6 \cdot 10^{24}$ кг, $\mathcal{M}_{\zeta} = 7,4 \cdot 10^{22}$ кг, $a_{\zeta} = 3,84 \cdot 10^8$ м, потенциальная энергия Ω равна $-7,6 \cdot 10^{28}$ Дж.

А теперь вернемся к тому, с чего был начат разговор о гравитации. Пользуясь формулой Эйнштейна (14.1), можно рассчитать массу, соответствующую найденному значению Ω : $m = \frac{|\Omega|}{c^2}$. Это $8,5 \cdot 10^{11}$ кг — по сравнению с массой Луны величина крайне незначительная. Тем не менее «факт налицо»: масса системы Земля — Луна на $8,5 \cdot 10^{11}$ кг меньше суммы масс обоих тел в отдельности. Этот дефект массы и удерживает Луну вблизи Земли! Вопрос о «замкнутости Вселенной» оставим «под занавес» этого рассказа.

Предел Роша. До сих пор мы говорили о двух «точечных» массах. На самом же деле каждая из них

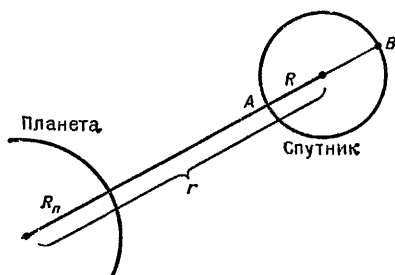


Рис. 184. К установлению «предела Роша»: за счет разности ускорений в точках A и B спутник разрывается на части

имеет определенные размеры. Тем не менее если распределение вещества симметрично относительно центра масс и расстояние между двумя телами значительно больше их размеров, то предположение «вся масса тела сконцентрирована в одной точке — его центре» вполне оправдано.

Рассмотрим теперь спутник радиуса R , обращающийся вокруг планеты, имеющей радиус R_p и массу M , на расстоянии r от нее. Из рис. 184 видно, что ближайшая к планете точка спутника A находится на расстоянии $r - R$, наиболее удаленная точка B — на расстоянии $r + R$ от центра планеты. Поэтому сила притяжения, действующая на каждую материальную частицу, находящуюся в точке A , больше силы притяжения, действующей на частицу, находящуюся в точке B . Разделив величину силы на массу частицы, получаем ускорение ω . Разность же ускорений, сооб-

щаемых частицам в точках A и B при $R \ll r$, равна

$$\omega_A - \omega_B = \frac{GM}{(r-R)^2} - \frac{GM}{(r+R)^2} \approx \frac{4GM R}{r^3}.$$

С уменьшением расстояния спутника от планеты эта разность ускорения увеличивается, и, как показал французский астроном Эдуард Рош (1820—1883), при расстоянии

$$r_R \approx 2,46 \left(\frac{\rho_c}{\rho_n} \right) R_n \quad (14.11)$$

спутник будет разорван на части. Здесь ρ_c и ρ_n — соответственно средние плотности спутника и планеты. При их равенстве спутник будет разорван, если приблизится к планете на расстояние $2,46 R_n$.

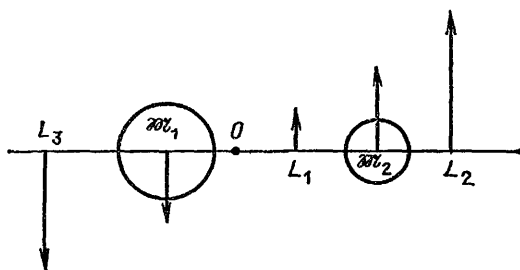


Рис. 185. Прямолинейные (коллинеарные) точки либрации

Сказанное, однако, относится «безоговорочно» к газообразному или жидкому спутнику. Разрушение твердого спутника наступит лишь в случае, если его размеры превысят некоторое определенное значение.

О задаче трех тел. Задача о движении нескольких тел, притягивающих друг друга по закону Ньютона, в математическом отношении настолько трудна, что до сих пор нет пригодных для использования решений. Даже для движения трех тел!

В этом последнем случае, однако, есть несколько «счастливых исключений» или, как принято говорить, частных решений. Об этом «первым узнал» еще в 1772 г. французский математик и астроном Жозеф Лагранж (1736—1813). Другими словами, задача трех тел имеет точное решение:

1) если все три тела лежат на одной прямой, причем третье тело находится в точке L_1 , L_2 или L_3 (рис. 185),

2) если все три тела образуют равносторонний треугольник, причем третье тело находится в точке L_4 или L_5 (рис. 186).

Эти пять точек принято называть *центрами либрации* или *точками Лагранжа*, первые три также коллинеарными, вторые две — тригональными точками либрации. Оказывается, что если в одну из них поместить третье тело, то все три тела M_1 , M_2 и M_3 будут двигаться в плоскости, в которой они находятся,

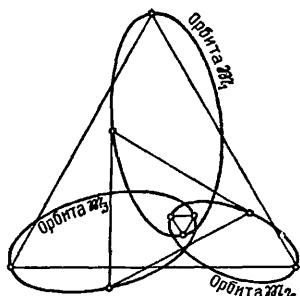


Рис. 186. Треугольные (тригональные) точки либрации: материальные точки M_1 , M_2 и M_3 , расположенные в вершинах равностороннего треугольника, сохраняют форму фигуры при перемещениях. Показано положение тел для трех моментов времени

причем отношения между их взаимными расстояниями всегда будут одними и теми же. Если масса второго тела не превышает $0,04M_1$, а массой M_3 можно пренебречь, то при движении их вокруг общего центра тяжести они полностью сохраняют свое расположение друг относительно друга.

Этот последний вариант, по-видимому, реализуется Природой довольно часто. Так, мы уже знаем (см. рис. 76), что вместе с Юпитером (на его орбите) на 60° впереди и на 60° позади него вокруг Солнца обращаются две группы небольших небесных тел (астероидов) — «греки» и «троянцы». Первые убегают, вторые их догоняют, как в древнегреческом эпосе о Троянской войне... Далее, в 1961 г. польский астроном К. Кордылевский обнаружил, что точно так же вместе с Луной вокруг Земли движутся два разреженных пылевых облака. Одно из них опережает Луну на 60° , второе отстает на столько же. Точки либрации системы Земля — Луна показаны на рис. 187.

Если a — большая полуось лунной орбиты ($a = 384\,400$ км), то расстояние точки L_1 от Луны $r_{L_1} = 0,15a \approx 57\,600$ км, расстояние точки L_2 от нее же $r_{L_2} = 0,17a \approx 65\,300$ км, расстояние точки L_3 от

Земли $r_{L_3} = 0,99a \approx 380\,000$ км. Если, далее, $v = 1,02$ км/с — средняя орбитальная скорость Луны, то соответствующие скорости «третьего тела» в упомянутых точках таковы: $v_{L_4} = 0,85v$, $v_{L_5} = 1,17v$ и $v_{L_3} = 0,99v$. Следует помнить, что положение тела

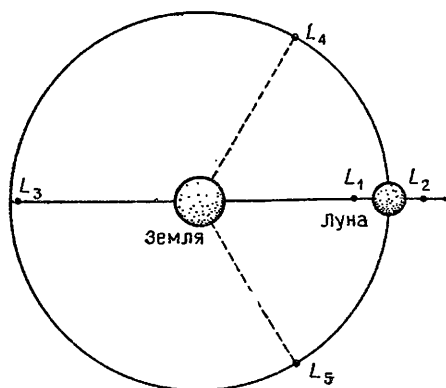


Рис. 187. Точки либрации системы Земля — Луна

в этих трех коллинеарных (прямолинейных) точках либрации является неустойчивым, тогда как в тригональных точках L_4 и L_5 оно, наоборот, устойчивое.

Полости Роша. Рассмотрим еще раз случай двух масс $\mathcal{M}_1$ и $\mathcal{M}_2$, обращающихся вокруг общего центра тяжести C на взаимном расстоянии a друг от друга. Будем описывать вокруг каждой из масс эквипотенциальные поверхности. По мере удаления от центра как одной, так и другой массы эти поверхности равного потенциала все больше отклоняются от сферических и приобретают эллипсоидальную форму. Наконец они соприкасаются в точке L_1 — *внутренней точке Лагранжа* (рис. 188). Создается как бы общая поверхность в виде песочных часов, напоминающая в сечении восьмерку. Пробная частица m , выведенная на эту поверхность вблизи одной звезды с соответствующей скоростью $v_{кр}$, пройдет через точку L_1 и окажется в поле тяготения другой звезды, описывая восьмерки сколь угодно долго.

Эта общая эквипотенциальная поверхность называется *критической поверхностью Роша*, а охваченное ею пространство — *полостью Роша*.

При еще большем расстоянии от центра той или другой массы частица m , двигаясь в поле тяжести системы, будет описывать еще более сложные траектории. Как видно из рис. 188, упомянутые ранее точки Лагранжа L_2 и L_3 образуются пересечением поверхностей равных потенциалов. Попад в одну из этих

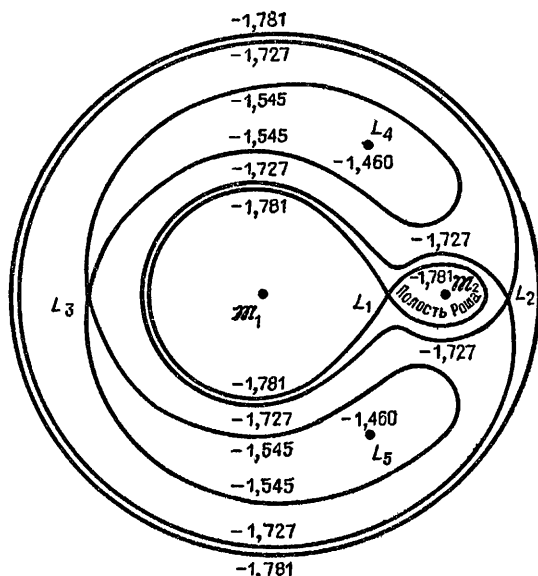


Рис. 188. Сечение поверхностей равного потенциала плоскостью, в которой происходит обращение звезд вокруг общего центра масс, если $M_1 = 9M_2$. Числами указаны значения безразмерного потенциала $\Omega = \frac{a\Phi}{GM}$

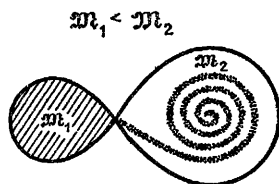
точек, частица окажется в положении относительного равновесия. Потеряв часть своей энергии (например, при соударении с такой же частицей), фиксированная масса m может попасть в «потенциальную яму» — занять устойчивое положение в одной из *тригональных точек либрации* — L_4 или L_5 . Не следует забывать, однако, что система тел $M_1 - M_2$ обращается вокруг общего центра масс с периодом, величина которого определяется третьим обобщенным законом Кеплера (2.3).

На расстояниях от центра инерции, превышающих расстояния точек L_2 и L_3 , форма эквипотенциальных

поверхностей все больше приближается к сферической. Это значит, что на больших расстояниях притяжение системы двух масс эквивалентно притяжению одной массы, находящейся в центре инерции.

Все это так, скажет читатель, но зачем нам знать об этом? Дело в том, что после «выгорания» водорода в недрах звезды ее ядро сжимается, а оболочка разбухает, заполняя «свою» полость Роша. После этого вещество звезды начинает перетекать к звездеспутнику (рис. 189). Именно благодаря такому обмену массой и создаются условия для вспышек новых звезд, возникает, в частности, явление рентгеновского

Рис. 189. Схема, объясняющая заполнение одной из компонент своей полости Роша и перетекание вещества от одной звезды к другой — белому карлику, нейтронной звезде или к черной дыре



пульсара (см. § 5). Вообще же выпадение вещества на нейтронную звезду — *аккреция* — в зависимости от мощности потока, скорости вращения звезды и величины ее магнитного поля «заканчивается» весьма неодинаково. Так, в случае сверхкритической аккреции, когда поток вещества «слишком велик» и светимость звезды достигает эддингтоновского предела (см. § 13), «излишки» потока со скоростями, сравнимыми со скоростью света (!), выбрасываются обратно, но иногда — исключительно в обе стороны вдоль оси вращения звезды. Примером здесь является ставший знаменитым объект SS 433 (звезда V 1343 Орла), двойственность которой была установлена А. М. Черепашуком. Обо всех этих интереснейших явлениях читатель может узнать, в частности, из книг В. М. Липунова «В мире двойных звезд» (М.: Наука, 1986) и «Все нейтронные звезды» (М.: Просвещение, 1988).

Теорема о вирнале. Как оказалось, можно все же «выудить» очень полезное соотношение между параметрами задачи и в случае N тел. Рассуждают здесь следующим образом. В системе из N материальных частиц, притягивающих друг друга по закону (2.2), каждая из частиц движется с определенной скоростью

v_i и имеет кинетическую энергию $E_i = \frac{m_i v_i^2}{2}$ (i — номер частицы). Очевидно, что полная кинетическая энергия частиц равна $E = \sum_{i=1}^N \frac{m_i v_i^2}{2}$. Фиксиро-

ванная, i -я частица гравитационно взаимодействует со всеми остальными с 1-й по N -ю, за исключением самой себя. Эти «остальные» обозначим индексом k . Следовательно, потенциальная энергия взаимодействия i -й частицы со всеми остальными равна $\Omega_i =$

$$= - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N \frac{G m_i m_k}{r_{ik}}. \text{ Но так же взаимодействует с дру-}$$

гими частицами каждая из k частиц. Поэтому потенциальная энергия системы определяется двойной сум-

$$\text{мой } \Omega = - \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^N \frac{G m_i m_k}{r_{ik}}. \text{ Как показал анализ, если}$$

на систему не действуют никакие внешние силы, то сумма удвоенной кинетической и потенциальной энергии системы равна нулю, т. е.

$$2E + \Omega = 0. \quad (14.12)$$

Это и есть *теорема о вириале*.

Оказалось, что можно ввести понятие о средней скорости частицы $\bar{v}$ (скажем, звезды в Галактике

или галактики в их скоплении), тогда $\sum_{i=1}^N m_i = \mathfrak{M}$, где

$\mathfrak{M}$ — полная масса системы, имеющей размер R .

Потенциальная же энергия системы N частиц может быть приближенно представлена в виде $\Omega \approx - \frac{G \mathfrak{M}^2}{R}$.

В итоге из (14.12) удастся получить связь между массой системы $\mathfrak{M}$ и ее размером R :

$$\mathfrak{M} = \frac{R \bar{v}^2}{G}. \quad (14.13)$$

С помощью этого соотношения удалось, в частности, установить наличие «скрытой» массы в скоплениях галактик (см. § 6).

О черных дырах. Пока мы еще не обмолвились ни словом об этих экзотических объектах, хотя пред-

ставление о черных дырах уже прочно вошло в обиход.

Начнем разговор с констатации следующего: закон всемирного тяготения (2.2) говорит о том, что с уменьшением расстояния r между двумя массами (а предполагается, что они «собранны» в точки!) сила взаимодействия возрастает неограниченно: $F \rightarrow \infty$ при $r \rightarrow 0$.

Современная теория тяготения была разработана А. Эйнштейном, это общая теория относительности, и в ней понятия силы взаимодействия между телами

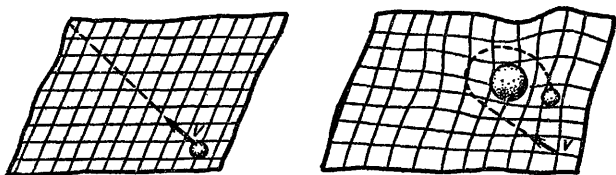


Рис. 190. Моделирование пространства-времени с помощью резиновой мембраны, на которой установлена тяжелая масса

вообще нет. В этой теории используется представление об искривленном пространстве-времени, причем степень отклонения от евклидова пространства зависит от массы тела и расстояния до него. По Эйнштейну, падение тел в гравитационном поле можно рассматривать как их свободное движение по геодезическим линиям в четырехмерном пространстве-времени. В качестве примера обычно приводится горизонтально натянутая резиновая пленка, по которой движется легкий шарик (рис. 190). Если на пленку положить тяжелое тело, то под действием его веса пленка прогнется, и шарик, ранее двигавшийся по прямой, будет скатываться к тяжелому телу, что и можно назвать «притяжением».

Тем не менее в некоторых частных случаях теория относительности позволяет получить решения, которые можно перевести на язык привычной для нас ньютоновской механики. Так, из теории относительности следует, что на самом деле закон всемирного тяготения следует записывать в таком виде:

$$F = \frac{GMm}{r^2 \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}},$$

где $\mathcal{M}$ — масса «силового центра», m — масса «пробной частицы», G — гравитационная постоянная, c — скорость света. Эту формулу можно переписать и в виде

$$F = \frac{G\mathcal{M}m}{r^2 \sqrt{1 - \frac{R_g}{r}}}, \quad (14.14)$$

где использовано обозначение

$$R_g = \frac{2G\mathcal{M}}{c^2}. \quad (14.15)$$

Величину R_g принято называть *гравитационным радиусом массы* $\mathcal{M}$. Теперь ясно, что сила тяготения, действующая на пробную частицу m со стороны массы $\mathcal{M}$, возрастает до бесконечности не при $r \rightarrow 0$, а при $r \rightarrow R_g$.

Для Солнца гравитационный радиус R_g равен 2,96 км.

Сфера радиуса R_g , описанная вокруг центра массы $\mathcal{M}$, называется *сферой Шварцшильда*. *Черной дырой* и называется объект, масса которого «втиснута» внутрь сферы Шварцшильда. Он «черный» потому, что, как следует из формулы (14.14), сила тяготения на его «поверхности» — сфере Шварцшильда — бесконечно велика. Поэтому из черной дыры наружу не может вырваться ничего: ни квант света, ни любая частица вещества. Наоборот, черная дыра «захватывает» и «проглатывает» всё, что встречается вокруг нее. Все проваливается через сферу Шварцшильда, как в бездну!

По существующим в настоящее время взглядам на эволюцию звезд черная дыра — закономерный продукт заключительного этапа «жизни» звезды, масса которой превышала $10\mathcal{M}_\odot$. Предполагается, что если эта масса была меньше $10\mathcal{M}_\odot$, то звезда в состоянии «избавиться» от ее большей части (вещество «сплывает» из короны звезды в виде потоков — *звездного ветра* — или же отделяется целыми оболочками при вспышках сверхновых), тогда как остаток — ядро звезды с массой $1,2\mathcal{M}_\odot \leq \mathcal{M} \leq 3\mathcal{M}_\odot$ образует нейтронную звезду. Для более массивных звезд судьба предрешена: их вещество должно «провалиться» внутрь сферы Шварцшильда и образовать черную дыру...

По некоторым подсчетам количество черных дыр в нашей Галактике может достигать 100 млн. Однако обнаружить такой объект можно лишь в случае, если он является компонентом двойной системы. Если в такой системе «обычная» звезда заполнила свою полость Роша и ее вещество через внутреннюю точку Лагранжа перетекает по направлению к черной дыре (см. рис. 189), то в поле тяготения черной дыры газ будет двигаться по спиральным траекториям с ускорением. Его частицы будут сталкиваться между собой и разогреваться до температуры в десятки миллионов кельвинов. В итоге возникнет мощное рентгеновское излучение, причем с характерными (на протяжении менее 0,01 с) нерегулярными колебаниями интенсивности.

Уже известно несколько «кандидатов» в черные дыры. Это, в частности, звезда HDE 226868 (она же мощный источник рентгеновского излучения, обозначаемый Лебедь X-1), расстояние до которой более 6500 световых лет. Упомянем еще звезду в Возничего, объект Циркуль X-1, звезду X Персея и переменную V 1343 Орла (рентгеновский источник SS 433).

Предполагается, что большие фрагменты вещества сразу сжимаются за сферу Шварцшильда. Ведь мы уже видели в § 13, что, поскольку существует эддингтоновский предел светимости, масса звезды не может превышать $70M_{\odot}$. Если «обломок» вещества газопылевого облака «не сумел» разделиться на более мелкие части, то он (если происходит его быстрое охлаждение!) сжимается как единое целое.

Предполагается, что в ядре нашей Галактики существует массивная черная дыра, возможно, она даже двойная. Исследование этих проблем только начинается.

Вселенная... «из ничего». «Возможно ли образование Вселенной «из ничего» — именно так называется последняя статья крупнейшего советского физика и астрофизика Я. Б. Зельдовича (1914—1987), опубликованная в журнале «Природа» (1988. — № 4. — С. 16—26). Как отмечает там же другой выдающийся ученый А. Д. Сахаров (1921—1989), «аргументация Зельдовича в статье сильна и убедительна». Вывод из этого следует такой: образование Вселенной «из ничего» не противоречит каким-либо твердо установленным общим законам природы.

Вероятно, главный ключ к пониманию этого, на первый взгляд невероятного представления — дефект массы, о котором уже много говорилось выше. В наблюдаемой области Вселенной суммарная масса оценивается в $10^{22} \mathcal{M}_{\odot}$, а это примерно сто миллиардов галактик. Указанная здесь масса получена в результате сложения масс отдельно взятых галактик. Но мы уже знаем, что поскольку они образуют единую систему, следует учитывать их гравитационное взаимодействие. Другими словами, полная масса наблюдаемой части Вселенной (а в принципе, этот вывод можно расширить и на всю Вселенную) равна

$$\mathcal{M} = \mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2 + \dots + \mathcal{M}_i + \dots \\ \dots - \frac{G\mathcal{M}_1\mathcal{M}_i}{c^2 r_{1i}} - \dots - \frac{G\mathcal{M}_i\mathcal{M}_k}{c^2 r_{ik}} \dots,$$

где $\mathcal{M}_i$ — масса i -й галактики, r_{ik} — расстояние между i -й и k -й галактиками.

Дальше у Я. Б. Зельдовича читаем: «Еще раньше в замечательной книге Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица «Теория поля» проводилось точное и строго формальное доказательство того, что масса (а значит, и энергия) замкнутого мира тождественно равна нулю. Предыдущие рассуждения позволяют понять это утверждение наглядно. Отрицательная гравитационная энергия взаимодействия частей точно компенсирует положительную энергию суммы всех частей, всего вещества. Общая теория относительности, связывающая тяготение и геометрию, доказывает, что точная компенсация происходит тогда и только тогда, когда становится замкнутым пространство, в котором находится вещество.

Итак, общая теория относительности устраняет последнее препятствие на пути рождения Вселенной «из ничего». Энергия «ничего» равна нулю. Но и энергия замкнутой Вселенной равна нулю. Значит, закон сохранения энергии не противоречит образованию «из ничего» замкнутой Вселенной (но именно геометрически замкнутой, а не открытой бесконечной Вселенной)».

В самом деле, если на начальной стадии кривизна двумерного пространства — поверхности шара (ее отклонение от плоскостности) и была очень большой, то после раздувания и резкого увеличения масшта-

бов она мало будет отличаться от плоскости (рис. 191). Этим и объясняется то, что мы сегодня живем «в трехмерном евклидовом пространстве»...

Однако все, что касается закономерностей развития Вселенной в целом, лишь недавно оказалось «на переднем плане»! Говоря словами Дж. Джинса, мы всего лишь в начале пути, и, как отметил А. Д. Сахаров, «само состояние нашего знания сегодня таково, что некоторые утверждения являются гипотетическими, и не исключено, что в действительности все

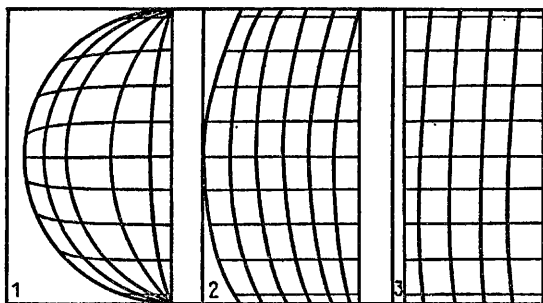


Рис. 191. Пример, объясняющий нынешнюю евклидовость пространства Вселенной: при резком увеличении размеров шара геометрия его поверхности становится практически евклидовой

обстоит иначе. Зельдович неоднократно повторяет это...» Но, с другой стороны: «В статье Зельдовича показано, что, по крайней мере, **НЕТ ПРЕПЯТСТВИЙ** к квантовому рождению Вселенной со стороны основных физических законов сохранения. Вселенная при этом должна быть замкнутой (иметь конечный объем)».

15. ЭНЕРГЕТИКА ЗВЕЗД

Открытие источников энергии звезд является несомненно величайшим достижением человеческого гения в его стремлении раскрыть тайны окружающего нас мира. Оно было осуществлено общими усилиями астрономов и физиков.

Метеоритная гипотеза Майера. Как мы уже знаем, долгое время существовало представление о том, что

на поверхности Солнца может процветать жизнь во всем ее многообразии. Но как только в середине прошлого века был поставлен вопрос: сколько энергии излучает Солнце в единицу времени, и вытекающий из него другой — откуда берется эта энергия, — эти наивные взгляды пришлось перечеркнуть.

Вопрос об источниках энергии звезд был, впрочем, затронут еще Ньютоном. В «Математических началах натуральной философии» он писал: «Таким образом, неподвижные звезды, которые постепенно истратились на свет и пары, могут восстанавливаться падающими на них кометами и, получив новый запас горючего, могут быть приняты за новые звезды».

Более подробно эту гипотезу разработал в 1845 г. немецкий физик Роберт Майер (1814—1878). Он сделал попытку доказать, что Солнце светится за счет падения на него вещества из межпланетного пространства (метеорных тел). Нетрудно, однако, убедиться, что такой механизм освобождения энергии уже в то время, в середине прошлого столетия, не мог не вызвать серьезной критики. Посмотрим, в чем «слабые места» этой гипотезы, если даже допустить возможность существования в окрестностях Солнца больших «запасов» упомянутого вещества.

Итак, в соответствии с гипотезой Майера за счет прироста массы Солнца происходит изменение его потенциальной энергии. При дальнейших расчетах будем помнить, что половина выделившейся энергии излучается, вторая же идет на разогрев вещества звезды.

Прежде всего вспомним, что звезда, имеющая массу M и радиус R , обладает потенциальной энергией Ω , значение которой определяется формулой (13.10). Предположим, что масса звезды увеличилась на dM . Как определить прирост потенциальной энергии $d\Omega$? Тот читатель, который уже знаком с элементами высшей математики, ответит сразу: необходимо соотношение (13.10) продифференцировать по M . Для тех же, кто с упомянутым методом не знаком, скажем так: для определения прироста $d\Omega$ следует вместо массы M в формулу (13.10) подставить $M + dM$. Так как несомненно $dM \ll M$, то при возведении в квадрат третьим слагаемым можно

пренебречь:

$$|\Omega + d\Omega| = \frac{3}{2} \frac{G(\mathcal{M} + d\mathcal{M})^2}{R} \approx \frac{3G(\mathcal{M}^2 + 2\mathcal{M} d\mathcal{M})}{2R} \approx \frac{3G\mathcal{M}^2}{2R} + \frac{3G\mathcal{M} d\mathcal{M}}{R},$$

и поэтому

$$|d\Omega| = \frac{3G\mathcal{M} d\mathcal{M}}{R}.$$

Примем, что $d\mathcal{M}$ — это прирост массы за год, в котором насчитывается $T_a = 3,16 \cdot 10^7$ с. Светимость Солнца $L_\odot$ (энергия, излучаемая им в одну секунду) в наше время равна $3,88 \cdot 10^{26}$ Вт, следовательно, при неизменной светимости за год Солнце излучит энергию $Q = L_\odot T_a$, или $Q = 1,23 \cdot 10^{34}$ Дж. Приравняв половину прироста потенциальной энергии Солнца за год ее потерям на высвечивание, найдем прирост массы $d\mathcal{M}$ за этот промежуток времени:

$$d\mathcal{M} = \frac{2T_a L_\odot R_\odot}{3G\mathcal{M}_\odot}. \quad (15.1)$$

Подставляя численные значения величин, найдем искомый прирост массы Солнца за год $d\mathcal{M} = 4,4 \cdot 10^{22}$ кг, т. е. 0,0068 массы Земли за год или одна масса Земли в каждые 147 лет.

Величина, как видим, крайне малая по сравнению с массой Солнца, и этот прирост непосредственно заметить бы не удалось. Есть, однако, другой тест: период обращения Земли вокруг Солнца, который ведь определяется его массой. Проверим это.

Скорость движения Земли по круговой орбите радиуса a равна $v = \sqrt{\frac{G\mathcal{M}}{a}}$, период же ее обращения

$$T = \frac{2\pi a}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{G\mathcal{M}}} = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{G}} \frac{1}{\sqrt{\mathcal{M}}}.$$

Как и раньше, чтобы найти прирост периода dT за счет увеличения массы $d\mathcal{M}$, необходимо это выражение продифференцировать по $\mathcal{M}$ (или снова вместо $\mathcal{M}$ подставить $\mathcal{M} + d\mathcal{M}$ и выполнить операцию возведения в степень). В итоге получим

$$dT = -2\pi \sqrt{\frac{a^3}{G}} \frac{d\mathcal{M}}{2\sqrt{\mathcal{M}^3}} = -T \frac{d\mathcal{M}}{2\mathcal{M}}. \quad (15.2)$$

Используя найденное выше значение прироста $d\mathfrak{M}$, найдем $dT = -0,34$ с в год. Конечно, эта величина легко может быть установлена из наблюдений. Потому-то Майер предположил, что излучение Солнцем энергии сопровождается одновременной потерей его массы. Удачное предвидение!

Кстати, воспользовавшись формулой (14.1), найдем, что масса, эквивалентная излучаемой Солнцем за год энергии, равна $1,4 \cdot 10^{17}$ кг.

Шкала Гельмгольца. В 1854 г. немецкий физик Герман Гельмгольц (1821—1894) в одной из своих популярных лекций высказал предположение, что Солнце излучает часть энергии, освобождающейся при его медленном сжатии. Величину потенциальной энергии Солнца мы уже рассчитали ранее: $|\Omega| = 6 \cdot 10^{41}$ Дж. Следовательно, по Гельмгольцу, от своего «рождения» из газопылевого облака и до наших дней Солнце израсходовало энергию $\frac{1}{2}|\Omega| = 3 \cdot 10^{41}$ Дж.

Опять-таки примем, что это высвечивание происходило в нынешнем темпе, т. е. с постоянной светимостью $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт. Следовательно, продолжительность этого процесса

$$t_r = \frac{\frac{1}{2}|\Omega|}{L_{\odot}} = \frac{3 \cdot 10^{41}}{4 \cdot 10^{26}} \text{ с} = 7,4 \cdot 10^{14} \text{ с}, \quad (15.3)$$

а это всего 23 млн лет. Такая мера времени получила название шкалы Гельмгольца. Уже во второй половине XIX в. было известно, что она слишком коротка...

Посмотрим, однако, на сколько должен был бы уменьшаться радиус Солнца, чтобы светимость его поддерживалась на современном уровне. Для этого необходимо, полагая массу $\mathfrak{M}$ постоянной, продифференцировать выражение (13.10) по R (или, приняв, что в начале года радиус равен R , а в конце $R - dR$, причем $dR \ll R$, воспользоваться, как и раньше, разложением в ряд и найти разность значений $\frac{1}{2}\Omega$ на начало и конец года). Так получаем

$$d\left|\frac{1}{2}\Omega\right| = \frac{3G\mathfrak{M}^2}{4R^2} dR.$$

Обозначим, как и раньше, через Q расход энергии за год: $Q = L_{\odot} T^*$. Тогда из условия $Q = d \left| \frac{1}{2} \Omega \right|$ и найдем выражение для оценки dR :

$$dR = \frac{4T_* L_{\odot} R_{\odot}^2}{G M_{\odot}^2}. \quad (15.4)$$

После подстановки всех численных значений величин найдем, что $dR \approx 30$ м.

Конечно, этот источник энергии не в состоянии обеспечить свечение Солнца и подобных ему звезд на протяжении миллиардов лет. Тем не менее он «делает свое дело» на некоторых этапах эволюции звезды. Вначале — до выхода ее на главную последовательность, т. е. до включения в недрах звезды реакций ядерного синтеза, затем — после исчерпания «запасов» водорода, когда происходит дальнейшее сжатие звезды. В случае более массивных, чем Солнце, звезд, это гравитационное сжатие обеспечивает повышение температуры звездных недр настолько, что могут включаться последующие реакции синтеза все более сложных ядер (см. ниже). Наконец, в результате катастрофического освобождения гравитационной энергии происходит вспышка сверхновой...

Радиоактивность? Аннигиляция? Получилось так, что каждый раз, как только в физике делалось то или иное открытие, астрономы тут же «примеряли» его к своим проблемам, в частности здесь: а нельзя ли использовать его для решения наболевшей проблемы источников энергии звезд?

Так, в 1896 г. было открыто явление радиоактивности — распада ядер тяжелых химических элементов, которое сопровождается выделением тепла. Астрономы сразу же подсчитали, что при распаде 1 г радия освобождается энергия $q = 1,4 \cdot 10^{10}$ Дж, 1 г урана — $2,2 \cdot 10^{10}$ Дж, и если бы Солнце в момент его рождения состояло из чистого радия, то энергии распада последнего хватило бы на время $t = \frac{q M_{\odot}}{L_{\odot}} \approx \approx 7 \cdot 10^{16}$ с ≈ 2 млрд лет. Такой же массы урана было бы достаточно на 3,1 млрд лет.

Однако период полураспада радия составляет всего 1600 лет (за это время количество атомов радия на Солнце уменьшилось бы вдвое), а период полурас-

пада урана 4,55 млрд. лет. Отсюда следует, что «радиевое Солнце» высветило бы основную часть своей энергии всего за несколько тысяч лет, «урановое Солнце» было бы значительно слабее настоящего. Вот почему, даже не зная, что урановое Солнце вспыхнуло бы сразу при его формировании, как гигантская атомная бомба, астрономы отказались от идеи радиоактивного распада как возможного источника энергии звезд. Хотя еще в 1926 г. Дж. Джинс стремился отстоять гипотезу, по которой в недрах звезд происходит радиоактивный распад элементов тяжелее урана.

После открытия электрона (1897 г.) в начале XX в. была рассмотрена возможность *аннигиляции* материи. Имелось в виду, что очень быстрый электрон (движущийся со скоростью, сравнимой со скоростью света, $v \approx c$) соударяется с протоном так, что происходит «нейтрализация» заряда. При этом обе частицы будто бы перестают существовать, целиком преобразуясь в энергию. При расчетах использовалась формула Эйнштейна (14.1).

Поскольку масса электрона в 1836 раз меньше массы протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, в упомянутой формуле под массой m следует понимать именно величину m_p . Это дает выход энергии $E = 1,5 \cdot 10^{-10}$ Дж на каждый акт аннигиляции. Количество протонов в чисто водородном Солнце $N_p = M_\odot / m_p \approx 1,2 \cdot 10^{57}$, и, таким образом, начальный «запас» его энергии составлял бы $Q = N_p E \approx 1,8 \cdot 10^{47}$ Дж. Высвечивание этой энергии при постоянной, нынешней светимости Солнца могло бы продолжаться $\tau = Q/L_\odot \approx 4,5 \cdot 10^{20}$ с $\approx 1,4 \cdot 10^{13}$ лет.

Очень скоро, однако, физики пришли к выводу, что такие реакции были бы неэффективными, так как в недрах звезд при температуре 10—20 млн кельвинов практически нет электронов, которые двигались бы со скоростями, близкими к скорости света. Сегодня мы знаем, что «с этой целью» такие реакции вообще невозможны, так как в природе существуют законы сохранения тяжелых частиц (барионов) и легких частиц (лептонов). Протон принадлежит к первым, электрон — ко вторым. Поэтому протон может превратиться в другую тяжелую частицу — нейтрон (что и происходит в недрах звезд), но не может аннигилировать с электроном.

Правда, этот вывод не имеет абсолютного характера. Закон сохранения барионов действительно «работает» в земных лабораториях и в недрах звезд в настоящее время. Но, как подчеркнул Я. Б. Зельдович в уже упоминавшейся статье в журнале «Природа», само «рождение Вселенной такой, какой мы ее наблюдаем, возможно лишь в том случае, если закон барионного заряда может быть нарушен!» И далее: «Электрический заряд обязан сохраняться постольку, поскольку справедливы уравнения Максвелла, не допускающие несохранения этого заряда. Иными словами, связь электрического заряда с электромагнитным полем автоматически приводит к сохранению электрического заряда.

Однако не существует поля, которое играло бы подобную роль в случае барионного заряда. Убежденность в сохранении барионного заряда основывалась только на эксперименте... **Существование Вселенной, заполненной веществом, является пока единственным, но очень веским доказательством несохранения барионного заряда!»**

Дело в том, что наша Вселенная «ужасно» асимметрична, если рассматривать «носители» электрического заряда: положительный заряд — у протонов, отрицательный — у электронов. Объяснение этому уже найдено: возникшие на начальном этапе развития Вселенной сверхтяжелые частицы — «Х- и Y-бозоны» и соответствующие им античастицы распадаются на кварки и антикварки с различной вероятностью. И вот это предположение, как оказалось, эквивалентно утверждению, что состоящий из трех кварков протон также нестабилен, хотя период полураспада протона оценивается в 10^{32} лет (это нижний предел), и поэтому превращение нашей Вселенной в «лептонную пустыню» будет еще не скоро (см. рис. 126).

Вопрос этот поставлен всего лишь несколько лет назад, ответ на него с достоверностью, конечно, будет получен в будущем. Мы же здесь еще раз констатируем: в малые промежутки времени (только астрономы могут себе позволить такое: назвать промежуток в 10 млрд лет «малым»...) протон стабилен и реакция $p + e^- \rightarrow n + \nu$ (аннигиляция протона с электроном) не может, скажем осторожно, быть эффективной.

Термоядерный синтез. Мысль о том, что все другие атомы могут быть построены из атомов водорода, высказывалась почти двести лет назад. Так, в 1816 г. англичанин У. Праут писал: «Если бы атомы всех химических элементов были первичными основными частицами, настоящими «кирпичиками мироздания», которые не делятся на части и никак не связаны одна с другой, то какая могла бы быть причина того, что атом азота в точности в 14 раз тяжелее атома водорода, а атом кислорода — в 16 раз».

Решающими (в смысле самой идеи) были работы опять же английского ученого Ф. Астона, который в 1918 г. установил, что атом гелия содержит не 4,00, а 3,97 массы атома водорода. На этой основе уже можно было проводить, используя понятие «упаковки», «дефекта массы», на основе формулы Эйнштейна (14.1) конкретные расчеты об эффективности реакций синтеза гелия из четырех атомов водорода. В самом деле, «дефект массы» $\Delta m = m_{4H} - m_{He}$, и поэтому энергия, освобождающаяся при образовании одного ядра гелия, равна

$$E = 0,03 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.}$$

Отсюда находим, что при «сжигании» массы водорода, равной массе Солнца, может выделяться энергия $1,3 \cdot 10^{45}$ Дж. Таким образом, растрачивая энергию в современном темпе, Солнце могло бы существовать около 100 млрд лет!

Такие прикидки были сделаны еще в 20-х годах нашего столетия. И тут же возникли вполне обоснованные сомнения: а могут ли в принципе объединиться четыре протона в одно ядро гелия? Ведь реакция должна начаться с объединения двух протонов и образования дейтерия (${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{H}$). В атомных ядрах протоны и нейтроны удерживаются мощными силами притяжения, а они эффективны лишь на расстояниях, меньших 10^{-15} м. Но между двумя протонами действуют силы кулоновского отталкивания! Чтобы их сблизить на упомянутое расстояние, необходимо затратить огромную энергию.

Можно представить себе, что протон предохраняется от взаимодействия с другим протоном электрическим потенциальным барьером высотой 1400 кэВ (рис. 192). Чем меньше энергия налетающей частицы, тем легче она будет отброшена назад кулоновской

силой отталкивания. При температуре 10 млн кельвинов, типичной для звездных недр, средняя тепловая энергия протона составляет всего около 1 кэВ, а суммарная энергия двух отталкивающихся протонов соответственно вдвое больше. Другими словами, потенциальный барьер в 1000 раз превышает среднюю энергию частиц.

Казалось бы, в таком случае термоядерные реакции в звездах при температуре меньше 10^9 К вообще происходить не могут. Ведь по законам классической

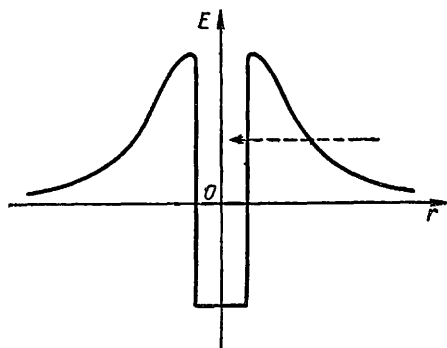


Рис. 192. Электрический потенциальный барьер протона. Благодаря туннельному эффекту достаточно энергичная частица — второй протон все же проходит через этот барьер (штриховая стрелка) — тем и осуществляется возможность термоядерных реакций

механики, если энергия частицы меньше высоты потенциального барьера, то она просто не проходит через него.

Однако микрочастицы подчиняются законам квантовой механики, согласно которой всегда имеется определенная вероятность того, что частица пройдет через потенциальный барьер, даже если ее энергия меньше величины этого барьера. Это явление называется *туннельным эффектом*. Именно благодаря ему и происходят термоядерные реакции в недрах Солнца и звезд.

Конкретизация процессов. Здесь прежде всего ответим на часто возникающий у слушателей (и читателей, конечно) вопрос: если Солнце высвечивает энергию потому, что в его недрах «горит» водород, то почему он «горит» медленно? Как это получается,

что Солнце не вспыхивает вследствие таких реакций превращения водорода в гелий?

Оказывается, чтобы термоядерная реакция состоялась, должно произойти несколько последовательных событий: 1) столкновение двух частиц, 2) проникновение одной из них через потенциальный барьер, окружающий ядро другой частицы, и 3) ядерное взаимодействие, сопровождающееся излучением гамма-фотона или выбросом позитрона и нейтрино (бета-распад). При заданных температуре и изотопном

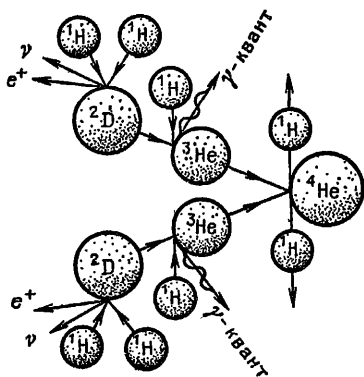


Рис. 193. Схема протон-протонного цикла. ${}^1\text{H}$ — протон, ${}^2\text{D}$ — (или ${}^2\text{H}$) — дейтерий, ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ — изотопы гелия, e^+ — позитрон, ν — нейтрино

нием одних элементарных частиц в другие и протекающие при высокой температуре, называются *термоядерными реакциями*. Главные из них — образование из четырех ядер водорода (четырех протонов) одного ядра гелия (альфа-частицы), состоящего из двух протонов и двух нейтронов. В процессе этой реакции происходит превращение двух протонов в нейтроны, сопровождающееся излучением двух нейтрино (рис. 193). Это можно представить схемой

$$4{}^1\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + 2\nu + 4,3 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.} \quad (15.5)$$

Напомним, что нейтрино — это «сверхлегкая» частица с массой (измеренной в системе координат, относительно которой эта частица покоится), по крайней мере в 20 000 раз меньшей массы электрона. Как полагают, эта частица движется практически со ско-

составе газа каждое из этих событий происходит с вполне определенной вероятностью, для расчета которой в ядерной физике имеются достаточно надежные «рецепты». Это позволяет получить выражение для определения полного числа реакций, происходящих в 1 см^3 за 1 с, и количества освобождающейся при этом энергии.

Напомним, что процессы, сопровождающиеся превраще-

ростью света и весьма «неохотно» вступает во взаимодействие с другими частицами. Поэтому возникшие в недрах звезды нейтрино пронизывают все ее вещество и практически беспрепятственно уходят на бесконечность.

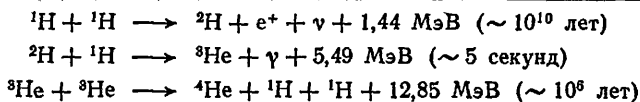
При взаимных превращениях элементарных частиц выполняются (с отмеченной выше степенью достоверности) такие законы сохранения: 1) закон сохранения электрического заряда, 2) закон сохранения тяжелых частиц (барионов) и 3) закон сохранения легких частиц (лептонов). Поэтому превращение протона p в нейтрон n запишется так:

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu. \quad (15.6)$$

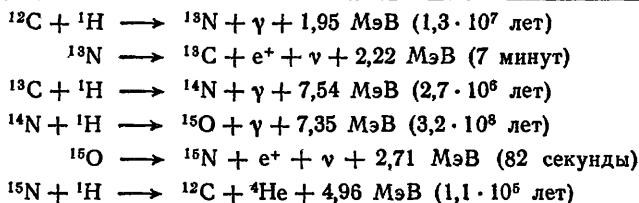
Нетрудно убедиться, что все перечисленные законы сохранения здесь действительно выполняются. До реакции (слева) имеется единичный положительный заряд. Поэтому частица, имеющая положительный заряд, должна стоять и справа. Она есть: это позитрон e^+ . Слева имеется один барион (p), есть он и справа (n). Но так как справа появился лептон — античастица e^+ , то в реакции должен принять участие еще один лептон — нейтрино ν . Суммарный лептонный заряд справа равен нулю, так как античастице приписывается отрицательный лептонный (или, соответственно, барионный) заряд.

Итак, из теории следует, что если у одного из двух сталкивающихся протонов кинетическая энергия раз в двадцать превосходит среднюю энергию тепловых движений при температуре звездных недр, то этот протон благодаря туннельному эффекту проникает на расстояние, где уже действуют ядерные силы. Как показывает расчет, из ста миллионов протонов такую высокую энергию (это в далеком «хвосте» максвелловского распределения частиц по скоростям, см. рис. 172) имеет всего один. Но этого еще мало! Необходимо, чтобы за время столкновения, длительность которого всего около 10^{-21} секунды (всего!), один из двух протонов успел по схеме (15.6) превратиться в нейтрон. Как видим, шансы для этого крайне малы, и поэтому конкретно взятый протон может стать составной частью дейтрона (ядра тяжелого водорода, обозначаемого обычно ${}^2\text{H}$) один раз в десятки миллиардов лет.

Все дальнейшее происходит гораздо быстрее, как это показано в табличке (продолжительность реакции — время, за которое число частиц уменьшается вдвое, указана в скобках), где, в соответствии с формулой (14.1), подсчитано и количество освобождающейся в результате дефекта масс энергии:



Этот путь превращения водорода в гелий именуется *протон-протонной реакцией* или *протон-протонным циклом*. Он реализуется при меньших температурах, типичных для недр Солнца. Есть еще и другой путь — *углеродно-азотный цикл*, в котором ядра углерода и азота играют роль «катализаторов» реакции. Цепочка соответствующих ядерных превращений имеет такой вид:



Как видно, реакции углеродно-азотного цикла проходят с гораздо большей скоростью, чем протон-протонного цикла. Они-то и являются источником энергии звезд, массы которых больше, чем масса Солнца. Именно благодаря реакциям CN-цикла упомянутые звезды могут проходить «свой жизненный путь» не за миллиарды, а за несколько десятков миллионов лет.

Теория позволяет рассчитать количество освобождаемой энергии в зависимости от температуры вещества звездных недр и его плотности, а также представить его в виде приближенных формул. Эти последние для протон-протонного (pp) и углеродно-

азотного (CN) циклов имеют соответственно такой вид:

$$\epsilon_{pp} \approx 10^{-9} \rho X^2 \left(\frac{T}{10^8} \right)^4 \text{ Вт/кг}, \quad (15.7)$$

$$\epsilon_{CN} \approx 6,6 \cdot 10^{-27} \rho X X_{CN} \left(\frac{T}{10^8} \right)^{20} \text{ Вт/кг}. \quad (15.8)$$

Здесь X и X_{CN} — соответственно относительное содержание протонов и сумма содержаний углерода и азота в недрах звезды. Нетрудно убедиться, что для Солнца первый цикл значительно эффективнее второго. Так, при температуре $T \approx 14 \cdot 10^8$ К, плотности $\rho \approx 10^5$ кг/м³, $X \approx 0,7$ и $X_{CN} \approx 0,003$ имеем $\epsilon_{pp} \approx 1,9 \cdot 10^{-3}$ Вт/кг, а $\epsilon_{CN} \approx 10^{-4}$ Вт/кг.

После того как в недрах звезды запасы водорода истощились, а температура вследствие сжатия ядра возросла до нескольких сотен миллионов кельвинов, начинаются реакции между альфа-частицами по схеме ${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^8\text{Be} + \gamma$, ${}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$. В данном случае зависимость энерговыделения от температуры еще более сильная: для температуры порядка 100—200 млн кельвинов $\epsilon_{3\alpha} \sim T^{30}$!

По мере увеличения температуры в недрах звезды «выгорают» все последующие ядра (кстати, гелий расходуется звездой примерно за 10 млн лет), это происходит по схеме ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$, ${}^{16}\text{O} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{20}\text{Ne} + \gamma$, ... вплоть до образования ядер железа. Ядра химических элементов группы железа имеют в расчете на одну частицу, входящую в ядро, наибольшую энергию связи (энергию связи, деленную на число входящих в ядро протонов и нейтронов), поэтому образование всех последующих ядер происходит уже лишь при «специальных» условиях, которые мы здесь и перечислим.

Многообразие процессов. Буквально на каждом шагу приходится убеждаться в том, что все в окружающем нас мире удивительно сложно. Здесь мы подошли к вопросу: как возникло наблюдаемое многообразие химических элементов (см. рис. 37).

В попытке ответить на этот вопрос примем прежде всего во внимание данные современной космологии: основная масса гелия появилась на ранней стадии расширения Вселенной, до образования в ней звезд и галактик. Всё остальное — результат всевозможных процессов, происходящих в недрах звезд, причем их

скорости, да и сами «возможности» реализации, существенно зависят от плотности ρ_c и температуры T_c в недрах звезд. А они на каждом этапе эволюции определяются массой звезды M . Итак:

1. *Н-процесс* — превращение водорода в гелий в центральных областях «обычных» звезд, в том числе Солнца, при $\rho_c \approx 10^5$ кг/м³ и $T_c \approx 15 \cdot 10^6$ К по схеме $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$.

2. *α -процесс* — совокупность реакций синтеза углерода из гелия по схеме $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}$ и следующих за ними реакций синтеза ядер кислорода, неона, магния, происходящих при $T_c \gtrsim 5 \cdot 10^8$ К в недрах звезд с массой $M \gtrsim 1,5M_\odot$.

3. *e-процесс* — образование ядер элементов группы железа ($^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{28}\text{Si} + ^4\text{He}$, $^{28}\text{Si} + ^{28}\text{Si} \rightarrow ^{56}\text{Ni}$ и т. д.) в недрах массивных звезд при $T_c \approx 3 \cdot 10^9$ К непосредственно перед вспышкой звезды как сверхновой.

4. *s-процесс* (от английского slow — медленный) — медленный захват нейтронов в ядрах звезд с $M > 1,5M_\odot$ на позднем этапе их эволюции. Попадая в ядро, нейтрон превращается в протон раньше, чем это ядро захватит еще один нейтрон и станет устойчивым изотопом. Именно так образуются ядра все более тяжелых (после железа) химических элементов вплоть до висмута (^{209}Bi). Источниками свободных нейтронов являются реакции типа $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{23}\text{Mg} + n$, $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{31}\text{S} + n$.

5) *r-процесс* (от rapid — быстрый) — происходящий в недрах сверхновой во время ее вспышки на протяжении всего около 100 секунд процесс захвата нейтронов атомными ядрами, образование элементов с атомной массой до $A \approx 270$ (в том числе урана и тория).

В частности, за счет s-процессов образуются наблюдаемые «избытки» ядер вблизи атомных масс $A \approx 86, 130$ и 196 , а за счет r-процессов — при $A \approx 90, 140$ и 210 .

6) *p-процесс* — происходящий в оболочках сверхновых захват протонов ядрами тяжелых химических элементов.

7) *X-процесс* — образование лития, бериллия и бора в результате процессов скалывания, при которых легкая частица высокой энергии сталкивается с тяжелым ядром и выбивает из него легкий осколок.

Он, в частности, мог сыграть важную роль в изменении изотопного состава вещества, из которого образовались планеты, благодаря мощному корпускулярному излучению только что сформировавшегося Солнца.

8) *ν -процесс — образование в оболочке сверхновой ядер некоторых химических элементов при взаимодействии с веществом оболочки потоков нейтрино, выходящих из недр коллапсирующего ядра звезды.*

Исходя из анализа вещества ближайших к нам объектов — Солнца, Луны, комет и метеоритов, астрономы делают вывод, что наша Солнечная система сформировалась из «пепла» давно вспыхнувших сверхновых звезд. Более того, по всем данным, решающей была вспышка в непосредственной близости от нашего Солнца, которое, вполне возможно, в прошлом было компонентой двойной системы...

Зачем природе нейтрино? Конечно, читатель, посмотрев объяснение формулы (15.6), сразу скажет: нейтрино существуют для того, чтобы в процессах взаимного превращения элементарных частиц сохранялся лептонный заряд. На это, впрочем, можно возразить: дескать, откуда следует, что этот заряд должен сохраняться — барионный-то, как мы уже знаем, не сохраняется. Но как говорил римский философ Сенека, на долю наших потомков останется большая часть истин, еще не открытых. Тогда-то и с нейтрино все «станет ясно». Сейчас же мы без каких бы то ни было сомнений можем сказать: нейтрино существуют для того, чтобы звезды взрывались как сверхновые! Ведь этого не так уж и мало. Не будь упомянутых вспышек, откуда бы взяться веществу, из которого сформировалась, в частности, наша планета, ее твердая поверхность и т. д.

Но сначала о том, что в недрах Солнца за каждую секунду образуется примерно 10^{38} ядер гелия и $2 \cdot 10^{38}$ нейтрино. Свойства этой частицы таковы, что она крайне «неохотно» взаимодействует с другими частицами и поэтому свободно, пронизывая всю массу Солнца, уходит в бесконечность. Их поток на Земле составляет 65 миллиардов на каждый квадратный сантиметр в секунду! Нейтрино уносят из недр Солнца около 5 % освободившейся там энергии.

Уже более 35 лет ведутся работы по «улавливанию» нейтрино. Метод заключается в том, что, взаимодействуя с нейтроном по схеме $n + \nu \rightarrow p + e^-$, нейтрино превращает его в протон. В одном из методов вместо изотопа хлора образуется радиоактивный изотоп аргона ($^{37}\text{Cl} + \nu \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$), который с периодом полураспада в 34 суток превращается снова в хлор. Появившийся при этом позитрон ($^{37}\text{Ar} \rightarrow ^{37}\text{Cl} + e^+ + \nu$) немедленно аннигилирует с электроном и в результате образуются два-три кванта света, которые и регистрируются. Но сколько таких распадов происходит в день? Увы, если вещества, содержащего хлор (перхлорэтилена C_2Cl_4) взято 400 000 литров (615 т), то в этом объеме образуется... один атом аргона за два дня. Тем не менее солнечные нейтрино улавливаются. Чуть-чуть (примерно вдвое) меньше, чем этого требует теория, но, видимо, она-то и нуждается в уточнении. В целом же можно сказать, что регистрируемые нейтрино подтверждают правильность наших представлений об источниках звездной энергии.

«Соль» же в следующем. Пока температура в недрах звезды относительно невелика (как у Солнца, например), потери энергии на высвечивание нейтрино малы. С ростом же температуры нейтрино в центральных областях звезд появляются не только вследствие термоядерного синтеза. Так, непосредственно перед вспышкой сверхновой, когда плотность $\rho_c \approx 10^{10} \text{ кг/м}^3$ и температура $T_c \approx 2 \cdot 10^9 \text{ К}$, вследствие переходов электронов вблизи протонов образуются пары нейтрино-антинейтрино: $p + e^- \rightarrow p + e^- + \nu + \bar{\nu}$, и они тут же уходят на бесконечность, унося с собой огромные количества энергии. Вследствие этого давление в недрах звезды резко падает, гидростатическое равновесие нарушается. Звезда стремится сжаться, чтобы это равновесие восстановить. Но в процессе сжатия при все увеличивающейся температуре (ведь половина потенциальной энергии звезды идет на разогрев звездных недр!) поток нейтринных пар возрастает еще более. Это и приводит в конечном итоге к коллапсу — резкому сжатию звезды, продолжительность которого оценивается несколькими сотыми долями секунды. Не менее 99 % энергии, освободившейся при таком катастрофическом сжатии звезды, уносят нейтрино...

А мы наблюдаем это явление как вспышку сверхновой звезды.

Учитывая огромные расстояния, отделяющие нас от звезд и тем более от других звездных систем — галактик, можно заранее сказать, что поток нейтрино от сверхновых, особенно вспыхнувших в других галактиках, крайне мал. Тем не менее от сверхновой, вспыхнувшей в феврале 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке, нейтринный сигнал уверенно зарегистрирован. Тем самым открывается новый канал информации о процессах, происходящих непосредственно в центральных областях звезд.

В 1980 г. группа сотрудников Института теоретической и экспериментальной физики АН СССР во главе с В. А. Любимовым в результате тонкого эксперимента установила, что масса покоя нейтрино $m_\nu \approx 30 \text{ эВ} \approx 5 \cdot 10^{-35} \text{ кг}$. Если это так, а уверенность в правильности результата все возрастает, то плотность массы нейтрино во Вселенной оказывается по крайней мере в 30 раз больше плотности обычного вещества и в 20 000 раз больше плотности реликтового излучения. Тем самым нейтрино играют еще одну важную роль — оно удерживает галактики в скоплениях, своим притяжением препятствует распаду этих скоплений. Более того, сверхгигантские облака нейтрино удерживают вещество (обычное для нас) от расширения и стимулируют самую образование упомянутых скоплений галактик.

Но это уже другой вопрос. Здесь же мы еще раз подчеркнем: нейтрино подтверждают правильность наших сегодняшних представлений об источниках энергии звезд; они же, «выкрадывая» энергию из недр массивных звезд, вынуждают их сжиматься во все ускоряющемся темпе и вспыхивать как сверхновые или (об этом здесь тоже следует сказать), если масса звезды больше $10 M_\odot$, сжиматься за сферу Шварцшильда и «рождать из себя» черные дыры.

16. ЧУДО-ТЕОРИЯ РАЗМЕРНОСТЕЙ

В предисловии внимание читателя было обращено на тот факт, что почти всё в астрономии оценивается числом и что это число практически всегда имеет определенную размерность. Это, конечно, можно сказать и о всей окружающей нас реальности.

Например: «от моего дома до школы 1200 метров, это расстояние я спокойно преодолеваю за 15 минут, волоча туго набитый книгами портфель весом в 10 килограммов». И мы уже знаем, что числа, имеющие различные размерности, нельзя ни складывать, ни вычитать, но их можно умножать и делить. Так, если упомянутые 1200 м (длину пути) разделить на 15 мин = 0,25 ч (время прохождения пути), то получим 4,8 км/ч — среднюю скорость движения — новую, производную характеристику явления, или *параметр задачи*.

Как уже неоднократно отмечалось, каждую звезду, планету, туманность или галактику можно описать набором нескольких параметров. Для звезды, скажем, это ее масса M , радиус R , светимость L , эффективная температура T_{ef} , средняя молекулярная масса μ . Одной из важнейших задач астрофизики как раз и является установление между этими параметрами определенных соотношений. Например, как зависит светимость звезды L от ее массы M и зависит ли? Если такая зависимость существует (а мы уже знаем, что это так), то она проясняет очень многое! В частности, мы можем определять массу звезды по ее светимости, устанавливая для нее, исходя из общих соображений о запасах ее «горючего», продолжительность жизни в наблюдаемой фазе и т. д. Словом, тем самым мы делаем существенный шаг вперед в раскрытии тайн окружающего нас мира.

Выше было получено выражение (13.12) для оценки температуры в недрах звезды, и хотя сделано это элементарно — путем замены отношения приростов величин отношением самих величин, — результат получился превосходный. Но это скорее счастливая случайность. Во многих других случаях сначала необходимо решать сложные системы дифференциальных уравнений и лишь потом на основе полученных решений искать те или другие связи между параметрами задачи. А между тем очевидно, что если какую-то задачу сразу решить нельзя, то хотелось бы знать по крайней мере степенную взаимозависимость между ее параметрами. Это как раз и позволяет сделать *теория размерностей*, замечательные возможности которой мы проиллюстрируем здесь на нескольких примерах.

Используем так называемую П-теорему (пи-теорему), сущность которой можно сформулировать так. Пусть определенная задача описывается параметрами $A_1, A_2, \dots, A_n$, размерности которых обозначим $[A_1], [A_2], \dots, [A_n]$. Предположим, что из них m параметров имеют независимые размерности (например, масса звезды $[M] = \text{кг}$, ее радиус $[R] = \text{м}$). П-теорема утверждает, что из упомянутых n параметров можно составить $k = n - m$ безразмерных величин («комплексов»), каждая из которых и будет, с точностью до постоянного коэффициента, выражать определенный закон природы.

Критерий Джинса. Как мы уже знаем, Дж. Джинс установил, что однородная бесконечно протяженная среда, имеющая плотность ρ и температуру T (причем скорость звука a в упомянутой среде определяется формулой (13.7)), под действием проходящих через нее волновых возмущений распадается на отдельные фрагменты, масштаб которых обозначим через λ_J . Сам распад обусловлен действием силы тяготения: как только длина волны λ звукового возмущения оказывается большей некоторого критического значения λ_J , силы упругости (давление газа) уже не в состоянии возратить частицы среды в первоначальное состояние. Случайное повышение плотности и сгущение, которое только что возникло, уже действует как зародыш будущей конденсации: прото-звезды, протопланеты и т. д.

Следовательно, задача о гравитационной неустойчивости среды характеризуется следующими четырьмя параметрами: λ , ρ , a и G , размерности которых можно записать так:

$$[\lambda] = L, \quad [\rho] = \frac{M}{L^3}, \quad [a] = \frac{L}{T}, \quad [G] = \frac{L^3}{MT^2},$$

где L — размерность длины, T — времени, M — массы. Уместно подчеркнуть, что во всех случаях, где гравитация играет решающую роль, одним из параметров задачи является гравитационная постоянная G , размерность которой, однако, является комбинацией размерностей других параметров. Легко увидеть, что в данном конкретном случае из четырех параметров задачи независимые размерности имеют три (λ , ρ и a). Поэтому, в соответствии с П-теоремой, из них можно составить один безразмерный комплекс:

$\Pi = \lambda G^x \rho^y a^z$, где x , y и z — искомые показатели степеней. Кстати, теория допускает, чтобы один из параметров задачи — здесь длина волны возмущения λ — входил в первой степени. Это удобно, так как далее мы «перевернем» записанный выше комплекс, разрешив его относительно λ .

Подставляя в составленный комплекс размерности каждого из параметров, запишем это соотношение так:

$$\Pi = L \frac{L^{3x}}{M^x T^{2x}} \frac{M^y}{L^{3y}} \frac{L^z}{T^z} = L^{1+3x-3y+z} M^{y-x} T^{-2x-z}.$$

Так как Π по определению величина безразмерная, то показатели степеней в каждом отдельном случае следует приравнять нулю. В итоге получим систему алгебраических уравнений

$$\begin{cases} 1 + 3x - 3y + z = 0, \\ y - x = 0, \\ -2x - z = 0 \end{cases}$$

и их решение

$$x = y = \frac{1}{2}, \quad z = -1.$$

Следовательно, безразмерный комплекс имеет вид $\Pi = \lambda (G\rho)^{1/2} a^{-1}$. Разрешая его относительно критической длины λ , найдем

$$\lambda = \Pi \sqrt{\frac{a^2}{G\rho}}. \quad (16.1)$$

Как видим, теория размерностей «предоставила» нам возможность получить зависимость между параметрами задачи, а если говорить точнее — получить величину *критической длины Джинса* с точностью до множителя Π , величина которого близка к единице (в точную формулу вместо Π входит множитель $\sqrt{\pi} \approx 1,772$).

Потенциальная энергия звезды. Мы уже видели, что на определенных стадиях эволюции звезд важная роль принадлежит такому источнику энергии как гравитационное сжатие, сопровождаемое освобождением потенциальной энергии звезды. Посмотрим, как можно получить зависимость потенциальной энергии звезды Ω от ее параметров — массы $\mathfrak{M}$ и радиуса R .

Опять-таки, поскольку речь идет о гравитационном взаимодействии слоев звезды, четвертым параметром задачи будет гравитационная постоянная G . Запишем размерности всех определяющих параметров:

$$[\Omega] = \frac{ML^2}{T^2}, \quad [\mathfrak{M}] = M, \quad [R] = L, \quad [G] = \frac{L^3}{MT^2}.$$

Легко убеждаемся, что три из них имеют независимые размерности. Поэтому, в соответствии с Π -теоремой, из этих параметров можно составить один безразмерный комплекс $\Pi = \Omega G^x \mathfrak{M}^y R^z$, или

$$\Pi = \frac{ML^2}{T^2} \frac{L^{3x}}{M^x T^{2x}} M^y L^z = M^{1-x+y} L^{3x+z+2} T^{-2x-2}.$$

Отсюда получаем систему алгебраических уравнений для определения показателей степеней

$$\begin{cases} 1 - x + y = 0, \\ 3x + z + 2 = 0, \\ 2x + 2 = 0 \end{cases}$$

и ее решение

$$x = -1, \quad y = -2, \quad z = 1.$$

Следовательно, безразмерный комплекс имеет вид $\Pi = \Omega G^{-1} \mathfrak{M}^{-2} R$. Разрешив его относительно потенциальной энергии, найдем соотношение

$$\Omega = \Pi \frac{G \mathfrak{M}^2}{R}. \quad (16.2)$$

Это — искомая формула (13.10) с точностью до постоянной $\Pi \approx 3/2$.

Пульсации звезд. Используем теперь теорию размерностей для установления связи между периодом пульсации звезды P , ее массой $\mathfrak{M}$ и радиусом R . Очень часто пульсирующую звезду сравнивают с маятником, поэтому сначала поинтересуемся: удастся ли для обычного маятника получить какую-то зависимость между его параметрами на основе теории размерностей.

Определяющими параметрами для математического маятника являются его период колебаний P , длина нити l и ускорение силы тяжести g . Их размерности следующие: $[P] = T$, $[l] = L$ и $[g] = \frac{L}{T^2}$. Параметров с независимыми размерностями здесь два,

и, следовательно, можно составить один безразмерный комплекс $\Pi = Pl^x g^y$, или

$$\Pi = TL^x \frac{L^y}{T^{2y}} = T^{1-2y} L^{x+y}.$$

Соответствующая алгебраическая система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} 1 - 2y = 0, \\ x + y = 0, \end{cases}$$

откуда

$$x = -\frac{1}{2}, \quad y = \frac{1}{2}.$$

Следовательно, безразмерный комплекс в задаче о математическом маятнике имеет вид $\Pi = Pl^{-1/2} g^{1/2}$, что дает такую формулу для периода колебаний маятника с точностью до постоянной $\Pi = 2\pi$:

$$P = \Pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (16.3)$$

Как и в случае с математическим маятником, пульсации звезды определяются действием силы тяготения. Поэтому четвертым, кроме P , $\mathcal{M}$ и R , параметром задачи будет постоянная тяготения G . Их размерности

$$[P] = T, \quad [\mathcal{M}] = M, \quad [R] = L, \quad [G] = \frac{L^3}{MT^2}.$$

Нетрудно убедиться, что из четырех параметров три имеют независимые размерности. Следовательно, здесь можно составить один безразмерный комплекс: $\Pi = PG^x R^y \mathcal{M}^z$, так что

$$\Pi = T \frac{L^{3x}}{MT^{2x}} L^y M^z = T^{1-2x} L^{3x+y} M^{z-x}.$$

Так получаем систему алгебраических уравнений

$$\begin{cases} 1 - 2x = 0, \\ 3x + y = 0, \\ z - x = 0 \end{cases}$$

и их решение

$$x = z = \frac{1}{2}, \quad y = -\frac{3}{2}.$$

Искомое соотношение для периода пульсации P имеет, таким образом, вид

$$P = \Pi (G\mathfrak{M})^{-1/2} R^{3/2} = \Pi \left(\frac{R^3}{G\mathfrak{M}} \right)^{1/2}. \quad (16.4)$$

А так как $\mathfrak{M} / \frac{4}{3} \pi R^3 = \bar{\rho}$ — это средняя плотность звезды, то (16.4) можно переписать так:

$$P \sqrt{\bar{\rho}} = \frac{\Pi}{\sqrt{\frac{4\pi}{3} G}}. \quad (16.5)$$

Это хорошо известное в астрофизике соотношение «период — средняя плотность», которое выполняется для всех пульсирующих звезд. Если P измеряется в сутках, а $\bar{\rho}$ в кг/м^3 , то правая часть последнего соотношения равна $1,58 \cdot 10^{-3}$. Как видно, в данном случае параметр Π существенно меньше единицы, но его конкретное численное значение зависит от выбора единицы времени (секунды, сутки, год).

Задача о сильном взрыве. В случае практически мгновенного выделения больших количеств энергии (в частности, при взрывах), при столкновении двух слоев вещества в недрах

звезд или облаков в межзвездном и межгалактическом пространстве возникают ударные волны. Ударная волна — это тонкая движущаяся граница, которая разделяет два состояния среды — холодное и нагретое. Поверхность, на

которой параметры газа — его давление, плотность и температура — скачкообразно увеличиваются от значений p_1, ρ_1 и T_1 до p_2, ρ_2 и T_2 , называется фронтом ударной волны (рис. 194). По отношению к невозмущенному газу фронт ударной волны движется со скоростью D , большей скорости звука a_1 , которая определяется формулой (13.7).

На фронте ударной волны выполняются законы сохранения массы, импульса и энергии, из которых следуют выражения для скачков параметров газа на фронте $p_2/p_1, \rho_2/\rho_1$ и T_2/T_1 . В частности, если

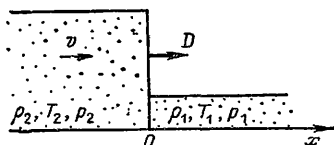


Рис. 194. Профиль ударной волны, движущейся со скоростью D , v — скорость газа за фронтом волны

скорость ударной волны значительно больше скорости звука перед фронтом, $D \gg a_1$, или, как говорят, *число Маха* $M = \frac{D}{a_1}$ существенно больше единицы, то выражения для определения параметров за фронтом ударной волны при $\gamma = 5/3$ имеют такой простой вид:

$$p_2 = \frac{3}{4} \rho_1 D^2, \quad \rho_2 = 4\rho_1, \quad T_2 = \frac{3\mu_2 D^2}{16A}, \quad (16.6)$$

где A — газовая постоянная, γ — отношение удельных теплоемкостей. Если к тому же волна движется в водороде, то $\mu_2 = 1/2$.

Итак, если в атмосфере звезды движется ударная волна со скоростью $D = 100$ км/с, то температура непосредственно за ее фронтом возрастает до значения $T_2 = 110\,000$ К. При $D = 1000$ км/с (а такие и еще бо́льшие скорости действительно наблюдаются при вспышках новых и сверхновых звезд) имеем $T_2 \approx 10$ млн кельвинов.

Итак, пусть в некоторой среде с плотностью ρ_1 произошло мгновенное выделение энергии Q . Необходимо установить, как со временем t изменяется радиус фронта ударной волны r и скорость движения фронта $D = \frac{dr}{dt}$. В случае сильной ударной волны давлением p_1 перед фронтом можно пренебречь по сравнению с давлением за фронтом. Следовательно, задача характеризуется четырьмя параметрами: r , t , Q и ρ_1 . Нетрудно убедиться в том, что три из них имеют независимые размерности, так как

$$[r] = L, \quad [t] = T, \quad [\rho_1] = \frac{M}{L^3}, \quad [Q] = \frac{ML^2}{T^2}.$$

Безразмерный комплекс

$$\Pi = r^x Q^y \rho_1^z t^z$$

и определяет закон движения сильной ударной волны в однородной среде. Подставляя размерности величин, находим, что

$$\Pi = L \left(\frac{ML^2}{T^2} \right)^x \left(\frac{M}{L^3} \right)^y T^z = L^{1+2x-3y} M^{x+y} T^{-2x+z}.$$

Далее, приравнивая показатели степеней нулю, получаем алгебраические уравнения

$$\begin{cases} 1 + 2x - 3y = 0, \\ x + y = 0, \\ z - 2x = 0 \end{cases}$$

и их решения

$$x = -\frac{1}{5}, \quad y = \frac{1}{5}, \quad z = -\frac{2}{5}.$$

Сопоставления теории с наблюдениями привели к выводу, что постоянная $\Pi \approx 1$. Тем самым закон движения сильной ударной волны (молчаливо мы приняли, что речь идет о сферической волне!) в однородной среде имеет вид

$$r = \left(\frac{Q}{\rho_1} \right)^{1/5} t^{2/5}. \quad (16.7)$$

В свою очередь, скорость фронта ударной волны равна

$$D = \frac{2}{5} \left(\frac{Q}{\rho_1} \right)^{1/5} t^{-3/5} = \frac{2}{5} \left(\frac{Q}{\rho_1} \right)^{1/2} r^{-3/2}. \quad (16.8)$$

Именно это решение и позволяет оценить возраст остатков сверхновых звезд. Например, известная волокнистая туманность в созвездии Лебедя имеет радиус $r \approx 20$ пк и в наше время расширяется со скоростью $v \approx 115$ км/с. Сопоставляя эти данные с полученным выше решением, нетрудно прийти к выводу, что вспышка этой сверхновой произошла примерно 70 000 лет назад.

Как отмечалось, полученное здесь решение описывает эволюцию сферической ударной волны. Можно представить себе случай «цилиндрического» взрыва, когда заряд распределен в виде «бесконечно длинной нити». В этом случае возникает цилиндрическая ударная волна. Можно также представить себе, что взрывчатое вещество распределено вдоль плоскости также неограниченной протяженности в обоих направлениях (по y и z , тогда движение происходит лишь вдоль оси x). Пользуясь описанными выше рецептами, читатель легко получит соответствующие выражения для закона движения фронта волны и его скорости. Следует лишь помнить, что в случае цилиндрической волны размерность освобождающейся

энергии Дж/м, а в случае плоской волны Дж/м² или, конкретнее, соответственно $[Q] = \frac{ML}{T^2}$ и $[Q] = \frac{M}{T^2}$.

Мы ограничились здесь всего лишь несколькими примерами использования теории размерностей при поиске взаимосвязей между отдельными параметрами тех или иных физических явлений. Более подробное описание этого метода читатель найдет в книге Э. А. Дибая и С. А. Каплана «Размерности и подобие астрофизических величин» (М.: Наука, 1976).

* *
*

Таковы они, эти «строительные леса». Но мы познакомились всего лишь с примерами использования математики при решении конкретных астрономических задач, не выходя за рамки школьной программы... Тем же, кто пожелал бы поближе приглядеться к применению в астрофизике методов теоретической физики, советуем познакомиться с монографией В. В. Соболева «Курс теоретической астрофизики» (3-е изд., перераб. — М.: Наука, 1985).

НАБЛЮДАЕМ САМИ!

Астрономия побуждает смотреть ввысь и ведет от нашего мира к другим мирам.

Платон

Эта часть книги — своеобразное приглашение юного читателя не просто поинтересоваться, «что и где находится на небе», но и провести наблюдения самому. Тем более что сейчас отечественная промышленность выпускает телескопы для любителей. Это, в частности, рефлекторы «Алькор» (диаметр входного отверстия $D = 65$ мм, фокусное расстояние $F = 502$ мм, увеличение $\Gamma = 88$) и «Мицар» ($D = 110$ мм, $F = 800$ мм, $\Gamma = 32, 54, 96$ и 170), выпускаемые Новосибирским приборостроительным заводом им. В. И. Ленина. Стоимость инструментов соответственно 135 и 250 р. Заказы на них принимаются базами Посылторга.

Конечно, энтузиасты могут изготовить телескоп сами. Как это делается, подробно описано в книгах М. С. Навашина и Л. Л. Сикорука. Преподавателю, планирующему создать астрономическую площадку в школе (институте), можно посоветовать книгу Н. К. Андрианова и А. Д. Марленского «Школьная астрономическая обсерватория» (подробные данные о всех упомянутых книгах см. в Списке литературы). И всем, конечно, крайне желательно ознакомиться с инструкциями для соответствующих наблюдений, изложенных в книгах «Астрономический календарь: Постоянная часть», «Справочник любителя астрономии» П. Г. Куликовского, а также с книгами серии «Библиотека любителя астрономии» (например, *Бабаджанов П. Б. Метеоры и их наблюдение*).

Безусловно, в наше время науку создают специалисты, которые раньше чем «взяться за дело», долго и настойчиво изучают свою отрасль в университете, потом — в аспирантуре. И все же...

И все же не так уж давно многие важные астрономические открытия делались не профессионалами,

а именно любителями. Вспомним хотя бы У. Гершеля, музыканта по профессии, но увлекшегося звездным небом, пожелавшего своими глазами «увидеть все его чудеса», отшлифовавшего за свою жизнь около 400 (!) зеркал для построения все более мощных телескопов и сделавшего немало серьезных открытий, в частности новой планеты (она была названа Ураном)... Или немецкого аптекаря Генриха Швабе (1789—1875), около двадцати лет изучавшего количество пятен на Солнце и открывшего в 1843 г. цикличность солнечной активности.

А вот еще несколько фамилий известных любителей астрономии. Француз Жан Понс (1761—1831) начал работу сторожем на Марсельской обсерватории, сам построил телескоп и за 26 лет открыл 37 комет, под конец жизни стал директором обсерватории во Флоренции. Немецкий астроном-любитель Иоганн Палич (1723—1788) первым открыл комету Галлея во время ее возвращения к Солнцу в 1758 г. В их число входят также немецкий художник Германн Гольдшмидт (1802—1866), открывший за девять лет 14 малых планет; английский любитель астрономии Томас Эспин (1858—1934), выполнивший обзор неба и составивший каталог 3800 красных звезд; австрийский коммерсант Рудольф Кёниг (1865—1927), построивший собственную обсерваторию, в которой выполнил 47 000 измерений образований на поверхности Луны; бельгийский журналист Феликс де Руа (1883—1942), выполнивший 90 000 наблюдений переменных звезд. Это, наконец, Милтон Хьюмасон (1891—1972), начавший без специального образования работу ночным ассистентом на обсерватории Маунт Вилсон и занявший вскоре ведущее положение в изучении спектров слабых галактик (всего он определил красное смещение у 620 объектов).

Если же говорить конкретно об открытиях комет, то в XIX в. 98 % их, а в XX в. 74 % всех долгопериодических комет удалось открыть любителям астрономии с помощью обычных биноклей или небольших телескопов, а иногда и невооруженным глазом...

Становились профессионалами и отечественные любители астрономии. Среди них, например, не имевший высшего образования, но ставший со временем профессором Московского университета Б. В. Кукар-

кин (1909—1977). Многие выдающиеся наши астрономы увлекались наукой о небе с самого детства. Это, в частности, член-корреспондент АН СССР Н. С. Кардашев, профессор И. Д. Новиков, директор Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга А. М. Черепашук и другие.

17. ДНЕМ — СОЛНЦЕ

Измерения высот и азимутов. Мы уже знаем, что видимое годичное движение Солнца на небе происходит по эклиптике, плоскость которой наклонена к плоскости небесного экватора под углом $\varepsilon = 23,5^\circ$. Поэтому прежде всего обратим внимание на тот факт, что высота Солнца в меридиане (в верхней кульминации) на протяжении года колеблется в пределах от $h_{в.к} = (90^\circ - \varphi) + 23,5^\circ$ до $h_{в.к} = (90^\circ - \varphi) - 23,5^\circ$

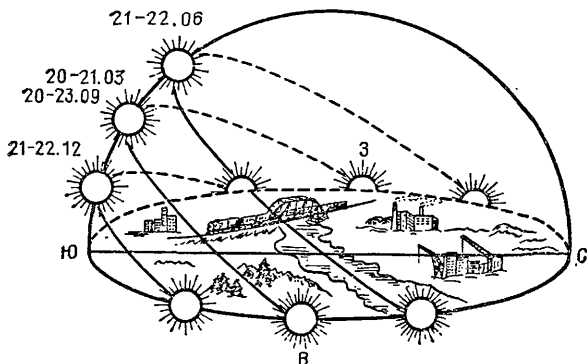


Рис. 195. Видимое движение Солнца на небе в дни солнцестояний и равноденствий

(рис. 195), где φ — географическая широта наблюдателя. В частности, при $\varphi = 50^\circ$ высота Солнца в верхней кульминации 22 июня равна $63,5^\circ$, тогда как 22 декабря всего $16,5^\circ$. При $\varphi = 55^\circ$ эти числа на 5° меньше: $58,5^\circ$ и $11,5^\circ$ соответственно.

Поэтому также на протяжении года изменяются азимуты точек восхода и захода Солнца. Так, на той же широте $\varphi = 50^\circ$ азимут точки захода Солнца в конце декабря равен 54° , тогда как в конце июня — 129° . Следовательно, здесь на протяжении года точка захода (и восхода) Солнца передвигается вдоль

горизонта на угол 75° . При $\varphi = 55^\circ$ этот угол составляет 87° .

Для выполнения простейших астрономических наблюдений, связанных с годичным движением Солнца по эклиптике, установим на площадке вертикальный столб — *гномон*. С его помощью необходимо определить направление север — юг, т. е. направление *полуденной линии* (проекции небесного меридиана на горизонтальную плоскость). С этой целью следует, начав примерно с 10 часов утра, через каждые полчаса отмечать положение конца тени от гномона с помощью небольших колышков или меловых отметок и эту работу закончить около 4 часов после полудня. Плавная линия, проведенная через отметки, воспроизведет траекторию конца тени от гномона. Направление кратчайшей тени найдем, проведя (с помощью нити *ОВ*, закрепленной у основания гномона) часть окружности, пересекающую траекторию конца

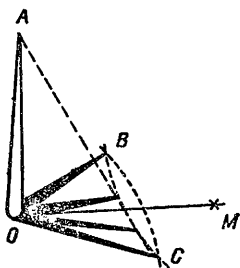


Рис. 196. Определение направления полуденной линии с помощью гномона

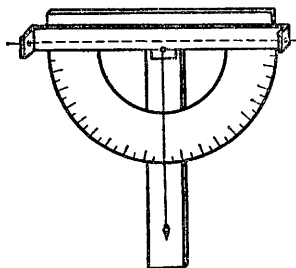


Рис. 197. Простейший высотомер

тени гномона в двух точках — *В* и *С* (рис. 196). Теперь из этих точек, как мы это знаем из геометрии, произвольным радиусом сделаем две засечки и найдем точку *М*, соединяя которую с основанием гномона, получим полуденную линию *ОМ*.

Установив направление полуденной линии и тем самым плоскости небесного меридиана, измерим высоту Солнца над горизонтом в верхней кульминации. Это можно сделать с помощью изготовленного собственноручно высотомера (рис. 197). Ее также определим по длине тени *l* от гномона высотой *Н*, поль-

зуясь очевидным соотношением $\operatorname{tg} h = \frac{H}{l}$. Если такие наблюдения проведены в конце июня и декабря, то, разделив разность найденных высот пополам, найдем угол наклона плоскости эклиптики к плоскости небесного экватора ($\varepsilon = 23,5^\circ$).

Два уточнения. Выше были упомянуты даты равноденствий — 21 марта и 23 сентября. Заглянув, однако, в календарь, читатель увидит, что в упомянутые дни на самом-то деле никаких равноденствий нет. Так, на широте 50° 21 марта, когда, по определению, день будто бы должен быть равным ночи, он равен $12^{\text{h}}10^{\text{m}}$, а не $12^{\text{h}}00^{\text{m}}$. Равноденствие же бывает 17—18 марта (осенью 26, а не 23 сентября).

Причин здесь две: 1) Продолжительность дня определяется появлением над горизонтом и исчезновением под ним не центра диска Солнца, а его верхнего края. 2) За счет атмосферной рефракции (см. Введение) мы видим (особенно вблизи горизонта) Солнце не там, где оно есть на самом деле, а несколько выше его истинного положения на небесной сфере (у горизонта — на $35'$).

Поэтому также на широте 50° точка восхода Солнца сдвигается влево, а точка захода вправо на 1° (на два видимых угловых диаметра Солнца!) по отношению к точкам востока (E) и запада (W). Другими словами, в день весеннего равноденствия, 21 марта, Солнце восходит не в точке востока, как это было бы на лишенной атмосферы планете, а на целый градус к северу.

Учтя все это, попробуем установить ориентиры в направлении точек восхода Солнца 21 марта, 22 июня, 23 сентября и 22 декабря, если только местность, где проводятся наблюдения, ровная и горизонт открыт. В дальнейшем будем следить за тем, как ото дня ко дню точка восхода (или захода) Солнца передвигается от одного ориентира к другому. В далеком прошлом такие наблюдения проводили многие люди, заселявшие различные уголки Европы и Америки. Вспомним хотя бы известный всем Стоунхендж в Англии или системы из нескольких храмов у майя, которыми как раз фиксировались упомянутые выше направления. Тем самым люди решали важную календарную задачу: взошло Солнце над точкой середины дуги «скольжения по азимуту» — значит день

равен ночи и можно начинать счет дней в новом календарном году. Ведь традиция начинать новый год вблизи весеннего равноденствия существовала у многих народов мира, в том числе и в Древней Руси.

Солнечные часы. Желательно у школы или дома установить простейший прибор для определения времени — солнечные часы. Они бывают трех типов: экваториальные, горизонтальные и вертикальные

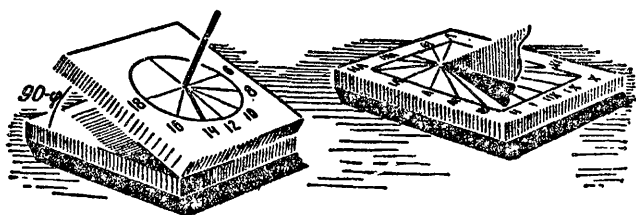


Рис. 198. Экваториальные и горизонтальные солнечные часы

(рис. 198). В первом случае «циферблат» часов устанавливается параллельно плоскости небесного экватора, а отбрасывающий тень стержень — параллельно оси мира. Здесь каждому часу на циферблате часов соответствует угол в 15° .

В горизонтальных солнечных часах углы, соответствующие каждому часу, имеют различную величину. Рассчитывают их по уравнению $\operatorname{tg} \alpha = \sin \varphi \operatorname{tg} t$, где α — угол между полуденной линией и направлением на числа 13, 14, 15 и т. д., указывающие час, φ — географическая широта местности, t — часовой угол Солнца, равный соответственно 15° , 30° , 45° и т. д. Для широты $\varphi = 50^\circ$ имеем $\alpha_1 = 11^\circ 36'$, $\alpha_2 = 23^\circ 52'$, $\alpha_3 = 37^\circ 27'$, $\alpha_4 = 53^\circ 00'$, $\alpha_5 = 70^\circ 41'$; для α_6 принимаем значение 90° . Таким образом, линии, соответствующие 13 и 11 часам, проводим по обе стороны от полуденной линии (=12 часам) на угловом расстоянии $11^\circ 36'$, линии для 14 и 10 часов — на расстоянии $23^\circ 52'$ и т. д.

Можно, конечно, изготовить циферблат часов из плоского шифера, а стержень или треугольник из нержавеющей стали или меди. Но проще всего сделать часы прямо на земле, выровняв площадку раз-

мером 2×3 м. В южной части площадки следует установить железную трубу так, чтобы ее проекция соответствовала полуденной линии, а наклон — широте места φ . Циферблат можно засыпать битым камнем или кирпичом и залить раствором цемента, а часовые линии сделать цветными, но также неплохо выглядят часы, у которых циферблат регулярно пропалывается, а часовые линии и сами цифры «высеяны» разными сортами травы.

Вертикальные солнечные часы устанавливаются на стене, расположенной строго в направлении восток — запад. Выбрав точку крепления стержня, установим его под углом $90^\circ - \varphi$ к стене так, чтобы его проекция на стену совпала с направлением линии отвеса. Часовые линии проведем в соответствии с формулой $\operatorname{tg} \beta = \cos \varphi \operatorname{tg} t$.

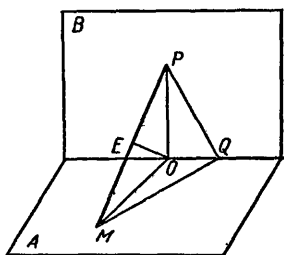


Рис. 199. К расчету делений циферблата солнечных часов

Кстати, вывод приведенных здесь формул элементарно прост и может быть получен с помощью рис. 199. Пусть A и B — соответственно горизонтальная и вертикальная плоскости, перпендикулярные плоскости небесного меридиана, и MP — направление оси мира (теневого стержня обоих часов), MO и PO — проекции стержня на горизонтальную и вертикальную плоскости (соответственно полуденная линия и линия отвеса). В прямоугольном треугольнике PMO $\angle EMO = \varphi$ — широте места наблюдения, $\angle EPO = 90^\circ - \varphi$. Наконец, $\angle OEQ$ — часовой угол, а $\angle OMQ = \alpha$ для горизонтальных часов и $\angle OPQ = \beta$ для вертикальных — угол отклонения тени. В обоих случаях имеем $OQ = OE \operatorname{tg} t$, а также $OE = OM \sin \varphi$, $OE = OP \cos \varphi$ и $OQ = OM \operatorname{tg} \alpha$, $OQ = OP \operatorname{tg} \beta$. Отсюда и следуют обе приведенные выше формулы.

Уравнение времени. Момент, когда тень от гномона падает вдоль полуденной линии, — это истинный полдень. Центр диска Солнца находится в верхней кульминации и местное истинное солнечное время равно в точности 12 ч 00 мин 00 с ($T_\odot = 12^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}}$). А что показывают наши часы?

Ранее уже использовалось понятие местного времени T_λ — времени, измеренного на меридиане наблюдателя от нижней кульминации... среднего солнца — фиктивной точки, равномерно движущейся вдоль небесного экватора. Эту точку пришлось ввести, так как истинное Солнце движется по эклиптике с переменной угловой скоростью, отображая неравномерное движение Земли по эллиптической орбите. Поэтому также истинные солнечные сутки на протяжении года имеют неодинаковую продолжительность: наибольшую 23 декабря, наименьшую 16 сентября, причем разница в их длительности в указанные дни составляет 51 секунду.

Как уже отмечалось (см. Введение), разность $\eta = T_\lambda - T_\odot$ между средним солнечным временем T_λ и истинным солнечным временем $T_\odot$, измеренная на том же меридиане, называется уравнением времени.

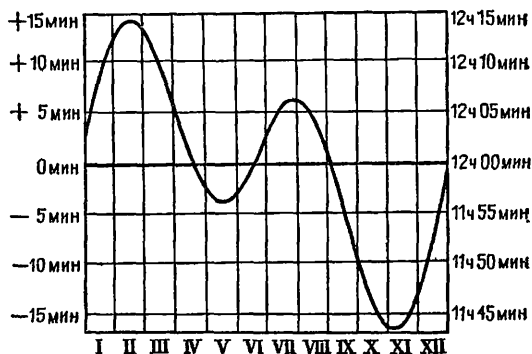


Рис. 200. Уравнение времени

Его значение на начало каждого суток публикуется в любом астрономическом календаре, а приближенное значение можно снять с рис. 200.

Уравнение времени отображает тот факт, что истинное Солнце в своем движении на небесной сфере то «обгоняет» среднее солнце, то «отстает» от него. В частности, на момент весеннего равноденствия имеем $\eta = +7,5^m$. Это значит, что 20 марта при точном вращении небесной сферы через меридиан наблюдателя сначала проходит среднее экваториальное солнце и лишь спустя $7,5^m$ центр диска истинного Солнца.

Предположим, что сегодня 3 июля. Тень от гно-

мона ложится точно на полуденную линию. Мы находимся в пункте с географической долготой $\lambda = 44^\circ$. Что показывают наши часы?

Прежде всего уточним, что меридиан, долгота которого равна 45° , является центральным меридианом третьего часового пояса ($N = 3$). Мы находимся в третьем часовом поясе и наша географическая долгота, измеренная в часовой мере, $\lambda = 2^h56^m$. Из «Астрономического календаря ВАГО» найдем, что уравнение времени для 3 июля $\eta = +4^m$. Следовательно, в момент верхней кульминации Солнца местное среднее солнечное время $T_\lambda = T_\odot + \eta = 12^h04^m$. Всемирное же время, т. е. время на нулевом, гринвичском меридиане $T_0 = T_\lambda - \lambda = 12^h04^m - 2^h56^m = 9^h08^m$. Наконец, летнее время третьего часового пояса $T_\lambda = T_0 + (N + 1)^h = 9^h08^m + 4^h00^m = 13^h08^m$. Это-то и показывают часы наблюдателя в момент верхней кульминации Солнца.

Определим свои координаты. После того как мы установили направление полуденной линии и смысл уравнения времени, можно сделать попытку определить свои географические широту φ и долготу λ .

Для этого следует запастись хорошо выверенными часами, показывающими летнее время соответствующего часового пояса. Фиксируем показания этих часов и длину тени гномона в момент, когда она совпадает с направлением полуденной линии. Если I и l — соответственно высота гномона и длина его тени в полдень, то из соотношения $\operatorname{tg} h_{\text{в.к}} = \frac{H}{l}$ находим высоту Солнца в момент верхней кульминации. Далее по формуле $\varphi = 90^\circ - h_{\text{в.к}} + \delta_\odot$ определяем свою широту. Склонение Солнца на день наблюдения выписываем из астрономического календаря.

Долготу места находим по формуле $\lambda = T_\odot + \eta - [T_\lambda - (N + 1)^h]$, являющейся комбинацией выписанных выше соотношений для истинного, местного и всемирного времени. Уравнение времени, как обычно, берем из астрономического календаря.

Наблюдения пятен. Наблюдения Солнца с телескопом нуждаются в специальной оговорке:

смотреть на Солнце в окуляр инструмента крайне опасно!

Самое лучшее — это спроектировать изображение Солнца на экран (рис. 201). К тому же таким образом становится возможным одновременный обзор картины большим числом участников.

Кроме того, при наблюдениях с помощью рефрактора объектив инструмента следует задиафрагмировать до относительного отверстия $1/30$ — $1/45$. В противном случае от сильного жара линзы окуляра перегреются и треснут.

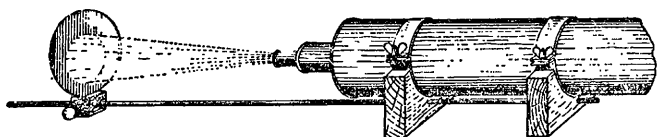


Рис. 201. Наблюдение Солнца с помощью экрана

Поскольку при наблюдениях солнечных пятен необходим обзор всего диска Солнца, следует использовать окуляр, с которым телескоп дает увеличение не больше 40—60 раз.

Конечно, лучше всего наблюдения проводить внутри павильона, в котором отверстие люка закрывается с помощью защитных штор. Но если телескоп устанавливается на открытом месте, то желательно пользоваться защитным экраном размером хотя бы 70×70 см, в центральной части которого вырезано отверстие, равное диаметру трубы телескопа. Следует заранее запастись листами чистой белой бумаги с нарисованными на них кругами, например, диаметром 10 см.

Целью наблюдений является зарисовка на заготовленном шаблоне всех обнаруженных на солнечном диске деталей — пятен и факелов. Если в дальнейшем предполагается определение их координат, то следует отметить также направление смещения отдельного пятна — направление суточной параллели. Тем самым в дальнейшем по данным астрономического календаря можно будет установить направление оси вращения Солнца и положение его экватора. Убедиться же в самом факте вращения Солнца можно, если наблюдения с зарисовками повторить через два-три дня.

Главная задача наблюдений: установить, есть ли пятна на Солнце в данный момент времени и если

есть, то оценить степень активности Солнца. Как известно, число пятен на Солнце на протяжении 11,1 года существенно меняется. Так, в 1969, 1980 и в 1990—1991 г. их было очень много, в другие же годы их, наоборот, бывает очень мало: на протяжении многих недель на диске Солнца может не быть ни одного пятна.

Если зарисовка пятен (с сохранением их видимых размеров) произведена, то в дальнейшем можно определить: 1) число групп пятен g , 2) число пятен в каждой группе f_i и 3) общее число пятен во всех группах $f = \sum f_i$. Это позволяет рассчитать *число Вольфа* $W = 10g + f$, широко используемую и весьма показательную характеристику солнечной активности.

Таким образом, если на диске Солнца пятен нет вовсе, то число Вольфа $W = 0$. Если же имеется одно пятно, то $W = 11$, так как при этом $g = 1$ и $f = 1$. В отдельные годы максимумов солнечной активности число Вольфа достигает величины $W = 180$.

Важной характеристикой активности Солнца является также общая площадь всех пятен (включая и их полутени). Для установления площади каждого пятна его сравнивают со шкалой солнечных пятен (рис. 202).

В задачу тех, кто регулярно ведет «службу Солнца» (а этим занимаются многие астрономические обсерватории мира), входит также определение координат пятен. Мы упомянем здесь, что с этой целью были введены *гелиографическая долгота* λ и *гелиографическая широта* β . Широта β отсчитывается от солнечного экватора к полюсам (положительная к северу). Долготы отсчитываются от условного *нулевого меридиана Кэррингтона*, вращающегося с угловой скоростью 14,1844 град/сут. Упомянем также, что ось вращения Солнца наклонена к плоскости земной орбиты под углом $82^\circ 45'$. Поэтому в разные времена года расположение солнечного экватора и полюсов на диске Солнца различно (рис. 203). Порядок определения координат объектов на диске Солнца и вспомогательные таблицы читатель найдет в «Астрономическом календаре ВАГО». Здесь же мы ограничимся лишь описанием метода установления ориентации оси вращения Солнца в день наблюдений.

Если на зарисовке диска Солнца имеется направление суточной параллели, то через центр изображе-

ния диска проводят к ней перпендикуляр, который укажет направление круга склонения, т. е. направление на Северный полюс мира. В таблице «Астрономического календаря» под названием «Физические

Площади млн ¹ мин ²		Пятна мм	Диаметры с км	
12,5	0,20	• 0,5	9,6	6950
50,0	0,78	• 1	19,2	13900
112,5	1,77	• 1,5	28,8	20850
200,0	3,14	• 2	38,4	27800
312,5	4,91	• 2,5	48,0	34750
450,0	7,07	• 3	57,6	41700
612,5	9,62	• 3,5	67,2	48650
800,2	12,57	• 4	76,8	55600
1012,0	15,90	• 4,5	86,4	62550
1249,0	19,63	• 5	96,0	69500
		• 0,9 Земля	17,6	12756

Рис. 202. Шкала солнечных пятен (в первом столбце — площадь пятна в миллионных долях видимой площади Солнца)

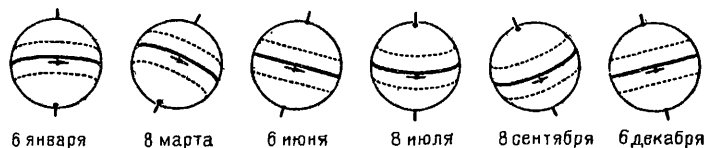


Рис. 203. Положение оси вращения Солнца и солнечного экватора в различные моменты года

эфемериды Солнца, Луны...» находим позиционный угол P проекции солнечной оси вращения на картинную плоскость. Например, для 7 марта $P = -22,9^\circ$.

Следовательно, угол между направлением на полюс мира и осью вращения Солнца в этот день равен $22,9^\circ$, знак же указывает, что северный полюс Солнца находится «справа», к западу относительно «най-вышей», северной точки солнечного диска. В таблицах имеется также гелиографическая широта B_0 центра солнечного диска на тот же день; она положительна, если северный полюс Солнца обращен к Земле.

18. НОЧЬЮ — ЗВЕЗДНОЕ НЕБО

Углы и величины. На первых страницах книги уже были осуществлены прогулка по звездному небу и знакомство с отдельными созвездиями. Но эта прогулка была скорее праздничная. Здесь же мы попробуем «засучив рукава» решить некоторые конкретные задачи астрогнозии.

Во все времена перед астрономами стояли две важнейшие проблемы: измерение угловых расстояний между светилами и оценка их звездных величин. И сегодня это азбука, с которой следует начинать изучение астрономии.

Простейший вариант угломерного прибора состоит из двух деревянных линеек, скрепленных в виде буквы Т. На конце линейки, противоположном перекладине, укрепляется визир (рис. 204). На перекладине

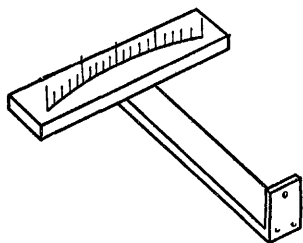


Рис. 204. Простейший угломерный инструмент

по дуге окружности радиусом 57,3 см с интервалом в 1 см вбиваются гвоздики. Центром окружности является визир. При этих условиях интервалу между двумя соседними гвоздиками соответствует угол в 1° на небесной сфере. С помощью этого нехитрого инструмента можно проводить регулярные (скажем, каждый вечер в одно и то же время) измерения угловых расстояний планет и Луны относительно некоторых «опорных» звезд и тем самым устанавливать особенности движения упомянутых светил на небесной сфере.

Для измерения высоты светила над горизонтом удобно использовать уже упоминавшийся выше (см. рис. 197) простейший высотомер — транспортир, к которому прикрепляются линейка с визирами и отвес.

Для оценки угловых расстояний можно воспользоваться и тем, что ширина большого пальца на вытянутой руке равна 2° , ширина кулака 8° , раскрытой руки от ногтя большого пальца до ногтя мизинца около 20° (рис. 205).

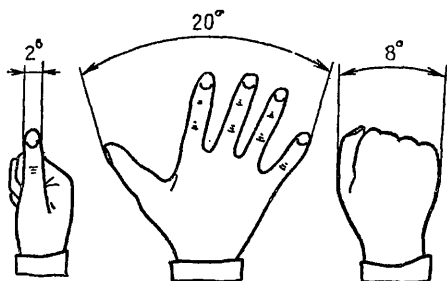


Рис. 205. Измерение угловых расстояний с помощью пальцев рук

Полезно запомнить расстояния в градусах между отдельными звездами Большой Медведицы (рис. 206). В частности, угловое расстояние между звездами α и β («задняя стенка» Веса) равно $5,4^\circ$, а между звездами ζ и g (Мицаром и Алькором) — $12'$.

Теперь — о видимых величинах звезд. Для значительной части ярких звезд они указаны в табл. 21 (часть четвертая), где даны также собственные названия этих звезд, заимствованные главным образом у арабских астрономов. Полезно запомнить величины звезд Большой и Малой Медведиц. На рис. 207 они проставлены у каждой звезды.

Следует запомнить, что земная атмосфера поглощает часть света, идущего от звезды, и тем сильнее, чем меньше высота ее над горизонтом. Так, при наблюдениях звезды в зените ее блеск ослаблен на $0,23^m$. Если звезда находится на высоте 20° , этот эффект возрастает до $0,45^m$, а при высоте 4° над горизонтом — до 2^m . Поэтому при оценках звездных величин планеты или переменной звезды необходимо с карты или из звездного атласа выписать види-

мые звездные величины звезд, ближайших к исследуемому объекту.

Калейдоскоп созвездий. Присмотримся теперь внимательнее к тому, как происходит изменение в положениях звезд и созвездий на небе на протяжении года. Наблюдения проводим на площадке, в южной части которой имеется какой-нибудь ориентир, например столб, дерево или высокое здание. Задача заключается в том, чтобы зафиксировать момент времени,

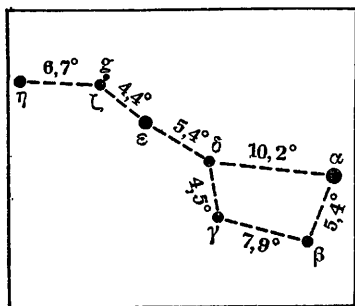


Рис. 206. Угловые расстояния между звездами ковша Большой Медведицы

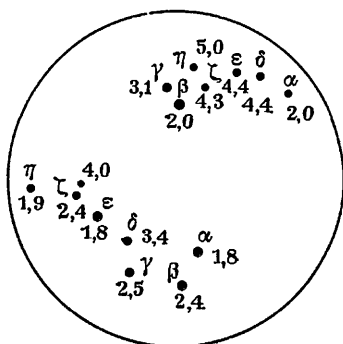


Рис. 207. Видимые звездные величины звезд Большой и Малой Медведиц

в который определенная звезда достигает этого ориентира. Так, устанавливаем, что какая-либо звезда занимает сегодня то же положение на небе (положение относительно ориентира) на 4 мин (точнее, 3 мин 56 с) раньше, чем вчера. За 15 дней смещение по времени составит уже час, за месяц (30 дней) — два часа, за три месяца (четвертую часть года) — шесть часов (четвертую часть суток).

Иначе говоря, созвездия, которые видны на небе 1 сентября, например в 24 часа, занимают то же положение над горизонтом 1 октября в 22 часа, 1 ноября в 20 часов, 1 декабря в 18 часов и т. д.

В итоге мы приходим к выводу, что в своем суточном вращении сфера звезд непрерывно поворачивается навстречу Солнцу. Это результат видимого годичного перемещения Солнца по эклиптике с угловой скоростью почти 1° в сутки (напомним, что видимый угловой диаметр Солнца — $0,5^\circ$ и что, следовательно, Солнце за сутки перемещается по эклиптике

почти на два своих видимых угловых диаметра). Перемещение Солнца по зодиакальным созвездиям схематически показано на рис. 208.

Карта звездного неба. Ранее уже отмечалось, что каждой точке небесной сферы можно поставить в соответствие пару чисел: небесные координаты α и δ — прямое восхождение и склонение. Они-то и проставляются на картах звездного неба. Если карта вы-

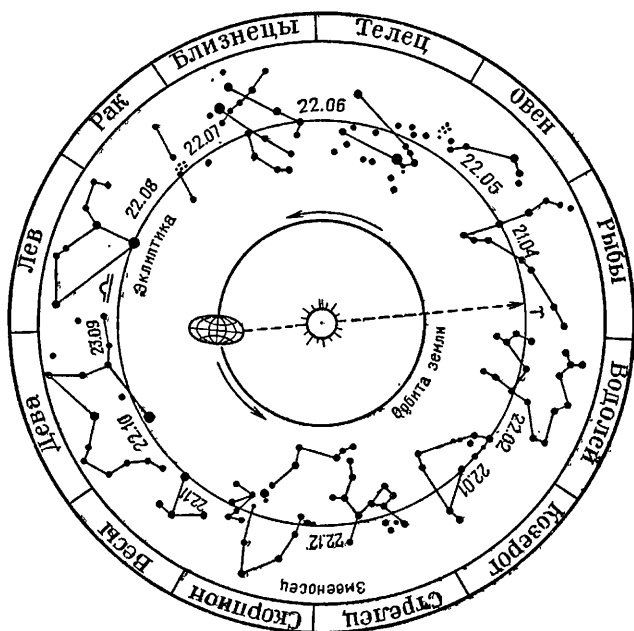


Рис. 208. Перемещение Солнца по зодиакальным созвездиям

полнена в виде прямоугольника, как это делается для приэкваториальных частей небесной сферы, то прямое восхождение α отсчитывается по горизонтали (вдоль оси X), а склонение δ — по вертикали (по оси Y). На карте, выполненной в виде круга, прямое восхождение указывается на обводе — на краю карты. Радиальные линии, сбегающие к ее центру, — это проекции кругов склонений. Склонения проставляются по крайней мере вдоль круга склонений, проходящего через точки весеннего и осеннего равноденствий (прямая 0^h — 12^h на карте), в других случаях также вдоль круга склонений 6^h — 18^h . Небес-

ный экватор, это полезно запомнить, проходит через первую из трех звезд Пояса Ориона (звезда δ Ориона). Когда экватор найден, нетрудно уже идентифицировать и положение эклиптики и точки ее пересечения с небесным экватором Υ и $\cap$.

На самом краю второго описанного варианта карты проставлены даты.

Даты на краю указывают положение Солнца на эклиптике.

Двигаясь от заданной даты по прямой (по кругу склонений) к центру карты (к Северному полюсу мира), найдем на эклиптике положение Солнца на эту дату. Например, 17 мая Солнце проходит «над» скоплением Плеяды, 22 августа — «вблизи» звезды Регул (α Льва), 12 октября — «над» Спикой (α Девы), 22 ноября — «около» звезды β Скорпиона и т.д.

Ниже мы будем говорить о подвижной карте звездного неба. Но ее нужно изготовить. Если же времени (или возможности) у читателя нет, а крайне необходимо заранее знать, какие созвездия будут видны, скажем, через час после захода Солнца, то задача элементарно решается и с помощью обычной карты неба. Для этого достаточно помнить, что в северном полушарии Земли небосвод, если мы смотрим на юг, вращается слева направо. Найдем положение Солнца на эклиптике на заданную дату, мысленно передвинем эту точку вправо («спрячем ее под горизонт») и придем к выводу, что на вечернем небе видны, в частности, те зодиакальные созвездия, которые находятся «слева» от Солнца (имеют большие, чем у Солнца, прямые восхождения). И наоборот, утром видны те созвездия, которые находятся на эклиптике «справа» от Солнца.

Можно сказать и поточнее. Так как примерно 40 мин после захода Солнца в средних широтах продолжаются сумерки и звезд в этот промежуток времени еще не видно, то

в верхней кульминации спустя час после захода Солнца будут те звезды, прямое восхождение которых примерно на 7^h больше, чем у Солнца в заданную дату.

Сказанное близко к истине весной и осенью, когда Солнце находится вблизи небесного экватора. На лето и зиму в это правило читатель сможет внести корректировку самостоятельно. На утреннем небе в южной его части видны те звезды, прямое восхождение которых примерно на 7^h меньше, чем у Солнца.

Подвижная карта неба. Подвижная карта звездного неба состоит из двух частей: собственно карты и накладного круга к ней. На этом круге изображены несколько овалов, рядом с которыми проставлены значения географической широты места наблюдения.

По краю накладного круга нанесены числа — 1, 2, ..., 23. Это местное среднее солнечное время T_{λ} .

Интервал в один час разделен на шесть частей, что позволяет отмечать моменты времени с точностью до 5 минут.

Карту и круг следует наклеить на плотную бумагу или тонкий картон и в круге аккуратно вырезать отверстие по овалу, соответствующему географической широте наблюдателя. Круг накладывается на карту так, чтобы его оцифрованный край всегда располагался концентрично с кругом дат карты. Еще лучше перенести все числа и линии круга на прозрачную пленку, что позволит скрепить центры обоих кругов заклепкой и сделать карту более удобной для работы. В последние годы именно таким образом выполнена учебная «Карта звездного неба подвижная» КЗН-П1 А. Д. Марленского, изготовленная массовым тиражом Главучтехпромом МП РСФСР. Здесь на накладном круге у овала проставлены азимуты с 0° по 360° . Овал пересекают две линии: $0-12^h$, являющаяся проекцией небесного меридиана, и кривая, соединяющая азимуты 90° и 270° (точки запада и востока) — первый вертикал, на котором проставлены значения высот светил над горизонтом в пределах $0^\circ-90^\circ$. Запомним: все, что находится внутри овала, видно над горизонтом; звезды и созвездия, расположенные вне овала, находятся под горизонтом и, следовательно, в данный момент вре-

мени не видны. В точке пересечения линий находится зенит.

Почти как правило, нас интересует южная часть неба. При ее отождествлении устанавливаем карту числом 12^h (на накладном круге) к себе. Для самодельных карт, у которых нет оцифровки вдоль края овала, это число одновременно играет роль точки юга (рис. 209).

Работу с подвижной картой звездного неба следует выполнять в таком порядке:

1) Рассчитать местное среднее солнечное время T_λ для заданного момента летнего или (в осенне-зимний сезон) поясного времени.

2) Вращая карту, совместить дату наблюдения с рассчитанным местным временем наблюдения.

Звезды, оказавшиеся внутри овала, будут видны над горизонтом. Те из них, которые окажутся на линии «центр — 12^h », будут в верхней кульминации.

Пример. Установим, какие звезды будут в верхней кульминации 31 декабря в 23 часа поясного времени для наблюдателя на географической долготе $\lambda = 2^h15^m$.

Наблюдатель находится во втором часовом поясе ($N=2$), и его местное среднее солнечное время находим в два приема (так легче осмыслить и запомнить порядок расчета). Сначала — всемирное время $T_0 = T_d - (N)^h = 23^h00^m - 2^h00^m = 21^h00^m$. Второй шаг — найдем местное время $T_\lambda = T_0 + \lambda = 21^h00^m + 2^h15^m = 23^h15^m$. Совмещая дату со временем наблюдения, найдем, что верхнюю кульминацию проходит Капелла (α Возничего). В южной части неба красуется Орион: он также находится в верхней кульминации.

С помощью подвижной карты звездного неба можно решать самые разнообразные задачи, относящиеся к условиям видимости отдельных звезд и созвездий. Например, устанавливать, когда та или другая звезда находится в верхней кульминации в тот или другой день года. Для этого расположим данную звезду на линии « 12^h — центр карты» и на краю накладного круга отсчитаем местное время T_λ интересующей нас даты. Так, например, α Орла (Альтаир) находится

в верхней кульминации 1 сентября в $21^{\text{h}}10^{\text{m}}$, 18 июля — ровно в полночь (в $0^{\text{h}}00^{\text{m}}$), 1 мая — в $5^{\text{h}}15^{\text{m}}$ местного времени. То же относится и к восходам и заходам звезд. Установим ту же звезду Альтаир на горизонте в его восточной части (слева),

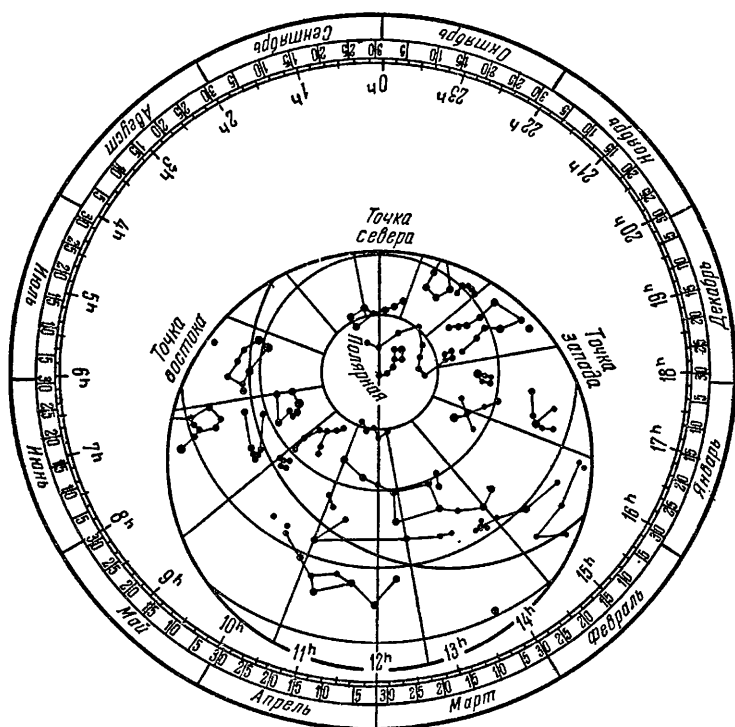


Рис. 209. Подвижная карта звездного неба

найдем, что 1 сентября она восходит в $14^{\text{h}}31^{\text{m}}$, 1 декабря — в $8^{\text{h}}33^{\text{m}}$ (как и должно быть — за три месяца на шесть часов раньше) местного времени. Установив звезду Альтаир на горизонте в его западной части, найдем, что 1 сентября она заходит в $3^{\text{h}}51^{\text{m}}$, 1 декабря — в $21^{\text{h}}56^{\text{m}}$ местного времени. Отметим, что мы пользуемся картой А. Д. Марленского, приспособленной для географической широты $\varphi = 55^\circ$. Чем больше отличается широта наблюдателя от указанной здесь, тем существеннее будут различия в моментах восхода и захода светил (их кульминации

для всех наблюдателей, находящихся на одном и том же географическом меридиане, происходят одновременно).

С помощью подвижной карты звездного неба можно устанавливать *характерные восходы и заходы звезд*, которые использовались в далеком прошлом многими народами в качестве «сигналов» для начала тех или других работ. Вспомним древних египтян: первый утренний восход звезды Сириус возвещал приближающийся разлив Нила...

Итак, первое появление звезды в лучах утренней зари называется ее *гелиакическим восходом*. Заход же звезды в лучах утренней зари было принято называть ее *космическим заходом*. Восход звезды при заходе Солнца — это ее *акронический восход*, а заход звезды в лучах вечерней зари — *гелиакический заход*.

Происхождение этих названий таково: первое и последнее от греческого «гелиос» — Солнце, слово «космос» когда-то означало «украшение», слово «акрос» означает «высший», по-видимому, имелось в виду положение звезды, наиболее удаленное от Солнца.

При решении задач на характерные восходы и заходы звезд устанавливаем звезду на горизонте в его восточной или западной части в зависимости от того, что нас интересует. Далее примем, что на широте 55° продолжительность сумерек равна 1 часу (на самом деле в октябре — всего 40 мин). Это значит, что звезда будет видна над горизонтом, если с момента захода Солнца прошло время, равное продолжительности сумерек, скажем один час. Возьмем ту же звезду Альтаир, установим ее на горизонте в восточной его части. Предположим, нас интересует, когда на широте 55° наблюдается ее акронический восход. Найдем точку пересечения эклиптики с горизонтом (созвездие Тельца). Если бы сразу после того, как Солнце скроется за горизонтом, были видны звезды, то следовало бы от точки пересечения эклиптики с горизонтом идти вдоль радиальной прямой к краю карты, и здесь мы бы нашли ответ: Альтаир восходит при заходе Солнца 8 июня

(на широте 55°). Но после захода Солнца звезд не видно здесь целый час. Поэтому нужно мысленно продвинуть Солнце на эклиптике вправо на 1^h и лишь после этого отсчитать дату у края карты. В итоге получим дату 23 мая.

А когда звезду α Орла видно восходящей утром непосредственно перед восходом Солнца? Снова расположим Альтаир на горизонте в его восточной части,

найдем эклиптику и установим Солнце на ней левее горизонта на 1^h . От этой точки эклиптики пройдем по радиусу к краю карты и получим дату 17 декабря.

Остальное предоставим читателю. Отметим лишь, что Сириус (α Большого Пса) заходит вечером последний раз в текущем году на широте 55° около 27 апреля.

О звездном времени. Мы уже знаем, что звездное время s — это время, истекшее с момента верхней

кульминации точки весеннего равноденствия. Знаем, что солнечные сутки на 3 мин 56 с длиннее звездных и что в году звездных суток ровно на единицу больше, чем солнечных. Чтобы отметить положение звезд на небе относительно небесного меридиана, астрономы ввели понятие часового угла светила t (см. во Введении раздел «Экваториальные системы координат»). Он отсчитывается таким образом, что совпадает со временем, истекшим с момента верхней кульминации светила. Тогда звездное время можно назвать часовым углом точки весеннего равноденствия: $s = t\gamma$. Из рис 210 видно, что для каждой звезды выполняется условие $s = \alpha + t$.

Поставим вопрос: а зачем вообще нужно это звездное время? И стоит ли здесь о нем говорить?

Раньше чем ответить, рассмотрим только что записанное соотношение. Если светило находится в

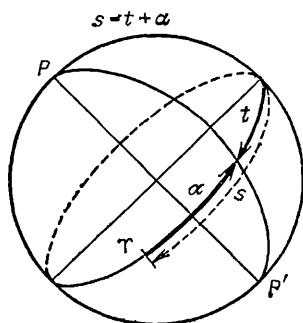


Рис. 210. Связь между прямым восхождением светила α его часовым углом t и звездным временем s

верхней кульминации, то для него часовой угол $t = 0$, и тогда имеем $s = \alpha$, т. е.

звездное время равно прямому восхождению светила, которое в этот момент находится в верхней кульминации.

На подвижной карте звездного неба линия «центр — 12^h » — это проекция небесного меридиана. Все звезды, пересекающие ее, находятся в верхней кульминации. Прямые восхождения этих звезд можно прочесть под числом 12^h . Следовательно, в дополнение к упомянутой выше информации подвижная карта звездного неба дает еще одну величину: звездное время момента наблюдений.

А теперь поставим сказанное «с ног на голову»: рассчитав звездное время для момента наблюдений, мы определим, какие звезды будут в этот момент в верхней кульминации! Короче говоря, если мы умеем рассчитывать звездное время s , то не обязательно иметь подвижную карту звездного неба. Можно воспользоваться любой, в том числе прямоугольной картой, чтобы припомнить, какие же звезды имеют рассчитанное значение α ($=s$).

Начало звездных суток совпадает с началом суток солнечных один раз в год — 22 сентября (в этот день Солнце переходит через точку осеннего равноденствия, и когда Солнце в нижней кульминации и начинаются солнечные сутки, точка весеннего равноденствия находится в верхней кульминации — начинаются звездные сутки). К началу каждой последующих суток звездное время S_0 возрастает на 4^m (точнее, на $3^m55,56^s$). Это значение звездного времени S_0 на начало суток можно найти в любом астрономическом календаре.

Если же календаря под руками нет, то значение S_0 можно (с точностью до 4^m) рассчитать по такой приближенной формуле: $S_0 \approx 6^h40^m + 2D$, где D — дата, отсчитанная от начала года в месяцах и их долях и переведенная в интервал времени. Например, звездное время на начало суток 11 июля ($D = 6,33 \rightarrow 6^h20^m$) $S_0 = 6^h40^m + 12^h40^m = 19^h20^m$.

Наблюдения мы проводим в момент T_{λ} местного среднего солнечного времени, каждые час, минута

и секунда которого «чутьочку» больше (длиннее) звездных. Чтобы найти звездное время s в момент наблюдений, следует воспользоваться формулой $s = S_0 + T_\lambda + \Delta T_\lambda$, где ΔT_λ — поправка перевода промежутка среднего времени в звездное. Таблицы таких поправок имеются во всех астрономических календарях. Для приближенных оценок звездного времени можно принять, что $s = S_0 + T_\lambda$.

Следовательно, в момент T_λ через меридиан в южной части неба проходят те звезды, для которых $\alpha \approx S_0 + T_\lambda$.

Вот для этой цели и полезно знать, что такое звездное время. Астрономы-специалисты используют его, чтобы определять часовой угол светила t : $t = s - \alpha$. Ведь на одном из лимбов телескопа устанавливается часовой угол светила t (на втором — склонение δ).

Звездные часы. Ранее отмечалось, что годовое перемещение Солнца по эклиптике отражается и на положении звезд околополярной области неба. Это позволяет построить так называемые звездные, или полярные, часы, по которым можно определять местное звездное время s (отсчитываемое от верхней кульминации точки весеннего равноденствия) и местное солнечное время T_λ . Для этого вырезаем из картона два круга различного диаметра. Большой из них будет циферблатом. На его обводе в направлении, противоположном вращению часовой стрелки, через равные промежутки пишем числа 1, 2, 3, ..., ..., 23, 0 (рис. 211). Второй круг несколько меньшего диаметра делим на 12 частей по количеству месяцев в году. На обводе по часовой стрелке пишем названия месяцев, а соответствующие им дуги делим на пятидневки. В секторе «сентябрь» рисуем Ковш Большой Медведицы и через середину прямой, соединяющей ее звезды γ и δ , проводим линию, которая указывает направление на точку осеннего равноденствия. Она-то и будет стрелкой полярных часов. Малый круг накладываем на большой, совмещая их центры и скрепляя заклепкой так, чтобы круги свободно вращались.

При измерении времени циферблат часов устанавливаем числом 0 вниз. Став лицом к северу, поворачиваем малый круг так, чтобы изображение Большой Медведицы на малом круге заняло такое

же положение относительно центра часов и линии «верх — низ», какое занимает это созвездие на небе относительно Полярной звезды. После этого

на циферблате (внешнем круге) напротив стрелки отсчитываем местное звездное время s . Напротив же даты наблюдения отсчитываем (опять-таки на внешнем круге) и местное солнечное время T_λ .

Например, при указанном на рис. 211 положении Ковша имеем $s = 10$ ч 40 мин. Если сегодня 1 сентября, то в этот момент $T_\lambda = 12$ ч, если 1 декабря,

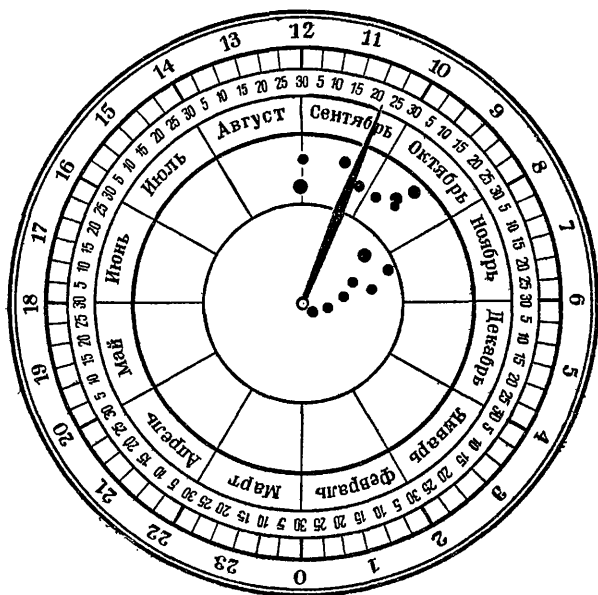


Рис. 211. Звездные (полярные) часы

то 6 ч, если 1 апреля, то 22 ч, а если 1 июня, то 18 ч, и т. д.

После некоторой тренировки уже можно определять солнечное время и без «звездных часов» — по положению звезд Большой и Малой Медведиц относительно горизонта. Именно так и делали наши далекие предки на протяжении многих столетий.

Координаты наблюдателя. Наконец кратко рассмотрим проблему определения географических координат наблюдателя по наблюдениям звезд. Общеизвестно утверждение:

высота полюса мира над горизонтом равна географической широте наблюдателя.

Это верно, конечно. Но полюс мира — это не более, чем воображаемая точка...

К счастью, вблизи Северного полюса мира находится яркая Полярная звезда. Но если не в самом полюсе, а вблизи него, то этот факт следует учитывать. В 1966 г. расстояние Полярной от Северного полюса мира составляло $54'$, спустя 20 лет, в 1986 г. оно уменьшилось до $49'$. Эту величину и необходимо иметь в виду.

Таким образом, Полярная звезда описывает вокруг полюса окружность радиусом $49'$.

В момент звездного времени $s \approx 2^h$ Полярная находится в верхней кульминации — выше полюса, а при $s \approx 14^h$ — в нижней кульминации, ниже полюса.

Именно в эти моменты наиболее выгодно проводить определение широты (в первом случае уменьшив измеренную высоту на угол $49'$, во втором — увеличив ее на ту же величину), так как нет необходимости спешить с измерениями (высота звезд изменяется наиболее медленно).

В указанные здесь моменты звездного времени можно установить направление полуденной линии. Желательно воспользоваться теодолитом: сначала зафиксировав направление на Полярную и затем измерив угол между этим направлением и ориентиром на горизонте.

После этого, установив трубу теодолита в плоскости небесного меридиана, ожидают прохождения заранее выбранной звезды через поле зрения инструмента. В момент, когда звезда пересекает вертикальную нить, по часам фиксируется время. Если к тому же звезда удерживалась на горизонтальной нити, то

можно снять отсчет высоты звезды и по приведенной уже формуле (см. рис. 195) еще раз определить широту. Долгота же находится из условия, что звездное время в момент наблюдения равно прямому восхождению звезды, которое берется из каталога, а звездное время наблюдателя s_λ связано со звездным временем на нулевом (гринвичском) меридиане s_0 соотношением $s_\lambda = s_0 + \lambda$.

Таким образом, $\lambda = s_\lambda - s_0$. Звездное время нулевого меридиана находим путем перехода от зафиксированного, например, летнего времени T_λ к всемирному T_0 : $T_0 = T_\lambda - (N + 1)^h$, и далее от среднего солнечного времени нулевого меридиана T_0 к звездному времени на этот момент: $s_0 = S_0 + T_0 + \Delta T_0$, звездное время на начало суток S_0 выписываем из астрономического календаря.

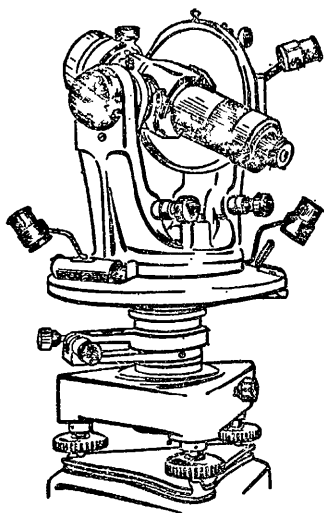


Рис. 212. Теодолит

19. НАБЛЮДЕНИЯ ЛУНЫ

Любительские наблюдения Луны могут проводиться в нескольких направлениях. Это прежде всего изучение особенностей ее движения среди звезд, определение ее «возраста», т. е. фазы, и главное — изучение элементов лунной поверхности (Моря, кратеры и т. д.), а также поиск и регистрация кратковременных явлений, которые эпизодически появляются на ней и существуют несколько (до 15) минут.

Движение Луны среди звезд. С целью изучения пути Луны среди звезд и угловой скорости ее движения зарисовываем видимое положение Луны на небе в определенный (лучше всего — один и тот же) момент времени, скажем, в 22 часа. С помощью простейшего угломерного прибора (см. рис. 204) измеряем и записываем в журнал угловые расстояния центра диска Луны от нескольких ярких звезд,

расположенных вблизи пути ее движения. После некоторого цикла наблюдений устанавливаем, что Луна

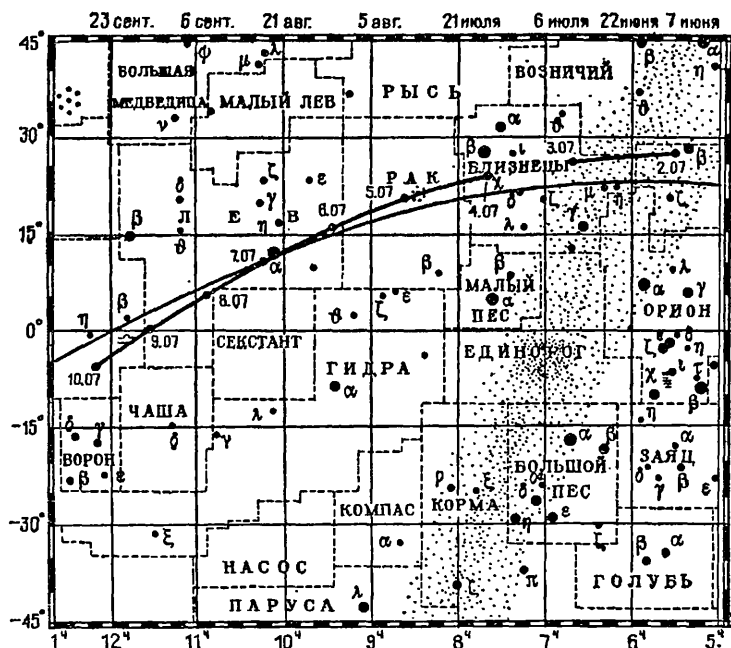


Рис. 213. Перемещение Луны среди звезд в июле 1988 г.

перемещается среди звезд с запада на восток (рис. 213). Ее средняя угловая скорость $13,2^\circ$ в сутки.

К одной и той же звезде Луна возвращается через 27, 322 сут ($= 27$ сут 7 ч 43 мин 11,5 с), т. е. за сидерический месяц.

Сопоставляя зарисовку положений Луны среди звезд с картой звездного неба, убеждаемся в том, что «в нулевом приближении» Луна движется вдоль эклиптики. Однако после более тщательных наблюдений устанавливаем, что этот вывод довольно груб и что

отклонение Луны от эклиптики в ту и другую сторону достигает 5° , а это десять ее угловых диаметров.

Напомним, что точка эклиптики, пересекая которую Луна приближается к Северному полюсу мира, называется восходящим узлом лунной орбиты, противоположная ей — нисходящим. Узлы лунной орбиты перемещаются по эклиптике навстречу Луне, т. е. к западу, совершая полный оборот за 18,61 г. За год расстояние восходящего узла от точки весеннего равноденствия изменяется на 19° , что любитель может заметить. Каждый последующий переход через эклиптику Луна совершает на $1,5^\circ$ к западу по сравнению с предыдущим положением узла. Именно поэтому, хотя на картах звездного неба и изображается эклиптика, но траектория движения Луны не показывается: такая карта имела бы смысл лишь на протяжении одного месяца.

Теперь обратим внимание на высоту Луны над горизонтом в первой и третьей четверти весной и осенью. Даже без специальных измерений легко обнаружить, что

весной на вечернем небе Луна в первой четверти «ходит очень высоко», тогда как осенью — «поразительно низко». При наблюдениях же Луны утром, когда она бывает в третьей (последней) четверти, все оказывается наоборот.

Причина этого понятна: весной, когда Солнце находится вблизи точки весеннего равноденствия, эклиптика на вечернем небе располагается над небесным экватором (рис. 214), осенью картина будет противоположной. А ведь «в нулевом приближении» Луна движется «придерживаясь эклиптики»!

Остается добавить, что последнее совпадение восходящего узла лунной орбиты и точки весеннего равноденствия произошло в августе 1987 г. Тогда-то весной высота Луны в первой четверти была равной $h_{в.к} = (90^\circ - \varphi) + 23,5^\circ + 5^\circ$, т. е. при $\varphi = 50^\circ$ достигала $68,5^\circ$, осенью же на вечернем небе Луну в первой четверти было видно на высоте всего $h_{в.к} = (90^\circ - \varphi) - 23,5^\circ - 5^\circ$. При $\varphi = 50^\circ$ имеем $h_{в.к} = 11,5^\circ$. Спустя 9,3 года, т. е. в начале 1997 г., с точкой весеннего равноденствия совпадет уже нисходящий узел. Читатель легко сообразит, что в первой четверти весной Луну будет видно тогда на

высоте $h_{з.к} = (90^\circ - \varphi) + 23,5^\circ$. Конкретно, при $\varphi = 50^\circ$ — на высоте $53,5^\circ$.

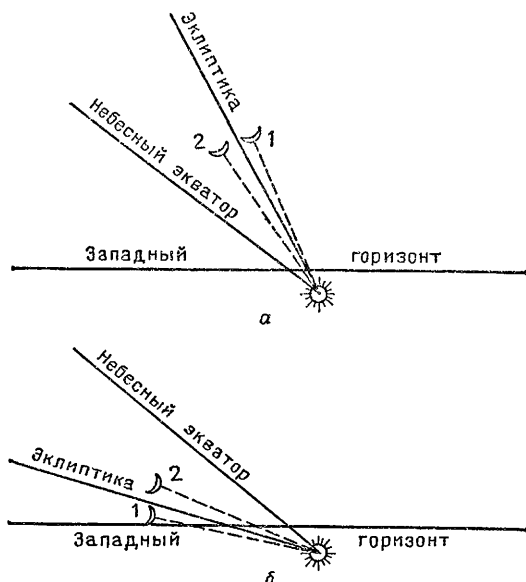


Рис. 214. Положение Луны на небе в первой четверти на весеннем (а) и осеннем (б) небе; случаям 1 и 2 соответствует совпадение с точкой Υ восходящего и нисходящего узлов лунной орбиты

Фазы Луны. Описывая внешний вид Луны, обычно говорят о ее фазе. Следует, однако, напомнить, что в строгом значении слова фаза — это отношение наибольшей ширины серпа Луны к диаметру ее диска (рис. 215). Так, в первой и третьей четверти фаза Луны $\Phi = 0,5$, в полнолунии $\Phi = 1$.

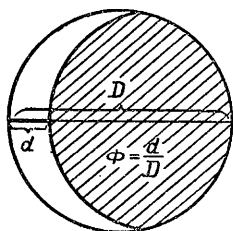


Рис. 215. К определению фазы Луны

Оценку возраста Луны производим, сопоставляя ее внешний вид с рис. 216, на котором указано положение терминатора (линии, разделяющей светлую и темную части диска Луны) с интервалом в одни сутки. После полнолуния следует пользоваться тем же рисунком, но уже в перевернутом виде.

Топография Луны. Изучение отдельных деталей видимой стороны Луны — кратеров, гор и Морей — проводим с помощью бинокля или телескопа, сопоставляя вид лунной поверхности с уже имеющейся картой Луны. Напомним, что на видимой стороне Луны имеются пять кратеров диаметром свыше 200 км, всего же с диаметрами от 1 до 100 км их насчитывается около 300 000.

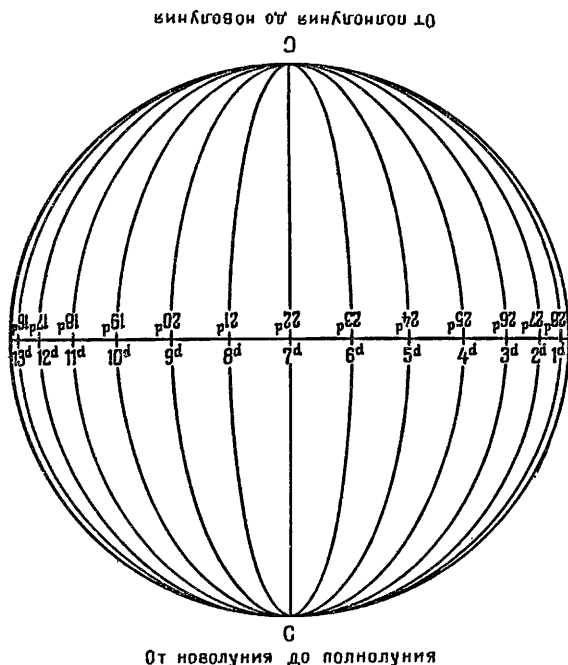


Рис. 216. Примерный вид различных фаз Луны (указан возраст в днях)

Моря и крупнейшие кратеры имеют собственные названия. Первым, кто начал такую работу, был бельгийский ученый ван Лангрэн (1600—1675). На его карте Луны (1645 г.) около 300 объектов были названы именами библейских пророков, христианских святых, членов испанской королевской семьи и т. д. Из них сохранились всего три наименования — Катарина, Кирилл и Теофил.

Польский астроном Ян Гевелий в своей «Селенографии» разместил на карте Луны около 250 совер-

шенно других названий лунных объектов. Гевелий использовал при этом названия земных морей, гор и городов. Однако и этот принцип наименований не был принят. Из всех введенных Гевелием названий сохранились лишь имена лунных гор Альпы и Апеннины и трех горных выступов.

В 1651 г. в книге «Новый Альмагест» итальянского астронома Джованни Риччоли (1598—1671) была опубликована карта Луны, составленная его соотечественником Франческо Гримальди (1618—1663). По-видимому, благодаря исключительной популярности этой книги, являвшейся своеобразной энциклопедией астрономических знаний того времени, введенные в ней названия объектов поверхности Луны начали использоваться другими астрономами и в основном сохранились до наших дней.

На упомянутой карте Луны впервые появились Море Дождей и Море Кризисов (да и все другие Моря). Гримальди удачно использовал для наименования более чем 200 кратеров имена ученых, распределив их с севера на юг в хронологическом порядке — от античных времен вплоть до момента изготовления карты. Новые 70 названий появились на карте Луны, составленной в 1791 г. любителем астрономии из Лилиенталя Иоганном Шрётером, еще 140 — на карте немецкого астронома Иоганна Мёдлера (1794—1874). Среди них встречаем кратеры Ньютон, Гаусс и др.

Но в XIX и в начале XX в. почти каждый составитель карты Луны стремился использовать новые названия, меняя старые «по своему усмотрению». Это прекратилось в 1932 г., когда IV Конгресс Международного астрономического союза утвердил 632 наименования крупнейших объектов видимой с Земли части лунной поверхности. С того же времени (октябрь 1959 г.), как советская автоматическая станция «Луна-3» впервые сфотографировала обратную сторону Луны, началась трудная работа по составлению «Атласа обратной стороны Луны». Так, на этой, невидимой стороне лунной поверхности появились Море Москвы, кратеры Ломоносов, Герц, Циолковский, Максвелл, Эйнштейн и др. В целом сегодня собственные названия имеют уже около 1300 объектов. Детальную информацию об ученых, именами которых названы кра-

теры на Луне, читатель может найти в пособии «Карта Луны» (М.: Наука, 1967).

В табл. 14 (часть четвертая) читатель найдет каталог деталей лунной поверхности в таком объеме: десять «морей», один «океан», четыре «залива», одно «озеро», семь горных хребтов, два мыса, 229 кратеров. Там же дается схема для отождествления

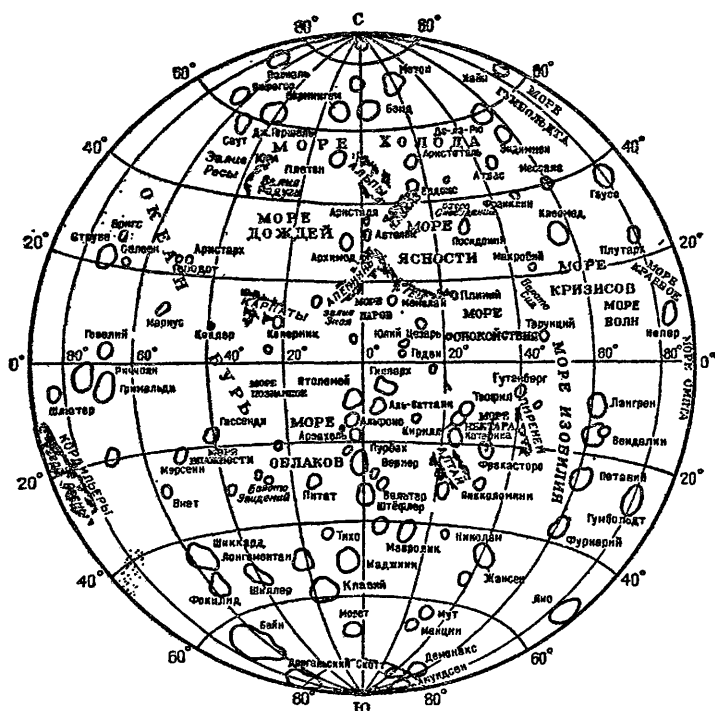


Рис. 217а. Карта-схема Луны. Сторона, обращенная к Земле

объектов при их наблюдениях. Здесь же мы ограничимся картой-схемой, где на видимой с Земли стороне Луны выделено 85 крупнейших кратеров, указаны моря и горные хребты (рис. 217). В табл. 15 даны важнейшие сведения об ученых, имена которых упомянуты на карте.

И все же некоторые кратеры даже диаметром 50 км остаются безымянными. Объекты, не имеющие наименований, принято обозначать по названию ближайшего кратера с добавлением: 1) для крате-

ров и долин — латинских букв $A, B, C, \dots$, 2) для высот — греческих букв $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, 3) для трещин — римских цифр с буквой r (гита — трещина).

Кстати, трещин лишь на видимой стороне Луны насчитывается около 500, причем некоторые из них достигают 300 км в длину, до 5 км в ширину и нескольких сотен метров в глубину. Достопримеча-

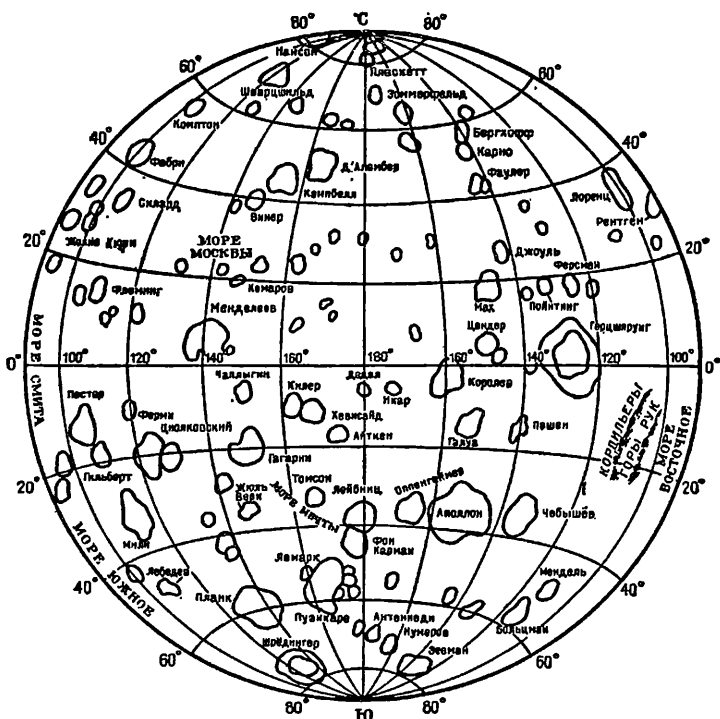


Рис. 2176. Карта-схема Луны. Обратная сторона

тельностью здесь является Прямая стена, находящаяся в юго-восточной части Моря Облаков; ее длина около 100 км, высота 300 м.

Ознакомившись с этой исторической справкой, возвращаемся к вопросу о том, с чего же начинать общее знакомство. Вот что об этом написано в инструкции, составленной Н. Н. Сытинской:

«Наблюдателю Луны следует начать свою работу с изучения основных элементов лунной топографии,

так как прежде всего он должен легко ориентироваться на карте видимого полушария Луны.

Изучение лунной топографии лучше всего вести постепенно, концентрически, последовательно переходя от более крупных и заметных деталей к менее существенным. Начать лучше всего с того, чтобы в один из дней полнолуния, рассматривая диск Луны невооруженным глазом, познакомиться с общими контурами главных морей и нанести их в виде эскиза на подготовленный заранее круг. Сделанные зарисовки сравнивают затем с простейшей картой Луны и отмечают на них принятые в селенографии названия морей. Когда общие контуры последних усвоены достаточно прочно, можно перейти к изучению менее крупных деталей, для чего следует воспользоваться 6-кратным биноклем. В бинокль можно различить небольшие Моря и Озера, Заливы и ответвления главных Морей, градации яркости в последних, а также менее темные участки, называемые в селенографии «болотами». С помощью бинокля можно также разглядеть и важнейшие кратеры, выделяющиеся в полнолуние в виде черных точек (Гримальди, Риччоли, Платон, Шиккард) либо в виде светлых пятнышек (Коперник, Кеплер, Аристарх, Тихо, Манилий и др.). В бинокль видны и светлые лучи.

Все эти детали также зарисовывают в виде эскизной схемы и сопоставляют с картой Луны для изучения их названий.

Следующую ступень составляет изучение рельефа, представленного кратерами, цирками, горными хребтами и пиками. Для этого надо воспользоваться телескопом с увеличением не менее 50 и все внимание сосредоточить на зоне, прилегающей к терминатору».

Итак, главное — это неторопливость, сосредоточенность и аккуратность в зарисовке деталей и их сопоставлении с картой Луны. Лишь в этом случае можно надеяться на успех при изучении «кратковременных лунных явлений». А ведь Луна действительно не является «мертвым миром», как об этом думали долгое время. Вот один пример. Сто с небольшим лет назад немецкий астроном Иоганн Шмидт (1825—1884), начавший с 14-летнего возраста наблюдать Луну и занимавшийся этим всю

жизнь, издал большой атлас Луны, на котором отметил 32 856 кратеров. Этот ученый однажды зарисовал кратер Линнея, который резко выделялся на фоне лунного Моря Ясности. Но когда через 20 лет Шмидт производил зарисовку той же области Луны, то на месте упомянутого кратера, имевшего диаметр около 10 км и отбрасывавшего хорошо видимую черную тень, было видно всего лишь нерезко очерченное светлое пятно, сам же кратер исчез! Полагают, что он был залит выступившей из недр Луны лавой.

По-видимому, на Луне еще не прекратилась вулканическая деятельность. Об этом свидетельствуют наблюдения, выполненные в ночь на 3 ноября 1958 г. советскими учеными Н. А. Козыревым и В. И. Езерским. Они получили спектрограмму излучения катера Альфонс в тот момент, когда в нем появилось красноватое пятно. В спектре были обнаружены полосы молекул углерода, которые обычно наблюдаются, если этот газ разогрет до температуры около 2000 К.

Словом, своеобразный «патруль», продолжительные наблюдения, даже исследования отдельных районов лунной поверхности могут и сейчас принести успех. Но для этого, повторим, необходимо досконально изучить, «что есть что» на Луне. В качестве своеобразного развлечения можно время от времени определять высоты лунных гор, которые в районе южного полюса Луны едва не достигают 10 км.

Высота лунных гор. Оказывается, благодаря длинным теням в телескоп можно наблюдать на Луне предметы высотой всего в 30 м. Ведь из-за отсутствия на Луне атмосферы тени, отбрасываемые неровностями ее рельефа, являются очень четкими, резкими, и при боковом освещении их протяженность может быть в 20 раз больше высоты исследуемого объекта. Еще со времен Галилея астрономы используют это обстоятельство для определения высоты гор на Луне.

Второй метод измерения высоты лунных гор основан на том факте, что отдельные горные вершины и гребни горных хребтов освещаются лучами Солнца гораздо раньше, чем окружающая их равнина. Благодаря этому их можно заметить за линией терминатора на фоне темной части диска Луны

в виде светлых точек и черточек. Задача наблюдателя заключается в том, чтобы найти угловое расстояние β этой освещенной вершины от линии терминатора.

Математическое обеспечение обоих методов элементарно просто и следует из рис. 218. В первом случае линейная высота горы H зависит от длины

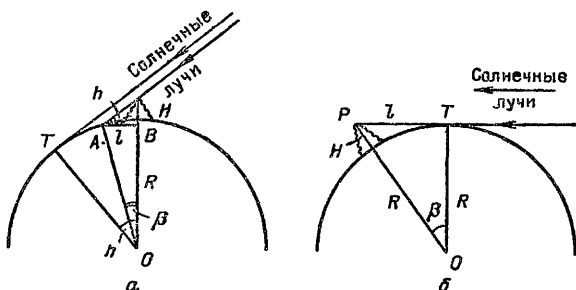


Рис. 218. К определению высоты гор на Луне: a — по длине тени, b — при освещении солнечными лучами горных вершин за линией терминатора

ее тени l и угловой высоты Солнца над горизонтом h для данной точки поверхности Луны:

$$H = l \operatorname{tg} h.$$

Во втором случае (рис. 218, b) рассматриваем треугольник OPT , где O — центр Луны, P — вершина горы и T — точка терминатора, в которой солнечные лучи скользят параллельно лунной поверхности. Из соотношения $(R + H)^2 = l^2 + R^2$, пренебрегая слагаемым H^2 , находим, что

$$H \approx \frac{l^2}{2R}$$

или, поскольку $l/R = \operatorname{tg} \beta$,

$$H \approx \frac{1}{2} R \operatorname{tg}^2 \beta,$$

где R — радиус Луны ($R = 1738$ км).

Рассмотрим подробнее первый случай. Здесь вопрос заключается в том, как предварительно установить длину тени в километрах l и высоту Солнца h над горизонтом в точке A , соответствующей концу тени. Из рис. 218, a ясно, что упомянутая высота

равна угловому расстоянию горы от линии терминатора. Следовательно, необходимо взять достаточно подробную карту Луны и по ней определить разность селеноцентрических долгот точек B и T . И здесь уместно отметить, что этот, как и второй, метод работает в простом виде, изложенном выше, лишь вблизи лунного экватора, а еще точнее — вблизи центра лунного диска. Общие формулы приведены в книге В. В. Шевченко «Луна и ее наблюдение» (с. 133). Для определения длины тени следует как можно точнее сопоставить картину, наблюдаемую в окуляр телескопа, с картой Луны, отождествить на ней изучаемую горную вершину и точку, в которую приходится конец ее тени. При этом следует помнить, что если речь идет о тени у края лунного диска (но в экваториальной зоне!), то она будет выглядеть укороченной из-за перспективы; поэтому при определении ее длины необходимо не просто сравнивать расстояние между точками B и A с диаметром диска Луны, а определить разность селеноцентрических долгот этих точек β и найти l по формуле $l = 2\pi R \left(\frac{\beta}{360^\circ} \right)$.

Аналогично и во втором случае решение сводится к установлению по карте Луны углового расстояния изучаемой вершины от линии терминатора, которая в момент наблюдения была зафиксирована на карте.

Можно, конечно, попытаться провести и непосредственные измерения угловых расстояний, скажем, вершины от терминатора и потом провести соответствующий перерасчет. В связи с этим напомним, что в правой трубе полевого бинокля имеется сетка меток, именуемых тысячными. Угол, под которым виден предмет, «укладывающийся» в одну метку, равен $3,6'$, а $\operatorname{tg} 3,6' = 0,001$. Следовательно, расстояние до земного предмета, имеющего высоту H , в этом случае равно $1000 H$. Если тот же предмет укладывается в четыре метки, то расстояние до него в четыре раза меньше, и т. д. В теодолитах угловое расстояние между двумя крайними горизонтальными нитями равно $36'$. Тангенс этого угла равен $0,01$, и если какой-то объект высотой H заполняет расстояние между упомянутыми горизонтальными линиями, то он удален от наблюдателя на расстояние $100 H$.

Теперь посмотрим, какие угловые расстояния приходится измерять наблюдателю на диске Луны, линейное расстояние до которого 380 000 км. Легко убедиться, что углу в $1''$ здесь соответствует 1,86 км: кратер диаметром 200 км виден под углом $\sim 108'' = 1'48''$. Углу в $1'$ соответствует 111 км, но это примерно $1/30$ углового диаметра Луны. Высоте же вершины в 5 км может соответствовать тень до 100 км, т. е. угол меньше $1'$. Следовательно, для непосредственных измерений упомянутых выше углов необходим теодолит.

«Кратковременные явления» на Луне. Наблюдения «кратковременных лунных явлений», как уже отмечалось выше, их поиск и регистрация могут быть важной и крайне интересной задачей любительских наблюдений Луны. Специалисты единодушны в том, что эта проблема до сих пор остается во многом загадочной. Внезапность появления и короткое время их существования делают эти явления трудно уловимыми для астрономов-профессионалов, телескопы которых перегружены другими научными программами (а заявки на наблюдательное время на современных крупных телескопах удовлетворяются пока на 25 %). И здесь-то любители астрономии могли бы принести огромную пользу.

Дело в том, что, как неоднократно отмечали многие наблюдатели в прошлом, в некоторых местах лунной поверхности происходит изменение окраски, появление красноватых пятен, изменение четкости лунных деталей, даже их вида. Среди многих сотен зарегистрированных случаев установлены уже некоторые закономерности, выделены наиболее «активные» объекты. Так, оптические явления в кратере Аристарх зарегистрированы более чем 100 раз, в кратере Платон — свыше 30 раз, в Море Кризисов — 16 раз. Установлено как будто, что наибольшую активность здесь проявляют молодые крупные кратеры, и если это так, то причиной таких явлений могли бы быть внутренние процессы. Существует, однако, гипотеза о том, что появление красноватых пятен можно объяснить люминесценцией — вынужденным свечением некоторых веществ под действием заряженных частиц солнечного ветра. Как уже отмечалось, средняя продолжительность наблюдавшихся явлений не превышала 15 мин.

Оказалось также, что частота появления кратковременных изменений зависит от положения Луны на ее орбите, точнее — от ее расстояния до Земли: почти четверть всех замеченных случаев приходится на трехдневный интервал, средний момент которого соответствует прохождению Луны через перигей ее орбиты.

Уже разработана специальная программа наблюдений с целью регистрации «кратковременных лунных явлений», создана (1967 г.) Международная сеть из 147 станций в 31 стране. Любители, желающие принять участие в этой работе, могут выбрать для наблюдений несколько «подозрительных» объектов и систематически просматривать их каждый ясный вечер (или ночь) по несколько раз, сопровождая наблюдения зарисовками. Распределение «активных зон» на лунной поверхности показано на рис. 219, составленном К. Б. Шингаревой по отечественным и зарубежным данным. Согласно инструкции «явлением» следует считать: а) изменение цвета или яркости какой-либо лунной области или детали, б) помутнение очертаний лунных деталей (конечно, не из-за замутнения земной атмосферы), в) появление и исчезновение светлых или темных пятен, ранее не наблюдававшихся.

При успешном наблюдении составляется телеграмма в астрономическую секцию Центрального Совета ВАГО (103009 Москва К-9, Абонементный ящик 918) с указанием часа и минуты наблюдения по московскому времени, характера и длительности явления. Более подробное описание явления с соответствующими зарисовками отправляется дополнительно письмом по тому же адресу.

Но авторы этих инструкций предупреждают любителей астрономии, что «лунные явления очень редки и не надо обольщать себя надеждой, что их удастся заметить в большом количестве», что это «весьма важная, но не очень благодарная задача»... Словом, и здесь вполне применимы слова о самоотверженном труде, результат которого сразу не очевиден...

Наблюдения лунных затмений. Луна погружается в тень Земли. Со времен Тихо Браге это явление наблюдалось и подробно описывалось уже около 160 раз. Казалось бы, что здесь может быть особен-

ного? Оказывается, есть: в ритме с циклом солнечной активности окраска тени, ее плотность существенно меняются. Так, в течение двух лет после минимума солнечной активности земная тень очень темна, тогда как в течение трех-четырех лет перед следующим минимумом она интенсивно окрашена в

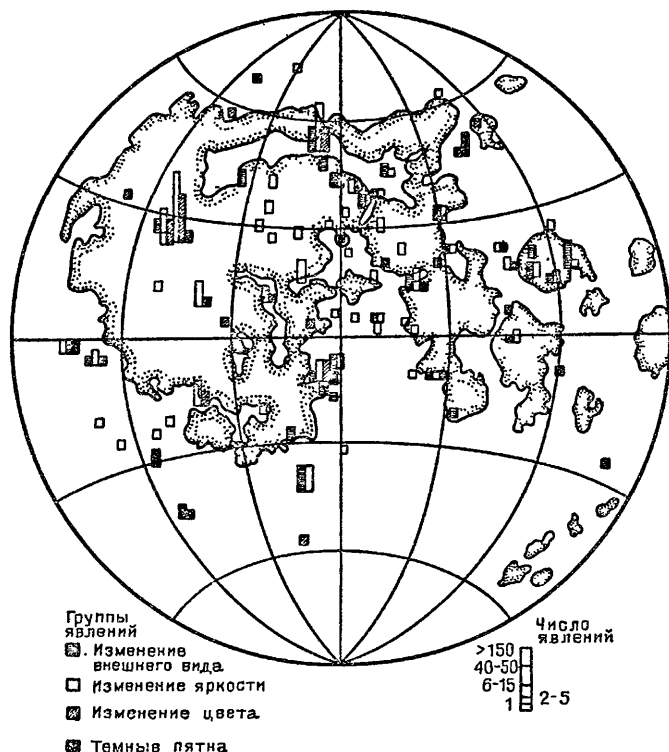


Рис. 219. Распределение «активных зон» на лунной поверхности

красный или оранжево-красный цвет, причем во время минимума наступает резкое уменьшение яркости затмений (рис. 220).

Очевидно, что форма края земной тени на Луне, окраска тени, видимость различных деталей лунной поверхности характеризуют состояние земной атмосферы, в том числе ее верхних слоев. Поэтому внимательное наблюдение за всеми фазами лунного затмения и регистрация всех этих особенностей могут

дать интересные и важные сведения для геофизики и в том случае, если такие наблюдения проведены любителями астрономии. Ведь вполне может оказаться, что из-за плохих погодных условий ни одна астрономическая обсерватория пронаблюдать затмение не смогла.

Программа наблюдений лунного затмения может состоять из двух задач: 1) оценка ослабления света Луны и его окраски и 2) регистрация моментов покрытий лунных образований земной тенью.

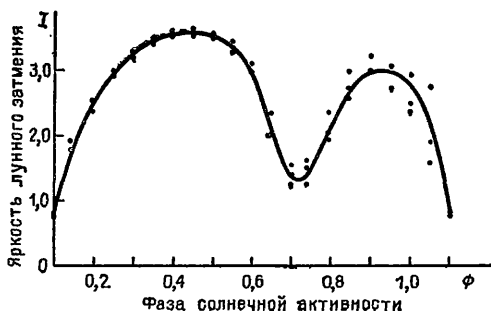


Рис. 220. Зависимость оценки балла лунного затмения от фазы солнечной активности (0,0 — минимум, 1,0 — следующий минимум солнечной активности)

В первом случае измеряют хотя бы «на глаз» степень ослабления отдельных участков лунной поверхности (в списке объектов, рекомендуемых для наблюдений видимости, — 53 объекта, в том числе все Моря и их восточные или западные края, четыре темных кратера и 25 светлых кратеров и горных областей). Наблюдения проводятся с 6-кратным призматическим биноклем, при осмотре диска с интервалом в 5 мин отмечается видимость или невидимость тех или других перечисленных в списке деталей.

Отдельно проводится визуальная оценка общей яркости и цвета Луны в затмении по шкале А. Данжона:

0 — затмение очень темное, в середине затмения Луна почти или совсем не видна;

1 — затмение темное, серое; детали на лунной поверхности совершенно не видны;

- 2 — затмение темно-красное или рыжеватое; около центра тени наблюдается более темная область;
- 3 — затмение красное, кирпичного цвета; земная тень окружена сероватой или желтоватой каймой;
- 4 — затмение медно-красное, очень яркое; внешняя зона светлая, голубая.

Конечной целью регистрации моментов покрытия лунных объектов земной тенью является определение превышения размеров видимой земной тени над ее размерами, вычисленными геометрически (в предположении, что Земля не обладает атмосферой), а также определение величины сжатия эллипса тени. Это позволяет уточнить наши представления о строении верхних слоев земной атмосферы. В списке рекомендуемых для наблюдений объектов 86 «почти точечных»: например, небольшие кратеры, расположенные вне или внутри большого кратера, или центральная горка в кратере и т. д. Наблюдатель заблаговременно должен ознакомиться с этими объектами, точно запомнить их вид и взаимное расположение. Для наблюдений используются телескопы и трубы с входным отверстием 75—100 мм при увеличении 40—100 раз. Регистрация моментов времени проводится с точностью до 1 секунды.

Покрывание звезд Луной. Выше неоднократно отмечалось то обстоятельство, что движение Луны вокруг Земли в своих тонкостях трудно поддается описанию, т. е. что теория движения Луны является очень сложной. В своем движении на небе Луна время от времени покрывает своим диском ту или иную звезду. Но... точность, с которой астрономы могут предсказать это явление, гораздо меньше той, с которой предвычисляются многие другие небесные явления. Поэтому наблюдения покрытий звезд Луной, регистрация моментов этих явлений с точностью до $0,5^s$ имеют научную ценность. Ориентировочные моменты их публикуются в «Астрономическом календаре ВАГО» на каждый год для наблюдений в отдельных обсерваториях и пунктах страны. Чтобы наблюдения, проведенные любителем астрономии, имели научную ценность, ему необходимо знать свои географические координаты с точностью до $1,5'$ и сообщить их вместе с результатами в ЦС ВАГО. Проводятся наблюдения с помощью небольшого телескопа.

Покрытие звезды Луной может быть в одном из двух вариантов: покрытие темным краем диска Луны (до полнолуния) и покрытие ярким краем (после полнолуния), как это показано на рис. 221. Удобнее (и точнее) наблюдать исчезновение звезд за темным краем лунного диска, т. е. в промежутке от новолуния до полнолуния. В последующие две недели лучше регистрировать открытие — появление звезды из-за темного лунного диска.

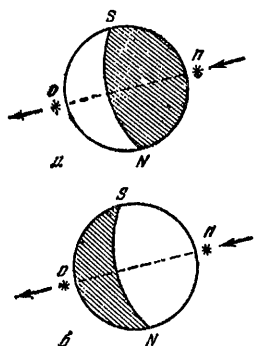


Рис. 221. Покрытия звезд Луной: а — покрытие темным краем (от новолуния до полнолуния), б — покрытие ярким краем (от полнолуния до новолуния). Стрелками показывают относительное движение звезды в поле зрения телескопа

Регистрация времени производится следующим образом. Наблюдатель держит палец на кнопке секундомера и в момент исчезновения (или появления) звезды нажимает ее, пуская секундомер. Затем подходит к выверенным часам и нажатием кнопки останавливает секундомер в тот момент, когда секундная стрелка часов показывает нуль секунд. Отнимая от показания часов показание секундомера, находят момент покрытия.

Более подробные инструкции для наблюдений Луны (как и других объектов) читатель найдет в «Астрономическом календаре» (Постоянная часть), а также в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского.

20. ПЛАНЕТЫ И ИХ СПУТНИКИ

Конечно, все перечисленные в этом разделе наблюдения любитель астрономии проводит прежде всего для себя, для уточнения своих представлений о закономерностях движения планет и их спутников, особенностей их внешнего вида, вращения и т. д. Но, заглянув в инструкцию для наблюдений планет (АК:

Постоянная часть), видим, что и в наше время, когда планеты интенсивно изучаются автоматическими межпланетными станциями с близких расстояний, когда уже имеются результаты, полученные непосредственно с поверхности двух из них — Венеры и Марса, «любитель со своими скромными средствами может принести пользу науке, если он будет работать систематически, ясно представляя себе цель»... Обольщаться, по-видимому, нельзя, но сказанное иметь в виду стоит.

Прежде всего с помощью «Астрономического календаря ВАГО» на текущий год следует выяснить условия видимости каждой из планет от месяца к месяцу. Далее, отождествить табличные данные о положении планет на небе с картой звездного неба на ближайший месяц.

Скорости движения и звездные величины. Первая задача любителя астрономии при знакомстве с миром планет — установить особенности их перемещения среди звезд, так сказать проверить, насколько «законно» их название «блуждающие светила». Желательно фиксировать положение планеты на фоне звезд через каждые 5—10 дней и определять ее видимую угловую скорость. В особенности интересно зафиксировать моменты остановки в движении («стояния») и продолжительность попятного (с востока на запад) движения. Напомним, что в середине дуги попятного движения планета находится в противостоянии с Солнцем: она восходит сразу после захода Солнца. Это о верхних планетах. Для Меркурия и Венеры определяем момент, когда планета, достигнув своего наибольшего отклонения от Солнца, начинает сближаться с ним (ее угловая скорость становится меньше 1 град/сут) и когда она меняет направление скорости своего движения.

В ритме с движением планет и Земли расстояние каждой из них от нашей планеты изменяется от некоторого наибольшего до наименьшего значения. В соответствии с этим, как это следует из табл. 17 (см. часть четвертую), изменяются видимые угловые размеры планеты (рис. 222) и ее звездная величина (рис. 223). Квалифицированные оценки блеска планеты, особенно Марса, в зависимости от ее углового расстояния от Солнца и сегодня представляют определенный научный интерес.

Не потеряли своего значения и наблюдения в небольшой телескоп ($D = 10\text{--}15\text{ см}$) поверхности планет, фиксация (сохранение в памяти и последующая зарисовка) отдельных мельчайших деталей, которые на фотографиях планеты вообще не выделяются.

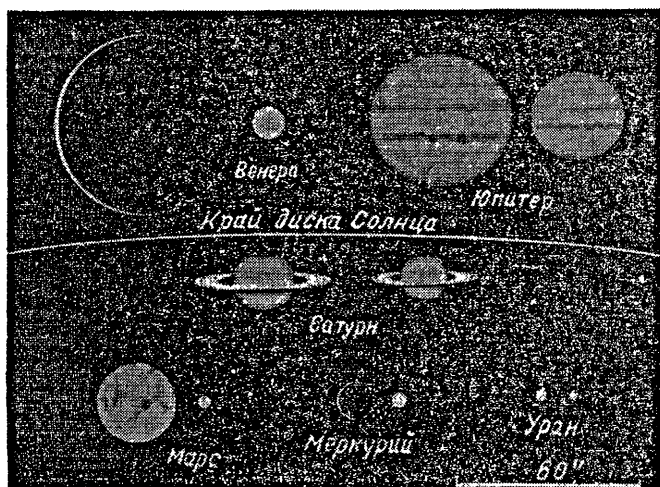


Рис. 222. Относительные видимые размеры планет при их наибольшем приближении к Земле и при наибольшем удалении от нее. В этом масштабе диск Солнца имеет диаметр 93 см

Венера. Для проведения зарисовки внешнего вида Венеры (и Марса) следует запастись заранее приготовленным диском — окружностью диаметром

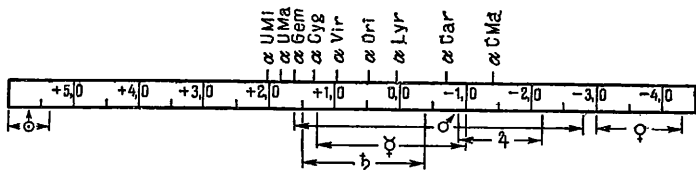


Рис. 223. Пределы изменения видимых звездных величин ярких планет по сравнению с блеском нескольких ярких звезд

5 см. Время наблюдения отмечается в момент зарисовки самой интенсивной детали с точностью до 5 мин (для всех остальных, быстро вращающихся планет — с точностью до 1 мин).

Прежде всего, Венера еще и теперь удивляет всех тем, что ее наблюдаемая фаза всегда несколько отличается от теоретической. Кстати, это было установлено в значительной степени именно благодаря любительским наблюдениям в нашей стране. Поэтому желательны регулярные зарисовки фазы планеты (иногда, при наибольшем удалении планеты от Солнца, с интервалом 20—30 мин) при ее наблюдениях не только вечером, после захода Солнца, или утром, до его восхода, но и днем. В этом случае необходимо заранее рассчитать положение планеты на небе (ее азимут и высоту) на определенный момент времени и вести поиск, пользуясь окуляром, дающим малое увеличение. Задача заключается в том, чтобы правильно изобразить фазу, удлинение верхнего и нижнего рогов серпа (рис. 224), наличие определенных выступов на краю диска и темных или светлых пятен на нем. Для снижения яркости планеты используется нейтральный светофильтр (вообще при наблюдениях применяются также синий или голубой светофильтры, увеличивающие контрастность темных деталей, а при плохой прозрачности воздуха для ослабления рассеянного света неба — желтый или оранжевый) или же объектив телескопа диафрагмируется.

Марс. К сожалению, изучение деталей поверхности этой планеты («морей», «материков» и полярных шапок) возможно лишь при диаметре объектива телескопа более 15 см.

Наиболее заметными деталями на Марсе являются *полярные шапки*, и, конечно, вооружившись мощным телескопом, можно проследить за тем, как меняются очертания северной или южной шапки, а иногда и обеих сразу. Далее, на фоне светлых «материков» заметны «моря». Представляет интерес

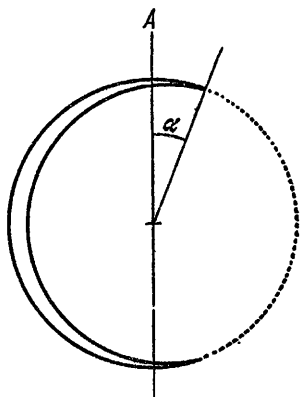


Рис. 224. К определению удлинения рогов серпа Венеры

изменение их окраски в ритме со сменой времен года на планете. Энтузиасты проводят наблюдения в четырех областях спектра — красной, желтой, зеленой и синей, зарисовывая наблюдаемые через каждый светофильтр детали по три-четыре раза в один вечер.

Особый интерес представляют наблюдения светлых пятен и облачных образований на Марсе.

Белые пятна лучше всего видны через зеленый и синий светофильтры. Это, по-видимому, облака, поэтому желательно проследить за изменением их формы и положения. Но большие пятна, наблюдавшиеся в августе 1956 г., были, как полагают, твердыми осадками на поверхности планеты.

«Желтые облака», которые можно увидеть без светофильтра или через желтый и красный светофильтры, — это, по-видимому, облака пыли, следствие наличия на Марсе сильных ветров, скорость и направление которых как раз и можно определять по наблюдениям изменений в положении этих образований. В литературе о Марсе подробно описана большая пылевая буря, разыгравшаяся на этой планете в конце сентября 1971 г. и продолжавшаяся более трех месяцев. А ведь это был момент великого противостояния Марса: с Землей его «связывало» расстояние всего 56,1 млн км. Лишь немногим больше было расстояние от Земли до Марса в 1986 и 1988 гг. (в последнем случае 59,2 млн км), но на этот раз Марс был гораздо спокойнее, чем в 1971-м...

Кстати, иногда на этой планете удастся увидеть «синие облака». Об их природе пока ничего не известно, но полагают, что они состоят из ледяных кристалликов.

Юпитер. Это самая доступная для наблюдений в небольшой телескоп планета. Подготовку к ее наблюдениям начинают с изготовления овального шаблона (рис. 225): ведь полярный радиус Юпитера на 2500 км меньше экваториального, равного 71 400 км. Горизонтальная линия шаблона длиной 50 мм изображает диаметр планеты. На ней отмечается центр, через который проводят вертикальную линию. За-

тем из центра делают на всех четырех лучах засечки на расстоянии 2,5 мм от него. После этого циркулем проводят четыре дуги: из верхней точки вниз, а из нижней вверх радиусом 26 мм, из боковых точек радиусом 22,5 мм. С помощью вырезанного из картона такого шаблона нетрудно переносить изображение овального диска на обычную бумагу, обводя его карандашом.

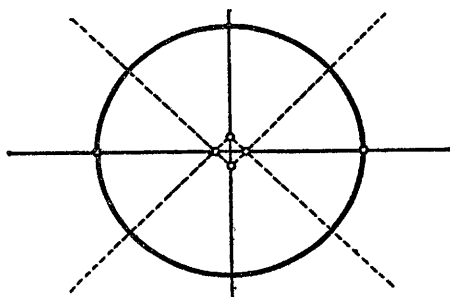


Рис. 225. Овальный шаблон для зарисовки деталей, наблюдаемых на дисках Юпитера и Сатурна

Уже в небольшой телескоп хорошо видно, что диск Юпитера пересечен темными и светлыми полосами, расположенными параллельно экватору планеты (рис. 226). Это облачные образования в ее атмосфере. Их положение, ширина, интенсивность и цвет заметно меняются на протяжении нескольких месяцев. Закономерности и причины этих изменений пока не установлены. Поэтому

систематические зарисовки положений упомянутых полос, их ширины, интенсивности и цвета представляют несомненный интерес.

Изучая прохождение деталей, находящихся на различных широтах, через центральный меридиан планеты (через вертикальную нить, проходящую через центр диска), делаем попытку установить периоды вращения отдельных слоев атмосферы планеты и сравниваем полученные результаты с уже имеющимися данными, указанными на рис. 226.

Важной деталью диска Юпитера является Большое Красное Пятно (его размеры составляют

13 000 × 40 000 км²), наблюдающееся в южном полушарии уже около 200 лет, причем сто лет назад его размеры были вдвое больше. Пятно из года в год изменяет свой цвет, интенсивность и очертания, и этот факт заслуживает особого внимания. Оно также перемещается по долготе.

Следует помнить, что детали диска планеты, находящиеся на его левой (западной) стороне,

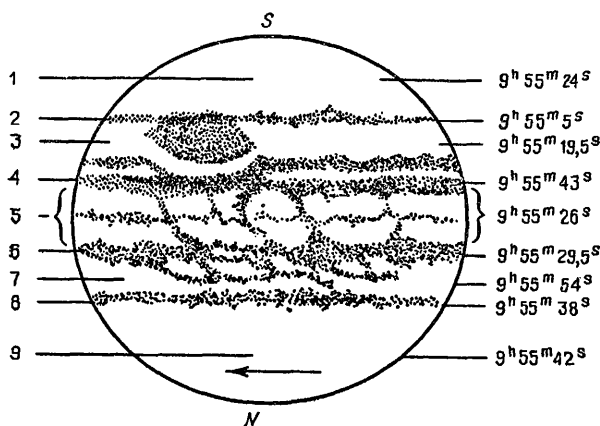


Рис. 226. Схематический рисунок, показывающий расположение темных полос и светлых зон на поверхности Юпитера: 1 — южная полярная область, 2 — южная умеренная полоса с Красным Пятном, 3 — южная умеренная зона, 4 — южная тропическая полоса, 5 — экваториальная зона с тонкой экваториальной полосой, 6 — северная тропическая полоса, 7 — северная умеренная зона, 8 — северная умеренная полоса, 9 — северная полярная область. Стрелка отмечает направление вращения планеты. Справа указаны соответствующие периоды вращения

вследствие вращения планеты вскоре скроются. Поэтому их необходимо зарисовывать первыми. Вообще же зарисовка должна проводиться не дольше 10—15 мин, так как быстрое вращение Юпитера может привести к искажению картины. С интервалом в один час за вечер делают несколько зарисовок.

Отдельного внимания заслуживают четыре самых ярких (галилеевых) спутника Юпитера — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто, видимые звездные величины которых равны соответственно 5^m, 5,3^m, 4,6^m, 5,6^m, наибольшие отклонения от планеты 2'18", 3'40", 5'5", 10'18", а синодические (наблюдаемые

с движущейся Земли!) периоды обращения — 1 сут 18,5 ч, 3 сут 13,3 ч, 7 сут 4,0 ч и 16 сут 18 ч. При наблюдениях Юпитера на протяжении нескольких часов удастся заметить, как спутник скрывается за диском планеты, входит в ее тень (происходит затмение спутника) или же проходит по диску планеты (рис. 227). Положение галилеевых спутников относительно диска Юпитера на каждый день месяца

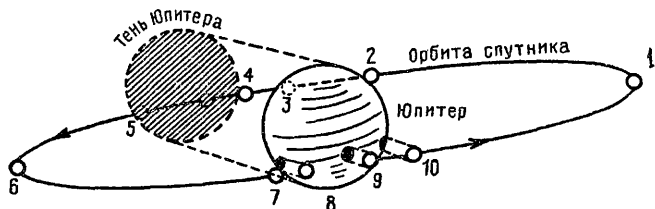


Рис. 227. Различные положения спутника относительно Юпитера (Солнце расположено справа за спиной у наблюдателя): 1 — западная элонгация, 2 — спутник скрывается за диском Юпитера, 3 — спутник показывается из-за диска планеты, 4 — спутник попадает в тень, отбрасываемую планетой (затмение спутника), 5 — спутник выходит из тени Юпитера, 6 — восточная элонгация, 7 — спутник вступает на диск планеты, 8 — на диске появляется тень спутника, 9 — спутник начинает сходиться с диска планеты, 10 — тень спутника сходит с диска Юпитера

регулярно публикуются в «Астрономическом календаре ВАГО» (рис. 228).

Сатурн. Сатурн с системой своих колец — самое эффектное зрелище звездного неба. Условия видимости колец, однако, от года к году меняются с полупериодом почти в 15 лет. Самое благоприятное время для их наблюдений было в 1973 и 1988 гг., самое неблагоприятное — в 1980 и 1995 гг. (рис. 229).

Наблюдая в телескоп кольца Сатурна, обратим внимание на щель Кассини, которая как бы делит кольцо на две части. В щели иногда замечаются сужения и расширения, и за этими эффектами рекомендуется проследить несколько часов, а затем попытаться поймать их в одно из следующих появлений (его можно рассчитать заранее, так как период вращения кольца здесь около 12 часов).

А теперь процитируем «Инструкцию для наблюдений планет», составленную В. А. Бронштеном («Астрономический календарь: Постоянная часть»,

с. 360—361): «В свете этих вопросов наиболее ценными наблюдениями, которые доступны любителям астрономии, были бы наблюдения покрытий кольцами Сатурна звезд (до 8-й величины), во время которых блеск звезды сравнивается с блеском

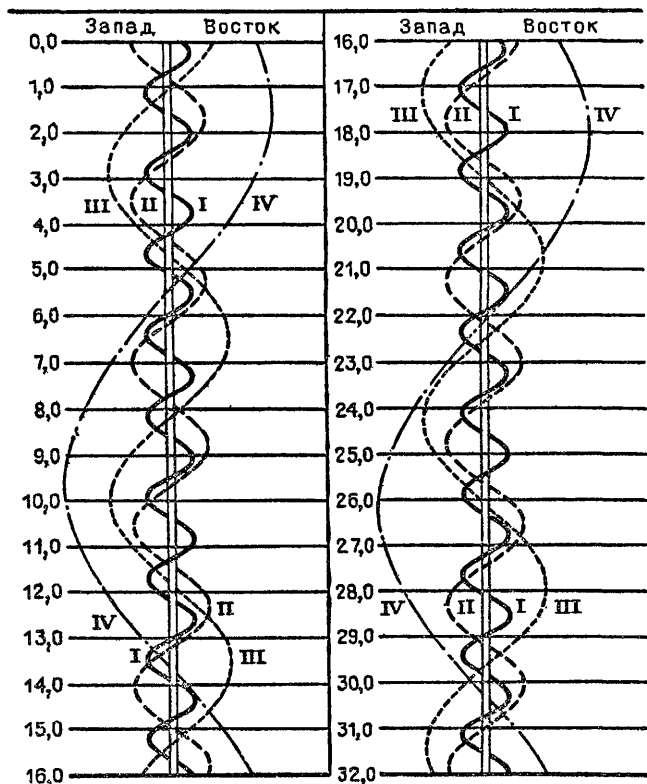


Рис. 228. Положение галилеевых спутников относительно диска Юпитера в декабре 1989 г.

окружающих звезд одним из методов, применяемых при наблюдениях переменных звезд. Полученная в результате такого наблюдения кривая блеска затмеваемой звезды даст сведения о сравнительной плотности тех частей кольца, за которыми скрывалась звезда. К таким наблюдениям нужно обязательно приложить схематический рисунок, показывающий,

какими частями кольца покрывалась звезда, и список звезд сравнения. Эти наблюдения требуют тщательной подготовки: надо предварительно составить небольшую звездную карту данного участка неба (в пределах поля зрения телескопа), выбрать звезды сравнения. Такие покрытия происходят не часто; сведения о них публикуются в «Астрономическом циркуляре» АН СССР. Желающие заняться подобными наблюдениями должны обратиться в отдел планет и Луны Московского отделения ВАГО (103001 Москва К-1, Садовая-Кудринская ул., д. 24), откуда можно получить все сведения об ожидаемых покрытиях».

Как и на Юпитере, на поверхности Сатурна также наблюдаются темные полосы и другие детали, хотя они и значительно слабее. Методика наблюдений та же, что и для Юпитера. Иногда на диске Сатурна можно заметить белое пятно, и тогда крайне желательно определить период его вращения.

Уран и астероиды. Наблюдения остальных планет Солнечной системы возможны только с помощью крупных телескопов. Пользуясь данными «Астрономического календаря ВАГО» и подробной картой звездного неба, можно попытаться отыскать планету Уран, видимая звездная величина, которого в противостоянии $5,4^m$, а также Нептун (звездная величина $7,6^m$). Если это удалось, то интересно проследить за их перемещением среди звезд: Уран в год смещается (описывая петлю, конечно) на $4-5^\circ$, Нептун — всего на 2° .

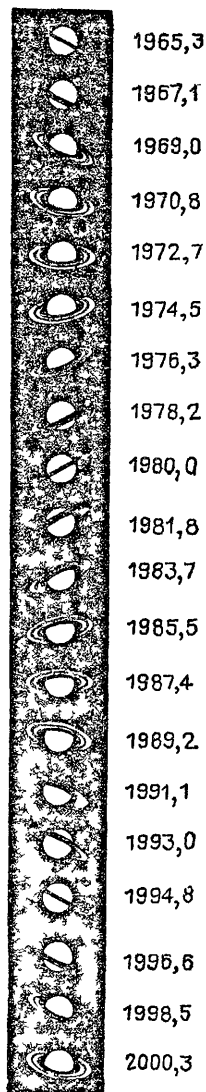


Рис. 229. Изменение условий видимости колец Сатурна

на $4-5^\circ$, Неп-

Между Марсом и Юпитером находится кольцо малых планет — астероидов. Впрочем, некоторые из них находятся дальше Юпитера. Например, открытый в 1977 г. Харон (это имя одного из кентавров греческих мифов) движется между орбитами Юпитера и Урана. Есть астероиды, которые подходят к Солнцу ближе, чем Меркурий, как, например,

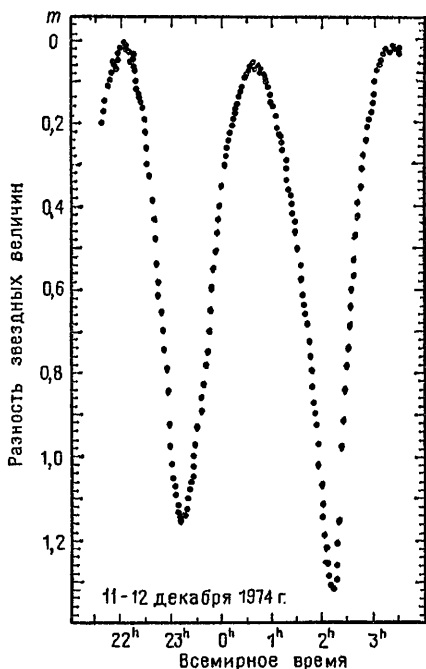


Рис. 230. Кривая изменения блеска малой планеты Эрос

Икар. Его перигелий удален от Солнца на расстояние всего 0,19 а. е. О многих из них астрономы пишут захватывающие подробности (см. книгу А. Н. Симоненко «Астероиды»). Но для любителей астрономии едва ли не самый интересный Эрос — открытый в 1898 г. астероид-малютка поперечником менее 25 км, орбита которого в перигелии почти касается орбиты Земли. Когда Солнце, Земля и Эрос выстраиваются вдоль прямой и Эрос находится в перигелии, то в этом «великом противостоянии» до него «рукой подать» — всего каких-то 20 млн км. В это время его блеск достигает 7^m. Великое проти-

востояние Эроса повторяется через 37 лет, последнее было в январе 1975 г.

Примечательной особенностью этого астероида является переменность его блеска с амплитудой до $1,5^m$ и периодом 5 ч 16 мин (рис. 230). По-видимому, Эрос — это вытянутая каменная глыба, вращающаяся вокруг малой оси.

21. ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Как отметил Н. Е. Курочкин в «Инструкции для наблюдений переменных звезд» («Астрономический календарь: Постоянная часть», с. 422—437), изучение переменных звезд — это обширное поле деятельности для астронома-любителя.

Из 30 000 обнаруженных переменных звезд более 40 поддаются исследованию невооруженным глазом (их видимая звездная величина превышает 5^m), их число существенно возрастает при использовании телескопа с входным отверстием $D = 10$ см, когда становятся доступными звезды до $12,1^m$.

Итак, переменных звезд очень много, специалистов же астрономов гораздо меньше. К тому же большинство из них занято другими серьезными проблемами.

Вот почему во всех странах мира переменные звезды наиболее активно изучают именно любители. Они устанавливают и уточняют периоды изменения блеска переменных звезд, обнаруживают изменения этих периодов во времени.

В особенности это относится к полуправильным и неправильным, новоподобным и вспыхивающим переменным, закономерности изменений блеска которых еще недостаточно изучены.

Первые шаги. Раньше чем начинать наблюдения, следует, конечно, подробно изучить «Инструкцию», т. е. овладеть методикой таких наблюдений. Далее нужно сделать выбор звезды для исследования, сообразуя его с имеющимся инструментом, его

проницающей силой. Конечно, вначале это должны быть яркие звезды, с большими амплитудами изменения блеска, с его правильными колебаниями, например звезда δ Цефея (рис. 231). Список ярких переменных звезд различных типов дан в табл. 28.

Следующий шаг — отождествление избранной звезды на карте звездного неба, взятой из «Звездного атласа» А. А. Михайлова (в нем отмечены звезды до $8,25^m$, в частности, переменные звезды до $8,2^m$ в максимуме блеска) или из «Атласа неба» Бечваржа (на картах этого атласа нанесены звезды до 12^m).

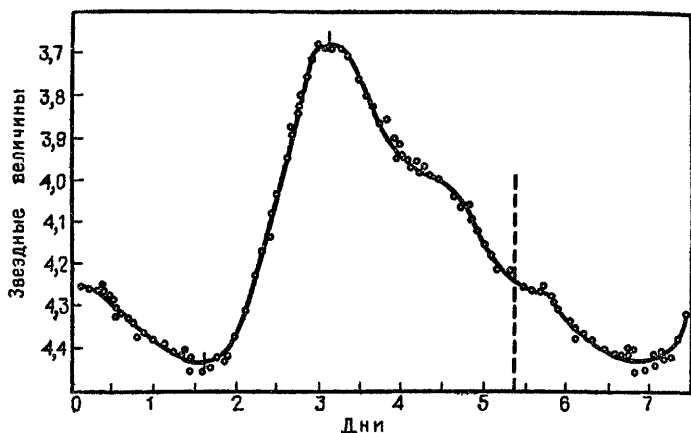


Рис. 231. Кривая блеска переменной звезды δ Цефея

Наконец, блеск переменной звезды необходимо с чем-то сравнивать. Следовательно, необходимо вблизи переменной звезды выбрать несколько звезд сравнения, причем желательно, чтобы эти звезды попадали в поле зрения телескопа вместе с изучаемой звездой. Разумеется, видимые звездные величины их должны быть известны (они берутся из «Астрономического календаря», каталога или атласа). Желательно также, чтобы по цвету звёзды сравнения были близки к переменной и чтобы интервал блеска при переходе от одной звезды сравнения к другой не превышал $0,4^m$ — $0,5^m$.

Например, при изучении звезды δ Цефея в качестве звезд сравнения используются такие звезды (указаны их видимые звездные величины): γ Цефея

(3,42^m), η Цефея (3,59^m), ϵ Дракона (3,99^m), ϵ Цефея (4,23^m) и π Цефея (4,56^m). При оценках блеска звезды η Орла — θ Орла (3,37^m), δ Орла (3,44^m), ν Змееносца (3,50^m), β Дельфина (3,72^m), β Орла (3,90^m), α Стрелы (4,37^m) и β Стрелы (4,45^m). Тот, кто в качестве «тренировочного объекта» изберет затменную переменную звезду Алголь (β Персея), воспользуется такими звездами сравнения:

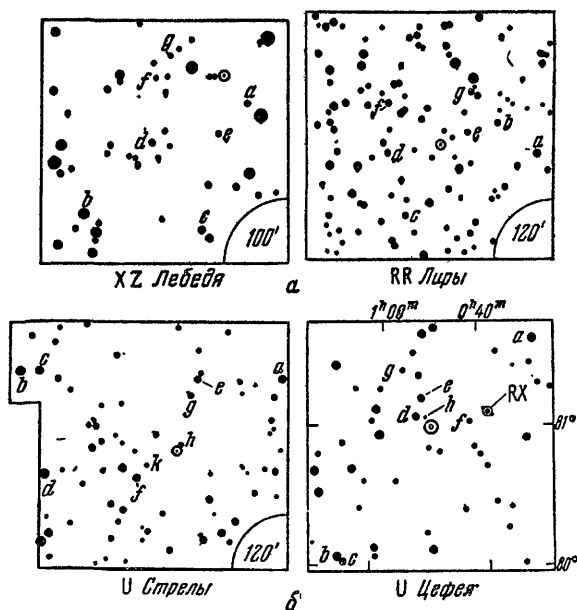


Рис. 232. Карты окрестностей переменных звезд:верху — лирид XZ Лебедя и RR Лиры, внизу — затменных переменных U Стрелы и U Цефея

α Персея (1,90^m), α Андромеды (2,15^m), δ Кассиопеи (2,80^m), ϵ Персея (2,96^m), ϵ Кассиопеи (3,44^m) и α Треугольника (3,58^m).

Для некоторых переменных звезд имеются карты окрестностей (рис. 232); такие карты для короткопериодических цефеид (лирид) и затменных переменных приведены в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского.

Оценки блеска. Для оценок блеска переменных звезд используются три метода. Первый из них —

метод Аргеландера. Состоит он в следующем. Наблюдатель несколько раз сравнивает блеск переменной звезды v и звезды сравнения a . Если он пришел к выводу, что в определенное, зафиксированное им время блеск обеих звезд одинаков, то делает запись $v = a$. Если же у наблюдателя создалось впечатление, будто блеск звезды a несколько больше, чем v , то он скажет, что блеск a на одну степень больше блеска v , и запишет это так: $a1v$. Если блеск звезды a представляется наблюдателю уверенно большим блеска звезды v , то считается, что блеск a на две степени больше блеска v : $a2v$. Тренированный наблюдатель может оценить также разность блеска как $a3v$ и $a4v$. При разностях блеска, больших четырех степеней, следует переходить к другой звезде сравнения. Величина степени «сама собой» устанавливается близкой к $0,1^m$.

По *методу Пикеринга* на каждом этапе работы выбирают две звезды сравнения так, чтобы одна из них была ярче исследуемой, а другая слабее ее. Интервал блеска $[a, b]$ делят на 10 частей и оценивают разность блесков звезд a и v в долях интервала $[a, b]$. При записи оценок блеск более яркой звезды всегда ставится первым, например, $a1v9b$, $a3v7b$ и т. д.

С. Н. Блажко и А. Нейланд предложили метод, сочетающий положительные стороны способов Аргеландера и Пикеринга. В методе *Нейланда — Блажко* на каждом этапе используют две звезды сравнения, однако интервал их блесков делят не на 10 частей, а на такое количество, которое наблюдатель оценивает в степенях. Сначала оценка блеска звезды v производится в интервале $[a, b]$, затем в интервале $[b, c]$ и т. д.

Если величины звезд сравнения неизвестны, то можно условно принять $a = 0,0^m$, величины же всех остальных звезд ($b, c, \dots$) «привязать» к этому значению на основании оценки разности степеней. В итоге наблюдатель по крайней мере получает амплитуду изменения блеска звезды, а главное — ее период.

Точность визуальных наблюдений зависит от опыта наблюдателя. Погрешность может составлять $\pm 0,20^m$, пределом же точности глазомерных относительных оценок считается величина $\pm 0,05^m$.

Кривая блеска. Итак, наблюдения проведены, каждая оценка блеска переменной звезды сделана в определенное время t , записанное с точностью примерно 0,5 мин. Все моменты времени переводятся сначала во всемирное время, после чего — в дробные части суток. Это уже позволяет построить кривую блеска звезды: по горизонтальной оси откладываем время t , по вертикальной — звездные величины m или степени; нанесенные на график наблюдения и дают в совокупности картину изменения блеска переменной звезды.

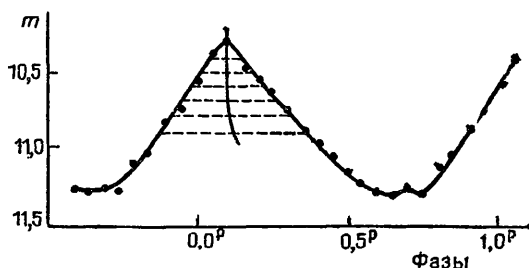


Рис. 233. Определение момента максимума блеска переменной звезды способом Погсона

Очень часто возникает проблема определения момента максимума (или минимума, вообще — экстремума) блеска изученной звезды, поскольку вблизи этого момента блеск звезды может изменяться незначительно. В этом случае пользуются *способом Погсона*: вблизи экстремума в выпуклой части кривой блеска проводят несколько хорд параллельно оси времени (рис. 233). Хорды делят на две равные части и через точки деления проводят плавную кривую до пересечения с кривой блеска. Снятый с оси времени момент, соответствующий точке пересечения, и будет моментом экстремума.

Вторая часто возникающая задача — изучение стабильности периода изменения блеска звезды. Кстати, при ее решении достаточно исследовать блеск звезды вблизи максимума, момент которого предвычисляют по формуле

$$M_t = M_0 + PE,$$

где M_0 — момент начального максимума, P — период, E — некоторое целое число, которое подби-

рается так, чтобы получить момент, когда звезда может наблюдаться на небе. Понятно, что если период изменений блеска звезды сам меняется со временем, то наблюдаемый максимум M_n не совпадет с расчетным M_t . Это можно изобразить на графике отклонений наблюдаемых моментов M_n (или O , от английского observation) от предвычисленных M_t (или C , от calculation). Такие отклонения записываются в виде $O - C$.

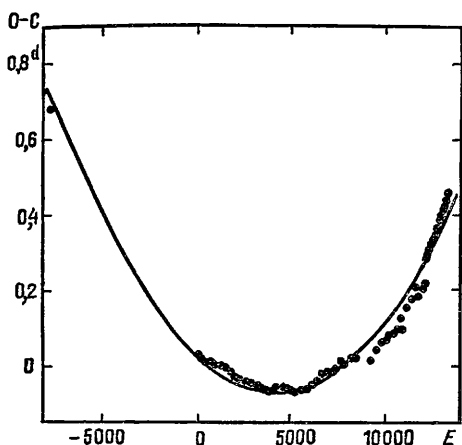


Рис. 234. График $(O - C, E)$, показывающий изменение периода затменной переменной звезды U Цефея. Изменения $O - C$ представляются параболой, что свидетельствует о прогрессивном увеличении периода, а также о возможных небольших скачках и колебаниях в длине периода на фоне общего увеличения его длины

Причина расхождений при этом устанавливается довольно легко. Оказывается, если расхождение обусловлено неточностью принятого значения периода, то график $O - C$ имеет вид наклонной прямой. При этом если $O - C$ возрастает со временем, то период просто следует увеличить на величину $(O - C)/E$, и наоборот. Если же период изменяется, то график $O - C$ не будет прямолинейным. Так, если период прогрессивно увеличивается, то график $O - C$ представляется параболой (рис. 234).

Еще раз отметим, что во многих случаях и сегодня наблюдения любителей астрономии представляют научную ценность. Это прежде всего относит-

ся как раз к уточнению периодов изменения блеска долгопериодических, полуправильных и неправильных переменных. Ведь у этих последних период может удлиниться или укорачиваться даже на 10 %!

22. НАБЛЮДЕНИЯ МЕТЕОРОВ

Напомним сначала, что наибольшее число единичных (*спорадических*) метеоров наблюдается вблизи *апекса* (лат. арех — верхушка) — точки на небесной сфере, по направлению к которой в данный момент движется Земля при ее обращении вокруг Солнца. Эта точка находится на эклиптике на 90° позади Солнца, например, утром — в южной части небосклона (рис. 235). Поэтому численность метеоров

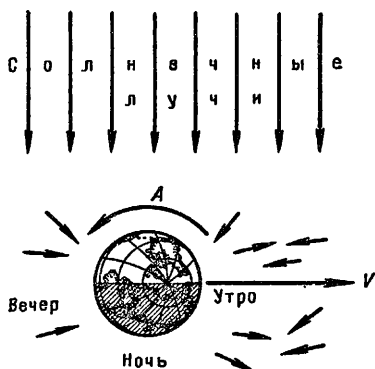


Рис. 235. Встречные и догоняющие метеоры. Стрелкой *A* указано вращение, стрелкой *V* — движение Земли по орбите, мелкими стрелками — направления полета метеорных частиц

возрастает под утро. Скажем иначе: Земля движется вперед той «стороной», где на ней в данный момент утро. Поэтому в атмосферу могут влетать метеорные частицы, движущиеся по всем направлениям, так как Земля на них «набегает». На вечернюю же область земной поверхности выпадают лишь те частицы, которые сами догоняют Землю.

Как отметил И. Т. Зоткин (см. «Инструкцию для наблюдений метеоров» в Постоянной части Астрономического календаря, с. 377—400),

счет метеоров служит для определения важнейших характеристик метеорных потоков: плотности потоков и распределения метеоров по блеску.

Если же наблюдения метеоров проводятся систематически, то удастся установить распределение метеорных тел различной массы в потоке, а также и в межпланетном пространстве. Задача, как видим, весьма важная, и она вполне по силам любителям астрономии.

Наблюдения метеоров удобно проводить в лежащем положении, ограничив поле зрения круглой рамкой (рис. 236). *Первая задача — оценить видимую*

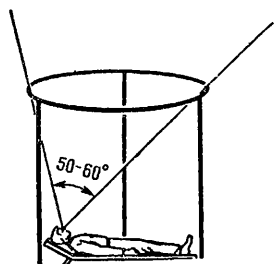


Рис. 236. Рамка, ограничивающая поле зрения наблюдателя метеоров

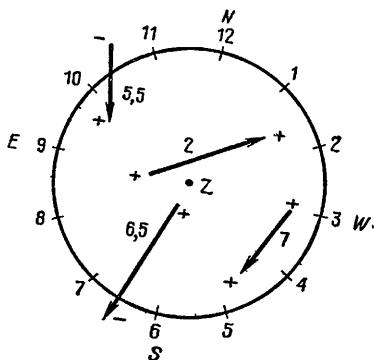


Рис. 237. Определение положения (+ —) и направления метеоров по «правилу циферблата»

звездную величину метеора, сравнивая его со звездами. Далее, пользуясь условной 5-балльной шкалой, следует определить угловую скорость метеора: 5 — очень быстрый, 4 — довольно быстрый, 3 — средний, 2 — медленный, 1 — очень медленный. Так как метеор может выйти за пределы рамки или войти в нее, то пользуются такими обозначениями: (+ +) — метеор появился и исчез внутри рамки, (— +) — начало метеора лежит вне, а конец внутри рамки, (+ —) — начало внутри, а конец вне рамки, (— —) — начало и конец вне рамки. Направление движения метеора указывается в часовой мере (по «правилу циферблата»), причем за 12 часов принимается точка севера (рис. 237).

Наблюдения метеоров выполняются, как минимум, двумя участниками, причем один — наблюдатель, второй — секретарь, регистрирующий: 1) номер метеора, 2) момент его пролета с точностью до минуты, 3) звездную величину m , 4) скорость и направ-

ление метеора, 5) положение его относительно рамки, 6) другие особенности (зенитное расстояние середины следа метеора, наличие следа вспышек и др.).

Общее чистое время наблюдений за ночь должно быть не менее двух-трех часов, причем следует строго фиксировать моменты начала и конца наблюдений и время перерывов для отдыха.

Наблюдения можно проводить и группой в 4—5 человек. В этом случае для каждого наблюдателя устанавливается своя ограничивающая рамка (рис. 238), секретарь сообщает общий для всех но-

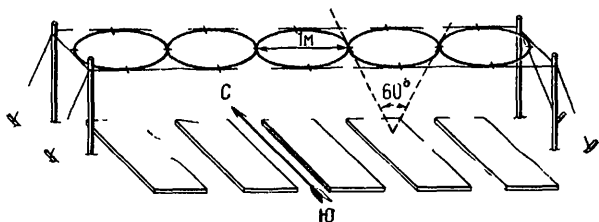


Рис. 238. Рамки для счета метеоров для пяти располагающихся рядом наблюдателей; диаметр колец 1 м

мер метеора и время пролета, каждый же наблюдатель, не отрывая глаз от неба, на сложенной гармошкой полоске бумаги вслепую записывает свои наблюдения. В дальнейшем в журнале составляется сводный протокол наблюдений. Кстати, во время наблюдений на протяжении одной ночи изменения в составе наблюдателей не допускаются.

Упомянем еще, что

для определения звездной величины метеора желательно знать наизусть звездные величины примерно 100 звезд, равномерно распределенных по небу.

Опытные наблюдатели при оценке звездной величины метеоров достигают точности $\pm 0,25^m$.

Усложненная программа наблюдений включает еще и определение цвета метеора. Для этого существует глазомерная *шкала Остгофа*, в которой белоголубой метеор фиксируется числом — 2, белый 0,

желтый 3, оранжевый 7 и красный 9. При пролете ярких метеоров в атмосфере иногда остается светящийся след. Устанавливают смещение (дрейф) следа, что позволяет изучить направление и скорость ветров в стратосфере.

Словом, если наблюдения проведены аккуратно, добросовестно, то польза от них несомненна.

23. ЗАВИДНАЯ ЭКЗОТИКА

Здесь мы упомянем о тех наблюдениях, которые чаще всего нельзя запланировать. Можно запланировать только регулярные обзоры неба в надежде, что появится достойный объект наблюдения. Такими объектами являются кометы, серебристые облака, полярные сияния. Если очень повезет, можно открыть и новую звезду...

Поиск комет. О том, что и в наши дни большая часть комет открывается любителями астрономии, мы уже говорили в начале этой части книги. Конечно, этот поиск стóит немалого труда. Подсчитано, что *на открытие одной кометы в среднем уходит 200—300 часов ночных наблюдений*. Как же открыть, выловить в бескрайнем звездном океане это экзотическое светило, которое может увековечить имя первооткрывателя?

Ответ предельно прост: необходимы упорство и определенная система.

Для наблюдений используется бинокулярная труба или хороший призматический бинокль, устанавливаемый на штативе.

«Под руками» должен быть атлас, на котором обозначены туманности и звездные скопления (их можно ошибочно принять за комету). Желательно, прежде чем осматривать ту или другую область звездного неба, изучить ее по карте. Это может быть атлас А. А. Михайлова (о нем мы говорили в начале § 21) или атлас Бечваржа (звезды до $8,5^m$, туманности до $10-11^m$), но лучше всего отдельные атласы Бечваржа: северного неба, эклиптикальной зоны и южного неба, в которых приведены звезды до $10-10,5^m$ и даны их световые характеристики.

на утреннем небе открывается больше комет, чем на вечернем.

Это можно обосновать теоретически (см. рис. 235). Однако обзор неба начинают вечером. В *первой половине ночи просматривают западную и юго-западную области неба*. Методика проста: бинокль или трубу устанавливают на штативе и постепенно перемещают вдоль круга высот, скажем, в юго-западной зоне, после чего переходят к осмотру «верхнего яруса» и т. д. по направлению к зениту. *В середине ночи переходят к осмотру северной части неба, а под утро — восточной и юго-восточной.*

Как только обнаружен подозрительный объект, следует проверить его, сопоставляя небо с атласом или списком туманностей и звездных скоплений. Необходимо также зарисовать положение объекта относительно ближайших к нему звезд на кальке, наложенной на атлас, и убедиться в том, что примерно через 15 мин этот объект сместился среди звезд. Далее следует проверить, не является ли он планетой или уже известной кометой. В этом поможет «Астрономический календарь» на текущий год и «Кометный циркуляр», издаваемый кафедрой астрономии Киевского университета. Когда вся эта проверка проведена, наблюдатель телеграфирует об открытии по адресу: Москва В-234, ГАИШ. Более подробную информацию пересылает туда же письмом.

В телеграмме следует также указать звездную величину вновь открытого объекта. Она определяется теми же методами, что и для переменных звезд. Но так как комета имеет вид туманного пятнышка, то оно сравнивается с внефокальными изображениями звезд. Выдвигая окуляр, звезды выводят из фокуса до тех пор, пока их внефокальные изображения не станут похожими на изображение кометы.

Серебристые облака. Природа серебристых облаков все еще остается неразгаданной, да и открыты они относительно недавно — в 1885 г. Поэтому

систематические наблюдения серебристых облаков представляют несомненную ценность для изучения физических процессов, происходящих в верхних слоях земной атмосферы.

Серебристые облака наблюдаются вечером, после захода Солнца, или утром, перед его восходом, в период, когда Солнце опустилось под горизонт на $6-18^\circ$, в сравнительно узком поясе северного и южного полушарий Земли: в северном полушарии на широтах от 50 до 75° , в южном — от 40 до 60° . Над другими широтами они не обнаружены.

Серебристые облака появляются в теплое время года, с мая по август, наиболее часто — в июле.

Иногда в течение сезона регистрируются $20-30$ их появлений. Установлено, что эти объекты находятся на высотах $80-85$ км, и, следовательно, они видны с расстояний до $900-1000$ км.

«Инструкция для наблюдений серебристых облаков» (Астрономический календарь: Постоянная часть, с $472-502$) предполагает программу исследований по четырем основным темам:

1. Изучение географического распространения и сезонной частоты появления серебристых облаков.
2. Изучение изменений высоты слоя серебристых облаков и их отдельных групп в зависимости от времени суток, сезона и географического положения.
3. Изучение движений серебристых облаков.
4. Изучение оптических свойств серебристых облаков.

Конечно, не все пункты программы под силу любителю. Но частота появления серебристых облаков, их структура, продолжительность существования (а она колеблется от нескольких минут до нескольких часов), яркость вполне могут быть определены.

Отметим, что по своему внешнему виду серебристые облака принято относить к одному из четырех типов, каждый из которых делится на две-три группы по мере усиления их характерных признаков. Тип I — *флёр* — простейшая форма серебристых облаков, обнаруживаемая благодаря их туманооб-

разному строению с нежно-белым или голубоватым оттенком. Довольно часто, спустя примерно полчаса после появления флёра, наблюдаются серебристые облака с более развитой структурой. Тип II — *полосы* — размытые полосы, расположенные группами, параллельные друг другу или переплетающиеся между собой под небольшим углом. Тип III — *гребешки* — участки с частым расположением узких, резко очерченных, параллельных, обычно коротких полос наподобие легкой ряби на поверхности воды при слабом порыве ветра (рис. 239). Тип IV — *вихри* — за-

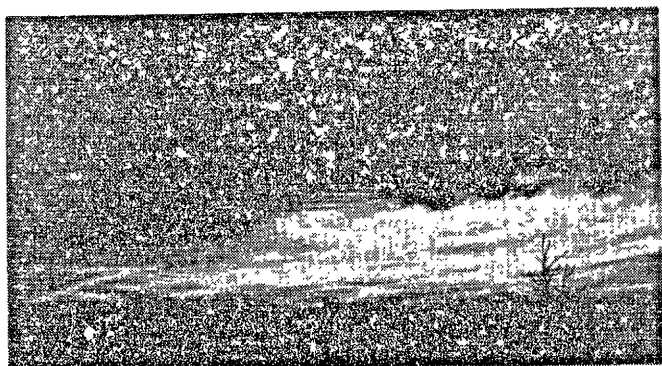


Рис. 239. Серебристые облака — «гребешки» (тип III-a)

вихрения и круглые просветы радиусом до $0,5^\circ$ (это группа IV-a), или в виде простого изгиба одной или нескольких полос от основного направления в сторону с радиусом в $3\text{--}5^\circ$ (группа IV-б), или же мощные вихревые выбросы светящейся материи в сторону от основного облака (группа IV-в).

Наблюдения состоят в ежедневном патрулировании сумеречного неба. Результат обзора через каждые 15 мин фиксируется в журнале, причем время указывается с точностью до 1 мин. Если серебристые облака наблюдаются, то производится оценка их яркости по 5-балльной шкале: 1 — очень слабые, 2 — замечаются легко, но имеют очень малую яркость, 3 — хорошо заметны, резко выделяются на фоне сумерек, 4 — яркие, привлекающие к себе внимание, 5 — исключительно яркие. Указывается также их форма.

По всем вопросам методики и организации наблюдений серебристых облаков следует обращаться в отдел серебристых облаков ВАГО по адресу: 103009 Москва К-9, а/я 918. По этому адресу следует высылать и все полученные материалы.

Полярные сияния. Как известно, *полярные сияния* — это свечение верхних (от 100 до 1000 км) разреженных слоев земной атмосферы, возникающее при вторжении в земную атмосферу потоков быстрых электрически заряженных частиц, которые

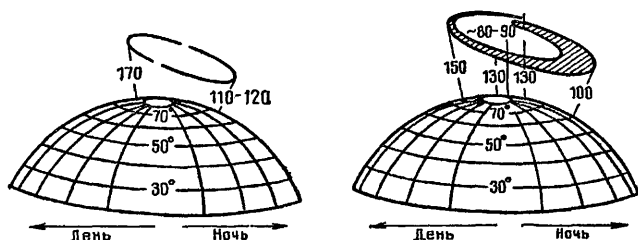


Рис. 240. Овалы полярных сияний над поверхностью Земли в магнитно-спокойные периоды (слева) и области в магнитно-возмущенные периоды. Числами указана высота овала над поверхностью Земли в километрах

сталкиваются с атомами и молекулами воздуха и возбуждают их. Чаще всего полярные сияния возникают в двух кольцевых зонах, окружающих оба полюса Земли (рис. 240).

На географической широте 60—75° при благоприятных условиях полярные сияния могут наблюдаться почти каждую безоблачную ночь.

В период магнитных бурь они появляются в средних и низких широтах, а при наиболее сильных бурях наблюдаются даже на земном экваторе.

В «Инструкции для наблюдений полярных сияний» подчеркивается роль визуальных наблюдений:

Визуальные наблюдения дают ценную информацию, поскольку позволяют отмечать быстрые пульсации в интенсивности сияний и быстрые движения внутри них, а диффузные формы сияний (пятна и вуаль) вообще с трудом различаются на фотографиях.

Поэтому визуальные наблюдения необходимы: они дополняют наблюдения фотографические, которые регулярно проводятся в высоких географических широтах. В низких же широтах визуальные наблюдения — единственный источник информации.

Любителей экзотики мы отсылаем за подробностями к «Инструкции» (Астрономический календарь: Постоянная часть, с. 462—472). Отметим лишь, что руководство наблюдениями полярных сияний осуществляет Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения волн АН СССР, его почтовый адрес: Московская обл., Подольский р-н, г. Троицк, ИЗМИРАН.

* * *

Нельзя все же не подчеркнуть, что главная задача описанных выше любительских наблюдений — увидеть самому как можно больше из всевозможных объектов звездного неба. Не обязательно сразу претендовать на роль «первооткрывателя». Известно, например, что У. Гершель вовсе не к этому стремился: главным для него было «самому увидеть те чудеса неба, о которых рассказано в книге»... Существует поговорка, что по крайней мере 98 % усилий теоретика выбрасывается в корзину. Столь же нелегко получить какой-то ценный результат и наблюдателю. В принципе «соль» и не в этих результатах, а

в том чувстве благоговения и всеохватывающей радости, когда ты сам, для себя открываешь тонкую игру красок на вечернем сумеречном небе, причудливые узоры ночного неба или хотя бы определяешь высоту горной лунной вершины, хотя до тебя это другие проделывали тысячи раз. Но для себя ты делаешь это впервые! Если же это имеет еще и научную ценность — тем более...

ЗНАКИ. ЧИСЛА. ТАБЛИЦЫ

Изыскание о строении мира — одна из самых великих и благородных проблем, какие только существуют в Природе.

Галилео Галилей

Выдающийся французский математик Анри Пуанкаре (1854—1912) писал: «Ученый должен систематизировать факты. Наука состоит из них подобно тому, как здание состоит из кирпичей. Однако простое нагромождение фактов похоже на науку не более, чем груда кирпичей на дом...»

Безусловно, факты, конкретный набор точных сведений и чисел, относящихся к той или другой области науки, необходим прежде всего специалисту. Но если говорить конкретно об астрономии, то как справедливо заметил Камил Фламмарин, каждый, кто хочет считать себя образованным человеком, должен освоить хотя бы некоторый минимум сведений из всего того, что уже установлено с достоверностью многими поколениями астрономов.

Здесь и приведены важнейшие сведения о Земле, Луне и Солнце, о планетах Солнечной системы и их спутниках, о малых планетах, искусственных спутниках Земли, метеорах, о ярчайших звездах и самых близких из них, о звездах двойных и переменных, о туманностях, звездных скоплениях и галактиках. Приведены собственные названия наиболее ярких звезд из каждого созвездия. Даны сведения о движении Солнца по зодиакальным созвездиям. При изучении астрономии необходимо знание некоторых математических и физических величин, астрономических постоянных, а также греческого и латинского алфавита. Эти таблицы даны в начале — рядом с астрономическими обозначениями. Словом, как мы полагаем, здесь дана сводка всего того, что может понадобиться юному любителю астрономии.

А. Общий отдел

Таблица 1

Астрономические знаки и обозначения

	Солнце, а также Воскресенье
	Луна, а также Понедельник
	Марс, а также Вторник
	Меркурий, а также Среда
	Юпитер, а также Четверг
	Венера, а также Пятница
	Сатурн, а также Суббота
	или $\oplus$ Земля
	или Υ Уран
	или $\♆$ Нептун
	или <i>PL</i> Плутон
	звезда
	комета
	метеор
	переменная звезда
	или Ω восходящий узел орбиты
	или $\oslash$ нисходящий узел орбиты
	соединение (разность геоцентрических долгот 0°)
	противостояние (разность долгот 180°)
	квадратура (разность долгот 90°)
	новолуние
	первая четверть
	полнолуние
	последняя четверть

Знаки Зодиака

Геоцентр.
долготы

	Aries, Овен, а также точка весеннего равноденствия, которая теперь находится в созвездии Рыб	$0^\circ-30^\circ$
	Taurus, Телец	$30-60$
	Gemini, Близнецы	$60-90$
	Cancer, Рак	$90-120$
	Leo, Лев	$120-150$
	Virgo, Дева	$150-180$
	Libra, Весы, а также точка осеннего равноденствия, которая теперь находится в созвездии Девы	$180-210$
	Scorpius, Скорпион	$210-240$
	Sagittarius, Стрелец	$240-270$
	Capricornus, Козерог	$270-300$
	Aquarius, Водолей	$300-330$
	Pisces, Рыбы	$330-360$

Таблица 1 (продолжение)

N	Север
S	Юг
E	Восток
W	Запад
NE	северо-восток
SE	юго-восток
NW	северо-запад
SW	юго-запад
a	год
d	сутки
h, m, s	час, минута, секунда времени
°', ''	градус, минута, секунда дуги
A	азимут
α или AR	прямое восхождение
δ	склонение
λ	эклиптическая долгота, а также географическая долгота
β	эклиптическая широта
φ	географическая широта
z	зенитное расстояние
μ	собственное движение
l	галактическая долгота
b	галактическая широта
π	годовой параллакс
V_r	лучевая скорость
h	высота светила над горизонтом
t	часовой угол светила
s	звездное время

Таблица 2

Греческий алфавит

A, α	альфа	N, ν	ню
B, β	бета	Ξ, ξ	кси
Γ, γ	гамма	O, o	омикрон
Δ, δ	дельта	Π, π	пи
E, ϵ	эпсилон	P, ρ	ро
Z, ζ	дзета	$\Sigma, \sigma, \varsigma$	сигма
H, η	эта	T, τ	тау
$\Theta, \theta, \vartheta$	тета	Υ, υ	ипсилон
I, ι	йота	Φ, ϕ	фи
K, κ	каппа	X, χ	хи
Λ, λ	лямбда	Ψ, ψ	пси
M, μ	мю	Ω, ω	омега

Таблица 2 (продолжение)

Латинский алфавит

<i>A, a</i>	а	<i>N, n</i>	эн
<i>B, b</i>	бэ	<i>O, o</i>	о
<i>C, c</i>	це	<i>P, p</i>	пэ
<i>D, d</i>	дэ	<i>Q, q</i>	ку
<i>E, e</i>	э	<i>R, r</i>	эр
<i>F, f</i>	эф	<i>S, s</i>	эс
<i>G, g</i>	гэ (же)	<i>T, t</i>	тэ
<i>H, h</i>	ха (аш)	<i>U, u</i>	у
<i>I, i</i>	и	<i>V, v</i>	вэ
<i>J, j</i>	йот (жи)	<i>W, w</i>	(дубль-вэ)
<i>K, k</i>	ка	<i>X, x</i>	икс
<i>L, l</i>	эль	<i>Y, y</i>	ипсилон (игрек)
<i>M, m</i>	эм	<i>Z, z</i>	зета (зэт)

Таблица 3

Единицы длины

- 1 метр (м) = 1 650 763,73 длины волны оранжевой крипто-
 новой линии в вакууме = 100 см = 1000 мм
 1 сантиметр (см) = 10^{-2} м = 10 мм
 1 миллиметр (мм) = 10^{-3} м = 1000 микрометров (мкм) =
 = 10^7 А (ангстрём)
 1 микрометр (мкм) = 10^{-4} см = 0,001 мм = 1000 миллимик-
 рометров = 10^{-6} м = 10^4 А (ангстрём)
 1 миллимикромметр (ммкм) = 10^{-7} см = 10 А
 1 ангстрём (А) = 10^{-8} см = 0,1 ммкм = 10^{-7} мм = 10^{-10} м
 1 километр (км) = 10^5 см = 1000 м
 1 верста = 500 сажень = 1,06680 км
 1 сажень = 3 аршина 2,13356 м (=7 англ. футам)
 1 аршин = 16 вершков = 0,7112 м
 1 вершок = 4,44500 см
 1 русская линия = 0,1 дюйма = 2,54 мм
 1 морская миля = 1,8522 км (соответствует 1' дуги мери-
 диана)
 1 английская миля = 1,609344 км (статутная миля)
 1 аглийский фут = 12 дюймам = 30,4800 см
 1 английский дюйм = 2,540 см («универсальный»)
 1 астрономическая единица (а. е.) = 149 600 000 км
 1 световой год = $9,463 \cdot 10^{15}$ м = 0,3069 парсека = 63 240 а. е.
 1 парсек (пк) = $30,857 \cdot 10^{15}$ м = 206 265 а. е. = 3,263 свето-
 вого года $\approx$ 31 тыс. млрд км
 1 килопарсек (кпк) = 1000 парсеков = $30,857 \cdot 10^{15}$ км
 1 мегапарсек (Мпк) = 1 000 000 парсеков = $30,857 \cdot 10^{18}$ км

Таблица 4

Юлианский период

Число дней, протекающих к нулевому числу каждого месяца с 1985 по 2000 г.
Счет ведется от среднего гринвичского полудня

Год	Январь 0	Февраль 0	Март 0	Апрель 0	Май 0	Июнь 0	Июль 0	Август 0	Сентябрь 0	Октябрь 0	Ноябрь 0	Декабрь 0
1985	2 446 066	097	125	156	186	217	247	278	309	339	370	400
1986	431	462	490	521	551	582	612	643	674	704	735	765
1987	796	827	855	886	916	947	977	*008	*039	*069	*100	*130
1988	2 447 161	192	221	252	282	313	343	374	405	435	466	496
1989	527	558	586	617	647	678	708	739	770	800	831	861
1990	892	923	951	982	*012	*043	*073	*104	*135	*165	*196	*226
1991	2 448 257	288	316	347	377	408	438	469	500	530	561	591
1992	622	653	682	713	743	774	804	835	866	896	927	957
1993	988	*019	*047	*078	*108	*139	*169	*200	*231	*261	*292	*322
1994	2 449 353	384	412	443	473	504	534	565	596	626	657	687
1995	718	749	777	808	838	869	899	930	961	991	*022	*052
1996	2 450 083	114	143	174	204	235	265	296	327	357	388	418
1997	449	480	508	539	569	600	630	661	692	722	753	783
1998	814	845	873	904	934	965	995	*026	*057	*087	*118	*148
1999	2 451 179	210	238	269	299	330	360	391	422	452	473	513
2000	2 451 544	575	604	635	665	696	726	757	788	818	849	879

Звездочка означает, что первые четыре цифры нужно взять из второго столбца следующей строки.

Т а б л и ц а 5

Некоторые математические величины

Отношение длины окружности к ее диаметру $\pi = 3,1415926536^*)$;

$$\lg \pi = 0,497149873$$

Основание натуральных логарифмов $e = 2,7182818285$;

$$M = \lg e = 0,434294482$$

$$\lg M = 1,637784311,$$

$$\frac{1}{M} = \ln 10 = 2,3025850930;$$

$$\lg \frac{1}{M} = 0,362215689,$$

$$\ln \pi = 1,1447298858;$$

$$1 \text{ радиан} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57,2957795131 = 57^\circ 17' 44,80625'' =$$

$$= 3437,74677078' = 206264,806247''$$

$$1^\circ = 0,0174533 \text{ радиана};$$

$$1' = 0,000290888 \text{ радиана};$$

$$1'' = 0,00000484814 \text{ радиана}$$

$$\sin 1^\circ = 0,0174533$$

$$\sin 1' = 0,0002909$$

$$\sin 1'' = 0,00000485$$

Площадь сферы $= 129600/\pi = 41\,252,961$ кв. градуса;

$$360^\circ = 21\,600' = 1\,296\,000''$$

Единица телесного угла стерadian $= 32\,400/\pi^2 = 3\,282,806$ кв. градуса (например, круговой конус с плоским углом при вершине в $65,5^\circ$)

$$2\pi = 6,28319$$

$$\frac{1}{\pi} = 1,31831$$

$$\sqrt{2\pi} = 2,50663$$

$$\sqrt[3]{\pi} = 1,46459$$

$$4\pi = 12,56637$$

$$\sqrt{2} = 1,41421$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} = 0,39894$$

$$\frac{1}{e} = 0,36788$$

$$\frac{\pi}{4} = 0,78540$$

$$\frac{1}{\pi^2} = 0,10132$$

$$\sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1,25331$$

$$e^2 = 7,38906$$

$$\frac{4\pi}{3} = 4,18879$$

$$\sqrt{\pi} = 1,77245$$

$$\sqrt{3} = 1,73205$$

$$\frac{1}{e^2} = 0,13534$$

$$\pi^2 = 9,86960$$

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0,56419$$

$$\sqrt{\frac{2}{\pi}} = 0,79788$$

$$\sqrt{10} = 3,16228$$

*) π — первая буква греческого слова *периферейя* — окружность; с ЭВМ определено более 1000 десятичных знаков.

Т а б л и ц а 6

Некоторые физические величины

Гравитационная постоянная

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2} = 6,672 \cdot 10^{-8} \text{ г}^{-1} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{с}^{-2}$$

Скорость света в вакууме

$$c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$$

Постоянная Планка

$$h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} = 6,626 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$$

Масса покоя электрона

$$m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 9,11 \cdot 10^{-28} \text{ г}$$

Масса покоя протона

$$m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,673 \cdot 10^{-24} \text{ г}$$

Заряд электрона

$$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ единиц СГСЕ}$$

Масса покоя нейтрона

$$m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Отношение массы протона к массе электрона

$$m_p/m_e = 1836,15152$$

Число Авогадро (число молекул на моль)

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная газовая постоянная

$$A = 8,31441 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} = 1,986 \text{ кал}/(\text{К} \cdot \text{моль})$$

Постоянная Больцмана

$$k = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/К}$$

Постоянная плотности излучения

$$a_R = 7,56566 \cdot 10^{-16} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-4} = \\ = 7,566 \cdot 10^{-15} \text{ эрг} \cdot \text{см}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$$

Постоянная Стефана — Больцмана

$$\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4} = \\ = 5,67 \cdot 10^{-5} \text{ эрг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{К}^{-4} \cdot \text{с}^{-1}$$

1 малая калория = 4,1855 Дж = $4,2 \cdot 10^7$ эрг

Таблица 7

Астрономические постоянные

А. XVI съездом Международного астрономического союза в 1976 утверждена новая система астрономических постоянных. Решено принять для а.е. округленное значение 149 600 000 км (вытекающее из современных радиолокационных измерений межпланетных расстояний), что соответствует параллаксу Солнца $8,794''$ и постоянной аберрации $20,496''$.

По данным анализа движения ИСЗ отношение массы Земли к массе Луны принимается равным 81,30. Длину радиуса земного экватора приняли равной $6\,378\,160 \pm 10$ м. Сплюснутость земного эллипсоида (также из анализа движений ИСЗ) $1/298,25$ (очень близка к сплюснутости эллипсоида Красовского). Таким образом, новая система основных и производных постоянных может быть суммирована следующим образом:

Основные постоянные

Эфемеридная секунда $s = 1/31556925,97474$ тропического года эпохи 1900 г.

Астрономическая единица $A = 149\,600 \cdot 10^6$ м

Экваториальный радиус Земли $a_e = 6\,378\,140$ м

Гравитационная постоянная Гаусса

$$k = \sqrt{f} = 0,01720209895$$

(f — гравитационная постоянная в системе единиц, где масса Солнца $M_\odot = 1$)

Отношение масс Земли и Луны

$$\frac{1}{\mu} = 81,30$$

Скорость света $c = 299\,792,5 \cdot 10^3$ м/с

Общая прецессия в долготе за юлианское столетие (для эпохи 2000 г.) $p = 5029,0966''$

Наклон эклиптики к экватору (2000 г.) $\varepsilon = 23^\circ 26' 21,448''$

Постоянная нутации (2000 г.) $N = 9,21094''$

Динамический коэффициент формы Земли $J_2 = 0,00108263$

Производные постоянные

Параллакс Солнца $\pi_\odot = 8,794148''$

Постоянная аберрации (для 2000 г.) $\kappa = 20,49552''$

Отношение масс Солнца и Земли $S/E = 332\,958$

Отношение массы Солнца к массе системы Земля и Луна

$$S/E(1 + \mu) = 328\,900,5$$

Среднее время для 1 а.е. $A/c = 499,004782^s \approx 500$ с

Среднее расстояние Луны от Земли $a_L = 384\,401 \cdot 10^3$ м

Параллакс Луны (средний) $3422,61'' = 57' 2,61''$

Постоянная лунного неравенства $L = 6,43987$

Т а б л и ц а 7 (продолжение)

Постоянная параллактического неравенства Луны

$$P_q = 124,986''$$

Сплюснутость земного эллипсоида $\alpha = \frac{1}{298,257}$

Б. Другие астрономические величины либо «постоянные» меняются со временем («постоянные» фиксируют значения величин для определенной эпохи).

Общая годовая прецессия по прямому восхождению $m = 46,0851'' + 0,0002795''(t - 1900)$ или $m = 3,07234^s + 0,0000186^s(t - 1900)$

Общая годовая прецессия по склонению $n = 20,0468'' - 0,000085''(t - 1900)$

Средний наклон экватора к эклиптике $e = 23^\circ 27' 8,26'' - 0,4684''(t - 1900)$

Продолжительность года юлианского календаря 365,25 ср. суток $= 8766^h = 52\,960^m = 31\,557\,600^s$

Продолжительность среднего календарного года (в григорианском календаре) 365,2425 ср. солн. суток $= 365^d 5^h 49^m 12^s$

Продолжительность тропического года 365,24219879 $- 0,0000000614(t - 1900)^*) = [365^d 5^h 48^m 46^s = 8765,813^h = 525\,948,77^m] = 31\,556\,926,34^s - 0,0053^s(t - 1900)$

Продолжительность звездного года $365,25636042^d + 0,0000000011^d(t - 1900) = 365^d 6^h 9^m 10^s$

Продолжительность аномалистического года $365,25964124^d + 0,0000000304^d(t - 1900)$

Продолжительность драконического года $346,620031^d + 0,00000012^d(t - 1900)$

Продолжительность лунного года в 12 синодических месяцев 354,36 ср. солн. суток

Продолжительность тропического месяца 27,321582 ср. суток $= 27^d 7^h 43^m 4^s$

Продолжительность аномалистического месяца 27,55450 ср. суток $= 27^d 13^h 18^m 33^s$

Продолжительность драконического месяца 27,212220 ср. суток $= 27^d 5^h 5^m 30^s$

Средняя продолжительность календарного месяца (1/12 ср. солн. года) $30^d 10^h 29^m 4^s$

Средние солнечные сутки $= 1,002737909$ звездных суток $= 24^h 3^m 56,5554^s$ зв. времени

Звездные сутки $= 0,997269566$ ср. солн. суток $= 23^h 56^m 04,0905^s$ ср. солн. времени

Среднее суточное видимое движение Солнца $0,9856076686^\circ = 59,136460' = 3548,18761''$

Сутки $= 24^h = 1440^m = 86\,400^s$

*) Уменьшается на $0,53^s$ в сто лет.

Б. Солнечная система

Т а б л и ц а 8

Данные о Земле, Луне и Солнце

Данные о Земле

Экваториальный радиус $a = 6378,140$ км

Полярный радиус $b = 6356,774$ км

Средний радиус $6371,032$ км

Радиус-вектор на уровне моря на широте φ

$$r = a(0,9983207 + 0,00167644 \cos 2\varphi - 0,00000352 \cos 4\varphi + \dots)$$

$$\text{Сплюснутость земного эллипсоида } c = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298,25}$$

Эксцентриситет земного меридиана

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = 0,081820$$

Поверхность Земли $510\,100\,000$ км²

Поверхность суши = $28,7\%$ всей поверхности Земли *)

Водная поверхность = $71,3\%$ всей поверхности Земли

Объем Земли $1,0832 \cdot 10^{12}$ км³ $\approx 1,1 \cdot 10^{27}$ см³

Масса Земли $5,977 \cdot 10^{27}$ г **) = $1 : (332\,958 \pm 20)$ массы Солнца $\approx$ трем миллионным массы $\odot$

Средняя плотность Земли $5,518$ г/см³

Средняя плотность земной коры $2,80$ г/см³

Критическая скорость (скорость освобождения) у поверхности $11,189$ км/с

Длина 1° географической долготы $(111,321 \cos \varphi - 0,094 \cos 3\varphi)$ км

Длина 1° географической широты $(111,143 - 0,562 \cos 2\varphi)$ км

Разность астрономической φ и геоцентрической φ' широт $\varphi - \varphi' = 692,74'' \sin 2\varphi - 1,163'' \sin 4\varphi + 0,003'' \sin 6\varphi$

Угловая скорость вращения Земли $15,041'' \text{ с}^{-1} = 0,000072921 \text{ с}^{-1}$

Период вращения $23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}}$

Линейная скорость точки экватора $465,119$ м/с

Линейная скорость точки земной поверхности на широте φ равна $465,119 \cos \varphi$ м/с

Средняя скорость движения Земли по орбите $29,765$ км/с $\approx 100\,000$ км/ч

Наибольшая скорость (в перигелии) $30,287$ км/с

Наименьшая скорость (в афелии) $29,291$ км/с

Ускорение Земли к Солнцу $0,59$ см/с²

Ускорение силы тяжести на Земле (стандартное) $g_0 = 980,665$ см/с²

То же на широте 45° (абсолютное) $g_{45^\circ} = 980,616$ см/с²

Ночное излучение Земли (в ясную ночь) $0,1 - 0,2$ кал/(см²·мин)

*) Около $0,1$ суши покрыто вечными снегами и льдом.

**) Около $0,024\%$ массы Земли составляет вода во всех ее формах; масса атмосферы Земли $(5,158 \pm 0,001) \cdot 10^{21}$ г

Таблица 8 (продолжение)

Данные о Солнце

Параллакс Солнца при среднем расстоянии Земли от Солнца $\pi_{\odot} = 8,7940976'' \pm 0,0000147''$ (по радарным измерениям).

МАС в 1964 г. принял значение 8,79''

Параллакс Солнца меняется в пределах от 8,94'' до 8,65''

Среднее расстояние до Солнца = 23 455,04 экваториального радиуса Земли = $(149\,504\,000 \pm 17\,000)$ км = 1 а.е. = $107,5D_{\odot} = 4,85 \cdot 10^{-6}$ пк

Диаметр Солнца $D_{\odot} = 1\,390\,600$ км = $109,12D_{\oplus} \approx 14 \cdot 10^{10}$ см

Поверхность Солнца в 11 930 раз больше поверхности Земли = $6087 \cdot 10^{22}$ см² = $608,7 \cdot 10^{10}$ км²

Объем Солнца $V_{\odot} = 1\,303\,800V_{\oplus} = 1,412 \cdot 10^{33}$ см³ = $1,4 \cdot 10^{18}$ км³

Наибольший видимый угловой диаметр Солнца 32'31,4'' (Земля в перигелии) = 1951,4''

Наименьший видимый угловой диаметр Солнца 31'27,2'' (Земля в афелии) = 1887,2''

Видимый угловой диаметр на расстоянии 1 а.е. (средний угловой диаметр 1919,26'' = 31'59,26''*)

Масса Солнца $M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{33}$ г = 333 434 $M_{\oplus}$ = 328 912 ($M_{\oplus} + M_{\odot}$)

Средняя плотность $\bar{\rho}_{\odot} = 1,409$ г/см³ = 0,256 $\bar{\rho}_{\oplus}$

Плотность в центре Солнца ~ 160 г/см³

Ускорение силы тяжести на поверхности Солнца $g_{\odot} = 2,7398 \cdot 10^4$ см/с², в 27,9 раза больше, чем на поверхности Земли

Критическая скорость (скорость освобождения) на поверхности Солнца 617,7 км/с

Линейная скорость точки солнечного экватора 2 км/с

Синодический период вращения точки экватора 27,35 суток (13,199° в сутки)

Сидерический период вращения точки экватора 25,380 суток (14,184° в сутки)

Наклон экватора Солнца к эклиптике 7°15'00''

Долгота восходящего узла солнечного экватора 75°04' (1950,0)

Северный конец оси вращения Солнца пересекает небесную сферу в точке с координатами $\alpha = 19^{\text{h}}4^{\text{m}}$, $\delta = +64^{\circ}$ (между Полярной и Вегой)

Среднее значение *солнечной постоянной***) на высоте 65 км $1,9$ кал/(см²·мин) = $1,3 \cdot 10^6$ эрг/(с·см²)

Мощность солнечного излучения на высоте 65 км (практически на границе земной атмосферы) соответствует $1,3$ кВт/м² = $1,3 \cdot 10^6$ эрг/(см²·с)

*) Из наблюдений диаметр Солнца на среднем расстоянии Земли от Солнца получается 32'2,36'' вследствие явления иррадиации. Одна секунда дуги (1'') на поверхности Солнца соответствует 725,3 км, одна (минута (1') — 43 518 км.

**) Колеблется не более чем на 1,5 % в течение длительных периодов времени и на $\pm 0,4$ % с короткими периодами. В 1968 г. на высоте 82 км $1,962$ кал/(см²·мин) $\pm 0,1$ %.

Таблица 8 (продолжение)

Светимость Солнца, принимаемая за единицу, или общая радиация, излучаемая Солнцем $(3,88 \pm 0,03) \cdot 10^{33}$ эрг/с = $= 1,19 \cdot 10^{41}$ эрг/год *)

Излучение одного см² поверхности Солнца $6,41 \cdot 10^{10}$ эрг/с $\approx 50\,000$ кандел

Мощность общего излучения Солнца $51 \cdot 10^{22}$ л.с. = $= 374 \cdot 10^{21}$ кВт

Сила света Солнца $302 \cdot 10^{25}$ кандел

Средняя яркость поверхности солнечного диска (на границе земной атмосферы) 202 000 стильбов (сб)

Освещенность от Солнца (вне атмосферы) 127 000 люксов (лк) = 548 000 полных лун в зените

Видимая звездная величина Солнца в системе V: вне атмосферы —26,78^m, в зените —26,58^m

Видимая звездная величина Солнца в системе B: —26,3^m в системе U: —25,96^m

Видимая фотографическая звездная величина Солнца —26,17^m

Видимая болометрическая звездная величина Солнца —26,77^m

Спектральный класс Солнца G2V

Эффективная температура поверхности Солнца 5770 К $\pm$ 29 К

Модуль расстояния Солнца $m - M = -31,57^m$

Абсолютная фотовизуальная звездная величина +4,96^m

Абсолютная фотографическая звездная величина +5,59^m

Абсолютная болометрическая звездная величина +4,79^m

Скорость движения Солнца относительно окружающих его звезд до 6^m 19,5 км/с (по направлению к созвездию Геркулеса) 4,2 а.е. в год ($1,21 D_{\odot}$ в сутки) = $6 \cdot 10^8$ км/год

Апекс движения Солнца $\alpha = 270^\circ = 18^h 0^m$, $\delta = +30^\circ$ (стандартный апекс)

Расстояние Солнца от центра Галактики $\sim 10\,000$ пк, $\sim 30\,000$ световых лет

Расстояние Солнца от галактической плоскости 15 пк к северу

Скорость движения Солнца вокруг центра Галактики ~ 250 км/с

Период обращения Солнца вокруг центра Галактики ~ 200 млн лет

Средняя продолжительность полного цикла солнечной активности $(22,11 \pm 0,6)$ года

Данные о Луне

Средний суточный параллакс Луны $57' 2,61'' = \sim 1^\circ$ (параллакс меняется в среднем от $53' 54,6''$ до $61' 31,4''$)

Среднее расстояние Луны от Земли $384\,400$ км *) = $= 0,00257$ а.е. = 60,2682 радиуса Земли (расстояние меняется от 356 410 до 406 740 км)

Наибольший видимый угловой диаметр Луны $32' 53,5''$

Наименьший видимый угловой диаметр Луны $29' 28,1''$

Видимый угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли $31' 5,16'' = \sim 1865,2''$

Диаметр Луны $3476,0$ км = 0,27256 экв. диаметра Земли $\approx 3/11$ земного

*) В целом около 2 эрг на каждый грамм массы Солнца.

**) По радиолокационным данным $384\,402 \pm 2$ км.

Таблица 8 (продолжение)

Объем Луны	$2195,3 \cdot 10^7 \text{ км}^3 = 2,2 \cdot 10^{25} \text{ см}^3 = 0,020266 \text{ объема Земли} \approx 1/50 \text{ земного}$
Поверхность Луны	$3,796 \cdot 10^7 \text{ км}^2 = 0,0743 \text{ земной} = 1/13,4 \text{ земной}$
Масса Луны	$1/81,301 \text{ массы Земли} = 0,012300 \text{ массы Земли} = 1/27070500 \text{ массы Солнца} = 7,35 \cdot 10^{25} \text{ г} \approx 73 \text{ триллиона тонн}$
Средняя плотность Луны	$3,347 \text{ г/см}^3 = 0,607 \text{ средней плотности Земли}$
Ускорение силы тяжести на поверхности Луны	$1,623 \text{ м/с}^2 = 0,165 \text{ земного} \approx 1/6 \text{ земного}$
Критическая скорость (скорость освобождения)	$2,375 \text{ км/с}$
Средний эксцентриситет лунной орбиты	$0,05490 \approx 1/18$: линейный эксцентриситет $21\,000 \text{ км}$
Наклон лунной орбиты к эклиптике	$5^\circ 8' 43,4''$ (меняется с $P = 173^d$ от $4^\circ 59'$ до $5^\circ 17'$)
Средний наклон лунного экватора к орбите	$6^\circ 40,7'$ (наклон меняется от $6^\circ 51'$ до $6^\circ 31'$)
Наклон лунного экватора к эклиптике	$1^\circ 32' 47'' \pm 24''$
Наклон лунной орбиты к земному экватору	меняется от $18^\circ 18'$ до $28^\circ 36'$
Либрация по долготе	$\pm 7^\circ 54'$
Либрация по широте	$\pm 6^\circ 50'$
Параллактическая либрация	около 1 %
Невидимая с Земли часть поверхности Луны	составляет 0,410 всей поверхности Луны (в первый раз сфотографирована первой советской автоматической межпланетной станцией в октябре 1959 г.); 0,180 всей поверхности то видимы, то невидимы
Средняя видимая угловая скорость движения Луны	$13^\circ 10' 35''$ в сутки, около $0,51^\circ$ в час $\approx$ поперечник лунного диска в час
Средняя скорость движения Луны по орбите	$1,023 \text{ км/с} \approx 3681 \text{ км/ч}$
Ускорение Луны в ее движении вокруг Земли	$0,272 \text{ см/с}^2$
Сидерический месяц, равный периоду обращения Луны,	$27^d 7^h 43^m 11,47^s = 27,321661 \text{ ср. суток} \approx 655^h 43^m$
Синодический месяц	$29^d 12^h 44^m 2,78^s = 29,5305882 \text{ ср. суток} \approx 708^h 41^m$ (меняется от $29,25^d$ до $29,83^d$, т.е. на $\sim 13^h$, вследствие эллиптичности лунной орбиты)
Период вращения линии узлов	$6798^d \approx 18,61 \text{ тропич. года}$
Период вращения линии апсид	$3232,6^d \approx 8,849 \text{ тропич. года}$
Сферическое альbedo Луны в полнолуние	$0,0748$
Видимая визуальная звездная величина в полнолуние	$m_v = -12,55^m \pm 0,05^m$ (полная Луна светит в $465\,000$ ($\pm 10\%$) раз слабее Солнца)
Показатель цвета Луны	$B - V = +1,2^m$
Средняя яркость полной Луны	$0,251 \text{ сб}$
Освещенность, создаваемая полной Луной в зените на Земле на поверхности, перпендикулярной к направлению падающих лучей,	$0,25 \text{ люкса}$
«Лунная постоянная» — поток от Луны на Землю	$1/225000 \text{ м. калории}$
Температура в подсолнечной точке	$+130^\circ \text{C}$
Температура ночной стороны поверхности Луны	$-150 \div 160^\circ \text{C}$

Таблица 9

Элементы орбит планет Солнечной системы

Планета	Большая полуось орбиты		Сидерический период обращения		Средняя скорость орбит. движения, км/с	Средний синодический период в сутках	Средняя угловая скорость орбит. движения (в ср. сутки)
	в а. е.	в млн км	в тропич. годах	в годах и ср. сутках			
Меркурий	0,38710	57,91	0,24085	87,969 ^d	47,87	115,88	4,0923°
Венера	0,72334	108,21	0,61521	224,781	35,0	583,92	1,6021
Земля	1,00000	149,60	1,00004	365,3	29,79	—	0,9856
Марс	1,52368	227,94	1,880089	686,98	24,13	779,94	0,5240
Юпитер	5,20337	777,8	11,86223	11,86 ^a	13,05	398,88	0,0831
Сатурн	9,55447	1427,0	29,45772	29,46	9,65	378,09	0,0335
Уран	19,182	2869,0	84,01529	84,02	6,8	369,66	0,0117
Нептун	30,058	4496,7	164,78829	164,8	5,43	367,48	0,0060
Плутон	39,46	5947	247,6968	248,4	4,74	366,74	0,0040

Таблица 9 (продолжение)

Планета	Период вращения вокруг оси	Эксцентриситет e	Наклон орбиты к эклиптике, 2000,0 i	Долгота восх. узла, 2000,0 Ω	Годичное изменение $\Delta\Omega$	Долгота перигелия, π	Годичное изменение $\Delta\pi$	Средняя долгота в нач. эпоху
Меркурий	58,6 ^d	0,20564	7°00'16"	48,344°	+0,71	77,443	+0,93'	179,566°
Венера	243,16 *)	0,0068	3 23 37	76,709	+0,54	131,453	+0,84	135,057
Земля	23 ^h 56 ^m 04 ^s	0,01670	—	352,4	—	102,903	+1,03	128,123
Марс	24 37 23	0,09346	1 50 59	49,589	+0,46	335,966	+1,10	256,089
Юпитер	9 50 *)	0,04845	1 18 11	100,469	+0,61	15,709	+0,97	93,230
Сатурн	10 14 **)	0,05538	2 29 21	113,679	+0 52	92,825	+1,18	288,730
Уран	10 49 *)	0,04756	46 23	74,012	+0,31	168,729	+0,97	270,733
Нептун	15 48:	0,00859	1 46 19	131,777	+0,66	55,806	+0,53	283,231
Плутон	6,39 ^d ***)	0,248	17 09	110,228	?	223,754	?	224,385

*) Вращение в обратную сторону.

***) Для экваториальной зоны. В высоких широтах P увеличивается до 9^h56^m у Юпитера и до 10^h38^m у Сатурна.

***) По колебаниям блеска.

Таблица 10

Физические характеристики планет Солнечной системы

Планета	Масса (без спутников)			Средний диаметр		Объем $\oplus = 1$
	$\odot = 1$ (обратные величины)	$\oplus = 1$	г	км	$\oplus = 1$	
Меркурий	$6\,023\,500 \pm 15\,000$	0,65526	$3,15 \cdot 10^{26}$	4860	0,3823	0,055
Венера	$408\,523,5 \pm 0,2$	0,81503	$4,868 \cdot 10^{27}$	12104	0,9790	0,854
Земля	$332\,946 \pm 20$	1,0000	$5,976 \cdot 10^{27}$	12756	1,000	1,000
Марс	$3\,098\,109 \pm 4\,000$	0,10748	$6,420 \cdot 10^{26}$	6776	0,5318	0,150
Юпитер	$1\,047,341 \pm 0,1$	317,818	$1,898 \cdot 10^{29}$	140140	11,00	1347,0
Сатурн	$3\,498,5 \pm 0,5$	95,17	$5,684 \cdot 10^{29}$	115600	9,07	770,5
Уран	$22\,869 \pm 200$	14,52	$8,685 \cdot 10^{28}$	49400	3,95	61,6
Нептун	$19\,314 \pm 200$	17,25	$1,030 \cdot 10^{29}$	49008	3,85	42,8
Плутон	140 500 000	0,0024	$1,4 \cdot 10^{25}$	2300	0,18	0,06

Планета	Средняя плотность		Сплюснутость (динамическая)	Наклон экватора к орбите	Ускорение свободного падения: на поверхности *)	Критическая скорость на поверхности, км/с	Температура поверхности	Альбедо
	г/см ³	$\oplus = 1$						
Меркурий	5,44	0,986	0,00	3° 04'	0,38	4,3		0,06
Венера	5,16	0,950	1 : 30 000	178	0,903	10,36	743 К	0,76
Земля	5,518	1,00	1 : 298,257	23° 27'	1,00	11,18		0,36
Марс	3,94	0,714	1 : 190,5	25 12	0,372	5,05	250—320	0,16
Юпитер	1,33	0,241	1 : 15,46	3 07	2,643	60,22	173 (максим.)	0,73
Сатурн	0,71	0,128	1 : 10,4	26 44	1,16	36,26	127	0,76
Уран	1,47	0,24	1 : 18,7	97 59	0,911	22	90 (максим.)	0,93
Нептун	1,7	0,30	1 : 47	28 48	1,17	23,9	72 (максим.)	0,84
Плутон	1,3	0,88	?	118 ?	0,05 :	1,6 :	63 (максим.)	0,14

*) Без учета центробежной силы. На Юпитере сила тяжести уменьшается на 9 %, на экваторе Сатурна—на 16 %.

Таблица 11
Спутники планет

Планета	Спутник	Кто и когда открыл	V_0 в среднюю оппозицию	Угловое расстояние в среднюю оппозицию	Среднее расстояние от планеты	
					в экв. радиусах планеты	в тыс. км
Земля	Луна	—	—12,74 ^m	—	60,27	384,00
	I Фобос	А. Холл, 1877	+11,3	0'25"	2,76	9,378
Марс	II Деймос		12,4	1 02	6,91	23,459
Юпитер	XVI Метида	С. Синнот, 1979/80	17,5		1,7922	127,96
	XV Адрастея	Д. Даниэльсон, 1979	18,7		1,8065	12,98
	V Амальтея	Э. Барнард, 1892	13,0	0 59	2,539	181,0
	XIV Фива (Теба)	С. Синнот, 1979/80	16,0		3,108	221,90
	I Ио		5,02	2 18	5,905	421,6
	II Европа	Г. Галллей, 1610	5,29	3 40	9,397	670,9
	III Ганимед		4,61	5 51	14,99	1 070
	IV Каллисто		5,65	10 13	26,37	1 883
	XIII Леда		20,2		155,4	11 004
	VI Гималия	Ч. Перрайн, 1904	14,64	62 40	160,8	11 480
	X Лиситея	С. Никольсон, 1938	18,3	63 36	164,2	11 720
	VII Элара	Ч. Перрайн, 1905	16,7	64 13	164,4	11 737
	XII Ананке	С. Никольсон, 1951	18,9	114 00	296,9	21 200
	XI Карме	С. Никольсон, 1938	17,9	123 24	316,5	22 600
	VIII Пасифе	П. Меллот, 1908	17,3	128 35	329,1	23 500
	IX Синопе	С. Никольсон, 1914	18,0	128 58	331,9	23 700
Сатурн	XV Атлас	Ч. Перрайн, 1980	18	0 22	2,281	137,67
	XVII Прометей	Коллииз, 1980	15,8	0 23	2,310	139,5
	XVI Пандора	1980	16,5	0 23	2,349	141,70
	XI Эпиметей	Фаунтен и др., 1980	15,7	0 24	2,510	151,422

Уран		X Янус	О. Дольфус, 1980	14,5	0 24	2,511	151,472
		I Мимас	В. Гершель, 1789	12,9	0 25	3,075	185,52
		II Энцелад		11,7	0 30	3,945	238,02
		III Тефия	1684	10,3	0 38	4,884	294,66
		XIII Телесто	Рентсема и др., 1980	18,7	0 48	4,884	294,66
		XIV Калипсо	Паку и др., 1980	19	0 48	4,884	296,66
		IV Диона	Ж. Кассини, 1684	10,4	1 01	6,256	377,40
		XII Елена	Лекаше, Лак, 1980	18,4	1 01	6,256	377,4
		V Рея	Ж. Кассини, 1672	9,7	1 25	8,736	527,04
		VI Титан	Хр. Гюйгенс, 1655	8,3	3 17	20,25	1221,85
		VII Гиперион	Д. Бонд, 1848	14,0	3 59	24,55	1481,1
		VIII Япет	Ж. Кассини, 1671	10,2—11,9	9 35	59,03	3561,3
		IX Феба	В. Пикеринг 1898	16,5	34 41	214,7	12 952,0
	1986	U7 Корделия			4	1,90	49,75
	1986	U8 Офелия			4	2,05	53,77
	1986	U9 Бианка			4	2,26	59,16
	1986	U3 Крессиды			4	2,36	61,77
	1986	U6 Дездемона	КА «Вояджер-2», 1986	23—25	5	2,39	62,65
	1986	U2 Джульетта			5	2,47	64,63
	1986	U1 Порция			5	2,52	66,10
	1986	U4 Розалинда			5	2,67	69,93
	1986	U5 Белинда			6	2,87	75,35
Нептун	1985	U1 Пак		20,5		3,28	86,00
		V Миранда	П. Койпер, 1948	16,5	10	5,54	129,8
		I Ариэль	П. Лассел, 1851	14,4	14	7,42	191,2
		II Умбриэль		15,3	20	10,32	266,0
Плутон		III Титания	У. Гершель, 1787	14,0	33	16,9	436
		IV Оберон		14,2	44	23,0	582,6
		I Тритон	П. Лассел, 1846	13,6	17	14,0	354,3
		II Нереида	П. Койпер, 1949	18,7	4 21	219	551
		I Харон	Дж. Кристи, Р. Хар- рингтон, 1978	16,8		17	19 640

Таблица 11 (продолжение)

Спутник	Сидерический период обращения (в земных сутках)	Синодический период обращения	Эксцентриситет	Наклон к экватору планеты	Диаметр, км	Масса в единицах массы планеты
Луна	27,321661	29 ^d 12 ^h 44 ^m 03 ^s	0,0549		3476	0,01230
Фобос	0,318910	7 39 27	0,015	1,02	27 *)	1,82·10 ⁻⁸
Деймос	1,262441	1 6 21 16	0,00052	1,82	15 *)	2,14·10 ⁻⁹
Метидя	0,2948		< 0,004	~ 0	40 *)	~ 3·10 ⁻¹¹
Адрастея	0,2683		~ 0,0	~ 0	25 *)	~ 3·10 ⁻¹¹
Амальтея	0,4981	11 57 28	0,003	0,43	270 *)	~ 10 ⁻⁸
Фива	0,6745		0,015	0,8	110 *)	~ 3·10 ⁻¹⁰
Ио	1,7691		0,0041	0,40	3630	4,70·10 ⁻⁵
Европа	3,551	3 13 17 54	0,0101	0,470	3138	2,57·10 ⁻⁵
Ганимед	7,155	7 03 59 36	0,0006	0,195	5262	7,84·10 ⁻⁵
Каллисто	16,689	16 18 05 07	0,007	0,231	4800	5,60·10 ⁻⁵
Леда	238,72		0,148	27	~ 16	~ 5·10 ⁻¹³
Гималия	250,57	260 00	0,158	28	180	~ 3·10 ⁻⁹
Ляситея	259,22	276	0,107	29,0	~ 40	~ 4·10 ⁻¹²
Элара	259,65	276 10	0,207	28	80	~ 3·10 ⁻¹⁰
Ананке	631	540	0,169	147	~ 30	~ 4·10 ⁻¹²
Карме	692	599	0,207	163	~ 44	~ 10 ⁻¹¹
Пасифе	735	633	0,38	148	~ 70	~ 3·10 ⁻¹¹
Синопе	759	629	0,28	153	~ 40	~ 10 ⁻¹¹
Аглас	0,602		~ 0	~ 0	40 *)	
Прометей	0,613		0,003	0,0	140 *)	
Пандора	0,629		0,004	0,0	110 *)	
Эпиметей	0,694		0,009	0,34	140 *)	
Янус	0,695		0,007	0,14	220	
Мимас	0,942	22 37 12	0,0202	1,53	394	6,50·10 ⁻⁸
Энцелад	1,370	1 08 53 22	0,0045	0,02	502	1,48·10 ⁻⁷

*) Имеет неправильную форму. Указан размер большой оси.

Таблица 11 (продолжение)

Спутник	Сидерический период обращения (в земных сутках)	Синодический период обращения	Эксцентриситет	Наклон к экватору планеты	Диаметр, км	Масса в единицах массы планеты
Тефия	1,888	1 ^d 21 ^h 18 ^m 55 ^s	0,000	1,09	1048	1,09·10 ⁻⁶
Телесто	1,883		~ 0	~ 0	24 *)	
Калипсо	1,888		~ 0	~ 0	30 *)	
Диона	2,737	2 17 42 10	0,0022	0,02	1118	2,04·10 ⁻⁶
Елена	2,7369		0,005	0,2	36 *)	
Рея	4,518		0,0010	0,35	1528	
Титан	15,945	15 23 15 23	0,0292	0,33	5150	2,46·10 ⁻⁴
Гиперион	21,27		0,1042	0,43	350 *)	
Япет	79,33		0,0283	7,52	1436	
Феба	550,48	536 16	0,163	175,3	230 *)	
Корделия	0,33503		< 0,001	~ 0	~ 40	
Офелия	0,37641		0,01	~ 0	~ 50	
Бianка	0,43758		0,001	~ 0	~ 50	
Крессидя	0,46357		0,001	0	~ 60	
Дездемона	0,47365		0,001	0	~ 60	
Джильетта	0,4931		0,001	0	~ 80	
Порция	0,5132		0,001	0	~ 80	
Розалинда	0,5585		0,001	0	~ 60	
Белинда	0,62352		0,001	0	~ 60	
Пак	0,76183		< 0,001	0	170	
Миранда	1,41348		0,0027	4,22	471,6	1,0·10 ⁻⁷
Ариэль	2,52038	2 12	0,0034	0,31	1157,8	1,1·10 ⁻⁵
Умбриэль	4,14418		0,0050	0,36	1169,4	1,1·10 ⁻⁵
Титания	8,70587		0,0022	0,14	1577,8	3,2·10 ⁻⁵
Оберон	13,46324	13 11	0,0008	0,10	1522,8	3,4·10 ⁻⁵
Тритон	5,87785		< 0,0005	159,0	2700	2,2·10 ⁻⁴
Неранда **)	359,881		0,75	27,6	340	5,0·10 ⁻⁸
Харон	6,387217		0	98,3	119 8	6,4·10 ⁻²

*) Имеет неправильную форму. Указан размер большой оси.

**) «Вояджер-2» обнаружил у Нептуна шесть новых спутников и шесть колец.

Таблица 12

Элементы орбит некоторых малых планет

Номер планеты	Название	m в близком и далеком противо- стоянии	Большая полуось a , а. е.	Сидери- ческий период обращения, годы	Средний синоди- ческий период обращения, d	Эксцен- триситет	Наклон i	D , км	Кто и когда открыл
1	Церера (Ceres)	7,0-7,9	2,767	4,60	466,68	0,077	10,60°	1003	Пицци, 1801
2	Паллада (Pallas)	6,7-9,3	2,771	4,61	466,5	0,235	34,81	608	Ольберс, 1802
3	Юнона (Juno)	7,0-10,0	2,009	4,36	473,9	0,258	13,00	247	Гардинг, 1804
4	Веста (Vesta)	5,9-7,0	2,361	3,63	504,22	0,091	7,14	538	Ольберс, 1807
5	Астрея (Astraea)	8,5-10,5	2,575	4,14	481,71	0,192	5,36	117	Генке, 1845
6	Геба (Hebe)	7,0-9,6	2,428	3,78	496,78	0,202	14,79	201	Генке, 1847
7	Ирис (Iris)	6,7-9,6	2,386	3,68	501,32	0,229	5,51	209	Хайнд, 1847
8	Флора (Flora)	7,8-9,8	2,202	3,27	526,41	0,156	5,89	100	Хайнд, 1847
9	Метиса (Metis)	8,1-9,6	2,387	3,69	501,19	0,122	5,58	151	Грэхам, 1848
12	Виктория (Victoria)	8,1-10,9	2,333	3,56	507,70	0,219	8,38	126	Хайнд, 1850
15	Эвномия (Eunomia)	7,4-9,6	2,645	4,30	175,97	0,185	11,76	272	Гаспарис, 1851
18	Мельпомена (Melpomene)	7,7-10,5	2,295	3,48	512,64	0,219	10,14	150	Хайнд, 1852
20	Массалия (Massalia)	8,2-9,9	2,409	3,74	498,66	0,144	0,71	106	Гаспарис, 1852
192	Навзикая (Nausikaa)	7,5-10,7	2,403	3,72	499,37	0,248	6,82	75	Пализа, 1879
324	Бамберга (Bamberg)	7,3-11,5	2,682	4,40	472,78	0,341	11,14	246	Пализа, 1892
387	Аквитания (Aquitania)	8,2-11,0	2,739	4,53	463,62	0,238	18,08	107	Куртц, 1894
433	Эрос (Eros)	7,2-12,4	1,458	1,76	845,37	0,223	10,83	6×32	Витт, 1898
471	Папагена (Papagena)	8,4-11,1	2,891	4,91	458,71	0,229	14,94	210	Вольф, 1901
511	Давида (Davida)	8,3-10,5	3,173	5,69	443,20	0,178	15,94	323	Дэган, 1903
944	Гидальго (Hidalgo)	11,0-19,0	5,837	13,93	393,5	0,657	12 41	20-30	Бааде, 1920
1036	Ганымед (Ganymedes)	12,5	2,665	4,34	474,6	0,537	26,44	48	Бааде, 1924
1221	Амур (Amor)	17,5	1,921	2,65	584,0	0,435	11,93	1-2	Дельпорт, 1932
1556	Икар (Ikar)	12,5	1,078	1,12	13,82	0,827	22,98	1-2	Бааде, 1949

Таблица 13

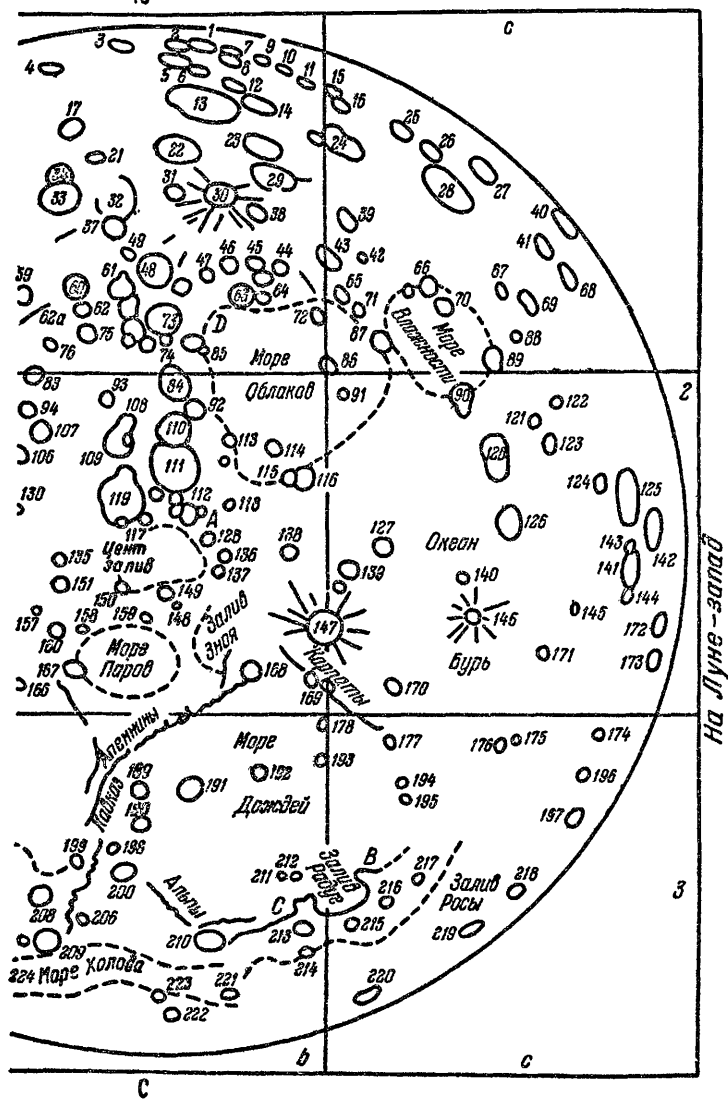
Полные затмения Солнца и Луны в 1985—2000 гг.
(декретное время второго часового пояса)

А. ПОЛНЫЕ ЗАТМЕНИЯ СОЛНЦА

Середина полного затмения		Продолжительность полной фазы, мин	Где будет видно как полное
дата	час		
12.11.1985	17	1	Антарктика
03.10.1986	22	2	Гренландия
29.03.1987	16	0	Африка
18.03.1988	5	4	Тихий океан, Суматра
22.07.1990	6	3	Финляндия, Северная область Сибири
11.07.1991	22	7	Тихий океан, Центральная Америка
30.06.1992	15	5	Атлантический океан
03.11.1994	17	5	Тихий океан, Южная Америка
24.10.1995	8	2	Тихий океан
09.03.1997	4	3	Восточная Сибирь
26.02.1998	20	4	Тихий океан, Центральная Америка
11.08.1999	14	3	Западная Европа, Иран, Индия

Б. ПОЛНЫЕ ЗАТМЕНИЯ ЛУНЫ

Дата	Начало полного затмения	Конец полного затмения	Видимость в Европейской части СССР
04.05.1985	22 ^h 22 ^m	23 ^h 32 ^m	Да
28.10.1985	20 22	21 04	Да
24.04.1986	15 10	16 18	Нет
17.10.1986	21 42	22 56	Да
20.02.1989	17 59	19 15	Да
17.08.1989	5 15	6 53	Нет
09.02.1990	21 49	22 35	Да
10.12.1992	2 06	3 20	Да
04.06.1993	15 11	16 49	Нет
29.11.1993	9 01	9 51	Нет
04.04.1996	2 27	3 51	Да
27.09.1996	5 17	6 29	Да
16.09.1997	21 14	22 20	Да



Т а б л и ц а 14

Основные детали поверхности Луны

Море Влажности	Залив Радуги
Море Облаков	Залив Росы
Море Нектара	Озеро Снов
Море Изобилия	Горы Пиреней
Море Спокойствия	Горы Алтай
Море Кризисов	Горы Карпаты
Море Ясности	Горы Апеннины
Море Паров	Горы Кавказ
Море Дождей	Горы Тавра
Океан Бурь	Горы Альпы
Море Холода	Мыс Геркулеса
Залив Центральный	Мыс Лапласа
Залив Зноя	

Т а б л и ц а 15

Важнейшие лунные кратеры

Номер	Название	Номер	Название
1	Ньютон	28	Шиккард
2	Шорт	29	Вильгельм
3	Симпелий	30	Тихо
4	Манзин	31	Соссюр
5	Морет	32	Штефлер
6	Грумберггер	33	Мавролик
7	Казати	34	Бароцци
8	Клапрот	35	Фабриций
9	Вильсон	36	Меций
10	Кирхер	37	Фернелий
11	Беттини	38	Гензи
12	Бланкан	39	Гайнзель
13	Клавий	40	Бувар
14	Шейнер	41	Пиаци
15	Цухий	42	Рамсен
16	Сегнер	43	Капуан
17	Бекон	44	Цих
18	Неарх	45	Вюрцельбауэр
19	Влакк	46	Гаурик
20	Гоммель	47	Хелл
21	Лицет	48	Вальтер
22	Магин	49	Нониус
23	Лонгомонтан	50	Риччи
24	Шиллер	51	Рейта
25	Фокилид	52	Фурнерий
26	Варгентин	53	Стевин
27	Ингирами	54	Газе

Т а б л и ц а 15 (продолжение)

Номер	Название	Номер	Название
55	Снеллиус	104	Капелла
56	Рейхенбах	105	Кант
57	Неандр	106	Декарт
58	Пикколомини	107	Абулфеда
59	Понтан	108	Парро
60	Пуассон	109	Альбатегний
61	Алиацен	110	Альфонс
62	Вернер	111	Птолемей
63	Питат	112	Гершель
64	Гесиод	113	Девн
65	Меркатор	114	Герике
66	Вителло	115	Перри
67	Фурье	116	Бонплан
68	Лагранж	117	Реомюр
69	Виет	118	Лаланд
70	Доппельмайер	119	Гиппарх
71	Кампано	120	Летрон
72	Кис	121	Билли
73	Пурбах	122	Фонтана
74	Лакайль	123	Ганстин
75	Плейфер	124	Дамуазо
76	Азофи	125	Гримальди
77	Сакробоско	126	Флемстид
78	Фракасторо	127	Ландсберг
79	Сантбек	128	Мостинг
80	Петавий	129	Деламбр
81	Гумбольдт	130	Тейлор
82	Полибий	131	Мессье
83	Гебер	132	Маскелайн
84	Арзахель	133	Сабин
85	Фебит	134	Риттер
86	Буллияльд	135	Годин
87	Гиппал	136	Зоммеринг
88	Кавендиш	137	Шротер
89	Мерсенн	138	Гамбар
90	Гассенди	139	Рейнгольд
91	Любинецкий	140	Энке
92	Альпетрагий	141	Гевелий
93	Эри	142	Риччоли
94	Аль Мамун	143	Лорманн
95	Катарина	144	Кавальери
96	Кирилл	145	Рейнер
97	Феофил	146	Кеплер
98	Колумб	147	Коперник
99	Венделин	148	Бодэ
100	Лангрэн	149	Паллас
101	Гоклен	150	Триснеккер
102	Гутенберг	151	Агриппа
103	Исидор	152	Араго

Т а б л и ц а 15 (продолжение)

Номер	Название	Номер	Название
153	Тарунций	193	Ламберт
154	Шуберт	194	Диофант
155	Аполлоний	195	Делиль
156	Фирминик	196	Бригг
157	Зильбершлаг	197	Лихтенберг
158	Гигин	198	Фетас
159	Укерт	199	Калипп
160	Бошкович	200	Кассини
161	Росс	201	Гаусс
162	Прокл	202	Мессала
163	Пикар	203	Струве
164	Кондорсе	204	Плана
165	Плиний	205	Бюрг
166	Менелай	206	Эгед
167	Манилий	207	Бейли
168	Эратосфен	208	Евдокс
169	Гей-Люссак	209	Аристотель
170	Майер	210	Платон
171	Марий	211	Леверье
172	Ольберс	212	Геликон
173	Васко да Гама	213	Мопертюи
174	Селевк	214	Кондамин
175	Геродот	215	Бианчини
176	Аристарх	216	Шарп
177	Эйлер	217	Майран
178	Пифей	218	Герард
179	Жансен	219	Репсольд
180	Витрувий	220	Пифагор
181	Маральди	221	Фонтенель
182	Макробий	222	Эпиген
183	Клеомед	223	Тимей
184	Рёмер	224	Гертнер
185	Литтров	225	Фалес
186	Посидоний	226	Страбон
187	Гемин	227	Эндимион
188	Бессель	228	Атлас
189	Автолик	229	Геркулес
190	Аристиял	A	Мёстинг А
191	Архимед	D	«Прямая стена»
192	Тимохарис		

Таблица 16, а

Параметры орбит искусственных спутников Земли (ИСЗ)

T	H	v	φ	n	Δt	Δl
88 ^н	173	7,83	22,1°	16,34	-32	-7,0°
89	220	7,80	22,3	16,14	-16	-3,0
90	271	7,77	22,6	15,96	0	+1,0
91	320	7,74	22,8	15,78	+16	+5,0
92	368	7,71	23,1	15,61	+32	+9,0
93	417	7,68	23,3	15,45	-45	-10,3
94	466	7,65	23,6	15,28	-30	-6,5
95	514	7,62	23,8	15,12	-15	-2,7
96	562	7,59	24,1	14,96	0	+1,0
97	611	7,56	24,3	14,80	+15	+4,7
98	659	7,53	24,6	14,65	+30	+8,5
99	707	7,50	24,8	14,51	+45	+12,2
100	754	7,48	25,1	14,36	-40	-9,0
102	849	7,43	25,6	14,08	-12	-2,0
104	943	7,38	26,1	13,81	+16	+5,0
106	1036	7,33	26,6	13,55	+44	+12,0
108	1129	7,29	27,1	13,30	-36	-8,0
110	1221	7,24	27,6	13,06	-10	-1,5
112	1308	7,20	28,1	12,82	+16	+5,0
114	1404	7,16	28,6	12,60	+42	+11,5
116	1495	7,12	29,1	12,38	+48	-11,0
118	1584	7,08	29,6	12,17	-24	-5,0
120	1674	7,04	30,1	11,97	0	+1,0

Примечания: T — период обращения ИСЗ, мин; H — среднее значение высоты над поверхностью Земли, км; v — скорость кругового движения ИСЗ, км/с; φ — угол поворота Земли за один оборот ИСЗ, n — число оборотов ИСЗ за сутки, Δt — разность моментов времени (мин) между благоприятными для наблюдений прохожденьями ИСЗ в следующие сутки, Δl — смещение траектории ИСЗ в сутки (град) без учета вращения плоскости орбиты спутника.

Таблица 16, б

Высота ИСЗ в направлении меридиана h_m
и кратчайшего расстояния h_k
при $i = 65^\circ$ в зависимости
от углового расстояния подспутниковой точки от
наблюдателя

l	H=200 км		H=250 км		H=300 км	
	h_k	h_m	h_k	h_m	h_k	h_m
1°	74°	65°	77°	70°	79°	73°
2	60	48	66	53	69	59
3	50	36	56	42	61	48
4	41	28	48	34	53	39
5	35	23	41	28	47	33
6	30	20	36	24	42	28
7	27	17	32	22	37	25
8	24	15	29	19	34	22
9	21	14	27	17	31	20
10	19	12	24	16	28	18

Таблица 17

Расстояния от Земли, видимые угловые размеры
и звездные величины планет

Планета	Расстояние от Земли (в а. е.)		Угловой эквато- риальный диаметр		Блеск (в звездн. величинах)	
	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.
Меркурий	1,47	0,53	12,9"	4,5"	-1,0	+1,3
Венера	1,73	0,27	66,0	9,6	-4,3	-3,0
Марс	2,61	0,38	25,7	3,5	-2,8	+1,6
Юпитер	6,45	3,95	50,1	30,4	-2,2	-1,9
Сатурн	11,07	8,00	20,9	15,0	-0,4	+1,5
Уран	21,07	17,29	3,7	3,1	+5,4	+6,0
Нептун	31,31	28,80	2,2	2,0	+7,6	+7,7
Плутон	50,5	28,75	0,3	0,2	+14,3	

Таблица 18

Даты соединений Венеры с Солнцем

Нижние соединения	Верхние соединения	Нижние соединения	Верхние соединения
21.01.1982	04.11.1982	22.03.1991	13.06.1992
25.08.1983	15.06.1984	01.04.1993	17.01.1994
03.04.1885	19.01.1986	02.11.1994	20.08.1995
05.11.1986	23.08.1987	10.06.1996	02.04.1997
13.06.1988	05.04.1989	16.01.1998	30.10.1998
19.01.1990	01.11.1990	20.03.1999	11.06.2000

Таблица 19

Основные метеорные радианты

Название потока	Эпоха активности	Максимум	Радант		Максимальное число в час	Скорость, км/с	Примечания
			α	δ			
Квадрантиды	27.12—07.01	04.01	15 ^h 20 ^m	+55°	35	35	Максимум 1943 и 1948 гг.
Лириды	16—24.04	21.04	18 10	+33	10	48	Дожди 1803 и 1922 гг.
γ -Аквариды	01—12.05	04.05	22 20	—4	12	66	Быстрые со следами; комета Галлея
γ -Скорпиониды	май — июнь	08—09.06	5 12	—28	7	25	Яркие медленные желто-оранжевые
Цефеиды-1	11—25.06	—	20 52	+60	7	45	Белые быстрые; комета 1850 г.
Персеиды	18.07—20.08	13.08	3 04	+57	50	60	Быстрые белые; комета 1862 III
α -Каприкорниды	10.07—20.08	01.08	21 00	—15	9	30	Комета 1954 III
Южные Писциды	18.07—12.08	02.08	23 00	—30	10	40	Яркие медленные
Южные δ -Аквариды	21.07—15.08	30.07	22 32	—17	12	43	Богатейший поток южного неба
κ -Цигниды	10—25.08	20.08	19 20	+53	11	25	

Таблица 19 (продолжение)

Название потока	Эпоха активности	Максимум	Радант		Максимальное число в час	Скорость, км/с	Примечания
			α	δ			
Авригиды	14—31.08	30.08	5 ^h 56 ^m	+41	8	69	Быстрые со следами; комета 1911 n
Дракониды	07—10.10	09.10	17 44	+56	17	23	Медленные красноватые; дожди 1926, 1933, 1946; комета Джакобини — Циннера
Ориониды	14—26.10	20.10	6 16	+15	45	66	Белые со следами; комета Галлея
Северные Тавриды	18.10—30.11	14.11	3 44	+22	10	26	Медленные желто-оранжевые; комета Энке
Южные Тавриды	15.10—25.11	01.11	3 40	+14	10	30	Медленные желто-оранжевые
Леониды	08—20.11	17.11	10 08	+22	10	72	Быстрые белые; комета 1866 I
Геминиды	07—18.12	12.12	7 28	+33	50	35	Белые; самый обильный поток северного неба

В. Звезды, звездные скопления, туманности и галактики

Т а б л и ц а 20

Названия и обозначения созвездий

Русское название	Латинское название	Родитель- ный падеж (окончания слов)	Обоз- наче- ние	Площадь в квад- ратных градусах	Число звезд ярче 6 ^m
Андромеда	Andromeda	dae	And	721	100
Близнецы	Gemini	porum	Gem	514	70
Большая	Ursa	ae	UMa	1279	125
Медведица	Major	ris			
Большой	Canis	is	CMa	380	80
Пёс	Major	ris			
Весы	Libra	ae	Lib	538	50
Водолей	Aquarius	rii	Aqr	980	90
Возничий	Auriga	gae	Aur	657	90
Волк	Lupus	pi	Lup	334	70
Волопас	Bootes	tis	Boo	905	90
Волосы	Coma	ae	Com	386	50
[Вероники]	[Berenices]	cis			
Ворон	Corvus	vi	Crv	184	15
Геркулес	Hercules	lis	Her	1225	140
Гидра	Hydra	rae	Hya	1303	130
Голубь	Columba	bae	Col	270	40
Гонимые Псы	Canes	num	CVn	467	30
	Venatici	eorum			
Дева	Virgo	ginis	Vir	1294	95
Дельфин	Delphinus	ni	Del	189	30
Дракон	Draco	conis	Dra	1083	80
Единорог	Monoceros	rotis	Mon	481	85
Жертвенник	Ara	ae	Ara	237	30
Живописец	Pictor	ris	Pic	247	30
Жираф	Camelopardalis	dalis	Cam	756	50
Журавль	Grus	uis	Gru	365	30
Заяц	Lepus	poris	Lep	290	40
Змееносец (Офиух)	(Serpentarius) Ophiuchus	chi	Oph	948	100
Змея	Serpens	ntis	Ser	637	60
Золотая	Dorado	dus	Dor	179	20
Рыба					
Индеец	Indus	di	Ind	294	20
Кассиопея	Cassiopeja	jae	Cas	599	90
Кентавр	Centaurus	ri	Cen	1060	150
Киль	Carina	nae	Car	494	110
Кит	Cetus	ti	Cet	1231	100
Козерог	Capricornus	ni	Cap	414	50
Компас	Pyxis	xidis	Pyx	221	25
Корна	Puppis	pis	Pup	673	140

Таблица 20 (продолжение)

Русское название	Латинское название	Родитель- ный падеж (окончания слов)	Обоз- наче- ние	Площадь в квад- ратных градусах	Число звезд ярче 6 ^m
Лебедь	Cygnus	ni	Cyg	805	150
Лев	Leo (Major)	onis	Leo	947	70
Летучая Рыба	Volans	ntis	Vol	141	20
Лира	Lira	ae	Lyr	285	45
Лисичка	Vulpecula	lae	Vul	268	45
Малая	Ursa Minor	ae	UMi	256	20
Медведица		ris			
Малый Конь	Equuleus	lei	Equ	72	10
Малый Лев	Leo Minor	onis	LMi	232	20
		ris			
Малый Пёс	Canis Minor	is ris	CMi	183	20
Микроскоп	Microscopium	pri	Mic	209	20
Муха	Musca	cae	Mus	138	30
Насос	Antlia	liae	Ant	239	20
Наугольник	Norma	mae	Nor	165	20
Овен	Aries	etis	Ari	441	50
Октант	Octans	ntis	Oct	292	35
Орел	Aquila	lae	Aql	653	70
Орион	Orion	nis	Ori	594	120
Павлин	Pavo	vonis	Pav	377	45
Паруса	Vela	lorum	Vel	500	110
Пегас	Pegasus	si	Peg	1136	100
Персей	Perseus	rsei	Per	615	90
Печь	Fornax	nacis	For	397	35
Райская	Apus	podis	Ap	206	20
Птица					
Рак	Cancer	cri	Cnc	506	60
Резец	Caelum	eli	Cae	125	10
Рыбы	Pisces	cium	Psc	890	75
Рысь	Lynx	ncis	Lyn	545	60
Северная	Corona	nae	CrB	179	20
Корона	Borealis	lis			
Секстант	Sextans	ntis	Sex	313	25
Сетка	Reticulum	li	Ret	114	15
Скорпион	Scorpius	pri	Sco	497	100
Скульптор	Sculptor	ris	Scl	475	30
Столовая	Mensa	sae	Men	153	15
Гора					
Стрела	Sagitta	tae	Sge	80	20
Стрелец	Sagittarius	rii	Sgr	867	115
Телескоп	Telescopium	pri	Tel	251	30
Телец	Taurus	ri	Tau	797	125
Треугольник	Triangulum	li	Tri	132	15
Тука	Tucana	nae	Tuc	294	25
Феникс	Phoenix	nicis	Phe	469	40

Т а б л и ц а 20 (продолжение)

Русское название	Латинское название	Родитель- ный падеж (окончания слов)	Обоз- наче- ние	Площадь в квад- ратных градусах	Число звезд ярче 6 ^m
Хамелеон	Chamaeleon	ntis	Cha	131	20
Цефей	Cepheus	phei	Cep	588	60
Циркуль	Circinus	ni	Cir	93	20
Часы	Horologium	gii	Hor	249	20
Чаша	Crater	ris	Crt	282	20
Щит	Scutum	ti	Sct	109	20
[Собеского]	[Sobiensis]				
Эридан	Eridanus	ni	Eri	1138	100
Южная Гидра	Hydrus	ri	Hyl	243	20
Южная Корона	Corona	nae	CrA	128	25
	Australis	lis			
Южная Рыба	Piscis	cis	PsA	245	25
	Austrinus	ni			
Южный Крест	Cru	ucis	Cru	68	30
Южный	Triangulum	li			
Треугольник	Australe	lis	TrA	109	20
Ящерица	Lacerta	tae	Lac	201	35

Т а б л и ц а 21

**Собственные названия звезд
и их важнейшие характеристики**

Обозначение и название звезды	Видимая звездная величина	Спектр	Расстоя- ние, пк
Андромеда			
β Альферац, Сиррах	2,06	B8 IV	40
α Мирах	2,06	M0 III	23,8
γ Аламак	2,20	K3 II	200
Близнецы			
β Поллукс	1,10	K0 III	10,8
α Кастор	1,58	A1 V	14,3
γ Альхена	1,93	A1 IV	333
ε Мебсута	2,97	G8 Ib	125
δ Васат	3,53	F0 IV	16,7
η Тейт Приор, Пропус	3,28	M3 III	76
μ Тейт Постериор	2,87	M3 III	50
ζ			
Большая Медведица			
α Дубхе	1,79	K0 III	32,2
β Мерак	2,35	A1 V	22,2
γ Фекда	2,41	A0 V	43,5

Таблица 21 (продолжение)

Обозначение и название звезды	Видимая звездная величина	Спектр	Расстояние, пк
δ Мегрец, Каффа	3,27	A3 V	19,2
ϵ Алиот	1,77	A0 V	125
η Алькайд, Бенетнаш	1,83	B3 V	50
ζ Мицар	2,07	A2 V	27
g Алькор	3,95	A5 V	
ϵ Алюла Австралис	3,79	G0 V	7,9
ϵ Алюла Бореалис	3,49	K3 III	55,6
ι Талитха	3,12	A7 V	15,2
μ Тания Австралис	2,99	M0 III	35,7
λ Тания Бореалис	3,45	A2 IV	35,7
π^2 Муссида	5,3		
Большой Пес			
α Сириус, Каникула	-1,46	A1 V	2,67
δ Везен	1,80	F8 Ia	333
ϵ Адара	1,50	B2 II	290
β Мирзам, Мурзим	1,97	B1 II	66,7
η Алюдра	2,44	B5 Ia	83,3
ζ Фуруд	3,02	B2,5 V	66,7
γ Мулифен	4,12	B8 II	125
Весы			
α Зубен Эльгенуби	2,75	A3 IV	19,6
β Зубен Эльшемали	2,61	B8 V	41,7
ν Зубен Хакраби	3,57	K3 III	29,4
γ Зубен Эльакраб	3,91	G8 III	30,3
δ Зубен Эльакриби	4,9		
Водолей			
α Садалмелек	2,93	G2 Ib	333
β Садалсууд	2,87	G0 Ib	333
δ Скат	3,25	A3 V	25,6
γ Садахбия	3,84	A9 III	27
ϵ Альбали	3,77	A2 V	25,6
θ Анха	4,15	G8 III	58,8
κ Ситула	5,3		
Возничий			
α Капелла	0,03	G8 III	13,5
β Менкалинан	1,90	A2 V	27
ι Хассалех	2,69	K3 II	66,7
η Хедус II	3,16	B3 V	83,3
ζ Хедус I	3,73	K4 Ib	333
Волопас			
α Арктур	-0,12	K2 III	11,1
ϵ Мирак, Изар, Пульхер- рма	2,37	K0 II—III	76,9
η Муфрид	2,69	G0 IV	9,8

Т а б л и ц а 21 (продолжение)

Обозначение и название звезды	Видимая звездная величина	Спектр	Расстояние, пк
γ Сегин, Харис	3,02	A7 III	50,0
β Мерез, Неккар	3,47	F0 IV	33,3
μ Алькалюропс	4,29	G8 III	41,7
38 Мерга	5,4		
Волосы Вероники			
α Диадема	5,2		
Ворон			
γ Дженах	2,56	B8 III	45,5
β Краз	2,60	G5 III	32,3
δ Альгораб	2,93	B9 V	50
ϵ Минкар	2,98	K2 III	43,5
α Альхита, Альхиба	4,02	F2 V	18,9
Геркулес			
β Корнефорос, Рутилик	2,76	G8 III	45,5
α Рас Альгети	3,06	M5 II	167
δ Сарин	3,13	A3 V	28,6
λ Масим	4,39	K4 III	83,3
ω Каям	4,5		
κ Марсик, Марфак	5,0		
Гидра			
α Альфард, Сердце Гидры	1,93	K3 III	50
Голубь			
α Факт	2,62	B8 V	50
β Вазн	3,12	K2 III	43,4
Гончие Псы			
α Сердце Карла	2,84	B9,5 I	30,3
β Хара	4,24	G0 V	9,3
Дева			
α Слика	0,97	B1—3 V	47,6
γ Поррима	2,72	F0 V	9,9
ϵ Виндемиатрикс	2,65	G9 II	27,9
δ Авва	3,32	M3 III	58,8
ζ Хезе	3,38	A3 V	27,8
β Завийява	3,60	F8 V	10,1
Дельфин			
β Ротанев	3,62	F5 IV	38,5
α Суалокин	3,77	B9 V	66,7
Дракон			
β Растабан, Альваид	2,78	G2 II	90,9
α Тубан	3,64	A0 III	83,3

Таблица 21 (продолжение)

Обозначение и название звезды	Видимая звездная величина	Спектр	Расстояние, пк
γ Этамин, Эльтанин	2,22	K5 III	50
δ Нодус II	3,07	G9 III	33,3
ζ Нодус I	3,17	B6 III	66,7
λ Джансар	3,78	M0 III	47,6
ξ Грумниум	3,75	K2 III	33,3
ϵ Тиль	3,82	G2 III	1 000
ψ Дзибан	4,22	A0 II	125
ν Кума	5,0		
μ Арракис	5,1		
Журавль			
α Альнаир	1,70	B5 V	20,8
Заяц			
α Арнеб	2,57	F0 I	500
β Нихал	2,84	G5 III	52,6
Змееносец			
α Рас Альхаг	2,02	A5 III	17,9
β Цельбальрай	2,77	K2 III	40
η Сабик	2,42	A2 V	21,3
δ Иед Приор	2,75	M1 III	37
ϵ Иед Постериор	3,23	G9 III	27,8
Змея			
α Унук Альхайя, Сердце Змеи	2,64	K2 III	21,3
θ Алиа	4,07	A5 V	35,7
Кассиопея			
α Шедар	2,23	K0 II	111
β Каф	2,27	K0 III	13,9
δ Рукба	2,68	A5 V	25
γ Нави	2,39	B0 IV	47,5
ϵ Рукбах	3,38	B3 III	143
η Ахирд	3,45	F8 V	47,6
θ Марфик	4,34	A7 V	200
Кентавр			
α Толиман, Ригиль Кентавра	0,06	G2 V	1,34
β Хадар	0,59	B1 II	71,4
Киль			
α Канопус, Сухель	-0,75	F0 Ib	58,8
β Миаплацид	1,68	A1 V	26,3
ϵ Авиор	1,82	K0 II	100
ι Турайс	2,23	F0 Ib	125

Таблица 21 (продолжение)

Обозначение и название звезды	Видимая звездная величина	Спектр	Расстояние, пк
Кит			
α Менкар	2,53	M2 III	333
β Дифда, Денеб Кантос	2,02	K1 III	17,9
σ Мира	2,0	M6 III	76,9
η Денеб Альгенуби	3,45	K3 III	27
γ Каффальджидхма	3,47	A3 V	20,8
ζ Батен Каитос	3,72	K2 III	50
Козерог			
δ Шедди, Денеб Альджеди	2,83	A6 III	14,9
β Дабих	3,08	F8 V	167
α Альджеди	3,58	G9 III	30,3
γ Нашира	3,67	F0 III	37
Корма			
ζ Наос	2,25	O5 II	250
ξ Асмидиске	3,35	G3 Ib	250
κ Маркеб	3,80	B6 V	100
Лебедь			
α Денеб, Аридиф	1,25	A2 I	250
γ Садр	2,15	F8 Ib	167
ε Дженах	2,46	K0 III	22
β Альбирео	3,05	K3 II	167
π^1 Азельфафага	4,24	B3 III	333
Лев			
α Регул	1,35	B7 V	25,6
γ Альджеба	1,84	K0 III	52,6
β Денебола	2,09	A3 V	13,2
δ Зосма	2,54	A4 V	20
θ Хорт	3,35	A4 V	43,5
ζ Адхафера	3,44	F0 III	45,5
σ Субра	3,50	A5 V	35,7
ε Альгенуби	2,98	G0 II	143
μ Расаляс	3,88	K2 III	45,5
λ Альтерф	4,31	K5 III	50
Лира			
α Вега	0,03	A0 V	8,1
γ Суляфат	3,24	B9 III	83,3
β Шелиак	3,38	B8 III	333
Малая Медведица			
α Полярная, Киносура	2,02	F8 Ib	333
β Кохаб	2,08	K4 III	22,2
γ Феркад	3,05	A3 II	55,6
δ Гильдун	4,36	A1 V	1 000

Таблица 21 (продолжение)

Обозначение и название звезды	Видимая звездная величина	Спектр	Расстояние, пк
Малый Конь			
α Китальфа	3,92	G0 III	66,7
Малый Пес			
α Прокцион	0,37	F5 IV	3,47
β Гомейза	2,89	B8 V	50
Овен			
α Гамаль	2,00	K2 III	23,3
β Шератан	2,63	A5 V	15,6
γ Мезартим	3,88	B9 V	47,6
δ Ботейн	4,34	K2 III	40
Орел			
α Альтаир	0,76	A7 IV	5,1
γ Таразед	2,72	K3 II	125
β Альшайн	3,68	G8 IV	14
δ Денеб Окаб	3,34	F0 IV	15
Орион			
α Бетельгейзе	0,42	M2 Ia	200
β Ригель, Альгебар	1,13	B8 Ia	333,3
γ Беллатрикс, Альнаджид	1,59	B2 III	43,5
ε Альнилам	1,69	B0 Ia	416,7
ζ Альнитак	1,82	O9 Ib	45,4
κ Саиф	2,01	B0 Ia	111
δ Минтака	2,24	O9 II	250
ι Хатиса	2,77	O9 III	47
π^3 Табит	3,19	F6 V	8
λ Мейсса, Хека	3,38	O8 V	166,7
Павлин			
α Пикок	1,93	B3 IV	71,4
Паруса			
γ Регор	1,83	O7 II	143
λ Альсухайль	2,21	K4 Ib	66,7
Перас			
ε Эниф	2,39	K2 Ib	250
β Шеат	2,42	M2 II	58,8
α Маркаб	2,47	B9 V	31,3
γ Альгениб	2,84	B2 IV	143
η Матар	2,92	G8 II	91
ζ Хомам	3,40	B8 V	55,6
τ Сальма, Керб	5,0		

Таблица 21 (продолжение)

Обозначение и название звезды		Видимая звездная величина	Спектр	Расстояние, пк
Персей				
α	Альгениб, Мирфак	1,72	F5 Ib	35,7
β	Алголь, Горгона	2,13	B8 V	27
ζ	Менкхиб	2,86	B1 Ib	167
η	Мирам	3,77	K3 Ib	250
κ	Мисам	3,77	K0 III	34,5
$\omicron$	Атик	3,83	B1 III	62,5
Рак				
δ	Азеллюс Австралис	3,94	K0 III	66,7
ι	Презена	4,02	G8 II	43,5
α	Акубенс, Сертан	4,20	A5 III	55,6
γ	Азеллюс Бореалис	4,7		
Рыбы				
α	Альриша, Окда, Каитайн, Реша	3,82	A0 III	40
Северная Корона				
α	Альфека, Гемма, Гнозия	2,24	A0 V	22,7
β	Нусакан	3,68	F0 III	32,3
Скорпион				
α	Антарес, Сердце Скорпиона	0,91	M1 Ia	52,6
λ	Шаула	1,63	B1 V	90,9
δ	Джубба	2,32	B0 V	111
β	Акраб	2,61	B0 V	200
ν	Лесатх	2,68	B3 Ib	100
σ	Альният	2,88	B1 III	100
η	Граффиас	3,34	F0 IV	16,4
ω^1	Джабхат	3,97	B1 V	250
ν	Джаббах	4,01	B2 IV	50
ω^2	Альакраб	4,33	G2 III	71
Стрела				
α	Шам	4,37	G0 II	167
Стрелец				
ε	Каус Австралис	1,85	A0 V	55,6
σ	Нунки	2,09	B2 V	55,6
ζ	Асцелла	2,59	A2 III	50
δ	Каус Меднус	2,70	K2 III	25
λ	Каус Бореалис	2,81	K2 III	21,7
π	Альбальдах	2,88	F2 II	63
γ	Нушаба	2,99	K0 III	47,6
μ	Альталимайн	3,85	B8 I	143
α	Альраи	3,96	B9 III	71,4
β^1	Аркаб Приор	3,92	B8 V	52,6
β^2	Аркаб Постериор	4,28	F0 III	45,5

Таблица 21 (продолжение)

Обозначение и название звезды		Видимая звездная величина	Спектр	Расстояние, пк
Телец				
α	Альдебаран, Палилия	0,86	K5 III	20,8
β	Натх	1,65	B7 III	52,6
η	Альциона	2,87	B7 III	166,7
ϵ	Аин	3,54	K0 III	50
16	Целено	5,46	B7 IV	
17	Электра	3,70	B6 III	52,5
19	Тайгета	4,31	B6 V	
20	Майя	3,87	B7 III	76,9
21	Астеропа	5,76	B8 V	
23	Меропа	4,18	B6 IV	40,0
27	Атлас	3,62	B8 III	90,9
28	Плейона	5,09	B8 IV	
Треугольник				
α	Металлах	3,42	F6 IV	20
Цефей				
α	Альдерамин	2,45	A7 IV	15,6
β	Альфирк	3,19	B2 III	250
γ	Альрай, Эррай	3,21	K1 IV	15,6
μ	Эракис	4,49	M1 Ia	76,9
Чаша				
α	Алькес	4,07	K0 III	41,7
Эридан				
α	Ахернар	0,47	B3 V	31,3
β	Курса	2,72	A3 III	25
γ	Заурак	2,94	M0 III	100
θ	Акамар	2,91	A3 V	35,7
δ	Рана	3,54	K0 IV	9,2
ν^2	Тееиним	3,82	K0 III	66,7
η	Азха	3,87	K1 III	34,5
σ^1	Бейд	4,04	F2 II	38,5
53	Скип	4,3		
ζ	Зибаль	4,9		
Южная Рыба				
α	Фомальгаут	1,15	A3 V	6,8
Южный Крест				
α	Акрукс	0,79	B1 IV	111
β	Мимоза	1,25	B0 IV	143
γ	Гакрукс	1,60	M3 II	66,7
Южный Треугольник				
α	Атрия	1,91	K4 III	37

Т а б л и ц а 22

Перемещение Солища по зодиакальным созвездиям

Созвездие	Обозначение	Продолжительность пребывания Солнца в созвездии
Стрелец	♐	18 декабря — 19 января
Козерог	♑	19 января — 16 февраля
Водолей	♒	16 февраля — 12 марта
Рыбы	♓	12 марта — 18 апреля
Овен	♈	18 апреля — 14 мая
Телец	♉	14 мая — 21 июня
Близнецы	♊	21 июня — 20 июля
Рак	♋	20 июля — 11 августа
Лев	♌	11 августа — 17 сентября
Дева	♍	17 сентября — 31 октября
Весы	♎	31 октября — 22 ноября
Скорпион	♏	22 ноября — 30 ноября

Примечание: с 30 ноября по 18 декабря Солнце проходит по созвездию Змееносца, которое не включено в число зодиакальных.

Т а б л и ц а 23

Даты восхода и захода некоторых ярких звезд на широте $\varphi = 50^\circ$

Звезда или группа звезд	Вечерний заход	Утренний восход	Вечерний восход	Утренний заход
Плеяды	12.05	23.05	04.12	14.11
Пояс Ориона	12.05	20.07	18.01	14.11
Сириус	14.05	16.08	12.02	15.11
Процион	15.06	08.08	05.02	12.12
Поллукс	13.07	20.07	18.01	05.01
Регул	13.08	02.09	27.02	25.01
Спика	01.10	26.10	23.04	06.03
Антарес	14.11	15.12	18.06	22.04
Арктур	02.12	13.10	10.04	20.05
Альтаир	29.01	23.12	01.07	04.08

Таблица 24

40 самых ярких звезд неба

Но- мер	Звезда		α_{1950}	δ_{1950}	Видимая звездная величина m_V	Спектр	Расстоя- ние, пк	Свети- мость, $L_{\odot} = 1$
1	α CMa	Сириус	$6^h 43^m$	$-16^{\circ} 35'$	$-1,46^a$	A1 V	2,67	23
2	α Car	Канопус	6 23	$-52^{\circ} 40'$	$-0,75$	F0 Ib-II	55,56	6 500
3	α Boo	Арктур	14 13	$+19^{\circ} 27'$	$-0,05$	K2 IIIp	11,11	102
4	α Lyr	Вега	18 35	$+38^{\circ} 44'$	$+0,03$	A0 V	8,13	54
5	α Cen	Толиман	14 36	$-60^{\circ} 38'$	0,06	G2 V + K5 V	1,33	1,6
6	α Aur	Капелла	5 13	$+45^{\circ} 57'$	0,08	G8 III + F	13,70	150
7	β Ori	Ригель	5 12	$-08^{\circ} 15'$	0,13	B8 Ia	333,3	53 700
8	α CMi	Процион	7 37	$+05^{\circ} 21'$	0,37	F5 IV-V	3,47	7,8
9	α Ori	Бетельгейзе	5 52	$+07^{\circ} 24'$	0,42	M2 Ia	200,0	21 300
10	α Eri	Ахернар	1 36	$-57^{\circ} 29'$	0,47	B5 IV-V	30,28	650
11	β Cen	Хадар	14 00	$-50^{\circ} 08'$	0,59	B1 II	62,5	850
12	α Aql	Альтаир	19 48	$+08^{\circ} 44'$	0,76	A7 IV-V	5,05	10,2
13	α Tau	Альдебаран	4 33	$+16^{\circ} 25'$	0,86	K5 III	20,8	162
14	α Sco	Антарес	16 26	$-26^{\circ} 19'$	0,91	M1 Ib + B4 V	52,6	6 500
15	α Vir	Спика	13 23	$-10^{\circ} 54'$	0,97	B1 V + B3 V	47,6	1 950
16	β Gem	Поллукс	7 42	$+28^{\circ} 09'$	1,14	K0 III	13,9	34
17	α PsA	Фомальгаут	22 55	$-29^{\circ} 53'$	1,16	A3 III (V)	6,9	14,8
18	α Cyg	Денеб	20 40	$+45^{\circ} 06'$	1,25	A2 Ia	250,0	70 000
19	α Leo	Регул	10 06	$+12^{\circ} 13'$	1,35	B7 V	25,6	148
20	ϵ CMa	Адара	6 57	$-28^{\circ} 54'$	1,5	B2 II	100	8 500
21	α Gem	Кастор	7 31	$+32^{\circ} 00'$	1,58	A1 V + A1 + M1e	13,9	41
22	λ Sco	Шаула	17 30	$-37^{\circ} 04'$	1,62	B1 V	83,3	1 950
23	γ Ori	Беллатрикс	5 22	$+06^{\circ} 18'$	1,63	B2 III	38,5	1 780
24	β Tau	Нат	5 23	$+28^{\circ} 34'$	1,65	B7 III	52,6	540
25	ϵ Ori	Алилам	5 34	$-01^{\circ} 34'$	1,70	B0 Ia	500	40 700

Таблица 24 (продолжение)

Но- мер	Звезда		α_{1950}	δ_{1950}	Видимая звездная величина m_V	Спектр	Расстоя- ние, пк	Свети- мость, $L_{\odot}=1$
26	ε UMa	Алиот	12 ^h 52 ^m	+56°14'	1,78 ^m	A0p	125	102
27	ζ Ori	Алнитак	5 38	-01 58	1,79	O9,5 I	45,5	30 900
28	α UMa	Дубхе	11 01	+62 01	1,79	K0 III	32,3	162
29	α Per	Мирфак	3 21	+49 41	1,80	F5 Ib	34,5	4 470
30	ε Sgr	Каус Аустралис	18 21	-34 25	1,85	B9 IV	66,7	340
31	δ CMa	Везен	7 06	-26 19	1,84	F8 Ia	333,3	70 000
32	η UMa	Бенетнаш	13 46	+49 34	1,86	B3 V	250	370
33	ν Sco	—	17 34	-42 58	1,87	F0 I	50	5 400
34	β Aur	Менкалинан	5 56	+44 57	1,90	A2 V	27	102
35	γ Gem	Альхена	6 35	+16 27	1,93	A0 IV	32,3	123
36	β CMa	Мирзам	6 20	-17 56	1,98	B1 II	71,4	5 400
37	α Hya	Альфард	9 25	-08 26	1,99	K4 III	58,8	123
38	σ Cet	Мира	2 17	-03 12	2,00	M6e III	76,9	214
39	α Ari	Хамал	2 04	+23 14	2,02	K2 III	23,3	71
40	α UMi	Полярная	1 49	+89 02	2,02	F8 I	333,3	5 600

Примечания. 1. Дв., сп. — белый карлик $\sim 7^m$, расстояние между компонентами $a = 7,5''$, период обращения вокруг общего центра масс $P = 50,1^a$, массы компонентов $M_A = 2,31 M_{\odot}$ и $M_B = 0,98 M_{\odot}$. 5. Дв., $a = 17,6''$, $P = 80,1^a$, третий сп. 11^m на расст. $2,2^\circ$ — Проксима, $P \approx 10\,000^a$. 6. Дв., $a = 0,05''$, $P = 104,9^d$, $M_A = 4,2 M_{\odot}$, $M_B = 3,3 M_{\odot}$, $R_A = 12 R_{\odot}$, $R_B = 7 R_{\odot}$. 7. Система из четырех звезд, расст. между парами $a = 10''$. 8. Дв., сп. — белый карлик, $a = 4,6''$, $P = 40,65^a$. 9. Сп.-дв. и сп. 11^m на расст. $a \approx 3'$. 13. Дв., $a = 31''$. 14. Полуправ. пер., ампл. $0,9^m$, $P = 1733^d$. 15. Затм. дв., $P = 4,01^d$, ампл. $0,1^m$. 19. Система из четырех звезд. 20. Дв., сп. $7,9^m$ на расст. $a = 8,2''$. 21. Система из шести звезд. 22. Сп.-дв. 26. Пер., ампл. $0,3^m$, $P = 5,1^d$, спектр.-дв. 27. Дв. 28. Дв. 34. Затм. пер. + сп. $10,4^m$ на расст. $a = 185''$. 36. Пер. 38. Пер. 40. Дв.

Таблица 25
40 ближайших звезд

Но- мер	Звезда	α_{1950}	δ_{1950}	Видимая звездная величина m_V	Спектр	Расстояние, пк	Светимость, $L_\odot$
1	Солнце			-26,73 ^m	G2 V		1,0
2	Проксима	14 ^h 26,3 ^m	-62°23'	11,05	M5e	1,32	0,000056
3	α Сеп А	14 36,2	-60 38	0 32	G2 V	1,34	1,06
4	α Сеп В	14 36,2	-60 38	1,72	K5 V	1,34	0,293
5	Барнарда	17 55,4	+04 33	9,54	M5 V	1,81	0,000427
6	Вольф 359	10 54,1	+07 19	13,53	dM8e	2,33	0,000018
7	+36°2147	11 00,6	+36 18	7,50	M2 V	2,50	0,53
8	α СМа А	6 42,9	-16 39	-1,46	A1 V	2,66	22,2
9	α СМа В	6 42,9	-16 39	8,47	DA5	2,66	0,00204
10	L 726 — 8A	1 36,4	-18 13	12,45	dM5e	2,73	0,000067
11	L 726 — 8B	1 36,4	-18 13	12,95	dM6e	2,73	0,000041
12	Росс 154	18 46,7	-23 53	10,6	dM4e	2,90	0,00041
13	Росс 248	23 39,4	+43 55	12,29	dM6e	3,16	0,000102
14	ϵ Eri	3 30,6	-09 38	3,73	K2 V	3,30	0,30
15	L 789 — 6	22 35,8	-15 36	12,18	dM7e	3,30	0,00012
16	Росс 128	11 45,1	+01 06	11,10	dM5	3,32	0,00034
17	61 Cyg A	21 04,7	+38 30	5,22	K5 V	3,40	0,080
18	61 Cyg B	21 04,7	+38 30	6,03	K7 V	3,40	0,038
19	ϵ Ind	21 59,6	-57 00	4,68	K5 V	3,44	0,135
20	α СМи А	7 36,7	+05 21	0,37	F5 IV	3,49	7,5
21	α СМи В	7 36,7	+05 21	10,7	DF	3,49	0,00054
22	+59°1915 А	18 42,2	+59 33	8,9	dM4	3,53	0,0030
23	+59°1915 В	18 42,2	+59 33	9,69	dM5	3,53	0,00143
24	+43°44 А	0 15,5	+43 44	8,07	M1 V	3,55	0,0064

Таблица 25 (продолжение)

Но- мер	Звезда	α_{1960}	δ_{1960}	Видимая звездная величина m_V	Спектр	Расстояние, пк	Светимость, L_V
25	+43°44 В	0 ^h 15,5 ^m	+43°44'	11,04	M6 V	3,55	0,00041
26	—36°15693	23 02,6	—36 08	7,36	M2 V	3,58	0,0124
27	τ Cet	1 41,7	—16 12	3,50	G8p VI	3,62	0,442
28	5°1668	7 24,7	05 23	9,82	dM5	3,72	0,0014
29	L 725—32	1 10,0	—17 17	11,6	dM2e	3,83	0,00037
30	—39°14192	21 14,3	—39 04	6,67		3,84	0,027
31	Каптейна	5 09,7	—45 00	8,81	Sd M0	3,90	0,0039
32	Крюгер 60 А	22 26,2	57 27	9,85		3,95	0,0014
33	Крюгер 60 В	22 26,2	57 27	11,3	M4e V	3,95	0,00041
34	Росс 614 А	6 26,8	—02 46	11,17	dM7e	4,00	0,00046
35	Росс 614 В	6 26,8	—02 46	14,8	(M)	4,00	0,000016
36	—12°4523	16 27,5	—12 32	10,12	dM5	4,01	0,00128
37	Маанена	0 46,4	05 09	12,37	DG	4,24	0,00017
38	Вольф 424 А	12 30,9	09 18	13,16	dM6e	4,35	0,000087
39	Вольф 424 В	12 30,9	09 18	13,4	dM7e	4,35	0,000071
40	—37°15492	0 02,5	—37 36	8,63	M4 V	4,43	0,0060

Примечания. 2. Вспыхивающ. зв., сп. α Сеп на расст. $a = 2,2^\circ$. 3 и 4. Дв., $a = 17,7''$, $P = 80,1^a$. 5 Три темных планетоподобных сп. с массами 1,26, 0,63 и 0,69 массы 2_4 ; расст. от звезды 1,8, 2,8 и 4,5 а. е. 6. Вспыхивающ. зв. CN Leo. 7. Темн. сп. $M = 0,02 M_\odot$. 8 и 9. Дв. система (№ 1 в табл. 24). 10 и 11. Дв. с $a = 15''$, $P = 100^a$. В — вспыхивающ. зв. 12. Вспыхивающ. зв. 17 и 18. Дв. с $a = 25''$, $P = 700^a$, А — темн. сп. 20 и 21. Прокцион (№ 8 в табл. 24). 22 и 23. Дв. с $a = 17''$, $P = 450^a$. 24 и 25. Дв. с $a = 44''$, $P = 3000^a$, А — спектрально-дв., В — вспыхивающ. зв. 32 и 33. Дв. с $a = 2,4''$, $P = 45^a$, А — темн. сп. с $M = 0,01 M_\odot$, В — вспыхивающ. зв. DO Сер. 34 и 35. Дв. с $a = 1''$, $P = 16,5^a$. 36. Спектрально-дв. 38 и 39. Дв. с $a = 0,7''$.

Таблица 26

25 ярких двойных звезд

Но- мер	Звезда	Компонент А		Компонент В		Угло- вое рас- стоя- ние
		види- мая звезд- ная вели- чина	спектр	види- мая звезд- ная вели- чина	спектр	
1	η Кассиопеи					
2	α Малой Медве- дицы	3,7 ^m	G0 V	7,4 ^m	M0	11,5"
		2,0	F8 Ib	8,9	F3 V	18,4
3	γ Андромеды	2,3	K3 II	5,5	A0p	9,8
4	γ Кита	3,4	A3 V	4,4	A2	2,8
5	η Персея	3,9	K3 Ib	7,9		28,3
6	λ Ориона	3,7	O8	5,6	O5e	4,4
7	θ'' Ориона	5,4	O8	6,8	B5	13,0
8	ι Ориона	2,8	O9 III	7,0	B8	11,3
9	ζ Ориона	2,0	B0 Ib	4,2	B3	2,4
10	θ Возничего	2,7	A0 V	7,2	G	3 2
11	δ Близнецов	3,2	F0 IV	8,2	dK6	6,1
12	α Близнецов	2,0	A1 V	2,9	A5m	2,3
13	ι Рака	4,2	G8 II	6,6	A3 V	30,5
14	ϵ Гидры	4,0	G0 III	6,9	dF7	2,8
15	γ Льва	2,6	K0 III	3,9	G7 III	4,3
16	α Гончих Псов	2,9	B9p V	5,6	F0 V	20
17	ζ Большой Мед- ведицы	2,4	A2 V	4,0	A2 V	14,8
18	ϵ Волопаса	2,7	K0 II	5,1	A2 V	3,0
19	δ Змеи	4,2	F0 IV	5,2	dF0	4,2
20	α Геркулеса	3,5	M5 II	5,4	G5 III	4,7
21	ρ Геркулеса	4,5	B9 III	5,5	A0 V	4,0
22	θ Змеи	4,6	A5 V	5,1	A5p	22
23	η Змееносца	4,2	K0 V	5,9	dK6	2,2
24	β Лебедя	3,2	K3 II	5,1	B8 V	34
25	γ Дельфина	4,3	K1 IV	5,1	F7 V	10,0

Примечания. 1. $P = 480^a$. 2. $P = 29,6^a$. 3. $P = 61,1^a$.
7. Трапеция Ориона, состоит из шести компонентов: 5,36^m,
6,84^m, 10,8^m, 11,3^m, 16,0^m. 12. Кастор, период обращения ком-
понентов А и В вокруг общего центра масс $P = 420,1^a$, оба
компонента спектрально-дв., компонент С (тоже спектрально-
дв.) 9^m на расстоянии 73. 14. $P = 2014^a$. 15. $P = 618,6^a$.
17. Мицар, оба компонента спектрально-дв.

Таблица 27

10 звезд с наибольшими собственными движениями

Но- мер	Звезда	α_{1950}	δ_{1950}	Видимая звездная величина	Спектр	μ	Расстоя- ние, пк	Светимость, $\odot = 1$
1	Звезда Барнарда	17 ^h 55 ^m	+4°33'	9,5 ^m	M5 V	10,31"	1,81	0,00043
2	Звезда Каптейна	5 10	-45 00	8,85	M0 V	8,74	3,91	0,0038
3	Грумбридж 1830	11 50	+38 05	6,45	G8 V	7,04	8,62	0,167
4	Лакайль 9352	23 03	-36 09	7,36	M2 V	6,90	3,58	0,0124
5	Кордова 32 416	0 02	-37 36	8,58	M4 V	6,08	4,44	0,0065
6	Росс 619	8 09	+9 02	12,5	M5	5,35	6,67	0,00037
7	61 Лебедя	21 05	+38 30	5,22	K5 V	5,22	3,38	0,079
8	Лаланд 21 185	11 01	+36 18	7,49	M2 V	4,78	2,52	0,0055
9	Вольф 359	10 54	+7 19	13,5	M8	4,71	2,33	0,00002
.....								
15	Проксима	14 26	-62 28	10,7	M5e	3,86	1,31	0,000078

Примечания. 1. Два или три сп. 3. Дв. сп. — вспыхивающ. зв. CF UMa типа UV Кита, 8,5—12^m. 7. Звезда Бесселя, дв. $\alpha = 24,3''$, $P = 653,34^a$, $M_A = M_B = 0,7M_{\odot}$; компонент А имеет сп., $\alpha = 0,01''$, $P = 4,8^a$, $M = 0,008M_{\odot}$. 8. Невидимый сп., $\alpha = 0,03''$, $P = 8^a$, $M = 0,02M_{\odot}$. 9. Вспыхивающ. перем. CN Льва типа UV Кита.

Таблица 28

40 ярких переменных звезд

Звезда	α_{1950}	δ_{1950}	Видимая звездная величина		Период, дни
			макс	мин	
Лириды (звезды типа RR Лиры)					
RR Лиры	19 ^h 24 ^m	+42°41'	6,9 ^m	8,0 ^m	0,5668
XZ Лебеда	19 31	+56 17	8,7	10,4	0,4666
VZ Рака	08 38	+10 00	7,2	7,9	0,1784
Цефеиды					
δ Цефея	22 27	+58 10	3,7	4,4	5,3663
η Орла	19 50	+00 53	3,5	4,6	7,1766
ζ Близнецов	07 01	+20 39	3,7	4,2	10,1508
RT Возничего	06 25	+30 32	5,3	6,6	3,7283
T Лисички	20 49	+28 04	5,4	6,1	4,4356
T Единорога	06 23	+07 07	5,6	6,6	27,0205
S Стрелы	19 54	+16 30	5,9	7,0	8,3822
SU Кассиопеи	02 48	+68 41	6,2	6,8	1,9493
X Лебеда	20 41	+35 24	6,5	8,2	16,3866
Долгопериодические переменные					
α Кита	02 17	-03 12	2,0	10,1	331,65
R Гидры	13 27	-23 01	3,0	11,0	388,0
χ Лебеда	19 49	+32 47	3,3	14,2	406,84
R Льва	09 45	+11 40	4,4	11,3	312,57
T Цефея	21 09	+68 17	5,4	11,0	387,79
R Кассиопеи	23 56	+51 07	4,8	13,0	431,0
R Орла	19 04	+08 09	5,7	12,0	293,0
Затменные переменные					
β Персея	03 05	+40 46	2,2	3,5	3,867
β Лиры	18 48	+33 18	3,4	4,3	12,908
λ Тельца	03 58	+12 21	3,5	4,0	3,953
WW Возничего	06 29	+32 30	5,7	6,4	2,525
AR Возничего	05 15	+33 43	5,8	6,5	4,135
U Стрелы	19 17	+19 31	6,3	9,9	3,381
U Цефея	00 58	+81 36	6,6	9,8	2,493
Неправильные и полуправильные переменные					
α Ориона	05 53	+07 24	0,4	1,3	2070
α Геркулеса	17 12	+14 27	3,0	4,0	—
ρ Персея	03 02	+38 39	3,3	4,0	33
η Близнецов	06 12	+22 31	3,1	3,9	233
μ Цефея	21 42	+58 33	3,6	5,1	—
R Лиры	18 54	+43 53	3,9	5,0	46
ρ Кассиопеи	23 52	+57 13	4,1	6,2	—
V Гончих Псов	12 43	+45 43	5,2	6,6	158
U Гидры	10 35	-13 07	4,8	5,9	—
UU Возничего	06 33	+38 29	5,1	6,8	235
W Лебеда	21 34	+45 09	5,1	7,6	131
RS Рака	09 08	+31 10	5,5	6,5	120
DE Возничего	05 13	+34 15	5,8	6,5	4,1
R Южной Короны	15 47	+28 19	5,8	14,0	—

Таблица 29

Яркие звездные скопления

Скопление	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Угловой диаметр	Видимая звездная величина	Расстояние, пк	Количество звезд
Рассеянные скопления							
Гиады	Телец	4 ^h 18 ^m	+15°35'	1 200'	0,8 ^m	39,83	100
М 45 (Плеяды)	Телец	3 44	+23 58	180	1,4	128,69	130
М 7	Скорпион	17 51	-34 48	70	3,2	250	80
М 44 (Ясли)	Рак	8 38	+19 52	420	3,9	160	320
М 67	Рак	8 48	+12 00	18	4,0	800	100
η Персея	Персей	2 16	+56 55	36	4,3	2 300	350
χ Персея	Персей	2 19	+56 53	36	4,3	2 600	300
М 6	Скорпион	17 37	-32 11	55	4,7	500	80
М 41	Большой Пес	6 45	-20 42	50	5,1	650	90
М 39	Лебедь	21 30	+48 13	30	5,2	260	25
М 35	Близнецы	6 06	+24 20	40	5,4	850	120
М 34	Персей	2 39	+42 34	42	5,8	450	80
М 93	Корма	7 42	-23 45	25	6,0	1100	80
М 23	Стрелец	17 54	-19 01	35	6,0	650	120
М 37	Возничий	5 49	+32 33	34	6,2	1 400	270
М 36	Возничий	5 32	+34 07	19	6,3	1 300	60
Шаровые скопления							
М 22	Стрелец	18 33	-23 58	24	5,0	2 700	
М 13	Геркулес	16 40	+36 33	18	5,7	6 300	
М 92	Геркулес	17 16	+43 12	11	6,4	7 400	
М 5	Змея	15 16	+2 16	14	5,8	6 700	
М 4	Скорпион	16 21	-26 24	24	5,8	2 000	
М 15	Пегас	21 28	+11 57	12	6,3	9 800	
М 2	Водолей	21 31	-01 03	12	6,3	11 200	
М 3	Гонимые Псы	13 40	+28 38	24	6,4	8 800	
М 10	Змееносец	16 45	-04 02	14	6,7	4 300	
М 12	Змееносец	16 47	-01 52	14	6,8	5 300	
М 80	Скорпион	16 14	-22 52	9	7,3	10 000	
М 79	Заяц	5 22	-24 34	8	7,8	13 700	

Таблица 30
Яркие туманности

Номер в каталоге NGC, IC или M	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Размеры	Видимая звездная величина	Расстояние, кпк	Название
Диффузные туманности							
IC 59	γ Cas	0 ^h 53,7 ^m	+60° 48'	18' × 12'	2,2 ^m	0,20	Калифорния
IC 499	Per	4 00,1	+36 17	145 × 40	4,0	0,60	
IC 2118	Eri	5 04,5	-07 17	140 × 40	0,3	0,40	
M 42	ν_1 Ori	5 32,9	-05 25	66 × 60	3	0,30	Большая туманность Ориона
1977	42 Ori	5 33,0	-04 54	42 × 26	4,6	0,40	Розетка
—	ζ Ori	5 43,0	-02 00	330 × 40	1,9	0,40	
2237-9	Mon	6 29,6	+04 40	64 × 61		1,10	
2261	R Mon	6 36,4	+08 46			2,00	Туманность Хаббла
2264	S Mon	6 38,2	+09 57	60 × 30	4,7	1,00	Конус
M 20	Sgr	17 58,9	-23 02	29 × 27	6,9	0,67	Лагуна
M 8	Sgr	18 01,6	-24 20	60 × 35	6,8	0,77	
6960	52 Cyg	20 43,6	+30 32	70 × 6		0,40	
IC 5067-0	Cyg	20 46,9	+44 11	85 × 75	1,3	0,28	Пеликан
6992-5	Cyg	20 54,3	+31 36	78 × 8		0,40	Волокнистая
7000	α Cyg	20 27,0	+44 08	120 × 100	1,3	0,28	Волокнистая Америка
План тарные туманности							
2392	Gem	07 26,2	+21 01	1 × 0,8	8,3	0,4	Кольцо
M 57	Lyr	18 51,7	+32 58	1,4 × 1	9,3	0,7	
M 27	Vul	19 57,4	+22 35	8 × 4	7,6	0,3	
7009	Aqr	21 01,4	-11 34	0,7 × 0,4	8,4	0,4	Гантель Сатурн
7293	Aqr	22 27,0	-21 06	15 × 12	6,5	0,2	

Примечание. У диффузных туманностей видимая звездная величина относится к звезде, которая освещает туманность.

Таблица 31

Наиболее яркие галактики

Номер в каталоге NGC или M	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Тип	Угловые размеры	Видимая звездная величина	Расстояние, Мпк	Лучевая скорость, км/с
55	Scl	0 ^h 12,5 ^m	-39°30'	Sc	30'×6'	7,8 ^m	2,3	190
205	And	0 37,6	+41 25	E6	26×16	8,9	0,7	-6
M 32	And	0 40,0	+40 36	E2	12×8	9,1	0,7	17
M 31	And	0 40,0	+41 00	Sb	200×90	4,3	0,7	-68
253	Scl	0 45,1	-25 34	Sc	22×6	7,7	2,4	-70
300	Scl	0 52,6	-37 58	Sc	23×17	8,8	2,1	95
M 33	Tri	1 31,1	+30 24	Sc	83×53	6,2	0,7	-112
M 74	Psc	1 34,0	+15 22	Sc	12×12	9,7	9,1	682
2403	Cam	7 32,0	+65 43	Sc	18×12	9,5	3,2	190.
M 81	UMa	9 51,5	+69 18	Sb	35×14	7,8	3,2	80
M 82	UMa	9 51,9	+69 56	I	13×8	9,2	3,2	400
M 65	Leo	11 16,3	+13 23	Sb	8×2	9,8	8,5	640
M 66	Leo	11 17,6	+13 17	Sb	14×7	9,6	8,5	633
M 106	CVn	12 16,5	+47 35	Sb	24×6	8,9	10,0	480
M 49	Vir	12 27,3	+8 16	E1	7×7	9,3	13,8	918
M 104	Vir	12 37,3	-11 21	Sb	12×11	9,2	13,8	1050
M 94	CVn	12 48,6	+41 23	Sb	15×13	8,9	10,0	340
M 64	Com	12 54,3	+21 57	Sb	12×8	9,3	10	360
M 63	CVn	13 13,5	+42 17	Sb	16×10	9,3	8,0	575
5128	Cen	13 22,4	-42 45	E0	31×25	7,9	3,8	260
M 51	CVn	13 27,8	+47 27	Sc	14×10	8,9	7,0	550
M 83	Hya	13 34,3	-29 37	Sc	11×9	8,4	3,8	319
M 101	UMa	14 01,4	+54 35	Sc	28×28	8,2	7,0	394
6822	Sgr	19 42,1	-14 53	I	20×20	9,2	0,4	98
7793	Scl	23 55,3	-32 51	Sd	10×7	9,4	2,1	290

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Вопрос о соседях. Достижения космонавтики, осмысление полученных в последние годы данных как об относительно близких к нам звездах, так и о далеких галактиках, привели, как высказался И. С. Шкловский, к тому, что «люди как-то вдруг «весомо, грубо, зримо» почувствовали, что они населяют очень маленькую планетку, окруженную безграничным пространством». И, как следствие этого, резко заострился возникший еще в незапамятные времена вопрос: а есть ли на этих других, близких и дальних мирах разумная жизнь? И где искать наших «братьев по разуму»?

В этой книге данная проблема обойдена, как говорится, полным молчанием, если не считать риторического вопроса на первой ее странице. Читателю, который интересуется проблемой жизни во Вселенной, можно посоветовать прекрасную книгу И. С. Шкловского «Вселенная, жизнь, разум». Более же полное изложение самого вопроса «что такое жизнь?» он найдет в книге М. Д. Франк-Каменецкого «Самая главная молекула» (М.: Наука, 1987).

Сегодня при обсуждении вопроса о существовании жизни за пределами Земли используется теоретико-вероятностный анализ. На этом языке число цивилизаций в Галактике равно

$$N_c = N f_p f_n f_i f_l f_c f(\tau),$$

где N — число звезд в ней, f_p — вероятность того, что звезда имеет планетную систему, f_n — вероятность того, что на какой-то из планет этой системы существуют условия, благоприятные для зарождения жизни, f_i — вероятность того, что на планете жизнь возникла, f_l — вероятность того, что эта жизнь до-

стигла разумных форм, f_c — вероятность того, что разумная жизнь имеет такой уровень, при котором эта цивилизация в состоянии осуществлять связь с другими, $f(\tau)$ — некоторая функция параметра τ — продолжительности жизни технически развитой цивилизации. Если по порядку величины τ близка к возрасту звезды T , то $f(\tau) \approx 1$, при $\tau \ll T$ $f(\tau) \approx \tau/T$.

Из всех перечисленных здесь вероятностей лишь две первые более или менее надежно устанавливаются. Мы уже знаем, что вокруг многих звезд («летающая» звезда Барнарда, 61 Лебеда) обращаются темные тела малых масс или же у других звезд имеются газопылевые диски, из которых вполне могут сформироваться планеты (источники мощного инфракрасного излучения — звезда Вега, Фомальгаут и др.). Можно поэтому с определенной степенью достоверности принять, что из каждых десяти звезд Галактики у одной планетная система имеется.

Из анализа условий, необходимых для существования жизни, следует вывод, что масса планеты должна быть большей, чем $0,4 M_\oplus$ (массы Земли), иначе на планете не сформируется и не удержится необходимая атмосфера, и меньшей $2,35 M_\oplus$, чтобы ускорение силы тяжести не превышало 15 м/с^2 . Возраст планеты (а следовательно, и звезды-солнца) должен превышать 3 млрд лет: лишь в этом случае могут появиться более сложные формы жизни и пригодная для жизни атмосфера. Следовательно, масса звезды-солнца не должна быть больше $1,43 M_\odot$ и меньше $0,72 M_\odot$.

Что же касается остальных вероятностей, то они рассчитываются, можно сказать, «с потолка». Некоторые исследователи принимают такие значения: $f_p \approx 0,15$, $f_n \approx 0,01$, $f_l \approx 0,08$, $f_i \approx 0,01$ и $f_c = 1$. Продолжительность жизни цивилизации принимается равной $\tau = 200$ тыс. лет. В итоге получаем $N_c \approx 10$ — столько могло бы быть цивилизаций в Галактике. Среднее расстояние между ними должно было бы быть в несколько десятков тысяч световых лет.

Однако до сих пор еще не имеет объяснения закономерный ряд причинных связей, приведших к зарождению жизни на Земле. Пока еще остается совсем непонятным механизм самоорганизации — появления живых клеток в сложной среде химически

активных органических соединений. Отметим, что простой подсчет вероятности возникновения несущей генетическую информацию молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты и необходимых для ее существования белков-ферментов, да еще в сохраняющей их оболочке, путем случайных встреч отдельных молекул оценивается ничтожно малым числом $10^{-40\ 000}$. Потому-то говорят, что скорее «обезьяна, случайно ударяя по клавишам пишущей машинки, напишет трагедию Шекспира «Гамлет» (Диалектика живой природы. — М.: Изд. МГУ, 1984, с. 39)...

Мировоззренческий аспект. Как уже отмечалось (с. 55), от астрономии более, чем от любой другой науки, уже с самых древних времен люди стремились получить ответ на вопрос: какое место в мире занимает Земля? Тем самым они надеялись разрешить гораздо более важный для них вопрос: в чем смысл жизни людей на Земле? Не удивительно поэтому, что две тысячи лет назад, когда все другие науки о природе были, образно говоря, еще в эмбриональном (зачаточном) состоянии, астрономия, к примеру, уже могла указать, где и когда будет наблюдаться та или другая планета через десять или даже сто лет!

Ответы на упомянутые выше вопросы давала людям религия. Но и в то далекое время ее язык, видимо, был не слишком убедительным. Иначе трудно объяснить слова, сказанные еврейским царем Давидом еще три тысячи лет назад: «Сказал безумец в сердце своем: «нет Бога» (Псалом 13,1). Были, оказывается, и тогда безбожники...

Сейчас, когда в стране открываются и строятся сотни храмов, а дети посещают воскресные школы, где священники преподают им азы религиозного восприятия мира, было бы непонятным и даже непростительным актом уклонение от вопроса: что может и чего не может дать астрономия тем, кто делает попытку осмыслить свое место и предназначение на Земле. Не будем уклоняться от этого. Однако сразу следует подчеркнуть: все сказанное кем бы то ни было — субъективно. Ситуация здесь во все времена такова, что каждый, кто выслушает ту и другую сторону, вынужден делать выбор сам. Прислушиваясь, в конце концов, к своему «внутреннему» голосу.

О науке вообще. Как принято говорить, наука — это упорядоченная система понятий о явлениях и за-

конах окружающей нас действительности. Речь идет не о простом перечислении фактов («Солнце восходит» или «брошенный вверх камень падает на Землю»), но об их объяснении («камень падает потому, что его притягивает Земля»), об осмыслении этих фактов («Солнце восходит потому, что Земля вращается вокруг своей оси») и на этом основании — о предвидении новых явлений и событий (например, «если, находясь на очень высокой горе, бросить камень горизонтально со скоростью 8 км/с, то он уже на Землю не упадет, а превратится в ее искусственный спутник»).

Система научных знаний складывается постепенно, многими поколениями ученых, которые прежде всего проводят наблюдения и систематизацию явлений и на этой основе, путем логических размышлений, делают определенные обобщения. Для объяснения причины того или другого явления высказывается какое-то предположение — гипотеза. И если она «оправдывает себя», если она даст возможность предвидеть новые явления, она становится теорией — важной составной частью науки.

Из всего сказанного в § 2 следует, что в каждую историческую эпоху существует своеобразный «горизонт», отделяющий то, «что мы с достоверностью знаем», от того, «чего мы не знаем». Так, во времена Коперника не было известно расстояние до Солнца, но уже убедились в том, что Земля — шар. В начале XX в. предполагали, будто Солнце находится в центре Галактики. И никто тогда не догадывался (или не имел этому доказательств), что за пределами нашей звездной системы имеется несчетное число таких же галактик. Сегодня же астрономы проникают в окружающую Вселенную до объектов, находящихся на таких расстояниях, что свет от них приходит к нам за 10 млрд лет. Мы говорим: там сейчас проходит упомянутый горизонт науки. О том же, «что далее», мы можем только догадываться...

На основании всей совокупности данных науки создается так называемая научная картина мира — система представлений о наиболее общих законах строения и развития Вселенной и ее отдельных частей. Она в той или иной мере становится элементом мировоззрения каждого человека.

И здесь-то возникают трудности. Так, астрономы изучают окружающий нас звездный и галактический мир всего около 2500 лет и углубились в него на расстояния в «каких-нибудь» 10 млрд световых лет. А стремятся они (или даже обязаны) нарисовать нам картину строения и развития всей Вселенной на протяжении (как им сейчас представляется) 15 млрд лет. Или возьмем биологов. Они исследуют мир живых организмов с помощью микроскопов всего 300 лет, а делают попытки рассказать нам, как развивалась жизнь на Земле на протяжении двух или даже четырех миллиардов лет... И те, и другие прилагают истинные героические усилия. Но нетрудно догадаться, что при этом они могут допустить серьезные ошибки. Тем самым они будут виновниками того, что «научная картина мира», построенная на этих ошибках, будет изуродована!

В целом же мы вынуждены констатировать, что такие важные вопросы, как «откуда взялся мир?» или «как возникла жизнь на Земле?», как бы ускользают от исследователя за «горизонт», в ту своеобразную область, о которой можно делать лишь предположения. Это вопросы совершенно иного порядка, чем, скажем, «сколько будет дважды два?». Ученый может изучать строение Земли (или Солнца, всей Вселенной), сегодня, но ни ему и никому другому не было суждено присутствовать при ее (их) «рождении». То же скажет и биолог, делая догадки о том, как на Земле зародилась жизнь... Именно за этим «горизонтом пространства» или «горизонтом времени» даже выдающийся ученый (примеры будут приведены ниже) находит Бога-Творца, не вступая при этом в противоречие со всеми результатами как своих исследований, так и данными науки в целом.

О религии. *Религией* принято называть особую форму сознания, центральным стержнем которой является вера в Бога — Создателя всего окружающего мира. Не вдаваясь в конкретизацию того, что представляют собой мировые или национальные религии (к первым принадлежат буддизм, христианство, ислам, ко вторым — индуизм, иудаизм, конфуцианство), упомянем, что имеется несколько принципиально различных взглядов на отношение Бога к своему творению. Речь идет о деизме, теизме и пантеизме.

Деизм (от лат. «деус» — бог) признает Бога первопричиной мира, но отрицает его дальнейшее вмешательство в явления природы и в течение общественных событий. Деистом, в частности, был французский философ Вольтер (1694—1778), относившийся враждебно к католической церкви, но веровавший в Творца мира и даже заявивший следующее: «Это возвышенное учение необходимо человеку, оно — священное достояние общества, первое основание святой законности, узда для преступника, надежда праведного человека, Если бы небеса, лишившись своего величественного облика, перестали бы Его обнаруживать, если бы Бог не существовал, — Его нужно было бы изобрести».

Для **теизма** (от греч. «теос» — бог) характерно понимание Бога как Личности, которая не только создала мир и все, что в нем есть, но которая и заботится о самом мире и о каждом человеке в этом мире. Здесь важны признание определенных догм (утверждений, истинность которых подвергать сомнениям нельзя), определенного культа (обычаев, обрядов и праздников), а также вера в чудеса.

Пантеизм (от греч. «пан» — всё, «теос» — бог) — система взглядов, по которым Бог является безличностным началом, как бы тождественным природе. Здесь предполагается, что Бог не трансцендентен, а имманентен природе. т. е. он НЕ ВНЕ природы, а ВНУТРИ нее. Пантеистом был, в частности, Джордано Бруно.

Как уже было отмечено, с древних времен «в погу» с религиозным взглядом на мир идет **атеизм** — система взглядов и принципы объяснения действительности, исключающие существование сверхъестественных сил.

Упомянем далее, что от присущей человеку жажды как можно больше узнать об окружающем его мире родилась **философия** (дословно с греческого — «любовь к мудрости»). Именно задачей философии и было формирование наиболее общего взгляда на мир, на место человека в нем, иными словами — выработка определенного мировоззрения. И вот тех, кто считает, что первопричиной всего является Бог, который сотворил мир, именуют **идеалистами**. Те же, кто утверждает, что первичной является материя, сознание же (человека) вторично и возникло в результате

постепенной самоорганизации материи, получили наименование *материалистов*. Спор (борьба) этих двух взглядов — *материализма* и *идеализма* — продолжается уже тысячелетия. И то, и другое течение философии стремится взять себе в союзники науку. Поэтому и имеем сегодня, с одной стороны, атеизм, с другой — *фидеизм*, систему взглядов, в которой главную роль отводят даже не знаниям, а вере в Бога — религии.

Издавна наука была доступной немногим, тогда как вера — всем. Частично и поэтому создалось представление, согласно которому наука основана на разуме, вера же — на чувствах, что наука является потребностью разума, тогда как вера — потребностью сердца. Наука, дескать, никогда не сможет отвергнуть религию, поскольку у них нет «общей точки». Особенно теперь можно встретить много людей, искренне убежденных в том, что религия — это «первобытное», наивное объяснение мира, которое уже отброшено современной наукой. Поэтому, дескать, религия должна освободить место для науки. В подсознании многих людей уже закрепилось эдакое надменное, презрительное отношение к религии и верующим. Конечно, иногда причиной этого могла стать встреча с самой что ни на есть примитивной личностью, полностью деградированной, однако прикрывающейся религиозными лозунгами. И не каждый «трезво мыслящий» пожелает поставить себя в один ряд с ней...

Тем не менее упомянутые выше «проклятые вопросы» о мире и нашем месте в нем не могут не тревожить каждого из нас, и когда мы над ними задумываемся, то обнаруживаем, что имеется не только «общая точка», но целое «поле» сосуществования религии и науки. И именно там, где решаются эти самые главные вопросы бытия...

О верующих ученых. Из всего сказанного выше уместно сделать такой вывод: если бы религия и в самом деле была несовместима с наукой, то на протяжении развития науки все ученые должны были бы стать атеистами. Но этого как раз и нет. К примеру, можно отметить, что в США из каждых пяти ученых четверо — глубоко верующие.

...Мы пережили страшные времена — такие, когда, в частности, можно было ту или другую науку объявить «служанкой империализма» или еще похлеще,

борясь при этом за «самую передовую». Вот образец пропаганды «истинно научных знаний» в астрономии:

«Религиозные бредни разбиты наукой. Но... современные мракобесы в мантиях ученых и церковников — верные слуги Уолл Стрита и Сити — недалеко ушли от врагов науки эпохи средневековья. Они «опровергают» самые достоверные и точные выводы астрономов..., задурманивают головы миллионов людей лживыми побасенками из «Священного писания»... В современной буржуазной философии, стоящей на страже интересов капиталистической реакции, имеют широкое хождение теории о конечности мира во времени и пространстве и другие столь же нелепые утверждения. Часто в лице выдающихся представителей современной буржуазной науки мы имеем неопровержимое доказательство их органической связи с капиталистическим миром. Характерным примером этого может быть статья известного физика Эйнштейна «Во что я верю», напечатанная в немецкой газете «Берлинер тагеблат» в декабре 1930 г.

Содержание этой статьи сводится к тому абсурдному заключению, что наука не может противоречить религии. Эйнштейн договаривается до такой нелепости, что наука требует существования религии и только вместе с нею должна дать ответ на все вопросы строения Вселенной. Убогие и жалкие бредни!

Недалеко от Эйнштейна ушел и другой известный немецкий физик — Макс Планк. В своей статье «Наука и вера» он говорит: «Вера и наука прекрасно могут жить вместе, и невозможна никакая наука без веры. Нам нужна вера, мы ее ищем, нам нужно нечто спокойное, что поддерживало бы нас в этом разнообразном хаосе повседневной жизни, нечто такое, на что мы могли бы опереться».

Вот типичный бред поповствующего физика, запутавшегося в противоречиях, не понимающего основ науки, не знающего или не желающего знать того, что вера исключает науку...».

Это цитата из книги академика АН УССР Н. П. Барабашова (1894—1971) «Борьба с идеализмом в области космогонических и космологических гипотез» (Харьков, 1952, с. 20). Не торопись осуждать, читатель! Ведь мы не знаем, не вставила ли эти хлесткие фразы в книгу чья-то другая рука. А кроме того, этим автором, родился мы несколькими

десятилетиями раньше, мог быть едва ли не каждый из нас. Такими страшными были те времена!

Из приведенной цитаты видно, что два крупнейших физика — лауреата Нобелевской премии были людьми верующими. Такое цитирование можно было бы продолжить. Ведь глубоко верующими были Н. Коперник, И. Кеплер, Г. Галилей, И. Ньютон и многие-многие другие астрономы, физики, математики, биологи, представители других наук. Мы ограничимся лишь несколькими высказываниями.

У. Гершель: «Чем дальше идет наука, тем более многочисленными и убедительными становятся доказательства того, что существует творческая и всемогущая Премудрость».

А. Коши (1789—1857), французский математик: «Я — христианин, это означает, что я верую... как веровали почти все великие астрономы и математики прошлого».

Г. Мёдлер (1794—1874), немецкий и русский астроном: «Серьезный естествоиспытатель не может отрицать, что Бог существует. Тот, кто так глубоко заглянул в мастерскую Бога, кто мог в такой степени восхититься Божьей мудростью, не может не преклонить колени перед этим высшим духом».

Ю. Либих (1803—1873), немецкий химик: «Величие и бесконечную премудрость Творца сможет постичь лишь тот, кто научился читать в великой книге, называемой природа».

П. Сабатье (1854—1941), французский химик, лауреат Нобелевской премии: «Естественные науки и религию противопоставляют друг другу лишь люди плохо образованные как в том, так и в другом».

П. Йордан (1902—1980), немецкий физик, один из основателей квантовой механики: «Современная наука устранила препятствия, которые лежали ранее на пути к гармонии между естественным знанием и религиозным мировоззрением. Сегодняшнее естественнонаучное знание больше не восстает против Творца».

В. Ф. Браун (1912—1977), немецкий и американский физик, конструктор ракет: «Распространено мнение, что в эпоху космических полетов мы уже так много знаем о природе, что нам более не нужно верить в Бога. Это мнение совершенно ошибочно. Лишь новое обращение к Богу может спасти мир от

надвигающейся катастрофы. Наука и религия — это сестры, а не враги».

В целом же сегодня довольно часто можно услышать высказывание английского философа Френсиса Бекона (1561—1626): «Малое знание уводит от Бога, большое — приводит к Нему»...

Отсюда ни в коей мере не следует, что роль атеизма в познании мира и места в нем человека отрицательна. Наоборот, атеизм стимулирует к поиску аргументов в пользу утверждения «Бог существует». Таких аргументов известно несколько. Но два из них — космологический и телеологический — имеют прямое отношение к естествознанию.

Важные аргументы. Каждодневный опыт убеждает нас в том, что без причины нигде и ничто не происходит и не появляется. Философ Платон сформулировал сказанное так: «Все, что возникло, требует определенной причины»!

Перед нами — мир, Вселенная во всей ее красоте, мы сами как часть этого мира. И, следуя логике Платона, необходимо искать причину появления всей Вселенной, которая, несомненно, должна быть вне ее. В этом и заключается сущность *космологического аргумента*.

Долгое время материалистическая философия исходила из тезиса, что материя несотворима и неуничтожима, а мир бесконечен в пространстве и вечен во времени. Все противоположные высказывания провозглашались (см. выше) антинаучными бреднями. Но сегодня мы уже знаем (см. с. 186), что наша Вселенная «родилась» около 15 млрд лет назад. Родилась она «из ничего», и это ее рождение — появление вещества, движущегося в пространстве и образующего атомы, звезды и галактики, — не противоречит законам сохранения массы и энергии (с. 300—301).

А вот второе рассуждение. Если мы нашли на горной тропинке часы, то никто не станет утверждать, будто они «сложились» здесь сами собой. Ведь каждому ясно: любая сложная система (будь то часы, автомобиль или компьютер) имеет своего конструктора, который 1) является более сложным, чем его создание, 2) имеет разум и поэтому действует по заранее составленному плану и 3) находится вне своего создания.

Каждый такой механизм — часы, автомобиль, компьютер — состоит из множества отдельных частей, которые соответственным образом подобраны и подогнаны. Сам же механизм как целое создан с определенной целью. В этом сущность второго, *телеологического аргумента* (от греч. «телеос» — цель): во всем окружающем нас мире обнаруживается тонкая «подгонка» параметров (см. с. 189), и это не могло произойти иначе, чем по замыслу его разумного Создателя. Особенно бросается в глаза поразительная сложность и исключительная целесообразность в мире живого. Пр процитируем здесь «Оптику» Ньютона: «Был ли построен глаз без понимания оптики, а ухо без знания акустики? Каким образом движения тел следуют воле и откуда инстинкт у животных?... И если Он сделал так, то не должно философии искать другое происхождение мира или полагать, что мир мог возникнуть из хаоса, только по законам природы...».

А в самом деле, задумываемся ли мы всерьез над тем, как мы устроены? Как устроен глаз? Как работает сердце или печень? Помним ли о том, что в нашем организме насчитывается 10^{16} клеток, примерно ста различных видов, что в каждой клетке имеется около 100 000 молекул ферментов (белков), которые обслуживают примерно 2000 различных реакций, что хотя мы находимся постоянно в движении, каждая из клеток работает как идеальная и вполне автономная система, что (и это поражает воображение!) информация о каждом из нас еще до рождения уже записана в молекуле ДНК с помощью всего четырех «букв» — четырех нуклеотидов и что в клетке имеются механизмы транскрипции (списывания) этой информации и ее трансляции (перевода) с языка нуклеиновых кислот на язык составляющих белок аминокислот. Удивляет ли нас эта сложность? Устрашает ли?...

Конечно, здесь возникает такой «убийственный» вопрос: если мир сотворен Богом, то кто создал Его — Творца? Увы, на этот вопрос ответа нет и не будет. И это полностью соответствует теореме австрийского ученого Курта Геделя (1906—1978), которую можно сформулировать так: «Ни одна система не может быть полностью познана изнутри — вне ее связи с другими системами высшего порядка». Иначе:

чтобы дать исчерпывающее объяснение причинам возникновения и существования мира, следует выйти за его пределы. А это нам «не дано» (по крайней мере до нашей смерти...).

О «ставке Паскаля». В душах многих из нас время от времени возникают сомнения. Как их разрешать? По-видимому, лучше всего вспомнить рассуждения французского ученого-философа Блеза Паскаля. Вот они: «...между нами и Богом — бесконечность хаоса. Где-то на краю этой бесконечности идет игра — что выпадет, орел или решка... Не играть нельзя, хотите вы того или не хотите, вас уже втянули в эту историю. Если вы поставите на орла, то есть на Бога, то, выиграв, вы обретете все, проиграв, не потеряете ничего...».

В самом деле, признав, что Бог существует, человек платит относительно небольшую цену (устраняет из своего сердца ненависть к людям, отказывается от некоторых излишеств в жизни), но... уже и здесь получает физическое и психическое здоровье. И наоборот.

Кстати, уже давно отмечено, что религия является психологической опорой жизни; она способна устранять из души человека разрушающие негативные эмоции, превращать их в положительные, творческие (Аристотель назвал это катарсисом — очищением). По признанию многих зарубежных психиатров, религия — важнейшее средство врачевания психически больных людей, как и чудодейственное средство для профилактики многих болезней. Не случайно древнегреческий философ Еврипид (V в. до н. э.) сказал: «Ты имеешь духовную музыку, так почему же ты болеешь...».

Конечно, ни в коей мере нельзя навязывать кому бы то ни было тот или другой взгляд на мир. Каждый для себя эту проблему решает сам. Однако в масштабах общества все оказывается взаимосвязанным. Вот еще несколько высказываний по этому поводу.

Платон: «Незнание Бога есть для государства величайшее из бедствий, и кто подрывает религию, подрывает вместе с тем и основы общества. Города и государства — сторонники религии были наиболее долгоживущими. Века, наиболее прославившиеся своей религиозностью, были наиболее богаты гениями».

Джордж Вашингтон (1732—1799), первый президент США: «Вера, религия и нравственность — это необходимые опоры всяческого благосостояния и строя. Не является другом отечества тот, кто подкапывает эти столбы человеческого счастья. Разум и опыт показывают нам, что нравственности без веры существовать не может».

Наконец, напомним то, что недавно сказал Чингиз Айтматов: на пути без Бога наше общество успехов не нашло...

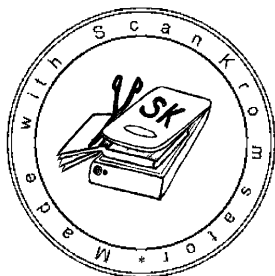
Жизнь, конечно, сложнее всяких схем. И даже запугивая людей вечными муками в аду, идеальное общество построить не удалось. Но чем было бы человечество без евангельских слов о любви к ближнему, даже к своему врагу?

Да, в этой жизни многое может нам не нравиться. Но исправлять его следует, начав с себя. И об этом также следует думать в те минуты, когда мы вглядываемся в бездонные глубины звездного неба...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агекян Т. А. Звезды, галактики, Метагалактика. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1981, 415 с.
- Астрономический календарь: Постоянная часть. 7-е изд. — М.: Наука, 1981, 704 с.
- Бок Б., Бок П. Млечный Путь. — М.: Мир, 1978, 296 с.
- Борисенков Е. П. Климат и деятельность человека. — М.: Наука, 1982, 132 с.
- Бронштэн В. А. Гипотезы о звездах и Вселенной. — М.: Наука, 1974, 384 с.
- Бронштэн В. А. Как движется Луна. — М.: Наука, 1989, 208 с.
- Бронштэн В. А. Планеты и их наблюдение. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1979, 240 с.
- Бронштэн В. А. Серебристые облака. — М.: Наука, 1984, 128 с.
- Бялко А. В. Наша планета — Земля. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1989, 239 с.
- Гетман В. С. Внуки Солнца. — М.: Наука, 1989, 175 с.
- Гребеников Е. А., Рябов Ю. А. Поиски и открытия планет. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1984, 224 с.
- Гуриштейн А. А. Извечные тайны неба. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1991.
- Дагаев М. М. Книга для чтения по астрономии. — М.: Просвещение, 1980, 159 с.
- Дагаев М. М. Наблюдения звездного неба. — 4-е изд., доп. — М.: Наука, 1988, 175 с.
- Дёмин В. Г. Судьба Солнечной системы. — М.: Наука, 1979, 256 с.
- Еремеева А. И. Астрономическая картина мира и ее творцы. — М.: Наука, 1984, 224 с.
- Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1984, 224 с.
- Зигель Ф. Ю. Астрономическая мозаика. — М.: Наука, 1987, 173 с.
- Зигель Ф. Ю. Виновато Солнце. — М.: Детская литература, 1972.
- Зигель Ф. Ю. Сокровища звездного неба. — 5-е изд. — М.: Наука, 1986, 296 с.
- Каплан С. А. Физика звезд. — М.: Наука, 1977, 208 с.
- Карпенко Ю. А. Названия звездного неба. — М.: Наука, 1985, 182 с.
- Кимелев Ю. А., Полякова Н. Л. Наука и религия: Историко-культурный очерк. — М.: Наука, 1988, 176 с.
- Климишин И. А. Астрономия наших дней. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1986, 560 с.
- Климишин И. А. Жемчужины звездного неба. — Киев: Радянська школа, 1988, 206 с.

- Климишин И. А.* Открытие Вселенной. — М.: Наука, 1987, 320 с.
- Климишин И. А.* Релятивистская астрономия. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1989, 288 с.
- Куликовский П. Г.* Справочник любителя астрономии. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1991, 632 с.
- Левитан Е. П.* Астрофизика — школьникам. — М.: Просвещение, 1977, 112 с.
- Липунов В. М.* В мире двойных звезд. — М.: Наука, 1986, 206 с.
- Максимачев Б. А., Комаров В. Н.* В звездных лабиринтах. — М.: Наука, 1978, 200 с.
- Мизун Ю. Г.* Космос и погода. — М.: Наука, 1986, 144 с.
- Мизун Ю. Г., Мизун П. Г.* Космос и здоровье. — М.: Знание, 1984, 144 с.
- Новиков И. Д.* Как взорвалась Вселенная. — М.: Наука, 1988, 175 с.
- Новиков И. Д.* Эволюция Вселенной. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1990, 189 с.
- Пономарев Д. Н.* Астрономические обсерватории Советского Союза. — М.: Наука, 1987, 208 с.
- Пугач А. Ф., Чурюмов К. И.* Небо без чудес. — Киев: Изд-во пол-лит. лит-ры, 1987, 230.
- Сикорук Л. Л.* Телескопы для любителей астрономии. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1990, 368 с.
- Струве О. и др.* Элементарная астрономия. — М.: Наука, 1967, 467 с.
- Турсунов А.* Человек и мироздание. — М.: Советская Россия, 1986, 206 с.
- Физика космоса: Маленькая энциклопедия.* — М.: Сов. энц., 1986, 784 с.
- Цесевич В. П.* Что и как наблюдать на небе. — 6-е изд., перераб. — М.: Наука, 1984, 304 с.
- Чернин А. Д.* Физика времени. — М.: Наука, 1987, 222 с.
- Шаров А. С., Новиков И. Д.* Человек, открывший взрыв Вселенной: Жизнь и труд Эдвина Хаббла. — М.: Наука, 1989, 205 с.
- Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1987, 320 с.
- Шкловский И. С.* Звезды: Их рождение, жизнь и смерть. — 3-е изд., перераб. — М.: Наука, 1984, 384 с.



Научно-популярное издание

КЛИМИШИН Иван Антонович

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ АСТРОНОМИЯ

Редактор *Г. С. Куликов*

Художественный редактор *Г. М. Коровина*

Технический редактор *Е. В. Морозова*

Корректор *Н. Д. Дорохова*

ИБ № 41126

Сдано в набор 02.10.90. Подписано к печати 09.07.91. Формат 84×108/32. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 24,36. Усл. кр.-отт. 24,47. Уч.-изд. л. 28,04. Тираж 69 600 экз. Заказ 669. Цена 3 р. 40 к.

Издательско-производственное и книготорговое объединение «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Государственного комитета СССР по печати.
198052 г. Ленинград Л-52, Измайловский проспект, 29.

**ВСЕСОЮЗНЫЕ ЗАОЧНЫЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ КУРСЫ
ПРИГЛАШАЮТ УЧАЩИХСЯ 10 И 11 КЛАССОВ
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ И СПТУ,
А ТАКЖЕ РАБОТАЮЩУЮ МОЛОДЕЖЬ, ЖЕЛАЮЩУЮ
ПОСТУПАТЬ В ВУЗЫ**

Всесоюзные заочные подготовительные курсы (ВЗПК) ЦЭНДИСИ при Академии Наук СССР проводят целенаправленную индивидуальную подготовку к поступлению в Высшие учебные заведения. Основу занятий составляет самостоятельная работа учащихся по методическим пособиям, реализующим педагогически обоснованную систему подготовки. Пособия содержат: краткое изложение теоретического материала, примеры выполнения типовых заданий с необходимыми рекомендациями высококвалифицированных специалистов и индивидуально ориентированные контрольные работы.

Учащиеся ВЗПК обеспечиваются информацией об избранном учебном заведении и особенностях вступительных экзаменов.

Обучение осуществляется по математике; физике; химии; биологии; русскому языку и литературе; истории; обществоведению; географии; английскому языку; украинскому языку и украинской литературе; казахскому языку и казахской литературе. Филиалы ВЗПК в Киеве и Алма-Ате осуществляют обучение не только на русском, но и на языке республики.

На курсы принимаются лица с любым уровнем начальной подготовки. Обучение платное. Инвалиды с детства, воспитанники детских домов, войны-интернационалисты имеют льготы. О формах оплаты и условиях зачисления можно узнать, написав в адрес удобного отделения ВЗПК. Рекомендуем выбирать отделение либо по месту жительства, либо по месту нахождения избранного вуза. Во всех остальных случаях обращайтесь в Центральное отделение ВЗПК.

Адреса отделений ВЗПК:

129110 Москва, ВЗПК;
19000 Ленинград, ЛТО ВЗПК;
252001 Киев, УРО ВЗПК;
480100 Алма-Ата, САКО ВЗПК.

Заместитель генерального директора
НПО «Перспектива»

А. Г. Эпельман