



У·А·СМАРТ

СОЛНЦЕ,
ЗВЕЗДЫ
И
ВСЕЛЕННАЯ





а. Тройная туманность (M20) в Стрельце.



б. Большое звездное скопление (M13) в Геркулесе.

52
C-50.

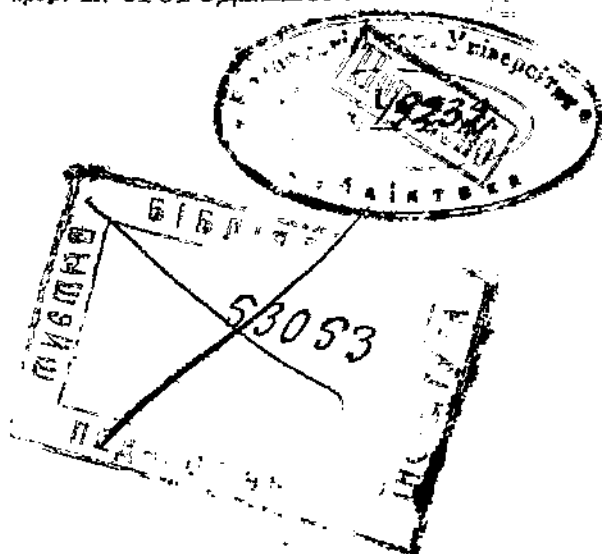
В. СМАРТ

Депозитар

ДЕПОЗИТАР
1950 г.

СОЛНЦЕ, ЗВЕЗДЫ И ВСЕЛЕННАЯ

Перевод
О. КРАМЕР
Под редакцией
проф. Е. ОГОРОДНИКОВА



ОНТИ — ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ И ЮНОШЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА — ЛЕНИНГРАД

ПРОБЛЕНЫ
1956 г.

4. Буча. 80к.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

Редактор *П. Пареняго*. Технич. редак-
тор *Э. Алашиц*.

Переплет художн. *П. Насляненко*.

Изд. № 27. Индекс НП-6-3. Тираж 20000.
Сдано в набор 2/VII 1935 г. Подп.
в печать 15/XI 1935 г. Формат бумаги
82 × 110. Уч.-изд. л. 16,1. Бум. л. 5 1/2 +
20 вклеек. Печ. зн. в бумагах. л. 146 000.
Зак. № 1191. Уполн. Главл. № В-20932.
Выход в свет ноябрь 1935 г.

3-я тип. ОНТИ им. Вухарина. Ленин-
град, ул. Монсеенко. 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Предлагаемая читателю книга написана астрономом Кембриджской обсерватории В. М. Смартом, который является одним из выдающихся современных специалистов в области звездной астрономии, — отрасли астрономии, занимающейся изучением звездной вселенной. Однако одновременно с этим Смарт занимается также и вопросами астрофизики, главным образом фотометрическими наблюдениями. Наконец, как всякий английский астроном, — он также и астрометрист. Эта большая разносторонность интересов автора несомненно способствовала тому, что книга «Солнце, звезды и вселенная» написана с одинаковой тщательностью отделки и ровностью изложения во всех своих частях, как того и следует, впрочем, ожидать от хорошей книги, посвященной всем отраслям современной астрономии.

В наши дни западный книжный рынок насчитывает целый ряд блестяще написанных книг по астрономии, причем как по содержанию, так и по мастерству изложения они все стоят примерно на одинаковой высоте. Поэтому нам кажется нелишним сказать несколько слов в объяснение того, что наш выбор пал именно на книгу Смарта. Как и все книги этого рода (Ресселл-Дэган-Стюарт «Астрономия», Мультон «Введение в астрономию», Спенсер-Джонс «Общая астрономия» и т. д.) в ней говорится практически о всех вопросах астрономии — больших и малых, школьно-элементарных и глубоко принципиальных. Однако в то время как остальные книги написаны главным образом с целью дать руководство для студентов-астрономов и лишь во вторую очередь для широкой публики, книга Смарта написана прежде всего для последней группы читателей. Это позволяет автору добиться особенной легкости и наглядности изложения и в этом заключается ее наиболее ценное с нашей точки зрения отличие от остальных аналогичных ей книг. Конечно, Смарт быть может слишком верен традиции.

Он не решился, например, отказаться от описания сектанта и изложения способа определения положения корабля в море, которое без ущерба для остального можно было и не делать. Однако даже это место благодаря искусному изложению автора и обилию простых и наглядных чертежей читается без особого труда.

Выше мы говорили, что основной специальностью автора является звездная астрономия. Это сказалось заметным образом на распределении материала в книге, которая в значительной своей части посвящена описанию мира звезд. Ввиду почти полного отсутствия в нашей литературе книг по звездной астрономии книга Смарта заполняет до известной степени этот существенный пробел и поможет читателю в легкой и доступной форме познакомиться с этой новой и быстро растущей отраслью современной науки.

Английское издание книги вышло из печати в 1928 г. Поэтому в отдельных частях развиваемые Смартос космогонические идеи приходится отнести к числу устаревших. Не желая нарушить стиля изложения автора, мы решили ограничиться введением сравнительно небольшого числа примечаний. Наиболее существенные примечания сделаны нами к главе о новых звездах (гл. XIV), к главе о звездной эволюции (гл. XV) и к главе о вселенной (XVII), где пришлось рассказать вкратце о явлении красного смещения в спектрах внегалактических туманностей и о связанной с этим теории «расширяющейся» вселенной. Исключение сделано лишь по отношению к открытой в 1930 г. девятой большой планете солнечной системы — Плутону, данные о которой введены непосредственно в текст.

Москва. 1935, май 26

К. Огородников

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Эта книга предназначена для широкой публики, заинтересованной в научном прогрессе. Цель ее — рассказать популярным языком и с историческими обоснованиями о новейших астрономических открытиях и современных взглядах на особенности, состав и строение небесных тел. Употребление технического языка по возможности избегалось, а многочисленные чертежи, как можно надеяться, будут способствовать более ясному пониманию изложенного в тексте. Поскольку книга носит систематический характер, вряд ли можно было избежать ссылки на некоторые основные вопросы сферической астрономии; последние рассмотрены возможно более сжато в главе II. Новейшие достижения атомной физики за последнее десятилетие наложили свой отпечаток на астрономическую мысль, и глава VI посвящена главным образом элементарным основам атомной теории. В главе XV речь идет о звездной эволюции. В начале 1928 г. существовало три эволюционных теории — Эддингтона, Джинса и Расселла. При составлении этой главы казалось более целесообразным в популярной книге уделить достаточно места несколько более подробному изложению одной теории, чем пытаться дать сжатое описание всех трех.

Глава первая

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Самое простое астрономическое явление — это то, которое мы можем наблюдать каждый ясный день. Всем нам хорошо известно на основе нашего повседневного опыта, что солнце, поднявшись над горизонтом на востоке, скользит по небу все выше и выше, пока в полдень не достигнет своей наибольшей высоты, затем спускается к горизонту на западе, где оно в конце концов и заходит. Подобное же явление при ясном ночном небе мы наблюдаем также среди звезд. Весь небесный свод как бы вращается около нас, и этот торжественный марш звезд по небу представляет собой одно из самых прекрасных зрелищ во всем царстве природы.

Кажущееся суточное движение небесных тел является следствием вращения Земли. Земля представляет собой приблизительно шар, и мы, наблюдатели, находящиеся на ее поверхности, не ощущаем этого вращательного движения; мы не замечаем, что нас кружит с безумной скоростью, достигающей, например, в Кембридже 17 км/мин.¹ Реальность вращения Земли около ее оси может быть подтверждена опытным путем независимо от небесных тел; открытие вращения Земли было бы по силам даже гипотетическому ученому, обитающему в ее недрах и незнакому с солнечным светом и красотами ночного неба. Пусть читатель вообразит себя стоящим в центре вращающейся платформы, подобной хотя бы той, которая употребляется для поворота локомотивов. Если он сосредоточит внимание на отдаленных предметах, то спокойное и равномерное вращение платформы вызовет в нем ощущение равномерного вращательного движения всего окружающего. Посмотрев же на платформу, на которой он находится, он увидит, что

¹ В Москве эта скорость равна 16 км/мин. (Прим. ред.)

направление ее вращения противоположно этому кажущемуся вращению внешних предметов. Так же дело обстоит и с Землей. В северном полушарии кажущееся вращение небесной сферы, т. е. воображаемого свода, на котором расположены звезды, происходит в направлении от востока к югу и западу. Это движение лишь видимое, на самом же деле вертится Земля, притом в обратном направлении.

На северном небе имеется одна яркая звезда, повидимому занимающая всегда одно и то же положение на небе; даже тщательнейшие наблюдения с трудом обнаруживают лишь намер на ее движение. Это так называемая северная Полярная звезда; направление между нею и Землей приблизительно совпадает с направлением оси вращения Земли. Однако более тщательными наблюдениями установлено, что Полярная звезда в действительности участвует в общем кажущемся вращении небесной сферы и что ее положение на небе немного изменяется от часа к часу. Точка небесной сферы, положение которой не меняется при вращении Земли, называется северным полюсом мира; прямая линия, проведенная через центр Земли в направлении этой точки, пересекает земную поверхность в северном и южном полюсах Земли.

На рис. 1 воспроизведен фотографический снимок, сделанный в безлунную ночь обычной камерой, установленной неподвижно и направленной точно на северный полюс мира. Дуги кругов на фотографической пластинке представляют следы, оставленные более яркими звездами вблизи полюса в течение примерно трехчасовой экспозиции; таким образом рисунок этот является иллюстрацией видимого вращения небесной сферы (яркая дуга вблизи центра — след Полярной).

Читателю знаком общий вид ночного неба, а также тот факт, что более яркие звезды представляются обычно объединенными на небесной сфере в неопределенные группы или созвездия. Известен ему также облачный пояс Млечного Пути, при наблюдении в телескоп разлагающийся на огромную совокупность слабых звезд. Если он будет наблюдать ночное небо из года в год и каждую ночь, он все же не сможет обнаружить невооруженным глазом никаких изменений в форме созвездий или в их расположении относительно Млечного Пути. Созвездие Ориона (рис. 2) сегодня имеет такой же вид, как имело вчера и будет иметь завтра.

Небо представляется нам неизменяющимся, а сами звезды с известным основанием — «неподвижными». В настоящее время, однако, известно, что звезды не неподвижны и что конфигурации созвездий не остаются вполне неизменными; но изменения эти обычно настолько ничтожны, что могут

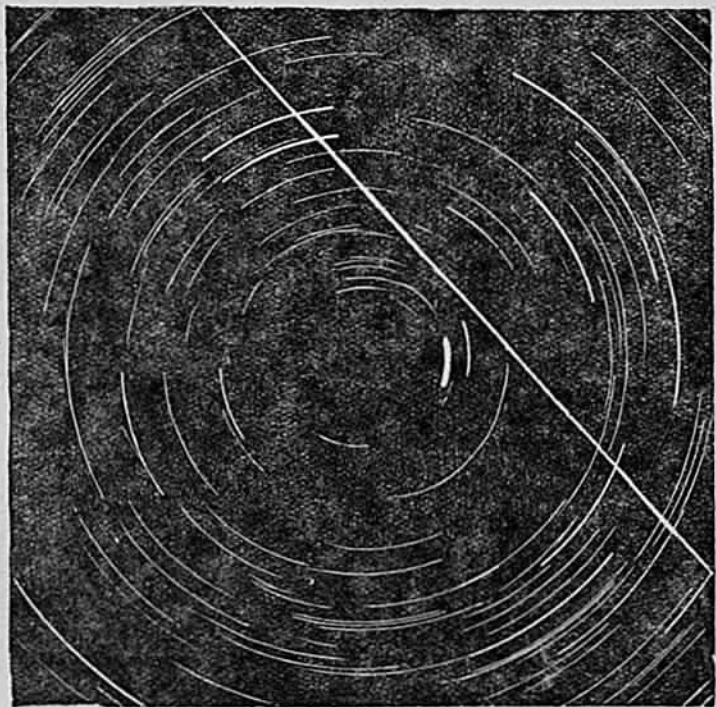


Рис. 1. Видимые пути звезд (яркая линия оставлена олетающим метеором, пролетевшим по небу во время экспозиции).

быть обнаружены лишь сильными инструментами или по прошествии многих лет. В первых главах этой книги мы будем пренебрегать упомянутыми ничтожными изменениями и считать систему звезд неподвижным фоном, по отношению к которому можно определять и измерять движение наших ближайших небесных соседей — Луны, Солнца и планет.

Луна после Солнца является наиболее известным нам не-

бесным телом. Будем отмечать в ясную ночь вблизи полнолуния ее положение относительно нескольких соседних ярких звезд. В следующий вечер мы заметим с очевидностью, что за истекшее время Луна значительно сдвинулась среди звезд к востоку. Через день она займет на фоне звезд еще более восточное положение, и так далее день ото дня. Действительно, видимое движение Луны среди звезд настолько быстро, что может быть легко обнаружено простым глазом, если наблюдать Луну с промежутками через час. Рис. 3

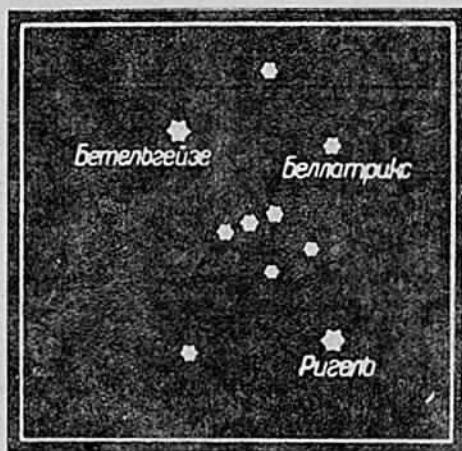


Рис. 2. Главнейшие звезды в созвездии Ориона.

изображает положение Луны в две последовательные ночи; он основан на простых наблюдениях, подобных только что описанным. Продолжая эти наблюдения достаточно долго, мы обнаружим, что Луна описывает путь вокруг небесной сферы, оканчивая свой обход приблизительно в $27\frac{1}{3}$ дня. Объяснение подобных простейших наблюдений заключается в том, что Луна движется вокруг Земли по орбите, которая, как мы увидим из дальнейшего, почти круговая. Позднее будет показано, каким образом определяется расстояние от Луны до Земли; пока достаточно указать, что расстояние это равно в среднем приблизительно 286 000 км. Диаметр Луны равен 3 540 км, немногим больше четверти земного диаметра. Как уже было сказано, Земля представляет собой приблизительно шар; в действительности обнаружена некоторая ее сплюснутость в направлении полюсов; полярный диаметр равен 12 711 км, в то время как экваториальный (т. е. диаметр, перпендикулярный к полярному) 12 753 км.

Принято говорить, что Луна обращается по орбите вокруг Земли, и период обращения, определенный из ее движения относительно звезд, составляет $27\frac{1}{3}$ суток.

Обращаем внимание читателя на различие терминов

«вращение» и «обращение»; под вращением разумеется верчение тела около оси, а под обращением — движение одного тела вокруг другого.

Как уже было ранее указано, общий вид звездного неба изо дня в день остается неизменным. Чтобы не внести путаницы, мы, говоря это, умышленно не сделали одной оговорки, смысл которой мы сейчас разъясним. Каждому случалось иногда наблюдать яркое светило, появляющееся низко на западном небосклоне через час или около того после захода солнца; звездой, согласно нашим определе-

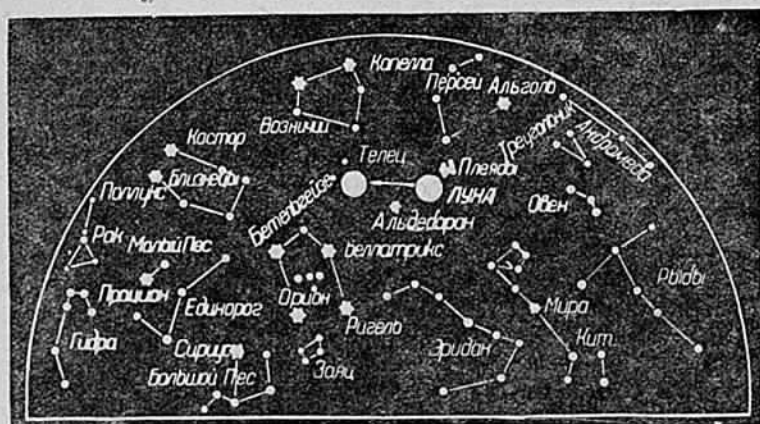


Рис. 3. Положение Луны между звездами в две соседние ночи.

ниям, его нельзя считать, так как положение его относительно звездного фона, подобно Луне, непрерывно меняется, что легко можно проверить наблюдениями в течение двух или нескольких последовательных вечеров. Это — планета Венера, блуждающее светило, отличное от неподвижных звезд. Яркий и красный объект, бывший видимым на небе в северном полушарии зимой 1926/27 г., также представляет собой блуждающее светило; это — планета Марс. Для невооруженного глаза наблюдателя планета, подобная Марсу, отличается от звезд тремя особенностями: во-первых, ее ясно заметным перемещением среди звезд; во-вторых, ее ровным светом, отличным от мерцания звезд; в-третьих, яркостью ее, не постоянной изо дня в день и от недели к неделе, а медленно меняющейся. На рис. 4 пока-

зан путь Марса среди звезд между августом 1928 г. и маем 1929 г.

Древним было известно пять планет, а именно: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Греческая философия объясняла запутанное и загадочное движение планет среди звезд (подобно изображенному на рис. 4) сложной гипотезой, которая, однако, при всяком прогрессе в наблюдениях требовала дальнейших усложнений. В своем окон-

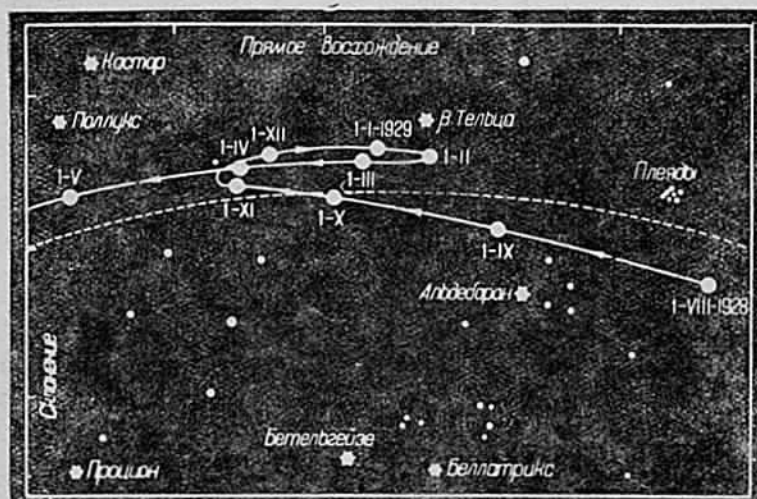


Рис. 4. Путь Марса между звездами от первого августа 1928 года до 1 мая 1929 года.

чательном развитии она вылилась в птолемею теорию Солнца и планет. Она утверждает, что Земля стоит неподвижно, являясь центром вселенной, а Солнце, планеты и звезды обращаются вокруг нее, подчиняясь сложным геометрическим законам. Эта геоцентрическая теория вселенной, подкреплённая авторитетом Аристотеля, являлась догматом почти всех философов в течение 2 000 лет, и лишь в результате открытий, сделанных при помощи изобретенного в 1609 или 1610 гг. телескопа, она получила действительно смертельный удар. Революция в греческих и средневековых взглядах на космогонию берет свое начало от Николая Коперника; в его книге «De revolutionibus Orbium Coelestium» («Об обращении небесных кругов») опубли-

кованной в 1543 г., дан очерк теории Солнца и планет, известной под названием коперниковой, которая до настоящего времени служит основой планетной астрономии. Коротко говоря, Коперник приписал кажущееся суточное движение небесных тел по небу вращению Земли, признал Солнце истинным центром планетной системы, около которого обращается каждая планета, причем Солнце и звезды он считал неподвижными. Ввиду того, что Земле по этой схеме приписывается совершенно незначительная роль, современная религиозная мысль была крайне задета, что вызвало против нового учения жестокую борьбу; Земля оказалась просто одной из шести (известных в то время) планет, которая вместе с прочими (Меркурием и др.) подчиняется действию Солнца. Наше современное знание еще сильнее подчеркивает ничтожность Земли как планеты. Разве Земля не карлик по сравнению с гигантами-планетами: Юпитером, Сатурном, Ураном и Нептуном? Разве у нее не отсутствует величественная система спутников Юпитера и Сатурна, и что она может противопоставить непревзойденным и чудесным кольцам Сатурна? Открытие в 1610 г. Галилеем четырех лун Юпитера лучше, чем что-либо иное, подтвердило правильность взглядов Коперника как научной гипотезы. Здесь воочию перед нами была миниатюрная система, похожая на большую солнечную систему; здесь были тела, доступные наблюдению и действительно обращающиеся вокруг своего центрального светила — Юпитера. Окончательным доказательством послужило открытие Ньютоном закона всемирного тяготения, объяснившего движение планет вокруг Солнца как вокруг притягивающего все планеты центра.

651. Перейдем теперь к более подробному описанию солнечной системы. Само Солнце является ее важнейшим членом, так как все остальные, вместе взятые, составляют всего $\frac{1}{1000}$ от общей массы системы. Диаметр солнца равен 1 391 000 км, а его масса и объем приблизительно в тысячу раз больше массы и объема Юпитера — наибольшей из планет. Большие планеты в порядке их расстояния от Солнца суть следующие: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Уран был открыт в 1781 г. Вильямом Гершелем, а Нептун, впервые обнаруженный в 1846 г. в телескоп и признанный планетой, может считаться плодом математического гения Адамса и Леверрье. В главе III

мы сообщим часто повторяемую, но вечно поразительную историю его открытия.¹

Между орбитами Марса и Юпитера находится множество малых планет, в настоящее время их известно более 1 200, и ежегодно число это заметно увеличивается. Это — малые планеты или астероиды, первой из которых была открыта Церера (в 1801 г.). Диаметры их колеблются от 16 до 772 км; последняя величина относится к диаметру Цереры.

Самыми странными и живописными членами солнечной системы являются кометы. Орбиты больших и малых планет почти круговые; кометы, напротив, часто очень близко подходят к Солнцу, затем уносятся в отдаленные части солнечной системы. Орбита кометы сильно вытянута, и наблюдению она доступна лишь на небольшом интервале в период ее непосредственного соседства с Солнцем.

Красивое, хотя и мимолетное зрелище представляют собой метеоры, которые обнаруживаются лишь при прохождении их сквозь земную атмосферу, когда они, раскаляясь, оставляют за со-

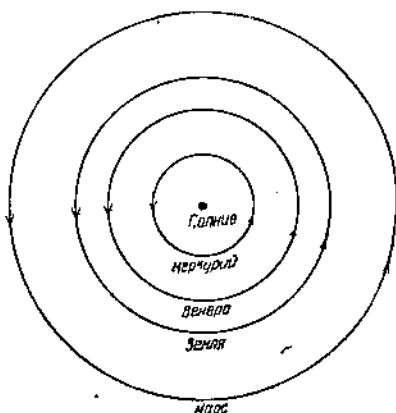


Рис. 5. Орбиты внутренних планет.

бой след в виде огненной черты. Они также обращаются вокруг Солнца по вытянутым орбитам под влиянием его притяжения. Метеоры — очень малые тела, масса которых колеблется от небольшой доли грамма до нескольких тонн.

Орбиты всех восьми больших планет невозможно изобразить в одной диаграмме со строго выдержанным масштабом на одной странице этой книги. На рис. 5 даны орбиты четырех планет, ближайших к Солнцу, а на рис. 6 — орбиты Марса и четырех наиболее удаленных планет; в обоих случаях они начерчены лишь приблизительно по масштабу.

Основной единицей расстояния в астрономии считается

¹ В 1930 г. астрономам американской обсерватории во Флагстафе была открыта еще одна планета, находящаяся от Солнца еще дальше, чем Нептун; она получила имя Плутона. (Прим. ред.)

среднее расстояние Земли от Солнца; как будет объяснено в одной из дальнейших глав, оно равно 149 500 000 км. Наиболее удаленная планета Нептун находится на расстоянии 4 500 млн. км от Солнца; подобное расстояние совершенно недоступно человеческому представлению. Моряк, совершивший кругосветное плавание, может оценить более или менее точно, что представляет собой путешествие в 40 000 км. Но огромные расстояния между планетами и еще большие расстояния между звездами находятся целиком за пределами человеческого опыта. В не слишком специальных книгах по астрономии расстояния выражаются обычно не в километрах, а во времени, которое затрачи-

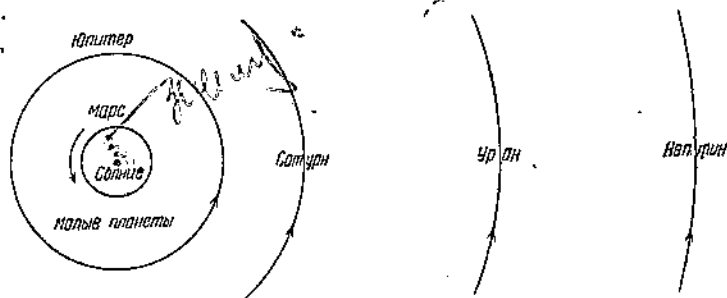


Рис. 6. Орбиты внешних планет.

вается светом для перехода от одного тела к другому. Как установлено точными физическими опытами скорость света равна 299 774 км/сек, и таким образом превышает все, что только мы себе можем представить. Моторист, несущийся по шоссе со скоростью 200 км/час, делает в секунду лишь 56 м; скорость света превышает эту скорость в 5,25 миллиона раз. За единицу расстояния в этом смысле обычно принимается световой год, т. е. расстояние, проходимое светом в течение одного года. Аналогично можно определить «световой час» и «световую минуту». В этих единицах расстояние Земли от Солнца оказывается равным $8\frac{1}{3}$ световых минут, так как свет затрачивает это время на переход от Солнца до Земли. Вследствие этого мы видим Солнце не таким, каково оно в тот момент, когда свет его входит в наш глаз, а таким, каким оно было на $8\frac{1}{3}$ минут раньше. Аналогично расстояние между Солнцем и Нептуном, выра-

женное в световом времени, составляет немногим больше 4 световых часов. Свету нужно всего $1\frac{1}{3}$ сек., чтобы пересечь расстояние между нашим ближайшим соседом Луной и Землей. Область солнечной системы ограничена орбитой Нептуна.¹ Хотя и огромная, она оказывается сравнительно ничтожной при сопоставлении с расстояниями звезд.

Ближайшая к Солнцу звезда находится на расстоянии приблизительно 4 световых лет. Если бы мы сказали, что это расстояние равно 40 миллионам миллионов километров, то этим у нас не создалось бы никакого представления об ее изумительной удаленности. Полет же времени мы ощущаем инстинктивно, и метод выражения астрономических расстояний в единицах светового времени позволяет нам хоть в некоторой степени представить огромность вселенной, часть которой мы составляем. Следует сейчас подчеркнуть значение этого метода в другом отношении, хотя тут мы коснемся вопросов, рассматриваемых в дальнейших главах этой книги. Мы имеем в виду историческую сторону астрономии. Наблюдая различные объекты, расстояние до которых колеблется от нескольких световых лет до миллионов, астроном в один час может увидеть, например, одно звездное облако таким, каким оно было 500 лет тому назад, другое таким, каким оно было 50 000 лет тому назад, а туманность — такой, какой она была миллион лет тому назад. Почти моментально он пересекает гигантскими шагами океан времени.

Солнечная система подробно изучена поколениями астрономов, и результаты их исследований приведены в нижеприведенной таблице. В дальнейших главах мы объясним, как они получены. Во втором столбце даны периоды обращения планет около Солнца. За единицу принят год — период обращения Земли вокруг Солнца, иначе говоря, тот промежуток времени, внутри которого протекает полный цикл времен года.² Ближайшая к Солнцу планета Меркурий совершает полный оборот в 88 дней. Для наиболее удаленной планеты Нептуна на это требуется не меньше 165 лет; таким образом Нептун описал с момента открытия (1846 г.) только около половины своей орбиты.

¹ С 1930 г. нам приходится считать крайней границей солнечной системы орбиту новооткрытой планеты Плутона. Однако, в принципе это не меняет рассуждений автора. (Прим. перев.)

² Здесь имеется в виду под словами «времена года» обычные четыре сезона. (Прим. ред.)

Таблица 1

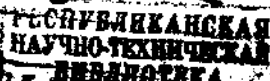
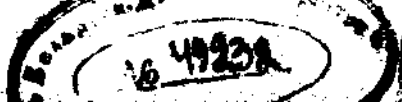
Планеты	Период обращения по орбите	Среднее расстояние от Солнца в астр. ед.	Диаметр (в км)	Орбитальная скорость км/сек	Число спутников	Масса (в единиц. земной массы)	Плотность	Период вращения
Меркурий . . .	88 дней	0,39	4 800	37—56	0	0,04	3,8	88 дней
Венера . . .	225 .	0,72	11 300	35	0	0,83	5,2	225 .
Земля . . .	365,25 .	1,00	12 756	30	1	1,0	5,5	23 ч. 56 м.
Марс . . .	1,88 года	1,52	6 800	24	2	0,11	3,9	24 ч. 37 м.
Юпитер . . .	11,86 .	5,20	143 000	13	9	318,4	1,3	9 ч. 51 м.
Сатурн . . .	22,96 .	9,54	121 000	10,5	9	95,2	0,7	10 ч. 14 м.
Уран . . .	84,02 .	19,19	49 700	6	4	14,6	1,4	10 ч. 45 м.
Нептун . . .	164,79 .	30,07	48 100	5	1	16,9	1,3	7 ч. 50 м.
Плутон ¹ . .	248,35 .	39,58	8000?	4,1	—	0,95	—	—

В третьем столбце даны средние расстояния планет от Солнца. Орбиты планет не круговые, и мы приводим просто средние расстояния от Солнца, выражая их в астрономических единицах, т. е. в единицах среднего расстояния Земли от Солнца. Так, расстояние Марса от Солнца немногим больше полуторакратного расстояния Земли, а расстояние Нептуна в 30 раз больше расстояния Земли. В четвертом столбце даны приблизительные диаметры планет в километрах. Следует отметить незначительность размеров четырех внутренних планет по сравнению с внешними большими планетами.² В пятом столбце приведены средние скорости (в км/сек), с которыми планеты движутся по своим орбитам вокруг Солнца. В них наблюдается определенная закономерность: чем ближе планета к Солнцу, тем больше ее скорость. В шестом столбце указано число спутников или лун, на которые соответствующая планета распространяет свою власть. В седьмом столбце даны массы планет, выраженные в единицах массы Земли. Так, масса Марса составляет около одной девятой массы Земли. В восьмом столбце приведены плотности планет; плотность Земли

¹ Данные о Плутоне даны редакцией. Протит значение диаметра поставлен вопросительный знак, ввиду малой точности этой величины. Остальные величины пока (1984 г.) неизменны. (Прим. ред.)

² Кроме Плутона. (Прим. ред.)

2 Секция астрономии



равна 5,6, значит, масса ее в 5,6 раза больше массы равного объема воды. Интереснее всего здесь то, что четыре меньшие планеты имеют большие плотности, в то время как плотности четырех больших планет весьма мало отличаются от плотности воды. В последнем столбце даны периоды вращения планет, поскольку они известны.

В направлениях обращения больших и малых планет около Солнца наблюдается замечательное однообразие. Нельзя считать случайностью, что все они без исключения обращаются по своим орбитам в одном и том же направлении, подчиняясь солнечному притяжению; сейчас мы отмечаем только факт, не ища и не предлагая объяснений. Кроме того оказывается, что орбиты всех восьми планет лежат почти в одной и той же плоскости. Благодаря этому можно дать простую и довольно точную модель солнечной системы. Я буду придерживаться описания подобной модели, данного Гершелем, лишь частично исправляя его в свете современного знания.

Представим Солнце в виде шара с диаметром в 50 см, помещенного на горизонтальной площадке. Планеты изображатся тогда различными предметами, указанными ниже во втором столбце, которые будут двигаться по площадке по почти круговым орбитам, радиусы которых даны в последнем столбце.

Таблица 2

Планета	Предмет	Радиус круга
Меркурий	Булавочная головка	5 м
Венера	Горошина	47 "
Земля	Горошина	66 "
Марс	Большая булавочная головка	100 "
Малые планеты	Зерна песка и частицы пыли	от 110 до 355 м
Юпитер	Апельсин средней величины	355 м
Сатурн	Небольшой апельсин	630 "
Уран	Небольшая слива	1 800 "
Нептун	Большая слива	1 900 "
Плутон	Горошина	2 600 "

Ближайшая звезда в этом масштабе оказалась бы находящейся на расстоянии 17 600 км.

Плоскость, в которой Земля обращается вокруг Солнца, называется плоскостью эклиптики; пусть наша площадка

изображает собой эту плоскость. Орбитальные плоскости больших планет отличаются от нее очень мало, чего нельзя сказать относительно большого числа малых планет. Следовательно, если мы хотим иметь правильную модель, то мы должны устроить как-нибудь так, чтобы Нептун, например, двигался в плоскости, слегка наклоненной к нашему гладкому полю; угол наклона должен быть взят с тем расчетом, чтобы максимальное расстояние Нептуна от плоскости эклиптики составляло примерно 65 м.

Однако даже при этом условии солнечная система оказывается изумительно плоской. Представим себе пространство, напоминающее по форме граммофонную пластинку, диаметр которой приблизительно в 30 раз больше толщины. Если мы все размеры нашей модели уменьшим пропорционально так, чтобы диаметр орбиты Нептуна совпал с диаметром граммофонной пластинки, то все движения больших и малых планет будут происходить внутри этого пространства.

Замечательное однообразие наблюдается также в направлениях обращения спутников около их планет, совпадающих (за немногими исключениями) с тем, по которому планеты движутся вокруг Солнца. Например, четыре больших спутника Юпитера должны быть представлены в модели Гершеля большими булавочными головками, находящимися на расстоянии нескольких метров от апельсина — Юпитера и двигающимися вокруг Юпитера в том же направлении, в котором планеты движутся вокруг Солнца. Исключениями из этого правила являются: восьмой и девятый спутники Юпитера (два самые внешние в системе Юпитера), внешний спутник Сатурна, четыре спутника Урана и спутник Нептуна. Замечательно, что исключения эти встречаются на внешних краях больших систем спутников и самой солнечной системы.

Титан, шестой спутник Сатурна и наибольший спутник в солнечной системе, имеет диаметр 570 км, равный почти полусумме диаметров Меркурия и Марса. На другом конце находятся спутники Марса — крошечные тела с диаметрами от 16 до 80 км.

Все спутники за исключением нашей Луны видны лишь в телескоп. Однако для гипотетического жителя Марса наша система Земля — Луна была бы, без сомнения, одним из красивейших объектов на небе, наблюдаемых невооруженным глазом. Земля представлялась бы ему при благо-

приятных условиях сверкающим светилом, вокруг которого обращалась бы с периодом в $27\frac{1}{2}$ дней (придерживаясь нашего земного счета) несколько менее блестящая точка — наша Луна. Было бы заманчиво остановиться и поговорить о возможном ходе астрономической истории, если бы люди могли наблюдать подобный объект на небе. Развитие теоретической астрономии, вероятно, не нуждалось бы в иллюстрации в виде системы спутников Юпитера, впервые открытой галилеевым телескопом, так как подобное явление было бы общепознанным истиной.

Если диаметр орбиты Нептуна в нашей модели взять равным 4 км, то ближайшая звезда окажется на расстоянии 17 600 км. Нас поражает огромность и чудесная организация солнечной системы, но ее изолированность в пространстве еще более удивительна. Ведь Солнце, как мы

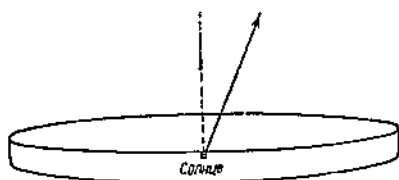


Рис. 7.

далее увидим, есть самая обыкновенная звезда, и расстояние между ним и ближайшей звездой можно считать вообще образчиком расстояний между двумя звездами. Солнечная система и звезды одиноко следуют по своим путям в обширном бездонном пространстве, от-

деленные друг от друга огромными, недоступными нашему представлению расстояниями.

Движение есть жизнь вселенной. Как солнечная система в целом, так и звезды спешат в пространстве, повидимому, не подчиняясь никакому простому закону. Стая птиц в целом может лететь в определенном направлении, хотя каждая из них мечется туда и сюда, оставаясь все же членом стаи. Можно определить скорость отдельной птицы относительно стаи в целом в любую данную минуту.

Аналогичный способ рассуждения можно применить и к движению солнечной системы в звездной вселенной, и мы найдем тогда, что она движется относительно совокупности звезд, рассматриваемой как стая, со скоростью около 20 км/сек приблизительно по направлению к яркой звезде Вега, столь часто виднеющейся на нашем северном небе. В дальнейшем мы увидим, что эта космическая скорость солнечной системы равна приблизительно средней скорости всех звезд. Пусть дискообразное тело на рис. 7 предста-

влияет собой пространство, внутри которого совершаются все планетные движения, т. е. то, что мы раньше изображали в виде граммофонной пластинки. Направление движения солнечной системы в целом не перпендикулярно к этому диску, т. е. к плоскости эклиптики, а наклонено к перпендикуляру под углом в 35° , как показано стрелкой.

Глава вторая

НЕБЕСНАЯ СФЕРА

Когда мы смотрим ночью на звезды, они представляются нам расположенными на поверхности огромной сферы, называемой небесной сферой, с центром в нашем глазу. Объясняется это тем, что мы можем оценивать не расстояния до различных звезд, а лишь те углы, под которыми каждая пара их видна нашему глазу: например, если две звезды представляются нам близкими на небе, то две прямые, соединяющие их с глазом, образуют между собою малый угол; напротив, если они кажутся далекими, то угол будет большим и т. д. Большой и важный раздел астрономии зани-

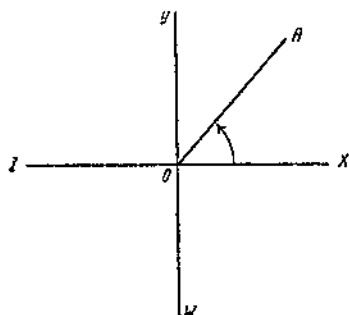


Рис. 8.

мается главным образом измерением углов, не принимая во внимание действительных расстояний небесных тел от нас.

Представим себе сферу — небесную сферу — с центром в нашем глазу. Линия, соединяющая наш глаз со звездой, встречает поверхность сферы в некоторой точке. Будем считать эту точку положением звезды на небесной сфере в некоторый данный момент. Мы попытаемся кратко объяснить некоторые необходимые и основные принципы.

Говорят, что два объекта X и A видны из точки O под углом XOA (рис. 8), который характеризуется величиной поворота прямой из положения OX в положение OA . Если движущаяся линия, начиная с положения OX , последовательно перемещается в положения OX , OA , OY , OZ , OW и снова возвращается в OX , то говорят, что она повернулась на угол в 360° , или на четыре прямых угла. Четверть полно-

го оборота — прямой угол $\angle XOY$ — делится на 90 равных частей, каждая из которых равна одному градусу (1°). Каждый градус разделяется на 60 минут ($60'$), и каждая минута дуги разделяется на 60 секунд дуги ($60''$). Например, диаметр Солнца или Луны виден с Земли под углом в 32 минуты дуги ($32'$).

Многие основные проблемы астрономии связаны с измерением углов, в которых сотые и даже тысячные доли секунды играют большую роль; поэтому важно дать хотя бы некоторое понятие о том, что представляет собой столь крошечный угол. Если двугривенный, имеющий диаметр в 2,5 см, поместить на расстоянии 5,2 км от наблюдателя, то он будет виден под углом в $1''$. Во многих практических задачах астрономии требуется такая точность в измерении углов, которая сравнима с измерением угла видимости десятикопеечной монеты, находящейся на расстоянии нескольких сот километров.

Земля. Положение на поверхности Земли определяется в угловой мере. На рис. 9: O — центр Земли, считаемой просто шаром; QOP — ее ось вращения. Любая плоскость, проходящая через центр O , пересекает поверхность по кругу, называемому большим кругом. Если плоскость образует с осью прямой угол, то такой большой круг называется земным экватором. Всякий большой круг, проходящий через полюса P и Q , есть меридиан; тот меридиан, который проходит через основной инструмент — Гринвичской обсерватории, считается по общему соглашению главным меридианом Земли, и от него измеряются долготы. Долгота места K определяется так: меридиан $PKLQ$, проходящий через K , пересекает экватор в точке L ; под долготой K разумеется угол HOQ . Долготы отсчитываются от гринвичского меридиана к востоку (по направлению стрелки) от 0° до 180° и к западу от 0° до 180° . Если восточная долгота места равна, например 60° , то меридиан ее точно обозначен. Положение точки на меридиане определяется указанием широты.

На рис. 9 широта точки K измеряется углом KCL ; широта будет северной, если точка K лежит между экватором и северным полюсом, и южной — для места в другом полушарии.

Положение звезды на небесной сфере дается различными системами небесных координат почти тем же способом, как место на земной поверхности определяется относительно

двух основных больших кругов — экватора и гринвичского меридиана.

а) Азимут и высота. Пусть небесная сфера на рис. 10 проведена для наблюдателя O , находящегося в северном полушарии (O — центр сферы). Z — точка небесной сферы, находящаяся вертикально над головой, причем вертикальное направление определяется линией отвеса. NYS — большой круг, плоскость которого образует с OZ прямой угол; это — горизонт наблюдателя, разделяющий сферу на две половины, верхняя из которых видимая.¹ Пусть линия OP параллельна земной оси. P — северный

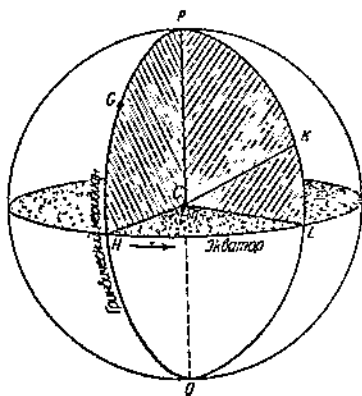


Рис. 9.

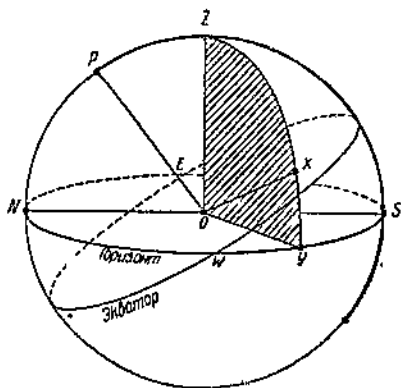


Рис. 10.

полюс мира, приблизительно обозначенный на небе Полярной звездой. Северная точка N горизонта определяется как пересечение горизонта с большим полукругом, проходящим через Z и P . Противоположная точка горизонта называется точкой юга. Большой круг, плоскость которого перпендикулярна OP ; называется небесным экватором или короче — экватором. Он пересекается с горизонтом в точках востока и запада. Положение небесного тела X на небесной сфере определяется относительно горизонта как основной плоскости следующим образом: пусть большой круг, проведенный через X и Z , пересекает горизонт в точке Y ; тогда положение X в данный момент полностью определено при

¹ Т. е. находится над горизонтом, а вторая — невидимая, так как находится под горизонтом наблюдателя. (Прим. ред.)

помощи угла NOY , называемого азимутом, и угла HOY , называемого высотой. Вместо высоты можно употреблять угол между OZ и OX , называемый зенитным расстоянием, которое представлено углом ZOX .

б) Часовой угол и склонение. В этой системе основным большим кругом считается экватор. Нашими повседневными наблюдениями установлено, что конфигурация созвездий, видимому, остается из дня в день неизменной, иначе говоря, любая пара звезд видна с Земли под постоянным углом. В частности, постоянным остается угол, составленный направлениями на Полярную и любую другую звезду..

Предположим для простоты, что Полярная звезда действительно находится в полюсе мира, т. е. в точке P (рис. 11); если X какая-нибудь другая звезда, то, следовательно, угол POX остается постоянным. Вследствие вращения Земли звезда представляется нам движущейся по поверхности небесной сферы; однако движение X должно происходить по такому малому кругу AXC , что где бы точка X на нем ни находилась, угол POX (называемый полярным расстоянием) остается неизменным. Высота звезды будет наибольшей (как легко видно из рисунка), когда она находится в точке A , т. е. на меридиане, проходящем через зенит Z ; это ее южная точка, после которой высота уменьшается, пока звезда не достигнет горизонта в точке C , где она, как говорят, заходит. В каждый данный момент положение звезды X на небесной сфере определяется: а) углом UOB (называемым часовым углом), который измеряется в направлении, указанном стрелкой от точки U на меридиане $PZUQ$, проходящем через зенит (называемый меридианом наблюдателя), к точке B пересечения экватора и меридиана, проходящего через положение звезды X ; б) углом XOB , называемым склонением звезды. Поскольку угол POB равен 90° и поскольку полярное расстояние постоянно, склонение также должно оставаться постоянным. Склонения отсчитываются к северу и югу от экватора точно так же, как широта. Из постоянства склонения звезды (как мы дальше увидим) извлекаются большие выгоды при установке телескопов.

Часовой угол звезды, однако, меняется. В некоторый момент звезда находится на юге в своей наивысшей точке на небе (в точке A рис. 11). Она непрерывно перемещается по небу к западу и заходит в точке C ; несколько позднее

она восходит на востоке, перемещается кверху, пока снова не достигнет южного положения в точке A . Видимое движение является следствием вращения Земли, и интервал между двумя последовательными переходами звезды через южное положение или, как говорят, между двумя последовательными прохождением звезды через меридиан есть мера периода вращения Земли. Период этот можно назвать звездными сутками; они приблизительно на 4 мин. короче суток, определенных по солнцу, о чем речь будет впереди.

с) Прямые восхождения и склонения. Мы видели, что точка на поверхности Земли может быть задана

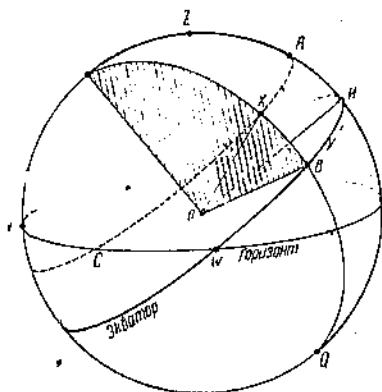


Рис. 11.

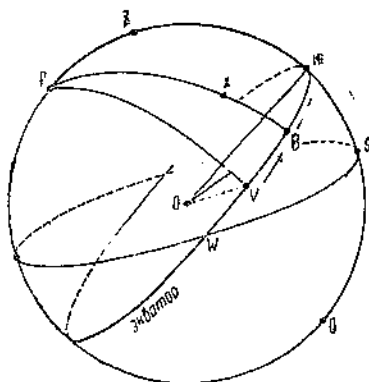


Рис. 12.

ее широтой и долготой; зная их, можно точно найти точку в любой последующий момент, делая наблюдения и измерения при помощи соответствующих инструментов. Так, например, если известно, что корабль утонул под некоторой широтой и долготой, то в будущем положение его очень легко найти. В системе определения положений звезды при помощи часовых углов и склонений только склонения звезд остаются постоянными, в то время как часовой угол за период вращения Земли непрерывно возрастает от 0° до 360° . Однако расположение звезд на небе можно уподобить расположению множества неподвижных точек на земной поверхности, так как конфигурации звезд остаются неизменными; вследствие этого положение звезды можно определить двумя углами, один из которых — склонение, другой же называется прямым восхождением. Пусть V на

рис. 12 — звезда на экваторе, тогда, следовательно, угол BOV остается постоянным. Этот угол соответствует земной долготе, а склонение — широте. Выбранная в этой системе точка V называется точкой весеннего равноденствия, а угол BOV (соответствующий долготе) называется прямым восхождением звезды X . Прямое восхождение отсчитывается от точки весеннего равноденствия в направлении, указанном стрелкой при V , и выражается в градусах от 0° до 360° или, как обычно принято, в часах от 0^h до 24^h . Подобно тому, как положение затонувшего судна определено его широтой и долготой, так и положение звезды точно определено ее прямым восхождением и склонением. Часовой угол точки V , т. е. угол UOV , называется звездным временем. Если мы вообразим точку V звездой, то вращение Земли вызовет ее кажущееся движение по небу. Когда V находится в меридиане, часовой угол V равен 0^h , значит, звездное время равно 0^h . Когда V снова вернется в меридиан, прошло 24 часа звездного времени. Звездные часы, идущие по звездному времени, представляют собой существенную часть оборудования обсерватории. По рисунку видно, что сумма прямого восхождения и часового угла равна звездному времени; это правило позволяет высчитывать часовой угол.

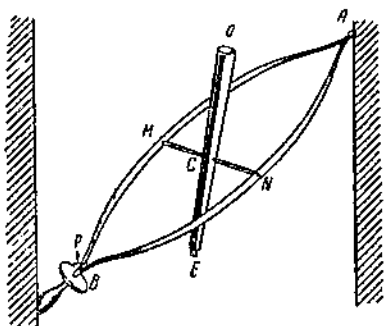


Рис. 13.

Зная склонение и прямое восхождение звезды, можно очень просто направить на нее телескоп. Принцип установки телескопа схематически изображен на рис. 13. $AMBN$ — рама, способная вращаться около оси BA — полярной оси, помещенной параллельно оси вращения Земли. OE — труба телескопа, способная вращаться около оси MN , закрепленной на раме полярной оси под прямым углом к оси BA . Зная склонение, а, следовательно, и полярное расстояние звезды, вращаем трубу OE около MN до тех пор, пока угол OCA не сделается равным полярному расстоянию звезды; после этого OE закрепляется на оси MN . Зная прямое восхождение звезды и посмотрев по звездным часам звездное время, вычитаем первое из последнего и получаем

часовой угол звезды в данный момент. У основания B вообразим себе разделенный круг — круг часовых углов — с делением от 0^h до 24^h , плоскость которого перпендикулярна к оси BA , проходящей кроме того через его центр. Указатель P , прикрепленный к раме BA , позволяет делать отсчеты по кругу часовых углов. Рама, поддерживающая телескоп, вращается до тех пор, пока указатель не достигнет требуемого часа. Звезда тогда будет в поле зрения телескопа. Однако долго она не останется видимой, так как часовой угол непрерывно возрастает; следовательно, звезда выйдет из поля зрения, если только не передвигать весь телескоп рукой или какими-либо механическими способами около оси BA . Новейшие телескопы снабжены точным часовым механизмом, вызывающим вращение инструмента около полярной оси точно с такой же скоростью, с которой вращается Земля, но в противоположном направлении; таким образом звезда или звезды постоянно и точно удерживаются в поле зрения. Повторим еще раз, что рис. 13 должен иллюстрировать лишь общие принципы установки телескопов. С механическими видоизменениями читатель может познакомиться в более специальной литературе.

Дадим теперь точке весеннего равноденствия — точке V на небесном экваторе (рис. 12) — более точное определение. Поскольку Земля делает полный оборот вокруг Солнца в течение одного года, линия, соединяющая Землю и Солнце, делает относительно звезд полный оборот на небесной сфере с центром в Солнце. Нам же на Земле будет казаться, что, наоборот, само Солнце делает свой годовой оборот среди звезд. Плоскость, в которой совершается видимое движение Солнца, есть, разумеется, плоскость эклиптики.¹ Эта плоскость не совпадает с плоскостью небесного экватора; из наблюдений получено, что она наклонена к последнему под углом $23^\circ,5$. Отсюда следует, что направление с Земли на Солнце лежит иногда на северной стороне от небесного экватора, а иногда на южной; иначе говоря, склонение Солнца меняется в течение года. В этом причина времен года. В северных широтах Солнце находится дольше над

¹ Раньше было указано, что орбитальные плоскости главных планет очень мало отличаются друг от друга; следовательно, главные планеты должны располагаться по небу по соседству с эклиптикой. Узкая зона, простирающаяся на 9° по обе стороны эклиптики, называется поясом Зодиака. Внутри нее можно видеть при благоприятных условиях Солнце, Луну и девять больших планет.

горизонтом (т. е. день длиннее), когда его склонение северное, чем когда его склонение южное; кроме того в первом случае оно достигает большей высоты в течение дня, чем во втором. (Эти выводы легко можно получить из диаграммы, подобной рис. 11).

На рис. 14 изображена небесная сфера, причем каждая точка ее поверхности определяет направление на некоторую звезду. Сейчас мы оставляем в стороне факт вращения Земли, так что точки небесной сферы, изображающие направления с Земли на звезды, здесь подобны неподвижным точкам на поверхности Земли. На этом рисунке указан небесный экватор. Путь Солнца, иначе говоря, ряд точек, представляющих различные направления с Земли на Солнце относительно звезд в течение года, есть большой круг *DVJSD*, изображающий эклиптику. Ввиду наклона плоскости большого круга к экватору точки эклиптики между *V* и *J* имеют возрастающие склонения от 0° в точке *V* до $23^\circ,5$ (к северу) в точке *J*, и т. д. Дадим теперь определение точки весеннего равноденствия; это есть такая точка на экваторе, в которой склонение Солнца из южного переходит в северное (это происходит приблизительно 21 марта). Через шесть месяцев, когда Солнце снова переходит из северного полушария в южное, склонение его снова обращается в нуль (приблизительно 21 сентября). Если мы год разделим на две части — лето и зиму, то астрономически это соответствует двум периодам, по шести месяцев каждый: первому периоду между 21 марта и 21 сентября, когда Солнце находится к северу от экватора, и второму — между 21 сентября и 21 марта, когда Солнце находится к югу от экватора (это для северных широт). Будь ось вращения Земли перпендикулярна к плоскости, в которой Земля обращается вокруг Солнца, смена времен года на Земле не существовала бы; склонение Солнца равнялось бы неизменно нулю, а, следовательно, высота Солнца в полдень и интервал между восходом и заходом Солнца оставались бы также постоянными. Зима, весна, лето и осень превратились бы в одно нескончаемое время года, а самый год представлял бы собой просто период времени, интересный лишь для астрономов.

Мы закончим эту главу коротким объяснением методов исчисления времени. Единицы времени основаны на вращении Земли. Простейшей единицей являются звездные сутки — промежуток времени между двумя последователь-

ными прохождением звезды через некоторый определенный меридиан на Земле. Этот интервал представляет собой точно тот период, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг своей оси. Однако звездные сутки не представляют собой общепотребительную астрономическую единицу времени по следующей причине.

Начальная точка небесного экватора, а именно точка весеннего равноденствия, от которой считаются прямые восхождения звезд, в действительности не неподвижна; как уже было сказано, она представляет собой точку пересечения эклиптики с экватором. Однако ни одну из этих плос-

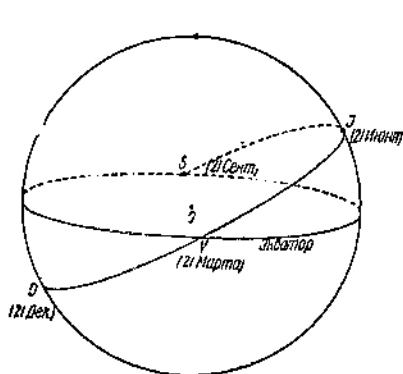


Рис. 14.

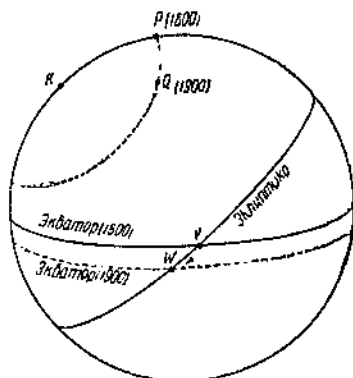


Рис. 15.

костей нельзя считать неизменной, хотя эклиптика меняется относительно общего фона звезд так мало, что здесь мы вполне можем пренебрегать подобными изменениями. Во втором столетии до нашей эры Гиппарх открыл, что направление земной оси относительно звезд слегка меняется, иными словами, что полярная звезда одного столетия не есть Полярная звезда другого. Это явление известно под названием прецессии равноденствия; позднее Ньютон доказал математически, что оно обусловлено притяжением Солнцем и Луной Земли, рассматриваемой как сферонд,¹ а не как шар.

¹ Сферонд есть шар, сплюснутый с двух сторон. Примерно эту фигуру мы получим, если положим сверху груз на обыкновенный резиновый мяч.

На рис. 15 изображена небесная сфера: P — полюс экватора, скажем, в 1800 г., а K — полюс эклиптики. Пусть через столетие полюс экватора передвинулся в Q , описав дугу PQ малого круга, каждая точка которого находится на постоянном угловом расстоянии KP от K . Точка W_0 есть точка весеннего равноденствия в 1900 г. Тогда прецессия точки равноденствия геометрически представляется равномерным движением V вдоль эклиптики в направлении, указанном стрелкой при V ; период полного обращения вокруг эклиптики приблизительно равен 26 000 годам. Итак, точка весеннего равноденствия медленно меняет свое положение относительно звездного фона.

Вращение Земли относительно медленно движущейся точки весеннего равноденствия определяет астрономическую единицу времени — звездные сутки.

Гражданская единица времени установлена по отношению к Солнцу. Промежуток между двумя прохождениями Солнца через определенный меридиан Земли является естественной единицей времени, которая однако изо дня в день немного меняется. Если бы Земля двигалась равномерно по круговой орбите вокруг Солнца, и движение происходило в плоскости, тождественной с плоскостью земного экватора, то этот промежуток был бы постоянным. Однако мы знаем, что орбита Земли не совсем круговая и что плоскость орбиты не совпадает с экватором. Отсюда следует, что истинные солнечные сутки не остаются неизменными. Средняя их продолжительность в течение года определяет средние солнечные сутки (т. е. ту единицу времени, к которой приспособлены наши обычные часы). Средние солнечные сутки приблизительно на $3^m 56^s$ среднего времени длиннее звездных суток; Солнце представляется нам движущимся относительно Земли среди звезд на восток; поскольку Земля также вращается к востоку, она совершает немного более одного оборота, приблизительно на 1° больше, прежде чем Солнце окажется снова в меридиане.

Глава третья

КРАТКИЙ ОБЗОР ИСТОРИИ ДРЕВНЕЙ АСТРОНОМИИ

В настоящей главе мы дадим короткий очерк главных этапов в развитии астрономических открытий, приведших к установлению современных представлений о солнечной системе.

Четыре тысячи лет тому назад халдеи открыли, что затмения Солнца (или Луны) повторяются через промежутки времени около 18 лет и 11 дней. Этот период известен под названием сароса.¹

Благодаря этому открытию, основанному на летописях затмений, сделалось возможным предсказывать будущие затмения с достаточной точностью. Среди этих предсказаний должно было быть много неудачных, так как затмение Солнца (или Луны) бывает видимо лишь на ограниченной площади земной поверхности; кроме того неблагоприятные метеорологические условия обуславливают дальнейшие неудачи при наблюдении ожидаемого явления. Дальнейшая попытка установить эмпирический закон была не менее замечательной.

Теперь мы знаем, что причина затмения Солнца кроется в том, что Луна становится как раз между Солнцем и Землей; на это впервые указывалось Фалесом из Милета (640—546 гг. до хр. э.), который сделал вывод, что Луна представляет собой темное тело, видимое нами лишь благодаря отраженному солнечному свету. Греки первые получили определенное представление о форме Земли. Главными наблюдаемыми фактами, позволившими им сделать вывод о сферической форме Земли, являются следующие:

¹ Полное затмение Солнца 29 июня 1927 г., видимое в Англии, имело своими двумя непосредственными предшественниками в цикле затмения 17 июня 1909 г. и 6 июня 1891 г.

а) при переезде на юг из Греции в Египет высота над горизонтом южных созвездий в меридиане увеличивалась, и многие созвездия, невидимые в Греции, становились видимыми в более южных широтах;

б) во время затмения Луны тень Земли представлялась круглой. На основании этих наблюдаемых данных и некоторых других они заключили, что Земля должна быть сферическим или почти сферическим телом. Эратосфену (276—196 г. до н. э.) удалось определить радиус Земли следующим образом.

Было замечено, что в день летнего солнцестояния в полдень Солнце находится как раз над колодцем в Сене (теперь называемом Асуан). Зенитное же расстояние Солнца в меридиане в этот день в Александрии, как было известно из наблюдений, равнялось $7^{\circ}25'$. Предполагая, что расстояние между Александрией и Сеной можно было получить в общепринятых единицах длины, радиус Земли определяется очень просто на основании следующих геометрических соображений.

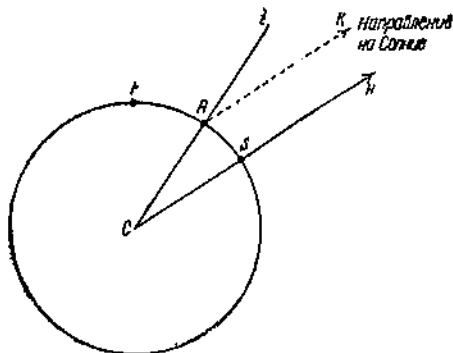


Рис. 16

Положим для простоты, что Александрия (A на рис. 16) лежит в точности к северу от Сены (S). Тогда в определенный день в полдень Солнце будет находиться в S как раз над головой, т. е. в направлении SH, продолжении CS. В точке A направление на Солнце есть AK, которое можно считать практически параллельным SH, если расстояние от Солнца до Земли очень велико (что нам теперь известно) по сравнению с земным радиусом CS. Зенитное расстояние Солнца в полдень в день летнего солнцестояния есть угол ZAK, который равен углу ACS. Поскольку длина дуги AS известна, длина CS получается из элементарной геометрии. Этим путем впервые были получены приближенные размеры Земли — это одно из древнейших достижений астрономических измерений.

Одной из характерных черт греческой астрономии были

ее постоянные попытки найти удовлетворительное объяснение строения вселенной. Следует помнить, что их наблюдательные приборы были с современной точки зрения исключительно несовершенны и что астрономы могли наблюдать только наиболее заметные небесные явления. Прежде всего было естественно признать Землю самым важным небесным телом и считать ее неподвижным центром видимой вселенной, вокруг которого обращаются Солнце, Луна и звезды. Однако в IV в. до н. э. возникла мысль о различии между действительным и видимым движением, в частности мысль о том, что суточные движения небесных тел с востока на запад могли быть только кажущимися, являясь просто видимым отражением вращения Земли. Греческий гений в этой стадии значительно продвинулся в сторону коперникова представления о вселенной. Затем был сделан шаг назад. Аристотель (384—322), справедливо считающийся одним из величайших философов всех времен, принял гипотезу, предложенную несколько ранее Платоном, что движения небесных тел могут быть представлены движениями на сферах и кругах с неподвижной Землей в центре. Эта гипотеза подверглась математической обработке; но вновь полученные расхождения между выводами из гипотезы и результатами наблюдений смогли только доказать, что первоначальная гипотетическая модель была мало приемлема; тогда для устранения наблюдаемых несоответствий были добавлены новые сферы и круги. Влияние Аристотеля в философии и науке господствовало в течение почти 2 000 лет. Крайне удивительно, что даже Гиппарх, величайший греческий астроном, также подпал под влияние великого ума. Он ввел упрощения в представления Аристотеля, которые в дальнейшем были видоизменены Птолемеем; птолемея система существовала в почти неизменном виде в течение 14 столетий.¹

¹ Причина того, что птолемея геоцентрическая система существовала без малого 2 000 лет, а правильная гелиоцентрическая система не только не была признана, но была забыта, заключается, конечно, не в личных симпатиях отдельных ученых к Аристотелю. Причина лежит гораздо глубже. Всем известно, что птолемея теория своим торжеством обязана церкви, которая с полным основанием видела в гелиоцентрическом учении своего врага, посягающего на самые основные догматы христианской религии. Даваемое автором «объяснение», разумеется, ничего не объясняет. Оно однако весьма характерно для буржуазно-идеалистического направления, до сих пор господствующего в западноевропейской истории. (Прим. ред.)

Кратко птолемеева система представляла себе движения членов солнечной системы следующим образом: движение планеты, подобной Венере, относительно Земли складывается из движения по кругу, называемому *эпициклом* (рис. 17), центр которого перемещается по окружности большего круга (указанного на рисунке только дугой), называемого *деферентом*. Солнечное движение происходит просто по круговой орбите, расположенной в промежутке между орбитами Венеры и Марса. Чтобы объяснить видимые запутанные движения планеты (см., например, рис. 4), вводились дополнительные гипотезы, которых нам здесь не стоит касаться. Достаточно сказать, что столь за-

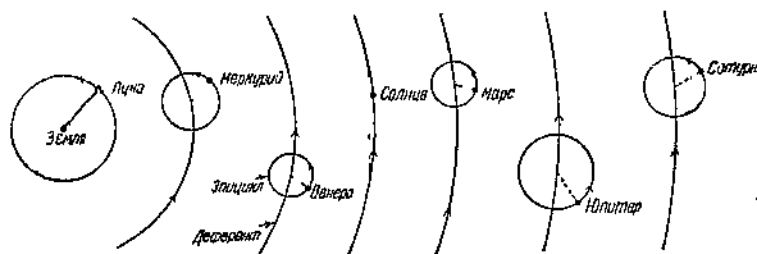


Рис. 17. Система Птолемея.

мысловатая схема могла объяснить лишь общий характер планетных движений; при сопоставлении же предсказаний теории с наблюдениями получались настолько значительные расхождения, что их нельзя было приписать каким-либо возможным ошибкам наблюдений. Аристарх был единственным исключением среди преемников Аристотеля, не поддерживавшим его космогонические теории. Аристарх склонялся к представлению о вращающейся Земле, обращающейся вокруг Солнца как истинного центра солнечной системы, т. е. к идеям, которые были похоронены в течение 18 столетий.

Прежде чем провести границу между эрой греческой астрономии и философии, столь резко нетерпимой ко всякому отклонению от чистого учения Аристотеля,¹ и эпохой зарождения коперниковых идей в мире, отметим коротко две

¹ О том, что эта эпоха была более всего нетерпима ко всяким отклонениям от библейских догматов, автор опять умалчивает, хотя, как было уже указано выше, само учение Аристотеля было обязано

догадки, обе полностью подтвердившиеся, как только галилеев телескоп был направлен на небо: во-первых, то, что темные пятна на поверхности Луны обусловлены горами и тенями, которые они отбрасывают; во-вторых, то, что туманный пояс Млечного Пути представляет собой просто огромное скопление звезд, видимым образом тесно сгруппировавшихся вместе. Из первой догадки вытекало, что имеется по крайней мере одно небесное тело, весьма сходное с Землей, а из второй — что звездная вселенная вряд ли ограничена теми немногими тысячами звезд, которые достаточно ярки, чтобы быть видимыми простым глазом.

Николай Коперник родился в Торне (в Польше) в 1473 г. и умер в 1543 г. Произведением всей его жизни было описание солнечной системы соответственно тем идеям, которые носят его имя; оно явилось первым смелым протестом против непогрешимости греческой астрономии и в частности против птолемеевой системы планет. Идеи Коперника основываются главным образом на ясном представлении об относительном движении, и на этом фундаменте он строит свою теорию солнечной системы, согласно которой Солнце неподвижно, Земля и планеты обращаются по круговым орбитам вокруг Солнца, Земля вращается около оси, Луна — единственное тело, обращающееся вокруг Земли, а сами звезды расположены на большой сфере на сравнительно огромных расстояниях от солнечной системы.

Эти идеи Коперника не являлись просто неопределенными предположениями; они подвергались математическому анализу, и наблюдаемые явления планет объяснялись этой системой с большим успехом, чем более громоздкой и искусственной гипотезой греческой школы.

Хотя Копернику и пришлось прибегнуть к вспомогательной системе эпициклов, чтобы добиться полного представления планетных движений, все же главная заслуга его теории заключается в ее сравнительной простоте. Новое учение скоро было признано лучшими астрономами того времени, и были опубликованы ежегодники, целиком основанные на коперниковых принципах. Однако в окружении академического консерватизма тогдашних схоластиков и грубого упорства богословов учение Коперника имело мало

своим распространением тому обстоятельству, что могущественная средневековая церковь видела в нем свою поддержку и потому сама религиозно содействовала его распространению и, наоборот, преследовала жестоко все другие учения. (Прим. ред.)

успеха. Как церковь, так и реформаторы объявили его теории несовместимыми с учением библии; философы подчинялись безоговорочно принципам Аристотеля; магистры и бакалавры¹ Оксфорда подвергались штрафу в 5 шиллингов за каждую погрешность против объявленной непогрешимой философии Аристотеля. Борьба свирепствовала до тех пор, пока открытия Галилея не закрепили победу на стороне коперникова учения и не установили основных черт новой системы, именно, что Земля — только планета, которая, подобно своим собратьям — другим планетам, обращается вокруг Солнца, истинного центра солнечной системы.

Одним из замечательных достижений Коперника являлось его вычисление расстояний планет от Солнца в единицах расстояния Земли от Солнца (последнее есть астрономическая единица расстояний).

Для планет Меркурия и Венеры, орбиты которых он считал расположенными внутри орбиты Земли, измерение относительных расстояний, например Меркурия и Земли от Солнца, представляет собой простую геометрическую задачу

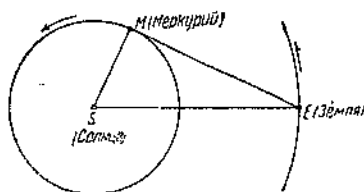


Рис. 18.

(рис. 18). Она состоит в определении из наблюдений максимального угла, под которым Солнце и Меркурий видны с Земли; это, очевидно, произойдет в такой точке M его орбиты, когда угол SME будет прямым. Угол MES находится из наблюдений (подробности здесь описывать не стоит), отношение расстояний SM и SE получается при помощи простых вычислений. Расстояния планет, орбиты которых лежат вне орбиты Земли, определены аналогичным методом также в астрономических единицах расстояния. Результаты Коперника по сравнению с современными ему данными отличаются изумительной точностью.

Во всяком, хоть и коротком, обзоре истории астрономии имя Тихо Браге (1546—1601) должно всегда занимать почетное место, так как на заре новой эры астрономических открытий, которую должно было возвестить изобретение телескопа. Тихо, как астроном-практик, стоит на голову выше

¹ Средневековые ученые степени до сих пор еще существуют в английских университетах. (Прим. ред.)

своих предшественников и современников. Его длинные ряды наблюдений планеты Марса, сделанные им с непревзойденной доселе тщательностью и точностью в его великолепном дворце-обсерватории в Ураниборге (находившемся на острове Хвене в проливе Зунде), позволили его ученику Иоганну Кеплеру открыть три великих эмпирических закона планетных движений, носящих его имя. Искусство и терпение Тихо были таковы, что в его наблюдениях не встречалось ошибок, превосходящих $2'$ дуги, — это достижение высшего порядка для того времени. Вследствие этого, когда Тихо и Кеплер обнаружили расхождение до 4° или 5° между положениями Марса, наблюдаемыми ими и предсказанными в ежегодниках Коперника, то для них было ясно, что столь значительные неправильности не могли быть обусловлены ошибками наблюдений и что причина кроется в несостоятельности коперниковой системы. Увеличивая число эпициклов, которые Коперник считал нужным ввести, и повторяя испытания, Кеплер добился наиболее точного из доселе полученных совпадений между теорией и наблюдениями; но все еще наибольшее из оставшихся расхождений достигало $8'$ дуги. Большинство астрономических современников Кеплера удовлетворились бы таким результатом, но доверие к тщательности наблюдений Тихо Браге заставило его снова начать дело в другом направлении. Сам он писал: «Поскольку нельзя было пренебречь ошибкой в 8 минут, то эти восемь минут дуги пробили дорогу к полной реформе астрономии». Планетные орбиты в коперниковой теории считались кругами. Кеплер задал себе вопрос: «Необходимо ли это условие и если нет, то какая кривая представит наилучшим образом орбиту Марса вокруг Солнца?». Испробовав несколько типов кривых, он пришел к выводу, известному под названием первого закона Кеплера, а именно: орбита планеты вокруг Солнца есть эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. На рис. 19 изображен эллипс с двумя фокусами S и T ; эллипс обладает следующим свойством: если P — точка на кривой, то сумма двух отрезков SP и TP постоянна и равна удвоенной длине CA , где C — середина отрезка ST . Пусть Солнце находится в точке S ; планета движется по кривой, занимая ближайшее к Солнцу положение в точке A (перигелий) и самое далекое — в точке B (афелий). Отрезок CA называется большой полуосью орбиты.

При всей кажущейся простоте открытия Кеплера в нем скрывались огромные математические трудности, с которыми ему пришлось бороться. Во-первых, отдельное наблюдение планеты дает лишь направление на нее относительно общего фона звезд в некоторый частный момент времени. Во-вторых, наблюдения делаются с Земли, которая сама движется по орбите вокруг Солнца. В-третьих, Кеплеру не доставало логарифмического способа вычислений, известного теперь каждому школьнику.

Далее Кеплер исследовал проблему скоростей, с которыми планета движется в различных точках орбиты. Он нашел, что угловая скорость планеты — наибольшая в перигелии

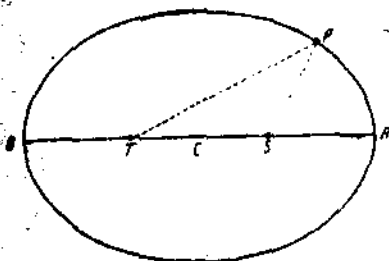


Рис. 19. Эллипс.

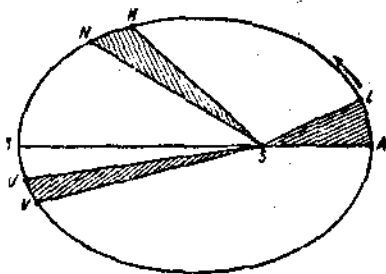


Рис. 20. Иллюстрация Kepler'sкого закона.

и наименьшая в афелии, и в конце концов вывел свой второй закон: «Прямая линия, соединяющая планету с Солнцем, описывает в любые два равных промежутка времени равные площади». Пусть на рис. 20 планета в определенный день находится ближе всего к Солнцу в точке A , а две недели спустя — в точке L . Аналогично, пусть M — ее новое положение спустя несколько времени, а N — ее положение через промежуток в две недели. Пусть U и V — еще два ее последовательных положения с промежутком в 14 дней. Тогда по второму закону Кеплера все три заштрихованные площади равны между собой. Так как A — точка орбиты, ближайшая к Солнцу, то ясно, что угол LSA на чертеже больше угла MSN ; иными словами, угловая скорость относительно Солнца в перигелии будет наибольшей.

Третий закон Кеплера касается соотношения между периодами обращения планет по их орбитам и относительной

величиной самих орбит. Во времена Кеплера обе эти величины были известны с достаточной степенью точности. Третий закон таков: «Отношение квадратов периодов обращения любой пары планет (включая Землю) вокруг Солнца равно отношению кубов больших полуосей их орбит». Для Кеплера это было лишь интересным числовым соотношением, довидимому не зависящим ни от одного из первых двух законов. Позднее мы увидим, что эти эмпирические законы являются следствием великого всемирного закона тяготения — плода гения Ньютона.

Первые два закона Кеплера были им опубликованы в книге под заглавием «Комментарии по поводу движения Марса» в 1609 г.; этот год замечателен изобретением телескопа Галилея и началом ряда его астрономических открытий, по своему значению превосходящих самые смелые мечты любого астронома до или после него. Точно неизвестно, кто был первым изобретателем телескопа; не вполне также достоверно, что Галилей первый направил новый прибор на небо. Однако Галилею должна быть нераздельно приписана заслуга овладения всеми возможностями телескопа. Он оценил те новые и чудесные объекты, которые ему удалось с помощью нового телескопа обнаружить на небе; им было указано значение его открытий для неопровержимого доказательства основных положений коперникова учения о Солнце и планетах. Луна оказалась покрытой горами и кратерами, Млечный Путь был разложен на множество слабых звезд; таким образом подтвердились две догадки, сделанные 2 000 лет тому назад, о которых мы уже ранее говорили. У планеты Венеры были обнаружены фазы, сходные по характеру с тем, что мы называем фазами Луны; этим подтвердилось, что Венера является темным телом, подобным Луне, видимым только вследствие солнечного освещения. На поверхности самого солнца, считавшегося доселе светилом совершенным и чистым, оказалось несколько темных пятен, которые мы называем солнечными пятнами. В наш ученый век смешно читать возражения, сделанные по поводу этого открытия одним скептически настроенным церковником: «Я многократно читал труды Аристотеля от начала до конца и могу вас уверить, что я нигде не нашел ничего подобного тому, что вы описываете. Идите, мой сын, и успокойтесь; будьте уверены, что то, что вы приняли за пятна, является просто дефектами ваших стекол и ваших глаз». Однако тем открытием, которое нанесло наиболее

жестоким удар по слепым приверженцам философии Аристотеля и птолемеевой астрономии, было открытие четырех больших спутников Юпитера. Действительно, здесь была миниатюрная солнечная система, о существовании которой великие греческие ученые и не подозревали, система, в которой спутники обращаются по своим правильным путям вокруг центральной планеты совершенно так, как сами планеты согласно коперниковой системе должны обращаться вокруг Солнца. Одним из возражений, приводимых критиками Коперника, были весьма реальные трудности в понимании сложной природы лунного движения, слагающегося из обращения Луны вокруг Земли и из орбитального движения последней вокруг Солнца. Спутники Юпитера явились видимой иллюстрацией подобного явления.

Научное¹ недоверие к новым идеям и к новым телескопическим открытиям не смогло долго устоять против все возрастающего числа данных, говорящих в пользу основных положений коперниковой теории. Церковь же, с другой стороны, утверждала с яростным усердием, что новые доктрины противоречат божьему миру; Галилея привлекли к суду инквизиции, и раздались первые выстрелы в битве, которая с тех пор почти непрерывно свирепствовала между организованной религией с одной стороны и знанием и выводами научных открытий — с другой.

Исаак Ньютон родился в год, следующий за годом смерти Галилея. В немногих фразах невозможно дать достаточную оценку этого великого гения, оставившего свой след почти во всех разделах математического и физического знания. Его соперник Лейбниц великодушно и справедливо писал: «Если взять всю математику от начала мира до времени жизни Ньютона, то он сделал в ней лучшую половину». Нам здесь интересует ход мыслей Ньютона, приведший его к открытию великого закона всемирного тяготения, изложение которого он дал миру в 1687 г. в «Principia». Мы видели, что три закона Кеплера были эмпирическими и друг от друга независимыми; не было никаких простых доводов, почему движение планет по орбитам должно подчиняться этим законам. Почему планета должна обращаться вокруг Солнца по эллипсу? Сам Кеплер был склонен думать, что существует какая-то сила, толкающая планету по ее орбите; но подобные догадки были столь же бесплодны,

¹ Правильнее было бы сказать: не научное. (Прим. ред.)

как и неопределенны. Ньютон исходил из простого земного явления падения тела. Уже давно было установлено, что, поскольку камень должен упасть, какая-то сила вызывает его движение к центру Земли. Эта сила, очевидно, действует на высочайших башнях и на вершинах высочайших гор. Действует ли она также на расстоянии Луны? На этот вопрос Ньютону удалось ответить утвердительно: сила, обуславливающая падение яблока, есть та же самая сила, которая заставляет Луну обращаться вокруг Земли. С вершины некоторой возвышенности M , находящейся на высоте MN над уровнем равнины, произведем выстрел горизонтально в направлении MT (рис. 21); ядро опишет траек-

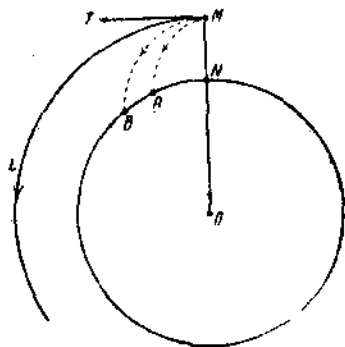


Рис. 21.

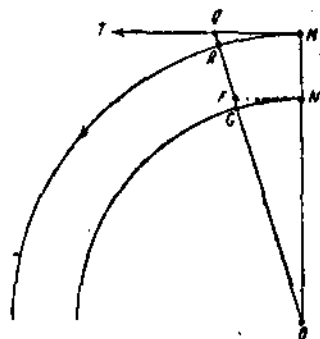


Рис. 22.

торию, подобную MA . Если увеличить скорость полета снаряда, то точка падения переместится в точку B , более далекую от N , чем A . При дальнейшем увеличении скорости траектория еще больше удлинится. Эти факты можно рассматривать как непосредственные результаты опыта. Мы вынуждены заключить, что при увеличении скорости до определенной величины (около 8 км/сек) ядро вовсе не упадет на Землю, а будет обращаться вокруг нее по кругу радиуса OM , превратившись в спутника Земли, подобного Луне. Когда ядро описывает траекторию MA , то его движение будет направлено частью горизонтально, а частью вертикально вниз, причем последняя часть будет обусловлена его падением с высоты MN . Следовательно, когда ядро описывает круг радиуса OM , то оно непрерывно падает к центру Земли, двигаясь в то же время гори-

горизонтально в каждой точке своей орбиты. Рассмотрим положение спустя секунду после вылета из точки M с горизонтальной скоростью в 8 км/сек (рис. 22). Горизонтальная скорость в течение секунды переместила бы ядро в точку Q , причем MQ равно 8 км . Однако оно также падает, и в конце секунды оно упало бы на расстояние QR , где R находится на линии, соединяющей Q с O . Пусть NF — горизонтальная линия, пересекающая OQ в точке F ; NF практически равна 8 км , так как NM весьма мала по сравнению с радиусом ON (высота NM на рисунке сильно преувеличена). Зная радиус Земли ON или OG , можно легко вычислить расстояние FG : оно оказывается равным $4,9 \text{ м}$. Мы предположим, что ядро описывает круговую орбиту радиуса OM или OR , следовательно, QR равно $4,9 \text{ м}$.

Однако это есть как раз высота, с которой камень, находящийся недалеко от земной поверхности, из состояния покоя пролетит в течение 1 сек . Получается следующий вывод: хотя ядро непрерывно падает, но ввиду кривизны Земли и подобранной нами определенной скорости оно остается все время на том же самом расстоянии от земной поверхности. Итак, круговая орбита тела, движущегося вблизи земной поверхности, может быть удовлетворительно объяснена на основании известного явления падения тел. Что же заставляет камень падать? Мы должны обратиться к помощи первого закона движения Ньютона, имеющего характер постулата¹, а именно: тело, не подверженное действию силы, сохраняет состояние покоя или равномерного движения по прямой линии, или наоборот: причины, изменяющие или стремящиеся изменить состояние покоя тела или его равномерного и прямолинейного движения, мы называем силами. Падающее же тело не движется с одинаковой скоростью: из опытов обнаружено, что камень, пущенный падать из состояния покоя, пролетает в первую секунду $4,9 \text{ м}$ и во вторую $14,7 \text{ м}$. Следовательно, на него действует «сила», которую можно рассматривать как род тяги. Таким образом, поскольку речь идет о движении у поверхности Земли, мы получили вполне определенный вывод, т. е. мы можем объяснить круговую орбиту ядра влиянием силы, которая непрерывно действует по направлению к центру Земли.

¹ Закон, принимаемый в качестве допущения, без доказательства. (Прим. ред.)

Рассмотрим теперь движение Луны вокруг Земли. К нему применимы те же рассуждения, однако возникает вопрос: каково соотношение между силой, удерживающей Луну в ее орбите и мешающей ей улететь по касательной, и силой у поверхности Земли, заставляющей падать камень? Зная размеры лунной орбиты, Ньютон определил, что эти две силы обратно пропорциональны квадратам радиусов лунной орбиты и земного шара. Действительно, расстояние Луны от центра Земли равно 60 земным радиусам, а сила, удерживающая Луну равна $1/3600$ силы на поверхности Земли.

Можно ли объяснить движение планет вокруг Солнца аналогичными силами, подчиняющимися тому же «закону обратных квадратов»? Может ли новый закон сил обусловить наблюдаемые особенности планетных движений, сконденсированные в трех эмпирических законах Кеплера? Ньютон показал, что планета под действием силы, всегда направленной к Солнцу и зависящей только от расстояния между планетой и Солнцем, должна двигаться, подчиняясь второму закону Кеплера, а именно: линия, соединяющая планету с Солнцем, в равные времена описывает равные площади. Далее Ньютону удалось установить при помощи закона обратных квадратов общую форму орбиты: в зависимости от обстоятельств она будет эллипсом или гиперболой с Солнцем в одном из фокусов, или параболой; этим подтвердился первый закон Кеплера, который имел дело только с эллипсами. Но тем самым Ньютон показал, что под действием того же закона сил возможны и другие формы орбиты. Другим следствием из закона обратных квадратов явилось соотношение между размерами планетных орбит и периодами их обращения вокруг Солнца, что математически выражено в третьем законе Кеплера. Итак, Ньютону удалось найти один простой закон — притягивающую силу, направленную к Солнцу и изменяющуюся обратно пропорционально квадратам расстояний планет от Солнца, которая полностью объясняет планетные движения. Какова природа этой притягивающей силы? Ньютон предположил, что она является основным свойством материи, и установил свой великий закон всемирного тяготения: «Каждая частица материи во вселенной притягивает каждую другую частицу с силой, изменяющейся прямо пропорционально произведению их масс и обратно пропорционально квадрату их разделяющего расстояния». Нам всем знакомо представление о весе; вес книги есть просто сила, с которой Земля притяги-

вает книгу. Отношение веса книги к весу крикетного ¹ мяча по закону всемирного тяготения равно отношению массы книги (т. е. количеству содержащейся в ней материи) к массе крикетного мяча. Однако это еще не все. Индивидуальные частицы материи, из которых составлена Земля, притягивают индивидуальные частицы материи, из которых составлена книга, и кроме того из обобщений Ньютона следует, что равным образом и каждая частица книги притягивает каждую частицу Земли. Ньютон доказал также теорему, что притяжение всех частиц тела, имеющего форму шара (повсюду однородного или состоящего из однородных слоев), на внешнюю по отношению к его объему частицу эквивалентно притяжению частицы с массой, равной массе всего шара и сосредоточенной в его центре. Небесные тела приблизительно шарообразны, так что в вопросах, связанных с тяготением, нам следует предполагать, что их массы сосредоточены в центре. Применяя закон тяготения к движению, например Венеры, его следует сформулировать так: «Сила, с которой Солнце притягивает Венеру, прямо пропорциональна произведению масс Венеры и Солнца и обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами; она в точности равна силе, с которой Венера притягивает Солнце». Каковы выводы из этого закона? Если бы Солнце и Венера были единственными членами солнечной системы, то закон Ньютона привел бы в точности к первому и второму законам Кеплера. В действительности же в солнечной системе существует множество планет и тел, каждое из которых притягивает Венеру согласно закону тяготения; например, в данную минуту Земля притягивает Венеру с силой (направленной к Земле), прямо пропорциональной произведению масс Венеры и Земли и обратно пропорциональной квадрату расстояния (в данный момент) между ними. Однако сила, обусловленная Землей, чрезвычайно мала по сравнению с силой, обусловленной Солнцем, так как масса последнего в треть миллиона раз больше массы Земли. Вследствие этого орбита Венеры не представляет собой вполне точного эллипса, хотя и близка к нему; маленькие отклонения, обусловленные Землей и другими планетами, называются возмущениями; они обычно слишком малы, чтобы их можно было обнаружить при наблюдательных возможностях, существо-

¹ Крикет — распространенная в Англии игра. (Прим. ред.)

вавших во времена Кеплера. Закон тяготения Ньютона положен в основу большой математической теории, называемой небесной механикой, занимающейся точным вычислением планетных орбит (или орбит их спутников), возмущаемых силами притяжения каждой другой планеты или спутника.

Мы уже сказали, что закон тяготения Ньютона подтвердил правильность третьего закона Кеплера. Однако он сделал еще больше. Он дал третий закон в более полной форме. С поправкой Ньютона он должен читаться так: «Математическое выражение, представляющее собой произведение квадрата периода обращения планеты вокруг Солнца на сумму масс Солнца и планеты, разделенное на куб среднего расстояния планеты от Солнца, является универсальной постоянной, а, следовательно, одинаково для всех планет». В формулировке Кеплера массы не участвуют вовсе; в обеих формах закон численно почти точно подтверждается, поскольку массы планет ничтожны по сравнению с массой Солнца (масса самой большой планеты, Юпитера, составляет меньше одной тысячной массы Солнца), и «сумма масс Солнца и планеты», отсутствующая в законе Кеплера, в первом приближении может считаться равной просто массе Солнца, т. е. величиной постоянной. Между тем ньютонова форма третьего закона Кеплера дала простой метод оценки масс планет, сопровождаемых спутниками. Сначала возьмем, например, планету Меркурий; нам известны ее период орбитального обращения вокруг Солнца и ее среднее расстояние от Солнца; пренебрегая ее массой по сравнению с массой Солнца и принимая последнюю за единицу массы, мы можем легко вычислить постоянную, упоминаемую в ньютоновой формулировке третьего закона Кеплера. Рассмотрим теперь Юпитер с одним из его спутников; закон применим к орбитальному движению спутника вокруг центрального тела, и мы уже вывели численную величину постоянной. Мы знаем расстояние Юпитера, выраженное в астрономических единицах, а из наблюдений движения спутника мы получим его среднее расстояние от Юпитера. Из наблюдений нам также известен период обращения спутника вокруг Юпитера. Отсюда закон дает нам сумму масс Юпитера и спутника или, в сущности говоря, массу Юпитера, выраженную в единицах массы Солнца. Из вычислений получено, что Солнце в 1 047 раз массивнее Юпитера. Аналогичным путем найдено, что солнечная масса

в 330 000 раз больше массы Земли. Массы Меркурия и Венеры этим методом получить нельзя, так как они не имеют спутников; их массы можно оценить по возмущающему действию на земную орбиту, которое они производят. Можно еще вкратце отметить два вывода, сделанные Ньютоном из закона тяготения. Первый связан с загадочным явлением прецессии точек равноденствия, открытым за 18 столетий до того Гиппархом. Сам Ньютон показал, что в результате закона тяготения Земля должна иметь сфероидную форму, подтверждая этим в общем виде результаты маятниковых опытов, сделанных на несколько лет раньше. Далее, из принципов ньютоновской механики следует, что притяжение вращающегося шара Солнцем и Луной не должно влиять на направление оси, около которой он вращается. Однако, так как Земля имеет форму сфероида,¹ т. е. сплюснута в сторону полюсов, то дело будет обстоять иначе. В силу того, что орбитальная плоскость Земли относительно Солнца (или Луны относительно Земли) не совпадает с плоскостью земного экватора, притяжение, оказываемое Солнцем

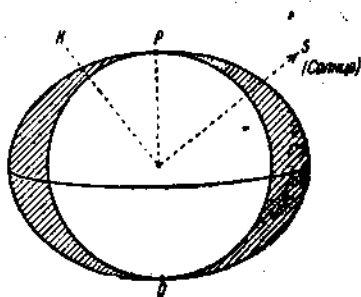


Рис. 23.

S (или Луной) на рис. 23 на части земного вещества, выступающие из сферы с диаметром *QP* (заштрихованные), действует не симметрично относительно линии, соединяющей центр Земли с Солнцем (или Луной). Механическим следствием этого является медленное волчкообразное движение Земли, причем направление оси вращения *QP* обращается с периодом около 26 000 лет около оси, перпендикулярной к плоскости эклиптики.

Явление приливов также было объяснено Ньютоном. В этом вопросе мы можем считать что Земля сплошь покрыта водой. Притяжение Луны неодинаково в различных частях океана вследствие различий в расстояниях этих частей от центра Луны. В результате получается подъем воды вокруг места, для которого Луна находится в зените, и вокруг места, ему диаметрально противоположного. На меридиане

¹ О сфероиде см. выше, стр. 30. (Прим. ред.)

этих мест будет высокая вода. Поскольку промежуток времени между двумя последовательными прохождением Луны через меридиан равен в среднем около $24^h 50^m$, то и высокая вода наступает в среднем через интервал в $12^h 25^m$, а низкая вода — в промежуточные моменты. Солнце оказывает подобное же, но меньшее влияние. Когда Солнце и Луна близки друг к другу на небе, как в новолуние, или, наоборот, диаметрально противоположны, как в полнолуние, то они действуют, так сказать, сообща, и подъем будет максимальным. Приливы называются тогда высокими. Если же Солнце и Луна видны с Земли под прямым углом, что бывает в первую и третью лунные четверти, то высокий уровень воды, обусловленный в данном месте Луной, совпадает с низким уровнем воды, обусловленным Солнцем; в результате высота воды уменьшается, и приливы называются низкими. Такова в общих чертах ньютонова гравитационная теория приливов без всех тех осложнений, которые привлекли внимание позднейших математиков.

1846 г., немного более чем через полтора столетия после опубликования «Principia», был свидетелем наиболее наглядного и поражающего торжества ньютоновского закона тяготения. До 1781 г. солнечное семейство из шести больших планет (от Меркурия до Сатурна) оставалось по числу неизменным. Телескоп имел свою долю успеха в открытии спутников и комет, но до сих пор ему не удавалось расширить систему планет. В этом году Вильям Гершель, бывший тогда профессиональным музыкантом, почти все интересы которого были, однако, обращены на изучение неба, открыл при помощи своего собственного самодельного инструмента объект, охарактеризованный им «странной туманной звездой» или, возможно, «кометой». Последующими наблюдениями было однако доказано, что странный объект является планетой, позднее названной Ураном; она движется по большой орбите, внешней по отношению к орбите Сатурна. Открытие Урана часто считается счастливой случайностью; оно однако явилось скорее справедливой наградой за настойчивость и терпение, с которыми Гершель использовал каждую подходящую минуту для систематического исследования неба, данью его искусству наблюдателя и показателем высокого качества его телескопа. В действительности Уран и раньше несколько раз наблюдался в качестве звезды, и эти старые наблюдения в соединении с теми, которые производились в годы, следовавшие за

его открытием, позволили астрономам-математикам вычислить с большой точностью его орбиту и предсказать его положение на будущее время. Однако по прошествии ряда лет было замечено, что движение Урана не в точности соответствует теории; наибольшее расхождение, правда, никогда не превышало $2'$, и ошибка была по видимому невелика, но тем не менее в те времена для нее не было удовлетворительного объяснения. Разумеется, при получении теоретических положений Урана все влияния, обусловленные притяжением планет, были полностью приняты во внимание. Был ли закон Ньютона не вполне точен, или существовали какие-то неоткрытые факторы, ответственные за наблюдаемые неправильности в движении Урана?

3 июля 1841 г. молодой кончающий студент Сент-Джонского колледжа в Кембридже по имени Джон Адамс написал следующую записку, сохраняемую теперь в библиотеке Сент-Джонского колледжа:

„Намереваюсь с начала этой недели, как только получу мое знание, исследовать не объясненные до сих пор неправильности в движении Урана с целью найти, не вызываются ли они влиянием неоткрытой еще планеты, находящейся за ним; если окажется возможным, то определю приблизительно элементы ее орбиты, что будет, вероятно, способствовать ее открытию“.

После окончания в 1843 г. колледжа Адамс привел свое намерение в исполнение. Все те данные, на которых была основана его работа, заключались в относительно очень незначительных расхождениях между наблюдаемыми в различные моменты времени положениями Урана и его положениями, вычисленными на основе закона тяготения; эти-то небольшие разности в искусных руках Адамса оказались тем средством, при помощи которого место предполагаемой неизвестной планеты на небе должно было быть найдено с поразительной точностью. В сентябре 1845 г. Адамс сообщил результаты своих вычислений профессору Чаллису, директору Кембриджской обсерватории, который переслал их Георгу Эйри, королевскому астроному. ¹ 9 июля 1846 г. последний предложил Чаллису предпринять ро-

¹ Королевским астрономом в Англии по традиции именуют директора Гринвичской обсерватории. (Прим. ред.)

ыски гипотетической планеты в той части неба, которая указывается вычислениями Адамса. Ввиду того, что предсказанное расстояние до нее было большим, планета почти наверное должна была быть слабым объектом, по виду неотличимым от слабой звезды; вследствие этого ее планетный характер мог быть, вероятнее всего, обнаружен только по ее медленному движению относительно соседних звезд. 29 июля 1846 г. Чаллис приступил к поискам. Поскольку у него не было дающей точные положения звезд карты той части неба, ему пришлось применить весьма кропотливый метод определения положения всех звезд в указанной Адамсом области неба с тем, чтобы через некоторое время определить их положения вновь и для каждой звезды сравнить между собой наблюдения, относящиеся к двум или нескольким различным дням. Если неизвестная планета окажется вообще доступной наблюдению, то она сможет быть выявлена только по ясно заметным изменениям ее положения относительно звезд. Хотя этот метод и требует много времени, но зато он надежен. К несчастью, Чаллис не спешил сравнивать свои наблюдения; хотя он фактически наблюдал новую планету в качестве «звезды» 4 и 12 августа, но задержка с выполнением наиболее важной части работы — сравнений наблюдений — лишила его первенства, которое им было фактически почти завоевано.

10 ноября 1846 г. выдающийся французский астроном Лёверрье представил во Французскую академию первую из трех докладных записок по вопросу о возмущениях Урана Юпитером и Сатурном. Во второй статье (1 июня 1846 г.) он делает тот вывод, что неправильности в движении Урана могут быть объяснены только влиянием неизвестной планеты; указанное им положение ее отличалось только на 1° от вычисленного Адамсом. В третьей статье (31 августа 1846 г.) он приводит элементы орбиты неизвестной планеты. Сэр Джон Гершель в своей речи 10 сентября 1846 г. в Британской ассоциации, указав на открытия прошлых лет (была обнаружена одна малая планета), сказал: «Оно дало нам больше. Оно дало нам вероятный путь для открытия другой планеты. Мы видим ее так же, как Колумб видел Америку с берегов Испании. Мы могли чувствовать, как ее движения дрожат вдоль по проводам нашего анализа, почти с такой же уверенностью, как если бы мы видели ее глазами».

Обстоятельства были действительно замечательные, не встречавшиеся еще во всей истории науки. На основании ничтожных неправильностей в предсказанном движении планеты два математика, один — юноша, другой — опытный астроном, вооруженные только своими блестящими математическими способностями, совершенно независимо, не зная друг друга и воспользовавшись различными методами, сообщили почти одновременно астрономам-практикам: «Направьте ваш телескоп в таком-то и таком направлении, и вы там увидите слабый звездopodobный объект, который вы быстро признаете большой планетой, движущейся вокруг солнца по огромной орбите и находящейся еще наполовину дальше, чем самая удаленная из известных планет». Лёверрье попросил доктора Галле на Берлинской обсерватории заняться поисками. Получив письмо 23 сентября 1846 г., Галле не стал медлить с постановкой работы и в тот же вечер заметил объект, выглядевший как звезда и занимавший положение, не помеченное на опубликованных незадолго до этого картах этой части неба. В следующую ночь подозреваемый объект определенно передвинулся, и все сомнения относительно его характера полностью рассеялись. Объект был ни чем иным, как гипотетической планетой Адамса и Лёверрье, видимой теперь в действительности. Подобно Урану, новая планета, названная Нептуном, уже раньше наблюдалась как звезда, но, по счастью, ее открытие не было сделано простыми телескопическими наблюдениями; правда, и это было бы замечательным достижением, но наука лишилась бы одной из величайших побед абстрактной мысли.

Радиус орбиты Нептуна равен приблизительно 4 480 000 000 км, а период обращения вокруг Солнца — около 165 лет. Со времени своего открытия Нептун прошел немного более половины своей грандиозной орбиты. Является ли Нептун самой удаленной из планет солнечного семейства, или за Нептуном есть еще более далекая планета, также связанная с Солнцем? Трудно думать, что при почти беспрестанном фотографировании звездных областей в последнем столетии планета, сравнимая по величине с самой малой из восьми больших планет, могла ускользнуть от открытия. Если в будущее время будут несомненные доказательства (сейчас их мало), что Нептун отклоняется от предсказанной орбиты, то методы Адамса и Лёверрье можно будет снова применить; тогда телеско-

Пическое открытие последует столь же уверенно, как для Нептуна. Однако мы уже перешли в область догадок и предположений; в настоящее время считают, что Нептун дает внешнюю границу планетной системы.¹

¹ Выше мы уже сообщали об открытии в 1930 г. еще одной планеты — Плутона. Относительно обстоятельств ее открытия см. книжку Б. А. Воронцова-Вельяминова: «Новооткрытая планета Плутон», ГТТИ, 1933 г. (Прим. ред.)

ТЕЛЕСКОП

Астрономические телескопы разделяются на два типа: рефракторы и рефлекторы. Когда луч света падает на поверхность прозрачной среды, например стекла, то путь его отклоняется согласно общеизвестным оптическим законам. Пусть AB на рис. 24 представляет собой направление в воздухе луча, падающего на стеклянную пластинку с плоскопараллельными гранями. В точке B луч, как говорят, преломляется на поверхности между двумя средами — воздухом и стеклом; если PBQ — перпендикуляр к поверхности, то путь луча BC в стекле таков, что BC лежит в плоскости ABP , и угол QBC меньше угла ABP ; существует определенное соотношение между этими углами, зависящее от оптических свойств воздуха и стекла. В точке C луч выходит из пластинки и направляется вдоль CD параллельно первоначальному направлению AB .

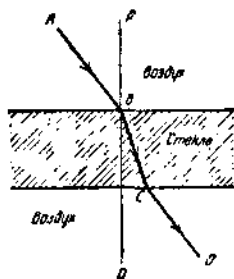


Рис. 24.

Законы преломления света представляют собой базис, на котором основываются главные свойства линз. Линза ограничена сферическими поверхностями, и путь луча света, падающего на одну поверхность, проходит сквозь линзу согласно законам преломления. Свет от какого-нибудь удаленного объекта, например звезды, можно считать пучком параллельных лучей; роль линзы (вроде изображенной на рис. 25) сводится к тому, что она заставляет всех их сойтись в одной точке F . Пусть CF совпадает с линией, соединяющей центры сферических поверхностей линзы; тогда расстояние CF называется фокусным расстоянием линзы. Если фотографическую пластинку поместить перпенди-

кулярно к CF (оси линзы) на фокальном расстоянии от линзы, то все лучи света от звезды, падающие на линзу, запечатлеваются на пластинке в одной и той же точке. В результате получается фотографическое изображение звезды, которое представляет собой сумму всех этих частичных эффектов. Следовательно, характер изображения зависит от площади, обращенной к падающему пучку света линзы, или, как ее обычно называют, объектива, или, точнее, от квадрата его диаметра AB . Так например, при одной и той же экспозиции собирающая сила линзы с диаметром в 12 см в четыре раза больше, чем у линзы с диаметром в 6 см. Описанная схема представляет собой просто схему обычной фотографической камеры и в основном дает

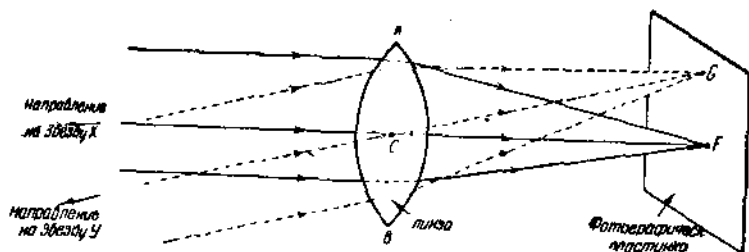


Рис. 25. Принцип устройства фотографического телескопа.

форму фотографического рефрактора. То свойство линзы, на которое мы здесь указываем, есть ее светосила; чем больше линза, тем большее количество света падает на нее и собирается в изображении.

Пусть на рис. 25 лучи от звезды X , падающие на линзу, параллельны оптической оси CF . Пусть CY — направление на другую звезду (на рис. 25 пунктирные линии представляют пучок падающих от этой звезды лучей, их пути сквозь линзу и их схождение к фокусу пластинки в G). Угол XCY есть тот угол, под которым две звезды видны на небе, и он равен углу GCF . Следовательно, чем больше фокальное расстояние, тем дальше друг от друга окажутся изображения на фотографической пластинке. Один из важных разделов астрономии занимается специально фотографическими измерениями крошечных углов порядка сотых долей (и меньше) секунды дуги; успех возможен только в том случае, если соответствующее смещение на фотогра-

фической пластинке можно точно измерить; для этого необходимы как подходящее фокальное расстояние телескопа, так и достаточно точная измерительная машина. Например, иеркский рефрактор имеет объектив с диаметром в 40 дюймов и с фокальным расстоянием в 64 фута (19,5 м); следовательно, угол в 1" на небе представляется на фотографической пластинке расстоянием в 0,1 мм; причем расстояния в 0,01 мм (или даже меньше) еще доступны измерению.

С оптической точки зрения глаз представляет собой систему линз, получающих пучок параллельных лучей и соединяющих их в фокусе на светочувствительной сетчатой оболочке. На рис. 26 объектив телескопа превращает падающий от звезды параллельный пучок в сходящийся

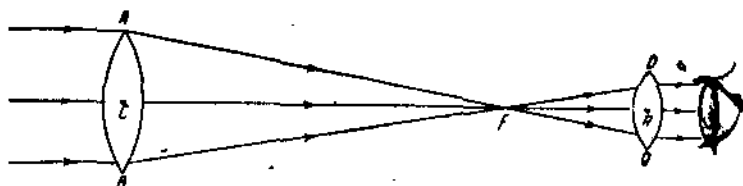


Рис. 26. Принцип устройства визуального телескопа (рефрактора).

конус лучей, проходящих через точку F . Если линзу PQ поместить в R дальше F так, что F будет также фокусом последней линзы, то конус лучей, выходящий из F , превратится в параллельный пучок, который по входе в глаз пройдет через фокус на сетчатке; вследствие этого звезда будет отчетливо видна. Диаметр зрачка глаза (свободного отверстия глазной линзы) равен самое большее $\frac{1}{3}$ дюйма (8 мм). Следовательно, телескоп с диаметром объектива в 1 дюйм соберет в видимое изображение в девять раз больше света, чем войдет в невооруженный глаз; иными словами, если одна из двух звезд находится как раз на границе видимости невооруженным глазом, а другая посылает только $\frac{1}{9}$ количества света первой, то более слабая будет как раз на границе видимости в телескоп с объективом в 1 дюйм. На границе видимости в иеркский телескоп будут находиться звезды, посылающие только $\frac{1}{14000}$ часть света слабейшей звезды, видимой невооруженным глазом.

Увеличение, даваемое окулярами, равно отношению фокального расстояния объектива к фокальному расстоянию

окуляра. Увеличение телескопа возрастает с уменьшением фокального расстояния окуляра.

Таковы принципы устройства простейшего астрономического рефрактора; здесь мы не можем рассматривать все те видоизменения, которые введены в телескопы, ныне употребляющиеся на больших обсерваториях. Перейдем к краткому рассмотрению второго класса астрономических телескопов, именно рефлекторов.

Отражающий телескоп был изобретен в 1668 г. Ньютоном. Закон отражения заключается в следующем. Луч света AB (рис. 27а), падающий на гладкую отражающую поверхность (или зеркало) в точке B , отражается в направлении BC так, что если BN — перпендикуляр к поверхности в точке B , то угол CBN равен углу ABN , и отраженный луч лежит в плоскости AB и BN . В больших астрономических

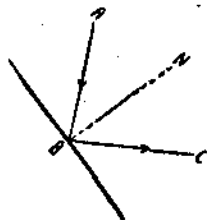


Рис. 27а.

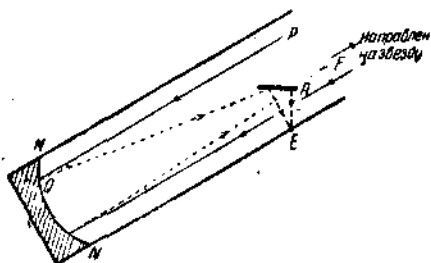
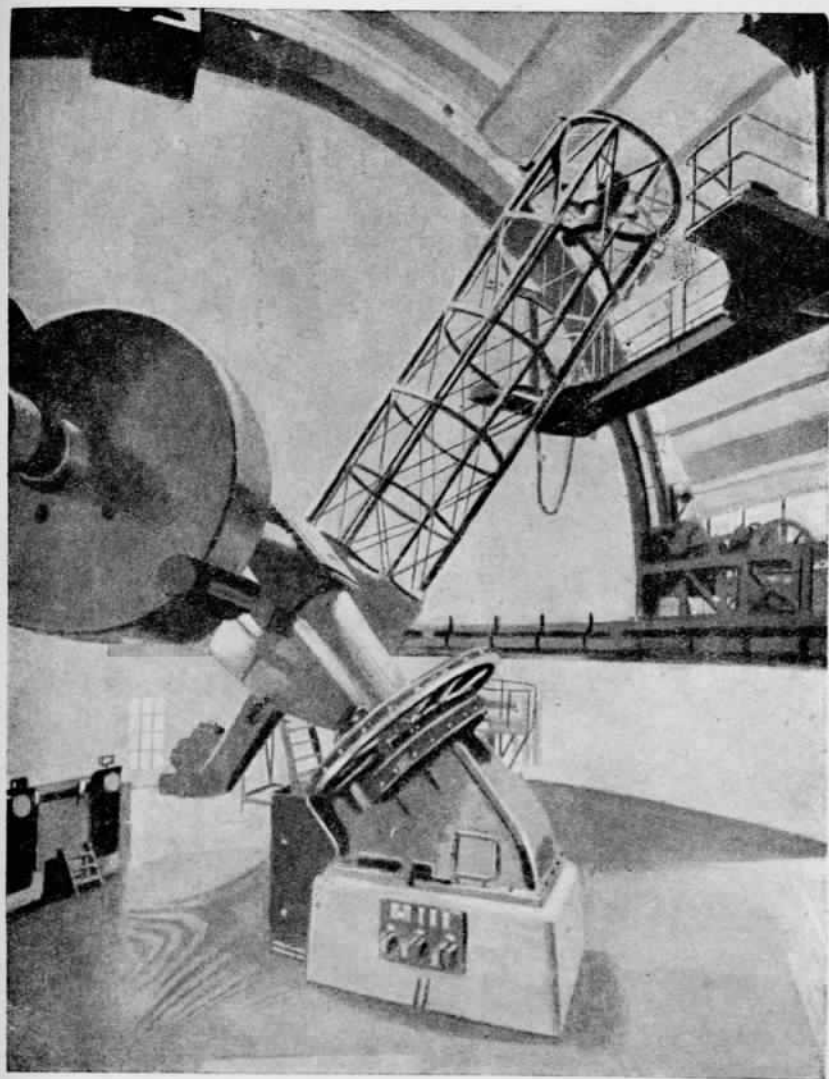


Рис. 27б. Принцип устройства отражающего телескопа (рефлектора).

телескопах употребляется зеркало с параболической поверхностью, обладающее тем геометрическим свойством, что оно превращает падающий на зеркало MN параллельный пучок лучей например PQ на рис. 27б, в конус отраженных лучей, сходящихся в точке F . Однако положение точки F , очевидно, неудобно для наблюдений. Поэтому в ньютоновой форме телескопов в точке A внутри трубы или клетки телескопа помещается небольшое плоское зеркало под углом в 45° к оси зеркала MN ; оно отклоняет сходящийся пучок света к точке E , в сторону от трубы, где изображение можно фотографировать или изучать при помощи окуляра. Фокальное расстояние зеркала есть расстояние между F и зеркалом MN ; в действительности фокальное расстояние можно увеличить различными способами, которых нам здесь едва ли стоит касаться. Наи-



72 дюймовый рефлексор обсерватории в Виктории.

большин в настоящее время рефлектор есть гукеровский телескоп на Маунт-вилсоновской обсерватории в Калифорнии; зеркало представляет собой стекло с посеребренной отражающей поверхностью; диаметр его равен 100 дюймам (около 2,5 м), толщина — 30 см и вес — 5 т. Фокальное расстояние зеркала равно 12,5 м, но при помощи упомянутых способов его действительная длина может быть увеличена до 40 и даже до 75 м. При этом фокальном расстоянии изображения двух звезд, видимых на небе под углом в 1", будут отстоять друг от друга на фотографической пластинке примерно на 0,4 мм. Снимок II изображает

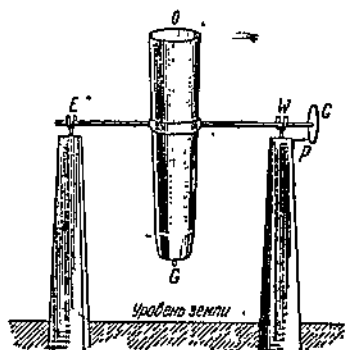


Рис. 28а Принцип устройства меридианного круга.

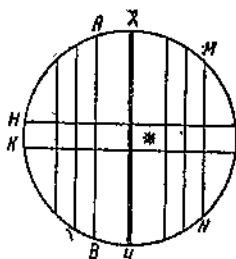


Рис. 28б.

72-дюймовый (182 см) рефлектор Доминионской обсерватории в Виктории (в Британской Колумбии).

Основным инструментом в астрономии является меридианный круг, изображенный схематически на рис. 28а. По существу это тот же рефрактор, только смонтированный особым способом. Труба телескопа может вращаться около горизонтальной оси EW , направленной с востока на запад. Упоры этой оси помещены на двух массивных подставках. В фокальной плоскости F объектива O помещается подвижная рама, снабженная рядом натянутых параллельных паутинки. На рис. 28б изображены семь таких паутинки или, как они обычно называются, нитей, объединенных в две группы, по три с каждой стороны от центральной нити XU . При идеальной установке инструмента линия, соединяющая центр объективов с центром нити XU , при

вращении телескопа около оси EW движется в плоскости меридиана. Если телескоп направлен, например, в зенит, то наблюдатель будет видеть, как каждая звезда появляется в поле зрения и медленно пересекает его; в тот момент, когда какая-нибудь звезда кажется расположенной на центральной нити XU , она находится в меридиане. Если в этот момент заметить показание часов, идущих по точному звездному времени, то, согласно главе II, полученное звездное время будет равно прямому восхождению звезды. На практике отмечаются моменты прохождения звезды через несколько нитей (например через семь нитей, рис. 28b), чтобы обеспечить большую точность. Наоборот, если замечать по звездным часам моменты прохождения звезд, прямое восхождение которой точно известно, то получается ошибка показания часов; такие наблюдения делаются каждую ночь, чтобы определить скорость, с которой часы отстают или идут вперед. Истинное звездное время в некоторый момент может быть переведено в истинное гринвичское среднее время (GMT), соответствующее этому моменту; отсюда определяется также ошибка часов, идущих по гринвичскому среднему времени. Для получения возможно большей точности в течение ночи наблюдается несколько звезд (известных под названием «часовых звезд»); эти комбинированные наблюдения позволяют определить время в данный момент с точностью порядка одной сотой доли секунды.

Таким образом передача станциями радиосигналов времени, производимая непосредственно от точных часов обсерваторий, по существу целиком зависит от подобных наблюдений звезд. Рама с нитями имеет обычно также пару горизонтальных нитей (H и K на рис. 28b), которые позволяют определить зенитное расстояние звезд. Предположим для простоты, что эти нити закреплены на раме и что телескоп можно осторожно установить так, чтобы звезда пересекала поле зрения между двумя горизонтальными нитями. Горизонтальная ось EW телескопа снабжена кругом S с мелкими делениями и указателем P (или несколькими указателями) с соответствующими оптическими приспособлениями, позволяющими делать отсчеты на круге для данного положения телескопа в меридиане. Поскольку можно получить отсчет круга, соответствующий направлению телескопа точно в зенит, разность между двумя отсчетами даст зенитное расстояние наблюдаемой

звезды. Эти отсчеты получаются следующим образом. Телескоп направляют вниз к чаше со ртутью, расположенной на уровне почвы или ниже; при помощи соответствующего приспособления можно осветить нити, так что изображения их, образуемые отражением от поверхности ртути, могут быть видимы одновременно с самими нитями. Будем постепенно двигать телескоп до тех пор, пока пара изображений не совпадет с парой горизонтальных нитей; тогда отсчет круга будет соответствовать тому положению телескопа, когда он направлен в точности вертикально вниз; следовательно, прибавив 180° , получим отсчет для зенита. Широта телескопа известна из специальных наблюдений с необходимой точностью; следовательно, измеренное зенитное расстояние звезды в соединении с известной широтой позволяет нам определить склонение звезды.

В этом кратком описании меридианного круга мы не указали на многие трудности, имеющие практическое значение; например, ось вращения телескопа никогда не направлена точно на восток-запад и обычно не вполне горизонтальна. Подобные ошибки должны быть выявлены путем вспомогательных опытов и наблюдений, и их влияние тщательно учитывается в каждом наблюдении. Мы отбросили также, например, влияние рефракции — слабое искривление луча света от звезды при прохождении сквозь земную атмосферу. Эти и другие причины требуют большого технического искусства при пользовании прибором.

Большого увеличения точности, с которой определяются моменты прохождения звезды через нити в поле зрения меридианного круга или пассажного инструмента, удалось в последнее время достичь при помощи хронографа; это просто прибор, записывающий удары звездных часов на движущейся ленте или на вращающемся барабане.

В одной модели лента движется при помощи часового механизма с постоянной скоростью под пером, прикрепленным к арматуре электромагнита. Маятник звездных часов каждую секунду мгновенно замыкает электрическую цепь; электрический ток проходит по электромагниту, заставляя перо вздрагивать, что отмечается на черте, непрерывно проводимой пером на ленте (см. верхнюю черту на рис. 29). Второе перо проводит черту, параллельную первой; оно приводится в действие наблюдателем, нажимающим ключ в тот момент, когда звезда пересекает каждую из вертикальных нитей (это показано на нижнем следе на рис. 29).

Таким образом наблюдения постоянно и автоматически записываются.

Другой способ заключается в подвижной нити, которую наблюдатель перемещает через поле зрения так, чтобы звезда оставалась постоянно на ней; в нескольких точках автоматически получается контакт (соответственно нескольким нитям рис. 28b), и время, записанное пером, можно легко определить впоследствии.

Основная функция меридианного круга состоит в точном определении прямых восхождений и склонений всех звезд, достаточно ярких для наблюдения с этим прибором; результаты наблюдений, полученные на различных обсерваториях, собраны в звездных каталогах; много сотен их пришлось опубликовать со времени Брадлея (1693—1762), деятельность которого как королевского астронома памятна несколькими замечательными открытиями и прекрасными

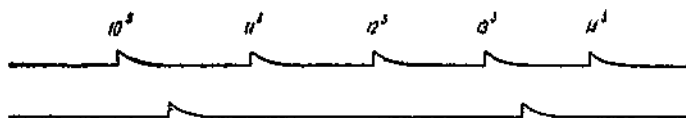


Рис. 29.

наблюдениями звездных положений, имеющими еще и теперь столь большую ценность. Хотя слабейшие звезды неба теперь наносятся на карту при помощи фотографического телескопа, меридианный круг все же остается основным инструментом для определения прямых восхождений и склонений Солнца, Луны, планет и главных звезд. Подобные наблюдения в соединении с законом всемирного тяготения позволяют вычислить положение тел солнечной системы на много лет вперед; предсказанные положения и другие явления публикуются в ежегодниках обычно по поручению и под ответственностью различных правительств. Из таких изданий английским адмиралтейством издается морской ежегодник, называющийся «Nautical Almanac»,¹ причем, как показывает самое его название, он был первоначально специально предназначен для предоставления морякам необходимых астрономических све-

¹ У нас также издается наш советский морской ежегодник Астрономическим институтом в Ленинграде. (Прим. ред.)

дений, на основании которых они могут, как мы сейчас увидим, определять свое положение на море.

Астрономический инструмент, употребляемый на море, называется секстантом; это простой ручной прибор, при помощи которого моряк может измерить высоту какого-либо небесного светила над морским горизонтом. Этот прибор изображен в общих чертах на рис. 30. Дуга KL круга с центром в Q закреплена на металлической раме. Рычаг QR с указателем P свободно вращается около Q . К этому подвижному рычагу прикреплено зеркало I , поставленное

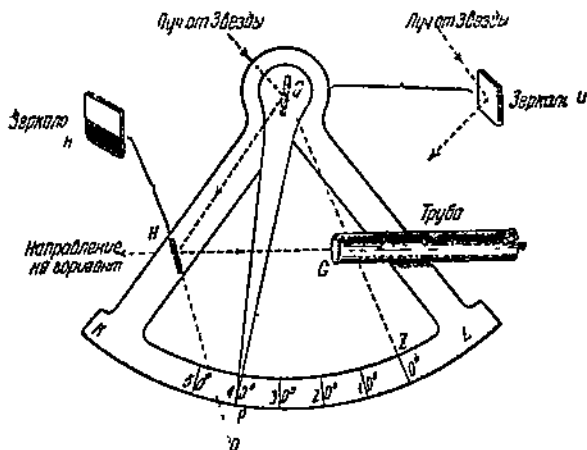


Рис. 30. Секстант.

перпендикулярно к плоскости рамы; к самой раме прикреплено стекло H , также перпендикулярно к его плоскости. Нижняя половина H посеребрена и действует поэтому как зеркало, в то время как верхняя половина прозрачна. К раме прикреплена небольшая подзорная трубка, как показано на рисунке. Чтобы найти высоту звезды над морским горизонтом, наблюдатель держит инструмент вертикально так, что линия горизонта видна ему в поле зрения трубы и лучи света от горизонта проходят через прозрачную верхнюю половину стекла H . Далее, он передвигает рычаг QR с зеркальцем I до тех пор, пока изображение звезды не попадет на линию горизонта. В этом случае путь луча от звезды будет следующий: луч падает на зеркальце I и отражается по линии IN ; падая на нижнюю

половину H (зеркальную), он снова отражается и проходит затем сквозь объектив G трубки; таким образом звезда оказывается в поле зрения на линии горизонта. Из простых геометрических соображений видно, что высота звезды равна двойному углу между плоскостями зеркала I и стекла H ; этот последний угол, обозначенный на рисунке HOQ , измеряется при помощи указателя P и разделенной дуги KL (нуль шкалы соответствует такому положению подвижного рычага, когда зеркало I параллельно стеклу H). Этим путем получается высота звезды над морским горизонтом. Учтя соответствующим образом рефракцию и свою высоту над уровнем

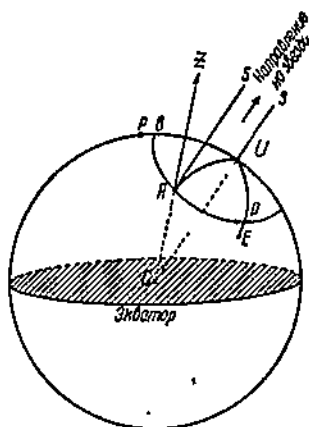


Рис. 31.

моря (морской горизонт представляется слегка опущенным по отношению к истинной горизонтальной плоскости на величину, зависящую от высоты наблюдателя над уровнем моря), наблюдатель немедленно получает зенитное расстояние звезды в момент наблюдений. Это время замечается при помощи хронометра, идущего возможно более точно по среднему гринвичскому времени; в свою очередь ошибки хронометра легко определяются по радиосигналам времени, так что среднее гринвичское время наблюдения точно известно. Здесь важно заметить, что наблюдение дает зенитное расстояние звезды в точно известный момент по среднему гринвичскому времени. На земной поверхности существует точка, для которой эта звезда в данный момент находится как раз над головой; положение этой точки можно легко вычислить на основании данных из «Nautical Almanac». Пусть это будет U на рис. 31. Предположим на минуту, что точка A показывает истинное положение корабля; зенит наблюдателя будет тогда на продолжении CA , т. е. в направлении CAZ . Звезда наблюдается в направлении AS , которое параллельно CUS , так как звезда находится на огромном расстоянии; следовательно, зенитное расстояние ZAS , непосредственно определяемое наблюдением с секстантом, равно углу ACU . В известный момент по среднему гринвичскому

времени точка U на земной поверхности есть вполне определенная и доступная вычислению точка; зенитное расстояние звезды точно так же известно. Следовательно, корабль находится где-нибудь на малом круге BAD , все точки которого имеют одинаковое угловое расстояние от U ; последнее равно зенитному расстоянию звезды, полученному из наблюдений с секстантом. В результате подобного рода наблюдений вычисляется, что корабль находится на определенном малом круге на земной поверхности, называемом сомнеровой кругом.

Мореплавателю обычно знает с достаточной точностью скорость и направление движения своего корабля и, основываясь только на этих двух фактах, он мог бы указать приближенное положение корабля в любой момент путем простого графического построения на карте; полученное таким путем положение называется счислимым местом. В лучшем случае оно может быть довольно близким к истинному положению корабля в данный момент, но в худшем, вследствие неизвестных течений, не поддающихся вычислению влияния ветра и пр., оно может оказаться столь ошибочным, что излишняя уверенность в правильности подобного вычисленного положения может оказаться опасной для корабля. Однако мы уже видели, что одно единственное наблюдение звезды (или какого-нибудь другого небесного светила) дает мореплавателю определенную сомнерову линию, на которой корабль находится в момент наблюдений; кроме того ему известно счислимое место корабля, до некоторой степени близкое к истинному положению корабля. Пусть приближенное положение корабля будет в точке E на рис. 31, и пусть большой круг через U и E пересекает сомнерову линию в точке D . Если широта и долгота точек U и E известны, то можно вычислить длину дуги UE ; дугу UD мы знаем по зенитному расстоянию звезды; отсюда определяется ED , т. е. расстояние счислимого места от сомнеровой линии. Поскольку E является приближением к истинному положению корабля и поскольку наблюдения с секстантом наметили определенную сомнерову линию, на которой должен находиться корабль, мореплавателю интересует лишь небольшая часть последнего, находящаяся в непосредственном соседстве с E . Направление на U из E можно вычислить или, что практически то же самое, можно найти направление с корабля на звезду с достаточной степенью точности при помощи

компаса. Наиболее важная для нас часть сомнерова круга таким образом перпендикулярна к направлению на звезду. Далее мореплаватель наносит свои данные на карту следующим образом (рис. 32). Из E — счислимого места — он проводит прямую линию ES в направлении, заданном местоположением звезды; отметив расстояние ED , найденное вышеуказанным способом, он проводит через D прямую линию, перпендикулярную к ES ; тогда оказывается, что наблюдение звезды показывает, что корабль в момент наблюдения должен был находиться на прямой линии XU , называемой сомнеровой линией.

Для точного определения положения мореплавателю требуется два таких наблюдения звезд. Пусть они сделаны

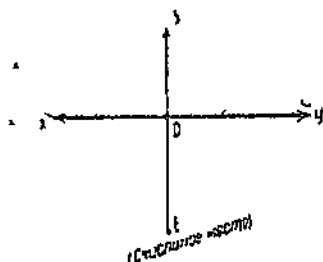


Рис. 32. Сомнерова линия.

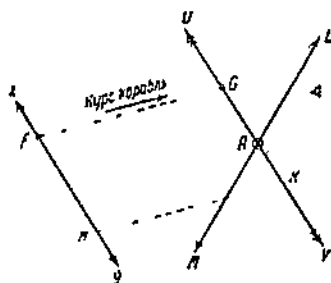


Рис. 33.

одновременно; в результате каждого из них получается определенная сомнерова линия; пересечение этих двух линий и даст истинное положение корабля в момент наблюдения. Если наблюдения не одновременны, то движение корабля учитывается следующим образом. Пусть в 6 час. после полудня в результате наблюдения звезды найдена сомнерова линия XU (рис. 33), и пусть в 7 час. после полудня получено подобное же наблюдение другой звезды. Если в 6 час. корабль находился в F , то в 7 час. он займет положение K . Если наблюдение в 6 час. помещает корабль на линию XU , то в 7 час. его положение будет где-то на линии UV , представляющей собой просто линию XU , смещенную параллельно самой себе, согласно ходу корабля между 6 и 7 часами. Наблюдение второй звезды в 7 час. приводит к тому, что корабль должен находиться на сом-

неровой линии LM . Отсюда в 7 час. положение корабля будет в точке A , являющейся пересечением LM и UV .

Согласно этому принципу, нет необходимости делать наблюдения двух различных небесных тел, если между двумя наблюдениями пройдет достаточно времени для того, чтобы положения тела, а следовательно и получающиеся в результате сомнеровы линии, отличались друг от друга по направлению по меньшей мере на $30-40^\circ$. Например, два наблюдения Солнца с промежутком в 3—4 часа позволяют определить положение корабля в момент второго наблюдения. Ясно, что в этом случае неточная оценка скорости и направления движения корабля между двумя наблюдениями вызывает ошибочное смещение первой сомнеровой линии; вследствие этого и положение, получающееся в результате двух наблюдений с секстантом, также заключает в себе некоторую ошибку.

Глава пятая

СОЛНЦЕ

Значение Солнца для органической жизни на Земле всем известно, и этот факт вряд ли нуждается в доказательствах. Солнце представляет собой прямо неиссякаемый источник световой и тепловой энергии, без которого жизнь, как известно, была бы невозможна. Луна и планеты не являются самоосвещающимися телами и видимы нам с Земли только благодаря отраженному солнечному свету; из больших тел солнечной системы только одно Солнце — самоосвещающееся. В телескоп обнаруживаются миллионы светящихся точек — наглядное доказательство бесчисленности множества звезд, которые сами светятся подобно Солнцу. Мы считаем, что Солнце есть только одна из единиц в большой звездной галактике. Следовательно, изучение Солнца есть изучение одной из звезд, именно самой близкой из них; рассмотрение вопроса о том, является ли оно типичным представителем множества других звезд, мы отложим до дальнейшего. Однако изучение Солнца следует рекомендовать не только из чисто астрономического интереса: в следующей главе мы увидим, что в грандиозной лаборатории, какой является Солнце, можно с успехом изучать проблемы, связанные со строением материи. В настоящей главе мы займемся проблемами и явлениями, более непосредственно относящимися к Солнцу.

Солнце представляет собой шарообразное тело, и мы можем легко измерить угол, под которым диаметр его виден с Земли; круглым числом он равен в среднем $32'$ дуги. Этот угол не вполне постоянен, а меняется изо дня в день, так как Земля обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, и расстояние между Землей и Солнцем слегка меняется в течение года; поэтому, когда Земля находится ближе всего к Солнцу, то солнечный диаметр виден с Земли под самым большим углом, и наоборот. Эти колебания заключаются в пределах от $32',6$ до $31',5$. Обратим наше внимание на угловой полудиаметр Солнца, соответ-

ствующий среднему расстоянию Земли от Солнца. Если мы будем знать последнее в километрах, мы можем по наблюдаемому значению первого вычислить диаметр Солнца также в километрах. Мы пока отложим описание методов, употребляемых для определения расстояния Земли от Солнца, указав все же результат подобных исследований: среднее расстояние земли от Солнца оказалось равным 149,5 млн. км. Теперь перед нами простая геометрическая задача: какова длина солнечного диаметра в километрах, если на расстоянии 149,5 млн. км он виден под углом в $32'$? Ответ получается, что солнечный диаметр равен 1 400 000 км, т. е. немного больше стократного диаметра Земли. Сравнив объем Солнца и Земли, найдем, что объем Солнца в 1 300 000 раз больше объема Земли. Следующим шагом является определение количества вещества на Солнце, т. е. солнечной массы. В главе III мы уже изложили метод, при помощи которого можно найти отношение массы Солнца к массе планеты, подобной Юпитеру или Земле. В частности мы указали, что Солнце в 330 000 раз массивнее Земли. Если нам требуется определить массу Солнца, например в тоннах, то мы должны сначала знать массу Земли в тоннах. Земная масса измерялась различными методами, которые все основаны на законе тяготения. Сообщим ответ: масса Земли равна около 5 000 миллионов миллионов миллионов тонн. Отсюда можно и солнечную массу вычислить в тоннах. С первого взгляда может показаться, что это число имеет весьма мало теоретического и практического значения. Однако при рассмотрении внутреннего строения звезд мы увидим, что из этой числовой оценки солнечной массы вытекают важные следствия для теории звездной эволюции. По объему и массе Солнца можно определить среднюю плотность солнечного вещества, которая оказывается равной 1,4; значит, солнечная масса в 1,4 раза больше массы шара воды одинаковых размеров. Средняя плотность Земли равна 5,5, превосходя, следовательно, солнечную приблизительно в 4 раза.

Мы уже имели случай привести результат определения среднего расстояния Земли от Солнца (астрономической единицы расстояния); сейчас мы сообщим кое-какие сведения о тех методах, при помощи которых оно измерено. Это по существу задача геодезической съемки, по принципу сходная с обычными способами измерений земной по-

верхности. Если при геодезической съемке земли требуется определить расстояние точки A до удаленного объекта C , то производятся точные измерения базисной линии AB (рис. 34) и углов между направлениями AC и AB и между направлениями BC и BA ; последнее можно сделать, например, при помощи теодолита. Тогда можно вычислить элементы треугольника ABC и в частности расстояние C от A . При земных топографических съемках всегда возможно выбрать базисную линию достаточной длины по сравнению с искомым расстоянием, чтобы получить результаты с высокой степенью точности. При астрономических же определениях расстояний измеряемая базисная линия не может превосходить диаметра Земли, так что она всегда меньше 12 000 км. Чтобы показать на простом при-



Рис. 34.

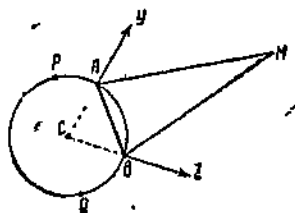


Рис. 35. Измерение расстояния до Луны.

мере применение «астрономической съемки», определим расстояние до нашего ближайшего соседа — Луны. Для простоты предположим, что имеются две обсерватории A и B , одна в северном, а другая в южном полушарии, расположенные на одном меридиане $PABQ$ (рис. 35). Вследствие этого Луна будет на обеих обсерваториях проходить через меридиан в один и тот же момент времени; на каждой из станций A и B можно измерить при помощи пасажного инструмента зенитное расстояние Луны (на практике наблюдается какая-нибудь хорошо заметная лунная гора). В точке A направление на зенит есть CAU , и зенитное расстояние Луны измеряется углом UAM ; в точке B направление на зенит есть CBZ , и зенитное расстояние измеряется углом ZBM . Широты обсерваторий A и B мы можем считать известными, и таким образом мы можем определить элементы треугольника ABC и в частности расстоя-

ние AB (базисную линию) и углы CAB и CBA ; поскольку углы YAM и MBZ известны из наблюдений, мы найдем углы MAV и MBA . Зная же базис AB , мы сведем дело к тому простому случаю, который изображен на рис. 34. Таким образом получается расстояние AM , а некоторые дополнительные вычисления дадут и расстояние MC . Этим способом измерено расстояние между центрами Луны и Земли, равное в среднем 380 000 км. В этом в общих чертах заключается применяемый метод; по существу мы имеем здесь дело лишь с распространением на небесные светила часто применяемого на земле простого метода топографической съемки. Однако мы не можем пользоваться этим же способом при измерении расстояния до Солнца. Во-первых, Солнце не является твердым телом, подобным Луне, с резко очерченными и неизменными верхами вроде лунных вершин, которые видны очень отчетливо. Во-вторых, расстояние до Солнца настолько велико по сравнению с максимальным базисом на Земле, что угол, под которым этот базис виден с Солнца, слишком мал для точного измерения при помощи пассажного инструмента. С первого взгляда задача определения солнечного расстояния представляется неразрешимой. Однако мы видели, что третий закон Кеплера сам по себе достаточен, чтобы дать картину планетных орбит в произвольной шкале; действительно, поскольку периоды обращения планет нам точно известны, можно вычислить отношение средних расстояний любых двух планет от Солнца. Расстояние Земли от Солнца принимается за астрономическую единицу длины, а следовательно и средние расстояния других планет можно выразить в этой единице. Таким образом мы получим карту солнечной системы, и все, что нам теперь требуется, — это определить расстояние от Земли до Солнца в километрах, т. е. найти масштаб для карты. По карте Англии без масштаба мы не сможем вычислить расстояние от Лондона до Йорка; но если нам известно, что расстояние между Оксфордом и Кембриджем равно столько-то километрам, то эти сведения позволяют нам установить масштаб и получить затем расстояние от Лондона до Йорка в километрах. Также обстоит дело и с астрономической задачей; если бы удалось измерить расстояние от Земли до какой-либо планеты в некоторый отдельный момент, то мы получили бы масштаб для карты солнечной системы а в частности и расстояние от Земли до Солнца, выраженное в километрах.

Преимущества этого способа очевидны. Во-первых, планеты имеют сравнительно малый диск, а малые планеты в телескопе по виду не отличимы от звезд; поэтому и наблюдения можно сделать со сравнительно малой ошибкой. Во-вторых, если наблюдать подходящую для указанной цели планету, то ее расстояние может быть много меньше расстояния Земли от Солнца. Это последнее обстоятельство иллюстрируется рис. 36, на котором нанесены орбиты

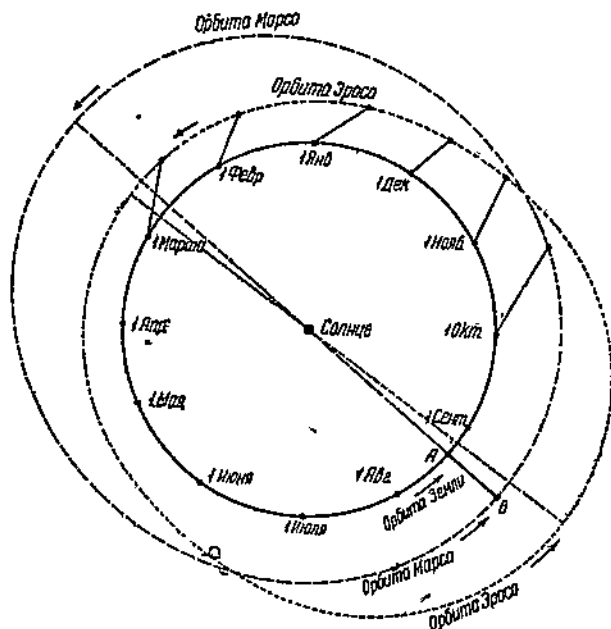


Рис. 36.

Земли, Марса и малой планеты Эроса. Рассмотрим сначала орбиты Земли и Марса; первая почти круговая, вторая же имеет явно выраженную эллиптичность. Когда Солнце, Земля и планета расположены на прямой линии, то говорят, что планета находится в оппозиции, так что в полночь она будет на меридиане наблюдателя. Наиболее выгодна та оппозиция Марса, которая бывает около 24 августа; тогда расстояние между Землей (в точке А) и ближайшей точкой В на орбите Марса равно приблизительно 56 млн. км. Менее благоприятная оппозиция бывает в феврале; тогда

расстояние между Землей и ближайшей точкой на орбите Марса равно 97 млн. км. Задача измерения солнечного расстояния сводится к более простой задаче определения расстояния до Марса, которое при наиболее благоприятных условиях близко к 56 млн. км. В результате длинного ряда наблюдений Марса, произведенных на острове Вознесения Давидом Гиллом во время оппозиции 1877 г., было определено расстояние до Марса и тем самым получено надежное значение расстояния от Земли до Солнца. Однако в 1898 г. была открыта малая планета, названная Эросом; она предоставляла еще большие возможности для точного определения астрономической единицы расстояний. Орбита Эроса показана на рис. 36. Как видно, она значительно ближе подходит к орбите Земли, чем орбита Марса; при наиболее благоприятной оппозиции расстояние между Землей и Эросом равно всего около 22 млн. км. Во время оппозиции 1900—1901 гг. были проведены обширные наблюдения Эроса (о которых мы далее расскажем подробнее).

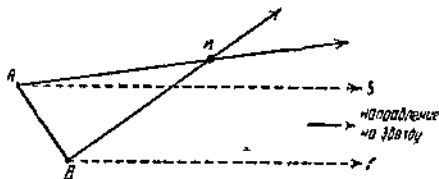


Рис. 37

На рис. 36 показаны относительные положения

Земли и Эроса между 1 октября 1900 г. и 1 марта 1901 г.

В чем заключаются эти наблюдения и какой базис был принят на практике? Предположим, что на рис. 37 имеются два наблюдателя — один в A , другой в B , причем A и B — две точки на поверхности Земли; каждый наблюдатель может измерить угол между планетой M и некоторой звездой S , каким он ему виден в поле зрения телескопа. Если наблюдения делаются одновременно, то интерпретация их заключается в следующем (предположим для простоты, что направление на звезду лежит в плоскости ABM). Для наблюдателя в A угол между направлением на M и направлением на звезду есть MAS . Наблюдатель в B измеряет угол между направлением на M и направлением на звезду, т. е. MBS , но расстояние до звезды почти бесконечно по сравнению с расстоянием AB ; следовательно, BS параллельна AS , и разность между углами, измеренными в A и B , равна просто углу AMB . Это дает все данные, необходимые для решения задачи, и после ряда вычисле-

слегка изменила свое положение и поэтому группа изображений звезд, полученных в 6 час. утра, не совпадает точно с первой группой изображений). Изображения в 6 час. утра отмечены кружками для отличия их от первой группы, т. е. полученных в 6 час. вечера. Следовательно, изображение каждой звезды, полученной в 6 час. утра на пластинке, представляется смещенным относительно изображения в 6 час. вечера на постоянную и легко измеримую величину. Если бы планета находилась на бесконечном расстоянии, то ее изображения в 6 час. вечера и в 6 час. утра сместились бы друг относительно друга на ту же самую величину, что и звезды, т. е. из P в X . Однако, вследствие ее относительной близости к Земле, направление на планету изменилось по сравнению со звездами благодаря перемене положения наблюдателя, и ее изображение оказалось, например, в Y . Это смещение из X в Y соответствует, следовательно, изменению направления на планету с различных концов базиса, определяемого положением наблюдателя в пространстве в 6 час. вечера и в 6 час. утра. В основном задача таким образом сводится к измерению произвольных смещений звезд A , B и пр. в миллиметрах или долях миллиметра. Из этих измерений получается точная оценка смещения PX . Изображения планеты на пластинке суть, разумеется, P и U ; измерив смещение PU , выведем, наконец смещение XU . Масштаб фотографической пластинки известен, так как мы просто сопоставляем расстояние между изображениями двух звезд на пластинке с их угловым расстоянием на небесной сфере. Так получается угол, под которым базис виден с планеты (аналогично углу AMB на рис. 37).

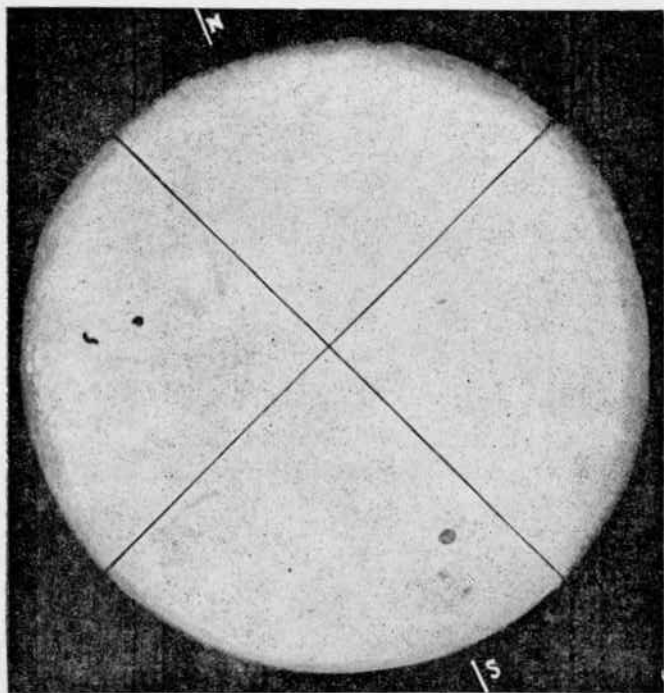
Во время оппозиции Эроса в 1900—1901 гг. не меньше 18 телескопов были заняты фотографированием Эроса. При наибольшем приближении Эроса к Земле диаметр последней виден с планеты под углом в $53''$ дуги. На пластинках, полученных в Кембридже, этот угол соответствует смещению изображений (XU на рис. 38) несколько больше чем на 1 м.м. Перед обсерваториями стояла практическая задача попытаться измерить смещение планетных изображений с такой точностью, чтобы вычисленное в конце концов расстояние до Солнца было правильным по крайней мере до одной тысячной. Нам здесь нет необходимости входить во все детали тех больших трудностей и огромной работы, которая во время кампании по наблюдению Эроса лежала

как на обсерваториях, производящих наблюдения, так в особенности на астрономе Кембриджской обсерватории А. Р. Хинксе, ответственном за увязку и дискуссию всех наблюдений Эроса. В результате многолетней работы было получено, что угол, под которым радиус Земли виден с Солнца, равен $8,807''$; этот основной угол называется солнечным параллаксом. Зная этот угол и радиус Земли, получили расстояние от Земли до Солнца, равное 149,5 млн. км.

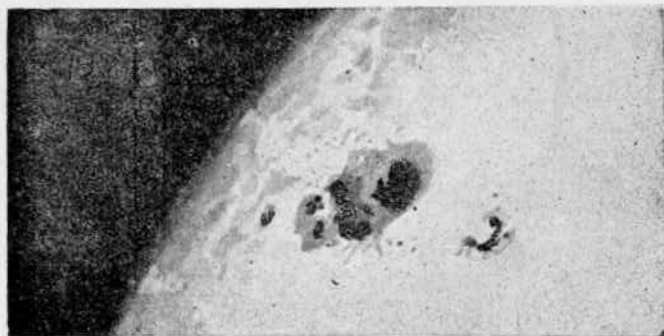
Следующая благоприятная оппозиция Эроса имела место в 1930—1931 гг., когда совместная работа, подобная только что описанной, была поставлена еще более широко.¹ То обстоятельство, что целый ряд астрономов тратит несколько месяцев на довольно утомительную наблюдательную работу и затем несколько лет на кропотливые вычисления, требуемые задачей, ясно говорит о большой роли, которую играет точное знание солнечного параллакса.

В нашу задачу не входит описание всех как прямых, так и косвенных методов, при помощи которых астрономы пытались в течение почти двух столетий определить основную единицу расстояния в астрономии; достаточно упомянуть, что всякое небесное явление, хоть в какой-нибудь мере могущее быть использованным в этом отношении, было рассмотрено для определения солнечного параллакса. Стоит, однако, дать краткое описание одного косвенного метода, основанного на явлении аберрации. Обычное, не совсем точное (по аналогии) объяснение этого явления заключается в следующем: чтобы во время дождя использовать должным образом зонтик, при вертикальном падении дождевых капель его следует слегка наклонять вперед на угол, который определяется из опыта, но который зависит от скорости дождевых капель и от скорости ходьбы. Если дождевые капли падают под некоторым углом к вертикальной линии, то необходимо также соответственно наклонить зонтик; во всяком случае опыт показывает, что наилучшая защита получается, если держать зонтик в направлении, несколько отличающемся от направления падающих капель. Поток света от звезды движется с огромной скоростью 300 000 км/сек; хотя скорость движения Земли и наблюдателя и велика по сравнению с обычными для нас скоростями, но по отношению к скорости света она представляет

¹ Общая обработка наблюдений в настоящее время еще не закончена. (Прим. ред.)



а. Непосредственный снимок солнца.



б. Большое солнечное пятно 20 января 1926 г.

собой лишь небольшую, однако поддающуюся оценке долю. Вследствие этого при наблюдении определенной звезды телескоп следует направлять не совсем так, как это пришлось бы делать в случае полной неподвижности Земли относительно звезды. Это направление изю дня в день меняется, причем изменение можно легко обнаружить, измеряя склонения и прямые восхождения звезды при помощи пассажного инструмента через некоторые промежутки в течение года. Под влиянием абберации, как называется это явление, звезда описывает на небесной сфере небольшой эллипс, большая полуось которого, как оказалось, равна $20,5''$. По этой величине и по известной скорости света найдена скорость Земли по ее орбите. Период обращения Земли известен; следовательно, легко получаются размеры орбиты и по ним, наконец, расстояние Земли от Солнца.

Перейдем теперь к описанию самого Солнца и его особенностей, иллюстрированных на фотографии (картина III а). Солнце представляет собой огромный газовый шар, излучающий в пространство огромное количество световой и тепловой энергии, лишь очень незначительная доля которого перехватывается Землей. Поверхность, которая излучает этот поток радиации, называется фотосферой. Уменьшение яркости солнечного диска к краям (так называемое потемнение к краям) есть одна из особенностей, заметная лучше на фотографии, чем при визуальном наблюдении Солнца. Потемнение к краям указывает на присутствие поглощающей атмосферы; действительно, ее влияние на краях будет наибольшим, так как там свет от фотосферы проходит сквозь значительно большую толщину, чем в центре диска; это иллюстрируется на рис. 39. Астрономы делят солнечную атмосферу на две части: во-первых, на обращающийся слой, простирающийся на немного сотен километров над фотосферой и постепенно в нее переходящий; во-вторых, на хромосферу, не-

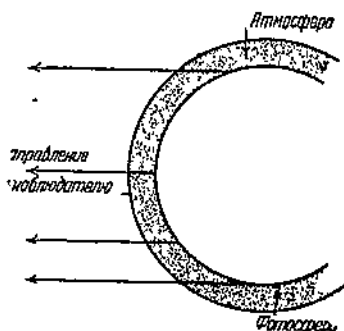


Рис 39.

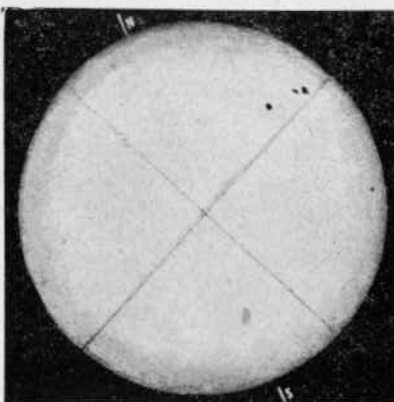
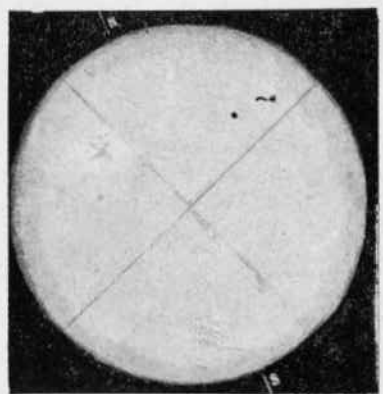
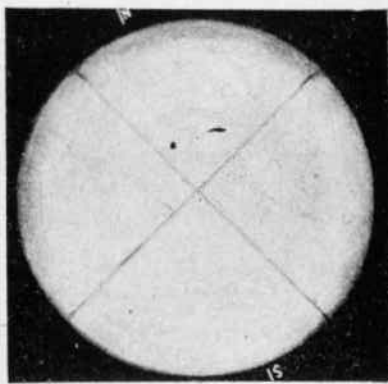
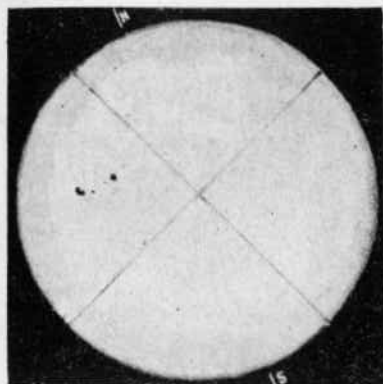
прерывно переходящую на ее нижней границе в обращающийся слой и простирающуюся на 8 000 км над фотосферой. Значение этого разделения выяснится в следующей главе; пока достаточно указать, что обращающийся слой содержит пары многих известных земных элементов при таких условиях, которые можно приблизительно осуществить в лаборатории, и что хромосфера представляет собой более разреженную оболочку, содержащую главным образом раскаленный водород и раскаленные пары кальция.

Однако наиболее выделяющимися на photographиях Солнца являются темные, неправильные пятна, называемые солнечными пятнами; они темны только по контрасту со значительно более яркой фотосферой.

На картине IIIb изображен снимок большого пятна, которое было видимо в январе 1926 г. По соседству с солнечными пятнами и кое-где в других местах на солнечном диске наблюдаются яркие ключья, называемые факелами, которые лучше видны вблизи солнечного края (картина IIIa); это — сверкающие облака, плавающие высоко в солнечной атмосфере. Добавим еще, что солнечная поверхность при большем увеличении представляется зернистой; вид ее можно сравнить с шероховатой рисовальной бумагой. Наконец, Солнце окружено обширной, крайне разреженной оболочкой, видимой только во время полного солнечного затмения; это — так называемая корона. Еще задолго до изобретения телескопа было зарегистрировано много солнечных пятен, видимых невооруженным глазом, но лишь после изобретения телескопа, начиная с 1610 г., пятна стали доступны для более подробного изучения.

Как было замечено еще тогда, эти темные пятна медленно движутся по солнечному диску с востока на запад, причем промежуток между появлением пятна на восточном крае и его исчезновением на западном равняется приблизительно 13—14 дням (см. картину IV, иллюстрирующую движение пятен по солнечному диску). Сначала природа солнечных пятен была совершенно непонятна; они даже приписывались прохождению по солнечному диску Меркурия или гипотетических малых планет, но Галилей скоро доказал, что солнечные пятна представляют собой явление, свойственное самому Солнцу. Отсюда следовало, что солнечные пятна являются действительно образованиями на солнечной поверхности и что Солнце вращается вокруг оси с периодом около 26 дней. Земля в противополо-

ТАБЛИЦА IV



Четыре снимка солнца, демонстрирующие его вращение около оси.

ложность газообразному Солнцу представляет собой твердое тело, и в вопросе о периоде ее вращения вокруг оси нет неопределенности. Период же вращения Солнца, определяемый по движению солнечных пятен, оказывается немного различным в различных частях солнечной поверхности. Движение солнечных пятен определяет солнечную ось и солнечный экватор, и следовательно можно определить также широту (на солнце) каждого отдельного пятна.

В течение свыше 200 лет в истолковании природы явления, именуемого солнечными пятнами, не произошло никакого прогресса; казалось, что их появления и исчезновения, их размеры и число подчиняются лишь капризу природы. Одни пятна существовали только несколько дней, другие же бывали видимы в течение нескольких месяцев; некоторые были большие, другие — маленькие; число их менялось из месяца в месяц и из года в год, по видимому, совершенно случайно. В 1843 г. Швабе из Дессау, аптекарь, интересовавшийся астрономией, сообщил результат своих восемнадцатилетних терпеливых и неутомимых наблюдений Солнца, а именно: число групп солнечных пятен меняется из месяца в месяц и из года в год определенным регулярным образом с периодом в 10 лет, измененным позднейшими исследованиями в среднем до 11,1 года. Особенности цикла солнечных пятен состоят в следующем: в период минимума солнечный диск может быть в течение недель и месяцев совершенно свободен от пятен; пятна появляются постепенно во все возрастающем числе, пока через $4\frac{1}{2}$ года не наступит максимум; затем число их уменьшается, и еще через шесть с половиной лет снова достигается минимум, и цикл начинается снова. На рис. 40 изображены кривые, полученные по наблюдаемым годовым числам групп солнечных пятен за последние два цикла. В свое время на открытие Швабе было обращено мало внимания, но в 1851 г. Ламонт на Мюнхенской обсерватории сообщил о периодичности магнитных явлений, характер которой был почти тождественен с периодичностью солнечных пятен. Свободно подвешенная магнитная стрелка указывает на так называемый магнитный северный полюс, который отличается от географического северного полюса, определяемого относительно оси вращения Земли. Магнитная стрелка обычно подвержена небольшим суточным колебаниям, и открытие Ламонта заключалось в том, что, как он заметил, размер этих колебаний

возрастал и уменьшался вполне регулярно с периодом, практически тождественным с периодом солнечных пятен. В 1852 г. независимо тремя учеными было обнаружено дополнительное обстоятельство, а именно, что максимальные возмущения магнитной стрелки точно соответствуют максимуму пятнообразовательной деятельности при аналогичной согласованности минимумов. Очень сильные возмущения магнитной стрелки называются магнитными бурями, и теперь следует считать установленным, что они вообще связаны с увеличением солнечной пятнообразовательной деятельности. Наличие большого пятна, однако, не всегда вызывает магнитную бурю, и наоборот — магнит-

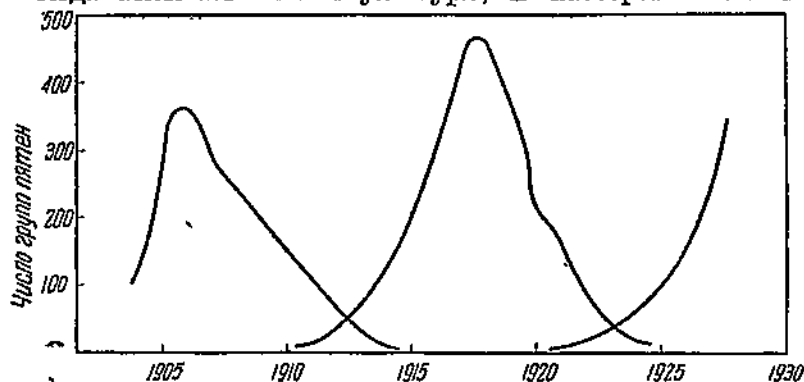


Рис. 40. Кривые частоты солнечных пятен.

ная буря не всегда следует за появлением пятна, но в общем зависимость между двумя явлениями теперь лежит вне сомнений. Магнитные открытия Ламонта и других привлекли внимание к упомянутому выше открытию Швабе, и последний получил вполне заслуженное признание в 1857 г., когда ему была присуждена золотая медаль Лондонского астрономического общества. Президент сказал в своей речи по этому случаю: «Двенадцать лет он (Швабе) потратил на удовлетворение своих собственных интересов, шесть следующих лет на удовлетворение интересов человечества и, наконец, еще тринадцать лет на убеждение человечества. В течение тридцати лет Солнце никогда не появлялось над горизонтом Дессау без того, чтобы Швабе не направил на него свой неизменный телескоп, а это происходило, повидимому, в среднем дней 300 в году. Я считаю, что здесь мы имеем пример предан-

ной пастойчивости, не имеющей себе равной в истории астрономии. Настоячивость одного человека привела его к открытию явления, существование которого даже не подозревалось астрономами в течение целых двух столетий».

То, что солнечные пятна появляются и исчезают довольно регулярным образом, является в самом деле весьма интересным фактом, который мы знаем о нашем светиле, но он означает и нечто большее, так как очевидно указывает на наличие некоторых изменений внутри Солнца, регулярных и периодических по характеру, зависящих от физических и механических условий, которые еще не вполне разъяснены.

Полученные с таким трудом новые данные относительно солнечных пятен побуждали Каррингтона к более подробному их изучению. Результаты его наблюдений оказались таковы. В начале солнечного цикла (в минимуме) пятна появляются в пределах 35° северной и южной солнечной широты; с развертыванием цикла наиболее частая широта солнечных пятен становится все меньше и меньше, так что с наступлением максимума, когда пятна наиболее многочисленны, широты пятен становятся низкими, в среднем около 5° к северу и югу. Пятна редко наблюдаются вблизи самого солнечного экватора, а также выше 35° северной и южной широты. В начале нового цикла пятна снова появляются на широте 35° или вблизи нее, но еще год и больше спустя они одновременно видны и под широтой около 5° , как если бы старый цикл не желал уступить свое место новому. Далее Каррингтон показал, что период вращения Солнца, полученный по наблюдаемым движениям солнечных пятен, зависит от широты пятна, выбранного для наблюдений. По экваториальным пятнам получается, что Солнце делает полный оборот вокруг оси приблизительно в 25 дней, в то время как пятна под более высокими широтами указывают на период вращения около 27,5 дня. Правильное увеличение длины периода с солнечной широтой было подтверждено и другими методами. Мы не должны, однако, забывать, что Солнце имеет газовое строение, а также тот факт, что солнечные пятна суть проявления некоторых явлений, протекающих в фотосферном слое, и что каждое из них, подобно земному циклону, имеет самостоятельное движение относительно солнечной поверхности. К вопросу о солнечных пятнах мы еще вернемся в следующей главе.

Из всех зрелищ природы полное солнечное затмение должно, разумеется, занимать первое место. По уверению тех, которые имели счастье видеть это чудесное явление, ни жисть, ни перо не способны изобразить его величие. Для обывателя таинственна даже сама точность, с которой астрономы способны вычислить за целые годы вперед все обстоятельства затмения, а именно: определенную полосу на земной поверхности, внутри которой оно будет видно полным, начало и конец полной фазы в различных точках этой полосы и т. д. Причиной полного затмения является прохождение темной Луны между Солнцем и Землей. Если бы плоскость лунной орбиты вокруг Земли совпадала с эклиптической, т. е. с плоскостью земной орбиты вокруг Солнца, то солнечное затмение имело бы место в

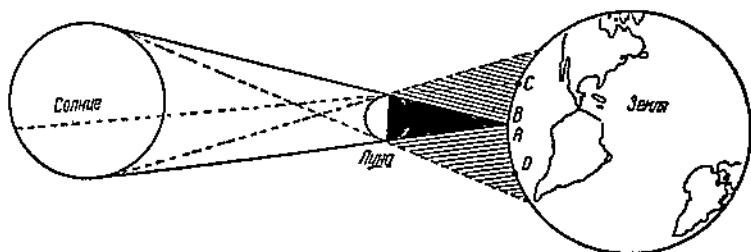


Рис. 41. Затмение Солнца.

каждое новолуние, т. е. через промежуток около 29,5 дня. Условия, при которых происходит затмение, можно понять на рис. 41, начерченном, очевидно, без соблюдения масштабов.

На нем показаны относительные положения Солнца, Луны и Земли в новолуние; неосвещенная полусфера Луны обращена к Земле. В этом положении Луна действует как темный экран, совершенно закрывающий Солнце для всех точек на земной поверхности, расположенных между точками А и В (на рисунке показана тень, отбрасываемая Луной); в этих местах будет полное затмение Солнца. В местах, подобных С и D, Луна только частично задержит свет от Солнца; например, в точке С только нижняя часть Солнца будет закрыта Луной. В таких местах будет частное солнечное затмение. Аналогично предшествующему и затмение Луны бывает при прохождении Луны сквозь тень, отбрасываемую Землей. Возможность

полного затмения Солнца определяется размером углового диаметра Луны по сравнению с угловым диаметром Солнца. Угловой диаметр Солнца равен приблизительно $32'$ дуги; средний же угловой диаметр Луны немного больше, так что Луна действительно покрывает несколько большую часть неба, чем Солнце, и таким образом может полностью заслонить солнечный свет. Обстоятельство, что пространственное расположение Солнца, Луны и Земли оказалось именно таковым, как оно есть, является весьма благоприятным для развития астрономического знания; в самом деле, при весьма небольшом уменьшении углового диаметра Луны по сравнению с солнечным величественное зрелище полного солнечного затмения сделалось бы невозможным.

До сих пор мы предполагали, что плоскость орбиты Луны совпадает с плоскостью земной орбиты вокруг Солнца; однако это не так, ибо первая наклонена к последней под углом около 5° . Это иллюстрируется на рис. 42, который представляет собой небесную сферу с центром в Земле E .

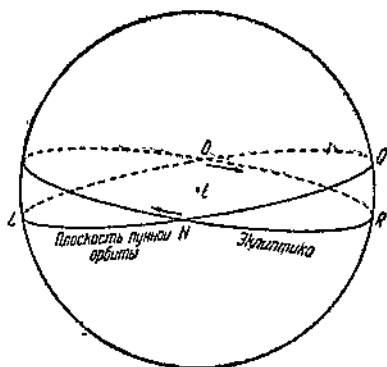


Рис. 42.

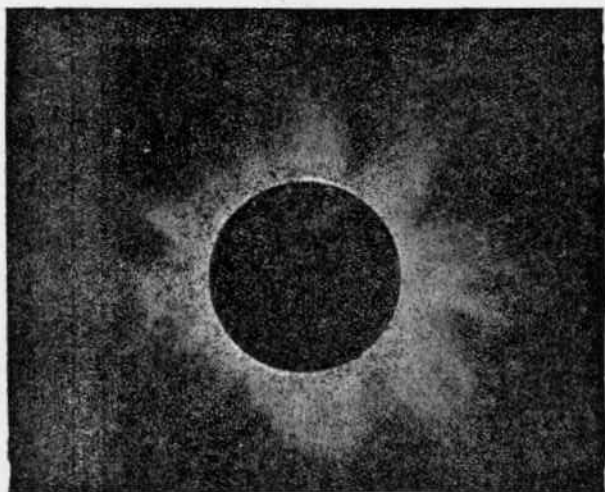
Относительно Земли Солнце представляется совершающим свой полный обход среди звезд на небе (эклиптика на рис. 42) в 365,25 дня; Луна совершает подобный же обход неба среди звезд в $27\frac{1}{2}$ дня ($LNQD$ на рисунке, наклоненный под углом 5° к эклиптике). Поэтому полное затмение Солнца (или Луны) возможно лишь тогда, когда и Солнце и Луна оказываются по соседству с N или D (с «узлами»). Например, если Луна находится в той части неба, которая представлена точкой Q , а Солнце в точке R , то угловое расстояние Q и R будет равно 5° и диски Солнца и Луны будут далеки друг от друга; в этом случае затмение, как полное, так и частное, явно невозможно. Однако предсказание затмений усложняется не только взаимным наклоном двух плоскостей. Если бы движение Луны обуславливалось притягивающим влиянием одной

Земли, то орбита Луны была бы эллиптической; но вследствие притяжения Солнца она подвержена некоторым изменениям или возмущениям; здесь нас интересует только одно из них, а именно медленное обратное (по часовой стрелке) движение узлов N и D вдоль эклиптики (показанное стрелками на рис. 42). Итак, плоскость лунной орбиты в целом скользит постепенно назад, причем период полного оборота узла вокруг эклиптики равен приблизительно 19 годам. Солнце относительно Земли описывает свой кажущийся полный оборот по эклиптике (в направлении NRD) в течение года; но благодаря обратному движению узлов промежутки между двумя последовательными совпадениями Солнца с узлом (например N) меньше года; он оказывается равным 346,62 дня, и этот период называется драконическим годом. 19 таких периодов эквивалентны 6585,78 дня. Средний интервал между двумя последовательными новолуниями, называемый синодическим обращением, равен 29,53 дня; 223 лунных месяца равны 6585,32 дня, что почти совпадает с 19 драконическими годами. Значение этой зависимости между драконическим годом и синодическим обращением заключается в следующем: если в некоторое определенное новолуние Солнце оказывается по соседству с узлом, так что происходит солнечное затмение, то через 6585,32 дня во время новолуния Солнце снова окажется вблизи узла и, следовательно, затмение Солнца будет также иметь место. Этот период повторения затмений (предыдущие рассуждения, очевидно, справедливы также для лунных затмений) в 6585,32 дня или в 18 лет и 11 дней, называемый саросом, был известен (как мы уже видели) и древним халдейским и вавилонским астрономам. Точное предсказание всех элементов затмения требует кропотливых вычислений. В основном для этого необходимо точное знание движения Луны и Солнца относительно Земли. Если оно известно, то можно вычислить с большой точностью начало и конец полного затмения (если речь идет о полном солнечном затмении), узкую полосу на земной поверхности, для которой затмение будет полным, процент закрытия солнечного диска Луной для мест, лежащих вне зоны полного затмения. При наиболее благоприятном стечении обстоятельств солнечное затмение может быть полным в некоторых местах Земли в течение 7 мин. 56 сек.

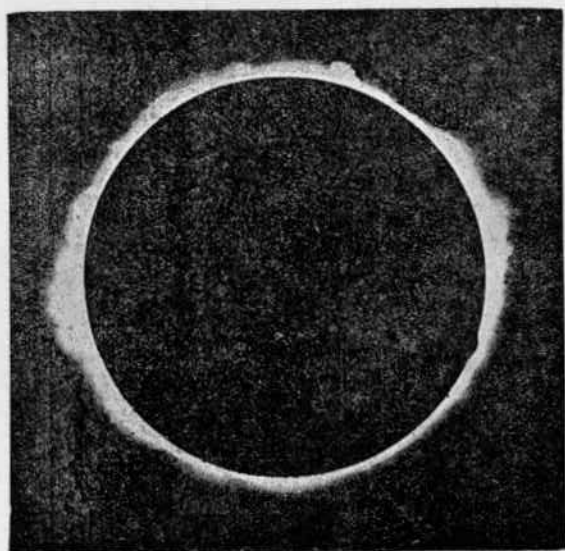
Несмотря на всю точность современных астрономиче-

ских методов, начало полной фазы всегда несколько неопределенно в пределах нескольких секунд времени. Начало полного солнечного затмения 29 июня 1927 г., видимого в северном Уэльсе, северной Англии и Скандинавии, оказалось на 2 сек. раньше предсказанного срока; затмение 1926 г. на Суматре произошло на 2 сек. позднее, а американское затмение 1925 г. — на 5 сек. позднее. Какими причинами обусловлено это несовпадение между наблюдениями и предсказаниями? Предсказание последних затмений основано на таблицах Луны профессора Броуна; эта капитальная работа полностью учитывает гравитационное влияние всех тел солнечной системы на движение Луны. Следовательно, объяснение расхождения между наблюдениями и предсказаниями следует искать в обстоятельствах или процессах, не связанных с общим законом тяготения Ньютона. Одно такое объяснение основывается на предположении о неравномерности земного вращения, влияние которой могло бы весьма явно отразиться на предсказанных движениях Луны. Для иллюстрации возьмем крайний пример. Пусть положения Луны наблюдаются с большой тщательностью в течение двух интервалов, измеряемых полным поворотом Земли относительно неподвижных звезд; далее мы предположим, что в течение второго интервала вращение Земли замедлилось по сравнению с первым, так что второй интервал фактически немного больше первого. Из наблюдений Луны обнаружится, что она во второй интервал передвинулась немного больше, чем в первый, пусть, например, конкретно на 13° вместо 12° . Период вращения Земли относительно звезд есть основная единица времени, которая обычно считается неизменной; Земля фактически является нашими стандартными часами. Если мы будем считать все периоды вращения Земли одинаковыми, то наблюдения, которые мы могли бы провести, в нашем примере укажут на несколько необъяснимое поведение Луны, так как в конце второго интервала она окажется отстоящей на 1° от своего места на небе. Именно это имеет место, если сопоставить наблюдаемые положения Луны (и в меньшей степени — Солнца и других планет) с ее предсказанными положениями, целиком основанными на предположении о неизменяемости земного вращения (оценка этого утверждения будет дана дальше). Указанные различия крайне ничтожны, но тем не менее в случае Луны вполне реальны. Из этого можно

сделать только то заключение, что период вращения Земли не вполне постоянен. Одной из причин изменчивости земного вращения Тейлор и Джефрис считали трение, обусловленное приливами в мелких морях, стремящееся замедлить вращение. Интересно отметить, что Берингово море играет в этом отношении большую роль, чем все остальные моря вместе взятые. Хотя влияние приливного трения и ничтожно, но все же реально и ощутимо, так как было установлено, что день по этой причине удлиняется на 1 секунду приблизительно в 120 000 лет. Вследствие этого в предсказанные положения Луны были внесены соответствующие поправки за малые изменения, обусловленные приливным трением. Однако и после этого все же остаются некоторые неправильности в положении Луны, в результате которых астрономы не в состоянии предсказать за несколько месяцев вперед точное положение Луны в определенный момент; следовательно, они также не могут предсказать с абсолютной точностью начало и конец полного солнечного затмения. Как мы видели по затмениям 1925—1927 гг. ошибки в предсказаниях, правда, ничтожны, но тем не менее требуют объяснения. На основании известного принципа динамики: если материю, из которой состоит вращающееся тело, распределить внутри него иначе, чем было, то период вращения тела также изменится. Некоторые земные явления, как, например, сильные землетрясения, способны причинять подобные изменения в распределении внутренних масс. Профессор Броун установил, что медленное и равномерное увеличение размеров Земли, соответствующее общему подъему поверхности приблизительно на 5 см, вызвало бы замедление земного вращения, которого было бы достаточно для объяснения наблюдаемых неправильностей в движении Луны за последние 120 лет. Совсем недавно было сделано интересное заключение, что аналогичное замедление земного вращения могло бы быть объяснено постепенным приращением к водам океанов растаившего полярного льда; было определено, что постепенное уменьшение толщины полярной ледяной шапки на 6 м должно было бы вызвать общее увеличение глубины морей приблизительно на 5 см. После всего сказанного читатель может пожалуй вообразить, что мы теперь плывем по ветру по безграничному морю предположений; но он должен, во-первых, помнить, что крайне ничтожные и загадочные расхождения между



а. Корона 14 января 1926 г.



б. Корона 29 июня 1927 г.

наблюденными и предсказанными положениями Луны установлены совершенно точно и что, во-вторых, процессы, о которых шла речь, не невероятны и, очевидно, не невозможны.

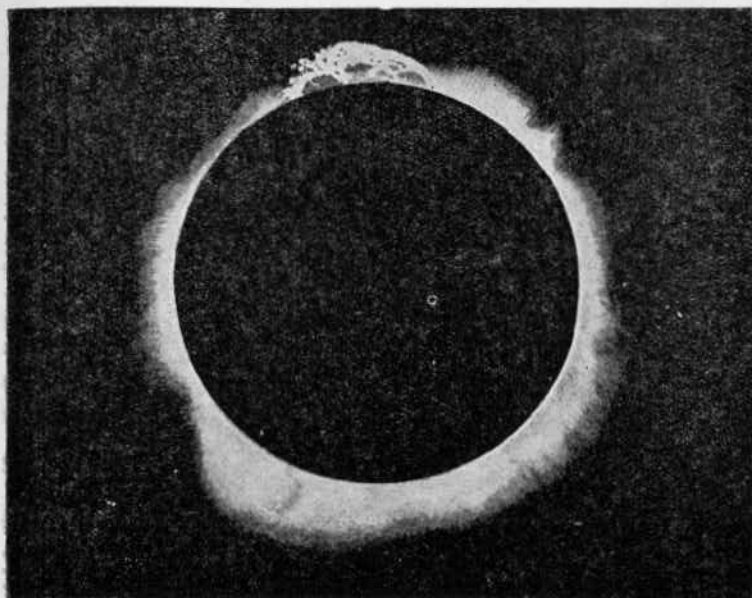
Полное солнечное затмение представляет для зрителя быструю смену поразительных и внушающих страх явлений. За несколько минут до начала полной фазы, когда все Солнце, за исключением узкого серпа, покрыто Луной, появляются полосы теней, бегущие и танцующие по Земле; они обусловлены быстрой сменой условий в земной атмосфере. Надвижение лунной тени — «наступление быстро распространяющейся и поглощающей темноты», как описывает один автор, — является, вероятно, одним из наиболее грозных явлений природы. Зритель чувствует себя совершенно бессильным перед темнотой, которая вихрем несется на него со скоростью, находящейся за пределами человеческого опыта. Когда надвигающаяся Луна только что закрыла последний видимый серп солнечного диска, на восточном краю появляются на мгновение яркие светлые вспышки, — это «четки Бэйли», обусловленные неправильностями лунной поверхности; более глубокие лунные долины пропускают последние лучи Солнца перед началом полной фазы. Затем сразу появляется основная достопримечательность затмений — корона, жемчужно-белая и таинственная, огромная солнечная оболочка непревзойденной красоты, чарующая наблюдателя в течение всего периода полной фазы. С окончанием полной фазы корона исчезает, тьма скоро сменяется светом, Луна быстро открывает западный край Солнца и в конце концов Солнце вновь засияет на небе во всем своем неомраченном великолепии. Затмение кончилось, но человеческий опыт обогатился одним из наиболее величественных зрелищ природы. На картине V изображены: корона во время затмения 14 января 1926 г. и внутренняя часть короны при затмении 29 июня 1927 г.

Часто во время затмения зритель имеет возможность видеть один или несколько протуберанцев — яркие красные выступы различной величины и формы, поднимающиеся над темным диском Луны. Весьма странно, что не сохранилось никаких указаний на наблюдения протуберанцев до затмения 1842 г., наблюдавшегося в Центральной и Южной Европе. Об этом затмении Фрэнсис Бэйли, наблюдавший его в Италии, писал: «Наиболее замечатель-

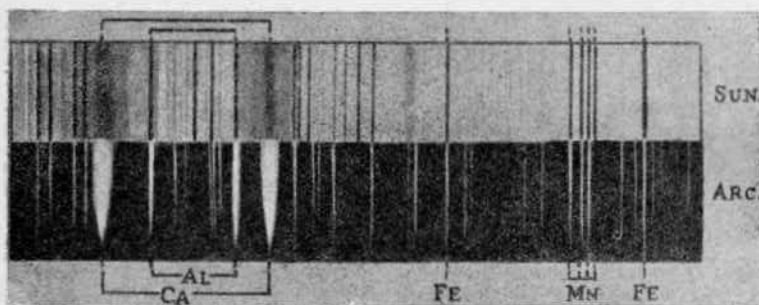
ным в этом явлении было появление трех больших протуберанцев, цвет которых был красный, смешанный с лиловым и пурпурным». Согласно Бэйли, высота, на которую они простирались над солнечным диском, была оценена в 86 000 км. Картина VIa воспроизводит фотографию большого протуберанца, видневшегося во время затмения 29 мая 1919 г.; этот снимок сделан профессором Эддингтоном, наблюдавшим затмение на острове Принципа у западного берега Африки. Как будет видно из следующей главы, для изучения протуберанцев нет необходимости дожидаться полного солнечного затмения; в наши дни фотографирование протуберанцев является обычным делом всякой гелиофизической обсерватории. Поэтому история указанного большого протуберанца смогла быть изучена на основании фотографий, полученных в других местах. Его первое появление было отмечено 22 марта 1919 г.; затем он постепенно возрастал по высоте и по яркости. В утро затмения его форма начала сильно меняться. Он казался связанным длинными волокнами с солнечным пятном, а немного позднее его видели отделившимся от солнечного диска. Немного меньше чем за 7 час. он поднялся с высоты 190 000 км до высоты в 640 000 км над солнечной поверхностью со скоростью, меняющейся от 6 до 64 км/сек. Затем он постепенно слабел. Через несколько педель развился новый большой протуберанец. 1 июля он был сравнительно незначителен, но через сутки он вырос до огромных размеров, достигнув максимальной высоты в 800 000 км; скорость подъема менялась от 30 до 160 км/сек. Более подробное описание протуберанцев, этих огромных солнечных извержений, а таковыми они, без сомнения, являются, должно быть отложено до следующей главы.

Уже давно было известно, что форма и яркость короны меняются в зависимости от степени активности Солнца. В период максимума солнечных пятен свет короны распределяется довольно равномерно вокруг Солнца; в период минимума солнечных пятен корона распространяется больше вдоль экваториальных областей Солнца, причем наблюдаются и полярные лучи.

Между максимумом и минимумом наблюдается «промежуточный» тип короны без выраженного растяжения в экваториальной или полярной зоне, но со струями, которые обычно встречаются лишь в средних широтах. Неудивительно, что яркость короны оказывается также меняю-



a. Протуберанец 29 мая 1919 г.



b. Спектр солнца со спектром сравнения.



c. Спектры восточного и западного краев Солнца.

щейся от одного затмения к другому. Хотя до настоящего времени было проведено лишь мало точных исследований, они все же достаточно определенно указывают на то, что полная яркость короны представляет собой лишь незначительную долю яркости полной Луны. Далее, повидимому, существует некоторая корреляция между формой короны и протуберанцами. Протуберанцы не ограничены определенными зонами по широте, подобно солнечным пятнам, и наблюдениями обнаружено, что тип максимума и промежуточный тип короны никогда не совпадают с появлением протуберанцев в высоких широтах. Пока еще остается непонятной точная физическая зависимость между различными формами короны и соответствующими явлениями солнечных пятен и протуберанцев. Прогресс в этом разделе астрономии по необходимости должен быть медленным, так как корона представляет собой быстро проходящее явление, которое мы имеем возможность наблюдать в среднем приблизительно лишь 2 мин. в год.¹

¹ За последние годы были предложены способы исследования солнечной короны вне затмений, которые позволят значительно ускорить изучение этих вопросов. (Прим. ред.)

СПЕКТРОСКОПИЯ И СОЛНЕЧНАЯ ФИЗИКА

В 1666 г. Ньютоном было установлено, что солнечный свет состоит из смешения многих цветов — от красного до фиолетового. Всем нам известны цвета радуги, в которой

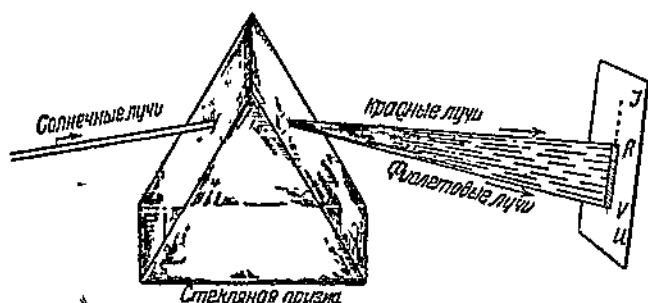


Рис. 43.

красный цвет переходит в оранжевый, оранжевый — в желтый и т. д. Это дождевые капли вызывают разложение солнечного света в хорошо известные разнообразные цвета. В наш век автомобилей более известно оптическое явление, наблюдаемое на каждой дороге после ливня; капля масла расплывается в тонкую пленку, на которой получаются обычные цвета радуги в виде концентрических колец. Как показано Ньютоном, стеклянная призма производит аналогичное явление. Пучок солнечных лучей, пропущенный сквозь небольшое отверстие в закрытом окне, падает на сторону призмы, как показано на рис. 43. При этом солнечный свет разлагается на свои составные цвета, и, поместив лист бумаги перпендикулярно к выходящему пучку, мы на узкой полоске *RV* обнаружим последовательность цветов радуги. При прохождении сквозь стек-

ло фиолетовая слагающая солнечного света преломилась сильнее, чем красная. Окрашенная полоска света на рис. 43 называется спектром.

В 1802 г. Вилластон проделал аналогичный опыт, пропуская солнечный свет сквозь узкое прямоугольное отверстие (щель); при этом он заметил, что солнечный спектр пересечен (под прямым углом к направлению полосы) семью тонкими темными линиями. Двенадцать лет спустя Фраунгофер, употребив более узкую щель и наблюдая спектр при помощи телескопа, насчитал не меньше 574 темных линий, причем одни из них были едва видимы, другие же различались вполне отчетливо. Фраунгоферу удалось сделать карту этих линий; наиболее выдающиеся линии он обозначил буквами, употребляемыми и в наши дни. Полная солнечная радиация не ограничивается видимым спектром между красным и фиолетовым цветами. К этим цветам глаз чувствителен, к цветам же, лежащим за этими границами, он слеп в силу ограничений, определяемых его оптическими и физиологическими свойствами. Существование подобных (невидимых) лучей было показано еще в начале прошлого столетия. Если шарик термометра держать в различных частях видимого спектра, то сказывается, что тепловое действие спектральных лучей весьма ничтожно на фиолетовом конце и постепенно увеличивается к красному. Если постепенно перемещать шарик за красный конец (между R и I на рис. 43), то термометр весьма заметно поднимается, доказывая этим существование невидимых тепловых лучей за пределами восприятия для оптического механизма глаза. Эта область спектра называется и н ф р а к р а с н о й. Существование лучей за фиолетовым концом видимого спектра может быть доказано по их влиянию на фотографическую пластинку, помещенную дальше V (между U и V на рис. 43). Эта область известна под названием у л ь т р а ф и о л е т о в о й. Следовательно, видимый спектр представляет только часть солнечной радиации.

Прибор, употребляемый для изучения спектра, называется спектроскопом; простой принцип его устройства изображен на рис. 44. Свет от Солнца или какого-нибудь другого источника пропускается сквозь узкую щель S , помещенную в фокальной плоскости линзы C (или системы линз); роль C — превратить свет, выходящий из S , в параллельный пучок. Этот пучок падает на поверхность

призмы P , которая разлагает свет на его составляющие цвета, причем все лучи одного и того же цвета отклоняются на одинаковую величину. На рисунке показаны только красные и фиолетовые лучи, первые — сплошной линией, а вторые — пунктирной. После выхода из призмы лучи поступают в объектив L трубы и соединяются в фокусе, красный свет в точке R , а фиолетовый — в точке V ; здесь они могут наблюдаться при помощи окуляра или фотографироваться на пластинке AB . Угловое расстояние между красными и фиолетовыми лучами легко увеличить, употребляя ряд призм. Спектроскоп можно соединить с телескопом; для этого щель S помещают в фокальной плоскости объектива или зеркала телескопа; последний просто играет роль собирателя света от изучаемого источника,

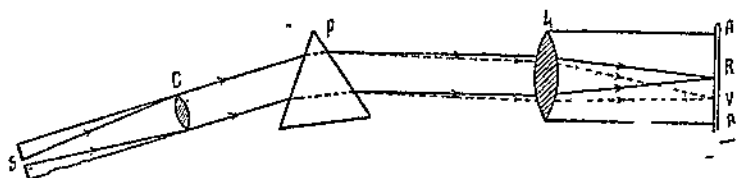


Рис. 44. Спектроскоп.

например звезды. Затем свет сквозь щель S попадает в спектроскоп, где спектр образуется только что описанным образом. Вместо призмы можно употреблять дифракционную решетку, а для некоторых целей пользуются одной или несколькими кварцевыми призмами. Каково бы ни было устройство прибора, общие принципы визуальных наблюдений или получения фотографических снимков спектра останутся в существенных чертах подобными тому, что изображено на рис. 44.

Перейдем теперь к описанию лабораторных опытов, давших Кирхгофу возможность формулировать те законы спектрального анализа, которые в применении к Солнцу и звездам открыли широкое поле для исследований и расширили и продолжают еще расширять наши астрономические знания самым изумительным образом. Земные вещества можно различными способами накалывать и изучать их свет в виде спектра при помощи спектроскопа. Если небольшое количество поваренной соли (хлористый натрий) подержать в обычном пламени, то наблюдается гу-

стой желтый свет, характерный для натрия; соль стронция таким же путем можно заставить излучать яркокрасный свет, обычный при фейерверках. Для испарения и свечения элементов, подобных железу и алюминию, требуются гораздо более высокие температуры. Мы не будем приводить технические подробности тех способов, при помощи которых получается излучение света или радиация, характерная для различных земных веществ; достаточно указать в порядке возрастания температур на электрическую печь (около 1700°C), на электрическую дугу (около 2800°C) и на электрическую искру, в которой получаются еще более высокие температуры. Газы исследуются при очень низком давлении в вакуум-трубках; электрический разряд внутри трубки вызывает свечение газа.

Нагревая какое-нибудь твердое тело, например, известь, до белого каления, и изучая его свет при помощи спектро-



Рис. 35.

скопа, Кирхгоф обнаружил, что его спектр подобен обычному спектру радуги с последовательностью цветов от красного до фиолетового и без малейшего признака тех темных линий, какие наблюдаются в солнечном спектре. Такой спектр называется **непрерывным**.

Если несколько частиц натриевой соли поместить в пламя спиртовой горелки и пропустить свет через спектроскоп, то спектр его оказывается состоящим просто из двух желтых линий; как бы ни менять условия опыта, положение этих двух линий остается неизменным.

Подобным образом спектр таллия состоит в основном из яркой зеленой линии. Позднейшие спектроскопические исследования показали, что дуговой спектр железа состоит из тысяч ярких линий различной интенсивности. Какой бы металл или вещество ни взять, спектр его состоит из характерных ярких линий без непрерывного фона. Подобный спектр называется **линейчатым спектром**.

На рис. 45 изображена обстановка другого опыта, кото-

рый имеет для понимания дальнейшего большую важность. Пусть каким-нибудь подходящим способом вызвано свечение куска извести. Между известью и щелью спектроскопа помещена лампа с бесцветным пламенем, на фитиль которой положены частицы соли натрия или таллия. Пусть теперь некоторый экран помещается так, чтобы закрыть свет от извести. Тогда через окулярный конец спектроскопа будет виден спектр, состоящий из двух желтых линий натрия и яркой зеленой линии таллия. Если экран убрать, чтобы свет от раскаленной извести также попадал в щель спектроскопа, то наблюдается изумительная перемена. В поле зрения вспыхивает ярко окрашенный непрерывный спектр, обусловленный раскаленной известью, но яркие линии натрия и таллия моментально заменяются темными линиями, занимающими в точности то же положение, как и ранее наблюдавшиеся яркие линии. Следует отметить, что температура источника света, дающего непрерывный спектр, т. е. извести, должна быть выше температуры паров натрия и таллия. Только что описанный нами спектр, состоящий из непрерывного фона, пересеченного темными линиями, называется спектром поглощения. Действительно, свет от непрерывного спектра поглощается расположенными на его пути холодными парами вещества как раз в тех местах, на которых появлялись светлые линии, обусловленные этим веществом. Хотя линии поглощения и темны, но они не совсем лишены света. Они темны только по сравнению с соседним ярким непрерывным спектром. Пары натрия и таллия в пламени лампы сами излучают желтый и зеленый свет, хотя и производят поглощение определенных участков непрерывного спектра.

Подведем теперь итоги вышеописанных спектральных явлений.

1) Линейчатый спектр дает раскаленный газ при слабом давлении или пары веществ, испаряющихся при высокой температуре. Каждый химический элемент имеет свой собственный характерный линейчатый спектр, причем каждая линия занимает определенное положение в спектре.

2) Когда свет от источника, дающего непрерывный спектр, проходит через пар или газ, температура которого ниже температуры источника, то более холодный газ или пар поглощает из непрерывного спектра как раз те лучи, которые характеризуют его собственный спектр; в результате получается спектр поглощения.

Сюда можно добавить, что те химические соединения, которые могут быть возбуждены до степени свечения, оставаясь нераспадающимися, дают спектры, состоящие из одной или нескольких ярких полос; такие соединения согласно (2) могут поглощать свет из непрерывного спектра, давая темные полосы, которые называются тогда полосами поглощения. Вообще же спектром излучения называется такой спектр, который является или непрерывным, или линейчатым, или полосчатым, или образуется из комбинации этих трех.

Те принципы, которые лежат в основе образования спектра, представляют собой тот отправной пункт, из которого исходят при исследовании как химического состава Солнца и звезд, так и тех физических условий, при которых там находится вещество. Обратив наше внимание в частности на Солнце, мы напомним читателю, что солнечный спектр состоит из яркого непрерывного спектра, пересеченного большим числом темных линий. Темные линии поглощения в солнечном спектре свидетельствуют о том, что яркому излучению, идущему от фотосферы, дающей непрерывный спектр, прежде чем улететь в пространство, приходится проходить сквозь атмосферу, состоящую из паров и газов с более низкой температурой, чем фотосфера. Газы и пары, обуславливающие появление линий поглощения в солнечном спектре, образуют так называемый обрамляющий слой, который, как указано в предыдущей главе, сравнительно невысок, простираясь только на несколько сот километров над фотосферой. Хромосфера, более обширная, но и наиболее разреженная область атмосферы, состоит из немногих элементов, которые, разумеется, поглощают фотосферную радиацию соответственно своим характерным свойствам. Главное здесь, однако, это то, что линии поглощения солнечного спектра в основном обусловлены теми газами и парами, которые находятся в тонком обрамляющем слое. Пары железа, раскаленные в вольтовой дуге, имеют свой собственный характерный линейчатый спектр. Если мы сможем найти в солнечном спектре среди тысяч темных линий такие, которые можно отождествить с многочисленными линиями железа по их положению в спектре, то мы сможем заключить, что в обрамляющем слое Солнца находятся пары железа. Отождествление линий в солнечном спектре с линиями лабораторных спектров химических элементов составляет основную задачу химического анализа Солнца

или, точнее, анализа солнечного обрабатываемого слоя. Картина VI b показывает яснее всякого описания процесс отождествления солнечных линий с характерными линиями некоторых земных элементов. Верхний спектр есть часть солнечного; солнечный свет пропускается через верхнюю половину щели спектроскопа, и детали спектра фиксируются на фотографической пластинке. Не сдвигая пластинку и не меняя ничего в спектроскопе, через нижнюю половину щели пропускают свет от вольтовой дуги, в которую помещают элементы кальций (Ca), железо (Fe), марганец (Mn) или алюминий (Al); яркие линии этих элементов фотографируются на той же пластинке под той полоской, на которой получился солнечный спектр. Со снимка получается позитив, копия, части которого даны на картине VI b. Некоторые группы линий, принадлежащие к числу линий спектров дуги рассматриваемых элементов, отмечены на картине VI b так же, как и соответствующие им темные линии в солнечном спектре. Заслуживают внимания две интенсивные яркие линии кальция (Ca) в дуговом спектре, которым в солнечном спектре соответствуют широкие и очень темные линии; это линии H и K кальция в фиолетовом конце спектра. Таким путем установлено присутствие на Солнце, главным образом в обрабатываемом слое, не менее 66 земных элементов.

Как мы видели, существование внешнего атмосферного слоя, окружающего Солнце, было установлено по присутствию темных линий поглощения в солнечном спектре. Существуют ли способы, при помощи которых можно изолировать обрабатывающий слой и хромосферу, имеющие по всей вероятности высокую температуру, и получить отдельно их характерный линейчатый спектр? Оказывается, полное солнечное затмение предоставляет нам как раз такую возможность. Когда Луна постепенно продвигается по диску Солнца, наступает такой момент, когда все уменьшающийся серп Солнца внезапно исчезает и начинается полная фаза. В этот момент остается еще непокрытой темным диском Луны лишь часть солнечной атмосферы в форме серпа; это видно на рис. 46, где пунктирная линия представляет верхнюю границу хромосферы, а заштрихованный серп — ту часть солнечной атмосферы, которая еще не закрыта Луной при начале полной фазы. Если так направить спектроскоп, чтобы щель получала свет только от серпа S (см. рис. 46), то будет виден ли-

нейчатый спектр; действительно, теперь уже не может быть и речи о поглощении лучей света, исходящих из фотосферы, так как фотосфера в этот момент целиком покрыта Луной.

Получаемый таким образом спектр излучения обращаемого слоя и хромосферы называется спектром вспышки, потому что непосредственно перед началом полной фазы, когда еще виден край фотосферы, спектр пересечен, как обычно, темными линиями поглощения; в момент начала полной фазы весь характер спектра сразу меняется: внезапно вместо темных линий вспыхивают яркие линии солнечного атмосферного слоя. По длине спектральных линий на фотографических снимках определяются высоты, до которых

простираются различные элементы в солнечной атмосфере. Как и следовало ожидать на основании земных аналогий, два самых легких известных элемента — водород и гелий — встречаются высоко и в хромосфере; однако наиболее удивительной особенностью является присутствие паров кальция в самых высоких слоях хромосферы, несмотря на то, что кальций — относительно тяжелый элемент. В дальнейшем мы будем иметь случай рассмотреть более подробно это на первый взгляд приводящее в смущение явление, т. е. кальцевую атмосферу.

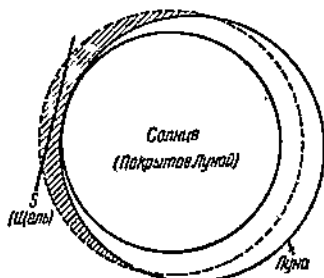


Рис. 46

Прежде чем перейти к описанию новейших достижений спектроскопии в области солнечной физики, необходимо кратко рассказать о зависимостях между образованием спектра и понятиями, введенными современной атомной физикой. Если бросить камень в спокойный пруд, то по поверхности распространятся волны, идущие расходящимися кругами. Расстояние между гребнями двух последовательных волн называется длиной волны; скорость, с которой волна движется, называется скоростью волны, а число волн, проходящих в секунду через какую-нибудь определенную точку, называется частотой; ясно, что частоту можно непосредственно вычислить, если известны длина волны и скорость. Согласно

электромагнитной теории Максвелла свет распространяется весьма похожим на то, что сказано образом со скоростью в 300 000 км/сек (в пустоте), причем эта скорость одинакова, каков бы ни был характер света. Для распространения волн необходима среда, как в нашем примере — вода пруда; так же точно для распространения света предполагается наличие особой промежуточной среды, называемой эфиром. Итак, волновое движение — будь то поверхностные волны на пруде или световые волны эфира от излучающего источника — характеризуется длиной волны и скоростью (или частотой). Что касается света и других электромагнитных волн, то различие между двумя родами света, например красным и синим, обусловлено просто разностью в длинах волн, так как другая характеристика (скорость) одинакова для обоих. Если мы изучаем в спектроскопе свет от раскаленного пара железа, то видим, что излучаемый железом свет разложен на ряд составляющих: красный, желтый и т. д. Следовательно характер определенной линии в спектре железа зависит от ее длины волны, которую можно измерить при помощи лабораторных приборов. Аналогично тому как подобные между собой вещи мы различаем при помощи номера, так и линии железа в спектре различаются по их длине волны. Спектр железа можно тогда рассматривать как стандартный масштаб длин волн, с которым можно сравнивать линии других спектров и при помощи которого можно делать точные измерения длин волн этих линий. Например, на картине VIb изображена часть солнечного спектра и часть дугового спектра железа; по известным длинам волн линий железа можно найти длины волн солнечных линий. Длины волн световых колебаний, как оказалось, исключительно малы, и наши обычные единицы длины плохо пригодны для спектроскопических целей. В науке обычная единица длины — метр, а единица длины, употребляемая при измерении длин световых волн, равна одной десятиллионной части миллиметра. Эта единица называется «ангстремом», и в этих единицах длина волны обозначается, например, так: 6 438 Å. Видимая часть спектра соответствует световым колебаниям с длинами волн в пределах от 3 900 Å на фиолетовом конце до 7 600 Å — на красном. Однако видимый спектр представляет лишь незначительную часть всего интервала длин

волн, охватываемого излучениями атомов или электромагнитными явлениями, теперь почти полностью исследованными физиками. На рис. 47 изображено соотношение видимого спектра с границами длин волн других излучений; для более коротких волн употребляется единица — ангстрем ($\text{\AA}$), а для более длинных — сантиметр и метр.

Мы напоминаем, что инфракрасная часть спектра есть область тепловых колебаний, а ультрафиолетовая соответствует радиации с химическими свойствами; в дальнейших частях этой книги мы увидим, что и более короткие волны влево от ультрафиолетовой части имеют астрономическое значение.

Мельчайшая частица элемента, принимающая участие в химических реакциях, называется атомом; разнообразие химических и физических свойств элементов, напри-

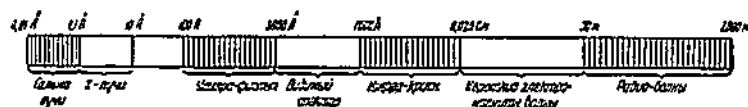


Рис. 47.

мер водорода или железа, приписывается различию в их атомной структуре. Томсоном было сделано открытие, много способствовавшее истолкованию структуры атома; он установил существование крошечных носителей отрицательного электричества, названных электронами, входящих в состав всех исследованных атомов. Каждый электрон обладает одним и тем же электрическим зарядом — единицей отрицательного электричества. Последние исследования физиков привели к представлению, известному под названием модели Резерфорда — Бора. Атом считается как бы миниатюрной солнечной системой, где некоторое число электронов (число зависит от данного элемента) циркулирует вокруг ядра по плането-подобным орбитам. Само ядро имеет сложную структуру; оно очень мало по сравнению с размерами электронных орбит и состоит из протонов, каждый из которых обладает единицей положительного электричества и, вообще говоря, содержит также некоторое число электронов, называемых ядерными электронами в отличие от орбитальных или планетных электронов. В солнечной системе планетами управ-

влияет сила тяготения, в атоме — электрическое притяжение между положительно заряженным ядром и отрицательно заряженными планетными электронами. Масса атома почти полностью сосредоточена в протонах ядра, так как масса протона почти в 1 800 раз превосходит массу электрона. Итак, материя состоит из двух основных составляющих: электронов и протонов.¹ В обычном своем состоянии материя в электрическом отношении нейтральна; это означает следующее: если атом содержит определенное число электронов, планетных и ядерных, то в ядре должно быть такое же число положительно заряженных частиц, т. е. протонов. Массы атомов химических элемен-

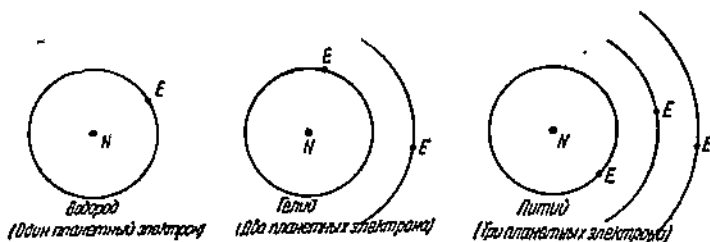


Рис. 48.

тов определяются числом протонов в атомном ядре. Простейший атом принадлежит водороду — самому легкому из всех элементов; он состоит из одного протона (ядра) и одного обращающегося вокруг него электрона. Следующий по легкости и простоте атом имеет гелий, обладающий двумя планетными электронами; масса его в четыре раза больше водородного атома, ядро состоит из четырех протонов и двух ядерных электронов. Атом натрия имеет 11 электронов, обращающихся вокруг ядра, состоящего из 23 протонов и 12 ядерных электронов. Каждому элементу приписывается число, называемое атомным числом и эквивалентное числу планетных электронов в атоме при нормальных условиях. (Эта ссылка на «нормальные условия» может представляться несколько неопределенной, но мы увидим, что атомы при известной температуре и давлении способны потерять один или несколько планетных

¹ В последнее время обнаружено, что в состав ядер входят еще особые частицы, названные нейтронами, которые не несут никакого заряда. Однако это обстоятельство не меняет рассуждений автора. (Прим. ред.)

электронов.) Атомные числа элементов равны или почти равны половине числа протонов в атомном ядре; например, атомное число натрия равно 11, а число протонов в ядре натрия равно 23. Значение этой зависимости будет выявлено ниже, когда мы будем говорить о внутреннем строении звезд. Рис. 48, являющийся только схематичным, может помочь читателю представить себе структуру атомов водорода, гелия и лития; N на рисунке изображает ядро, а E — планетный электрон. Диаметр ядра по сравнению с размерами атома, т. е. с размерами орбиты внешнего электрона, крайне мал — меньше 0,00001 атомного диаметра. Орбита электрона может быть круговой или эллиптической, причем в отличие от планетных орбит в солнечной системе орбиты электронов подвержены поразительным изменениям; другое отличие заключается в том, что

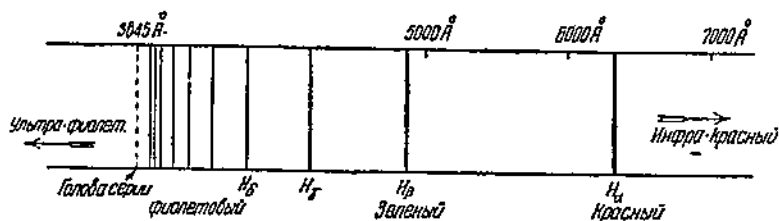


Рис. 49.

плоскости электронных орбит могут быть наклонены друг к другу под весьма различными углами.

Таково в кратких чертах современное представление о структуре атома. Для объяснения явлений, связанных с солнечной радиацией и ее анализом при помощи спектроскопа, нам нужно перейти к исследованию свойств атомов химических элементов. Рассмотрим простейший атом — атом водорода. Мы видим, что спектроскоп обнаруживает его присутствие на Солнце. В лаборатории можно добиться свечения водорода в разрядных трубках и сфотографировать его спектр излучения. На рис. 49 дана картина спектра водорода главным образом в ее видимой части.

Спектр, оказывается, состоит из ряда ярких линий — красной линии, называемой $H\alpha$, зеленой линии $H\beta$ и последовательности фиолетовых линий, все более сближающихся по мере приближения к некоторой границе в ультрафиолетовой части спектра, которая отмечена пунктир-

той чертой, соответствующей длине волны 3 645 Å. Кроме этого ряда линий найдены еще две других серии: одна в инфракрасной, а другая в ультрафиолетовой части. Однако мы будем рассматривать главным образом серию водородных линий Бальмера, изображенную на рис. 49. Как было позднее выяснено, линии расположены не случайно, подчиняясь, напротив, определенному закону, по которому число линий, отсчитываемых от H_α к фиолетовому концу, связано простой математической формулой с соответствующей длиной волны. Природа, очевидно, регулирует световое излучение водорода каким-то точным процессом. Какова же связь этого процесса с моделью водородного атома, описанной на предыдущих страницах? Естественно предположить, что излучение или поглощение света материей (в наших последних рассуждениях —



Рис. 50.

атомом) должно быть вызвано или должно иметь следствием некоторые изменения в самом атоме; согласно этому была предложена теория, согласно которой подобные изменения состоят в сжатиях и расширениях электронных орбит. Прерывистый характер водородного спектра (серия Бальмера на рис. 49) указывает на то, что планетный электрон может двигаться только по некоторым строго определенным орбитам. В 1913 г. Нильсу Бору удалось привести в соответствие линии серии Бальмера с рядом орбит, по которым электрон, как предполагают, только и должен двигаться. Некоторые из этих орбит изображены схематично на рис. 50. Соотношение радиусов равно квадратам целых чисел; значит, если радиус внутренней орбиты принять за единицу, то радиус второй орбиты равен $2 \times 2 = 4$, радиус третьей орбиты равен $3 \times 3 = 9$ и т. д. Нормальной орбитой электрона является 1; радиус ее настолько мал, что он оказывается равным приблизительно пяти делениям, получающимся в результате деления сантиметра на тысячу миллионов равных частей. О скорости движения электрона по орбите

можно судить по тому, что он совершает около ста миллионов обращений в секунду. Подобно тому как разрушающая сила лавины тем больше, чем с большей высоты она скатывается (рассматриваемая здесь энергия называется потенциальной), так и общее количество энергии электрона, обусловленное его положением относительно ядра и орбитальным движением, меняется от одной орбиты к другой, возрастая в направлении от ядра. Если электрон обращается по орбите 4, а затем перескакивает на орбиту 3, то энергия его уменьшается на доступную вычислению величину. Когда это случается, то атом, по предположению Бора, выбрасывает разницу энергии в виде кванта излучения определенной длины волны. Если электрон перескакивает с орбиты 4 на орбиту 2, то атомом опять-таки излучается радиация, но уже другой длины волны. Рассмотрим теперь то, что, по видимому, происходит, когда с помощью электрического разряда вызывается свечение небольшого количества водорода, заключенного в гейслеровой трубке. Сначала атомы находятся в нормальном состоянии; это значит, что электроны обращаются вокруг своих ядер по самым низким орбитам 1. Когда газ делается светящимся, то атомы его получают добавочную энергию; электроны перескакивают на более высокие орбиты, некоторые — на орбиту 4, другие — на орбиту 10 и т. д. Стремясь избавиться от полученной энергии, они перескакивают обратно на более низкие орбиты; если атомам снова сообщается энергия, как это и имеет место в опыте, то электроны снова перескакивают на более высокие орбиты (необязательно на те самые для данного атома). Этот двойной процесс продолжается до тех пор, пока сообщается внешняя энергия. Бор считает, что падение электронов с орбиты 3 и с более высоких обратно на орбиту 2 и вызывает излучение радиации, проявляемое в виде серии Бальмера. Например, линия H γ получается в результате излучения атомом радиации, эквивалентной потере энергии при падении электрона с орбиты 3 на орбиту 2; то же происходит и в отношении других линий серии. Чем больше энергии сообщается внешним возбуждением, тем более высокие орбиты достигают некоторые электроны. Наивысшей орбитой, достигнутой до сих пор в лаборатории, является орбита 22, соответствующая двадцатой линии ряда Бальмера; на снимках хромосферы во время затмения 1926 г. Страт-

тон и Давидсон наблюдали серию Бальмера до линии 32, соответствующей электронной орбите 34. Радиус последней орбиты превосходит радиус нижней орбиты 1 приблизительно в тысячу раз; это значит, что линейные размеры атома при специфических условиях температуры и давления в хромосфере могут быть почти в тысячу раз больше невозбужденного, т. е. холодного водородного атома. Нет никаких оснований предполагать, почему бы некоторым электронам не падать на орбиту 1 или на орбиту 3 и т. д.; теория Бора предсказывает характер излучения и в этом случае. Падение на орбиту 1 дает ряд линий в ультрафиолетовой части, который впоследствии и был действительно открыт Лайманом. Падение на орбиту 3 производит ряд линий в инфракрасной части, найденной Пашеном. Получаемый при описанных условиях спектр водорода представляет собой спектр ярких линий, и теория Бора с успехом объясняет относительное положение наблюдаемых линий.

Образование непрерывного спектра представляет собой более сложную проблему. Непрерывный спектр следует считать состоящим из колебаний всевозможных длин волн между теми пределами, в которых он наблюдается. В дальнейшем мы увидим, что характер непрерывного спектра меняется от звезды к звезде, так что у одной звезды красный конец может быть наиболее ярким, а у другой — синий конец, наоборот, может быть значительно ярче и т. д. Достаточно отметить, что определенные свойства непрерывного спектра зависят от физических условий в солнечной и звездной фотосфере и не зависят от химического состава.

Поглощение радиации рассматривается как процесс, аналогичный излучению, но направленный в обратную сторону; это значит, что при поглощении атомом радиации электрон перескакивает, например, с орбиты 2 на орбиту 3. В этот момент атом поглощает один квант света с длиной волны, соответствующей $H\alpha$.

Пока мы имели дело лишь с простейшим атомом, но подобный же процесс, как можно думать, имеет место и для любого атома, какой бы сложной электронной структурой он ни обладал; внутренняя электронная система в этих атомах считается сравнительно устойчивой, и только внешний электрон способен принимать или выделять

кванты энергии, обуславливающие спектр поглощения или излучения.

Мы видели, что атом водорода может расширяться под влиянием температуры до размеров, значительно превосходящих размеры атома в его обычном состоянии; точно так же внешний электрон гелия (имеющего два планетных электрона) может по тем же причинам оказаться на орбите, далеко отстоящей от ядра. Может ли этот процесс продолжаться еще дальше до тех пор, пока атом гелия не будет совершенно освобожден от этого электрона?

Ответ на этот вопрос, как оказывается, должен быть утвердительным. Атом гелия будет в этом случае похож на водородный атом, и применение теории Бора позволяет предсказать определенные линии излучения в его спектре, несколько отличающиеся от линий гелия в его нормальном состоянии. Эти линии можно получить в лаборатории, и они наблюдаются также в спектрах наиболее горячих звезд. Атом гелия, потерявший один электрон, называется *ионизированным*. Что касается атомов с более многочисленной свитой планетных электронов, то в них от нормального атома может оторваться один, два и более электронов; например, Фаулеру при помощи сильного электрического разряда удалось получить трижды ионизированный кремний, т. е. такой кремний, у которого три внешних электрона насильственно выброшены из нормального строя электронов. Внутри Солнца и звезд, где излучаемая энергия несравненно интенсивнее, чем та, которая может быть достигнута лабораторными методами, ионизация, как надо думать, является полной или почти полной: более легкие атомы освобождены от всех своих электронов и сведены к голым ядрам; в более же тяжелых элементах остались нетронутыми не больше одного-двух самых внутренних электронов; возможно даже, что и они оторваны от ядра вследствие исключительно высокой температуры этой солнечной или звездной «печи».

То, что мы говорили относительно спектра гелия и ионизированного гелия, справедливо также для такого элемента, как железо. Атом железа с полным строем электронов образует определенный спектр, совершенно отличный от того спектра, который дают атомы железа, однажды, дважды и более ионизированные. Атомы одних элементов ионизируются сравнительно легко, других же — чрезвычайно трудно. С точки зрения температуры это можно вы-

разить так, что для ионизации одних атомов требуется больший жар, чем для ионизации других. Однако это еще не все; ионизация зависит еще и от других факторов: давление газообразных и парообразных элементов здесь также играет заметную роль. В плотном газе выброшенные электроны почти немедленно захватываются ионизированными атомами, так что атомы можно считать сохраняющими свое нормальное, не ионизированное состояние.

Таковы те представления, к которым привела нас современная физика. Прежде чем перейти к более подробному спектроскопическому исследованию Солнца, мы должны в достаточной мере разъяснить тот общий закон, который имеет величайшее значение при интерпретации солнечных и звездных спектров. Когда мы рассматривали отождествление определенных линий солнечного спектра с многочисленными линиями спектра сравнения железа (картина VI, b), сфотографированных на одной и той же пластинке одним и тем же прибором, то читатель, вероятно, заметил, что совпадение определенной линии в солнечном спектре с его копией в спектре железа было всегда точным; этот вывод можно обобщить, включив сюда все звездные спектры. Однако это заключение следует видоизменить из следующих соображений. Если вещество (будем рассматривать железо), вызывающее линии в солнечном спектре, движется к нам или, что эквивалентно, мы движемся относительно железа навстречу ему, то мы, ясное дело, будем встречать в секунду больше волн некоторой определенной длины, чем если бы мы с железом находились в покое друг относительно друга. В результате наблюдаемая частота длины волны несколько больше, а, следовательно, наблюдаемая длина волны несколько меньше. При этих условиях все линии железа в небесном спектре представляются нам не совпадающими точно с соответствующими линиями спектра сравнения, но слегка смещенными к фиолетовому концу. Подобным же образом при движении небесного источника от нас будет иметь место смещение к красному концу спектра. Если измерить это смещение, то можно получить скорость источника света по отношению к нам в километрах в секунду, т. е. то, что называется скоростью по лучу зрения или радиальной скоростью. Этот замечательный закон известен под названием принципа Доплера.

Сейчас мы рассмотрим применение принципа Доплера к вопросу о вращении Солнца, простейшим доказатель-

ством которого служит движение солнечных пятен с восточного края к западному. Если мы будем изучать спектроскопически солнечный свет, идущий от маленькой площадки поверхности на восточном краю, то здесь мы, очевидно, будем иметь дело с источником,двигающимся по направлению к нам; западный край, напротив, удаляется от нас. В обоих случаях скорости краев обусловлены солнечным вращением, так как можно считать, что Солнце и Земля в целом не движутся по направлению друг к другу, т. е. что расстояние Земли от Солнца остается постоянным. В центре диска вращение вызывает движение, перпендикулярное к лучу зрения, поэтому малая площадка солнечной поверхности в центре диска не будет иметь радиальной скорости (по отношению к земному наблюдателю). Вследствие этого сравнение спектров, полученных от восточного края Солнца и от центра диска, показывает смещение линий первого спектра к фиолетовому концу относительно линий второго спектра. Измерение смещения дает скорость по лучу зрения соответствующего участка края, выраженную в километрах в секунду. Мы знаем радиус Солнца в километрах; поэтому мы можем вычислить период вращения, соответствующий солнечной широте рассматриваемой площадки. Как мы уже видели из предыдущей главы, солнечные пятна встречаются только в ограниченной по широте зоне; следовательно, и наше знание об изменении периода вращения Солнца с широтой, полученное по наблюдениям солнечных пятен, ограничено широтами, соответствующими расположению солнечных пятен. Напротив, спектроскопический метод применим ко всем солнечным широтам, и благодаря ему достигнуто полное знание периода вращения поверхностных слоев от солнечного экватора до полюсов. На картине VI.с изображены спектры восточного и западного краев Солнца, в которых ясно заметно относительное смещение линий.

Спектр солнечных протуберанцев, этих огромных газобразных выступов над атмосферными слоями, изучался впервые при затмении 1868 г.; он оказался состоящим из ярких линий, среди которых линии водорода были наиболее заметными. Тогда же отчетливая яркая линия близ того места, где помещается желтая линия натрия, указала на присутствие в солнечных протуберанцах какого-то газа, еще неизвестного на Земле. Этот газ, названный гелием, позднее был отождествлен Вильямом Рамзеем (в 1895 г.)

с газом, выделяемым некоторыми редкими минералами. Известные линии кальция H и K в фиолетовой части также найдены в спектре протуберанцев. Большая яркость линий протуберанцев позволила почти одновременно Жансену (Jansen) и Локьеру (Lockyer) прийти к заключению о возможности наблюдать протуберанцы в любое время в течение дня. Принцип метода заключается в следующем. Пусть круг на рис. 51 представляет собой изображение диска Солнца, образуемое в фокальной плоскости телескопа. Если щель спектроскопа поместить параллельно касательной к краю над протуберанцем, то свет, входящий в щель, будет состоять из рассеянного солнечного света вместе со светом от протуберанца. Наблюдаемый спектр, следовательно, будет состоять из спектра ярких линий протуберанца, наложенного на относительно

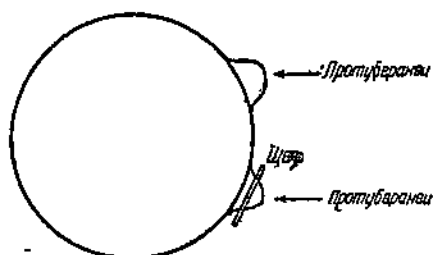


Рис. 51.

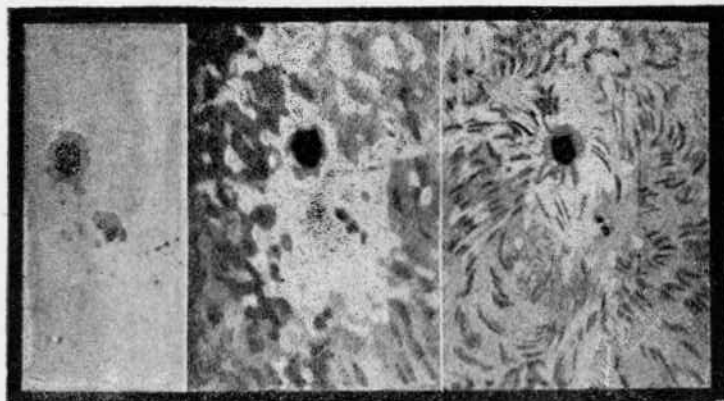
слабый непрерывный спектр с темными линиями солнечного света. Если мы сосредоточим наше внимание на интенсивной красной линии водорода ($H\alpha$), то мы заметим, что она представляет собой просто изображение узкого сечения протуберанца, покрытого

щелью. Открывая щель шире, мы получим изображение в красном свете линии $H\alpha$ значительной части протуберанца или даже всего его целиком. Если всю окружность солнечного диска рассмотреть подобным же образом, то мы сможем изучить формы всех протуберанцев. Однако этот визуальный метод наблюдения имеет свои очевидные недостатки, в особенности в отношении так наз. эруптивных протуберанцев, форма и структура которых может меняться в течение нескольких минут с изумительной быстротой. Приблизительно в 1890 г. Хэл и Деландр независимо друг от друга предложили прибор, названный спектрогелиографом; он позволяет делать фотографические записи солнечных протуберанцев и непрерывно исследовать их изменения. Кроме телескопа (или чего-нибудь эквивалентного), дающего изображение солнечного диска, щели, позволяющей наблюдать свет от узкой полоски объекта, призмы или системы призмы, разлагающей свет в спектр ярких линий,

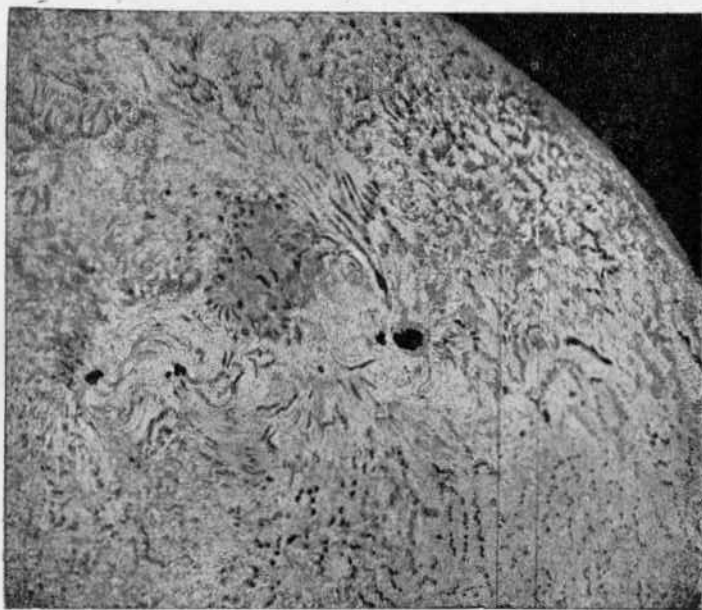
прибор этот имеет еще вторую щель, которая расположена таким образом, что через нее проходит только свет от определенной линии и дает изображение на фотографической пластинке. Тогда это будет изображение на пластинке той узкой полоски на протуберанце, которая покрывается первой щелью. Если слегка передвигать телескоп так, чтобы покрыть первой щелью соседнюю полоску протуберанца, и кроме того соответственно сместить фотографическую пластинку, то две соседние полоски протуберанца будут нафиксированы на фотографической пластинке рядом. При помощи подобного непрерывного движения можно получить на фотографической пластинке изображение всего протуберанца. Мы не будем ни останавливаться на рассмотрении механических трудностей, связанных с конструкцией спектрогелиографа, ни описывать самый прибор более детально. Скоро выяснилось, что этот инструмент обладает возможностями, имеющими огромное значение. Темные линии солнечного спектра темны только по сравнению с яркостью соседнего непрерывного спектра. Позднее при более тщательном рассмотрении выяснилось, что некоторые из так называемых темных линий имеют более сложную структуру, чем это кажется с первого взгляда. Например, на широкие темные линии Н и К ионизированного кальция, обусловленные теми атомами кальция, которые потеряли один электрон, налагается в центре узкая яркая линия излучения, через центр которой проходит узкая темная линия. Эту усложненную структуру можно объяснить тем, что ионизированный кальций встречается в солнечной атмосфере в трех слоях. Широкие темные линии обусловлены поглощением света от фотосферы атомами в нижних слоях атмосферы; дальше находится область светящихся паров кальция, вызывающих центральную линию излучения, наконец еще выше — еще более прохладная атмосфера кальция малой плотности дает тонкую центральную линию поглощения. Пусть щели спектрогелиографа будут длиннее диаметра изображения солнечного диска, и пусть вторая щель установлена, например, так, что она принимает лишь свет, соответствующий яркой части кальциевой линии К. Прибор воспроизводит тогда описанным выше путем изображение солнечной поверхности, соответствующее тому атмосферному уровню, в котором ионизированный кальций дает яркие линии. Таким способом получается картина распределения ионизированного кальция

на различных уровнях атмосферы Солнца — в обращающем слое, в хромосфере и протуберанцах, а также распределения водорода. На фотографиях (на картине VII, *b* и *c*) дано распределение ионизированного кальция и водорода в хромосфере для некоторой области Солнца в определенный день: первый снимок (*a*) представляет собой обычный снимок той же части солнечного диска. Светящиеся облака кальция называются *ф л о к ку л а м и*. Как видно на снимке, они особенно заметны по соседству с солнечными пятнами.

Спектрогелиограф представляет собой прибор, при помощи которого мы изучаем солнечную метеорологию, т. е. распределение и движение некоторых элементов на различных высотах в солнечной атмосфере. Что же этот прибор может сказать о наиболее поразительной и наиболее загадочной особенности Солнца, именно о солнечных пятнах? Как и можно было ожидать, кажущаяся темнота солнечных пятен обусловлена более низкой температурой, чем у блестящей фотосферы; особенности спектра пятна дают уверенные указания на его температуру. Спектр имеет полосы соединений, подобных окиси титана, которые в лаборатории разлагаются на составляющие элементы при температуре выше приблизительно $3\,000^{\circ}\text{C}$. Из аналогичных соображений можно заключить, что температура солнечного пятна такого же порядка. Как хорошо известно, температура газа падает, если он внезапно получил возможность расширяться. Является ли солнечное пятно видимым примером подобного внезапного расширения солнечных газов и каковы причины этого расширения? Картина VII, *d* представляет собой снимок, полученный с помощью спектрогелиографа в красных лучах водорода; это, следовательно, картина распределения водорода в верхних слоях солнечной атмосферы. Фотография, несомненно, говорит о вихревом движении — вращающемся солнечном вихре, смерче огромной величины. Всасывается ли здесь водород из верхних слоев в нижние подобно тому, как корабль увлекается к своей гибели в таинственном водовороте моря? Действительно Хэл проследил развитие водородного протуберанца, силуэт которого виднелся на светящемся газе; вблизи солнечного пятна протуберанец был как бы проглочен им, как прожорливым чудовищем. Однако другое открытие, сделанное Хэлом, позволило пролить новый свет на таинственные глубины солнечного пятна. Ха-

*a**b**c*

Три снимка группы солнечных пятен: *a* — прямой, *b* — в линиях кальция, *c* — в линии водорода.



d — вихрь в солнечном пятне.

рактик линий спектра меняется согласно хорошо известным законам, если источник света подвержен магнитным влияниям; в подробности мы здесь входить не будем, так как для этого потребовалось бы длинное отступление. При изучении линий, обусловленных солнечным пятном, обнаружено наличие подобных магнитных эффектов. Теперь считается, что наблюденное магнитное влияние является результатом вихревого движения электронов. Например, существование паров ионизированного кальция указывает на присутствие в Солнце свободных электронов. Однако задача выявления причин скопления и характерных движений электронов в солнечных пятнах еще не разрешена. Солнечные пятна вообще встречаются парами, и это соединение означает гораздо больше, чем простую близость двух по виду сходных объектов. Концы подковообразного магнита характеризуются противоположными магнитными свойствами или, как говорят, противоположной полярностью. То же самое имеется и в паре солнечных пятен. Дело обстоит так, как будто бы гигантский подковообразный магнит вложен в Солнце, причем концы или полюсы как бы высываются из фотосферы. Однако можно спросить, что представляет собой при таком объяснении единичное пятно без видимого компаньона? Ответом служат открытые Хелом невидимые солнечные пятна, являющиеся дополнением к таким пятнам, которые на обычных снимках кажутся изолированными. Еще более поразительное явление касается магнитной характеристики шары солнечных пятен в зависимости от периода солнечной активности. Эти особенности, как обнаружено, не повторяются от цикла к циклу. Так, если ведущее¹ пятно пары в северном полушарии имеет положительную магнитную полярность, то в следующем цикле ведущее пятно какой-либо пары в том же полушарии будет соответствовать отрицательной полярности; в следующем цикле все будет опять наоборот. Следовательно, судя по магнитным свойствам солнечных пятен, цикл их равен удвоенному одиннадцатилетнему периоду числа солнечных пятен. Несмотря на большое число фактов и применение новых могущественных методов исследования происхождение солнечных пятен и процессы

¹ Т. е. идущее вперед по направлению солнечного вращения.
(Прим. ред.)

внутри Солнца, выражающиеся в цикле солнечных пятен, все еще остаются необъясненными.

Что говорит нам спектроскоп относительно короны? Хотя спектрогелиограф и заставляет хромосферу раскрывать свои тайны изо дня в день, однако при изучении короны приходится ограничиваться лишь теми короткими моментами, которые предоставляет нам полное солнечное затмение. Неудивительно, что прогресс в исследовании короны происходит очень медленно. Спектр внутренней короны (нижних слоев) содержит яркие линии, из которых 16 наблюдалось во время различных затмений. Эти линии немедленно выдвигают интересную проблему об их происхождении, так как они не соответствуют ни одной из линий в солнечном спектре или в спектре земных источников. Очевидно, что эти линии вовсе не говорят о существовании нового элемента, ускользнувшего от бдительности химиков и физиков; эти яркие линии короны могут производиться одним или несколькими из известных элементов, однако находящихся в таких условиях, которые физики не могут воспроизвести в лаборатории. Здесь мы имеем задачу, требующую кооперации астрономов, физиков и математиков; астроном должен давать точные данные о спектре; участие физика выражается в исследовании свойств атомов при различных условиях температуры и давления, математик сопоставляет теорию с данными наблюдений. Спектр внешней короны напоминает обычный фраунгоферов спектр самого Солнца, можно считать, что он обусловлен отражением или рассеянием света частицами, образующими внешнюю корону и являющимися, вероятно, электронами. Нет необходимости перечислять все те различные сбивчивые вопросы, которые возбуждает простой факт существования солнечной короны; в конце концов ее ревниво оберегаемые секреты будут раскрыты под сокрушительным натиском физики и астрономии.

Вернемся к одному явлению в хромосфере, которое читатель, вероятно, нашел поразительным и которое долго ставило в тупик астрономов. Речь идет о присутствии тяжелого элемента кальция в верхних слоях солнечной атмосферы и еще выше в протуберанцах. Присутствие свинцовых париков, плавающих на высоте километра в нашей собственной земной атмосфере, было бы не менее поразительным с первого взгляда явлением, чем существование паров кальция в хромосфере и протуберанцах. Мы видели, что по спектру

вспышки можно с хорошей точностью измерить высоты, достигаемые различными парами и газами, и нет ничего удивительного в том, что наиболее легкие элементы — водород и гелий — встречаются высоко: первый на расстоянии 8 000 км над фотосферой, а второй значительно ниже. Кальций же оставляет позади и водород и гелий. Очевидно, что кальций обладает некоторыми замечательными свойствами, которые согласно последним исследованиям обуславливаются особенностями самого атома кальция. Присутствие хромосферного кальция выявлено в спектре отчетливыми линиями H и K, обусловленными однажды ионизированным, а не нейтральным атомом. Первый шаг к истолкованию тайны был сделан в 1920 г. Саха, исследовавшим те условия, при которых наступает ионизация. Как читатель помнит, ионизация представляет собой насильственное удаление из атома внешнего электрона, который вследствие этого становится независимой единицей, совершающей хотя бы временно свой одинокий шут. Одной из причин ионизации является высокая температура, так как чем выше температура, тем больше разрушительное влияние, которому атомы подвержены. Если давление газа велико, т. е. если атомы тесно сближены друг к другу, то вырванный электрон соединяется с каким-нибудь другим поврежденным атомом, дополняя его систему планетных электронов. Чем ниже давление, тем меньше шансов поймки электрона; таким образом пропорция ионизированных атомов в газе зависит и от давления. Кроме того различные атомы имеют различные возможности противодействия ионизирующим воздействиям. На каждом уровне в солнечной атмосфере мы имеем вполне определенные условия температуры и давления. Для атомов одного рода эти условия могут быть недостаточными для ионизации, и даваемый элементом спектр будет спектром нейтрального атома. Для другого же рода атомов, наоборот, будут иметься все условия для ионизации, и спектр будет обусловлен исключительно ионизированными атомами. Для еще другого рода атомов условия будут подходящими для частичной ионизации, т. е. некоторые из атомов будут нейтральными, другие же — ионизированными; спектр такого элемента будет фактически состоять из двух спектров, один из которых вызван атомами в нейтральном состоянии, а другой — в ионизированном. В частности, если пропорция ионизированных атомов очень мала, то обусловленные ими линии

спектра будут слабы с точки зрения их яркости, а линии нейтральных атомов, напротив, сильны. Теория Саха позволяет вычислить пропорцию ионизированных атомов, если даны условия температуры и давления. В частности, если по спектру видно, что на определенном уровне солнечной атмосферы все атомы какого-нибудь элемента ионизированы, то теория дает определенную зависимость между температурой и давлением на этом уровне; следовательно, если известна температура, то можно вычислить давление.

Возвращаясь к рассмотрению кальциевой хромосферы, мы заметим, что теория Саха, правда, может дать представление о ее строении описанным выше способом, но она не объясняет ее существования. Что переносит тяжелые кальциевые атомы в верхние хромосферные слои и что уравнивает гравитационное притяжение самого Солнца? Чтобы ответить на этот вопрос, приведем несколько пунктов из замечательного исследования Милна. Уже много лет известно, что свет производит давление на ту поверхность, на которую он падает. Пока мы имеем дело с обычными источниками света, к которым мы привыкли, давление света практически незначительно, и его открытие и измерение в лаборатории является делом, требующим крайне деликатных опытов. Однако на Солнце и звездах световое давление или вообще давление радиации¹ является весьма значительным. Солнце непрерывно выбрасывает из фотосферы грандиозной мощности поток света и тепла, имеющий возможность оказывать значительное давление. Рассмотрим сначала водородный атом, помещенный в этот поток излучаемой энергии; как показывает спектр фотосферы, поток этот состоит из эфирных волн с большим различием длин волн. Водородный атом поглощает или проглатывает квант падающей радиации некоторой длины волны и тем самым отталкивается прочь от фотосферы. В этом состоянии поглощения планетный электрон переходит на более внешнюю орбиту и готов упасть назад на орбиту, более близкую к ядру; сделав это, он излучает радиацию, соответствующую падению между двумя орбитами, и снова готов выполнить процесс поглощения. Таким образом атом претерпевает ряд толчков от при-

¹ Здесь термин «радиация» употреблен для обозначения, в отличие от видимого света, электромагнитных колебаний всевозможных длин волн, от самых длинных до самых коротких (включая и видимые нами). (Прим. ред.)

текающей энергии радиации, которая уравнивает или помогает уравновесить гравитационное притяжение атома солнечной массой. Последний переносится таким способом на сравнительно большую высоту над фотосферой. Здесь можно высказать предположение, что этот процесс способен поддерживать и тяжелые атомы, подобные свинцу. Разумеется, чем тяжелее атом, тем сильнее должен быть толчок, сообщаемый фотосферной радиацией, чтобы атом не падал обратно на фотосферу. То обстоятельство, что в верхних слоях над фотосферой встречается кальций, а не свинец, указывает на фундаментальное различие в реакции их атомов, так же как и на особые качества фотосферной радиации. Нормальный атом кальция содержит двадцать планетных электронов. Их орбиты, как предполагается, расположены следующим образом: две электронных орбиты вблизи ядра, две группы по восьми — еще дальше и, наконец, два внешних электрона. При условиях, господствующих в хромосфере, один из внешних электронов утерян. Если вырвать из атома также второй внешний электрон, то оставшиеся восемнадцать электронов вместе с ядром образуют весьма стойкую систему, на которую выбрасываемая из фотосферы энергия не оказывает никакого или оказывает лишь ничтожное влияние. Это значит, что атом кальция только с восемнадцатью оставшимися электронами будет получать настолько слабые толчки, что удержаться над фотосферой окажется не в состоянии. Следовательно, явление кальциевой хромосферы должно быть вызвано особенностями оставшегося в атоме кальция внешнего электрона или вернее различных орбит, по которым он может обращаться. Что касается других элементов, за исключением водорода и гелия, то поглощение фотосферой радиации отодвигает внешний электрон на столь удаленную орбиту, что атомы оказываются фактически лишенными своего внешнего щита электронов и сведенными, следовательно, к устойчивой структуре, при которой притекающая солнечная энергия не оказывает уже никакого действия; поэтому они не могут подняться над фотосферой. С одной стороны ионизированным атомом кальция дело обстоит иначе. Длины волны солнечной радиации таковы, что атом может поглощать энергию (требуемой длины волны) в значительно меньшем количестве, чем необходимо для полного удаления электрона из атома. Иными словами, внешний электрон может обращаться под влиянием фото-

сферной радиации в орбитах, не очень удаленных от нормальной. Более того, квант энергии, поглощенный атомом, имеет такую величину, что сообщенного им атому удара достаточно для нейтрализации в некоторой степени гравитационного притяжения солнечной массы. Вследствие этого атом движется от фотосферы до тех пор, пока не будет достигнуто равновесие между двумя противоположными силами. Таковы в общих чертах те физические процессы, которыми Милн объясняет замечательную особенность кальциевой хромосферы. Можно прибавить, что разреженность этой кальциевой оболочки столь же замечательна, как и высота над фотосферой, которой она достигает; количество же хромосферного кальция исключительно мало по сравнению с пространством, им занимаемым. Вес его считается равным 300 млн. т, что соответствует весу малой планеты с диаметром в полкилометра и с составом, подобным Земле; эта планета была бы столь же массивна, как и эта разреженная и занимающая громадный объем кальциевая хромосфера.

В ионизированном атоме совершается процесс, состоящий из двух частей: во-первых, из поглощения, к концу которого внешний электрон перепрыгивает с нормальной орбиты на более удаленную; во-вторых, из излучения радиации, к концу которого электрон возвращается на нормальную орбиту, излучая при этом характерный свет с длиной волны, соответствующей потере энергии при переходе между двумя орбитами. На основании результатов изучения спектральных линий (H и K), математически применяя к ним принципы поглощения и излучения, Милн оценил (как это ни может показаться невероятным) средние периоды, в течение которых хромосферный атом кальция остается на своей нормальной орбите, а также на своей верхней или внешней орбите. Первый период составляет около одной двадцатитысячной части секунды, второй — около одной пятидесятиmillionной части секунды. Первый период зависит от интенсивности фотосферной радиации, так как чем сильнее поток радиации, тем меньше времени атому придется ждать получения новой дозы энергии. Второй период, однако, не зависит от внешних воздействий на атом, он характеризует сам атом. Странная особенность теории световых квантов заключается в том, что атом, повидимому, наделен способностью выбирать. Например, если электрон может перескочить под влиянием радиации с нормальной

орбиты на одну, и только на одну, из прочих орбит, то атом игнорирует всю поступающую радиацию за исключением некоторой длины волны, и в результате происходит поглощение. Через определенный, но короткий промежуток времени электрон решается вернуться на свою нормальную орбиту; излучив свет, он снова готов к новому циклу поглощения и излучения.

Такова в общих чертах теория кальциевой хромосферы. Всякая теория нуждается в проверке, и только что описанную замечательную теорию можно сопоставить с некоторыми предсказанными явлениями в хромосферном спектре. Мы не будем входить в подробности; укажем только, что одно испытание, сделанное Стрэттоном и Давидсоном во время затмения 1926 г. на Суматре, дало удовлетворительное подтверждение теории. Более исчерпывающую проверку предполагалось провести несколькими партиями наблюдателей во время затмения 1927 г. в Англии и Норвегии, но из-за дурных условий погоды пришлось отказаться от наблюдений. Позднее Давидсону удалось провести спектроскопические наблюдения Солнца в Гринвиче, результаты которых оказались в хорошем согласии с теорией Милна.

На предыдущих страницах мы часто ссылались в общей форме на световую и тепловую радиацию Солнца и на температуру фотосферы и лежащих над нею слоев. Количество излучаемой Солнцем энергии измеряется по тепловому эффекту, производимому солнечными лучами на прибор, называемый пиргелиометром. Однако солнечным лучам приходится проходить через окружающую Землю атмосферу; происходящее при этом поглощение следует учесть, чтобы оценить тот тепловой эффект, который получился бы при отсутствии атмосферы. Поглощение к тому же неодинаково для всех длин волн, и поэтому задача определения его весьма сложна и представляет поэтому немало затруднений. После внесения этой вычисленной поправки из наблюдений получается так называемая солнечная постоянная. Не гоняясь за особой точностью определения, можно сказать, что солнечная постоянная представляет количество излучаемой Солнцем энергии, которая приходится на площадку земной поверхности в 1 см^2 ; в одну минуту он может поднять температуру 1 г воды на Земле на $1,94^\circ \text{C}$; при этом Земля считается находящейся на ее среднем расстоянии от Солнца, а атмо-

ферное поглощение считается отсутствующим. По этим данным легко вычислить энергию, исходящую от квадратного сантиметра солнечной фотосферы; она соответствует энергии, развиваемой идеальной машинной приблизительно в 8 л. с. Если бы Солнце было совершенным радиатором тепловой и световой энергии, то на основании известных законов физики и значения солнечной постоянной можно было бы найти эффективную температуру¹ Солнца или скорее его фотосферы; в результате получается около 6000° С. Ниже фотосферы жара солнечной печи становится все более жестокой; атомы элементов, как это известно, освобождены от своих внешних электронов, и в самых тайных глубинах Солнца материя сведена к непостижимой смеси атомных ядер и электронов. Эта картина может показаться нам фантастичной, но сейчас мы просто предвосхищаем заключения, описанные полнее в одной из дальнейших глав. Пока же читатель, естественно, спросит: «Каков источник этого огромного количества выделяющейся энергии и сколь долго выделение энергии может продолжаться?». Немедленно же встает и другой сходный вопрос: «Выбрасывают ли мириады звезд энергию излучения в обширные пространства вселенной с такой же расточительностью, и каковы те таинственные резервуары энергии, которые со времени первого появления человека на Земле и до наших дней не проявляют никакого признака истощения?». Опять мы попросим читателя потерпеть; когда мы перейдем к обзору нашей изумительной во многих отношениях вселенной, тогда наступит время постараться проникнуть в таинственные места, где природа как бы делается невидимой.

¹ Эффективной температурой называется температура, до которой нужно было бы нагреть некоторое воображаемое стандартное тело, обладающее способностью поглощать все падающие на него лучи, чтобы излучение его было бы такое же, как и у солнечной фотосферы. Ближе всего по своим свойствам к такому телу приближается обыкновенная сажа. Поэтому такое воображаемое тело называют абсолютно черным телом. (Прим. ред.)

ЛУНА, ПЛАНЕТЫ И КОМЕТЫ

Луна является нашим ближайшим небесным соседом; по сравнению с большими планетами, величественным Солнцем и мириадами звезд, блистающих на небесном своде, она представляет собой тело незначительных размеров, крошечную крупинку в обширной вселенной, раскрывающейся перед нашим взором благодаря новейшим исследованиям. Однако вследствие своей близости Луна имеет значение для человечества, уступающее лишь значению Солнца. Луна есть спутник Земли, обращающийся по орбите вокруг последней на среднем расстоянии около 354 000 км и с периодом в $27\frac{1}{3}$ дней. Диаметр ее равен 3 460 км; масса — около $\frac{1}{81}$ массы Земли; плотность ее превосходит плотность воды в 3,4 раза. Луна вращается вокруг оси с периодом, равным периоду ее обращения вокруг Земли. Вследствие этого к Земле обращена всегда одна и та же ее половина. Однако благодаря некоторым обстоятельствам, главным образом связанным с условиями обращения Луны на орбите, площадь поверхности, которую вообще можно видеть, несколько больше половины и равна примерно $\frac{3}{5}$ (60%) всей лунной поверхности; остальные две пятых навсегда останутся тайной для земных наблюдателей.

Прекрасная последовательность изменений, претерпеваемых видимой поверхностью Луны день ото дня, так называемые фазы Луны обусловлены непрерывным изменением положения Луны относительно Солнца и Земли. Это очень просто иллюстрируется на рис. 52 (начерченном без соблюдения масштаба). Луна представляет собой темное тело, видимое нам лишь благодаря отражению солнечного света от ее поверхности. На диаграмме изображена Луна в различных точках ее орбиты вокруг Земли, причем полусфера, обращенная к Солнцу, показана освещенной. Вид

Луны с Земли изображен в промежуточных фазах между полнолунием и новолунием. Интервал времени между двумя новолуниями называется лунным месяцем; в среднем он равен 29,5 дня и представляет собой средний промежуток между двумя последовательными соединениями Солнца и Луны. Он длиннее орбитального периода Луны, на который мы уже ранее ссылались; связь между этими двумя

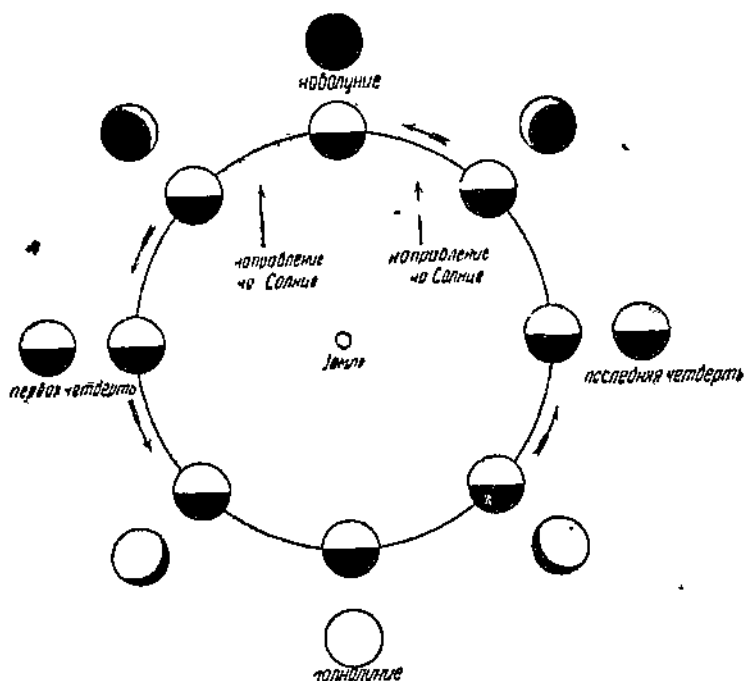
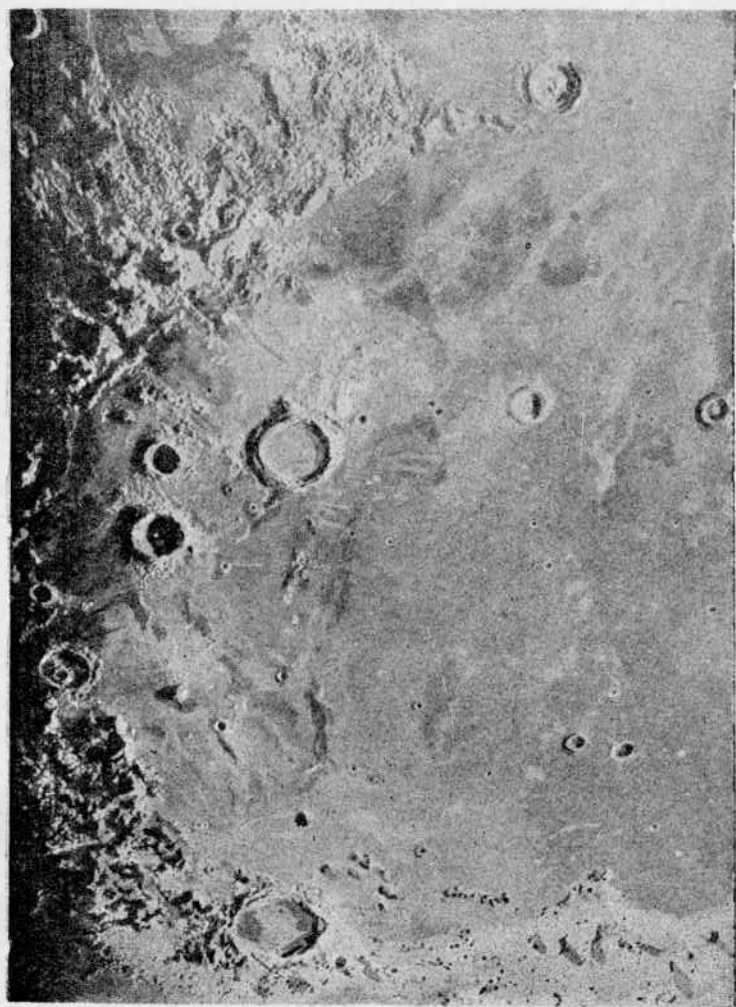


Рис. 53. Фазы Луны.

периодами можно понять по рис. 53, на котором изображены орбита Земли вокруг Солнца и орбита Луны вокруг Земли в моменты начала и конца периода в $27\frac{1}{2}$ дней, считаемого от новолуния. В конце этого периода Луна находится в точке *N*, сделав полный оборот вокруг Земли. Однако в точке *N* еще не будет новолуния; Луне следует еще продвинуться по своей орбите в точку *O*, когда она будет снова в соединении с Солнцем. Итак, интервал между двумя последовательными новолуниями длиннее того



Северная центральная часть Луны

времени, которое требуется для полного обращения Луны по орбите.

В жизни человека Луна играет двойную роль: во-первых, определенную часть лунного месяца Луна служит ночным светильником, во-вторых, притягивая воды Земли, Луна является главной причиной приливов, которые полностью используются в каждом порту на Земле. Мы не будем останавливаться на деталях этого явления, а перейдем к описанию вида Луны в телескоп. Самый маленький телескоп покажет главные топографические особенности лунной поверхности; суровые горные хребты, огромное количество кратеров и плоскогорий, обладающих иногда центральными вершинами, высоко поднимающимися над лунным ландшафтом. Большой телескоп открывает глазу другие особенности: черные тени, отбрасываемые вершинами и стенками кратеров (измерение длины теней позволяет определить высоту последних); полосы идущие от одного или двух наибольших кратеров радиусами по всем направлениям, независи-

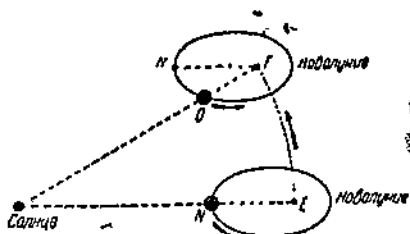


Рис. 53.

мо от лунного контура; трещины иногда в несколько сот километров длиной, имеющие вид больших борозд на лунной поверхности; огромные, различно затененные равнины, испещренные то тут, то там небольшими кратерами, и, что наиболее замечательно, кратеры, расположенные внутри других кратеров. Снимок (картина VIII) лучше всяких слов дает представление о суровости и пустынности лунной поверхности. Луна действительно является мертвым миром, безвоздушным, застывшим и безжизненным. Может быть это описание может показаться слишком смелым обобщением или догматическим утверждением, но в общих чертах оно, без сомнения, справедливо. Иногда на Луне замечались небольшие изменения. На более ранних картах Луны маленький кратер в 8—10 км, называемый Lippé, несомненно, неоднократно отмечался. В 1866 г. Шмидт из Афин сообщил об его исчезновении; в настоящее время на его месте находится небольшое темное пятно. Если доверять ранним картам, а у нас мало оснований сомневаться в их

точности, то исчезновение Linné можно объяснить совершенно естественно падением стенок кратера. Далее Пиккеринг, который в течение всей своей жизни наблюдал детали поверхности Луны и планет, свидетельствует о некоторых очень незначительных изменениях в некоторых областях, главным образом на дне большого кратера Эратосфена; Пиккеринг приписывает это сезонным изменениям бедной лунной растительности серого цвета. Кроме того он утверждает, что видел следы облаков и снеговых хлопьев, указывающих на присутствие на Луне весьма разреженной атмосферы. Нет ничего невозможного в том, что наблюдения Пиккеринга имеют под собой реальную почву вопреки существующему общему мнению, что Луна является мертвым миром.

Что является причиной образования кратеров? Было предложено два объяснения, но ни одно нельзя считать удовлетворительным. Первое объяснение предполагает вулканическую деятельность, которая была очень сильна в прошедшее время. Следует отметить, что наибольший кратер имеет диаметр в 240 км и площадь, равную половине Ирландии, и что существует значительное число их с диаметром в 80 км и более. Основное возражение против этой гипотезы заключается в том колоссальном масштабе лунных извержений, который необходим для образования столь гигантских кратеров, а также в отсутствии потоков лавы. Второе объяснение образования кратеров переносит нас назад к тому времени, когда Луна была еще пластична и имела кору, еще не вполне затвердевшую. По этой гипотезе кратеры представляют собой видимые и вечные памятники бомбардировки Луны большими и малыми метеорами. Земля непрерывно бомбардируется метеорами, которые обычно сгорают, оставив позади себя след в виде яркой полосы, испарившись под влиянием трения об атмосферу. Только небольшому числу из них случайно удается проникнуть сквозь нашу атмосферную оболочку; они достигают иногда веса в несколько тонн и заканчивают свою жизнь космического странника волверением в какой-нибудь большой музей. Следовательно, факт бомбардировки метеорами Земли не вызывает сомнений: так же дело обстоит и с Луной как в настоящее, так и в прошлое время. Главное возражение, выдвинутое против этой гипотезы, основано на том, что удары о поверхность Луны должны были бы быть вертикальными или

почти вертикальными, чтобы объяснить почти совершенно круглую форму кратеров; однако *et priori* не ясно, почему метеоры должны были бы падать вертикально, а не по какому-либо иному направлению. Однако возражение теряет смысл, если предположить, что кратер является результатом проникновения метеора внутрь почти твердой коры: трение, как указывалось раньше, обращает в пар по крайней мере внешние части метеора, после чего следует разрушительный взрыв. Сопоставление с действием сильных взрывов во время мировой войны сообщает некоторую наглядность этой теории. Разумеется, метеоры должны были быть огромными по сравнению с теми, с которыми нам теперь приходится иметь дело; действительно, чтобы быть причиной образования больших лунных кратеров, они должны были быть сравнимы по величине с малыми планетами.

Ближайшая к Солнцу планета Меркурий представляет собой небольшое тело с диаметром около 4 800 км, т. е. она на 40% больше Луны. Меркурий не имеет спутников, и масса его, следовательно, не может быть определена обычным способом. Однако его возмущающее влияние на орбиты соседних планет зависит от его массы; если найти величину возмущений, то можно определить и массу планеты. По этому методу масса Меркурия оказалась равной приблизительно 0,05 массы Земли. Меркурий представляет собой трудный объект для наблюдений ввиду его близости к Солнцу; в лучшем случае он может удаляться всего лишь на 28° от Солнца. В телескоп Меркурий имеет вид серпа, узкого, когда планета находится вблизи от Солнца, и похожего на Луну в первой или третьей четверти, когда Меркурий находится на наибольшем угловом расстоянии от Солнца. На его поверхности не имеется никаких определенных деталей, столь характерных для лунной поверхности. Его период вращения нам точно неизвестен. Подобно Луне, он повидимому лишен атмосферы.

Наиболее замечательной особенностью Меркурия является большой эксцентриситет его орбиты вокруг Солнца: в перигелии (ближайшая к Солнцу точка орбиты) расстояние между Меркурием и Солнцем равно 0,31 астрономической единицы, или около 46 млн. км, а в афелии (наиболее удаленная от Солнца точка орбиты) оно равно 0,47 астрономической единицы, или около 69 млн. км. Мы видели в одной из прежних глав, что влияние притяжения

планет на орбиту, подобную орбите Меркурия, можно вычислить путем применения закона тяготения Ньютона. В середине прошлого века стало ясным, что закон Ньютона недостаточен для объяснения наблюдаемых движений Меркурия; здесь оказалось заметное расхождение между теорией тяготения и наблюдениями. Большой эксцентриситет орбиты позволяет определить с большой точностью направление с Солнца на перигелий Меркурия относительно фона звезд. Наблюдения показывают, что после того, как возмущающие влияния всех известных планет были полностью приняты во внимание, остается неучтенным постепенное изменение направления на перигелий планеты. Это можно пояснить ссылкой на рис. 54, на ко-

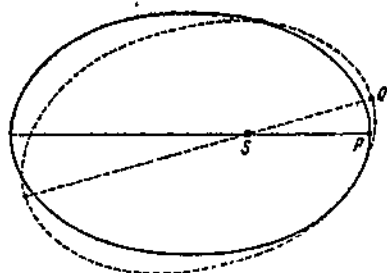


Рис. 54.

тором сплошной линией представлена орбита Меркурия в 1800 г.; P — точка орбиты, ближайшая к Солнцу, и направление SP относительно звезд точно известно. Изменение орбиты между 1800 и 1900 гг., обусловленное притяжением известных планет, можно вычислить, как мы уже говорили, по закону Ньютона. Если эти изменения исклю-

чить из наблюдаемой в 1900 г. орбиты, то мы должны были очевидно вернуться к орбите 1800 г., т. е. к сплошной линии на рис. 54, если считать конечно, что наш список планет полон и что закон Ньютона есть точный астрономический закон. Однако этим путем мы не вернемся к орбите 1800 г.; в самом деле, мы обнаружим, что орбита повернулась на угол QSP , который из наблюдений найден равным $42''$ дуги. Это изменение направления за 100 лет может казаться малым. В самом деле, за один год изменение выражается углом, под которым виден диаметр монеты в 1 копейку на расстоянии 13 км. Однако наука не может пренебречь этими расхождениями между принятой теорией и данными наблюдений, сколь они ни малы. Подобные расхождения в астрономии приводили к замечательным открытиям; напомним поразительный подвиг Адамса и Лёверрье, предсказавших существование неизвестной планеты Нептун на основании наблюдаемых неправильностей

в движении Урана. В настоящее время имеются два возможных истолкования аномалии в орбите Меркурия: во-первых, можно предположить существование внутри орбиты Меркурия одной или более небольших планет; во-вторых, сделать вывод, что закон Ньютона, возможно, не вполне точно представляет тот естественный закон, который управляет движениями солнечного семейства планет. Мы уже ссылались на трудность наблюдения самого Меркурия. Интрамеркуриальная планета (т. е. расположенная ближе к Солнцу, чем Меркурий) явилась бы еще более трудным для наблюдения объектом, и наилучшая возможность для ее открытия представлялась бы во время полного солнечного затмения. На основании того предположения, что наблюдаемые неточности орбиты Меркурия обусловлены притяжением гипотетической интрамеркуриальной планеты, можно вычислить массу последней; оказалось, что она должна быть равной по меньшей мере $\frac{1}{4}$ массы Меркурия; следовательно, неизвестная планета должна быть довольно значительна по размерам и иметь диаметр, равный по меньшей мере половине диаметра Меркурия. Во время ряда последних затмений производились поиски этой планеты, которые однако остались безрезультатными, и теперь можно считать вполне доказанным, что таинственное поведение Меркурия нельзя объяснить ни этой, ни другой подобной ей гипотезой.

В 1916 г. профессор Альберт Эйнштейн своей знаменитой теорией общей относительности произвел революцию в основных понятиях пространства и времени. Опыт указывает нам, что пространство, т. е. длина, ширина, глубина и время являются независимыми сущностями¹; по теории же относительности они представляют собой различные стороны единого четырехмерного пространственно-временного мира, которые мы лишь рассматриваем отдельно. По соседству с материей пространственно-временный мир приобретает некоторые особые свойства; в частности, вблизи Солнца характер его слегка отличается от того, который

¹ В этом заключении сказываются идеалистические установки автора. С точки зрения диалектического материализма очевидно, что опыт как раз показывает, что мы не можем оторвать ни времени от пространства, ни пространства от времени, так как все явления природы протекают всегда и во времени и в пространстве. Пространство и время являются лишь формами существования объективной реальности, т. е. материи. (Прим. ред.)

подразумевается законом тяготения Ньютона. Теория относительности может предсказать движение Меркурия вокруг Солнца с точным учетом тех расхождений, которые изображены на рис. 54. В немногих словах невозможно описать революционный характер теории Эйнштейна; здесь мы укажем только те астрономические явления, при помощи которых она может быть проверена. Объяснение движения орбиты Меркурия представляет один пример торжества этой теории, и мы теперь кратко опишем второй и третий астрономические примеры.

Луч света от звезды пересекает пространство по прямой линии; однако, если луч проходит, например, вблизи Солнца, то путь его вокруг Солнца, подчиняясь законам относительности, будет не прямолинейным, а криволинейным. Для Солнца это действие можно вычислить; если луч

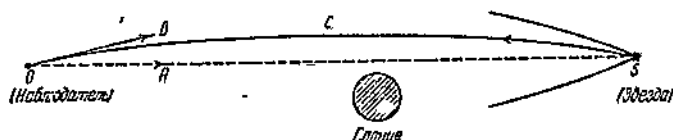


Рис. 55.

точно касается солнечного диска, то он должен изогнуться или отклониться на крошечную величину в $1,75$ дуги; этот эффект постепенно убывает для лучей, проходящих на все больших расстояниях от Солнца. На рис. 55 начерчены лучи от звезды S . Например, если бы Солнце не имело влияния на свет звезд, то наблюдатель O на Земле видел бы звезду в направлении OA , на прямой линии, соединяющей O с S . В действительности же звезда видна в направлении OB , и кривая SCO представляет изогнутый луч, приходящий к наблюдателю от звезды. Разница в направлениях OA и OB обусловлена действием Солнца. Результат получается такой, что звезда оказывается видимой дальше от солнечного диска, чем это было бы при отсутствии солнечного влияния. Открытие предсказанных отклонений послужило вторым подтверждением теории относительности. Полное солнечное затмение, очевидно, предоставляет все необходимые условия для успешного фотографирования звезд вблизи Солнца. Подобный снимок следует затем сравнить с другим, на котором изображения звезд получены от лучей, не подвергавшихся действию Солнца (этот последний

снимок можно сделать через месяц или два после затмения тем же телескопом в обычных ночных условиях). Предположим, что две пластинки наложены одна на другую. Если бы на пластинке, снятой во время затмения, не было смещения изображений предполагаемого рода, то оказалось бы возможным совместить одну группу изображений звезд с другой. Если же эффект теории относительности проявляется, то совпадение невозможно, и изображения звезд на снимке затмения окажутся немного дальше от центра затмившегося Солнца, чем соответствующие изображения на другой пластинке. Это схематично изображено на рис. 56, на котором светлые кружки представляют изображения звезд на пластинке затмения, а точки — изображения соответствующих звезд на другой пластинке; нет нужды говорить, что смещения на рис. 56 сильно преувеличены. Однако смещения эти можно все-таки измерять, и если результаты совпадают с предсказаниями теории относительности, то последняя снова торжествует. Подобные испытания впервые производились во время затмения 1919 г., и результаты привели к подтверждению теории; позднейшие затмения представили новые доказательства существования эффекта, предсказанного теорией относительности.¹

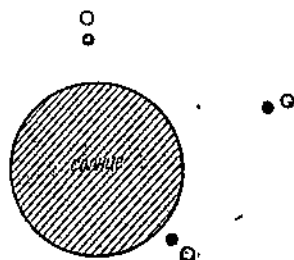


Рис. 56.

Третье испытание провести значительно труднее. Оно зависит от различия между поведением атомов на Солнце и подобных же атомов на Земле. Влияние солнечной массы, например, на атом железа в солнечной атмосфере стремится слегка увеличить длину волн линий железа в солнечном спектре по сравнению с длиной волн тех же линий, полученных в лаборатории. Предсказанная теорией разница мала, хотя и доступна определению современной

¹ Нужно, однако, оговориться, что за самое последнее время благодаря исследованиям Фрайндлиха возникли серьезные сомнения в реальности указываемых Смартон смещений звезд. Эти смещения, возможно, объясняются результатом чисто фотографических эффектов, происходящих на пластинке. Вопрос этот, впрочем, нельзя считать окончательно решенным ни в ту, ни в другую сторону. (Прим. ред.)

аппаратурой. Нам нет нужды рассматривать различные трудности, связанные с проведением этого испытания, но теперь уже очевидно, что теория относительности одержала и здесь еще третью победу. В дальнейшем мы увидим замечательное применение этого третьего испытания в другой области.

Перейдем теперь к рассмотрению физических особенностей следующей планеты, именно Венеры. По своим размерам и массе Венера ближе всех планет напоминает Землю; диаметр ее равен приблизительно 12 400 км, а масса — около $\frac{1}{2}$ массы Земли. Венера, как и Меркурий, не имеет спутников, и масса ее измеряется по наблюдаемым возмущениям орбит соседних планет. Венера обладает плотной облачной атмосферой, скрывающей все детали ее поверхности. Следовательно, при отсутствии каких-либо пятен, за исключением лишь весьма неопределенных, измерение периода вращения планеты при помощи визуальных наблюдений крайне затруднено. Некоторые наблюдатели утверждают, что период этот равен 225 дням, т. е. периоду орбитального обращения вокруг Солнца. Если бы это было так, то к Солнцу было бы обращено всегда одно и то же полушарие Венеры так же, как к Земле всегда обращено одно и то же полушарие Луны; последствия были бы замечательны, так как на обращенной к Солнцу полусфере господствовал бы непрерывный день, а на другой полусфере — постоянная ночь. Последние наблюдения, однако, решительно опровергают эту точку зрения. При помощи деликатного прибора, называемого термоэлементом, можно измерить тепловую радиацию слабого источника. Если бы одно полушарие Венеры никогда не освещалось солнечными лучами, то оно излучало бы очень мало тепла. Однако наблюдения с термоэлементом определенно обнаружили некоторое достаточно заметное количество тепла, излучаемое темным полушарием; это обстоятельство, повидимому, исключает возможность периода вращения в 225 дней. Мы видели применение принципа Доплера к измерению вращения Солнца. На Лоуэлльской и Маунт-Вилсоновской обсерваториях предприняты подобные же серии наблюдений относительно Венеры: в результате этих наблюдений получены указания, что период вращения равен по меньшей мере пяти дням.

Каково строение атмосферы планеты? Содержит ли она водород и водяные пары, которые имеют такое значение

для земной жизни? Мы, очевидно, должны решить эти вопросы с помощью спектроскопа. Свет, получаемый нами от Венеры, есть свет Солнца, проникающий в атмосферу планеты до известной глубины, где он претерпевает отражение и рассеяние; отраженный свет совершает обратный путь сквозь промежуточные слои атмосферы, проходит нашу собственную атмосферу и входит в щель спектроскопа. Во время двукратного прохождения сквозь атмосферу планеты и прохождения сквозь земную атмосферу солнечный свет претерпевает на своем пути поглощение в различных газах и соединениях; согласно принципам спектрального анализа, в спектре Венеры должны быть представлены линии и полосы поглощения, характерные для этих веществ. Линии и полосы поглощения, обусловленные земным кислородом и пр., можно изучить в обычном солнечном спектре, и их действие можно принять во внимание при рассмотрении спектра Венеры. Результаты последних спектроскопических исследований, по видимому, решительно указывают на отсутствие кислорода и водяных паров в тех слоях атмосферы Венеры, сквозь которые проходит солнечный свет. Это, однако, еще не означает, что планетная атмосфера совершенно лишена их. Если солнечный свет отражается от облаков в высоких слоях атмосферы, то наблюдения в некотором смысле доказывают лишь нашу неспособность проникнуть в более интересные глубины. Таким образом, кроме самого факта ее существования, атмосфера Венеры остается загадкой.

Вопрос о возможности жизни на соседних планетах или в более удаленных областях вселенной, конечно, чрезвычайно занимает наше воображение. Вопрос этот возник в первую очередь относительно Марса, и на дальнейших страницах мы увидим, какой ответ нам приготовила современная астрономия. Возможна ли на Венере жизнь? Здесь мы вступаем в область голых предположений, так как наши знания о планете, как мы видели, весьма ограничены. Подтверждение подобных предположений можно видеть, во-первых, в общем сходстве планеты, с точки зрения размеров и массы, с нашей Землей, что указывает на параллельный ход эволюции с самых отдаленных времен; во-вторых, в существовании атмосферы, состав которой нам однако совершенно неизвестен. В самом деле мы имеем право сказать, что физические условия на Венере вероятно сходны с земными, и прибавить, что какие бы профессии ни были

распространены на Венере, профессия астронома почти навсегда останется там неизвестной.

Из всех планет, возбуждавших любопытство и размышления в равной мере астрономов и обывателей, Марс стоит на первом месте благодаря тем особенностям, которые наблюдаются на его поверхности. Марс по сравнению с другими большими планетами (за исключением Венеры) наиболее близко может подходить к Земле во время наиболее благоприятной оппозиции. Орбита Марса имеет сравнительно большой эксцентриситет, так что расстояние его от Земли во время оппозиции колеблется от 56 до 101 млн. км. Последняя благоприятная оппозиция была в августе 1924 г., когда расстояние от Марса до Земли было близко к наименьшему возможному расстоянию; и этот удобный случай, как мы увидим, был весьма успешно использован астрономами для интенсивного изучения планеты.

Диаметр Марса равен 6/800 км, что находится приблизительно посередине между диаметрами Луны (почти или полностью мертвого мира) и Земли, обладающей многими формами жизни. Марс совершает свой оборот вокруг оси в 24 ч. 37 м.; так день Марса почти равен земному. Период орбитального обращения равен 687 дням; год на Марсе немного меньше двух земных лет. Наклон экватора планеты к плоскости его орбиты равен приблизительно 25°, так что смена времени года на Марсе весьма сходна с нашей земной. Вследствие большего расстояния от Солнца Марс получает всего около половины того тепла и света, которые получаем мы от Солнца. Судя только по этим фактам, сходство между Марсом и Землей весьма замечательное. Марс имеет двух спутников, открытых профессором Азафом Холлом в 1877 г.; они названы Фобосом и Деймосом. Это крошечные тела, диаметры которых заключены между 16 и 80 км. Первый совершает свое полное обращение по орбите вокруг Марса в 7 ч. 39 м.; другой — в 30 ч. 18 м. в том же самом направлении, в каком происходит и вращение планеты. Обстоятельства, связанные с периодом обращения Фобоса, замечательны и не имеют себе подобных в солнечной системе; в самом деле, он обращается в три раза скорее, чем вращается планета, поэтому для типичного наблюдателя на Марсе спутник восходит на западе и заходит на востоке. Деймос ведет себя более прозаично, восходя на востоке и заходя на западе. Фобос находится всего на расстоянии 5 900 км от поверхности планеты, поскольку по

скость его орбиты совпадает с плоскостью экватора планеты, он не может быть виден с поверхности ее дальше чем с 69° марсианской широты. На полюсах не виден ни один из спутников.

Очень редко бывает, что писатели совершают такие экскурсии в область астрономических фантазий, которые позднее находят себе действительное подтверждение в научных открытиях, и потому тем более любопытно совпадение, связанное с «Путешествиями Гулливера» (написанными задолго до открытия спутников Марса), в которых астрономы из Ляпуты, вооруженные хорошими телескопами и острым зрением, «открыли» двух спутников Марса — одного с замечательным периодом обращения в 10 час., а другого в 21,5 часа.

При разборе физических особенностей Марса — деталей его поверхности, атмосферы и прочего — следует хорошо помнить, что до последнего времени наблюдения планеты были исключительно визуальными, и вследствие этого представление о мелких деталях поверхности планеты Марса зависело главным образом от качества телескопов, от остроты зрения наблюдателя и от постоянства и прозрачности атмосферы над обсерваторией наблюдателя. Это последнее условие, так называемая хорошая «видимость», совсем не так часто бывает выполнено, как это может казаться на первый взгляд. Неудивительно, что возникали разногласия по поводу достоверности отдельных деталей, которые подтверждались одними наблюдателями и отрицались другими. Автор считает полезным при описании Марса дать небольшой исторический очерк с упором на те детали поверхности Марса, существование которых подтверждено иными наблюдениями, кроме визуальных.

Меньше чем через 30 лет после изобретения телескопа впервые были замечены на диске Марса пятна неопределенных очертаний, а в 1659 г. голландский астроном Гюйгенс впервые зарисовал вид его поверхности; он же определил период его вращения — около 24 часов. В 1719 г. Мирабди открыл два сверкающих белых пятна, которые известны под названием полярных шапок. Вильям Гершель старательно наблюдал Марс при всякой возможности между 1777 и 1784 гг.; сначала он пришел к выводу, что полярные шапки представляют собой неподвижные образования на марсовой поверхности, но дальнейшие наблюдения показали ему, что пятна меняются по величине в зависимо-

сти от времени года на Марсе. На Земле мы имеем две полярные шапки — арктическое ледяное поле и антарктический покрытый снегом континент; в течение нашего северного лета границы снега и льда отодвигаются все дальше и дальше к северному полюсу, и в то же время размеры антарктической шапки увеличиваются в течение южной зимы. Гершель считал многозначительным сходство в поведении между полярными шапками на Марсе и снеговыми и ледяными шапками на Земле, и он пришел к выводу, что «светлые полярные пятна обусловлены сильным отражением света от покрытых льдом областей и что уменьшение пятен следует приписать действию Солнца». Далее Гершель получил некоторые доказательства существования атмосферы на Марсе, откуда он заключил, «что обитатели Марса, вероятно, находятся в условиях, до известной степени сходных с нашими собственными».

Наблюдателя Марса поражает прежде всего контраст между различными частями его поверхности, так как одни большие области имеют красноватый оттенок, другие же сине-зеленый. На картах середины XIX в. эти области обозначались соответственно «континентами» и «океанами» по аналогии с Землей. Однако «океанами» эти темные области называть неправильно, так как, будь они действительно морями в нашем смысле слова, они действовали бы подобно большим зеркалам, в которых земной наблюдатель замечал бы блестящее отражение Солнца. По одной этой причине номенклатура неудачна; однако названия сохраняются до сих пор, и мы должны поэтому помнить, что океан Марса не есть область, покрытая водой.

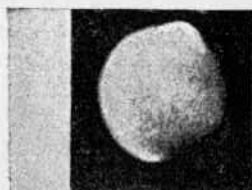
В 1877 г. итальянский астроном Скиапарелли сообщил об открытии «каналов» — тонких, едва заметных линий, пересекающих марсовы континенты. Это слово было неудачно переведено на английский язык как «каналы», что немедленно предполагало наличие мыслящих и целеустремленных их строителей. Через два года Скиапарелли сделал дальнейшее сообщение, которое сначала казалось настолько же сомнительным, как и поразжающим, именно что один из каналов теперь стал двойным наподобие пары параллельных рельсов трамвайной линии. Позднейшие визуальные наблюдатели отмечали аналогичное двоение каналов. В 1892 г. Пиккеринг сделал дальнейшие добавления к географии Марса, именно он отметил крошечные черные площадки, встречающиеся почти неизменно на пе-

ресечении одного канала с другим; сначала они были названы «озерами», затем «оазисами». Однако скоро стало очевидным, что разделение поверхности Марса на континенты и океаны было в корне ошибочным. Во-первых, цвет так называемых морей подвержен сезонным изменениям, указывающим на весенний рост и последующее осеннее увядание растительности; во-вторых, в 1892 г. Пиккеринг наблюдал несколько каналов, пересекающих темные площади; этим естественно исключается представление о последних как о морях. В 1894 г. Персиваль Ловелл построил и оборудовал новую обсерваторию в Флагстафе в Аризоне на высоте 2 100 м над уровнем моря — для изучения главным образом физических особенностей планет вообще и Марса в частности. Место было выбрано с большой тщательностью, чтобы обеспечить возможно наилучшие условия видимости. Ловелл скоро стал главным защитником теории об обитаемости Марса. Существование атмосферы было установлено в результате случайных наблюдений облаков, плавающих высоко над поверхностью планеты. Талые полярные шапки представлялись окаймленными голубоватыми кольцами, которые контрастно выступали по сравнению с белой площадью по мере течения весны и лета на Марсе; это указывало на образование из талого льда и снега временных морей или болот. Как эти, так и другие наблюдения, которые нам нет необходимости перечислять, повидимому не оставляют сомнений в том, что Марс обладает атмосферой, более разреженной по сравнению с нашей собственной, некоторым количеством воды, о чем говорят полярные шапки, и какой-то растительностью, претерпевающей сезонные изменения. Кроме того там существует система каналов (картина IX, 6 воспроизводит последние зарисовки). Ловелл считал каналы искусственными, плодом человеческих усилий, направленных на поддержание ненадежного существования перед лицом тяжелых природных условий; он предполагал, что это есть способ передачи не слишком обильной на планете воды, главным образом сосредоточенной на полюсах, в более сухие районы.

Заключения Ловелла подвергались со всех сторон критике; главным образом утверждалось, что каналы в действительности не существуют, являясь чем-то вроде оптической иллюзии, хотя научная честность Ловелла и других астрономов, наблюдавших каналы, никогда не возбу-

ждала сомнений. Может ли фотография способствовать получению независимых доказательств существования этих особенностей Марса? Можно произвести параллельное испытание визуального и фотографического методов наблюдения на Юпитере, который является более легким объектом для фотографирования, нежели Марс; если снимки могут дать достаточно мелкие детали, подтверждая тем самым визуальные наблюдения этой планеты, то фотографическое изучение Марса можно было бы считать покоящимся на верном фундаменте. При наиболее благоприятной оппозиции угловой диаметр Марса достигает 23" дуги, т. е. меньше $\frac{1}{10}$ углового диаметра Луны. Диаметр изображения планеты на фотографической пластинке составляет всего долло сантиметра; отсюда ясно, что выявление мелких деталей на столь малом изображении должно зависеть от высокого качества аппаратуры и от возможно наилучших условий наблюдения. На Ловелловской обсерватории были сделаны тысячи снимков Марса, Юпитера и других планет, и снимки Юпитера, например, подтвердили визуальные наблюдения этой планеты. Как обстоит дело с фотографиями Марса? Приемники Ловелла в Флагстафе считают, что фотографии подтверждают визуальные наблюдения Марса во всех деталях; в частности многие каналы, наблюденные визуальным методом, были зафиксированы также фотографически. Сюда можно добавить, что снимки Марса, полученные на Ликской обсерватории во время оппозиций 1924 и 1926 гг., дают общее подтверждение полученных в Флагстафе выводов (см. картину IX, 5 и 6).

Теперь мы опишем новый метод изучения Марса. Во время оппозиции 1924 г. Райт на Ликской обсерватории применил новый способ фотографирования планеты через три цветных стеклянных фильтра, которые мы будем называть красным, желтым и фиолетовым фильтрами. Сначала рассмотрим желтый фильтр. Он помещается непосредственно перед фотографической пластинкой, так что свет от планеты должен пройти сначала через фильтр, прежде чем записать свое послание на пластинке. Желтый стеклянный фильтр пропускает только желтый свет; кроме того, к желтому свету глаз наиболее чувствителен, и «желтое изображение» можно, следовательно, считать верной репродукцией визуального вида планеты, выявляющей наблюденные контрасты на ее поверхности. Фото-



1



2



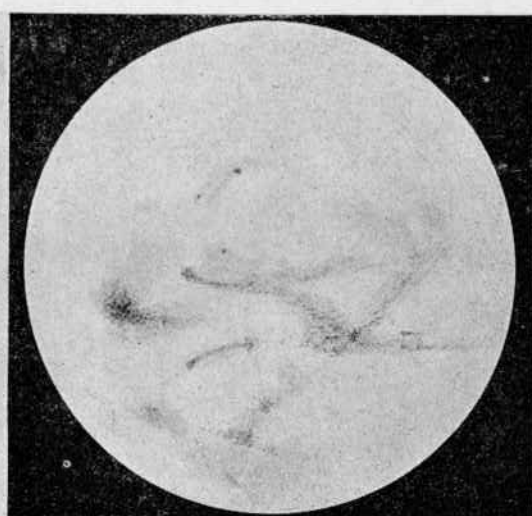
3



4



5



6

Снимки и зарисовки Марса

графин Марса, полученные через красный, желтый и фиолетовый фильтры, мы будем просто называть соответственно красным, желтым и фиолетовым изображениями планеты. Длинный ряд наблюдений показал несомненные различия между красным, желтым и фиолетовым изображениями. Красное изображение весьма контрастно выявляет то, что считается постоянными деталями поверхности; в желтом изображении контрастность несколько слабее, а фиолетовые характеризуются безнадёжным однообразием (за исключением полярных шапок) без всякого намека на детали, выявляемые красным и желтым изображениями (см. картину IX, 1 и 2). Объяснение замечательных различий между красным и фиолетовым изображениями (в этом смысле нам не нужно вовсе рассматривать желтого изображения, так как оно имеет промежуточный характер между красным и фиолетовым) найдено в существовании на Марсе атмосферы и в ее отношении к падающему солнечному свету. Мы должны помнить, что Марс нам виден лишь благодаря отражаемому им солнечному свету и что солнечный свет, или скорее полная солнечная радиация, состоит из света или радиации различных длин волн. Если мы обратимся на один момент к действию нашей собственной атмосферы на свет различной длины волны, то мы сможем лучше понять объяснение различий в красном и фиолетовом изображениях Марса. В безоблачный день небо голубое. Почему? Причина заключается в более сильном рассеянии газообразными и прочими частицами нашей атмосферы солнечного света с более короткими длинами волн, т. е. синих лучей. В результате глаз получает со всех сторон (кроме прямого направления на Солнце) преобладающее количество синего света, который доходит к нему зигзагами сквозь атмосферу. Следовательно, если мы смотрим на небо в определенном направлении, то мы воспринимаем совокупность всего синего света, который совершил свой извилистый путь сквозь атмосферу и достиг в конце концов нашего глаза по некоторому определенному направлению. Свет большей длины волны, в частности красный свет, почти совсем не рассеивается. Этим обстоятельством объясняется красный вид заходящего Солнца, так как свету приходится проходить сквозь значительно большую толщу атмосферы и, следовательно, свет с более короткими длинами волн рассеивается, не достигая глаза (эффект усиливается,

если мы взглянем на Солнце сквозь легкий туман или облако пыли), и только красным лучам солнечного света удастся проникнуть в глаз. Рассмотрим теперь солнечный свет, падающий на Марс. Радиация коротких длин волн рассеивается верхними слоями атмосферы Марса; радиация с длинными волнами проникает до его поверхности и, отразившись, снова пересекает атмосферу и, наконец, достигает телескопа. Другой пример подобного явления приведен на картине IX, где фотографии 3 и 4 представляют собой снимки пейзажа в Сан-Хосе, сделанные с горы Гамильтон — один через фиолетовый, а другой через красный фильтр. На фиолетовом снимке все детали сглажены вследствие рассеяния фиолетового света при прохождении сквозь атмосферу между Сан-Хосе и горой Гамильтон, в то время как на красном снимке все детали прекрасно видны. Если мыотрежем свет всех длин волн кроме фиолетового света, что и случается при фотографировании сквозь фиолетовый фильтр (длина волны фиолетового света короче синего), то изображение на пластинке есть по существу снимок верхних слоев марсовой атмосферы; напротив, если мы отрезаем все кроме красного света, то красное изображение является снимком марсовой поверхности. Таково объяснение разницы между красным и фиолетовым изображениями.

Если атмосфера Марса обширна, то должна была бы быть заметна разница между размерами красного и фиолетового изображения; действительно, радиус последнего должен бы быть радиусом красного изображения плюс высота атмосферы. Райт установил, что фиолетовые изображения определенно больше красных и что, судя по измерениям, марсова атмосфера достигает около 96 км высоты. Как мы видели, визуальные наблюдатели установили существование атмосферы; в 1924 г. (и в 1926 г.) фотографические наблюдения подтвердили это иным путем и в дополнение дали вероятную высоту, до которой простирается атмосфера. Эта высота равна около половины земной атмосферы (полученной по наблюдениям метеоров, о чем речь будет дальше), но это приближенное соотношение высот не должно означать, что существует также аналогичное соотношение плотностей атмосфер. Плотность атмосферной оболочки у поверхности зависит (между прочим) и от притяжения планетой частиц, образующих атмосферу; на поверхности Марса оно много меньше, чем на

поверхности Земли. Если принять во внимание эти соображения, то плотность атмосферы на поверхности получается по вычислениям равной около половины плотности нашей атмосферы на высоте вершины Эвереста.

Один любопытный результат фотографических наблюдений Райта относится к северной полярной шапке. На фиолетовом изображении она видна отчетливо, на красном же это лишь мало заметный объект. Даты наблюдений соответствуют зиме в северном полушарии Марса. Если объяснение красного и фиолетового снимков правильно, то полярная шапка фиолетового изображения должна быть атмосферным, а не поверхностным явлением. Красное же изображение доказывает, что зафиксированный на нем слабо заметный объект есть поверхностное явление. Отсюда следует, что северная полярная шапка в течение зимы представляет собой двойной объект; если требуются дальнейшие подтверждения, то они найдены в постепенном исчезновении с наступлением весны шапки на красном изображении, в то время как на фиолетовом и желтом она все еще остается заметной. Однако не похоже, чтобы атмосферная шапка фиолетового изображения состояла из облаков, подобных нашим земным; последние непроницаемы для красного света, мы же видели, что на красных снимках под атмосферной шапкой выходят очевидные детали поверхности. Райт заключает, что верхняя шапка представляет собой туман, состоящий из весьма мелких частиц. Следует добавить, что южная полярная шапка, т. е. шапка, переживающая во все время наблюдений южное лето, представляет собой поверхностное образование.

До сих пор мы еще не упоминали о температурных условиях на Марсе. Если северная полярная шапка, наблюдавшаяся в 1924 г. (зимняя шапка), состоит из снега, то температура в северных полярных областях, ясно, должна быть значительно ниже нуля Цельсия; и обратно, если такая шапка тает с наступлением лета на севере, то температура в северном полушарии Марса должна подниматься выше нуля. Этот аргумент подвергался проверке в 1924 и 1926 гг. при помощи радиометра — очень чувствительного прибора, предназначенного для измерения слабой тепловой радиации. Наблюдения 1924 г., подтвержденные в общем и наблюдениями 1926 г., показали, что температура в северных полярных областях в разгаре зимы остается почти постоянной и равна -70°C , в то время как в южных поляр-

ных областях в течение лета температура поднимается до 10°C . Что касается областей в центре диска, т. е. областей под полуденным солнцем, то наблюдения дают температуру от 10 до 20°C для темных областей (так называемых «морей») и приблизительно на 15° ниже для прилегающих светлых областей — континентов или пустынь по Ловеллу. Марсианская ночь должна быть исключительно холодной, так как области, где Солнце близится к заходу, дают нулевую температуру, там же, где Солнце только что взошло, температура достигает 45° ниже нуля. Низкие температуры, найденные для Марса — низкие по сравнению с земными, — находятся в согласии со сравнительно низкой атмосферной плотностью, на которую мы уже ссылались. Упомянутые до сих пор температуры относятся к самой твердой поверхности Марса; температура же атмосферы хотя бы и вблизи поверхности должна быть несколько ниже.

Какое же заключение мы сделаем из длинных и трудных исследований физических особенностей Марса?

Планета имеет атмосферу, вероятно, более разреженную, чем Земля; сезонные исчезновения и рост полярной шапки указывают на существование ограниченного количества воды на поверхности планеты; последнее подтверждается спектроскопическим открытием водяных паров в марсовой атмосфере астрономами Ловелловской обсерватории в 1908 г.; температурные наблюдения установили, что Марс, судя по нашим собственным земным стандартам, является в лучшем случае довольно холодной планетой; сезонные изменения, наблюденные в темных областях, свидетельствуют о существовании некоторой формы растительности. Что же представляют собой «каналы»? В настоящее время остается мало сомнений в их объективной реальности. Теория искусственности теперь серьезно не поддерживается, так как они изменяются от широких несколько размытых полос в несколько сот километров шириной до узких почти неразличимых линий, заснятых Ловеллом. Тренилер, тщательно наблюдавший Марс во время оппозиций 1924 и 1926 гг. при помощи большого рефрактора Ликской обсерватории, высказывает следующую точку зрения: «Вероятно, систему «каналов» следует отождествить с впадинами на поверхности, которые благодаря более высокой температуре и скоплению испарений производят более пышную растительность и вследствие этого становятся видимыми»; эта точка зрения, по видимому, носит в себе зародыш

истины. Земля изобилует жизнью всевозможных форм, Луна холодна и мертва; где-то посредине находится Марс, идущий к упадку мир, чье эволюционное развитие едва течет.

Мы оставим Марс с его интересными, но лишь частично разрешенными проблемами и перейдем дальше к Юпитеру, этому гигантскому планетному семейству. Форма Юпитера значительно отличается от шаровой, так как полярный диаметр (ось его вращения) равен 132 500 км, а экваториальный диаметр — 141 900 км. Эти размеры, разумеется, получены по наблюдаемым углам, под которыми соответственные диаметры видны с Земли, и по известным расстояниям планеты от Земли в момент наблюдения. Масса Юпитера точно определена по наблюдаемым периодам обращения его спутников на основании применения третьего закона Кеплера; она равна $1/1047$ солнечной массы и превосходит сумму масс всех прочих планет. Размеры и масса позволяют вычислить его плотность, которая оказывается равной 1,34 плотности воды.

Наибольшую славу Юпитера доставляет ему его чудесная система спутников. Открытие Галилеем в 1610 г. четырех больших спутников было одним из первых плодов вновь изобретенного телескопа; как мы видели, это важное открытие оказало большое влияние на развитие астрономической науки. Пятый спутник был открыт Барнардом в 1892 г., а настоящее столетие увидело открытие еще четырех. Последние пять спутников представляют собой крошечные тела, незначительные по сравнению с четырьмя большими галилеевыми спутниками, которые со своими диаметрами от 3 300 до 5 700 км соперничают по величине с четырьмя внутренними планетами. Два внешних спутника находятся на огромном расстоянии от Юпитера, обращаясь по громадным орбитам с диаметром около 24 млн. км и затрачивая около двух лет на один полный оборот. Однако главное, что их отличает от семи остальных спутников и от спутников уже рассмотренных планет, — это направление, по которому совершается их орбитальное обращение вокруг Юпитера. Мы уже при случае отметили общее однообразие, наблюдаемое в солнечной системе; все планеты обращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении (против часовой стрелки), и большинство спутников обращается вокруг своих центральных планет в том же направлении. Два внешних спутника Юпи-

тера являются исключением из этого правила, обращаясь в обратном направлении.

Четыре больших спутника легко видеть в самый маленький телескоп; даже театральный бинокль достаточен, чтобы их заметить, и их движения представляются заманчивым объектом для изучения. Их периоды обращения во-



Рис. 57.

круг Юпитера не меньше $1\frac{3}{4}$ и не больше $16\frac{2}{3}$ дней. Плоскости орбит весьма мало наклонены к плоскости орбиты Юпитера вокруг Солнца, которая сама наклонена к эклиптике под весьма малым углом. Вследствие этого мы ви-

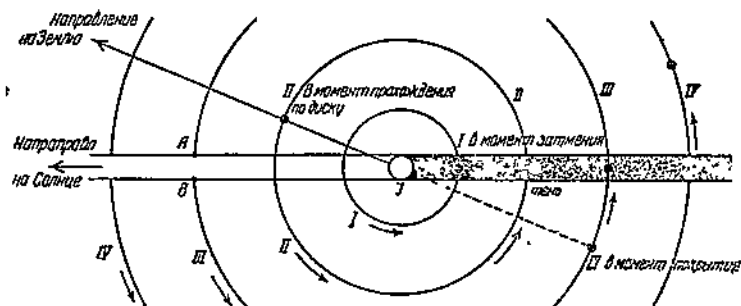


Рис. 58.

дим четырех спутников вместе с Юпитером, расположенными всегда почти на прямой линии, и их движения наблюдаются нами как боковые движения в ту и другую сторону перед диском планеты или позади него. На рис. 57 изображена типичная конфигурация Юпитера с четырьмя большими спутниками. На рис. 58 орбиты спутников нарисованы так, чтобы иллюстрировать некоторые интересные явления, связанные с этими телами. Показаны также

направления на Солнце и на Землю. Так как Юпитер не является самосветящимся телом, его яркость обусловлена отражением солнечного света. Вследствие этого, когда спутник вступает в тень, отбрасываемую планетой, то он на время становится невидимым, для него наступает затмение. Спутник I показан в тени Юпитера. Спутник II показан в момент прохождения, когда с Земли он представляется пересекающим диск Юпитера; но так как спутник сам освещается Солнцем, это явление не так легко наблюдать. Диаграмма показывает еще другое явление, именно покрытие спутников планетой (спутник III на рис. 58); при обращении вокруг Юпитера спутник проходит позади диска и на время исчезает из виду. Четвертым явлением и в некотором отношении наиболее прекрасным является прохождение тени спутника по планетному диску. Рассмотрим III спутника. Когда он находится между точками A и B своей орбиты (рис. 58), то он перехватывает часть света, которая иначе освещала бы Юпитер; спутник, иными словами, отбрасывает тень, которая видна как маленькая черная точка на светлом фоне Юпитера; с продвижением спутника по орбите тень проходит по диску планеты.

Непрерывные наблюдения затмений спутников привели к выяснению закона, управляющего этим явлением, и астрономы смогли предсказывать его наступление с достаточной точностью. Однако наблюдения не вполне согласовались с предсказаниями, так как иногда затмение происходило на несколько минут раньше, а в другой раз на несколько минут позднее. Неточности в астрономии, подобные этой, обычно приводили к весьма важным открытиям, и явление затмения спутников Юпитера не было исключением из общего правила. Было замечено, что вблизи оппозиции Юпитера, т. е. когда он ближе всего к Земле, затмения происходили раньше предсказанного времени; когда же Юпитер находился на расстоянии от Земли, большем среднего, то затмения запаздывали по отношению к назначенному времени. В 1675 г. датский астроном Рёмер дал объяснение кажущихся неправильностей в поведении спутников. До этого предполагалось, что свет движется с бесконечно большой скоростью; это на самом деле значит, что излучение светового сигнала и его приемка происходят совершенно одновременно, как бы велико ни было расстояние. Затмение спутника как раз является подоб-

ным сигналом; если бы скорость света была бесконечной, то время его приема (т. е. наблюдения в телескоп) не зависело бы от относительного положения Юпитера и Земли на их орбитах. Рёмер однако убедительно доказал, что наблюдаемые расхождения в явлении затмения спутников представляют собой просто следствие конечной скорости света, величину которой можно было вычислить по известным в этой задаче данным. Нечего и говорить, что результат его был лишь грубым приближением к современному значению 300 000 км/сек, так как расстояние Земли от Солнца, устанавливающее масштаб солнечной системы, было тогда известно лишь с малой степенью точности.

Картина X, *a* и *b* дает читателю представление о виде Юпитера в телескоп. Наиболее характерной особенностью являются широкие полосы различных оттенков, параллельные экватору планеты; они не остаются постоянными. В 1878 г. наиболее характерной особенностью планеты являлось большое овальное пятно сначала розового цвета, превратившееся затем в кирпично-красное; это было знаменитое красное пятно Юпитера. К 1919 г. оно почти совершенно исчезло (появляясь однако в последующие годы). По наблюдавшимся пятнам был определен период вращения Юпитера вокруг оси; для экваториальных областей он равен 9 ч. 50 м., в то время как для полярных областей период приблизительно на 5 мин. длиннее. Итак, Юпитер напоминает в этом отношении Солнце. Нет сомнения в том, что наши наблюдения Юпитера являются лишь наблюдениями его густой атмосферы, настолько густой, что нам не удается проникнуть до твердой поверхности планеты, если вообще здесь имеется твердая кора, подобная земной. Период вращения Юпитера самый короткий в солнечной системе; образование, находящееся на экваторе Юпитера, кружится с огромной скоростью в 153 км/мин. Каково физическое строение Юпитера? Плотность его, как мы видели, всего в $1\frac{1}{2}$ раза больше плотности воды, что равно почти в точности средней плотности Солнца. Еще несколько лет тому назад вообще считалось, что Юпитер газообразен подобно Солнцу и имеет значительную температуру, правда не настолько высокую, чтобы светиться самому. Это последнее обстоятельство является необходимым выводом из полного исчезновения спутников во время затмений; ведь если бы планета была хоть немного самосвещающейся, то затмившийся спутник был бы хотя слабо виден бла-

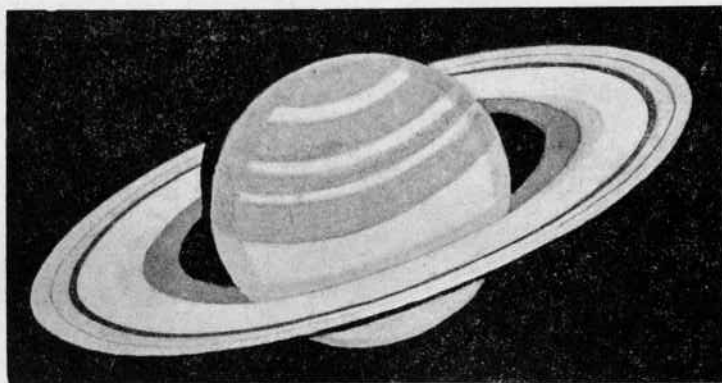


(a)



(b)

Снимки Юпитера: *a* — в ультрафиолетовых лучах, *b* — в инфракрасных лучах.



(c)

c — зарисовки Сатурна.

годаря отражению света от Юпитера. В 1924 г. Гарольд Джеффрис опрокинул все ранее существовавшие воззрения на физическое состояние Юпитера.

Учитывая низкую среднюю плотность планеты и некоторые другие факты, касающиеся ее размеров и формы, он при помощи математических рассуждений пришел к тому выводу, что Юпитер обладает твердой корой, покрытой слоем льда в несколько тысяч километров толщиной, который окружен в свою очередь мощной атмосферной оболочкой. В противовес традиционным воззрениям, считавшим Юпитер горячим телом, теперь он рассматривается как исключительно холодное. Последние радиометрические измерения температуры планеты повидимому подтверждают мнение Джеффриса. Нет нужды рассматривать подробнее аргументы, выдвигаемые по этому поводу двумя противоположными научными школами; читатель, вероятно, сочтет благоразумным отложить решение вопроса, связанного со столь большой неопределенностью, и пока считать физическое строение Юпитера одной из неразрешенных проблем вселенной.

В наши дни мы привыкли к приятному времяпрепровождению, покровительствуемому ежедневной шпессой и заключающемуся в том, что по большинству голосов производится расположение известных авторов, или композиторов, или жокеев по степени их заслуг. Если бы различные небесные чудеса также подвергнуть баллотировке, то несомненно, что Сатурн с его удивительной и красивейшей системой колец получил бы первое место (см. картину X, е).

Когда Галилей наблюдал движение планет своим слабым и незатейливым телескопом, он был поражен, казалось бы, аномальной формой Сатурна. Сначала он подумал, что планета имеет форму сливы, позднее он представлял ее в виде большого шара с двумя маленькими шарами по бокам. Два или три года спустя Галилей был поражен, установив, что два меньшие шара или «звезды», как он их называл, исчезли. «Неужели Сатурн проглотил своих собственных детей?» спрашивал он жалобно. Заблуждение Галилея так и осталось нерассеянным. Дать правильное объяснение виду того, что мы называем в настоящее время кольцами Сатурна, и различных связанных с ним явлений было суждено Гюйгенсу почти полвека спустя. По своим размерам Сатурн следует за Юпитером. Он заметно сплюснут в направлении полюсов; дей-

ствительно, экваториальный и полярный диаметры соответственно равны 120 200 и 107 500 км. Сатурн имеет девять спутников (внешний обращается вокруг планеты в обратном направлении), и, следовательно, масса его может быть точно определена. Средняя плотность планеты, самая низкая в солнечной системе, равна всего 0,7 плотности воды. Аргументы Джеффриса по поводу физического строения Юпитера применимы также к Сатурну. В телескоп на его поверхности видны широкие и довольно слабые полосы, параллельные экватору планеты. Период вращения равен приблизительно 10 ч. 15 м.; это относится к экватору; для более высоких широт период можно считать с большой долей вероятности несколько более длинным. Следовательно, в этом отношении Сатурн напоминает Солнце и Юпитер. Вернемся теперь к удивительной системе колец Сатурна. Плоскость колец совпадает с экваториальной плоскостью планеты, а последняя наклонена к эклиптике под углом в 27° . Через промежуток немного менее 15 лет кольца оказываются обращенными к Земле ребром и на день или два даже в сильнейшие телескопы исчезают из виду. Это и было тем явлением, которое мистифицировало Галилея и позднее было правильно объяснено Гюйгенсом. Через 7,5 года после своего исчезновения и появления кольца видны в их наиболее раскрытом виде, так как тогда высота Земли над плоскостью колец будет наибольшей, именно 27° .

Как только телескоп начал усовершенствоваться, было замечено, что кольцо Сатурна не сплошное. Уже в 1675 г. были обнаружены два кольца с темным делением между ними, названным делением или щелью Кассини по имени астронома, его открывшего. Внешнее кольцо называется кольцом *A*, а внутреннее — кольцом *B*. Около 90 лет тому назад Энке открыл слабое деление в кольце *A*, названное делением или щелью Энке, а в 1850 г. Бонд и Девис независимо открыли слабое продолжение кольца *B* по направлению к планете, известное благодаря его сумеречному виду под названием «крепового кольца». На рис. 59 изображена структура системы колец, представленная в плане или «с высоты птичьего полета». Каково строение колец? Мы должны помнить, что их видимость так же, как и видимость планеты, обусловлена отражением солнечного света. Читатель может считать эту проблему одной из самых неразрешимых в астрономии; хотя мы несомненно не знаем, каким образом

Сатурн оказался наделённым его удивительными кольцами, но тем не менее нам известно, из чего эти кольца сделаны. Они состоят из огромного скопления маленьких отдельных телец, каждое из которых является в конце концов спутником Сатурна, обращающимся вокруг планеты по круговой орбите. Это заключение можно было проверить различными методами — с помощью визуальных наблюдений, математическими и спектроскопическими методами. Кротовое кольцо, например, наполовину прозрачно, так как сквозь него можно видеть диск планеты; это

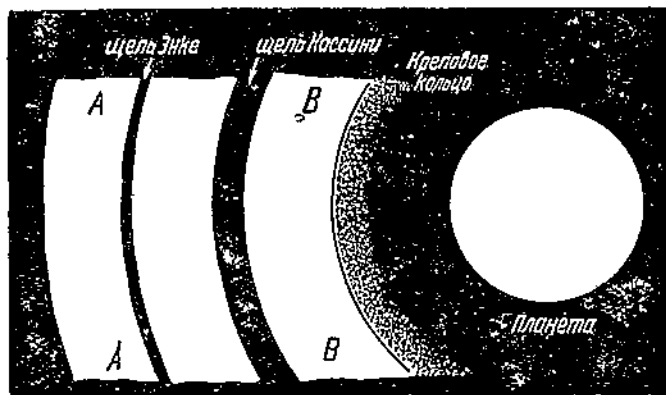


Рис. 59. Кольца Сатурна.

указывает на то, что в нем индивидуальные спутники мельче и менее тесно примыкают друг к другу, чем в более ярких кольцах А и В. Самое интересное наблюдение было сделано капитаном Эйнсли в 1917 г. Так как Сатурн странствует среди звезд, он в некоторых случаях будет проходить перед отдельными звездами, производя, как говорят, их покрытие. Наблюдения Эйнсли относятся к покрытию одной сравнительно яркой звезды кольцами. Путь звезды относительно Сатурна провел ее вдоль деления Кассини и поперек кольца А. В кольце А звезда была еще видна, хотя и с сильно уменьшающейся яркостью. Когда она находилась в делении Кассини, то она практически была столь же яркой, как и вне колец. Эти наблюдения согласуются с общей структурой колец, так как согласно

выпесказанному деления представляют собой просто области, полностью или почти полностью лишенные крошечных спутников, образующих сами кольца. В 1856 г. Клерк Максвелл доказал математически в своем знаменитом исследовании, получившем приз Адамса, что кольца не могут быть ни тонкими твердыми пластинками, ни жидкими, так как в подобном виде они не смогли бы существовать под влиянием действующих гравитационных сил; он доказал, что кольца могут быть устойчивыми и прочными, только если они состоят из множества крошечных спутников. Наиболее решительным доказательством послужили однако спектроскопические наблюдения Килера¹ в 1895 г. Если бы кольца являлись твердыми телами, обращающимися вокруг Сатурна, то скорость вращения в километрах в секунду должна была бы равномерно возрастать, например, от внутреннего края кольца A к внешнему. Если два человека стоят на вращающейся площадке, один на краю, а другой на полпути от края до центра, то первый, ясно, опишет при одном обороте двойное расстояние по сравнению со вторым, так как длины окружностей двух кругов, которые они опишут, пропорциональны радиусам. Соответственно, их тангенциальные скорости вдоль окружности пропорциональны длине радиусов; это значит, что скорости равномерно возрастают от центра площадки. Если, с другой стороны, кольца состоят из огромной стаи спутников, то скорости в различных орбитах спутников уменьшаются по законам Кеплера при переходе от меньшей орбиты к большей. Килер подверг эти две противоположные гипотезы спектроскопической проверке на основании принципа Доплера. Он поместил щель спектроскопа поперек системы колец, как показано на рис. 60. Действительно, линии спектра показали, что скорость по лучу зрения в точке X меньше скорости по лучу зрения в точке Y , более близкой к центру; иными словами скорость, обусловленная вращением кольца, уменьшается от внутреннего края к наружному. Кроме того измерения показали, что скорость, например, в точке X равна в точности скорости по орбите спутника на расстоянии SX от центра планеты. Если до 1895 г. и существовало какое-либо сомне-

¹ Независимо от Килера и одновременно с ним аналогичные наблюдения производили в Пулкове русский астроном А. А. Велопольский и во Франции Деландр. (Прим. ред.)

ние относительно строения колец, то прекрасное доказательство Килера рассеяло его окончательно.

Остается рассмотреть еще одну проблему: почему в кольцах остаются свободные области, так называемые деления? В частности, какова причина, приведшая деление Кассини, имеющее ширину более 3 200 км? Эта очень сложная задача была разрешена Гольдсбро. Движения любого из крошечных спутников, составляющих кольца — мы будем называть их частицами в отличие от планетного семейства спутников или лун — управляются гравитационным притяжением: самого Сатурна, девяти известных спутников и бесчисленных частиц, образующих кольцо. Влияние Сатурна, разумеется, больше всех, и если пренебречь

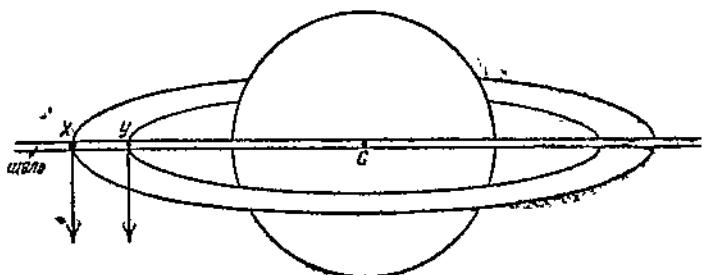


Рис. 60.

всеми прочими, то частица описывала бы определенную орбиту вокруг Сатурна. Девять спутников и само кольцо представляют собой возмущающие факторы, изменяющие орбиту по хорошо известным математическим законам. Если частица описывает орбиту, например, внутри деления Кассини, то такая орбита была бы неустойчивой вследствие возмущающего влияния Мимаса (ближайшего к Сатурну спутника), и частица была бы вынуждена обращаться по орбите с несколько иным диаметром. Таким образом отсутствие частиц в делении Кассини приписывается Мимасу. Едва ли нужно входить в дальнейшие детали; прекрасная математическая теория Гольдсбро объясняет самым замечательным способом различные особенности системы колец.

Уран и Нептун можно описать очень кратко; об обстоятельствах их открытия было уже рассказано. Первый имеет четырех спутников, обращающихся в обратном направлении по своим орбитам почти под прямым углом к плоскости планетной орбиты; это весьма замечательное

отступление от общего правила в солнечной системе. Уран вращается вокруг своей оси с периодом около 11 часов.¹ Нептун имеет одного спутника, открытого Ласселем вскоре после открытия самой планеты; движение его также обратное. Нептун до 1930 г. определял собой границу планетной системы; орбита его почти круговая с радиусом 4 380 млн. км, т. е. почти точно в 30 раз большим расстояния Земли от Солнца. Чтобы совершить обход этой изумительной большой орбиты, Нептуну требуется 165 лет; со времени его открытия в 1846 г. планета продвинулась лишь на полпути по своей орбите.

В 1930 г. после долгих поисков на Ловелловской обсерватории была открыта новая большая планета, расположенная за Нептуном и названная Плутоном. Среднее расстояние ее от Солнца равно 40 астр. единицам. Период обращения равен 250 годам. Замечательны малые размеры планеты, которая оказывается меньше Земли.

До сих пор мы ограничили наш обзор солнечной системы только девятью большими планетами с их системами спутников; рассмотрим теперь многочисленную группу планет, по размерам незначительных по сравнению с их более знаменитыми братьями и известных под названием "малых планет". Если читатель обратится к рис. 5 и 6, то он заметит, что между орбитами Марса и Юпитера имеется гораздо больший промежуток, чем между орбитами, например, Земли и Марса. Как Коперник, так и Кеплер отмечали широкий промежуток между орбитами Марса и Юпитера, и последний серьезно предполагал существование планеты, которая, по его мнению, заняла бы орбиту, промежуточную между двумя этими планетами. В XVIII в. астрономам был известен эмпирический закон, известный под названием закона Боде, который заключается в следующем. Напишите числа 0, 1, 2, 4, 8 и т. д., т. е. получая каждое число удвоением предыдущего ему; помножьте каждое из этих чисел на 3 и к каждому произведению прибавьте 4; результаты приведены во второй строке таблицы 3 жирным шрифтом.

Если среднее расстояние Земли от Солнца обозначить через 10 единиц, то по закону Боде числа, полученные и напечатанные жирным шрифтом, оказываются равными приблизительно средним расстояниям от Солнца извест-

¹ По Паренато (1934 г.) ось вращения Урана почти в точности лежит в плоскости его орбиты. (Прим. ред.)

ных в то время планет (названия планет даны в соответствующих столбцах, а их действительные расстояния в описанной выше шкале — в последней строке; для Урана и Нептуна, тогда еще не открытых, соответствующие числа также даны.¹ Следует признать, что согласие между второй и третьей строками хотя и не математически точно, но все же поразительно. В 1781 г. был открыт Уран, и эта новая планета, как показывают числа, вполне соответствовала схеме.² Вследствие этого астрономы начали серьезно думать, что в конце концов за законом Бодэ скрывается что-то реальное. Они видели прорыв в последовательности между Марсом и Юпитером; эта уверенность побудила

Таблица 3

Меркурий	Венера	Земля	Марс		Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
0	1	2	4	8	16	32	64	128	256
4	7	10	16	28	52	100	196	388	772
3,9	7,2	10,0	15,2		52,0	95,4	191,9	300,7	400

к деятельности, и многие из них принялись за поиски гипотетической планеты, сгруппировавшись предварительно «в общество открытия недостающего мира», состоявшее из 24 человек. Они обыскивали зодиак тщательно, но «недостающий мир» ускользал от всех стараний астрономических сыщиков. 1 января 1801 г. итальянский астроном Пиацци, который был занят привычным делом наблюдения положений звезд, выиграл совершенно случайно приз, столь долго ускользавший от усилий его более систематичных коллег. Новая планета была названа Церерой. Некоторое число наблюдений ее положения было получено, но скоро она потерялась ввиду ее соединения с Солнцем. Однако сделанных наблюдений было достаточно, чтобы позволить Гауссу, молодому германскому математику, вычислить ее орбиту и таким образом предсказать ее положение

¹ Соответствующие цифры для Плутона добавлены редакцией. (Прим. ред.)

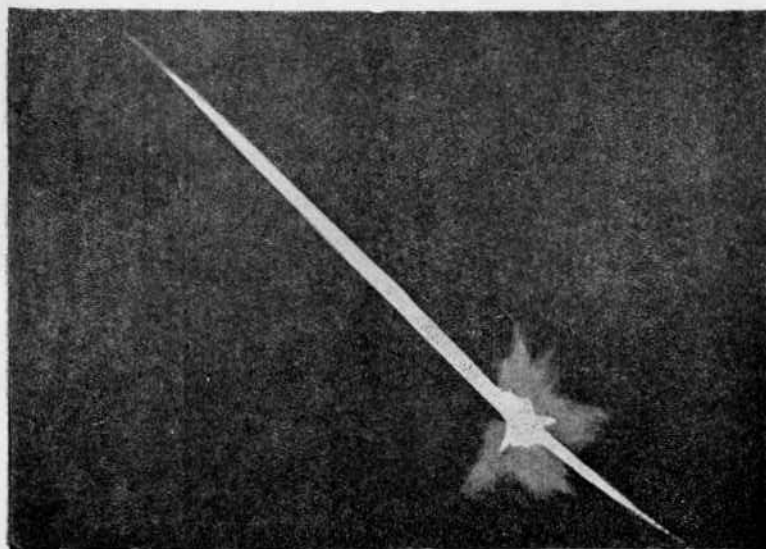
² Уже для Нептуна согласие с «законом» Бодэ становится плохим, а для Плутона он, очевидно, совершенно не годится. (Прим. ред.)

на будущее время. Разумеется, Церера была снова открыта. Хотя Церера и соответствовала схеме, предлагаемой законом Боде, но ее открытие не дало полного удовлетворения, так как это было тело лишь незначительных размеров; современные измерения определяют его диаметр в 770 км — около 0,2 диаметра Меркурия. Когда Ольберо открыл вторую малую планету (Палладу) в 1802 г., то он высказал гипотезу, что первоначально гораздо большая планета занимала вакантную орбиту между Марсом и Юпитером, но при взрыве или просто каком-либо разрыве она рассыпалась на многочисленные куски, из которых первыми открыты Церера и Паллада. В 1807 г. были открыты еще две малые планеты; пятая открыта в 1745 г., и с тех пор число открытий возрастало скачками. До 1891 г. метод розысков малых планет был очень кропотлив, заключааясь в обзоре с телескопом определенной части неба в две или более последовательных ночи; если оказывалось, что один из звездоподобных объектов меняет свое положение относительно звезд в течение 1—2 дней, то этот объект становился новым членом солнечной системы. В 1891 г. Максом Вольфом в Гейдельберге был впервые применен фотографический метод. Телескоп монтировался так, чтобы точно следовать за звездами; вследствие этого их изображения на пластинке имеют круглую форму. Тогда малая планета,двигающаяся относительно звезд, обнаруживает свое присутствие в виде короткой черты на пластинке, причем длина черты зависит от продолжительности экспозиции и той скорости, с которой планета движется среди звезд. На картине XI, *a* воспроизведен снимок, на котором ясно видны следы трех малых планет. По достаточному числу наблюдений можно вычислить орбиту вновь открытой малой планеты, после чего она крепко держится в сетях математического анализа.

В одном 1926 г. было открыто не менее 115 новых малых планет, — все исключительно слабые объекты. Диаметр самой слабой вряд ли превосходит 4—5 км. К концу 1926 г. число известных малых планет приближалось к 2 000, из них доктор Вольф открыл более 500. Планете дается номер, соответствующий дате ее открытия, и большинство до 900-го номера и некоторые за ним имеют и свои названия. Номера 1 000, 1 001 и 1 002 называются Пиацци, Гауссия и Ольберса в память трех выдающихся астрономов, связанных с первыми открытиями малых планет. За одним или



a. Фотография участка неба со следами трех малых планет.



b. Взрыв метеора.

двумя исключениями орбиты малых планет разбросаны между орбитами Марса и Юпитера.

Наиболее интересную группу малых планет представляет собой «троянская группа», состоящая в настоящее время из шести членов — Ахиллес, Гектор, Нестор, Агамемнон, Патрокл и Приам; все они находятся почти на том же среднем расстоянии от Солнца, как и сам Юпитер. На рис. 61 начерчена орбита Юпитера; *A* и *B* представляют собой вершины двух равносторонних треугольников с Солнцем и Юпитером в качестве оснований. Четверо из троянцев (первые четыре из вышеперечисленных) находятся в соседстве с *A*, остальные два — в соседстве с *B*. Как Юпитер обращается вокруг Солнца, так поступают и шесть троянцев, сохраняя приблизительно двойную равностороннюю конфигурацию.

Во все времена кометы внушали ужас и предчувствие надвигающейся катастрофы; суеверные люди считали великолепные кометы, видимые простым глазом, предвестниками несчастия, всенародных бед-

ствий и падения владык с их тронов. О большой комете 1456 г. сохранились записи, говорящие о том, что христианский мир был потрясен ужасом при ее появлении, и папа распорядился производить моления для защиты от страшного визитера, связывая появление кометы с турками, этими страшными врагами христианства. Большие кометы имеют следующую структуру; голову (расплывчатое туманное сгущение), ядро (яркая звездоподобная точка вблизи середины головы) и хвост, который может простираться на миллионы километров. Картина XII, *b* и *a* изображает снимок кометы Галлея при ее появлении в 1910 г. и кометы Морхауза, появившейся в 1908 г. Из всех комет та, которая носит имя великого астронома Галлея, наиболее замечательна. До Галлея кометы считались случайными визитерами, таинственно прибывающими в области пространства, занимаемые солнечной системой, и столь же таинственно исчезающими в

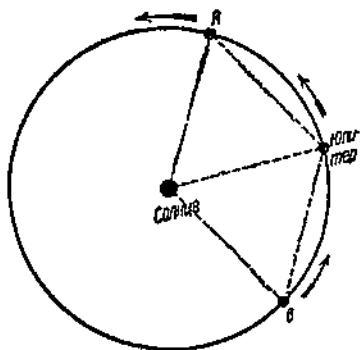


Рис. 61.

неизвестных глубинах. В 1682 г. появилась большая комета, Галлею пришла мысль сопоставить ее с большими кометами, бывшими в 1607 и 1531 гг., и высказать предположение, что она является членом солнечной системы, обращающимся вокруг Солнца с периодом около 75 лет. Галлей предсказал ее возвращение в 1758 г., причем это предсказание точно исполнилось, и ее позднейшие появления (последнее в 1910 г.) были в хорошем согласии с периодом Галлея. При возвращении кометы в 1910 г. один выдающийся астроном написал следующее:

Of all the objects in the sky
There's none like Comet Halley:
We see it with the naked eye
And periodically.
The first to see it was not he
But still we call it Halley
The notion that it would return
Was his originally¹.

Другая замечательная комета была известна под названием кометы Биела (мы нарочно употребляем прошедшее время). К концу 1845 г. она вернулась согласно предсказаниям, сохраняя характерные черты большой кометы. Однако в январе следующего года ее видели разделившейся на две части — небесная катастрофа, не встречавшаяся в истории астрономии. В следующее свое возвращение в 1852 г. комета была еще разделена, но разрыв между двумя частями теперь был уже много больше. В 1858—1859 гг. ее нетерпеливо искали, но комета исчезла (в дальнейшем мы увидим, что с ней случилось).

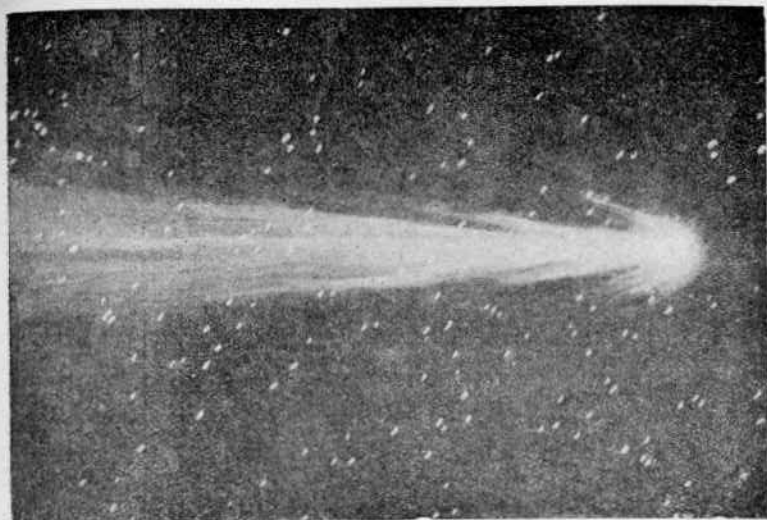
Большая комета 1910 г. (известная официально как комета 1910a) была настолько ярка, когда была вблизи Солнца, что ее можно было легко видеть при полном дневном свете. На рис. 62 дан схематический рисунок кометы (с Солнцем), сделанный при этих обстоятельствах.

Планетные орбиты почти круговые; наоборот, орбиты комет обычно весьма вытянуты. На рис. 63 представлена орбита кометы Галлея по отношению к орбитам планет. При

¹ Перевод:

На всем небе нет другого такого светила, как комета Галлея: мы периодически видим ее невооруженным глазом.

Хотя по Галлею увидел ее первым, мы все-таки называем ее его именем, так как мысль, что она вернется к нам снова, была впервые высказана им.



a. Комета Морхауза (1908).



b. Комета Галлея (1910).

своем наибольшем приближении к Солнцу в 1910 г. голова кометы Галлея была всего на расстоянии нескольких миллионов километров от Солнца; в 1948 г. по прошествии половины периода она будет далеко за пределами орбиты Нептуна на расстоянии от Солнца между 5 и 6 тысячами миллионов километров. Следующая особенность орбиты этой кометы заключается в том, что она описывается ею в противоположном направлении, т. е. комета обращается вокруг Солнца в направлении, обратном тому, в котором обращаются планеты. Имеется еще пять других комет, достигающих орбиты Нептуна или слегка за нее заходящих; они образуют группу, известную под названием нептунова семейства комет. Семейство Юпитера более многочисленно; до сих пор обнаружено около 50 его членов с периодами от 3,3 (период кометы Энке) до приблизительно 8 лет. Относительно массы комет нам мало что известно за исключением того, что по сравнению с планетными массами они



Рис. 62. Рис. кометы (1910a), видимой днем.

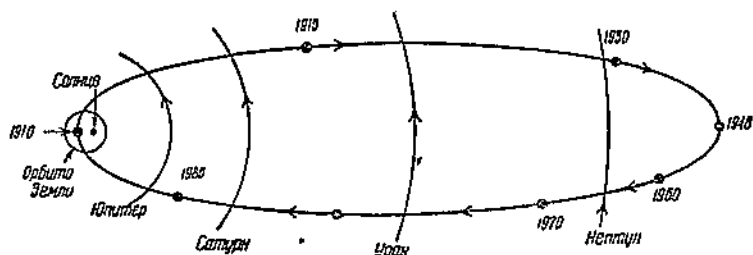


Рис. 63. Орбита кометы Галлея.

должны быть практически ничтожны. Это обстоятельство удивительно ввиду огромных размеров больших комет, обладающих головами, достигающими иногда сотен тысяч километров в поперечнике, и хвостами, которые могут растягиваться на расстояния, сравнимые с диаметром орбиты Земли и даже Марса. Комета с массой, равной, например, массе планеты Меркурия, при ее сравнительно близком приближении к планете, подобной Марсу, оказала бы несомненное действие на орбиту Марса; но подобные эффекты планетных движений никогда не наблюдались в связи

в кометах, из чего можно сделать несомненное заключение, что кометные массы исключительно малы, вероятно ни в коем случае не больше одной миллионной доли земной массы.

Наиболее бросающейся в глаза частью кометы является ее хвост, а наиболее замечательная особенность хвоста та, что он при всех положениях кометы направлен в сторону, противоположную Солнцу. Малая масса кометы и ее большая протяженность должны означать исключительную разреженность вещества, образующего хвост; направление хвоста относительно Солнца указывает на существование солнечного отталкивания. Отталкивание это подобно давлению света на крошечные частицы. Однако достаточно ли давление радиации, чтобы обусловить собой форму хвоста и наблюдаемые движения, имеющие в нем место? Здесь мы достигаем мертвой точки, за которую астрономии еще не удалось продвинуться. Световое давление, весьма вероятно, является важным фактором, но само по себе оно не решает проблему строения хвоста кометы.

Откуда комета получает свой свет? Кометный спектр показывает, во-первых, обычные особенности солнечного спектра; это значит, что часть кометной светимости обусловлена отражением солнечного света крошечными частицами, из которых она состоит; во-вторых — определенные яркие полосы, соответствующие главным образом углеводородистым соединениям и подтверждающие, что комета частично является самосветящейся. Состав комет неодинаков, но с достаточной достоверностью установлено существование углеводородистых соединений и окиси углерода в хвостах: циан, натрий и железо так же, как и углеводород, находятся как в хвостах, так и в кометных головах.

Сверх того имеются другие полосы неизвестного происхождения.

Значительная часть предыдущих рассуждений относится к ярким кометам, многие из которых представляют собой прекрасные объекты для наблюдений невооруженным глазом. Однако многие более слабые кометы, видимые только в большие телескопы, не обладают той же отличительной особенностью (именно хвостом), которой обладают их более великолепные братья. Каждый год появляется в среднем около полдюжины таких слабых телескопических объектов; по Кроммелину 1925 г. побивает рекорд с его

и кометами, многие из которых представляют собой новые открытия.

Рассмотрим теперь кратко метеоры, известные в общезнании под названием «падающих звезд». Это обычно очень маленькие тела, которые, вступая в земную атмосферу с большой скоростью, раскаляются от трения и быстро исчезают, промелькнув яркой полоской. Земная орбитальная скорость равна 29,6 км/сек, так что если метеор встречается Землю, двигаясь ей навстречу, то его скорость относительно нее должна быть больше 29,6 км/сек. В качестве приближенной средней скорости метеора, вступающего в земную атмосферу, мы можем принять 40 км/сек. Таким образом метеор обладает огромным количеством энергии движения, которая в течение кратковременного пребывания метеора в земной атмосфере превращается в тепло и свет благодаря сопротивлению воздуха и трению в нем. Метеор величиной с яблоко имеет достаточно энергии для превращения в пар 2 000 кг воды, находящейся при обычной температуре; и, следовательно, замечательный блеск метеоров должен быть обусловлен испарением метеорного вещества при температуре в несколько тысяч градусов.

Вследствие этого на первый взгляд может показаться немного удивительным, что прекрасное зрелище метеора производит частицей, которая обычно не больше горошины. Иногда метеор исключительной яркости сопровождается треском, подобным удару грома. На картине XI, в изображен снимок очень яркого метеора, который удалось получить Бутлеру в Кембридже и который отчетливо показывает разрушительный взрыв. Еще реже метеорам весом от нескольких фунтов до нескольких тонн удается проникнуть сквозь земную атмосферу, и их небесное странствование тогда оканчивается тем, что их кладут на покой в стеклянные ящики больших музеев; эти «камни с неба» известны под названием метеоритов.

В каждую темную безлунную ночь обычно можно всегда видеть несколько метеоров; в редких случаях наблюдатель неба вознаграждается метеорным зрелищем исключительной силы, и небо в течение часов бывает испещрено сияющими следами сотен и тысяч метеоров. Имеется много исторических записей о больших метеорных дождях. Например «В 599 г. в последний день Могаррема звезды падали там и здесь и летели друг к другу наподобие стаи саранчи; народ был повержен в ужас и обратился с моль-

бой к высшей силе». Записи показывают, что дожди периодичны; объясняется это существованием большого потока (или потоков) метеоров, движущихся по большой орбите под влиянием притяжения Солнца. На рис. 64 изображены орбиты Земли и метеорного роя.

В определенное время, когда Земля пересекает путь метеоров, она встречает основное сгущение, в результате чего происходит метеорная бомбардировка. Год спустя Земля снова находится на пересечении орбит, но большинство метеоров успело уже достичь другого места на орбите, и только оставшиеся вламываются в нашу атмосферу, да-

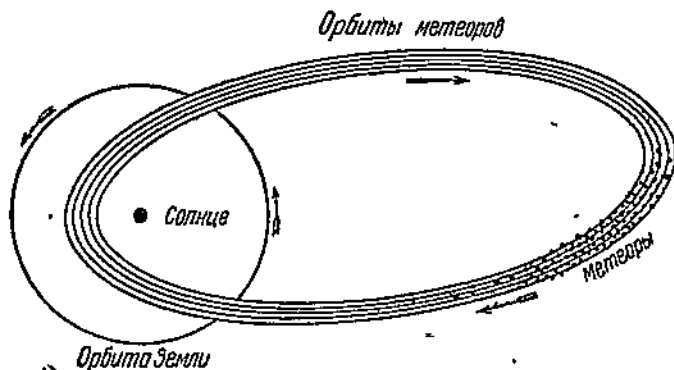


Рис. 64.

вая небольшой поток. Промежуток между двумя последовательными максимальными потоками определяет период обращения главного сгущения. Существует несколько метеорных потоков, каждый со своим собственным периодом. Есть, например, поток леонид с периодом в 33 года; Земля пересекает путь этих метеоров около 14 ноября. Если бы метеоры были действительно сгруппированы вместе, то метеорный поток имел бы место, разумеется, в случае леонид в промежутки времени с интервалом в 33 года. Но каждый год около 14 ноября бывает лишь небольшой поток, показывающий, что существуют метеоры, рассеянные вдоль по большой орбите; как бегуны на большой дистанции растягиваются вдоль трека, так и начальное скопление метеоров понемногу теряет свою компактную форму. Число индивидуальных метеоров должно быть огромным; было оце-

нено, что во время большого дождя Земля захватывает метеоры в количестве 75 000 в час. Это опустошение не может продолжаться до бесконечности, и если орбита, например, леонид останется неизменной, то Земля и планеты должны в конце концов захватить практически весь этот большой рой.

Мы уже говорили о разрыве и исчезновении кометы Биела. Орбита этой кометы была, разумеется, точно известна. Замечательно, что в 1878 г., когда комета должна была снова вернуться в соседство с Солнцем, наблюдался роскошный метеорный поток; из его наблюдений было обнаружено, что орбита метеорного потока совпадает с орбитой пропавшей кометы. Эти метеоры известны под названием «Андромедид». Существование этого и других потоков, по видимому, указывает на метеорное строение комет, по крайней мере отчасти.

Кроме своего космического значения, метеор, проникающий в земную атмосферу, дает способ оценки протяженности земной газовой оболочки. Если несколько наблюдателей на различных станциях заметят путь метеора относительно фона звезд, то комбинированные наблюдения дадут высоту, на которой метеор впервые становится светящимся, и высоту, на которой сопротивление и трение воздуха завершат свое дело. Первая будет та высота, на которой действие атмосферы достаточно сильно, чтобы сделать метеор светящимся; она оказывается равной приблизительно 160 км. Для большинства метеоров высота, на которой сгорание закончено, равняется от 30 до 60 км. На основании данных, представляемых метеорами, мы можем следовательно заключить, что земной атмосферный слой простирается до высоты по крайней мере 160 км над земной поверхностью.

ЗВЕЗДЫ

Жизнь в наших современных городах с ярким искусственным освещением, вспыхивающим с момента погружения Солнца на западе, не допускает столь тесного и дружественного соприкосновения со звездным небом, как в прошлые века, когда небо было для человека открытой и знакомой книгой. Для кочевых племен пустыни, для пастухов, сторожащих ночью свои стада, для моряков в их бессонные ночные часы звезды всегда были верными и постоянными друзьями, известными и называемыми по их привычным именам. Названия звезд, поскольку они пришли к нам через века, по своему происхождению почти исключительно арабские, греческие и латинские. Арабские наименования несут на себе отпечаток или пастушеской жизни или имеют личный характер; звезды, относящиеся к первой категории, обозначаются именами предметов их повседневного обихода, как, например, источников, палаток, яслей, фруктов и пр.; звезды же, принадлежащие ко второй категории, обозначаются прилагательными вроде «верный», «заброшенный», «надежный», «одинокий» и т. д. Греческие и латинские названия звезд, с другой стороны, представляют собой имена их мифологических героев и личностей, например: Кастор, Поллукс. Кроме того греки группировали звезды в созвездия, которым давали великие имена их мифологии (например, Геркулес, Андромеда, Кассиопея и т. д.) и имена животных (например, Медведя, Льва) и предметов (например, Весы и Северная корона).

Трудно найти какое-либо видимое сходство между созвездиями и героями или предметами, в честь которых их называли изобретательность и фантазия прежних наблюдателей неба. Изредка, как например в созвездии *Corona Borealis* (Северная корона), расположение звезд наподми-

нает упоминаемый в названии предмет; в созвездии Ориона также легко заметить общие очертания силача-охотника с крупными звездами, отмечающими его плечи, пояс, меч и пр.

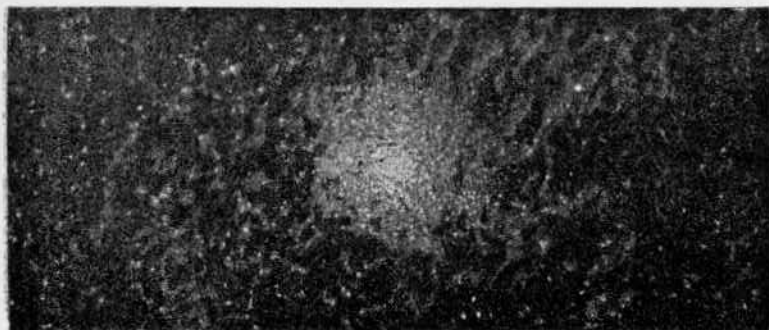
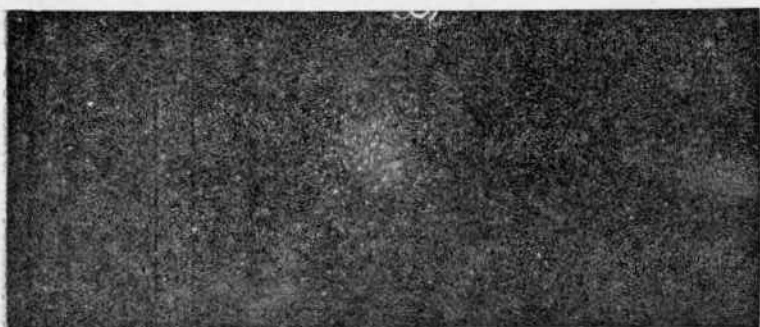
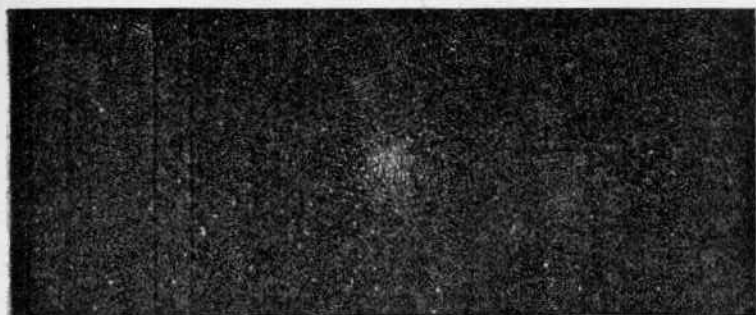
Записи Птолемея сохранили для нас звездный каталог греческого астронома Гиппарха, который жил во II в. до н. э.; этот каталог содержит список 49 созвездий (видимых в Греции) и более тысячи звезд. Позднейший автор пишет о Гиппархе: «Этот человек пошел так далеко, что попытался (вещь, трудная даже для бога) сообщить поколениям точное число звезд». Мы дальше увидим, что наблюдения Гиппарха принесли существенную пользу науке в XVIII в. В настоящее время астрономы различают 88 созвездий, разделяя небо на 88 частей. Границы северных созвездий в основном совпадают с границами, установленными греческими астрономами. Иногда делались попытки отбросить произвольное деление неба и разделить его на участки по единому плану. Однако все такие попытки оказывались безрезультатными; в смысле созвездий современная астрономия все еще остается прямой преемницей мифологической философии.

Самые яркие звезды в созвездиях обозначаются при помощи системы, введенной Байером в начале XVII в. Например, самая яркая звезда в созвездии Ориона называется α Orionis, следующая по яркости — β Orionis, и т. д. по всему греческому алфавиту, по истощении которого вводятся в употребление латинские буквы. Крайняя ограниченность этой системы стала очевидна, когда внимание было обращено на огромное число звезд, выявленных телескопом за пределами видимости невооруженным глазом. Эта система была расширена Флемстидом, который приписал телескопическим звездам номера, не изменяя обозначений ярких звезд, которые продолжают сохранять греческие и римские буквы.

Мы видели в предыдущих главах, что плоскость эклиптики, определяемая орбитой Земли вокруг Солнца, мало отличается от орбитальных плоскостей других планет. Если смотреть с Солнца, то движение Земли в течение года относительно звезд будет представляться в виде большого круга на небесной сфере. Аналогично, если бы мы могли видеть звезды днем, то мы бы нашли, что Солнце, если смотреть на него с Земли, делает в точности такой же обход звезд в течение года. Этот видимый путь и есть эк-

липтика. Большие планеты и Луна всегда расположены в пределах 9° от эклиптики, и эта узкая полоса на небе называется зодиаком, разделенным на 12 созвездий, расположенных на одинаковом расстоянии одно от другого вдоль эклиптики. Двенадцать зодиакальных созвездий следующие: Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей, Рыбы. Созвездие, в котором Солнце находится в некоторый день, легко определяется из наблюдений. Например, если в полнолуние Луна находится в третьем созвездии, т. е. в созвездии Близнецов, то Солнце должно быть на противоположной стороне эклиптики в девятом созвездии, т. е. в созвездии Стрельца. Во время ущерба, если на юге в полночь будет наблюдаться, например, первое зодиакальное созвездие, т. е. Овен, то Солнце находится в седьмом, т. е. в Весах.

Самые ранние попытки применения фотографии на службу астрономии были сделаны в 1850 г. Принцип исключительно прост: окуляр телескопа снимается и замещается кассетой с фотографической пластинкой. Последнюю можно, закрепив неподвижно в кассете, подвергнуть действию света звезд. Первый успех, когда удалось сфотографировать яркую звезду Вега, быстро множился, и в 1857 г. можно было получать на фотографической пластинке изображения слабейших звезд, видимых простым глазом. Большие возможности фотографии для звездной астрономии были оценены сравнительно рано, но с ее более успешным применением пришлось подождать, пока не были внесены необходимые усовершенствования в фотографический процесс. Изобретение так называемого «сухого процесса», казалось бы, должно было подсказать сразу, что возникли технические возможности, которые можно применить для изучения неба; однако на самом деле введение фотографии в практическую астрономию произошло благодаря лишь почти случайности. В 1892 г. появилась большая комета, представлявшая поразительное зрелище, в особенности в южном полушарии. Фотографические камеры были тогда довольно распространены, и несколько фотографов в южной Африке пытались снять комету. Поскольку камеры не следовали в точности за суточным движением кометы по небу, то подобные попытки, для которых требуется длительная экспозиция, вообще не могли иметь никакого научного значения; однако они обнаружили возможность успешного фотографирования кометы при условии, что фотографическая



Три снимка звездного скопления (M22) в Стрельце с различными экспозициями)

камера точно следует за ней в течение часа или двух, необходимых для удовлетворительной экспозиции. Астрономический телескоп с его точным механизмом для следования за небесными телами при их движении по небу предоставил как раз такое средство. Тогда, по предложению Давида Гилла к трубе 6-дюймового рефрактора обсерватории мыса Доброй Надежды была прикреплена камера, и в октябре-ноябре 1882 г. было получено несколько прекрасных фотографий кометы с экспозициями между полчаса и двумя часами. На снимках была однако не только комета: они имели на себе также изображения сотен звезд. Если это и было еще не фактическим началом революции в области практической астрономии, то это было ее предвестником.

Преимущества фотографии перед визуальными наблюдательными методами совершенно очевидны. Фотографическая пластинка — бессрочный документ, регистрирующий положения звезд в момент экспозиции; эти положения можно измерить на досуге с точностью, далеко превосходящей визуальные наблюдения; большое значение имеет также получающаяся при этом экономия времени в противоположность медленным и скучным визуальным наблюдениям. Однако самая большая сила фотографии вытекает из возможности делать длинные экспозиции. Наш глаз регистрирует лишь мгновенные впечатления, вызываемые в нем светом звезды; фотографическая пластинка, напротив, суммирует все мгновенные световые влияния за все время экспозиции, и чем продолжительнее экспозиция, тем сильнее будет получаться эффект на пластинке. Кроме того, что очень важно, чем продолжительнее экспозиция, тем слабее те объекты, изображения которых могут быть зарегистрированы на пластинке. Три снимка одного и того же звездного скопления с различными экспозициями иллюстрируют эту особенность замечательным образом (см. картину XIII).

Одна звезда отличается от другой силой своего света, и еще со времен Птолемея задача разделения звезд на группы по степени их яркости постоянно привлекала к себе внимание астрономов. Птоломей разделял видимые звезды на шесть классов по их «величине»; 15 самых ярких звезд были отнесены к первой величине, следующие за ними по яркости 50 звезд — ко второй величине, и т. д. до звезд шестой величины, которые едва видимы простым глазом.

В основу точной квалификации мириадов звезд, как видимых глазом, так и телескопических, по их яркости очевидно следует положить более определенные и точные принципы; теперь величина стала обозначать число, характеризующее в некоторой шкале яркость звезды. Эта шкала представляет собой следующее. Если звезда A в 100 раз ярче звезды B , то говорят, что она на пять величин ярче B . Например, если величину A обозначить через 1,0, то величину B следует обозначить через 3,0. Далее, если B в 100 раз ярче C , то величина C обозначается 11,0. Поскольку разность в пять величин соответствует отношению яркости 100 к 1, то яркость A (величины 1,0) будет в 100×100 или в 10 000 раз больше яркости C (величины 11,0). Иными словами, звезда A эквивалентна с точки зрения яркости 100 звездам, имеющим такую же яркость, как B , или 10 000 звезд с яркостью, равной C . Отношение яркостей, соответствующее разности в величине двух звезд на 1,0 равно 2,512; это значит, что яркость звезды A (величины 1,0) немного больше чем в 2,5 раза больше яркости звезды D , величина которой равна 2,0. Дальше мы увидим, что отношение яркостей есть величина, которую можно точно измерить; следовательно, подразделения звездных величин можно продолжать так далеко, как это только допускают возможности измерительной аппаратуры. Зависимость между отношением яркостей и разностью величин от 0,0 до 2,0 иллюстрируется рис. 65. Из него видно, если посмотреть на точку E на кривой, что отношение яркости, равное 1,9, соответствует разности величин в 0,7; для точки F на кривой отношение яркости, равное 4,0, соответствует разности величин в 1,5. Остается только определить звездную величину одной какой-нибудь звезды, и когда это сделано, то величину любой другой звезды можно найти из измеренного отношения яркостей. По визуальной шкале звездных величин, применяемой на практике, звездная величина 1,0 весьма близко соответствует блеску ярких звезд Альтаира и Альдебарана; первый немного ярче, а второй немного слабее первой величины. Величина Капеллы равна 0,2; Сириус, самая яркая звезда на небе, в 5,2 раза ярче Капеллы, и на рис. 65 видно, что разность их величин равна 1,8; итак, величина Сириуса равна $0,2 - 1,8 = -1,6$. Канопус — другой пример звезды, имеющей отрицательную величину ($-0,9$).

До последнего времени звездные величины были исклю-

чительно результатом простых глазомерных оценок в телескоп. В новейших обсерваториях оптические, фотографические и физические методы привлечены на службу астрономии для определения с возможно большей точностью относительных количеств световой и тепловой энергии, излучаемой звездами. Соответственно имеется несколько систем величин, зависящих от природы того излучения, которое измеряется инструментами различного рода.

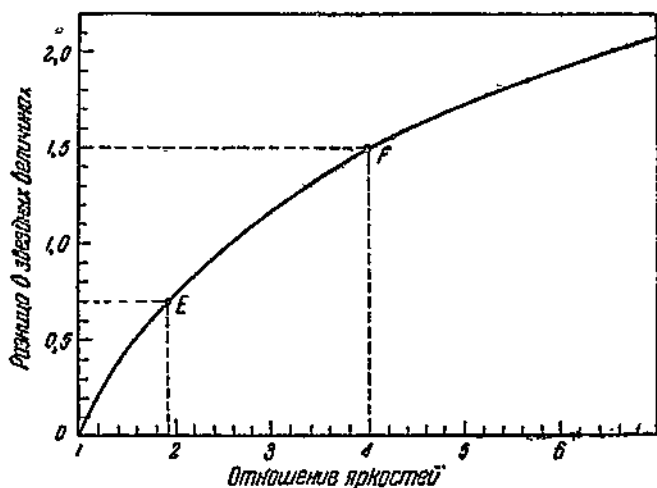


Рис. 65.

Мы их кратко перечислим.

1. Визуальные величины. Из главы VI мы знаем, что Солнце излучает тепло и свет, которые можно разложить на составные части, каждая из которых обладает своей собственной присущей ей длиной волны, и что глаз чувствителен только к некоторой части полного излучения, т. е. к тому интервалу спектра, который при полном смещении цветов образует то, что мы называем белым светом. Таким же образом дело обстоит и со звездами; поэтому, когда мы сравниваем относительные яркости двух звезд невооруженным глазом, то на самом деле мы измеряем отношение количеств излучаемой двумя звездами лучистой энергии, к которой чувствителен наш глаз.

В прошлом употреблялось два различных метода для измерения визуальных величин звезд. Во-первых, Поляр-

ная и сравниваемая звезды приводились в поле зрения телескопа при помощи особого оптического приспособления, деталей которого нам здесь нет нужды касаться. При помощи другого оптического приспособления видимая яркость Полярной делалась равной яркости этой звезды, и по известным оптическим свойствам прибора выводилось отношение яркости Полярной и излучаемой звезды; затем вычислением или по кривой, изображенной на рис. 65, получается разность звездных величин обеих звезд. Если из наблюдений, сделанных с фотометром (так называется подобный прибор), Полярная звезда оказалась, например, в 1,9 раза ярче звезды, то на кривой мы видим, что разность величин равна 0,7; поскольку по принятой шкале величина Полярной звезды равна 2,1 величины, визуальная величина звезды будет $2,1 + 0,7$, или 2,8. Таким путем были измерены визуальные величины ярких звезд.

Во втором методе в качестве стандарта вместо Полярной употребляется искусственный источник света, и с ним по очереди звезды сравниваются (так и в предыдущем методе).

2. **Фотографические величины.** При рассмотрении снимка звездной области более крупные изображения, очевидно, будут относиться к более ярким звездам, а мелкие изображения — к более слабым. Эта непосредственная связь между диаметрами звездных изображений и относительной яркостью соответствующих звезд лежит в основе одного из методов точного измерения фотографических величин. Как хорошо известно, обыкновенная фотографическая пластинка более чувствительна к синему свету, чем к красному; если мы снимем на одной и той же пластинке две звезды, которые представляются одинаковой визуальной яркости, то диаметры изображений окажутся не вполне равными, если только цвета обеих звезд неодинаковы; на обычной пластинке голубая звезда дает более крупное изображение, чем красная, которая глазу представляется одинаковой яркости с первой. Очевидно также, что фотографические величины, определенные из измерений звездных изображений, зависят от свойств употребленной фотографической пластинки, и таким образом пластинку нужно сперва стандартизировать¹; при этом

¹ Иначе говоря, калибровать, т. е. определить для данной пластинки величины диаметров изображений, соответствующих различным звездным величинам. (Прим. ред.)

приходится преодолевать много технических трудностей, но нам нет необходимости ими здесь заниматься. Если на ту же пластинку сделать две экспозиции одинаковой продолжительности, одну с полным отверстием телескопа, а другую, например, с двумя пятнами полного отверстия, то диаметры любой пары изображений звезд будут тогда соответствовать двум различным фотографическим величинам с разностью¹ в 1,0 величины, таким путем определяется шкала звездных величин, и мы можем, например, сказать, что звезда *A* на 2,7 фотографических величин ярче, чем звезда *B*. Измерения, однако, не определяют фотографические величины ни звезды *A*, ни звезды *B*, а только разность их величин. Те значения, которые мы называем фотографическими величинами, можно, следовательно, получить по измерению диаметров звездных изображений только, если мы сможем определить фотографическую величину какой-нибудь одной звезды; это достигается тем, что считают фотографические величины звезд определенного класса (именно, спектрального класса *AO*) равными величинам, которые эти звезды имеют по визуальной шкале.

Описанная выше процедура была проведена с большой тщательностью и точностью для некоторого числа избранных звезд вокруг северного полюса небесной сферы. Слабейшие из них достигают двадцатой величины, и отбор производился так, чтобы обеспечить последовательность величин; эти звезды образуют так называемую «северную полярную цепь»². Удобство иметь стандартную группу звезд, которую можно сфотографировать на одной пластинке и фотографические величины которой точно определены, непосредственно очевидно. Предположим, что требуется определить фотографические величины некоторого числа звезд в непосредственном соседстве с Капеллой. Пусть эти звезды снимаются с экспозицией, например, в 30 мин. Если звезды северной полярной цепи снять на той же пластинке и с той же экспозицией, то две группы звездных изображений можно непосредственно срав-

¹ Отношение интенсивности света звезд, дающих два изображения, равно отношению отверстий, т. е. 2 : 5; это есть отношение, определяющее единицу интервала звездных величин.

² Этот термин, мы считаем, лучше всего соответствует английскому «North Polar Sequence». (Прим. ред.)

нить между собой, и тогда фотографические величины звезд из окрестности Канеллы получаются относительно легко.

3. **Фотовизуальные величины.** Эти величины по существу равносильны визуальным величинам, но они получены фотографически. Описанные выше методы получения визуальных величин допускают определение яркости одновременно только для одной звезды; кроме того, их можно с успехом применять лишь к ярким звездам. Подобные недостатки не свойственны описанному только что фотографическому методу.

Фотовизуальные величины находятся следующим образом: перед фотографической пластинкой помещается желтый фильтр, который пропускает только желтый свет звезд, отрезая в частности ту часть излучения, которая всего сильнее влияет на фотографическую пластинку. Употребляются особые пластинки, чувствительные к желтому свету. Свет, проходящий через фильтр и влияющий на фотографическую пластинку, имеет практически ту же длину волны, что и свет, к которому наиболее чувствителен глаз. Таким образом по звездным изображениям получаются в конце концов те же самые визуальные величины; они называются фотовизуальными величинами.

Разность между визуальной величиной (или фотовизуальной) звезды и ее фотографической величиной называется колор-индексом звезды. Красная звезда, например, визуальная величина которой равна 4,0, фотографически будет, очевидно, значительно слабее, так что ее фотографическая величина будет, например, 5,5; колор-индекс звезды будет тогда равен $+1,5$, и в этом смысле его можно считать мерой красноты звезды. Таким же образом синяя звезда даст более крупное изображение, чем белая звезда одинаковой визуальной яркости: следовательно, ее колор-индекс будет, например, $-0,3$, и его можно считать мерой синевы звезды.

4. **Фотоэлектрические величины.** Другим методом измерения относительной яркости является фотоэлектрический метод. Когда свет падает на определенные металлы, как то: натрий, калий, рубидий, то при этом излучаются электроны, число которых пропорционально интенсивности падающего света. Для измерения относительного числа выброшенных фотоэлектрическим металлом

электронов, обусловленного световым действием двух звезд *A* и *B*, имеются точные инструменты; отсюда определяется отношение интенсивности света, исходящего от *A* и *B*. На основании того же принципа, как для визуальных и фотографических величин, отношение световых интенсивностей 100 к 1 принято обозначать разностью в пять величин. Свет, которым обусловлен фотоэлектрический эффект, состоит из различных длин волн; в него входят и такие, которые влияют на глаз, а также такие, которые влияют на фотографическую пластинку; следовательно, фотоэлектрические величины непосредственно несравнимы ни с визуальными, ни с фотографическими величинами. Этим методом можно достигнуть большой точности, и он употребляется главным образом для открытия и измерения световых изменений в переменных звездах, о которых будет говориться в главе XIV.

Три метода — визуальный, фотографический и фотоэлектрический — относятся к различным длинам волн звездной радиации, и, следовательно, ни один из трех не дает истинного значения отношения полного излучения звезды *A* к полному излучению другой звезды *B*. Звездные величины, относящиеся к полному излучению звезды, называются болометрическими величинами.

Теперь мы перейдем к предварительному рассмотрению тех причин, которые в совокупности вызывают указанное различие в видимой яркости звезд. Прежде всего здесь встает вопрос об относительных звездных расстояниях. Если бы, например, яркая звезда Капелла отодвинулась дальше от нас, то она казалась бы нам слабее, чем теперь. Связь яркости с расстоянием проста; если мы себе представим, что Капелла последовательно отодвигается на двойное, тройное... десятикратное свое расстояние, то яркость была бы последовательно равна $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$... $\frac{1}{100}$ ее теперешней яркости. Далее, если мы определим величину звезды по визуальной, фотографической или какой-либо шкале, то мы просто сравниваем ее яркость, какой она нам представляется, с яркостью стандартного объекта, звездного или земного, и вопрос звездного расстояния остается совершенно в стороне при наших вычислениях и измерениях. Такие величины обозначаются прилагательным «видимые» — видимая визуальная, видимая фотографическая и т. д. Если бы звезды были во всех отношениях совер-

шенно одинаковы, то из нашего примера с Капеллой ясно, что относительная яркость двух звезд A и B или, что то же самое, разность их видимых величин, указывала бы, какая из звезд находится от нас дальше другой. Если, например, видимая визуальная величина звезды A равна 4,3, а звезды B — 9,3 (что соответствует разности в пять величин), то A представляется нашему глазу в 100 раз ярче B ; полагая согласно нашему условию, что A и B во всех отношениях одинаковы, мы получим, что расстояние B в 10 раз больше расстояния A . Поставим вопрос несколько иначе: пусть звезда A отодвинулась на десятикратное расстояние по сравнению с первоначальным; ее видимая яркость будет теперь равна 0,01 ее теперешней яркости, и ее видимую величину теперь придется обозначить $4,3 + 5,0 = 9,3$. Итак, отношение расстояний 1:10 соответствует отношению видимых яркостей 1:100 и разности видимых величин 5,0. Если вообще верно наше предположение о звездах, т. е. что они все сделаны по одному образцу, подобно домам на строительной площадке, то на основании этого принципа можно весьма легко определить их расстояния (в километрах), надо только знать расстояние одной какой-нибудь звезды в километрах. Этим была бы вполне разрешена одна из важнейших проблем астрономии — распределение звезд внутри звездной вселенной.

Однако не все звезды одинаковы, так что относительное расстояние является не единственной причиной, определяющей большие различия в относительных яркостях звезд. Звезды сильно различаются между собой по объему; имеются звезды от слабых «карликов» до раздувшихся «гигантов», и соответственно с этим значительно колеблется и площадь поверхности, от которой излучается в пространство свет. Чем больше площадь поверхности звезды, тем больше ее яркость. Например, глаз воспринимает вдвое больше света от полной Луны, чем от половины; здесь все дело просто в размерах видимой площади освещенной поверхности.

Далее звезды значительно различаются по своей температуре или, точнее, по интенсивности излучения, посылаемого квадратным сантиметром их поверхности; при прочих равных условиях чем горячее звезда, тем она будет казаться ярче.

Таким образом имеются три важных фактора, именно расстояние, размеры и поверхностная яркость, которые в сочетании дают огромное разнообразие видимых яркостей звезд; едва ли стоило задаваться целью давать здесь помимо их перечисления пространные объяснения.

Мы уже говорили о старом звездном каталоге Птолемея, первом из великого множества других, в котором даны положения 1 080 звезд. Положения звезд на небесной сфере определяются на ней таким же почти образом, как точки на земной поверхности определяются широтой и долготой. Как мы уже видели, соответствующие звездным положениям величины называются прямым восхождением и склонением. Значительная часть работы астрономов за два с половиной века, следовавших за изобретением телескопа, была посвящена измерениям положений звезд при помощи пассажного инструмента или сходных с ним по принципу инструментов. Работы по этому разделу астрономии, имеющему все еще фундаментальное значение, продолжаются с неослабевающей энергией и во многих современных обсерваториях. Отличительной особенностью каждой астрономической библиотеки является большое число звездных каталогов, заключающих результаты длинных и кропотливых рядов наблюдений; отдельные тома представляют во многих случаях результат 20 или 30 лет бескорыстного и беспрестанного труда. Можно спросить: «Какая польза все снова и снова наблюдать звезды, добиваться все большей точности, расширять наблюдение в сторону все более слабых звезд?». Один из ответов, разумеется, тот, что звезды образуют фон, на котором можно измерять движения тел солнечной системы; вследствие этого положения звезд нужно знать с той точностью, которая требуется для исследования указанной проблемы. Мы видели, например, как расстояние Земли от Солнца получено по наблюдениям Эроса, которые делались относительно именно звезд. Более исчерпывающий ответ будет однако дан в следующей главе.

В наши цели не входит детальное описание больших звездных каталогов, которые оставлены нам в наследство прошлыми поколениями астрономов; достаточно дать краткую справку. Около середины прошлого столетия систематическое обследование северного неба было начато Аргеландером; результаты содержатся в большом «Боннском обозрении» («Bonner Durchmusterung»). Этот каталог содержит положения 324 000 звезд, доходящих до 9,5 вели-

чины, расположенных между северным полюсом и 2° южного склонения. Впоследствии он расширялся дальше в сторону южного полушария. По данным каталога были начерчены карты, дающие положения звезд и указывающие их относительную яркость. Каталог и карты образуют большой труд справочного характера, монументальный список звезд северного неба.

Первая интернациональная конференция астрономов собралась в 1887 г. в Париже, чтобы рассмотреть и окончательно утвердить план одного из наиболее крупных научных предприятий, когда-либо осуществившихся, именно план подробного фотографического обследования всего неба. Это предприятие могло рассчитывать на полный успех лишь при активной и регулярной поддержке, оказываемой ему со стороны почти двадцати обсерваторий, рассеянных на пяти материках. Объем работы, заключающийся в проекте, мог бы утешить самые смелые умы, однако астрономы показали себя настоящими энтузиастами своего дела и потому они имели все данные для того, чтобы надеяться на успех того большого обследования неба, начало которого было ими положено. Участвующие обсерватории употребляли телескопы одинакового образца — нормальные астрографы (как они начали называться) с отверстиями в 33 см и с фокальным расстоянием в 3,5 м; каждой обсерватории была отведена определенная зона неба. Экспозиции должны были быть таковы, чтобы давать измеримые изображения звезд 14-й величины. Уже одна работа по получению снимков всего неба была сама по себе большим предприятием, так как требовалось получить более 10 000 снимков; но она выглядела совершенно незначительной по сравнению с трудом, который необходим для измерения положений и величины всех звезд, изображения которых оказались на пластинках. Сверх того пришлось составить каталоги, включающие результаты, а также репродукции снимков в форме карт. Неудивительно, что возможности некоторых обсерваторий оказались недостаточными. Несмотря на отказ от работы одной-двух обсерваторий и затруднений, испытываемых другими, работа быстро подвигается, и если бы не было перерыва по причине Великой войны¹, то окончание этого

¹ Автор здесь имеет в виду мировую империалистическую войну 1914—1918 гг. (Прим. ред.)

огромного проекта могло бы теперь уже быть совершившимся фактом. Некоторые обсерватории уже закончили свою долю работы, другие близятся к концу, в то время как одна-две, к несчастью, не сделали того, что от них ожидали. Согласно оценке, которую можно сделать теперь, это большое предприятие должно быть вполне законченным к 1933 г., почти через полвека после его начала¹.

¹ На самом деле еще теперь, в 1934 г., работа эта не только еще не закончена, но даже конца ее нельзя предвидеть в ближайшие годы, так как наступивший после войны мировой экономический кризис лишил большинство обсерваторий возможности продолжать работу.
(Прим. ред.)

СОВСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД

В 1718 г. великий астроном Галлей сделал открытие, имеющее огромное значение в звездной астрономии. В некотором смысле это было просто случайное открытие, так как оно не было результатом ни прогресса в инструментальных возможностях, ни применения новых математических и физических принципов, а просто большей тщательности наблюдений. Имея в виду непрерывное развитие астрономических методов, в настоящее время совершенно ясно, что оно должно было быть неизбежно рано или поздно сделано, но это никоим образом не может умалить заслуг открытия Галлея. Галлей доказал с полной несомненностью, что положения трех звезд — Сириуса, Арктура и Альдебарана — относительно соседних звезд со времени Гиппарха изменились на доступную измерению величину. Иллюстрируем это простой земной аналогией. Предположим, что Гиппарху были известны все высокие горы на земной поверхности и что он произвел приближенное определение их положения, оставив потомству полные записи своей работы. Пусть 2 000 лет спустя была сделана аналогичная топографическая съемка и положения определены вновь; пусть сравнение двух записей показало, что положение трех высочайших гор видимо изменилось каким-то таинственным образом на несколько километров, причем положения остальных гор остались, повидимому, вполне неизменными. Если верить древним записям, то явление должно представлять истинное изменение положения трех гор относительно их соседей. Галлей сделал свое открытие аналогичным способом. Большой каталог Птолемея на 1 080 звезд заключал в себе положения самых ярких звезд, видимых на широте Средиземного моря. Он сделал карты звезд и созвездий, как они были видны в то время. По наблюдениям астрономов XVII и XVIII вв. были снова сде-

ланы карты тех же звезд и созвездий, разумеется, с большей точностью. За истекшие 2 000 лет небо представлялось неизменившимся и неизменяющимся, и неподвижность в неизмеримых глубинах пространства казалась основной особенностью небесного мира. Открытие Галлея произвело революцию в этом представлении о звездной вселенной. Звезды нельзя было больше считать «неподвижными». Хотя в то время не было еще открыто общего изменения в расположении звезд в созвездиях за тремя указанными исключениями, не могло ли это быть просто потому, что меньшие изменения и более слабые движения были недоступны измерениям для астрономии того времени? Не шествуют ли все звезды по величественным орбитам, причем далекие звезды настолько удалены, что даже промежуток в 2 000 лет оказывается слишком малым для того, чтобы можно было обнаружить изменения в их относительных положениях на небесной тверди?

Видимые движения звезд, подобные открытым впервые Галлеем, называются собственными движениями. Поскольку они означают изменения положения на небесной сфере, они измеряются в угловых единицах. Так, собственное движение Сириуса немногим больше $1''{,}3$ в год; за 2 000 лет это движение должно было перенести Сириус на угол почти в $1\frac{1}{2}$ раза больше того угла, под которым лунный диаметр виден с Земли. За открытием Галлеем собственных движений трех упомянутых звезд скоро последовали другие открытия, относящиеся ко многим другим ярким звездам. Это дало новый толчок звездной астрономии, показав необходимость наблюдения положений звезд со всей возможной точностью. В следующие за этим полтора столетия астрономы с усердием и увлечением занялись работой по многократному определению и переопределению прямых восхождений и склонений звезд при помощи пассажного и подобных ему инструментов. Для точного определения собственных движений требуется, чтобы прошло много лет между двумя рядами наблюдений. Вследствие этого плоды предстояло пожать не тем астрономам, которые ночь за ночью тратили многие и долгие часы, отмечая положения звезд, но будущим поколениям астрономов, которые, сделав аналогичные наблюдения и сравнив старые и новые положения звезд, смогут делать все более крутые вклады в сокровищницу наших знаний о звездных движениях.

В 1910 г. покойный профессор Люис Босс опубликовал свой «Предварительный каталог 6 188 звезд», включающий все звезды, видимые невооруженным глазом в северном и южном полушариях. Этот большой труд справедливо считается образцовым, как подробный справочник о собственных движениях наиболее ярких звезд. Все большие каталоги, начиная с 1755 г., были тщательно исследованы, старые и новые наблюдения 6 188 звезд точно сравнены; в результате получены собственные движения большого числа звезд, определенные с недостижимой доселе точностью — долговечный памятник усердию, настойчивости и высокому мастерству пяти поколений астрономов. В настоящее время одно из самых настоятельных требований астрономии — получать как можно больше измерений собственных движений как можно большего числа слабых звезд; это требование включает в себе призыв к исследованию все более и более удаленных областей звездной вселенной. Немного ниже мы увидим, как и что на этот призыв можно ответить, и на своем месте мы сообщим, что именно здесь уже достигнуто.

Наибольшее до сих пор открытое собственное движение принадлежит слабой «быстро-летящей» звезде Барнарда; последний нашел в 1916 г., что собственное движение ее немного больше $10''$ в год. Приблизительно за 190 лет эта звезда передвинется между звездами на такой же угол, под которым диаметр Луны виден с Земли. Собственное движение в полсекунды дуги в год или в $50''$ в столетие встречается лишь в виде исключения. До начала 1923 г. было зарегистрировано 749 звезд, имеющих собственное движение $50''$ в столетие и более; это лишь ничтожный процент всего числа звезд на небе. Открытие таких исключительно больших собственных движений, разумеется, ни в коем случае нельзя считать законченным, но почти с уверенностью можно сказать, что большинство быстро движущихся звезд уже поймано в сети наблюдателей. Влияние собственных движений на форму созвездий иллюстрируется рис. 66. На левой стороне диаграммы дан обычный вид ковша созвездия Большой Медведицы, как оно видно теперь, в XX в. Правая сторона диаграммы показывает, как он будет выглядеть через 50 000 лет. Собственные движения семи ярких звезд, образующих ковш, сравнительно малы, и видимое изменение формы созвездия происходит очень медленно. Этот пример показателен для всего неба. Изменения

относительных положений звезд бывают медленными и постепенными; однако, там и здесь может оказаться «быстро летящая» звезда; и мы вынуждены отбросить представление о неподвижной звездной вселенной, выдвигая на ее место беспрестанное движение.

Возвращаясь к нашему определению собственных движений, отметим, что мы можем сделать какой-либо вывод относительно скорости некоторой звезды (в километрах в



Рис. 66.

секунду) только, если нам известно ее расстояние. Пусть, например, через промежуток в 20 лет мы обнаруживаем, что звезда передвинулась на $1-2''$ дуги относительно общего звездного фона. Это изменение положения на небесной сфере, очевидно, обусловлено той частью скорости звезды, которая направлена под прямым углом к лучу зрения, но какова в действительности величина этой скорости, собственное движение еще сказать не может.



Рис. 67.

Пусть звезда на рис. 67 перемещается в пространстве за год из точки S в точку T . Мы наблюдаем ее из O , и она представляется нам передвигающейся в год на угол VOU , который и является мерой ее собственного движения. Если бы звезда переместилась из S в R , то ее собственное движение было бы тем же самым. Действительная скорость, с которой звезда движется в направлении, перпендикулярном к лучу зрения, определяемая движением от точки R к точке S , называется поперечной скоростью, а часть движения по лучу зрения, представляемая перемещением от R к T , называется ее *радиальной скоростью*, которая подробнее будет рассматриваться в одной из следующих глав. Если мы знаем расстояние звез-

ды, т. е. на рис. 67 расстояние OS , то простое вычисление дает поперечную скорость (выраженную обычно в километрах в секунду). Наоборот, если бы все звезды имели одну и ту же поперечную скорость, то их собственные движения, которые на практике сравнительно легко измерить, давали бы их расстояния (которые в действительности несравненно труднее измерить), если конечно нам известно расстояние до какой-нибудь одной из звезд. Так, по этой гипотезе звезда, имеющая, например, собственное движение в $5''$ в столетие, будет в 10 раз дальше звезды с собственным движением в $50''$ в столетие, и т. д. Эта гипотеза, разумеется, неверна по отношению к отдельным звездам, и, следовательно, звездные расстояния нельзя измерить этим способом. Гипотеза имеет однако значение качественного характера. Было установлено, что звездные скорости обычно группируются около среднего значения в $10-15$ км/сек. Отсюда вообще следует, что чем ближе к нам звезда, тем больше вероятность того, что ее собственное движение велико. Обратное заключение, именно, что большое собственное движение, вероятно, означает сравнительную близость звезды, широко применяется при выборе звезд, расстояние которых предполагается измерить. Описанный на предыдущих страницах метод измерения собственных движений звезд, т. е. метод сравнения старых и новых наблюдений, сделанных на пассажном инструменте, является основным. Он страдает однако некоторой ограниченностью. Во-первых, звезды слабее 9 и 10-й величины находятся обычно за пределами нашей досягаемости. Во-вторых, каждую звезду следует наблюдать отдельно, и обычно требуется не меньше пяти наблюдений, сделанных в различные ночи, чтобы определить ее положение с точностью, необходимой для надежного измерения собственного движения. В-третьих, две группы наблюдений должны быть разделены длительным интервалом времени, около 50 лет. Таким образом этот метод весьма медленный и кропотливый.

Точность, с которой можно измерить звездные изображения на фотографической пластинке, дает более могущественный метод определения собственных движений, который не страдает ограничениями основного метода, хотя он в конце концов и зависит от последнего. Принцип лучше всего можно понять из процесса, который был предложен Каштейном больше 20 лет тому назад. Делается снимок

области неба, подлежащей исследованию; пластинка прячется непроявленной, например, на 10 лет, после чего она снова экспонируется на ту же звезду. При второй экспозиции установка телескопа (или самой пластинки) изменяется на небольшую величину так, чтобы воспрепятствовать изображениям звезд второй экспозиции точно совпадать со скрытыми изображениями первой. После второй экспозиции пластинка проявляется обычным путем, и тогда каждая звезда будет представлена двумя тесно расположенными изображениями: одним, соответствующим первой экспози-

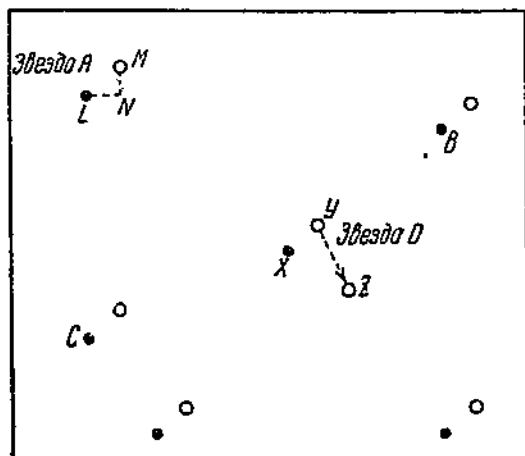


Рис. 68.

ции, а другим — позднейшим. Рис. 68 поясняет этот метод. Черные точки представляют звездные изображения, полученные, например, в 1910 г., а кружки — изображения, полученные в 1920 г. (на негативе, разумеется, оба изображения — как 1910, так и 1920 г. — черные точки, но для целей ясности иллюстрации мы представили изображения 1920 г. указанным способом). Если бы звезды были действительно неподвижны, то конфигурация звездных изображений на пластинке была бы одинаковой в 1910 и 1920 гг.; следовательно, если приняты все необходимые инструментальные предосторожности, каждая пара изображений, подобная А, или В, или С, будет иметь одинаковое расстояние между изображениями и одинаковое направление по-

следнего. Если же какая-нибудь звезда имела заметное собственное движение, то оно сразу выявится на снимке. На рис. 68 изображение звезды D в 1920 г. находится в точке Z ; если бы она не имела никакого собственного движения, то ее изображение было бы в точке Y , причем направление и расстояние Y от X (изображение 1910 г.) были бы те же, как и для неподвижных звезд A , B или C . Звезда, очевидно, изменила свое положение на небесной сфере за этот промежуток на угол и в направлении, представленные стрелкой YZ на фотографической пластинке. Расстояния между изображениями на фотографической пластинке можно очень точно измерить. При помощи кембриджского измерительного прибора расстояние можно измерить до 0,0005 мм.¹

Пусть расстояние между изображениями двух звезд A и B в 1910 г. будет равно 2 см; если известен угол между направлениями на эти две звезды на небе, то можно легко установить зависимость между угловым расстоянием двух звезд и измеренным расстоянием на пластинке. Например, на пластинках, полученных при помощи телескопа Шиппенка на Кембриджской обсерватории, 1" дуги представлена приблизительно $\frac{1}{20}$ мм. Процесс измерения изображен на рис. 68 для пары изображений звезды A . Перпендикулярные шкалы, которыми снабжена измерительная машина, позволяют измерить горизонтальное расстояние LN (параллельное небесному экватору) между центрами изображений 1910 и 1920 гг., а также и вертикальное расстояние $NМ$ (по склонению). Эта операция производится для всех пар изображений. Горизонтальное и вертикальное расстояния между X и Z определяются указанным способом и для звезды D с большим собственным движением; горизонтальное и вертикальное расстояния между X и Z исправляются на основании измерений, полученных для таких звезд, как A , B или C , а следовательно, получаются горизонтальное и вертикальное расстояния между Y и Z . Эти последние расстояния, переведенные в угловую меру, дают в конце концов собственное движение звезды соответственно по прямому восхождению и склонению, выраженное в секундах дуги в год или столетие.

¹ Точность до 0,0005 мм есть обычная точность, даваемая современными астрономическими измерительными приборами. Подобные приборы имеются и на ряде советских обсерваторий. (Прим. ред.)

Против этого метода имеется очевидное возражение не с точки зрения принципа, а с точки зрения его практического применения. Точность собственных движений сильно зависит от интервала между двумя последовательными группами наблюдений или между двумя группами фотографических экспозиций: чем длиннее интервал, тем больше точность. Экспонированная фотографическая пластинка не может сохраняться бесконечно долго не проявленной, не претерпевая некоторой порчи светочувствительного слоя и скрытых изображений первой экспозиции. Кроме того на долгое время остается неизвестным, была ли первая экспозиция удачной или нет, в то время как для успеха дела изображения должны быть круглыми и хорошо отфокусированными. В 1921 г. в Кембридже был принят видоизмененный метод, не страдающий указанными недостатками. Эта обсерватория, подобно другим обсерваториям, имеет большую и ценную коллекцию пластинок превосходного качества, снятых для совсем других целей в 1900 и последующие годы и проявленных тотчас же после экспозиции. Если через промежуток времени приблизительно в 20 лет сделать снимок той области неба, для которой имеются более ранние фотографии, и пластинку поместить так, чтобы слой был обращен в сторону, противоположную объективу телескопа, то свет от звезды, прежде чем упасть на нижнюю сторону фотографического слоя, должен будет пройти через чистое стекло пластинки; такую пластинку можно наложить на старую слой к слою, причем соответствующие изображения будут тесно расположены друг к другу, как на рисунке 68. Измерение таких парных пластинок производится тем же способом, как и пластинок, однократно и двукратно экспонированных. На практике вычисление собственных движений по измерениям не так просто, как здесь изложено; например, практически невозможно наложить одну пластинку на другую с той точностью, которая иллюстрируется рис. 68. Как эти, так и другие отклонения от этих идеальных условий, которые мы считали выполненными при простой экспозиции, легко учитываются. Выгодно и экономно делать по несколько экспозиций на каждой пластинке, так что на комбинированной паре пластинок, одна из которых снята непосредственно, а другая—через стекло, каждая звезда представлена тремя или четырьмя парами изображений.

Фотографические собственные движения не являются абсолютными в том смысле, в каком являются собственные

движения, полученные при помощи пассажного инструмента. Последний дает представление об истинном изменении положения звезды на небесной сфере. Ничего не может быть невозможного в том, что каждая звезда на снимке (рис. 68), за исключением *D*, может иметь случайно одинаковое собственное движение, которое просто замаскировано самим методом, в котором одна пластинка произвольным образом налагается на другую. Вследствие этого собственное движение звезды *D* получается по измерениям, которые отличаются от истинных значений на величину предполагаемого общего собственного движения всех остальных звезд. Если однако на снятой области имеются 1—2 звезды, собственные движения которых получены по наблюдениям пассажным инструментом, то разности между этими значениями и значениями, полученными по фотографическим пластинкам, дают поправку, которую следует ввести во все фотографические собственные движения. Этот метод перехода относительных собственных движений на снимках в абсолютные не всегда возможен вследствие отсутствия звезд с необходимыми данными. На практике применяется другой метод, но здесь его нет нужды описывать.

Открытие собственных движений звезд естественно привело к предположению, что Солнце, само представляющее собой звезду, может быть также находится в движении относительно своих небесных соседей. Затем возник вопрос: «Не может ли наблюдаемое собственное движение звезд быть просто и полностью отражением солнечного движения»? Читателю известна следующая простая аналогия. Если смотреть из окна поезда, движущегося по прямому участку железнодорожного пути, то предметы вблизи линии появляются сначала прямо впереди поезда, но по мере приближения поезда они меняют свое положение, оказавшись скоро рядом, а через несколько минут — в направлении конца поезда; между тем направление на отдаленные предметы претерпевает лишь слабые изменения. Для наблюдателя в поезде видимое движение предметов происходит в направлении, противоположном направлению, в котором движется поезд. Если бы Солнце двигалось в пространстве, то в результате этого в видимых собственных движениях звезд также проявлялась бы общая тенденция двигаться в сторону от определенного направления на небесной сфере, причем ближайшие звезды давали бы наибольшие собственные движения, а наиболее удаленные — почти никаких.

Рис. 69 поясняет это рассуждение. Пусть Солнце за 100 лет перемещается из S в T . Пусть в 1800 г. направление на звезду есть SU , а в 1900 г. — TU ; изменение направления за 100 лет измеряется углом TUS , который и является, следовательно, наблюдаемым собственным движением. Для звезды X , находящейся в направлении, в котором движется Солнце, не будет никакого изменения направления, если смотреть на нее с Солнца.

Из диаграммы мы можем сделать следующие выводы. Эффект солнечного движения вызывает кажущееся движение звезд прочь от направления, в котором движется Солнце; точка на небесной сфере, к которой направлено солнечное движение, называется солнечным апексом, звезды же имеют кажущееся движение в обратном направлении (солнечный антапекс). На

звезды, находящиеся в направлении солнечного апекса или антапекса или вблизи них, солнечное движение не влияет вовсе, и для звезд, расположенных на одном и том же расстоянии от Солнца, результирующее собственное движение будет наибольшим для звезд, находящихся в перпендику-

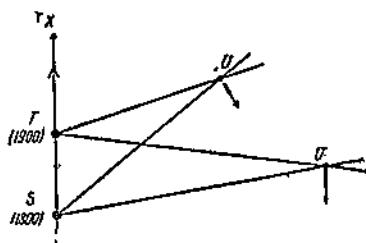


Рис. 69.

лярном направлении к направлению солнечного движения. Для двух звезд, находящихся приблизительно в одном и том же направлении, видимое собственное движение будет больше для более близкой звезды. Собственное движение звезды в результате солнечного движения называется параллактическим движением. Следует прибавить, что рис. 69 не претендует на точное представление взаимных расстояний; даже если U — наш ближайший сосед, то расстояние SU следовало бы сделать приблизительно в 700 раз больше ST . Вильям Гершель первый применил этот принцип в 1783 г. При скромном количестве известных в то время собственных движений, ему удалось показать общую тенденцию наблюдаемых звезд двигаться прочь от определенной точки на небесной сфере — солнечного апекса, расположенного в созвездии Геркулеса, недалеко от яркой звезды Вега; этот результат был подтвержден позднейшими, более исчерпывающими исследованиями.

Проблема определения солнечного апекса усложняется собственными движениями самих звезд. На рис. 69 звезды *U* и *V* подобны кораблям, стоящим на якоре, и только один корабль, на котором находимся мы, находится в движении. От этого ограничения мы должны освободиться. Отсюда следует, что значение солнечного движения оказывается значительно труднее определить, так как нашими единственными опорными точками являются звезды, которые сами имеют индивидуальные движения. Если мы предположим, что по соседству с *U* на рис. 69 имеется сотня звезд и что, далее, их индивидуальные скорости случайны по величине и направлению, то эту группу из ста звезд можно считать как таковую «в покое». Солнечное же движение сообщает группе фиктивное, кажущееся движение. При сделанных предположениях среднее из наблюдаемых собственных движений является результатом солнечного движения; иными словами, среднее из наблюдаемых собственных движений есть параллактическое движение группы. Несколькими такими группами определяют направление, в котором Солнце движется относительно групп, считающихся «в покое». Когда собственные движения нескольких тысяч звезд, рассеянных по всему небу, объединены таким образом, то солнечное движение точно определится относительно этих звезд в целом. В настоящее время нам известны собственные движения только ближайших звезд; когда наши знания распространятся на самые удаленные области звездной вселенной, тогда солнечное движение можно будет определить относительно всей совокупности звезд, рассматриваемой как единая огромная группа.

Даже и тогда, однако, мы не будем ближе к представлению об абсолютном солнечном движении, так как междузвездное пространство не имеет никаких неподвижных вех. Корабельный механик может определить по циферблату, записывающему число оборотов винта в минуту, скорость парохода в воде; пусть она окажется равной 16 узлам. Если этот корабль идет по реке, то штурман на мостике также может вычислить скорость корабля по наблюдениям неподвижных предметов и их положениям на его карте; он находит скорость относительно Земли, равную 20 узлам. И механик и штурман оба, разумеется, правы; но последний обладает большим запасом сведений, так как ему также известна скорость корабля по определениям механика, и он может заключить, что течение реки равно 4 узлам. Астро-

ном находится в положении механика; пространство лишено нанесенных на карту век, и поэтому абсолютное движение Солнца или звезд является лишь абстракцией. Солнечное движение — это необходимо подчеркнуть — есть движение относительно определенной группы звезд, рассматриваемой как группа, находящаяся «в покое», и кроме того эта группа в настоящее время представляет только небольшую часть вселенной, находящуюся в непосредственном соседстве с Солнцем.

Собственные движения позволяют нам только определить направление, в котором Солнце движется относительно этой группы звезд. Многие исследователи сходятся в определении положения солнечного апекса на небесной сфере, который оказывается расположенной вблизи точки с прямым восхождением 18^h и склонением 30° N (около 11° от Веги). В следующей главе будет показано, как найти скорость Солнца; здесь достаточно привести лишь окончательный результат; именно, она равна 20 км/сек.

Не все звезды являются независимыми единицами; часто они, напротив, связаны друг с другом в пространстве в тесные группы и имеют общие физические свойства. Мы дадим три примера семейства звезд, сродство которых выявлено или подтверждено при помощи наблюдаемых собственных движений.

Известные наблюдателям; живущему на северном полушарии, Плеяды образуют компактную группу звезд на небе, из которых шесть или семь легко видимы невооруженным глазом; в телескоп число это увеличивается. Образуют ли эти звезды действительно компактную группу в пространстве или только благодаря курьезной прихоти случая они представляются нам собравшимися на небе тесно вместе? Измеренные собственные движения дают признак, позволяющий дать положительный ответ на этот вопрос. Именно, в их собственных движениях было обнаружено ярко выраженное сходство, которого можно бы ожидать только, если эти звезды являются членами определенной местной группы. Другие данные также подтверждают это заключение. Итак, Плеяды образуют определенное скопление звезд, движущихся вместе в пространстве, подобно стае птиц над широким простором океана.

Звезда Капелла — наиболее яркая звезда нашего северного неба — имеет большое и хорошо измеренное собственное движение. Близко к ней на небе, на расстоянии около

12' дуги, имеется слабая звезда 10-й величины, которая имеет практически такое же большое собственное движение. Почти нет сомнения в том, что величественное небесное светило (которое само по себе есть двойная звезда, но не видимая как таковая в телескоп) сопровождается в своем движении через пространство слабым и незаметным членом звездной вселенной; это — тесный союз гиганта и карлика. На рис. 70 изображена Капелла и ее слабый спутник; стрелки указывают направление, в котором обе звезды движутся по небу. Другие звезды имеют очень малые собственные движения.

Южное небо обладает системой, сходной во многих отношениях с Капеллой. Второй по яркости звездой южного



Рис. 70.



Рис. 71.

неба является Альфа Центавра, сама по себе двойная звезда, что легко заметно в небольшой телескоп. Она сопровождается слабой звездой 11-й величины, находящейся от нее на расстоянии около 2° ; отличительная особенность последней состоит в том, что из всех звезд она является нашим ближайшим соседом. Измеренные собственные движения Альфы Центавра и ее слабого спутника — Проксима¹ Центавра, как он удачно назван, почти тождественны, и, поскольку они притом довольно велики, тесная связь между звездами находится вне сомнений. Если это нуждается в каком-либо подтверждении, то оно представляется измерением расстояний до этих звезд, так как Проксима только чуть-чуть ближе своего величественного компаньона. На рис. 71 дан общий вид этой системы.

¹ Слово «проксима» по-латыни значит: «близкая». (Прим. ред.)

мы заключим эту главу коротким описанием интересного открытия, в котором собственные движения играли важнейшую роль. На практике собственные движения предполагают равномерную скорость изменения положения звезды на небесной сфере; иначе говоря, предполагается, что как прямое восхождение, так и склонение после необходимого исключения влияния прецессии и нутации¹ меняется с постоянной небольшой скоростью или, выражая это несколько иначе: если мы знаем наблюдаемое прямое восхождение,

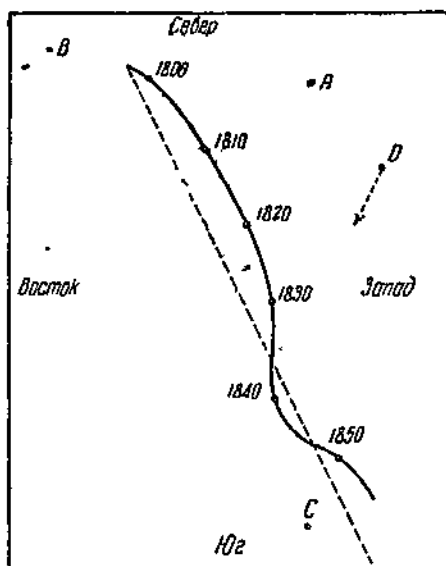


Рис. 72.

склонение и собственное движение звезды через промежутки времени, например в 10 лет, и если мы напечем эти положения на график с соответствующим масштабом, то ряд положений звезды будет лежать на прямой линии. Пусть на рис. 72 звезды *A*, *B* и *C* почти не имеют собственных движений, так что их положения остаются практически неизменными в течение всего промежутка времени, например в 50 лет. Пусть, наоборот, звезда *D* имеет большое собствен-

¹ Нутацией называется короткопериодическое колебание полюса мира, вызываемое, аналогично прецессии, главным образом притяжением луны. (Прим. ред.)

ное движение, так что ее положения, соответствующие последовательным наблюдениям, лежат на прямой линии, изображенной на рисунке.

В 1844 г. знаменитый германский астроном Бессель объявил, что собственные движения ярких звезд Сириуса и Прокциона не подчиняются этому правилу. Наблюдения, охватывающие значительный промежуток времени, показали, что их прямые восхождения и склонения меняются не с постоянной скоростью. Кривая линия на рис. 72 представляет в преувеличенном виде, каким образом меняется положение Сириуса на небесной сфере относительно трех практически неподвижных звезд фона *A*, *B* и *C*. Бессель нашел из длинного ряда наблюдений, что изменения собственных движений этих двух звезд имеют циклический характер и что в частности период таких изменений для Сириуса равен около 5 лет. Он заключил на основании этого, что наблюдаемые неправильности обусловлены присутствием невидимого спутника этой звезды. Вильям Гершель раньше показал, что многие двойные звезды, наблюдаемые им в течение долгого периода, обладают несомненными признаками орбитального движения; таким образом можно было сделать предположение, что закон тяготения действует в отдаленных звездных областях так же, как и в солнечной системе. Согласно простым динамическим законам движение двойной звездной системы (так называемой двойной звезды) в пространстве должно быть очень похоже на движение пары, танцующей вальс в балльном зале. Пара как целое двигается в течение некоторого времени по крайней мере по прямой линии, но движение каждого из партнеров по полу складывается на самом деле из: а) общего перемещения по прямой линии и б) вращательного или орбитального движения. Для каждого из компонентов двойной звезды движение в пространстве состоит: а) из общего движения системы по прямой линии и б) из орбитального движения около центра тяжести пары. Следовательно, наблюдаемое собственное движение яркого компонента не равномерно, а циклично, и период происходящих изменений есть просто период обращения яркой звезды около центра тяжести системы.

Вывод Бесселя, что Сириус и Прокцион представляют собой в действительности не одиночные звезды, а главных партнеров двойной системы, полностью подтвердился впоследствии непосредственными телескопическими наблюде-

ниями. В 1862 г. был впервые обнаружен в телескоп слабо светящийся спутник Сириуса, а в 1896 г. — спутник Прокциона. В дальнейшем нам предстоит еще говорить о спутнике Сириуса, одной из самых замечательных звезд на небе.

Бессель справедливо считается основателем «астрономии невидимого». Он был одним из первых, считавших причиной крошечных неправильностей в движении Урана притяжение неизвестной планеты (Нептуна), и мы только что видели, как он уверенно и безошибочно почувствовал существование звезд, которые телескопы его времени были бессильны открыть.

ЗВЕЗДНЫЕ ПОТОКИ

До 1904 г. астрономы не задавали себе серьезно вопроса: «Двигаются ли звезды в пространстве согласно более или менее определенным законам или их пространственные движения случайны?». Во всяком случае до этого года не было предложено никаких решительных доводов в пользу того или другого. Однако более приемлемой считалась гипотеза, что звездные движения случайны и что звездная вселенная является своего рода хаосом, в котором нельзя обнаружить ни закономерности, ни порядка. Картина звездной вселенной рисовалась в умах астрономов до 1904 г. во многих отношениях подобной той, какую представляла бы собой неподвижного воздушного шара толпа народа, бесцельно снующая в большом парке с самой различной скоростью, в пределах, например до 6 км/час. Публика двигалась бы в полном беспорядке по всем направлениям; если бы наблюдатель на воздушном шаре обладал возможностью с достаточной легкостью считать число людей, двигающихся в определенном направлении, то это число оказалось бы практически постоянным, какое бы направление ни рассматривать. Если бы ему предложили изобразить свои результаты на графике, то он, вероятно, поступил бы следующим образом (рис. 73). Из точки *O* он бы провел направления на север, восток и т. д., и в каждом направлении, подобном *OP*, он бы отложил столько сантиметров, сколько он заметит людей, идущих в этом направлении. Каково бы ни было направление, число людей, двигающихся в этом направлении, будет тем же, как и для всякого другого; следовательно, на диаграмме получится ряд точек, лежащих на одинаковом расстоянии от точки *O*, иначе говоря, окружность с центром в *O*. Начерченная таким образом окружность называется кривой частостей. Введем теперь в наш пример более сложное предположение, именно, что шар освобожден

от своих привязей и летит в направлении на юг со скоростью 3 км/час . Человек, идущий на юг со скоростью 3 км/час , будет казаться теперь неподвижным относительно шара; человек, идущий на юг со скоростью $1,5 \text{ км/час}$, будет представляться наблюдателю движущимся на север со скоростью $1,5 \text{ км/час}$; человек, идущий на восток, будет казаться движущимся в северо-восточном направлении и т. д. Вследствие этого наблюдатель будет видеть гораздо больше людей, двигающихся на север, чем на юг, больше на северо-восток, чем на юго-восток и т. д. Его кривая частостей будет теперь чем-то вроде изображенной на рис. 74; здесь, например, число людей, двигающихся в на-

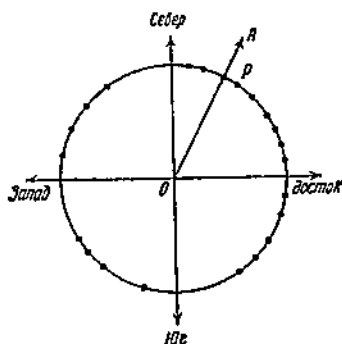


Рис. 73.

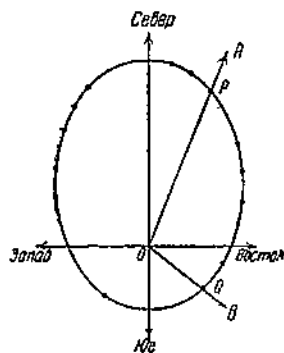


Рис. 74.

правлении OA , представлено отрезком OP , значительно большим отрезка OQ , дающим число людей, движение которых направлено по OB .

Обратим теперь наше внимание на какой-нибудь один небольшой участок неба. Там мы видим или можем сфотографировать большое число звезд на различных расстояниях от нас. Их движения в пространстве вызывают те кажущиеся перемещения на небесной сфере, которые мы называем собственными движениями. Если мы предположим, что их пространственные движения совершенно случайны, то наблюдаемые собственные движения будут также казаться случайными; подсчитывая тогда число собственных движений в каждом направлении, мы должны будем получить кривую частостей, подобную изображенной на рис. 73. Однако на самом деле мы получим другое, так как Солнце

(или солнечная система) движется по направлению к солнечному александру со скоростью в 20 км/сек и, следовательно, наша группа звезд в целом будет представляться нам двигающейся к солнечному александру. Это движение будет происходить в некотором определенном направлении, зависящем от положения нашей группы звезд на небесной сфере. Поэтому в результате подсчета собственных движений в различных направлениях получится кривая частостей, подобная изображенной на рис. 75, которая в общем сходна с кривой на рис. 74 нашего примера, с той только разницей, что она вытянута в направлении солнечного александра. Кривая имеет ту особенность, что огромное большинство звезд кажется двигающимся в направлении солнечного александра

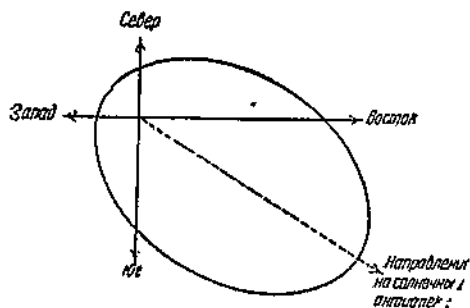


Рис. 75.

или в близком к нему, и сравнительно мало — в обратном направлении; выражая это несколько иначе, мы можем сказать, что собственные движения проявляют тенденцию иметь направление в сторону александра. Такое распределение собственных движений называется *поток*ом. Принцип, который в основ-

ных чертах объяснен на рис. 75, можно с успехом применить для проверки гипотезы о том, что звездные движения в пространстве совершенно случайны, так как если кривая частостей для каждого небольшого участка неба обладает основными свойствами кривой, изображенной на рис. 75, то мы должны, естественно, заключить, что гипотеза по меньшей мере вероятна, если не совершенно достоверна.

В 1904 г. профессор Калтейн сообщил о своем открытии звездных потоков. Это открытие фактически разрушило представление о звездной вселенной как о хаосе звезд, каждая из которых имеет свое собственное независимое движение в пространстве. Материал, на основании которого он произвел свое исследование, состоял из собственных движений, полученных из наблюдений ярких звезд на пассажном инструменте. Исследовав небо по небольшим частям,

Каптейн показал, что числа собственных движений, имеющих различные направления, дают не простую кривую, сходную по типу с кривой на рис. 75, но кривую более сложную, характер которой показан на рис. 76; однако Каптейн скоро заметил, что ее можно интерпретировать как составную кривую, состоящую из двух потоков, один из которых движется в направлении OA , а другой — в направлении OB . Составляющие кривые потоков показаны на рис. 76 пунктиром. Следует хорошо помнить, что наблюдаемая кривая (сплошная линия) дает число наблюдаемых движений в различных направлениях. Так, например, отрезок ON

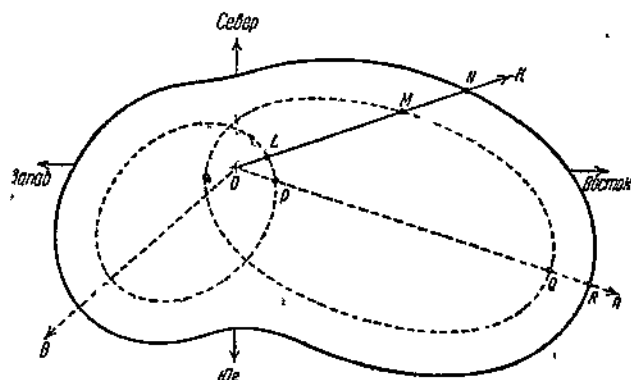


Рис. 76.

отрезок ON пропорционален числу звезд с наблюдаемыми собственными движениями в направлении OK . Это число состоит: а) из числа звезд (пропорционального отрезку OM), которые движутся в направлении OK и принадлежат к I потоку, направленному вдоль OA , и б) из числа звезд (пропорционального отрезку OL), которые движутся в направлении OK и принадлежат ко II потоку, вытянутому вдоль OB . В различных областях неба получаются кривые частот собственных движений, которые могут быть разложены на две кривые потоков. Обычно один из потоков выявлен отчетливее, чем другой, как это видно, например, на рис. 76, где поток, вытянутый в направлении OA , очевидно, виден более отчетливо, чем поток, вытянутый в направлении OB . Будем рассматривать пока только «заметные» потоки. Каптейном было обнаружено, что на

правления, в которых они вытянуты, меняются в зависимости от рассматриваемой области неба, но что эти различные направления не случайны. Когда правоверные магометане во время вечерней молитвы поворачивают свои лица точно в сторону Мекки, то направления, в которые они смотрят, меняются соответственно их положению на земном шаре; магометане Индии смотрят приблизительно на запад; в Малой Азии — на юг, в Австралии — на северо-запад и т. д.; но все эти направления сходятся в Мекке. Так же обстоит дело и с направлениями потоков в различных частях неба. Каштейн нашел, что направления потоков сходятся довольно точно к некоторой определенной точке на небесной сфере, называемой «апексом I потока». Точно так же направления, в которых вытянуты менее заметные потоки, сходятся в другой точке небесной сферы, называемой «апексом II потока». Как объяснить это явление?

Если бы звезды, с которыми мы имеем дело, двигались в пространстве совершенно случайно, то мы бы получили, как мы уже видели, по наблюдениям собственным движениям звезд в ограниченной области неба единственную поточную кривую, так как благодаря солнечному движению наблюдаемые собственные движения каждой звезды являются результатом сложения индивидуального случайного движения и параллактического перемещения. То же самое можно выразить иначе: видимое движение группы звезд в целом будет происходить относительно Солнца в направлении, обратном солнечному движению, так что наблюдаемые собственные движения образуют поток, направленный на небо в сторону солнечного антапекса. Наблюдаемая кривая частостей собственных движений состоит из суммы двух самостоятельных потоков, и одним из возможных объяснений является то, что имеются две стаи звезд, двигающихся в двух различных направлениях относительно Солнца. Мы видели, что если рассматривать небо в целом, то все заметные потоки в различных частях неба направлены к определенной точке на небесной сфере; это должно означать, что все звезды на небе, принадлежащие к заметному потоку, двигаются как целое в одном определенном направлении относительно Солнца, совпадающем с направлением апекса потока I. То же самое и для потока II. Однако наблюдаемые собственные движения, а, следовательно, и оба потока содержат эффект солнечного движения. Если этот эффект исключить, то общая совокупность звезд представится то-

гда состоящей из двух перемешанных между собой стад, движущихся в противоположных направлениях в пространстве. Это и есть два звездных потока Калтейна. Пусть, допустим, читатель смотрит вниз на шумливый проспект, направленный с востока на запад. Он видит народ, идущий на запад, и народ, идущий на восток, причем некоторые пешеходы переходят с одной стороны на другую под всевозможными углами к направлению улицы. Из своих наблюдений движения народа по всевозможным направлениям он делает тот вывод, что движение образуется двумя перемешанными между собой потоками, один из которых движется как целое на запад, а другой на восток. Две перемешанные стаи звезд — два звездных потока — можно изобразить подобным же образом. Вовсе не следует понимать, что все звезды одного потока двигаются непременно в одном и том же направлении, а все звезды другого потока — в обратном; это скорее похоже на одну стаю с общей тенденцией движения в одном избранном направлении и другую стаю с общей тенденцией движения в обратном направлении. Звездная вселенная представляет собой сплюснутую систему с большей протяженностью в плоскости Млечного Пути, чем под прямым углом к этой плоскости. Поэтому представляется весьма замечательным, что направления движений звездных потоков лежат в этой основной плоскости.

Со времени открытия Калтейна все исследования, относящиеся к звездным движениям, подтвердили явление звездных потоков. Многочисленные и весьма точные собственные движения звезд каталога Босса дали материал, который позволил профессору Эддингтону в 1910 г. вычислить с большой точностью ряд данных относительно двух звездных потоков; в частности, он нашел, что в среднем по всему небу число звезд I потока относится к числу звезд II потока, как 3 : 2, кроме того положение солнечного апекса, полученное из его исследований, весьма близко совпадает с результатами прежних определений.

Каталог Босса содержит звезды, видимые невооруженным глазом, т. е., вероятно, вообще говоря, ближайшие звезды. Простирается ли явление звездных потоков до более удаленных областей звездной вселенной? Является ли это особенностью звезд, например, 12-й величины? Собственные движения слабых звезд, полученные из измерений фотографических пластинок, показывают присутствие звездных по-

токов, имеющих тот же характер, какие найдены по близким и ярким звездам; разница лишь та, что явно выраженное численное превосходство ярких звезд I потока над II потоком уступает место фактически численному равенству.

На рис. 77 представлено действие звездного потока на распределение собственных движений в некоторой области неба; собственные движения этих звезд недавно получены по снимкам, сделанным на Кембриджской обсерватории. Общее их число равно 284; многие из них имеют 11-ю величину. Сплошная кривая дает наблюдаемое распреде-

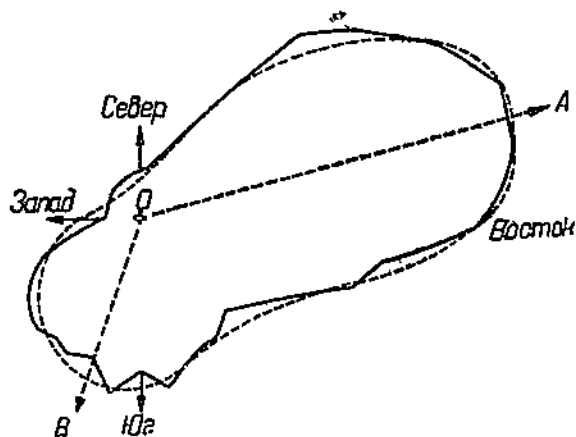


Рис. 77.

ние собственных движений в различных направлениях. Кривая частостей, несомненно, указывает на два потока, первый из которых вытянут в направлении OA , а второй — в направлении OB . При помощи процесса, в детали которого нам нет необходимости вдаваться, очевидно, можно выбрать две теоретические поточные кривые, одну вытянутую вдоль OA , другую вдоль OB , которые в комбинации дадут кривую частостей, подобную действительной кривой частостей, полученной из наблюдений. Эта комбинированная кривая, начерченная на рисунке пунктирной линией, очень хорошо согласуется с наблюдаемой кривой частостей, и мелкие расхождения между ними следует приписать неизбежным ошибкам измерений собственных движений слабых звезд, в большинстве случаев очень малых. Рис. 77 типичен и в

основном показывает то, что наблюдается во всякой другой области неба.

Каково значение существования звездных потоков во внутренней жизни звездной вселенной? Действительно ли указанное нами объяснение наблюдений доказывает наличие двух перемешанных между собой групп звезд или звездных потоков, являющихся видимым проявлением некоторых динамических особенностей звездной вселенной в целом, тайны которой лишь слегка приоткрылись перед нами? Мы должны помнить, что исследования звездной вселенной в отношении наблюдаемых собственных движений продвинуты лишь очень недалеко. Дело обстоит так, как если бы англичанин исследовал довольно подробно свою собственную страну, но остался бы в полном неведении о всех странах за пределами окружающего его моря. Звездные потоки остаются довольно загадочным явлением; разумеется, делались попытки объяснения, но полное истолкование их остается делом будущих астрономов.

• • •

ЗВЕЗДНЫЕ РАСТОЯНИЯ

Теория Коперника устройства солнечной системы имеет очевидное применение к задаче определения звездных расстояний; в самом деле, основной метод измерения звездных расстояний, употребляемый теперь во всех больших обсерваториях мира, был впервые предложен еще Галилеем в его известном «Разговоре о двух главных системах». Принцип метода крайне прост. В течение года Земля обращается вокруг Солнца по огромной орбите (которую мы будем просто считать кругом с радиусом в 149 млн. км); следовательно, мы смотрим на небесные тела изо дня в день из различных точек пространства. Будем рассматривать в телескоп две звезды, одну яркую, другую слабую; предположим, что первая сравнительно близка к Солнцу, а последняя находится на чрезвычайно большом расстоянии. Пусть на рис. 78а кривая ACB изображает земную орбиту вокруг Солнца (S), и пусть Земля 1 марта находится в точке A орбиты, а 6 месяцев спустя — в точке B . Пусть X — положение в пространстве близкой звезды. Слабую и весьма удаленную звезду мы будем считать находящейся где-то на продолжении линии AF на большом расстоянии от A . При наличии подходящего оборудования можно измерить с большой точностью угол в поле зрения телескопа между двумя звездами. Итак, 1 марта измеряется угол между звездами, на нашем рисунке это угол XAF . Через 6 месяцев угол измеряется снова. За это время положение Земли изменилось: из точки A она перешла в точку B , и 1 сентября будет измерен угол, который обозначен на рисунке через XBG ; линия BG проведена параллельно AF , так как слабая звезда, по предположению, находится весьма далеко и направление на нее практически то же самое как из точки A , так и из точки B . Беря простейший случай, мы предположим, что направление от Солнца на звезду X перпендикулярно к диаметру

орбиты AB и что слабая звезда находится в плоскости XAB . В этом случае разность между наблюдаемыми углами XBG и XAF равняется углу AXB . Нам известно, что базисная линия AB равна 298 млн. км, а угол AXB мы уже измерили; простое вычисление, основанное на остальных данных величинах, дает тогда расстояние SX , т. е. расстояние звезды от Солнца. Угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты, называется п а р а л л а к с о м з в е з д ы; на рис. 78а это есть угол SXA , равный половине измеренного нами угла AXB . Чем ближе к нам звезда, тем

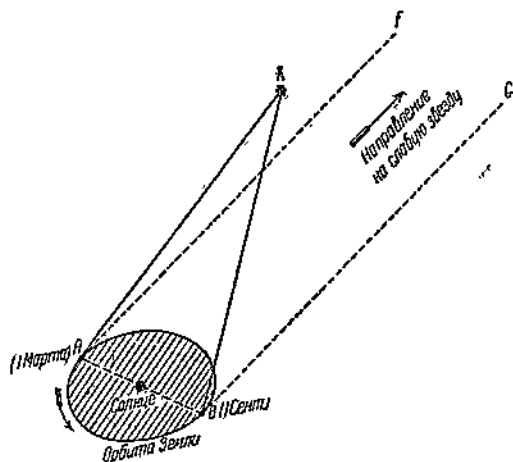


Рис. 78а.



Рис. 78б.

больше ее параллакс, и наоборот. Параллаксы, измеренные только что описанным путем, известны под названием т р и г о н о м е т р и ч е с к и х п а р а л л а к с о в.

Если производить ряд наблюдений в течение года, то направление на яркую звезду будет, очевидно, непрерывно меняться по отношению к направлению на слабую звезду. Проекция на небо кривой, которая описывается звездой X относительно слабой звезды, оказывается, есть эллипс, называемый параллактическим эллипсом (рис. 78б). Эти принципы были давно уже известны астрономам, но когда были сделаны попытки наблюдения кажущихся смещений, изображенных на рис. 78б, то они потерпели полную неудачу. Таким образом оказывалось, что или была неверна теория Коперника, в частности, что Земля не обращается вокруг

Солнца, или звездные расстояния настолько огромны, что кажущиеся годовые смещения даже близких звезд слишком ничтожными, чтобы их можно было обнаружить существующими в то время телескопами. Однако все прочие известные астрономические явления полностью согласовались с точкой зрения Коперника; следовательно, была только одна возможность, именно предположить, что звезды находятся на невероятно больших расстояниях от Солнца. Ясно, что успешное измерение звездных расстояний зависело от достаточного развития инструментальных возможностей.

Посмотрим, какие требования предъявляет эта задача к астроному-наблюдателю. Ближайшая звезда, как теперь известно, находится на расстоянии от Солнца, приблизительно в четверть миллиона раз большем, чем 149 млн. км; параллакс ее равен $0",75$ дуги; это и есть тот крошечный угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты. Под таким углом виден примерно диаметр серебряного полтинника на расстоянии 7 км. В единицах светового времени (скорость света равна 300 000 км/сек) ближайшая звезда настолько далека от нас, что свет, двигающийся с этой огромной скоростью, затрачивает $4\frac{1}{4}$ года, чтобы пересечь отделяющее нас от звезды расстояние. Очевидно, для измерения углов, составляющих доли секунд дуги, необходимы инструменты исключительной точности, и неудивительно, что лишь через $2\frac{1}{4}$ столетия после изобретения телескопа огромные усилия звездной астрономии увенчались успехом.

В конце первой четверти XIX в. астрономы выработали общие принципы, которые позволили отбирать те звезды, которые можно было заранее считать наиболее близкими к нам, а, следовательно, которые скорее могли бы дать положительный результат еще до начала кропотливой наблюдательской работы. Первый принцип связан с видимой величиной звезд. Если бы все звезды были одинаковы по действительной яркости, то их видимая яркость была бы просто мерилom их расстояния; если звезду 1-й величины отодвинуть на десятикратное расстояние, то, как мы видели из главы VIII, она превратится в звезду 6-й величины и соответственно и параллакс ее будет равен 0,1 настоящей его величины. Вследствие этого естественно ожидать, что звезды 1-й и 2-й величины окажутся среди наших ближайших соседей. Теперь мы знаем, что гипотеза, лежащая в основе этого принципа, несостоятельна, и сегодня мы

этот принцип выражаем следующим образом: можно ожидать, что из всех звезд 1-й и 2-й величины по крайней мере небольшая часть будет иметь большие параллаксы. Если бы основная гипотеза была полностью верна, то можно бы определить расстояния всех звезд при условии, что удалось измерить относительную видимую яркость Солнца и, например, какой-нибудь одной звезды 1-й величины. Так например, сравнивая яркость Солнца и Арктура. Штейнгель пришел к выводу, что Солнце следует отодвинуть на расстояние в $3\frac{1}{4}$ миллиона раз больше его расстояния от Земли, и тогда оно будет иметь видимую яркость Арктура; если Солнце и Арктур считать совершенно одинаковыми звездами, то параллакс Арктура оказывается равным $0''.06$. Однако практически задача измерения относительной яркости Солнца и звезды является одной из весьма трудных. Полученный из новейших наблюдений параллакс Арктура равен $0''.09$, правда относительный успех, которым увенчан вывод Штейнгеля, следует приписать главным образом счастливой случайности.

На основании второго принципа критерием близости звезд считаются собственные движения. Если звезда имеет собственное движение в $1''$ в год, то будь ее расстояние равно половине ее настоящего расстояния, собственное движение было бы равно $2''$ в год, если, конечно, ее пространственная скорость останется неизменной. Собственное движение, равное $1''$ в год, является исключительно большим, и звезды, обладающие этой особенностью, можно с уверенностью считать близкими к нам и, следовательно, имеющими большой параллакс.

Третий принцип относится к двойным звездам. В одной из предыдущих глав мы намекали на открытие Вильямом Гершелем орбитального движения нескольких двойных звездных систем. Его обследование неба в поисках двойных звезд было им предпринято с целью открытия подходящей системы, вроде изображенной на рис. 78а, которую можно было бы тщательно наблюдать в надежде обнаружить ее параллакс. Его последующее открытие, что много двойных звездных систем представляет собой действительно физически связанные системы, заставило его отбросить свои первоначальные планы поиска параллаксов. Мы видим, что в солнечной системе чем ближе планета к Солнцу, тем короче период ее орбитального обращения, и что орбитальный период и расстояние от Солнца подчиняются опре-

деленному соотношению, содержащему сумму масс Солнца и планеты (исправленный третий закон Кеплера). Наблюдения двойных звезд дают две вещи: во-первых, угловое расстояние двух компонентов и, во-вторых, период обращения одного компонента около другого. Если бы массы всех двойных звездных систем были почти одинаковы, то чем короче период, тем ближе должны были бы быть компоненты друг к другу; и чем больше было бы угловое расстояние, тем ближе система должна была бы быть к Солнцу. Итак, коротко говоря, третьим признаком близости звезды к Солнцу является короткий орбитальный период, соединенный с большим углом разделения компонентов. Мы в свое время увидим, что звездные массы обладают изумительным постоянством, так что этот принцип можно считать очень надежным.

План работы по определению звездных расстояний состоял прежде всего в составлении списка всех звезд, удовлетворяющих каждому из этих трех принципов. Там были прежде всего звезды 1-й и 2-й величины; во-вторых, — звезды, подобные Сириусу, Прокциону, β Лебеда, Вега и α Центавра, которые имеют замечательно большие собственные движения. В-третьих, там были звезды с несомненными признаками быстрого орбитального движения, подобные α Центавра, β Лебеда, γ Змееносца и т. д. Если какая-нибудь звезда попадала в две или во все три группы, то вероятность ее близости от этого сильно возросла.

Бессель выбрал для наблюдений β Лебеда (звезду 5-й величины). В его время она была известна как одна из быстро летящих звезд, так как ее собственное движение достигает $5'',2$ в год. Кроме того это двойная звезда с большим угловым расстоянием и довольно быстрым орбитальным движением. Как по второму, так и по третьему критерию тут имеются исключительно веские данные в пользу признания ее одним из наших ближайших звездных соседей.

Старший Струве¹ выбрал звезду 1-й величины Вега с довольно большим, хотя и не исключительным собственным движением в $1\frac{1}{3}''$ дуги в год.

Гендерсон, астроном на мысе Доброй Надежды, выбрал

¹ Здесь речь идет о Вильгельме Струве, основателе и первом директоре крупнейшей русской астрономической обсерватории в Пулковке. (Прим. ред.)

звезду первой величины α Центавра, третью по яркости звезду на небе, с исключительно большим собственным движением в $3'',7$ в год, являющуюся вместе с тем двойной звездой с быстрым орбитальным движением. Эта звезда, следовательно, удовлетворяла всем трем критериям и была, без сомнения, наиболее обещающим объектом для измерения звездных расстояний. Почти одновременно была проломлена стена, закрывавшая до тех пор от нас глубины пространства. В конце 1838 г. Бессель объявил, что ему удалось измерить параллакс 61 Лебеда: полученный им результат, равный $0'',31$, отличающийся не более чем на 3% от лучших современных измерений, был действительно замечательным достижением. Как писала мисс Клерк, выдающийся историк астрономии, успех Бесселя «памятен как первый опубликованный документ о том, что лот, брошенный в небесное пространство искусной рукой, действительно и несомненно коснулся дна».

Гендерсон был назначен в 1831 г. на службу на мыс Доброй Надежды, но по болезни вернулся в 1833 г. в Шотландию. Во время своего короткого пребывания на мысе он старательно наблюдал α Центавра. Свои наблюдения он некоторое время не обрабатывал, и только в начале 1839 г. он сообщил результат своей работы, именно параллакс, равный $1''$, что лишь немного отличается от принятого ныне значения: $0'',75$. По словам Джона Гершеля, «почетная и несомненная заслуга открытия первого параллакса неподвижной звезды, бесспорно, принадлежит Гендерсону».

В 1840 г. Струве сообщил, что параллакс Веги равен $0'',25$, в то время как лучшие современные измерения дают значение, равное $0'',12$. Тройной успех замечателен также тем, что названные три астронома употребляли совершенно различные типы телескопов. Инструментом Бесселя был знаменитый гелиометр, рефрактор с разделенным пополам объективом, первый телескоп, приводимый в движение часовым механизмом. В приборе такого типа каждая половина объектива дает отдельное изображение звезды, так что в поле зрения каждая звезда имеет два изображения (a , b). Двигая одну половину объектива вдоль другой половины, можно совместить изображение a одной звезды с изображением b другой звезды. По отсчету на калиброванной шкале, дающей величину расстояния между двумя половинами объектива, можно точно измерить угол между двумя звездами. Бессель употребил две слабые звезды, при по-

мощи которых было измерено смещение, обусловленное параллаксом. Струве употребил обычный рефрактор, снабженный на объективном конце микрометром; последний приводил в движение паутинную нить, которую можно было поместить сначала на яркую, а затем на слабую звезду сравнения, причем разность отсчетов микрометра дает меру угла между звездами. Мы видим таким образом, что методы измерения звездных параллаксов как Бесселя, так и Струве находились в полном согласии с принципами, иллюстрированными на рис. 78а. Гендерсон, с другой стороны, отказался от вспомогательной слабой звезды и наблюдал прямые восхождения и склонения звезды с пассажным инструментом, получая таким образом непосредственно те малые колебания положения звезды на небе, которые обусловлены параллаксом.

Такова в кратких чертах история одного из самых замечательных достижений человеческого гения, первой разведки небесного пространства. В феврале 1841 г. Джон Гершель, обращаясь к членам Королевского астрономического общества по случаю присуждения Бесселю золотой медали общества, произнес следующие слова: «Я поздравляю вас и себя с тем, что нам удалось при жизни увидеть удачный прыжок почти одновременно в трех различных точках через большой и до сих пор непроходимый барьер, стоявший на пути наших разведок в звездную вселенную, тот самый барьер, который мы так долго и так тщетно старались преодолеть. Это самая большая и самая славная победа, когда-либо одержанная практической астрономией. Возможно, я не должен был бы говорить так уверенно, возможно, я должен был бы поостеречься в силу хотя бы простой возможности, что все это может оказаться лишь иллюзией и что дальнейшие исследования, как это случалось и раньше, не подтвердят это благородное открытие. Однако я признаю себя неспособным к такому благоразумию, находясь в таком сильном возбуждении. Лучше примем это как радостное предзнаменование и будем верить, что барьер, уже начавший поддаваться, будет скоро сломен. Такие результаты пужно отнести к числу прекраснейших цветов человеческой цивилизации».

Усилия следующих двух поколений астрономов в области звездных параллаксов увенчались лишь сравнительно скромным успехом. Давид Гилл на мысе Доброй Надежды и Элькин на Иельской обсерватории были главными работ-

никами в этом направлении. Барьер, правда, начал поддаваться, но было необходимо более могущественное оружие и более действительные методы для более глубокого и более уверенного продвижения вглубь небесной территории. Следует отметить, что Канопус, вторая по яркости звезда на небе, обладающая очень малым собственным движением, немного большим $2''$ в столетие, имеет, как было найдено Гиллом, очень малый параллакс, меньший по величине неизбежных ошибок наблюдений, следовательно, расстояние ее должно быть исключительно большим.

Применение фотографии к точной астрономии вновь воодушевило работников в этом наиболее трудном разделе практической астрономии, среди которых одним из наиболее выдающихся был Притчард из Оксфорда. Принципы фотографического метода по существу те же самые, что и визуального, который был пояснен нами на рис. 78а. Параллактическое смещение близкой звезды можно измерить относительно нескольких слабых звезд с точностью, далеко превосходящей ту, которая доступна визуальным наблюдениям. Кроме того, благодаря длинным экспозициям, необходимые сравнения становятся возможными для значительно более слабых звезд, чем это имело место при старых методах. Однако здесь есть одна трудность, которую следует принять во внимание. Если экспозиции таковы, что изображения слабых звезд (например 12-й величины) получаются удовлетворительно на фотографической пластинке, то, следовательно, изображение «параллактической» звезды, которая обычно во много раз ярче слабых звезд «сравнения», будет значительно больше изображения этих последних и, следовательно, будет значительно более трудно доступной для точного измерения; ошибки измерения могут оказаться совершенно непропорциональны малому параллактическому углу, который пытаются измерить. Эта трудность обходится в новейших исследованиях различными способами, назначение которых — привести видимую яркость «параллактической» звезды к приблизительному равенству со «звездами сравнения».

Между 1903 и 1907 гг. профессор Ресселл и Хинкс в Кембридже измерили параллаксы 52 звезд по снимкам, полученным при помощи шипшэнкского рефрактора. В настоящее время около дюжины больших обсерваторий по всему миру старательно заняты бросанием лота по всем направлениям, иногда достигая дна и тем увеличивая наш запас

знаний о звездных расстояниях. Прогресс в этой области, разумеется, не может быть очень быстрым. Одно определение параллакса требует измерения по крайней мере длины пластинок, одна половина которых отделена промежуток времени месяцев в шесть от другой, причем на каждой пластинке сделано по две или по три различных экспозиции. На Гринвичской обсерватории в среднем получается довольно регулярно около 50 параллаксов в год; для этой цели необходимо от восьми до девяти сотен пластинок в течение года. Генеральный каталог параллаксов, составленный в 1924 г. профессором Шлезингером, ныне работающем на Иельской обсерватории, содержит 1 870 номеров; в 1928 г. число тригонометрических параллаксов, вероятно, значительно превысило 2 500.¹

Можно с определенностью сказать, что современные фотографические методы могут с уверенностью обнаружить параллакс в $0",01$; наиболее сильные телескопы позволяют исследовать пространство до значительно больших глубин, и измеренные параллаксы в $0",005$ имеют теперь право считаться реальными. Следует немного остановиться на этих достижениях современной астрономии. Параллакс в $0",01$ есть угол, под которым радиус земной орбиты виден с звезды, расстояние которой от Солнца в 20 млн. раз больше, чем 149 млн. км; в световом времени это расстояние эквивалентно 326 световым годам. Это означает, что свет от звезды с параллаксом в $0",01$, воспринятый фотографической пластинкой в 1926 г., безмолвно пересекал огромное пространство, начиная с 1600 г. с огромной скоростью в 300 000 км/сек.

Чудесны, разумеется, достижения астрономии в области точных измерений, но все же существуют границы пространства, за которые еще не удалось проникнуть и которые непроходимы еще в настоящее время при помощи прямых тригонометрических методов; действительно, параллаксы меньше $0",001$ (соответствующие расстоянию в 3 260 световых лет) недоступны даже наиболее сильным телескопам. Поэтому исследование далеких областей пространства основано на косвенных методах; однако необходимо подчерк-

¹ В 1931 г. вышел новый сводный каталог тригонометрических параллаксов, составленный итальянским астрономом Чеккони, который содержит уже 3 795 звезд. (Прим. ред.)

путь, что эти методы все основаны на прочном фундаменте уже известных расстояний до ближайших звезд.

Следующая таблица взята из каталога параллаксов Шлезингера; она дает числа звезд, соответствующие определенным пределам значений параллакса, и оканчивается на довольно большом параллаксе в $0'',05$. Этой таблицей представлено состояние нашего знания относительно ближайших звезд на 1924 г.; она содержит 309 звезд, около $\frac{2}{3}$ всего числа номеров в каталоге.

Таблица 4

Таблица, дающая число звезд для различных значений параллаксов

Параллакс	Число	Параллакс	Число
Свыше $0''40$	2	От $0''09$ до $0''10$	19
От $0''30$ до $0''40$	7	$0''08$ $0''09$	22
$0''25$ $0''30$	8	$0''07$ $0''08$	40
$0''20$ $0''25$	6	$0''06$ $0''07$	59
$0''15$ $0''20$	18	$0''05$ $0''06$	85
$0''10$ $0''15$	43		

Звездные расстояния настолько велики, что обычные земные единицы длины здесь неудобны и недостаточны. Световой год — одна из употребляемых единиц, в особенности в популярных книгах; мы видели, что параллакс в $1''$ соответствует расстоянию, выражаемому через 3,26 световых года; выраженное в километрах это расстояние равно 30 миллионам миллионов километров, так что световой год приблизительно представляет расстояние в 10 миллионов миллионов километров. Употребляемая специалистами-астрономами единица длины называется п а р с е к о м, она равна расстоянию, соответствующему параллаксу в $1''$.

Итак, парсек немногим больше 30 миллионов миллионов километров. Параллакс в $0'',1$ соответствует расстоянию в 10 парсеков, а параллакс в $0'',01$ — расстоянию в 100 парсеков и т. д.

Знание звездных расстояний позволяет нам сделать еще шаг вперед в истолковании индивидуальных особенностей звезд. Как мы видели в одной из предыдущих глав, видимая яркость звезды будет казаться на пять величин слабее, если ее отодвинуть на расстояние, в десять раз большее на-

стоящего. Знание звездного расстояния и видимой величины звезды позволит нам вычислить, какова была бы ее видимая величина, если бы ее поместить на какое-нибудь другое определенное расстояние от нас. Чтобы сравнить светимость звезд, мы должны вычислить, каковы были бы их величины, если бы все они находились на одинаковом расстоянии от нас. Разумеется, несущественно, какое расстояние в частности мы выберем; обычно астрономами выбирается расстояние в 10 парсеков (или 32,6 световых года), соответствующее параллаксу в $0''.1$, и звездные величины, вычисленные для этого расстояния, называются абсолютными величинами.

После того как это было сделано, оказалось, что различие в абсолютных величинах чрезвычайно велико. Сравним для примера абсолютные величины двух ближайших к нам звезд. Сириус, самая яркая звезда на небе (видимая величина — 1.6), обладающая большим собственным движением в $1''.3$ в год и большим параллаксом в $0''.37$, будет иметь на расстоянии 10 парсеков звездную величину, равную 1.2; значит, абсолютная величина Сириуса равна 1.2. «Летающая» звезда Барнарда представляет собой стабильную звезду, имеющую видимую величину 9.7; она обладает наибольшим из найденных до сих пор собственных движений ($10''.3$ в год); за исключением физической системы α Центавра, это наш ближайший звездный сосед (параллакс равен $0''.54$); простое вычисление показывает, что ее абсолютная величина равна 13.2, т. е. на расстоянии 10 парсеков она казалась бы звездой 13.2 величины. Что нам показывают эти абсолютные величины? Для этих двух звезд разность абсолютных величин равна 12.0, что соответствует отношению яркостей 60 000 : 1. Звезда Барнарда по сравнению с Сириусом является слабым членом звездного семейства; Сириус по сравнению с звездой Барнарда — небесное светило, чрезвычайно яркое. Звезда же Барнарда — одно из самых слабых из известных нам светил: многие звезды, с другой стороны, превосходят Сириус по светимости. Наше собственное Солнце, отодвинутое от нас на расстояние 10 парсеков, имело бы вид звезды 5.0 величины; итак, наше сверкающее Солнце — весьма обычный член звездного семейства, его действительная яркость составляет всего $\frac{1}{10}$ яркости Сириуса. Итак, одним из первых плодов измерения звездных расстояний оказывается открытие изумительного разнообразия в светимости звезд. На одном конце стоят

ярко сверкающие небесные тела, на другом — слабо светящиеся звезды; первые — гиганты, вторые — карлики, а в промежутке между ними помещаются звезды всевозможной светимости. Почему это происходит, что одна звезда оказывается в действительности в миллионы раз ярче своих братьев? Происходит ли это вследствие больших размеров, или более высокой температуры, или комбинации того и другого? На эти вопросы современная астрономия может дать, как мы увидим в последующих главах, определенный ответ.

От известных параллаксов и собственных движений мы можем перейти к исследованию другой особенности звезд, именно их пространственных движений или, точнее, части их движений под прямым углом к лучу зрения. Собственные движения дают нам угловую скорость, с которой звезда изменяет свое положение на небесной сфере; знание звездного расстояния позволяет нам перевести ее в линейную скорость (километры в час или километры в секунду). Рассмотрим две звезды — Сириус и Арктур. Известные значения параллакса и собственного движения Сириуса, которые мы раньше указали, показывают, что Сириус движется относительно Солнца перпендикулярно к лучу зрения с огромной скоростью, равной приблизительно 16 км/сек. Аналогично для Арктура (собственное движение которого равно $2'',3$ в год, а параллакс — $0'',08$) поперечная скорость оказывается приблизительно равной 160 км/сек. Последняя скорость изумительна, превосходя во много раз среднюю величину скорости для всех звезд; скорость же Сириуса можно считать типичной для звезд вообще. Перпендикулярная скорость есть только одна из составляющих пространственного движения звезды; чтобы сделать наше знание о действительной скорости звезд в пространстве полным, нам необходимо выявить составляющую скорости вдоль по лучу зрения, т. е. так называемую радиальную скорость звезды. Однако это уже есть область спектроскопической астрономии, которая составляет содержание следующей главы.

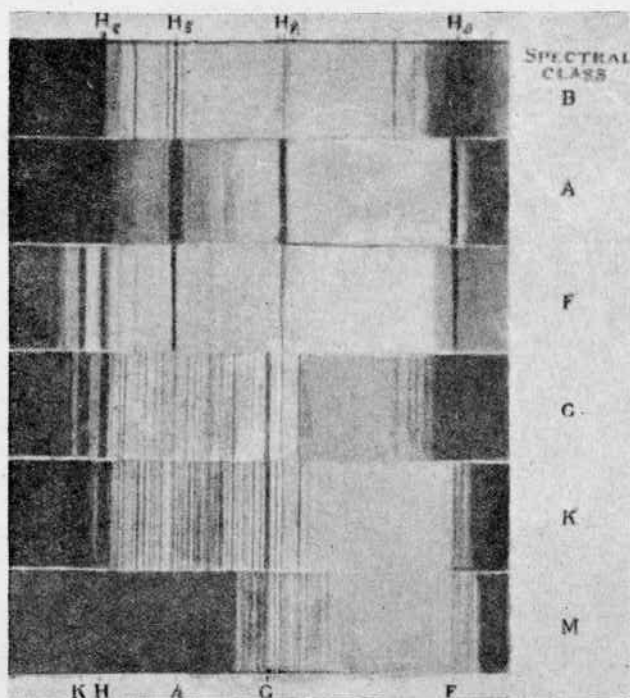
СПЕКТРОСКОП И ЗВЕЗДЫ

В главе VI мы описали в общих чертах спектроскоп, его применение к исследованию Солнца, а также объяснение солнечного спектра на основе современной атомной теории. В этой главе мы направим прибор на звезды и из их световых посланий постараемся узнать их секреты. Вначале целесообразно напомнить природу световой радиации и принципы, лежащие в основе спектрального анализа.

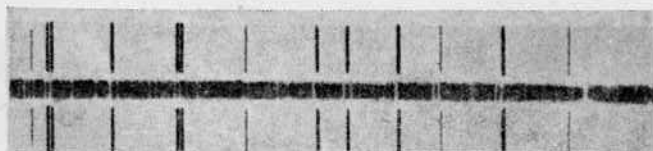
Основная особенность звезды заключается в том, что она является самосвещающимся телом, излучающим потоки тепла и света. Солнце есть также звезда, и его значение для астрономии обусловлено в первую очередь его сравнительной близостью к Земле; вследствие этого мы можем его изучать более просто и более подробно, чем любую другую звезду на небесном своде. Однако не все звезды являются точными копиями Солнца; как показывает даже беглый взгляд на небо, среди дюжины наиболее ярких звезд наблюдается большое разнообразие в цвете, от яркокрасного, как Ветельгейзе, до сине-белого, как Ригель; это может означать лишь одно, именно что не все звезды построены по одному определенному образцу, подобно автомобилям на заводе массового производства. Это обстоятельство было осознано значительно глубже после того, как свет некоторых ярких звезд стал впервые исследоваться в спектроскопе.

Звездные спектроскопы бывают двух родов, но устройство каждого основано на преломлении света, звезды при прохождении через призму.¹ В одном типе спектроскопов перед объективом телескопа помещается большая призма; свет от какой-нибудь звезды разлагается призмой на свои составляющие части и после прохождения через объектив приводится в фокус, где его можно изучать обычным путем при

¹ Вместо призмы иногда употребляется дифракционная решетка.



a. Типичные звездные спектры.



b. Спектр Проциона.



c. Спектр Мицара.

тальной пластинке. Этот тип прибора имеет то преимущество, что спектр всех находящихся в поле телескопа звезд до определенного предела яркости, зависящего от продолжительности экспозиции, можно сфотографировать одновременно на одной и той же пластинке. С другой стороны, при помощи щелевого спектроскопа можно изучать или фотографировать одновременно только одну звезду. Щель помещается в фокусе телескопа так, чтобы получать свет от определенной наблюдаемой звезды; этот свет, проходящий через одну или несколько призм, разлагается в спектр и запечатлевается, наконец, свое послание на фотографической пластинке. Щелевой спектроскоп имеет однако то преимущество, что рядом с звездным спектром можно снять для сравнения например спектр раскаленных паров железа, причем известные нам линии спектра сравнения будут служить как бы вехами, посредством которых можно точно измерить длины волн звездного спектра. В нашей цели не входит подробное описание инструментальных деталей и вопросы техники; мы надеемся, что этот короткий очерк поможет читателю дать должную оценку репродукциям звездных спектров, изображенных на картине XIV,а.

Первые наблюдения звездных спектров были сделаны визуальным путем Фраунгофером в начале прошлого века. Как известно, Фраунгофер впервые составил карту, на которую занес несколько сот линий солнечного спектра — темных линий поглощения на роскошном фоне непрерывного спектра; как только он стал изучать одним и тем же способом свет различных звезд, как например Сириуса, Кастора, Поллукса, Капеллы и пр., он был немедленно поражен различием между их спектрами и солнечным. Имелась однако у целого ряда из числа рассматривавшихся им звезд одна особенность, именно была ясно заметна в желтой области спектра темная линия (или скорее тесная двойная линия), обусловленная натрием (так называемая линия *D*). Теперь мы знаем, что линия *D* служит доказательством присутствия натрия в атмосферах некоторых звезд, но на первых шагах астрофизики присутствие отчетливой линии *D* в нескольких спектрах едва ли значило больше, чем то, что некоторые звезды имеют по крайней мере одно какое-то общее качество. Мы видели, что только в 1859 г. темные линии поглощения в солнечном и звездном спектрах получили удовлетворительное объяснение.

О тех пор отождествление темных линий с линиями спектров обычных земных элементов быстро подвигалось вперед, доказывая, что как Солнце, так и звезды образованы из элементов из числа тех, из которых состоит и Земля. Звездные спектры, за исключением приблизительно 1% звезд, представляют собой спектры поглощения, напоминая в этом отношении солнечный спектр. Итак, спектр состоит из непрерывного спектра, т. е. последовательности цветов радуги от красного до синего, пересеченного в большинстве случаев большим числом тонких темных линий. Как мы видели в главе VI, темные линии в солнечном спектре можно считать доказательством существования поглощающей свет атмосферы (обращающего слоя), лежащей над основной излучающей поверхностью Солнца (фотосферой). Для звезд справедливо такое же объяснение; только наблюдающееся среди звезд большое разнообразие спектров поглощения указывает, повидимому, на большие различия в химическом и физическом строении звездных атмосфер.

В 1863 г. Гюйгенс и Миллер в королевском колледже в Лондоне сделали первые попытки фотографирования звездных спектров, оказавшиеся, однако, безрезультатными. Девять лет спустя Генри Дрепер в Нью Йорке получил первый удовлетворительный снимок звездного спектра, именно спектра Веги, на котором были видны некоторые линии из числа наиболее резких линий поглощения. Астрофизика получила теперь необходимое орудие исследования, и потому прогресс вскоре сделался изумительно быстрым.

Одной из задач ученого исследования является внесение порядка на место хаоса; из сотен звезд едва нашлись две, спектры которых оказались бы одинаковыми; однако потребность хотя бы некоторой грубой классификации, если только таковая вообще возможна, чувствовалась чрезвычайно остро.

Первым пионером в этом разделе астрономии был католический патер Секки из Рима. Он разделил звезды по их спектрам на четыре больших группы или типа следующим образом.

Тип I состоял из синих и белых звезд, в спектре которых имеются отчетливые темные линии поглощения водорода, и в которых нет и следа (или в крайнем случае лишь ничтожный след) линий, обусловленных металлами вроде железа, алюминия и пр.

Тип II состоял из желтых звезд, в спектрах которых заметны многочисленные темные линии металлов; к этому классу относятся звезды вроде Солнца и Капеллы.

Тип III состоял из оранжевых и красных звезд. В их спектрах выделяются темные полосы поглощения. Антарес и Бетельгейзе — наиболее известные звезды этого типа.

Тип IV включает темнокрасные звезды с резкими темными полосами в их спектрах. Члены этого класса весьма слабы, и в числе их нет ни одной хорошо известной яркой звезды, легко видимой простым глазом.

Классификация Секки есть в некоторых отношениях классификация по свету. Само собой разумеется, что спектры всех звезд внутри определенного класса никоим образом не являются копиями один другого; эта классификация лишь грубая, не принимающая во внимание различий внутри каждого отдельного класса. Все наблюдения Секки сделаны визуальным путем, и это обстоятельство делает его исследования тем более достопримечательными.

С введением фотографических методов для исследования спектров звезд сделалось возможным более детальное подразделение классов. Существующая в настоящее время классификация разработана главным образом мисс Кеннон на Гарвардской обсерватории. Примерно около четверти миллиона звездных спектров было снято при помощи объективной призмы, рассмотрено и разбито на классы. Девять больших томов, содержащих результаты этой работы, были посвящены памяти Генри Дрепера, одного из пионеров в области звездной спектроскопии, и вся классификация обычно именуется дреперовской. Основные классы именуются по порядку буквами O, B, A, F, G, K, M, R, N, S. 99% звезд включены в шесть классов от B до M. Каждый спектральный класс имеет подразделения: так, звезда, спектр которой по своему характеру находится посередине между G и K, относится к классу G5; если звезда ближе к G, чем к K, то она относится, например, к классу G2 и т. д. Итак, все звезды типа G принадлежат к одному из подразделений: G0, G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9. Таким образом классы от B до M образуют непрерывный ряд, лишь B постепенно переходит в тип A и т. д. Мы дадим теперь краткое описание дреперовской классификации, воздерживаясь на время от всяких комментариев относительно ее значения. Типичные спектры звезд показаны на картине XIV,а.

К л а с с В. Темные линии водорода и гелия отчетливы. В некоторых звездах встречаются также линии ионизированного гелия, т. е. гелия, потерявшего один планетный электрон. Отчетливы также линии, обусловленные ионизированным кремнием, кислородом и азотом. Начиная с подкласса В5 появляется линия К ионизированного кальция, а в В9 гелий почти совершенно исчезает из спектра. Звезды этого класса иногда называются «гелиевыми звездами» или «звездами типа Ориона». Выдающимися членами этого класса являются следующие: Ригель, Регул, яркие звезды Плеяд и несколько звезд в созвездии Ориона.

К л а с с А. В спектре этого типа наиболее отчетливы линии водорода. Имеются в наличии также линии некоторых металлов, главным образом ионизированного кальция и магния, но они слабы по сравнению с очень темными линиями водорода. К этому классу принадлежат Сириус, Вега и Кастор.

К л а с с F. В спектре этого класса водородные линии становятся менее отчетливыми, а линии металлов, в особенности линии Н и К ионизированного кальция, значительно усиливаются. В конце класса, т. е. в подклассах F8 и F9, спектры проявляют большое сходство с солнечным. Типичными F-звездами являются Процион и Канопус — обе белые звезды.

К л а с с G. Это класс, к которому принадлежит Солнце. Спектр замечателен огромным числом линий металлов, главным образом линий нейтрального, т. е. неионизированного железа; линии водорода и ионизированного кальция все еще отчетливы. Типичные звезды — Солнце и Капелла, обе типа G0; эти звезды имеют желтый цвет.

К л а с с К. Яркими звездами этого класса являются Арктур и Альдебаран. Линии ионизированных металлов становятся слабее; линии нейтральных металлов усиливаются. В конце класса имеются признаки полос окиси титана. Звезды этой группы имеют оранжевый цвет.

К л а с с М. Одной из основных особенностей спектров звезд класса М является большая сила полос окиси титана; линии нейтральных металлов также отчетливы. Звезды этого класса — красные; Антарес и Бетельгейзе принадлежат к классу М.

Последовательность спектров от В до М представляет собой за немногими исключениями спектры поглощения; значит, каждый спектр состоит из цветов радуги: красного,

оранжевого и т. д. до фиолетового, пересеченных темными линиями. В классе O наибольшее значение имеют светлые линии водорода, ионизированного гелия, углерода, кислорода и азота; сверх того, там имеется несколько линий неизвестного происхождения¹. Классы R, N, S можно считать в некотором смысле подразделениями IV класса Секки; это красные звезды, встречающиеся сравнительно редко на небе.

С характером спектров звезд тесно связан вопрос об их температурах. На одном конце главной спектральной последовательности мы имеем звезды бело-голубого цвета (класс В), на другом же конце (класс М) — звезды ясно выраженного красного цвета. Если кочергу поместить в огонь, то она станет сперва тускло-красного цвета; если же жар достаточно силен, то она в конце концов становится, как говорится, раскаленной добела. В этом обыденном примере, очевидно, имеется тесная зависимость между цветом и температурой. Существует ли подобная же зависимость между температурой и цветом звезд, иными словами, будут ли звезды класса В «горячее» звезд класса М? Однако прежде чем подробно ответить на этот вопрос, мы должны попытаться понять, что мы разумеем под «температурой» в применении к звездам. Поток излучаемой энергии (тепла и света), выбрасываемый звездой в нашем направлении, есть единственный мост между нами и звездой. Как мы дальше увидим, источник звездной энергии должен лежать глубоко внутри нее. Именно эти внутренние запасы энергии совершают свой путь к поверхности, проскальзывают, наконец, сквозь звездную атмосферу и излучаются по всем направлениям в пространстве. Как раз эта излучаемая энергия и является предметом наших измерений, и интенсивность ее зависит от «температуры» фотосферы. Однако это еще не все. Вообразим себе пушечное ядро и равный по объему известковый шар нагретыми оба до температуры в 500° С. Каждый шар излучает тепловую энергию сквозь свою поверхность, но а priori нет никаких причин, почему интенсивность излучения должна быть одинаковой; один в этом отношении, несомненно, менее эффективен, чем другой, и оба

¹ В 1930 г. целый ряд таких линий был отождествлен американским астрономом Боуеном с линиями кислорода и азота, находящимися в особом состоянии. Таким образом имеются все основания думать, что и остальные линии также вызываются известными элементами. (Прим. ред.)

уступают, как говорят физики, «совершенному радиатору». Если фотосфера звезды представляет собой совершенный радиатор, то на основании законов физики и измеренной интенсивности радиации получается совершенно определенное значение фотосферной температуры. Было найдено, что Солнце и звезды очень мало отличаются по своим свойствам от совершенного радиатора, и мы не будем останавливаться на детальном рассмотрении каких-либо отклонений свойств звезд в этом отношении. Примем просто, что темпе-

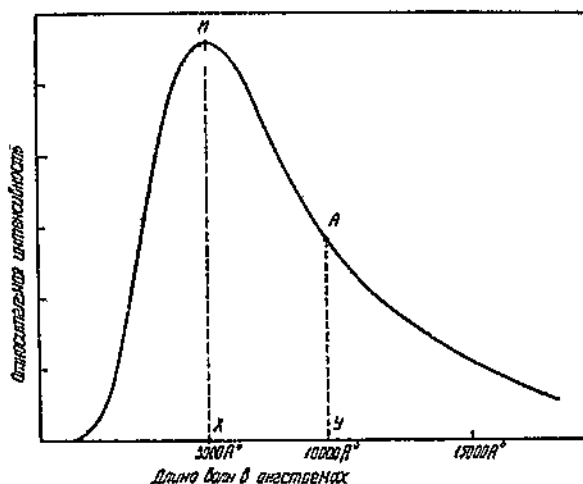


Рис. 79.

ратура звезды (т. е. температура фотосферы) выводится из хорошо известных законов физики; эта температура обычно называется **эффективной температурой**.¹

Пусть в совершенном радиаторе температура поддерживается на уровне в 5000°C . Он излучает тепло и свет по закону излучения Планка, интенсивность радиации меняется в зависимости от длины волны некоторым определенным образом, изображенным на рис. 79. Например, в рассматриваемом случае из этого закона следует, что си-

¹ Об эффективной температуре см. примечание на стр. 116. Очевидно, что то, что у нас названо абсолютно черным телом, Смарт называет совершенным радиатором. Из теории излучения Кирхгофа следует, что эти два определения эквивалентны. (Прим. ред.)

ний конец спектра должен быть чрезвычайно слаб, но зато на красном конце (около длины волны, равной $6\,000\text{Å}$) интенсивность очень велика и достигает максимума вблизи этой точки (точка M на рисунке). В точке A на кривой, соответствующей длине волны в $10\,000\text{Å}$, интенсивность излучения равна приблизительно $\frac{1}{2}$ интенсивности радиации, длина волны которой равна $6\,000\text{Å}$; это видно по измерению отношения отрезков YA и XM . Если бы температура была равна $3\,000^\circ\text{C}$ вместо $5\,000^\circ\text{C}$, то кривая была бы совершенно иной; другими словами, совершенный радиатор дает ряд кривых, причем каждая кривая зависит от температуры, которая в нем поддерживается. Теперь понятен принцип определения эффективной температуры звезды; он состоит в получении из наблюдений значений относительной интенсивности радиации, излучаемой звездой в различных длинах волн. Измерения эти можно представить в форме кривой, которая затем сопоставляется с рядом кривых Планка, образец которых изображен на рис. 79; та кривая, которая ближе всего подойдет к наблюдаемой, и даст значение эффективной температуры звезды.

Существует простое видоизменение этого способа, основанное на законе, известном под названием закона Вина. Теоретические кривые (вроде рис. 79) имеют вершины около различных длин волн; например, на рис. 79 вершина соответствует длине волны $6\,000\text{Å}$. Закон Вина гласит, что температура излучающего тела обратно пропорциональна длине волны соответствующей вершины на кривой излучения. Наблюдения дают длину волны, для которой радиация наиболее интенсивна, и эффективная температура звезды тогда непосредственно выводится по закону Вина.

Существует третий закон радиации, известный под названием закона Стефана: эффективная температура звезды может быть получена, если измерить полное количество радиации, излучаемое звездой.

Радиация фотосферы звезды дает начало непрерывному спектру. В звездах класса M красный конец спектра ярок, а синий конец слаб. Максимум интенсивности в спектре этих звезд, очевидно, имеет место в красной и инфракрасной части; иными словами, большая часть радиации, посылаемой этими звездами, состоит главным образом из красного света. Наоборот, в спектрах звезд класса B синий конец

наиболее яркий, красный же сравнительно слаб. Между тем длина волны синего света много короче длины волны красного; следовательно, по закону Вина эффективная температура звезды класса В много выше, чем температура звезды класса М. Кроме того точное измерение длины волны, при которой имеют место максимумы в соответствующих спектрах, приводит к точному значению отношения эффективных температур таких двух звезд. Применение этих принципов связано однако с многими трудностями. Мы укажем только одну. Наблюдения, естественно, производятся вблизи основания земной атмосферы, которая поглощает приходящий от звезд свет в разных количествах, зависящих от длины волны: синий свет гораздо больше, чем красный. Следовательно, необходимо исключить эффект земной атмосферы; измерения, действительно, приводятся к таким, какими они по предположению должны были бы быть, если бы звезды можно было наблюдать без усложнений, вызываемых земной атмосферой. Ясно, следовательно, что оценки звездных температур должны хотя бы только из-за одного этого быть несколько неопределенными.

Первая работа в этой области астрофизики была сделана около 20 лет тому назад в Потсдаме. Наблюдения интенсивности звездной радиации в различных частях спектра были сделаны визуальным путем. Фотографический метод введен профессором Сампсоном на Королевской обсерватории в Эдинбурге. Предположим для простоты, что фотографическая пластинка одинаково чувствительна к свету всех длин волн, так, например, синий и красный свет одинаковой интенсивности произведет одинаковое почернение на пластинке. Если спектр звезды снять на такую пластинку, то степени потемнения, произведенного различными частями непрерывного спектра, будут находиться в некоторой определенной зависимости от различных значений интенсивности в этих частях спектра. Например, в спектрах звезд класса В фотографическое потемнение будет заметно больше для более коротких длин волн (синего света), чем для более длинных (красного света); пластинка будет едва почерневшей в той области, которая соответствует красной части спектра. Степень почернения вдоль спектра измеряется при помощи фотометрических приборов, в детали которых мы здесь не будем входить, и таким образом на основании законов фотографического действия света можно получить

относительные интенсивности непрерывного спектра звезды, соответствующие различным длинам волн. Сравнение с кривыми Планка (рис. 79) дает звездные температуры. Трудности этого метода вытекают главным образом из особенностей фотографических пластинок, употребляемых для исследования, так как ни одна фотографическая пластинка не чувствительна в равной мере к свету всех длин волн, как мы приняли в нашем простом примере. Вследствие этого исследованию звездных температур по методу профессора Сэмпсона должно предшествовать тщательное исследование поведения фотографических пластинок в связи с действием на них различных родов света.

Мы при случае уже упоминали о крайне чувствительном инструменте — радиометре или болометре, — который 'может измерять ничтожные количества тепловой радиации. Приборы на обсерватории Маунт-Вилсон доведены до такой чувствительности, что тепло от свечи, помещенной на расстоянии 150 км, можно обнаружить и измерить. С прибором этого рода Абботу удалось измерить количества излучаемой энергии в различных частях спектра нескольких ярких звезд. Наблюдения какой-нибудь звезды дают кривую, которая выражает связь между интенсивностью излучаемой энергии и соответствующей длиной волны; эта наблюдаемая кривая сравнивается с рядом кривых Планка (рис. 79), и эффективная температура звезды выводится вышеуказанным образом.

Во всех методах для получения оценок звездных температур подвергается исследованию только одна особенность спектра, именно непрерывный спектр. Однако спектр звезды состоит не только из непрерывного спектра; во многих отношениях система темных линий является более характерной его особенностью. Мы теперь постараемся показать, как можно использовать эти линии для получения независимой оценки звездной температуры. При рассмотрении линий поглощения мы занимались главным образом вопросами о химическом составе звездной атмосферы и о физических условиях: температурой и давлением, при которых могут существовать различные элементы. Бросим взгляд назад на классификацию звездных спектров. Классификация основана главным образом на природе линий поглощения, иными словами эта классификация хотя бы частично основывается на природе звездных атмосфер. Если мы сделаем обзор различных спектральных классов, то мы увидим

на одном конце (классы О и В) наиболее отчетливые водородные и гелиевы линии, в то время как на другом конце (класс М) эти два легких газа незаметны. Кроме того в классе М полосы химических соединений почти затемняют все остальные. Значит ли это, что в звездах классов О и В атмосфера состоит главным образом из водорода и гелия, между тем как в звездах класса М эти два газа не являются преобладающими составными частями атмосферы? Далее, почему существование химических соединений возможно, как это мы можем видеть по спектрам, в атмосфере одних звезд и невозможно в атмосфере других? Заданные вопросы требуют для удовлетворительного ответа несколько более глубокого анализа, чем простое рассмотрение химического состава звездных атмосфер. Как мы увидим, условия давления и температуры имеют первостепенное значение для интерпретации спектральных линий звезд. Задача на самом деле связана с поведением отдельных атомов элементов при тех физических условиях, при которых они находятся в звездной атмосфере. Рассмотрим, например, химический элемент железо. В спектре звезд класса G заметны линии поглощения железа. В атмосферах этих звезд (включая Солнце) атомы паров железа подвергаются действию интенсивного потока излучаемой энергии, стремящейся наружу из атмосферы. Какой-нибудь атом поглощает определенную долю этой энергии; внешний электрон (или электроны) перескакивают на более высокую орбиту (т. е. более удаленную от ядра), зависящую от той длины волны фотосферной радиации, которую он поглотил. Атом лишь недолго остается в этом состоянии. Активный электрон прыгает обратно с более высокой орбиты на более низкую, излучая радиацию, длина волны которой зависит от двух участвующих в этом переходе орбит. Однако здесь мы отметим некоторую разницу. Поглощаемая атомом радиация вытекает из внутренних частей звезды; радиация, излучаемая атомом энергии, уходит с звезды. Таковы в кратких чертах те атомные процессы, согласно которым объясняется существование линий поглощения в звездных спектрах. Представим себе теперь радиацию фотосферы, обладающей такими свойствами, что определенная часть атомов железа под ее действием должна потерять свой внешний электрон; в этих условиях атомы ионизированы. В главе VI мы видели, что спектр ионизированного элемента отличается от спектра даваемого полным атомом: следовательно, при принимаемых

нами условиях в звездном спектре появятся новые линии, обусловленные ионизированным железом. Это и есть как раз то, что находится в спектре звезд класса F, и мы должны поэтому заключить, что при температуре и давлении, господствующих на этих звездах, определенная часть атомов железа в каждый данный момент лишена одного из своих электронов. Мы можем теперь сделать шаг вперед и предположить, что физические условия в звездной атмосфере и свойства радиации фотосферы таковы, что большинство атомов железа ионизировано. Остаток нейтральных атомов может проводить лишь небольшое поглощение, и соответствующие линии в спектре будут незаметны или «слабы». С другой стороны, ионизированные атомы, которые теперь составляют большинство, будут энергично поглощать ту часть радиации фотосферы, которая соответствует их собственной отличительной длине волны, и соответствующие линии будут отчетливы или «сильны». Сделаем еще один шаг и вообразим, что ни один атом не сохранит полной системы своих электронов. Все атомы будут тогда одинажды ионизированы, и спектр не будет содержать тогда ни малейшего следа обычных или нейтральных линий железа; он будет, разумеется, содержать характерные линии ионизированных атомов. Мы должны помнить, что та часть звездного спектра, которую мы наблюдаем или фотографируем, представляет только часть полной гаммы длин волн радиации. Железо оказывается элементом, который и в нормальном и в одинажды ионизированном состоянии имеет характерный ряд линий в обычной части спектра, хорошо известной нам в астрофизике. Некоторые другие элементы ведут себя иначе; главные линии, соответствующие одинажды ионизированному состоянию атома, попадают за пределы доступной фотографированию области, а, следовательно, если физические условия в звездной атмосфере таковы, что все атомы данного элемента ионизированы, то в спектре не будет ни малейшего указания на присутствие этого элемента в звездной атмосфере. Так же может быть с дважды и трижды ионизированными атомами. Когда мы изучаем спектр самых горячих звезд и по спектральным линиям видим очень мало доказательств присутствия элементов, кроме водорода и гелия, то мы не должны исключать возможность, что некоторые элементы могут все время находиться в звездной атмосфере, но их атомы сильно ионизированы и потому их излучения имеют

такие длины волн, на которые наши инструменты не могут реагировать. Кроме того, в звездах класса О имеются линии неизвестного происхождения. Следует ли считать эти линии доказательством присутствия в атмосфере этих звезд элементов, еще не открытых в земных источниках? Или мы должны объяснить их в том смысле, что они обусловлены обычными земными элементами, лишь существующими в звездах в необычных условиях? Физики и химики полагают, что список элементов почти совершенно полон, и, повидимому, можно сделать определенное заключение, что неизвестные линии являются просто доказательством присутствия одного или нескольких уже известных элементов, находящихся однако в столь высоком состоянии ионизации, до которого их невозможно довести современными лабораторными методами, или существующих при условиях, недоступных воспроизведению в лаборатории. Задача их происхождения весьма вероятно будет разрешена в ближайшем будущем или экспериментаторами-физиками, подвергнувшими известные элементы более интенсивной ионизации, или физиками-математиками, которые получают из законов атомной физики один или несколько элементов, обуславливающих эти линии.

Рассмотрим более тщательно физические условия в звездных атмосферах в связи с ионизацией атомов. Чем выше температура звездной фотосферы, тем могущественнее ионизирующий фактор. Однако, если элементы тесно сжаты вместе, подобно газам при высокой плотности, то едва только электрон выбрасывается одним атомом, как он тотчас же ловится другим. Следовательно, соединение высокой температуры с высокой плотностью не представляет идеальных условий для сильной ионизации. Наоборот, если давление очень мало, т. е. если атомы разбросаны в пространстве редко, то выброшенный электрон имеет значительно меньше шансов быть снова пойманным, и известная часть атомов остается неионизированной. В главе VI мы ссылались на теорию Саха, на основании которой можно предсказать изменение относительного числа ионизированных атомов данного элемента при различной температуре и давлении. В частности, если давление предполагается известным, то можно вычислить температуру, при которой все атомы некоторого элемента будут целиком ионизированы. Если мы применим эту теорию к звездным атмосферам, то мы заметим, например, что при переходе от звезд

ды класса G к звездам класса F и класса A мы имеем перед собой определенный тип спектра, в котором линии железа полностью обусловлены однажды ионизированными атомами. Предполагая давление известным, мы можем, следовательно, вычислить температуру, которая достаточна для полной ионизации атомов железа. Подобное же вычисление температур сделано, например, также в случае спектра, в котором линии нейтральных и ионизированных атомов достигают одинаковой силы. Этого короткого объяснения, без сомнения, достаточно для того, чтобы дать читателю некоторое представление об основных принципах этого метода. Позднейшие работы Фуулера и профессора Милна по развитию теории Саха привели к значениям звездных температур, очень хорошо согласующимся со значениями, полученными другими методами. Следующая таблица дает результаты, полученные профессором Сэмпсоном, Фулером и Милном. Можно отметить, что точного совпадения едва ли можно было бы пока ожидать в этой трудной ветви астрономической физики, но следует признать, что согласие оценок для различных спектральных типов в этой таблице (и оценок других работников) столь же удивительно, сколь и внушительно.

Кроме температуры имеется еще второй фактор — газовое давление в звездной атмосфере, которое влияет на спектральный класс, а в следующей главе мы увидим, каково действие этого фактора. Здесь можно отметить, что давления в звездных атмосферах вообще представляют ничтожную долю того давления, с которым мы имеем дело в нашей собственной земной атмосфере.

Классификация звезд по спектральным классам, как оказывается, есть главным образом классификация по температуре. Спектральный ряд (B, A, M, ...) есть ряд убывающих температур. Итак, цвет и спектральный класс тесно связаны между собой; мы заключаем, следовательно, что бело-синие звезды суть самые горячие звезды, а красные

Таблица 5

Таблица звездных температур

Спектральный тип	Сэмсон	Фуллер и Милл
0,5	—	Выше 33 000
B ₀	25 000	26 500
A ₀	13 100	10 000
F ₀	8 900	7 500
G ₀	6 200	6 000
K ₀	4 200	4 500
M ₀	3 400	3 000

звезды — самые холодные. Кроме того, когда различные спектральные классы рассматриваются более подробно, то многие задачи, которые с первого взгляда представляются непреодолимыми, оказываются легко разрешимыми в свете теории атомных процессов в связи с более точным учетом физических условий, господствующих в звездных атмосферах. Разумеется, следует считать чудесным достижением, что температура звезд, расположенных на расстоянии десятков и сотен световых лет от нас, может быть измерена с такой замечательной точностью. Именно здесь астроном может прийти на помощь своему брату в физической лаборатории, так как в самых горячих звездах материя существует в недоступных в лаборатории условиях и изучение звездных спектров приводит к более глубокому знанию строения и поведения атомов, что является главным предметом изысканий современных физиков.

ДВИЖЕНИЕ ЗВЕЗД ПО ЛУЧУ ЗРЕНИЯ

Мы рассмотрим в этой главе дальнейшее применение исследований звездных спектров в астрономии. В главе VI мы объяснили закон, известный под названием принципа Доплера, и рассказали о его применении к измерению скорости вращения Солнца. В кратких словах он состоит в следующем: если мы движемся по направлению к источнику света, излучающему световые волны определенной длины в нашем направлении, то мы должны встретить больше световых волн в секунду, чем если бы мы были неподвижны. Таким образом эффект состоит в сокращении длин световых волн. Если мы удаляемся от источника, то эффект аналогичным образом увеличивает длину волны света. Мы уже упоминали, что при фотографировании звездного спектра рядом с ним снимается спектр сравнения, например, паров железа. Линии железа дают шкалу для измерения линий звездного спектра. Если звезда движется к нам, то длина каждой волны звездного света покажется короче, чем в том случае, если бы звезда и мы были неподвижны друг относительно друга. Пусть спектр звезды содержит линии железа; тогда эффект относительного движения выразится в смещении каждой линии железа в спектре звезды относительно соответствующей линии в спектре сравнения в сторону коротких длин волн, т. е. к фиолетовому концу. Если мы и звезды расходимся, то смещение звездных линий будет происходить к красному концу спектра. Величина смещения зависит от отношения скорости приближения (или удаления) звезды к скорости света, а также от рассматриваемой длины волны. Картина XIV, b показывает спектр звезды Процион с расположенным рядом спектром сравнения; относительные смещения различных линий, общих двум спектрам, хорошо видны. Эти смещения тщательно измеряются, и смещение

определенной линии можно выразить в единицах Ангстрема.¹ Например, если измеренное смещение линии, длина которой в спектре сравнения равна $5\,000\text{ \AA}$, можно представить в виде $5\text{ \AA}$, то скорость звезды к нам или от нас равна 300 км/сек . Если линия смещена, например, к красному концу, то звезда удаляется. Этот компонент звездной скорости, который измеряется смещением спектральных линий, называется скоростью по лучу зрения или радиальной скоростью. В настоящее время измерены радиальные скорости нескольких тысяч звезд, и эта работа продолжается весьма интенсивно, в особенности на обсерватории Виктория в Британской Колумбии и на больших обсерваториях в Соединенных штатах.²

Рассмотрим теперь некоторые исследования, основанные на изучении радиальных скоростей. Возьмем сначала измерение расстояния от Земли до Солнца. Это, как мы видели в первой части книги, есть основная астрономическая единица длины, и астрономы хватались за всякий удобный случай, чтобы определить ее в единицах земного радиуса или в обычных земных единицах, т. е. в километрах. Сначала кажется довольно удивительным, что земное расстояние от Солнца можно измерить при помощи спектроскопических наблюдений звезд, но небольшое размышление позволит нам понять, почему это действительно возможно. Наши наблюдения производятся с Земли, которая делает годовой оборот вокруг Солнца с некоторой средней скоростью. Если спектроскоп сможет нам показать, какова эта скорость, то можно легко вычислить расстояние Земли от Солнца. Упростим задачу насколько возможно. Пусть кривая на рис. 80 представляет земную орбиту вокруг Солнца и пусть E — положение Земли на орбите, например, 1 марта, а F — 1 сентября, на шесть месяцев позднее. Предположим далее, что мы снимаем спектр звезды, направление которой лежит в плоскости земной орбиты и перпендикулярно к направлению на Солнце в эти два дня.

¹ Обозначаемых кратко значком $\text{\AA}$, первой буквы фамилии известного физика, в честь которого единица названа. (Прим. ред.)

² У нас в СССР подобная работа энергично ведется, начиная с 1928 г. на Симеизской обсерватории в Крыму, на установленном там в 1924 г. новом большом 40-дюймовом (1 м) рефлекторе. (Прим. ред.)

EA есть направление с Земли на звезду 1 марта, а FB (проведенное параллельно EA) — направление на звезду 1 сентября. В такого рода исследовании крошечной разностью направлений на звезду 1 марта и 1 сентября, обусловленной параллаксом, можно пренебречь. Далее, примем на один момент, что Солнце и звезда не имеют движения друг относительно друга, по лучу зрения, так что с этой точки зрения мы можем Солнце и звезду считать неподвижными точками. Однако из чертежа видно, что, находясь в точке E , Земля движется к звезде с некоторой скоростью; спектр звезды дает, следовательно, смещение спектральных линий к фиолетовому концу относительно линий спектра сравнения, а поэтому измерение смещения даст нам значение земной скорости в направлении EA . Это и будет орбитальной скоростью Земли; поскольку ее можно выразить в километрах в секунду, постольку размер орбиты легко можно вывести, так как мы знаем, сколько секунд требуется для полного оборота. Действительно, окружность орбиты в километрах есть орбитальная скорость (в километрах в секунду), умноженная на число секунд в году. Так можно найти астрономическую единицу длины, она, очевидно, равняется радиусу SE . Мы можем сделать задачу более общей, отбросив сделанное нами только что предположение, что Солнце и звезда не имеют относительного движения по лучу зрения.

Если звезда, например, удаляется от Солнца, то спектральные наблюдения, сделанные 1 марта (Земля находится в E), дадут, очевидно, скорость удаления звезды минус орбитальная скорость Земли в направлении EA , в то время как спектральные наблюдения, сделанные 1 сентября (Земля находится в F), дадут скорость удаления звезды плюс земная орбитальная скорость в направлении стрелки в BF . Средняя из двух наблюдаемых радиальных скоростей и будет, очевидно, скоростью удаления звезды, а разность — двойной орбитальной скоростью Земли. После того как последняя скорость найдена этим путем, значение астрономической единицы расстояния получается, как

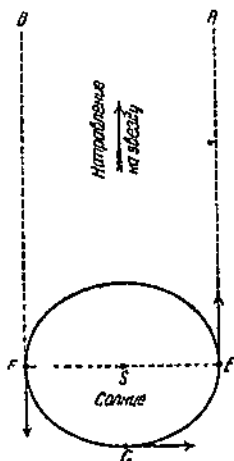


Рис. 80.

раньше. Если отбросить все ограничения, которые были наложены просто для приведения метода к его простейшему виду, то задача измерения астрономической единицы расстояния остается все-таки по существу весьма простой. В мае 1927 г. Спенсер Джонс на обсерватории мыса Доброй Надежды опубликовал определение астрономической единицы, основанное на многочисленных спектрограммах некоторого числа ярких звезд. Скорость света (в километрах в секунду) также должна быть, разумеется, известна, иначе невозможно перевести смещения спектральных линий в скорости; точное значение этой постоянной известно из опытов профессора Майкельсона, произведенных в 1926 г., и было использовано в исследовании Джонса; его результат следует считать одним из самых точных из числа полученных до настоящего времени. Обратное, если радиальная скорость некоторой звезды измерена несколько раз в течение года, то различные измерения отличаются на величину, зависящую от переменного эффекта земной орбитальной скорости. Этот эффект можно вычислить (как и тот, который зависит от земного вращения) для каждого отдельного измерения радиальной скорости, и после исправления последнего получается радиальная скорость звезды относительно Солнца. В силу этого мы примем в дальнейшем, что подобные поправки были уже сделаны, так что термин радиальная скорость означает скорость приближения или удаления рассматриваемой звезды или небесного тела от Солнца.

Возьмем второе применение радиальных скоростей — измерение расстояний звезд скопления Тельца. Это — скопление звезд, разбросанных в созвездии Тельца. Они отличаются от сотен других звезд созвездия общей характеристикой, именно тем, что собственные движения их имеют значительную величину около $10-12''$ в столетие и все направлены к одной определенной точке неба. Прилагаемая схема (рис. 81), сделанная покойным профессором Люисом Воссом, дает положение звезд скопления на звездной карте; стрелки, проведенные от каждой звезды, представляют направления, в которых собственные движения перемещают звезды по небу. Диаграмма показывает, что все эти направления сходятся к определенной точке неба, называемой точкой схода; положение ее можно точно найти по известным собственным движениям всех звезд. Вышеприведенную диаграмму можно объяснить

тем, что сходимость собственных движений обусловлена перспективой и что в действительности звезды движутся в пространстве по параллельным направлениям, подобно морским кораблям и параллельно направлению между нами и точкой схода; далее можно сделать весьма правдоподобное предположение, что все они движутся с одинаковой скоростью. Самая яркая звезда группы имеет четвертую величину, следовательно ее радиальную скорость можно очень точно измерить. Посмотрим, как эта величина поможет нам определить расстояния до отдельных звезд

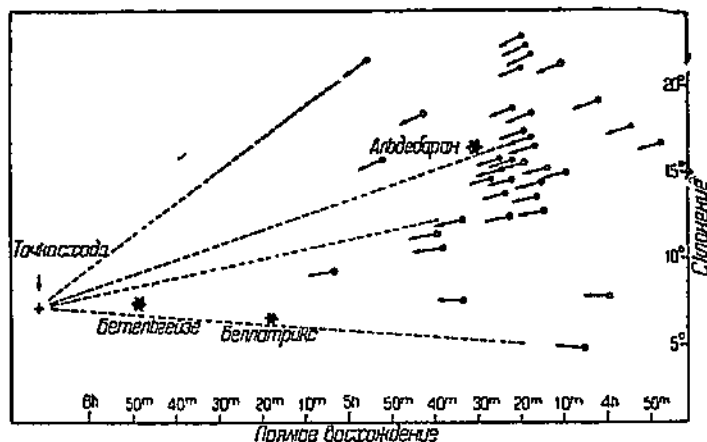


Рис. 81 Движущееся скопление в Тельце (по Вессу).

скопления. Пусть на рис. 82 S — положение Солнца, считаемого неподвижным, так как собственное движение звезды и ее радиальная скорость выражены относительно Солнца, как если бы они измерялись наблюдателем, находящимся на Солнце. Пусть A — звезда, радиальная скорость которой измерена. Длина линии SA представляет расстояние звезды от Солнца, выраженное в километрах, парсеках или световых годах. Рассмотрим теперь положение звезды A через 100 лет. Если бы вся скорость звезды относительно Солнца заключалась в ее радиальной скорости (в круглых числах мы примем последнюю равной 40 км/сек , что очень близко к измеренной радиальной скорости одной из самых ярких звезд скопления), то через столетие звезда оказалась бы в точке B , так что рассто-

ние AB в километрах было бы равно 40, умноженному на число секунд в столетии. Однако в действительности движение звезды параллельно SP , т. е. известному направлению на точку схода; значит, звезда через столетие должна находиться в некоторой точке на линии AQ , проведенной параллельно SP . Итак, движение звезды в пространстве (относительно Солнца) представляет собой комбинацию ее радиальной скорости со скоростью, перпендикулярной к лучу зрения. Пусть BC проведено перпендикулярно к SB . Тогда через столетие звезда должна находиться в точке C на линии AQ . Угол PSA можно вычислить, так как направления SA и SP известны. Это дает угол CAB . AB уже

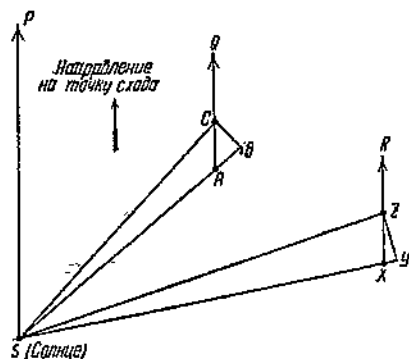


Рис. 82.

найденно, как мы видели выше, и выражено в километрах: решение треугольника CAB дает длины стороны BC и стороны AC , выраженные также в километрах. Теперь мы воспользуемся известным собственным движением звезды, считая его равным $12''$ дуги в год. Это значит, что угол CSA (или CSB) равен $12''$ дуги. Решение треугольника CSB дает значение расстояния SC в километрах, другими

словами, нам удалось измерить расстояние до звезды. Предположение, что все звезды группы двигаются с одинаковой скоростью, позволяет измерить расстояние каждой из них. Если X — положение какой-нибудь звезды нашего скопления, то через столетие оно должно перейти в Z (XZ параллельна SP); действительно, расстояние XZ известно, оно ведь равно AC , которое, как мы видели, можно определить в километрах. Угол PSX можно измерить, как и раньше; следовательно, мы знаем угол ZXY . Отсюда можно вычислить отрезок YZ в километрах и по наблюдаемому значению собственного движения, т. е. углу ZSY , получить расстояние SZ . Поскольку наблюдаемые величины, участвующие в этой задаче, измерены с весьма значительной точностью, расстояния звезд в скоплении Тельца относятся к числу наиболее

точно известных. До сих пор открыто около 80 звезд, являющихся членами скопления; слабейшие из них достигают 10-й величины. В пространстве эти звезды образуют почти шаровое скопление с диаметром от 20 до 80 световых лет, находящееся на расстоянии 135 световых лет от нас. Итак, если мы смотрим на одну из этих звезд в 1928 г., то мы получаем послание, находившееся в молчаливом странствии через обширные пустыни междузвездного пространства с первых дней Французской революции.

В главе XI мы видели, что собственные движения звезд позволяют установить определенное направление в пространстве, в котором движется Солнце, по отношению к общей совокупности рассматриваемых звезд. Спектроскоп позволяет дополнить это указанием величины движения, выраженного в километрах в секунду. Читатель помнит, что солнечный апекс, т. е. направление, в котором движется Солнце со своей системой планет, немногим отличается от направления на звезду Вега.

Пусть мы измерили радиальные скорости 100 звезд, расположенных на небесной сфере в непосредственном соседстве с солнечным апексом, и радиальные скорости 100 звезд, расположенных по соседству с противоположной точкой на небесной сфере. Таким образом мы имеем две группы звезд и можем моментально вычислить среднюю радиальную скорость каждой из групп. Сделаем дальнейшее упрощение и будем считать обе группы находящимися неподвижно друг относительно друга, подобно двум средневековым армиям в ночь перед сражением. Однако Солнце движется в сторону первой группы (расположенной в направлении солнечного апекса) со скоростью, которая должна быть средней радиальной скоростью всех звезд этой группы, или, выражаясь иначе, группа будет казаться приближающейся к нам с некоторой определенной скоростью. Подобным же образом вторая группа будет казаться удаляющейся от нас с равной скоростью, так как мы предположили, что обе группы неподвижны друг относительно друга. Ставя вопрос более широко, мы должны ожидать, что все звезды, направления которых на небе ближе к направлению на солнечный апекс, чем к обратному направлению, дадут в среднем радиальную скорость, направленную к Солнцу, остальные же звезды — радиальную скорость, направленную прочь от Солнца. При помощи математических вычислений, основанных главным образом на только

что изложенных вкратце принципах, движение Солнца относительно группы звезд с измеренными радиальными скоростями, рассеянных по небу, оказалось равным приблизительно 20 км/сек . Вычисления, дают, между прочим, кроме скорости солнечного движения и направление на солнечный алекс. Оно должно совпадать с положением, полученным по одним только собственным движениям. В действительности эти два метода дают слегка различные результаты (имеется разность в $4-5^\circ$ между двумя независимо вычисленными положениями солнечного алекса, главным образом по склонению, если рассматривать одни яркие звезды). Следует однако заметить, что оба метода не применялись одновременно к одним и тем же звездам, так как из числа звезд с яркостью до шестой величины пока едва ли половина имеет измеренные радиальные скорости, в то время как практически все эти звезды имеют измеренные собственные движения.¹

В одной из предыдущих глав было описано явление звездных потоков на основании данных о собственных движениях звезд. Можно получить представление о двух звездных потоках также на основании изучения радиальных скоростей, и такие исследования подтверждают общие выводы, достигнутые уже описанным путем при рассмотрении собственных движений. Имеются два основных различия в этих методах. Собственные движения в любой ограниченной области неба (например звезды, которые можно снять на одной и той же пластинке) полностью выявляют особенности двух потоков, между тем как для радиальных скоростей следует сперва сравнить между собою движения в двух или нескольких областях, далеко отстоящих друг от друга на небе, прежде чем удастся обнаружить искомое явление. Во-вторых, как правило, измеренные радиальные скорости имеют лишь яркие звезды; поскольку же видимая яркость не является надежным критерием расстояния (большая часть видимых простым глазом звезд находится на невероятно большом расстоянии от Солнца), звезды, выбранные для измерения радиальных скоростей, образуют довольно разбросанную группу. Нет необходимости входить в детали метода, позволяющего по радиальным скоростям установить существова-

¹ В настоящее время все звезды до 6-й величины северного полушария имеют измеренные радиальные скорости. (Прим. ред.)

ние звездных потоков; достаточно лишь указать, что радиальные скорости подтверждают результаты, полученные по собственным движениям.

Если рассмотреть значения радиальных скоростей звезд, то в них обнаруживается несколько особенностей. Радиальные скорости огромного большинства звезд имеют значения, группирующиеся около 16 км/сек. Хотя это число можно считать типичным для звезд вообще, но существует много звезд, приближающихся к нам или удаляющихся от нас со значительно большими скоростями. Известно несколько звезд с радиальными скоростями, превосходящими 300 км/сек, а наибольшая из измеренных до сих пор радиальных скоростей звезд равна почти 400 км/сек. Далее, рассмотренные до сих пор радиальные скорости представляют собой те скорости, с которыми звезды движутся к Солнцу или прочь от него. Однако Солнце — лишь одна из звезд в звездной системе, и по исключении солнечного движения мы, очевидно, получим такие значения радиальных скоростей, какими они были бы, если бы Солнце оказалось неподвижным относительно совокупности звезд, членом которой оно является. Если взять среднее значение радиальных скоростей (определенных в только что указанном смысле) для звезд каждого спектрального класса от В до М в отдельности, то обнаруживается замечательная зависимость значений относительных радиальных скоростей от спектрального класса, как показано в следующей таблице, составленной Пласкеттом.

Спектральный класс	Средняя рад. скорость
В	6,5
А	10,9
F	14,4
G	15,0
K	16,8
M	17,1

Радиальная скорость является однако только одним компонентом действительной скорости звезды в пространстве. Другую часть — поперечную скорость — можно получить, если мы знаем собственное движение и расстояние звезды. Однако, если мы охватили большое число звезд, разбросанных по всему небу, то зависимость радиальных скоростей, показанная на вышеприведенной таблице, должна быть показательна и для пространственных скоро-

стей звезд. Мы видели, что спектральная последовательность от В до М есть последовательность нисходящих температур; следовательно, таблица указывает на изумительный факт, что средняя пространственная скорость меньше всего для горячих звезд класса В и что она возрастает при переходе от горячих звезд класса В к более холодным звездам класса М.

ДВОЙНЫЕ И ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Основателем астрономии двойных звезд является Вильям Гершель. Правда, двойные звезды были открыты больше чем за столетие до его времени: яркая звезда Мицар в Большой Медведице была признана двойной итальянским астрономом Ричиоли в 1650 г., и некоторое число открытий такого же рода было сделано в более позднее время. Однако первое систематическое обследование неба с целью изучения двойных звезд было предпринято лишь Гершелем, который производил свою работу по определенному плану. Этот замечательный и неутомимый наблюдатель впервые получил данные о физических особенностях многих из этих объектов и дал их первое истолкование. Гершель в начале своей астрономической карьеры занялся решением того, что в то время считалось наиболее трудной задачей наблюдательной астрономии, именно измерением звездных расстояний. Метод, которому он намеревался следовать, был уже описан в начале XI главы и иллюстрирован на рис. 78. Гершель посвятил себя поискам на небе пары звезд, соответствующих этому описанию. В 1782 г. он опубликовал первый каталог двойных звезд, в который вошло 268 объектов. Как мы уже знаем, Гершель не достиг своей первоначальной цели измерения расстояния звезд; это великое достижение было сохранено для будущих поколений; однако он сделал открытие, имеющее исключительный интерес. В 1797 г. он измерил вновь многие из тех двойных звезд, которые наблюдались за несколько лет раньше, и получил из сравнения новых и старых измерений бесспорное указание на существование изменений в положениях некоторых из этих объектов. Подобное изменение могло быть обусловлено собственным движением той или другой из звезд, вызывающим изменение в угловом расстоянии и в позиционном угле. Этого можно было

бы ожидать в том случае, если две какие-нибудь звезды находятся почти на одном и том же луче зрения (и представляются благодаря этому в телескоп тесно расположенными рядом), но отстоят от нас на совершенно различных расстояниях. Двойная звезда такого типа называется оптически-двойной. Однако последующие наблюдения показали Гершелю, что это объяснение во многих случаях несостоятельно и что тут имеется ясное указание на существование орбитального движения, указывающего на реальную связь в виде взаимного притяжения между двумя звездами.

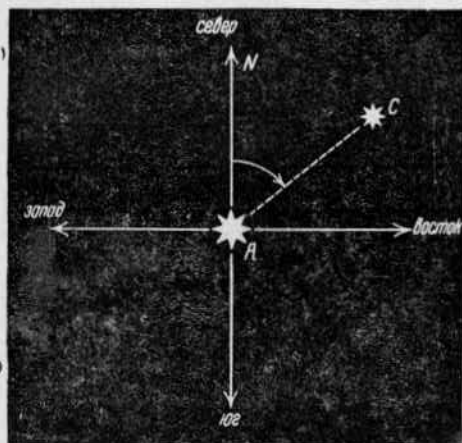


Рис. 83.

Гравитация управляет планетной системой: наблюдения Гершеля показали, что в глубине пространства господствует тот же самый или весьма аналогичный закон. Двойная звезда такого рода обычно называется физически двойной или просто двойной звездой. Более яркий член двойной звездной системы называется центральной звездой, а более слабый — спутником. Уг-

ловое разделение двух компонентов известно просто под названием расстояния. Для очень тесных пар расстояние может быть не больше $0",1$ дуги; это практически есть предел, доступный лучшим телескопам и самым опытным наблюдателям. Для того чтобы полностью определить положение спутника по отношению к центральной звезде, необходимо произвести еще одно измерение.

Пусть на рис. 83 точка *A* означает центральную звезду или более яркий компонент, а *C* — положение спутника. В поле зрения телескопа линия *AN* представляет направление на северный полюс неба из точки *A*. Угол между *AN* и *AC* называется позиционным углом и измеряется от 0° до 360° в направлении, указанном стрелкой. Полное наблюдение двойной звезды состоит в измерении расстояния *AC* (в секундах дуги) и позиционного

угла NAC . Если расстояние AC сравнительно велико, например больше $2''$, то оба компонента можно сфотографировать и получить измерения расстояния и позиционного угла обычным путем; нужно только, чтобы разница величин обеих звезд не была слишком велика. Однако для тесных пар фотография неприемлема, так как почти невозможно получить вполне разделенные изображения. Фотография только за последние годы начала играть некоторую роль в этой отрасли астрономии. Большинство наблюдений все еще продолжает делаться визуальным путем при помощи одного вспомогательного приспособления, прикрепляемого к окулярному концу телескопа и называемого нитевым микрометром. Он состоит из кольцеобразной пластинки с делениями от 0° до 360° , в центре которой укреплен окуляр. В фокальной плоскости помещаются две параллельные нити AB и CD (рис. 84). Пластина вращается до тех пор, пока, как на диаграмме, нити не будут

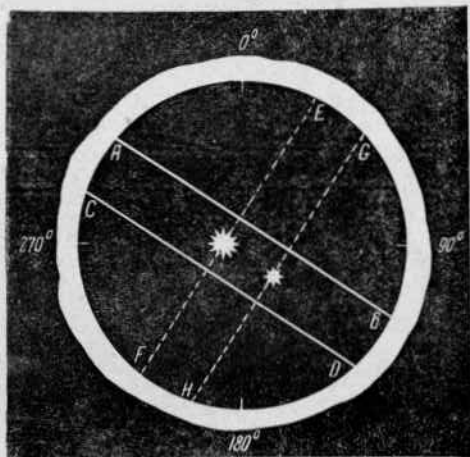


Рис. 84.

параллельны направлению между центральной звездой и спутником. Этим способом измеряется позиционный угол. Кроме того имеется неподвижная нить EF и подвижная нить GH , обе под прямым углом к AB и CD . Расстояние между центральной звездой и спутником измеряется установкой центральной звезды на EF и движением нити GH до тех пор, пока спутник не окажется на ней, подобно тому, как показано на рисунке. Расстояние измеряется в единицах шкалы микрометра, с которой связана нить GH , а затем переводится в секунды дуги при помощи известных постоянных прибора.

Как уже говорилось, наблюдения Гершеля показали, что у некоторых двойных звезд спутник имеет орбитальное движение вокруг центральной звезды. Для такой двойной

звезды мы можем представить графически ряд наблюдений, распределенных на протяжении нескольких лет. На рис. 85 представлены четыре таких наблюдения двойной звезды (S); A и B — две звезды, находящиеся в поле зрения телескопа, служащие опорными точками. Рисунок показывает обращение спутника вокруг центральной звезды.

Если наблюдения продолжать наносить на график, то можно получить период орбитального движения спутника вокруг центральной звезды. Самый короткий период двойной звезды, найденный из визуальных наблюдений такого рода, равен 5,7 годам; имеется около 60 звезд с периодом меньше столетия; несколько сотен описали с момента открытия уже значительную часть своей орбиты, в то время

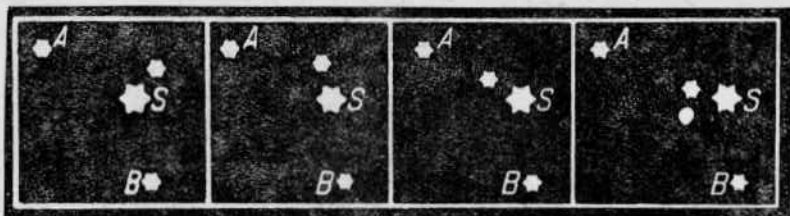


Рис. 85.

как у многих период изменяется сотнями и даже тысячами лет.

Измерение расстояния и позиционного угла позволяет нам начертить видимую орбиту спутника вокруг центральной звезды. На рис. 86 изображена наблюдаемая орбита слабого спутника Сириуса вокруг последнего. Во всех случаях орбита оказывается эллипсом, на основании чего был сделан вывод, что орбитальное движение является результатом взаимного притяжения звезд, образующих пару; однако в подробности доказательства этого положения мы входить не будем. Центральная звезда и спутник состоят, таким образом, в тесном союзе, так как каждый из них есть член физической системы, подобно Земле и Луне. С другой стороны, близость компонентов оптических двойных звезд в поле зрения телескопа обуславливается их случайным положением в пространстве совершенно так же, как башня и удаленная горная вершина могут с определенного пункта казаться на одном и том же

луче зрения. Поэтому оптические пары представляют в данном случае мало интереса и исключаются из числа физически связанных систем, которым приписывается название двойных звезд.

Здесь можно сделать краткую ссылку на другой признак, позволяющий судить о наличии определенной связи между двумя звездами. Мы видели в главе IX, что вблизи Капеллы есть слабая звезда, имеющая практически такое же большое собственное движение, как и первая. Эти две звезды, очевидно, совместно двигаются в пространстве, но

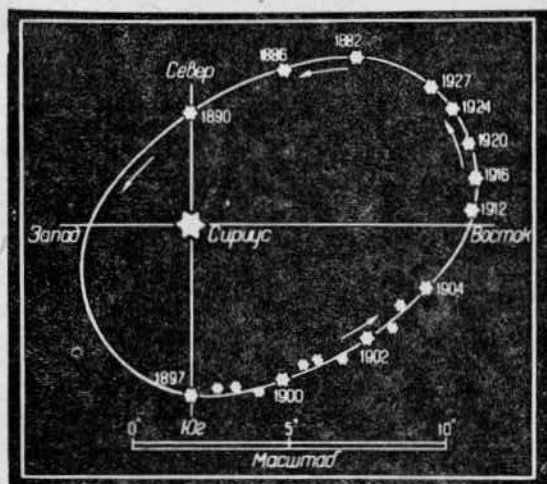


Рис. 86. Орбита спутника Сириуса.

орбитальное движение настолько мало, что период должен измеряться тысячами лет и по этой причине очень трудно поддается открытию. Таким образом общность собственных движений следует считать определенным указанием на связь одной звезды с другой.

Важность самого тщательного наблюдения орбит двойных звезд, уже давно ясно осознанная наблюдателями, заключается в следующем: если известно расстояние двойной звездной системы, то по величинам, определяющим орбиту, можно вычислить сумму масс центральной звезды и спутника в единицах солнечной массы, а в отдельных частных случаях — даже массу каждого компонента в отдельности. Полученные этим путем звездные массы при-

водят к очень интересным заключениям, которые мы рассмотрим в следующей главе. Огромное число наблюдений двойных звезд, с большим искусством и терпением произведенное со времен Гершеля многими выдающимися астрономами, может следовательно быть использовано для определения масс звезд если и не сейчас, то в будущее время, когда элементы орбитального движения будут определены более точно. Здесь невозможно перечислить имена всех астрономов, принимавших участие в открытии и наблюдениях двойных звезд; проделанная вековая работа подытожена в каталоге Бернгама, опубликованном в 1906 г., который дает достаточные подробности относительно по меньшей мере 13 665 двойных звезд (небольшая часть которых теперь оказалась просто оптически-двойными). Новый каталог, заключающий более поздние открытия, готовится теперь доктором Айткеном на Ликской обсерватории, который является одним из выдающихся авторитетов в этой области астрономии.¹ Большой рефрактор, недавно установленный Иннесом в Йоганнесбурге, в Африке, будет почти исключительно посвящен наблюдениям двойных звезд в южном полушарии с прекрасными перспективами получить весьма ценные результаты. Действительно, теперь уже все небо будет подвергнуто обследованию самым исчерпывающим образом с целью открытия и последующего изучения двойных звезд.

Рассмотрим теперь более конкретно, каким образом исследование орбит двойных звезд (пример которых изображен на рис. 86) может дать столь ценные данные о звездах. Предположим, что из наблюдений получен эллипс, по которому спутник совершает свое видимое обращение вокруг центральной звезды. Минутное размышление показывает, что наблюдаемый эллипс, подобный изображенному на рис. 86, не обязательно представляет собой уменьшенное изображение истинного эллипса, описываемого спутником вокруг центральной звезды, так как мы не можем вообще предполагать, что действительная плоскость орбиты перпендикулярна к лучу зрения. Если мы положим круглый лист бумаги на пол на некотором расстоянии от нас, то он будет представляться нам, вообще говоря, овальным; только если мы встанем вертикально над ним, то он будет казаться вполне круглым. Так же точно обстоит дело и с

¹ Ныне этот каталог уже опубликован. (Прим. ред.)

наблюдаемой или так называемой видимой орбитой. По видимой орбите требуется определить основные элементы истинного эллипса, по которому спутник обращается вокруг главной звезды. Здесь мы отметим следующие главные элементы: 1) эксцентриситет эллипса, 2) наклон истинной орбитальной плоскости к плоскости, перпендикулярной к лучу зрения, 3) большую полуось истинной орбиты. Поскольку расстояние спутника от главной звезды было измерено в секундах дуги, постольку и большая полуось выражается в тех же единицах. Если расстояние двойной звезды от нас известно, то мы можем перевести угловую меру большой полуоси в километры или, как обычно, в астрономические единицы. Рассмотрим типичный пример, именно двойную звездную систему Сириуса. Расстояние Сириуса, как известно, равняется 9 световым годам или 2,15 парсека; большая полуось истинной орбиты немногим больше $7''{,}5$ дуги; путем простых вычислений получается, что большая полуось орбиты слабого спутника вокруг Сириуса немногим больше 20 астрономических единиц. Уран движется вокруг Солнца по большой орбите, радиус которой равен 19 астр. единицам. Итак, большая полуось орбиты спутника Сириуса немного больше среднего расстояния Урана от Солнца. Однако между двумя орбитами есть одно существенное различие. Орбита Урана почти круглая, в то время как орбита двойной звезды вытянута ввиду большой величины эксцентриситета. Рис. 87 дает точное представление об истинной орбите. При наибольшем приближении к Сириусу спутник отстоит от него всего на 8 астрономических единиц (немного ближе, чем Сатурн от Солнца), в то время как при наибольшем удалении это расстояние увеличивается до 32 астрономических единиц (немного больше расстояния Нептуна). Можно еще прибавить, что спутник Сириуса не похож на планеты, которые светят отраженным от Солнца светом; он подобно самому Сириусу является самосветящейся звездой.

Однако самое ценное, что получается на основании вычисления истинной орбиты, есть масса этой системы, выраженная в единицах солнечной массы. Звезды оказалось возможным как бы взвесить на астрономических весах. Эти вычисления основаны на законе всемирного тяготения Ньютона. В одной из предыдущих глав мы видели, как можно применить третий закон Кеплера (не-

сколько видоизмененный Ньютоном) к определению массы планеты (сопровождаемой одним или несколькими спутниками), когда известны расстояние спутника от планеты и период его обращения вокруг нее. Строго говоря, закон дает лишь сумму масс планеты и спутника, однако, поскольку масса последнего обычно весьма мала по сравнению с массой первой, то в результате фактически получается довольно точное значение массы планеты, выраженное в единицах солнечной массы. Однако в двойной звездной системе мы имеем дело с двумя сравнимыми между собою по массе телами, так что там а priori нет оснований предполагать, что массой спутника можно пренебречь по сравнению с массой центральной звезды; следовательно, применение закона в данном случае дает именно сумму масс главной звезды и спутника, другими словами — полную массу системы. Для вычислений необходимо знание еще одной величины, именно периода обращения. Когда он известен, то масса системы может быть определена в точности. В случае Сириуса период обращения точно известен; он равен 50 годам. Вычисления показывают, что масса Сириуса плюс масса спутника в 3,4 раза больше солнечной. В предыдущем изложении предполагалось, что мы имеем дело с двойной звездной системой, для которой известна полностью вся орбита. Однако, если наблюдения охватывают движение спутника только на части его орбиты, то при условии достаточно точных наблюдений все же возможно вывести элементы орбиты, включая период и большую полуось, а, следовательно, вычислить и массу системы. При изучении орбит двойных звезд обнаруживается изумительный факт: оказывается, что массы звезд очень мало отличаются от массы Солнца. У 22 двойных звезд, имеющих визуальные орбиты с периодом, меньшим 100 лет, массы колеблются от 11-кратной солнечной до немногим меньше половины солнечной массы. Если мы на минуту припишем половину массы системы каждому из компонентов, то колебания массы одной звезды будут заключаться в пределах от 5—6-кратной солнечной до приблизительно 0,25 солнечной.

Чтобы определить индивидуальные массы главной звезды и спутника в отдельности, следует ввести еще некоторый дополнительный принцип. В некоторых случаях собственное движение центральной звезды оказывается переменным, в частности мы видели в главе IX, что пра-

рильные колебания в собственных движениях Сириуса привели Бесселя к выводу, что Сириус — двойная звезда. Упомянутый выше принцип заключается просто в следующем: равномерное собственное движение имеет лишь центр тяжести двойной звезды, и потому наблюдаемое собственное движение главной звезды, например, складывается из равномерного движения плюс орбитальное движение вокруг общего центра тяжести. Отклонение движения Сириуса от равномерного может быть, следовательно, использовано для получения отношения массы Сириуса к массе всей двойной звездной системы в целом; поскольку последняя известна, мы получаем, наконец, в отдельности массу Сириуса и массу спутника. Таким путем можно во многих случаях довольно точно определить индивидуальные массы звезд. Если мы будем рассматривать только те двойные звезды, расстояния до которых известны достаточно точно (следует помнить, что знание расстояний совершенно необходимо для вычисления массы), то мы насчитаем почти два десятка двойных систем. Массы индивидуальных звезд будут заключаться в пределах пятикратной солнечной массы до немногим меньше $\frac{1}{6}$ солнечной массы; последняя есть самая маленькая масса из известных до настоящего времени (она принадлежит менее яркому компоненту слабой двойной звезды Крюгер 60).

Итак, визуальные двойные звезды целиком подтверждают заключение, что между отдельными звездами существует очень мало разницы с точки зрения количества материи, из которой они образованы. Поэтому тем более удивительными представляются огромные различия в их действительной яркости; одна звезда может быть в 10 000 раз ярче другой и только в 10 или 20 раз массивнее. Изучение двойных звезд приводит также к выводу, что чем больше яркость звезды, тем больше и ее масса. Итак, действительная яркость звезды и ее масса связаны некоторым определенным образом; в последней главе эта связь между массой и светимостью будет подробно рассмотрена.

Мы только что видели, как применяется третий закон Кеплера для решения задачи, которая может быть сформулирована теперь следующим образом: даны (из наблюдений) большая полуось (измеренная в секундах дуги) орбиты двойной звезды, период обращения и ее расстояние от нас, требуется вычислить массу системы. Однако многие двойные звезды, у которых наблюдается орбиталь-

ное движение, находятся на таких огромных расстояниях, что измерение их параллаксов обычными тригонометрическими методами становится весьма неточным, а, следовательно, и вычисление массы этих систем имеет мало смысла. С первого взгляда кажется невозможным ни узнать расстояние, ни вычислить массу такой двойной звездной системы. Однако, если предположить, что нам известна масса, а также большая полуось и период, то третий закон Кеплера, очевидно, можно использовать для вычисления расстояния двойной звезды; действительно, закон дает большую полуось, измеренную в астрономических единицах, которая в комбинации с ее выражением в угловых единицах дает в конце концов расстояние системы. Мы, разумеется, не знаем точной массы системы, но мы можем сделать некоторое предположение о ее величине. Попробуем ее считать равной двойной массе Солнца. Как только что было сказано, мы можем теперь вычислить расстояние до двойной звезды. Наше предположение, вероятно, не слишком ошибочно, так как мы уже видели, что звездные массы не слишком различны. Допустим, что наше предположение о величине массы преуменьшено в восемь раз, так что масса двойной системы в действительности равна 16-кратной солнечной массе. Если мы повторим вычисление расстояния, то во втором случае мы получим расстояние, величина которого, выраженная в парсеках или в световых годах, будет ровно в два раза больше, чем в первом случае. Следовательно, оказывается, что большая ошибка в оценке массы приводит к относительно значительно меньшей ошибке в расстоянии. Мы взяли почти самый крайний случай. Если мы примем массу системы равной двойной солнечной массе, то в большинстве случаев результаты вычисления расстояний будут гораздо более точными; в худшем случае точность их будет такого же порядка, как и для удаленных от нас звезд, параллаксы которых определены объясненным в главе XI прямым методом. Параллаксы звезд, вычисленные таким косвенным способом, называются *динамическими параллаксами*.

В немногих словах следует упомянуть еще об одной особенности, характерной для всех орбит визуальных двойных звезд, именно о больших значениях эксцентриситетов, которые показывают, что их орбиты имеют сильно

вытянутую форму. пример такой орбиты изображен на рис. 87.

Каждая девятая звезда из числа всех видимых простым глазом звезд, т. е. очень значительная часть, является визуально двойной звездой. Когда мы прибавим еще класс двойных звезд, к описанию которого мы сейчас перейдем, то число двойных звезд возрастет до одной из трех.

Профессор Пикеринг был первым, открывшим новый класс двойных звезд.

В 1889 г. он заметил, что спектральные

линии яркого компонента двойной звезды Мицара в созвездии Большой Медведицы, которая сама есть первая

открытая на небе визуальная двойная звезда, иногда представляются двойными,

иногда же одинарными, и что разделение двойных линий периодически то увеличивается,

то уменьшается (см. картину XIV, с, на которой изображено раздвоение спектральных линий Мицара).

Это явление он объяснил тем, что яркий компонент Мицара сам представляет собой двойную звезду;

подобная двойная звезда известна под названием

спектроскопической

двойной звезды. На рис. 88 пояснено, как возникает наблюдаемая последовательность изменений в спектре.

Рассмотрим двойную звезду, каждый компонент кото-

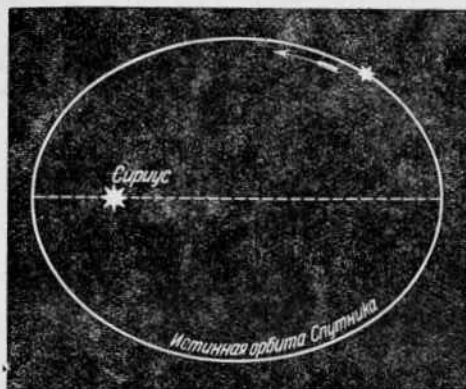


Рис. 87.

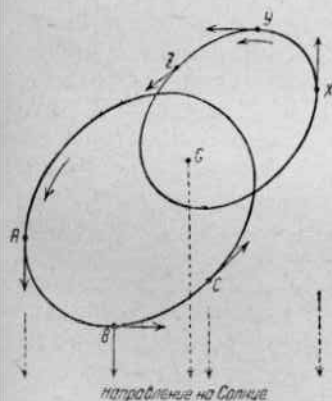


Рис. 88.

Рис. 88 пояснено, как возникает наблюдаемая последовательность изменений в спектре. Рассмотрим двойную звезду, каждый компонент кото-

рой описывает эллиптическую орбиту вокруг общего центра тяжести G . Предположим для простоты, что у нашей системы направление от нее на Солнце лежит как раз в плоскости ее орбиты. Система в целом будет, вообще говоря, двигаться относительно Солнца; этим можно на время пренебречь и считать просто, что она неподвижна относительно Солнца. По законам динамики это равносильно предположению, что центр тяжести G находится в покое относительно Солнца. Рассмотрим теперь первый компонент. В некоторый момент он находится в точке A своей орбиты, и его орбитальная скорость согласно диаграмме направлена к Солнцу. Следовательно, линии спектра этого компонента будут смещены к фиолетовому концу; измеряя смещение (по отношению к линиям спектра сравнения), можно вычислить действительную скорость первого компонента по лучу зрения в этот момент. Однако второй компонент находится в это время в точке X и движется прочь от Солнца. Линии его спектра будут, следовательно, смещены к красному концу; отсюда получается скорость в направлении прочь от Солнца. Итак, если каждый компонент достаточно ярок, чтобы давать свои собственные спектральные линии на фотографической пластинке, то на спектре, например, все водородные линии окажутся двойными. Пусть через некоторое время первый компонент будет в точке B своей орбиты; движение его происходит тогда перпендикулярно к лучу зрения, и спектральные линии не будут смещены. Вторым компонентом также движется в этот момент перпендикулярно к лучу зрения. Водородные линии, общие обоим звездам, будут наложены друг на друга и представятся в виде единственной линии. Еще через некоторое время компоненты будут соответственно в точках C и Z , где их орбитальные скорости наклонены под некоторым углом к лучу зрения. Однако, диаграмма показывает, что в C первый компонент движется частично прочь от Солнца и частично перпендикулярно к лучу зрения, так что спектральные линии в конце концов будут смещены к красному концу, между тем как спектральные линии второго компонента будут смещены к фиолетовому концу. Сделав ряд таких наблюдений, можно получить скорости каждого компонента в различных точках их орбит. Наблюдения дают также период обращения, который, очевидно, одинаков для обоих компонентов. Если мы теперь отбросим ограничение,

что система неподвижна по отношению к Солнцу, то в силу радиальной скорости всей системы спектральные линии будут указывать на дополнительное и постоянное смещение к красному или фиолетовому концу в зависимости от того, удаляется ли система или приближается. На основании полной серии наблюдений можно построить кривые скоростей каждого компонента. На рис. 89 изображены подобные кривые, полученные Сэнфордом на Маунт-вилсоновской обсерватории для спектроскопиче-

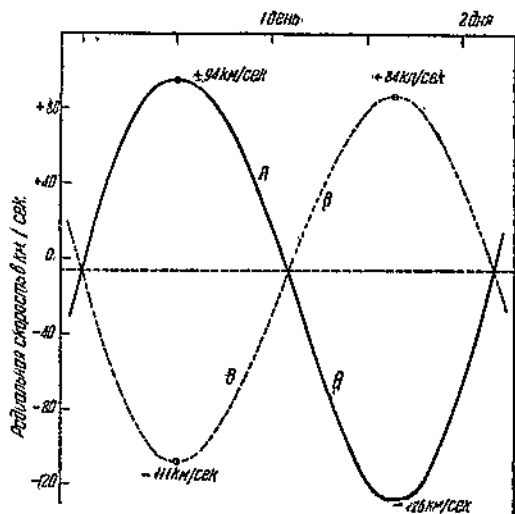


Рис. 89.

ской пары, известной под названием «Босс 4247». Период двойной звезды равен 2,3 дням, и кривые представляют радиальные скорости двух компонентов в течение этого периода. Чертеж показывает, что скорость компонента А, определяемая по спектральным линиям, колеблется правильным образом между $+94$ км/сек (скорость удаления) и -126 км/сек (скорость приближения) и что скорости компонента В колеблются между $+84$ и -111 км/сек. Можно сделать еще другой вывод из наблюдений, именно, что система в целом приближается к нам со скоростью $12,5$ км/сек.

Лишь неполные 20% из числа спектроскопических двойных звезд имеют спектры, показывающие спектральные

линии обоих компонентов. Если один компонент значительно слабее другого, то при фотографировании на пластинке выходит только одна группа линий и начертить можно только одну кривую.

Посмотрим теперь, какие выводы можно извлечь из кривых скоростей, образец которых приведен на рис. 89. Если направление на Солнце действительно лежит в плоскости орбиты, как мы предполагали при составлении рис. 85, то третий закон Кеплера позволяет вычислить индивидуальные массы (выраженные в единицах солнечной массы) компонентов, а также большие полуоси их орбит. Однако в общем случае плоскость орбиты будет наклонена под некоторым углом к лучу зрения, и по кривым скоростей невозможно сделать подобный детальный анализ. Все, что мы можем в этом случае вычислить для спектроскопической пары, — это точное отношение масс компонентов и значение наименьшей из двух больших полуосей орбит. Так, для звезды «Босс 4247» найдено, что отношение масс равно 1,1:1, что массы звезд должны быть равны соответственно по крайней мере 1,1 и 1,0 массы Солнца и что среднее расстояние одного компонента от другого должно быть равно по крайней мере 6 500 000 км.

Если яркость только одного компонента достаточна для фотографирования, то получаемые результаты значительно более неполны.

Из числа открытых спектроскопических пар (всего открыто более тысячи) немного больше половины имеет период меньше 10 дней, четверть имеют период от 10 до 100 дней, а у остальных период превосходит 100 дней. Самый короткий период равен 8 час., а самый длинный 15 годам. Звезда с последним периодом является одновременно также визуальной двойной, и наши сведения относительно этой системы значительно полнее, чем обычно. Посмотрим, что означает восьмичасовой период. Если мы припишем различные значения сумме масс компонентов, то мы можем вычислить по третьему закону Кеплера соответствующие средние расстояния между компонентами. Например, если мы примем массу какой-нибудь системы с периодом в 8 час. равной восьмикратной солнечной массе, то среднее расстояние между обоими компонентами оказывается равным 2,8 млн. км. Мы знаем, что диаметр Солнца равен 1 384 000 км, и у нас нет оснований предполагать, что диаметры компонентов спектроскопиче-

ской пары много меньше этого числа. Из наших вычислений получается, следовательно, картина двух звезд, почти соприкасающихся друг с другом и обращающихся вокруг общего центра тяжести; никакие другие предположения относительно суммы масс компонентов (согласующиеся с установленными относительно звездных масс фактами) не могут сколько-нибудь значительно изменить эту картину. С другой стороны, мы имеем широко разделенные визуальные пары, обращающиеся по огромным орбитам, во много раз большим орбиты Нептуна.

Разделение двойных звезд на два класса — визуальные пары и спектроскопические пары — представляет собой деление искусственное, обусловленное ограниченными возможностями наших наблюдательных методов; компоненты спектроскопической пары находятся слишком близко друг к другу, чтобы их можно было видеть в отдельности даже в сильный телескоп, изменения же в орбитальных движениях визуальных пар обычно слишком малы, чтобы они могли быть доступными измерению при помощи спектро-скопа.

Мы видели, что эксцентриситеты визуальных двойных орбит очень велики; у спектроскопических пар, напротив, эксцентриситеты очень малы. Если периоды последних малы, т. е. если компоненты очень близки друг к другу, то орбиты всегда почти круговые. Таким образом, несомненно, существует определенная зависимость между длиной периода и значением эксцентриситета.

Наблюдения какой-нибудь одной спектроскопической пары позволят нам лишь сказать, что массы компонентов должны быть меньше некоторого определенного значения, так как нам неизвестен наклон плоскости орбиты к лучу зрения; но, группируя результаты для звезд определенного спектрального класса и вычисляя, какое влияние должен в среднем иметь неизвестный наклон, можно прийти к результатам, имеющим весьма большое значение. Следующая таблица показывает зависимость между спектральным классом и вычисленным таким путем средними массами.

Спектральный класс	Масса (в ед. солн. массы)
B0 — B2	20
B3 — B5	8
B6 — A3	4
A4 — F4	2,5
F4 — G5	2

В этой таблице обнаруживается замечательный факт, именно непрерывное уменьшение звездной массы с уменьшением звездной температуры. Согласно данным таблицы самые горячие звезды (В0, В2) обладают наибольшими массами. Здесь мы снова сталкиваемся с определенным и хорошо установленным фактом, являющимся, несомненно, следствием какого-то общего закона природы; однако мы снова должны отложить до дальнейшего обсуждения о том, какой смысл имеют числа, приведенные в предыдущей таблице.

До середины 1927 г. наиболее массивной считалась «звезда Пласскетта» — спектроскопическая двойная, компоненты которой по меньшей мере в 75 и 63 раза массивнее Солнца. Они принадлежат к спектральному классу О8, звезды же этого класса, как мы видели в одной из предыдущих глав, отличаются замечательно высокой температурой. Однако, если подтвердятся результаты Отто Струве, полученные им в 1927 г., то звезда Пласскетта должна будет уступить честь и место другой недавно открытой звезде. Звезда Струве, повидимому, состоит из четырех компонентов *A*, *B*, *C* и *D*. В спектре видны линии, обусловленные *A* и *C*. *A* и *B* образуют тесную спектроскопическую пару с периодом в 121 день; *C* и *D* также образуют тесную спектроскопическую пару с периодом в 8 дней. Эти две тесные пары в свою очередь являются компонентами более разделенной спектроскопической системы с периодом в $3\frac{1}{2}$ года. Общая масса этой четверной системы, вычисленная по кривым скоростей, по крайней мере в 950 раз больше солнечной.

Рассмотрим теперь третий класс двойных звезд, известный под названием затмеваемых переменных. В 1783 г. Гудрике из Йорка сообщил, что яркость очень яркой звезды Альголя в созвездии Персея периодически колеблется. Характер изменений яркости лучше всего выразить в видимых величинах. В одной из предыдущих глав мы видели, как можно измерить видимые величины звезд. Пусть видимая величина Альголя измерена через небольшие промежутки времени при помощи одного из имеющихся в распоряжении астрономов точных методов, среди которых можно упомянуть фотоэлектрический метод, о котором мы говорили на стр. 164—165.

Изменения видимой величины Альголя совершаются с периодом 2 дня 20 ч. 49 м.; при этом в течение приблизительно-

но 2 дней 11 ч. видимая величина Альголя равна 2,3, затем в течение 5 час. яркость его постепенно уменьшается до величины 3,5, и затем в течение 5 час. снова происходит постепенное увеличение его яркости до величины 2,3. Изменения видимой величины в течение периода удобно представить графически в виде кривой блеска; на рис. 90 изображена кривая блеска, полученная для Альголя. Новейшие наблюдения с фотоэлектрическими приборами показывают, что имеется еще другое небольшое уменьшение яркости приблизительно через полтора дня после того, как звезда достигла своей наименьшей яркости. Эти два понижения кривой называются соответственно ос-

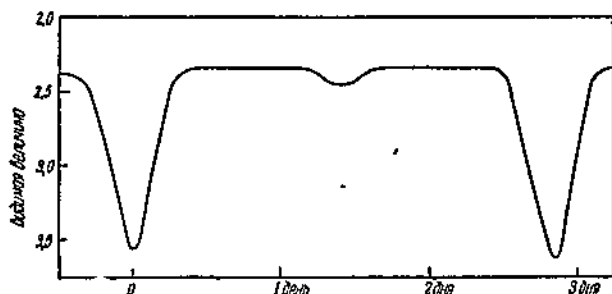


Рис. 90. Световая кривая Альголя.

новным и вторичным минимумами. Гудрике высказал предположение, что колебания яркости Альголя обусловлены периодическими затмениями звезды ее менее ярким спутником и что в действительности Альголь является двойной звездой. Одно из условий затмения такого рода заключается в том, что направление, в котором мы видим звезду, должно точно или приблизительно совпадать с плоскостью орбиты спутника вокруг центральной звезды. На рис. 91 показаны обстоятельства, вызывающие колебания яркости затмеваемых переменных. Спутник изображен в нескольких точках *A*, *B*, *C* и *D* своей орбиты вокруг центральной звезды. В точке *A*, например, свет, получаемый от системы, складывается из света главной звезды плюс свет спутника; в точке же *C* спутник частично затмевает главную звезду, и полная яркость системы должна теперь быть меньше, чем в первом случае. В точке *B* спутник изображен как раз перед началом затмения, в точке *D*

затмение только что кончилось. Итак, в течение того промежутка времени, который необходим спутнику для перехода из точки *B* в точку *D*, свет системы при начале затмения постепенно уменьшается, а при конце постепенно усиливается; на кривой блеска это соответствует основному минимуму. Тем же самым путем, как легко видеть, спутник должен прятаться на время позади главной звезды; однако потеря света будет здесь не столь заметна, так как последняя много ярче первого; на кривой блеска это соответствует вторичному минимуму.

Спектроскопические наблюдения полностью подтвердили предположение, что световые колебания подобных Альголю звезд обусловлены периодическими затмениями одной звезды другой, подобно тому как это представлено на рис. 91; действительно, как можно наблюдать при по-

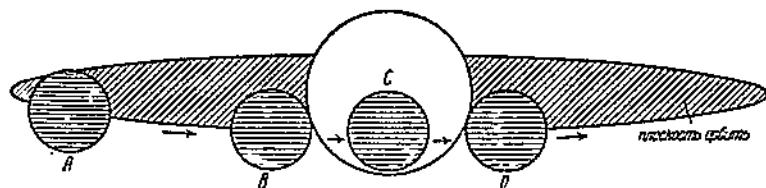


Рис. 91.

мощи спектроскопических методов, в спектральных линиях обнаруживаются характерные периодические смещения, типичные для спектроскопических пар.

Рассмотрим теперь те главнейшие выводы, которые можно получить, изучая кривые блеска звезд, подобных Альголю. Во-первых, можно определить размеры звезд, выраженные в единицах их среднего взаимного расстояния. Иными словами, мы имеем достаточно данных, чтобы построить, так сказать, модель системы. Спектроскопические наблюдения, когда они возможны, помогают нам найти истинный масштаб модели; следовательно, в этом случае мы можем вычислить истинные размеры членов двойной системы. Во-вторых, световые кривые дают нам эксцентриситет орбиты, а также относительную яркость обоих компонентов; орбиты затмеваемых переменных так же, как и спектроскопических двойных, вообще имеют малые эксцентриситеты, являясь почти круговыми. Имеются еще кое-какие другие тонкости, которые можно получить из

кривых блеска, из которых мы здесь упомянем лишь одну. В каждой тесной паре, компоненты которой обращаются, почти соприкасаясь друг с другом, гравитационное притяжение одного компонента другим вызывает сильное приливное действие. Звезды нельзя больше считать сферическими или даже эллипсоидальными, так как они скорее напоминают по виду грушу или дирижабль. Так вот, по кривой блеска можно предсказать форму компонентов так же, как и их относительные размеры.

Однако самый ценный и интересный результат относится к размерам и плотности компонентов тех затмеваемых переменных, которые можно наблюдать также в качестве спектроскопических двойных звезд. Диаметры этих звезд оказываются обычно в 2—5 раз больше солнечного, т. е. от 2,4 до 6,4 млн. км. Солнце просто пигмей по сравнению с объемистыми членами таких затмевающихся пар. Кривая блеска в соединении со спектроскопическими наблюдениями позволяет определить массу обоих компонентов; по известным диаметрам можно вычислить объемы звезд, а, следовательно, получить их средние плотности. Как показано в таблице, приведенной рядом, при переходе от звезд класса В к звездам класса F наблюдается заметное увеличение плотности (плотность выражена в единицах солнечной плотности).

Спектр. класс	Плотность
B0 — B3	1/25
B3 — B8	1/12
B9 — A3	1/7
A5 — F2	2/5

Если представить себе, что наше Солнце распухло так, что диаметр его утроился, тогда плотность его будет приближенно равна плотности ранних звезд класса В, указанной в первой строке предыдущей таблицы.

Затмевающиеся переменные составляют лишь один из целого множества различных классов переменных звезд. Мы рассмотрим теперь другой класс, известный под названием цефеид в честь типичного члена этого класса, находящегося в созвездии Цефея. Кривая блеска этой звезды показана на рис. 92. В момент наибольшей яркости, как видно на рисунке, звезда достигает 3,7 величины, в момент же наименьшей яркости она ослабевает до 4,5 величины. Период колебаний яркости немногим меньше $5\frac{2}{3}$ дней. Цефеиды с периодом меньше 1 дня иногда называются короткопериодическими цефеидами; они обычно встреча-

ются в звездных скоплениях. С первого взгляда можно было бы предположить, что световая кривая указывает на то, что эти звезды тоже двойные, т. е. что цефеиды являются в действительности теми же затмеваемыми переменными. Однако целый ряд известных фактов противоречит подобному предположению. Наиболее веский аргумент следующий. Если проанализировать световую кривую тем же самым способом, как для затмевающей пары, то в полученной модели системы один из компонентов должен будет расположиться частично внутри другого! По этим и

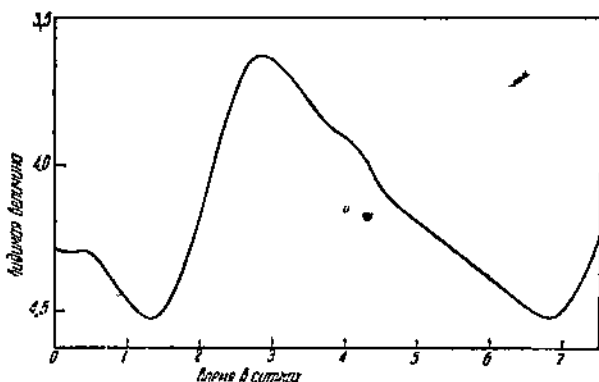


Рис. 92. Световая кривая δ Цефея.

иным соображениям мы должны придумать другое объяснение переменной яркости этих звезд.

Несколько лет тому назад мисс Ливит на Гарвардской обсерватории открыла замечательную зависимость между периодом световых колебаний и абсолютной яркостью переменных цефеид в Малом Магеллановом Облаке — выдающемся звездном облаке южного неба. На основании ряда снимков были получены периоды этих переменных, заключающиеся в пределах от 15 час. до 125 дней. По снимкам же были определены фотографические величины каждой цефеиды в течение всего периода; в частности найдена средняя величина за весь период соответствующих световых колебаний. Средние величины индивидуальных звезд колеблются от 12-й до 17-й величины. Слабейшие звезды имеют самый короткий период, у самых же ярких звезд и период длиннее всего; у всех рассмотренных пе-

ременных оказалась определенная зависимость между периодом световых колебаний и средней величиной взятых звезд. Звездные облака настолько удалены от нас, что расстояния этих переменных практически можно считать одинаковыми; следовательно, измерение видимой величины дает нам точную картину их относительной яркости. Таким образом мы можем, например, сказать, что абсолютная яркость переменной 12-й видимой величины в 100 раз больше, чем звезды 17-й величины. Если только знать расстояния облака, то средние видимые величины, полученные по фотографиям, можно перевести в абсолютные величины, т. е. найти те величины, которые звезды имели бы, если их считать на расстоянии 10 парсеков или 33 световых лет от нас. Результаты мисс Ливит позволили бы нам тогда точно сказать, какую абсолютную величину имеет цефеида с периодом, например, 10 дней. Далее, если эта характерная зависимость между абсолютными величинами и периодами справедлива, где бы во вселенной ни находились цефеиды, то тогда на основании изложенного выше можно легко получить расстояния до всех таких звезд. Возьмем какой-нибудь пример. По шкале абсолютных величин цефеида с периодом в 10 дней должна иметь по всем данным абсолютную величину — 3. Если обычными методами ее видимая величина найдена равной +17, то действительное расстояние должно быть в 10 000 раз больше того расстояния, которому соответствует определение абсолютной величины, т. е. 10 парсеков. Итак, мы приходим к выводу, что звезда находится на расстоянии 100 000 парсеков или 326 000 световых лет. Таким образом здесь мы имеем могущественный метод «бросания лота» в самые отдаленные области пространства, и мы в дальнейшем увидим результаты этого на примере звездных скоплений и спиральных туманностей. Однако есть одно звено в цепи, которое нужно еще выковать; нам нужно знать действительное расстояние по крайней мере одной какой-нибудь цефеиды, прежде чем мы сможем точно связать периоды световых колебаний с соответствующими значениями абсолютных величин. Шапли удалось это найти для нескольких ярких цефеид. Зависимость между периодом и абсолютной величиной таким образом оказывается до конца установленной; она изображена графически на рис. 93. По этой кривой можно сразу получить абсолютную величину любой цефеиды, период кото-

рой известен. Например, если период световых колебаний равен 4 дням, то кривая дает абсолютную величину цефеиды — 1,8; если среднюю видимую величину измерить обычным способом, то можно вычислить затем расстояние в парсеках или световых годах.

Какова же природа цефеид? В 1914 г. профессор Шалли пришел к выводу, что многие из наблюдаемых фактов можно удовлетворительно объяснить гипотезой пульсирующей звезды. Эта теория пульсации позднее была математически разработана профессором Эддингтоном. Согласно этой теории предполагается попеременное сжатие и расширение звезды, причем период объемных колебаний

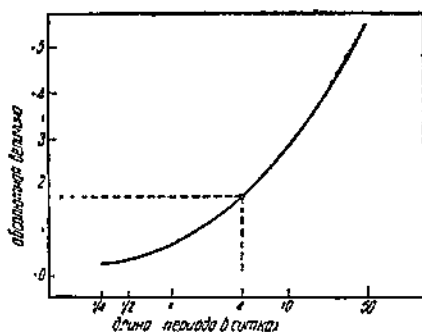


Рис. 93.

равняется периоду световых колебаний. Эта теория объясняет, например, наблюдаемые изменения в радиальной скорости, а также изменения в спектре, так как характер спектральных линий зависит от физических условий в атмосфере звезды; расширение газа вызывает уменьшение температуры и давления, сжатие же, наоборот, сопровождается их повышением. Хотя теория пульсаций и объяс-

няет много фактов, но она все еще не достигла полного успеха. С ней соперничает теория, предложенная Джинсом. Цефеида в ней предполагается звездой, имеющей эллипсоидальную форму, быстро вращающейся около наименьшего своего диаметра и подверженной колебаниям; звезда как бы находится на границе разрыва на две звезды. По Джинсу в жизни звезды стадии цефеид непосредственно предшествует стадии тесной пары, в которой, без сомнения, пребывают многие спектроскопические двойные звезды. Здесь опять теория частично с успехом объясняет многие из наблюдаемых фактов. Однако все же приходится констатировать, что интересная проблема цефеид еще ждет своего полного решения; по существу это весьма сложная и трудная математическая задача.

Два класса переменных звезд, которые мы только что

описали, а именно переменные типа Альголя (затмеваемые переменные) и цефеиды, характеризуются большой правильностью, с которой изменения точно воспроизводятся в каждый последующий период. Если световая кривая уже известна, то характер света звезды можно точно предсказать на любое будущее время.

Теперь мы рассмотрим три других класса переменных, в которых правильность совершенно или почти совершенно отсутствует; это так называемые долгопериодические переменные, неправильные переменные и новые звезды. Наиболее известным представителем долгопериодических переменных является звезда, называющаяся Мира, или «Удивительная», в созвездии Кита. Период ее в среднем равен 330 дням, но он может быть также на несколько дней длиннее или короче. В максимуме она имеет в среднем приблизительно 3-ю-видимую величину; иногда во время максимума она достигает по яркости 1,5 величины (тогда она становится очень заметным объектом на небе), в другой же максимум она едва виднеется, как слабая звезда 5-й величины. Минимумы также непостоянны и обычно колеблются между 8-ю и 10-й величинами. Переменность Мира была открыта еще в 1596 г. Для невооруженного глаза явление представляется крайне изумительным: сначала звезда — заметный объект на небе, затем она постепенно ослабевает, пока через какие-нибудь три месяца она не становится совершенно невидимой для невооруженного глаза; оставшись невидимой в течение примерно 5 месяцев, она снова постепенно появляется. В настоящее время известно несколько сотен подобных звезд, большинство со средним периодом около года. Долгопериодические звезды принадлежат в большинстве случаев к классу М; остальные распределяются по классу N, R и S. Таким образом во всех случаях это — красные звезды. Спектр претерпевает в течение периода звезды замечательные изменения; радиальная скорость также подвержена периодическим колебаниям. Возможно, что наблюдаемые изменения можно объяснить теорией неправильной пульсации; однако следует признать, что в настоящее время долгопериодические переменные представляют проблему, которая сможет быть разрешена только на основе гораздо более подробного исследования.

О неправильных переменных известно очень мало. Изменение их яркости представляется совершенно случайным. В течение года или двух звезда может не проявлять ни признака световых колебаний, а затем внезапно она

может ослабеть на одну-две величины. Поведение подобных звезд можно, повидимому, объяснить частичными и нерегулярными затмениями звезд во время их движения случайными облаками газа или пыли, лежащими в межзвездном пространстве между нами и звездой.

Класс звезд, известный под названием «Новых» звезд или временных звезд, характеризуется поразительной быстротой, с которой незаметная вначале звезда внезапно вспыхивает, превращаясь почти с внезапностью взрыва в очень заметный, а иногда и наиболее яркий объект на небе. Величие ее, однако, очень кратковременно, так как она скоро ослабевает до полной незаметности. Исторически первой новой была звезда, вспыхнувшая в 134 г. до н. э., которая по преданию возбудила в знаменитом астрономе Гиппархе желание заняться составлением каталога всех видимых звезд. 7 ноября 1572 г. была открыта другая новая звезда, известная обычно под названием «новой Тихо Браге»; в течение 1—2 дней она превзошла по яркости все звезды неба. Яркость ее была настолько велика, что она была свободно видна при полном дневном свете. Через шестнадцать месяцев она совершенно исчезла из виду. Новая звезда Кеплера, открытая в 1604 г., была одно время одинакова по яркости с Юпитером и продолжала оставаться видимой невооруженным глазом около года. Между 1500 и 1901 гг. было зарегистрировано не менее 16 новых звезд. Новейшие фотографические методы теперь позволяют ежегодно значительно увеличивать число открытых новых звезд, многие из которых находятся в чрезвычайно удаленных глубинах пространства. Мы опишем подробнее два случая, чтобы охарактеризовать изменения блеска, сопровождающие рождение и последующую жизнь новой звезды. 21 февраля 1901 г. Андерсон из Эдинбурга открыл новую звезду в созвездии Персея, известную под названием Новой Персея; в тот момент она была 2,7 величины. По снимкам, полученным для этой части неба всего на 27 час. раньше, было видно, что тогда эта звезда не могла быть ярче 11-й величины; через 38 час. после открытия звезда достигла наибольшей своей яркости, сравнявшись тогда с Капеллой — самой яркой звездой северного неба. Затем она начала ослабевать, однако не непрерывно, так как иногда яркость ее на время снова временно заметно увеличивалась. Роберт Болл любил рассказывать со своим неподражаемым остроумием, как в то время, когда новая была

на границе видимости простым глазом, он повел группу на открытое место, чтобы показать ей новую звезду, но последняя, оказывается, уже успела исчезнуть. В следующую ночь он взял другую группу, «чтобы показать ее исчезновение, но оказалось, что она была снова на месте!» Эта новая звезда все еще видна как слабый телескопический объект непостоянной яркости.

Новая Орла была открыта Лейтенантом в Утрехте 6 июня 1918 г., когда он был занят зарисовкой Млечного Пути. Она была тогда 5,8 величины. Два дня спустя она достигла яркости звезды первой величины, а 9 июня она сделалась самой яркой звездой северного неба, почти столь же яркой, как Сириус. Затем ее яркость уменьшилась, подобно Новой Персея.

Когда были измерены расстояния нескольких новых, то оказалось, что сопровождающие их взрывы должны были иметь место несколько сот лет до того, как несущееся со скоростью света известие об этом достигло Земли.

Вильям Гюйгенс первый стал изучать при помощи спектроскопа свет новых звезд. Вдвоя ли здесь возможно описать быстрые и сложные изменения в спектре новых звезд, которые даже теперь еще полностью не объяснены. Пожалуй, достаточно будет упомянуть о двух вещах. Когда звезда загорается, спектр ее обладает всеми особенностями звезд класса В или А; через некоторое время спустя после взрыва он переходит в класс О. Затем в период яркой стадии спектральные линии обнаруживают большое смещение к фиолетовому концу спектра, указывающее на скорость приближения, достигающую, как например, в случае Новой Орла, от 1 900 до 2 400 км/сек. Столь огромную скорость, повидному, можно объяснить тем, что звезда расширяется под влиянием какого-то мощного процесса вроде взрыва.

Какова причина небесного взрыва, нарушающего равновесие обыкновенной и ведущей себя степенно звезды? Новые звезды почти всегда встречаются недалеко от Млечного Пути, где звезды более многочисленны и где в изобилии имеются туманности; это обстоятельство позволяет предположить наличие некоторого внешнего фактора. Существует гипотеза, что небесная катастрофа является результатом столкновения или тесного сближения двух звезд; другая гипотеза гласит, что все это вызывается движением звезды сквозь газовое облако подобно тому, как метеор

приобретает свой блеск при прохождении сквозь земную атмосферу; существует, наконец, гипотеза, что часть огромной энергии, заключенной внутри звезды, внезапно освобождается благодаря проникновению сквозь поверхность звезды какого-нибудь постороннего тела, которое может быть не больше малой планеты или спутника. Каковы бы ни были эти причины, следующие обстоятельства (описанием их мы закончим эту главу), связанные с Новой Персея (1901 г.), могут иметь значение для будущего решения проблемы. Через несколько месяцев после взрыва на фотографиях, снятых с длинной экспозицией, по соседству со звездой обнаружилось присутствие слабой туманности. Кроме того последовательные снимки показали, что туманность, повидимому, движется прочь от звезды с подающейся измерению угловой скоростью. При любой сколько-нибудь разумной оценке расстояния до звезды всякое предположение о действительном движении материи едва ли можно считать серьезной гипотезой, так как скорость, если ее выразить в километрах в секунду, должна была бы достигать не встречавшейся еще даже в астрономии величины. Здесь могло быть лишь одно возможное объяснение. Новая Персея была окружена туманностью, простиравшейся на огромные расстояния во все стороны от звезды, и наблюдаемое явление представляло собой не продвижение туманности наружу, а последовательное освещение ее более удаленных частей по мере того, как свет от взрыва распространялся во все стороны от звезды. Замечателен тот факт, что по крайней мере одна новая звезда, как это определенно установлено, расположена если и не внутри газового облака, то в непосредственной близости от него.

На основании исследований Милна и других астрономов можно в настоящее время считать установленным, что причины, пропадающие всплску новых звезд, находятся не вне их, как это следовало из прежних теорий, а внутри их и именно в глубоких внутренних силах звезд. В этом отношении предлагаемые Смартон точки зрения являются теперь уже устаревшими. В точности эти причины еще нельзя считать вполне выясненными, однако целый ряд соображений, основанных на новейших исследованиях спектров новой звезды в созвездии Живописца (1926 г.) и др., заставляют думать, что здесь мы имеем дело с внезапным переходом звезды из одного состояния внутреннего равновесия в другой. При этом в звезде освобождаются большие запасы внутриатомной энергии, которые в виде лучистой энергии внезапно вырываются наружу и силой лучистого давления гонят прочь от звезды внешние слои звезды, которые образуют во-

Круг звезды особый род расширяющейся атмосферной оболочки. Согласно теории Милна каждая звезда должна в определенный момент своей жизни стать «новой» звездой, именно, появление новой звезды означает переход звезды в белого карлика.

Это подтверждается между прочим тем фактом, что относительное число новых звезд не так мало, как может показаться на первый взгляд. Ведь мы «открываем» только те из них, которые благодаря своей яркости выделяются на фоне громадного числа слабых звезд. Можно подсчитать, что ежегодно среди звезд нашей галактической системы в среднем 10 звезд вспыхивают в виде новых звезд. Принимая общее число звезд в галактике равным 10^{11} , мы получаем, что каждая звезда бывает новой звездой в среднем раз в 10^{10} лет. Так как продолжительность жизни звезд по всей вероятности превышает это число, то отсюда следует, что переход через состояние новой звезды является, так сказать, нормальным явлением в звездном мире.

Впрочем, в самое последнее время пришли к выводу, что участь быть новой звездой далеко не относится к каждой звезде. Наоборот, следует думать, что лишь весьма ограниченное число звезд может становиться новыми звездами и к тому же весьма часто. К этому приводят как статистические работы Кукаркина и Паренато в Москве, так и то соображение, что за последние два миллиарда лет, история которых в достаточной степени хорошо отражена в различных слоях земной коры, солнце безусловно не вспыхивало. Надо думать, что ближайшие годы сильно продвинут нас вперед в деле выяснения причин вспышки новых звезд. (Прим. ред.)

ГИГАНТЫ И КАРЛИКИ. ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

Предыдущие главы содержали главным образом характеристику и описание свойств отдельных звезд. Визуально двойные звезды дают способ оценки звездных масс; затмеваемые переменные позволяют нам вычислить плотности этих звезд; спектроскоп распределяет звезды по классам согласно их цвету или поверхностной температуре; измерение же расстояний дает возможность найти абсолютные величины звезд. В этой главе мы рассмотрим следующие свойства звезд: абсолютную величину (являющуюся просто показателем светимости), спектральный класс, массу и плотность.

Профессор Гертцшпрунг в 1905 г. первый хорошо подметил изумительное разнообразие действительных яркостей звезд и ввел термины: *гиганты* и *карлики*, характеризующие различие между звездами большой и слабой яркости. Однако разделение звезд на гигантов и карликов не было полностью осуществлено до 1913 г., когда оказалось в наличии более значительное количество точных сведений, в частности о звездных расстояниях. В этом году профессор Расселл из Принптона представил эти кропотливо собранные данные в виде диаграммы, известной теперь под названием «диаграммы Расселла». Он имел всего около 300 звезд, расстояния которых были измерены обычным путем и спектральные классы которых были известны. Итак, для каждой звезды можно определить две характеристики — абсолютную величину и спектральный класс. На рис. 94 спектральные классы указаны вверху и внизу. Так, например, звезда спектрального класса К0 может быть представлена точкой где-то на линии, соединяющей две буквы К, и таким же образом можно представить какой-нибудь промежуточный класс, например К4. Если абсолютная величина звезды равна, например, $+10$, то она

изображается точкой где-то на горизонтальной линии, проходящей через отметку $+10$ на вертикальной шкале. Итак, звезду спектрального класса К0 и абсолютной величины $+10$ можно представить на рисунке определенной точкой. Это сделано профессором Расселлом для каждой из 300 звезд. Получил он следующее: за весьма немногими исключениями точки располагаются внутри площади, имеющей форму повернутой задом наперед семерки, как показано на рис. 94. Рассмотрим красные звезды спектральных классов К и М; на диаграмме видно, что они резко

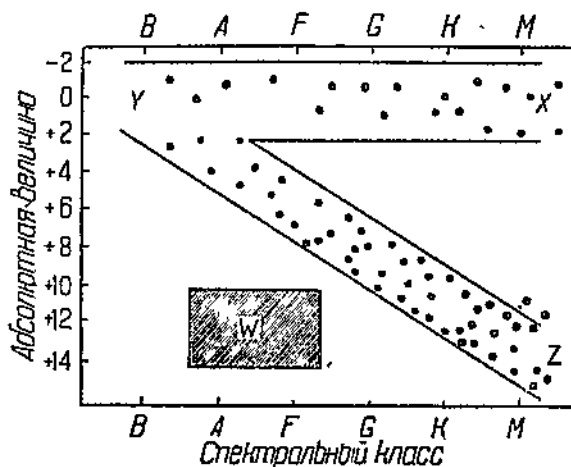


Рис. 94. Диаграмма Расселла.

разделяются на две определенные группы. Одна группа состоит из звезд высокой светимости (соответствующие точки находятся в горизонтальной полосе XY) с абсолютными величинами приблизительно от -2 до $+2$; вторая группа состоит из слабо светящихся звезд с абсолютной величиной от $+8$ до $+14$ (соответствующие точки находятся в нижней части наклонной полосы YZ). Первая группа — это гиганты спектральных классов К и М, вторая группа — это карлики тех же классов. Разность в пять величин, как мы помним, соответствует отношению яркостей 100 к 1; следовательно, диаграмма показывает, что, например, гигант М, по крайней мере в 10 000 раз ярче, чем карлик того же самого спектрального класса. Для классов В и А

на другом конце спектрального ряда на диаграмме такого резкого деления не обнаруживается, и все звезды относятся к абсолютной величине $+2$ и ярче; по существу они все — гиганты. Профессор Расселл не удовлетворился результатами, полученными только по звездам с непосредственно измеренными параллаксами. Нельзя ли подкрепить эти результаты данными из других источников? Мы уже видели, каким образом были измерены расстояния звезд в скоплении Тельца. Таким способом были определены параллаксы 150 звезд как этого, так и трех аналогичных скоплений. Динамические параллаксы свыше 550 звезд, полученные по визуальным двойным системам, были также привлечены к делу. Каждая группа дала распределение точек на ресселловской диаграмме, вполне согласующееся с ранее полученными для 300 звезд. С 1913 г. число измеренных параллаксов возросло по крайней мере в 10 раз; но они дают только лишнее подтверждение основных особенностей, изображенных на рис. 94.

Рассмотрим диаграмму Расселла несколько подробнее. Мы уже раньше отметили, что все синие и белые звезды (классы А и В) ярки в действительности, а красные звезды или обладают большой светимостью или же весьма слабы. Что касается красных звезд, то с первого взгляда упомянутая особенность может быть приписана влиянию отбора звезд, который производит астрономы для измерения параллаксов. Эти звезды, как правило, берутся из числа звезд, принадлежащих к двум группам: во-первых, яркие, видимые простым глазом звезды, большой процент которых представляет собой звезды большой светимости; во-вторых, слабые красные звезды с большим собственным движением (так как большие собственные движения являются довольно хорошим признаком близости, в то время как в действительности эти звезды крайне слабы по яркости). Такой отбор фактически произвольно делит красные звезды на две резко разграниченные группы, одну с большой светимостью, другую — с малой светимостью. Старым программам наблюдений по определению параллаксов можно было бы отчасти сделать упрек такого рода, однако даже при более исчерпывающем обследовании неба, которое мы имеем в настоящее время, остался неизменным замечательный факт, что имеется явный разрыв по крайней мере в 6 величин (по диаграмме Расселла) между гигантами и карликами класса М. Другими словами, между аб-

солотными величинами $+2$ и $+8$ не найдено ни одной звезды класса М. Резкое деление звезд класса М на гигантов и карликов следует в настоящее время считать общепринятым фактом. То же самое, вообще говоря, можно сказать и о звездах классов К и G; для звезд класса F различие между гигантами и карликами не столь отчетливо, а для А и В деление почти или вовсе отсутствует. Другой интересной особенностью диаграммы является то, что все гиганты имеют почти одну и ту же действительную яркость, каков бы ни был их спектральный класс. Изучение ватмеваемых переменных так же, как и результаты других исследований, прибавляют новые данные, относящиеся к рассматриваемой задаче. В среднем плотность звезд класса В оказывается равной 0,1 плотности Солнца, и плотность быстро падает для гигантов последующих типов. Однако это еще не все. Оказывается, что плотность увеличивается, если двигаться вдоль по главному ряду, т. е. вдоль по наклонной полосе YZ диаграммы Расселла от приблизительно 0,1 солнечной плотности для В-звезд до единицы для Солнца (карлика класса G0) и далее до еще более высоких плотностей в последующих классах К и М. Хотя уже в 1913 г. было до известной степени очевидно, что звезды в действительности менее яркие, чем Солнце, в то же время и менее массивны и что более яркие звезды класса В по крайней мере в несколько раз массивнее Солнца, но все же пришлось ждать до 1924 г., прежде чем был пролит некоторый свет на несомненно имеющуюся зависимость между массой и светимостью.

Теория эволюции свила себе прочное гнездо в царстве биологии. Однако можно спросить, возможно ли, что звезды с течением времени переходят из одного определенного типа в другой? Иными словами, существуют ли какие-нибудь указания на существование также и звездной эволюции? Изменения должны быть, так как каждая звезда выбрасывает огромные количества тепловой и световой энергии и с каждым днем и с каждым годом запасы ее энергии уменьшаются. Однако имеем ли мы право считать различные сорта звезд на небе определенными стадиями жизненной истории типичной звезды? Еще до 1913 г., вообще говоря, предполагалось, что спектральные классы В, А, . . . , М представляют собой различные главы в истории звезды, а именно: звезда при рождении обладает высокой температурой, соответствующей звездам класса В;

по мере того как ее запасы энергии постепенно расходуются на излучение тепла и света, она последовательно переходит в более холодные классы, пока не достигнет класса М. За классом М происходит окончательное прекращение существования ее как светящегося тела. Один только Норман Локьер оставался в своем неверии в эту идею об эволюции звезд. Для него звезды класса В представляли расцвет жизни звезды, лежащий где-то между рождением звезды и ее окончательным потуханием. Во многих отношениях его идеи имели большое сходство с идеями, которые были выдвинуты Расселлом в 1913 г. и которые мы теперь опишем.

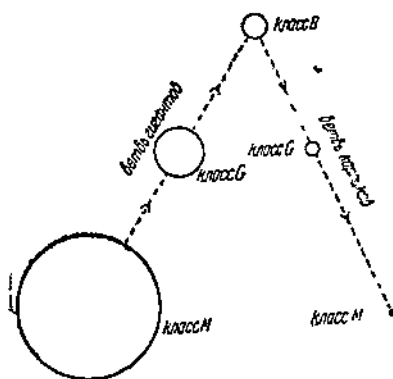


Рис. 95.

Факты, позволившие Расселлу нанести удар всем этим идеям, заключены главным образом в его диаграмме. Теория Расселла о гигантах и карликах заключается в следующем. Звезда начинает свое видимое существование как гигант класса М; это раздувшийся шар газа, во много тысяч раз более разреженный, чем вдыхаемый нами воздух. Вследствие потери энергии и влияния тяготения шар сжимается, что вызывает в нем повышение температуры. Звезда

переходит по спектральному ряду в обратном порядке от М к В, пока она не достигнет стадии, определяемой классом В. В этой точке плотность становится настолько значительной, что увеличения тепловой энергии, обусловленного продолжающимся сжатием, недостаточно для того, чтобы уравновесить потери через излучение. Тогда звезда начинает одновременно охлаждаться и сжиматься, переходя постепенно вниз по главному ряду от класса В до класса М, пока не достигнет в конце концов состояния карлика класса М. На рис. 95 схематично изображено эволюционное развитие звезды согласно расселловской теории. Первая часть путешествия звезды, именно от класса М до класса В в состоянии гиганта, была в общих чертах предсказана математическими исследованиями Гомера Лэна.

В основе этих работ лежала предпосылка, что звезда состоит из так называемого в физике совершенного газа, к которому применимы известные нам физические законы. Однако, когда плотность в результате непрерывного гравитационного притяжения достигает определенного критического значения, то о дальнейшем развитии звезды можно было только догадываться; эта критическая плотность точно не была известна, но предполагалось, что она равна примерно 0,1 плотности воды. Но ведь эта величина не очень сильно отличается от средней плотности звезд класса В. Теория эволюции Рассела о звездах-гигантах и звездах-карликах изумительно удачно объясняла все известные тогда относящиеся к строению звезд факты. Например, известно, что гиганты классов от В до М обладают почти одинаковой светимостью; так это и должно быть, потому что при переходе из состояния М в состояние В эффект уменьшения площади поверхности, а следовательно, и общей светимости звезды приблизительно уравновешивается увеличением яркости каждого квадратного сантиметра поверхности вследствие обусловленного сжатием повышения температуры. Позднейшие открытия придали только еще больший вес теории. Из их числа мы опишем два.

Рассмотрим звезды класса К. Они не все одинаковы, так как одни из них гиганты, а другие — карлики. Спектроскописты причисляют их все к одному и тому же классу К, но будут ли спектры гигантов и карликов в точности одинаковыми? Наличие в звездных атмосферах весьма различных физических условий заставляет думать, что в них безусловно должны иметься различия. У гигантов звездная материя находится в весьма разреженном состоянии, иными словами, давление газа ничтожно, с другой стороны, у карликов плотность весьма значительна. При температуре и давлении, имеющих место у карликов, ионизация атомов химических элементов вряд ли вообще может иметь место; между тем при той же самой температуре, но при сильно уменьшенном давлении, как у гигантов, ионизация атомов может достигать значительных размеров. Для таких элементов линии, обусловленные ионизированными атомами, будут слабы у карликов и интенсивны у гигантов, линии же нейтральных атомов, наоборот, интенсивны у карликов и слабы у гигантов. Можно предвидеть подобные же различия в интенсивности других ли-

ний в спектре гигантов и карликов. Вызов, брошенный спектроскопистами, недолго оставался без ответа, так как Адамс на горе Вилсон действительно открыл вскоре подобные различия в интенсивностях линий некоторых элементов (а также другие различия) в спектрах гигантов и карликов одного и того же спектрального типа. Мало того, на основании этого был разработан с изумительным успехом совершенно новый метод оценки расстояний звезд. Полученные таким способом параллаксы известны под названием спектроскопических параллакс. Метод этот основывается на звездах с известным параллаксом, а, следовательно, и с известной абсолютной величиной, присущей гигантам и карликам одного и того же спектрального класса.

Рассмотрим пару линий A и B в спектре карлика, из которых согласно только что указанным принципам A интенсивна, а B слаба; в спектре гигантов наблюдается обратное, именно A представляется слабой линией, а B — интенсивной. Числовые соотношения между измеренными интенсивностями пары линий, подобных A и B , можно считать признаком изменения светимости, которая слаба у карликов и сильна у гигантов из числа рассматриваемой группы звезд. Эти соотношения, повторяем, получаются по звездам с уже известной абсолютной величиной. Затем этот процесс выворачивается наизнанку. Изучается спектр какой-либо другой звезды того же самого спектрального типа; измеряются относительные интенсивности пары (или пар) определенных спектральных линий; затем по эмпирической зависимости, найденной между относительной интенсивностью линий и абсолютной величиной, выводится абсолютная величина данной звезды. Наблюдаемая видимая величина позволяет, наконец, получить параллакс.

Следует, разумеется, признать изумительным достижением, что, просто изучая спектр звезды, можно найти ее абсолютную величину, а следовательно и расстояние. В течение немногих лет этим способом получены параллаксы нескольких тысяч звезд; в этом отношении, поразителен контраст между спектроскопическим методом и медленным и трудным тригонометрическим методом. Однако основанием для первого метода служат точные определения параллакс. тригонометрическим методом, так что главной задачей современной практической астрономии

является все же усиленное продолжение старых методов. Новый метод имеет одно поразительное преимущество перед старым. Если спектр звезды можно удовлетворительно сфотографировать, то расстояние ее можно определить независимо от того, находится ли она на расстоянии 10 или 10 000 парсеков. С другой стороны, в тригонометрическом методе звезды с параллаксами меньше $0",005$, т. е. с расстоянием больше 200 парсеков, находятся уже на границе точности измерений. По этой причине спектроскопический метод, бесспорно, более могуществен. Можно прибавить, что спектроскопические параллаксы в основном вполне подтверждают деление звезд на гигантов и карликов в соответствии с диаграммой Расселла.

Как мы видели, профессор Расселл объяснил огромное различие в светимости гигантов и карликов класса М огромным различием их по объему. Сходство спектров должно означать только, что каждый квадратный сантиметр поверхности гиганта имеет ту же самую яркость, что и квадратный сантиметр поверхности карлика, так что, например, отношение полной светимости двух звезд, равное $10\,000:1$, указывает на то, что должно существовать такое же отношение поверхностных площадей этих двух звезд, а, следовательно, что диаметры звезд относятся как $100:1$. Мы видели выше, что имеются способы вычислить диаметры некоторых звезд из числа затмеваемых переменных звезд; однако имеется ли у нас какой-нибудь способ проверки реальности существования тех огромных объемов звезд-гигантов, в особенности класса М, которые только что получены на основании грубых вычислений? Ответ тот, что вычислить угловые диаметры можно сравнительно легко, и в тех случаях когда они были в действительности измерены, — результаты наблюдений вполне согласуются с вычислениями; если параллаксы известны, то можно, наконец, вычислить звездные диаметры в километрах. Возьмем простой пример. Допустим, что мы знаем очень точно угловой диаметр какой-нибудь звезды. Диаметр Солнца виден с Земли под углом $32'$. Пусть, далее, имеется звезда, будем называть ее А, подобная во всех отношениях Солнцу и находящаяся на расстоянии 10 парсеков. В круглых цифрах диаметр звезды будет виден с Земли под углом в одну тысячную долю секунды дуги. На этом расстоянии звезда должна иметь видимую величину $+5,0$. Пусть далее имеется вторая звезда В с диамет-

ром, равным двойному диаметру A , расположенная на расстоянии 20 парсеков от нас, и третья звезда C , сходная во всех отношениях с A и расположенная также на расстоянии в 20 парсеков. Пусть все три звезды принадлежат к тому же самому спектральному типу, что и Солнце, т. е. к типу G . Поскольку C вдвое дальше от нас, чем A , звезда A будет казаться нам в четыре раза ярче C . Так же точно, поскольку диаметр B равен двойному диаметру C , площадь поверхности у B будет в четыре раза больше, чем C ; итак, B будет казаться в четыре раза ярче C , так как обе звезды находятся на одинаковом расстоянии. Мы видели, что A в 4 раза ярче C ; следовательно, A и B будут казаться нам одинаково яркими; другими словами, их види-

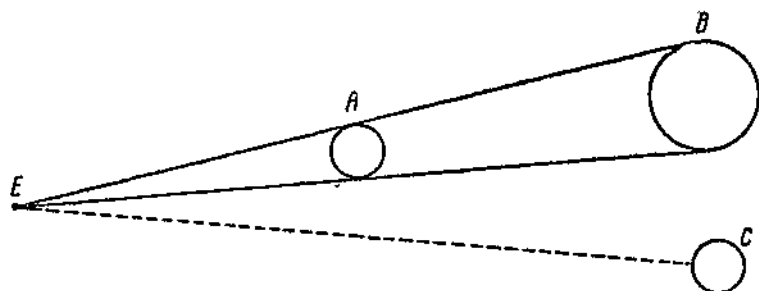


Рис. 96.

мые величины будут в точности одинаковы. Однако зависимость между расстояниями и диаметрами A и B означает, что обе звезды должны быть видны с Земли под одинаковым углом. Это изображено на рис. 96. Отсюда мы приходим к общему заключению, что угловые диаметры звезд одинаковой видимой величины и того же самого спектрального класса равны между собою.

Рассмотрим теперь Капеллу, звезду класса G , имеющую видимую величину 0,3. Таким образом ее видимая яркость в 100 раз больше, чем нашей звезды A ; следовательно, диаметр Капеллы должен быть виден с Земли под углом в 10 раз большим, чем диаметр звезды A ; это значит, что угловой диаметр Капеллы равен $0^{\circ},01$ дуги, т. е. углу, под которым виден двугривенный на расстоянии 595 км. Параллакс Капеллы равен $0^{\circ},06$ (соответствует расстоянию около 17 парсеков или около 55 световых лет);

пользуясь этим, мы получаем действительный диаметр Капеллы, именно приблизительно 24 млн. км или приблизительно восемнадцатикратный диаметр Солнца. Если использовать более точные данные, чем взятые нами для наших несколько грубых вычислений, то диаметр Капеллы получается в 14 раз больше солнечного. В этом простом вычислении мы рассматривали только звезды одного и того же спектрального класса, но небольшое размышление показывает, что вычисление это можно распространить также на любые спектральные классы, если только нам известна относительная поверхностная яркость звезд различных спектральных классов. Основываясь на этих соображениях, различные астрономы и в разное время вычислили угловые диаметры многих звезд. Например, было вычислено, что диаметр гиганта Бетельгейзе виден с Земли под углом в $0'',05$. Столь крошечный диск находится за пределами видимости даже в самые сильные телескопы, тем не менее задача измерения диаметра такого незначительного диска была успешно выполнена при помощи большого интерферометра, сконструированного профессором Майкельсоном и установленного на обсерватории на горе Вилсон. Мы не собираемся описывать здесь ни этот инструмент, ни те оптические принципы, на которых основано его применение; достаточно сказать, что в декабре 1920 г. при его помощи был получен почти невероятный результат: измерение углового диаметра звезды Бетельгейзе. Полученный результат находится в совершенном согласии с вычисленным значением. Это можно считать самым замечательным достижением практической астрономии нынешнего столетия. Параллакс Бетельгейзе известен с большой точностью; поэтому легко вычислить ее диаметр в километрах. Ответ получается равным 400 млн. км или трехсоткратному диаметру Солнца. Среднее расстояние Марса равно около 240 млн. км; значит, диаметр Бетельгейзе почти равняется диаметру орбиты Марса. Бетельгейзе — настоящий гигант как по размерам, так и по светимости. Тем же путем были успешно измерены угловые диаметры еще нескольких звезд; поскольку их параллаксы известны, можно было вычислить их истинные диаметры. Они изображены на рис. 97, где для сравнения в том же масштабе изображены орбиты Земли и Марса. Подведем итоги: теория предсказывает, что гиганты класса М должны являться гигантами как по величине объемов,

так и по их огромной светимости; наблюдения с интерферометром не оставляют в этом смысле никакого сомнения и дают полнейшее подтверждение ресселловской теории звездной эволюции. Как же обстоит дело с другими звездами? Мы теперь видели, что у нас имеются кое-какие сведения о размерах некоторых звезд, образующих затмеваемые переменные. Большинство этих звезд относится к спектральному классу В, а диаметры колеблются от трехкратного до восьмикратного диаметра Солнца. Известна, однако, одна двойная звезда класса М. Диаметры компонентов этой системы немногим больше половины солнечного

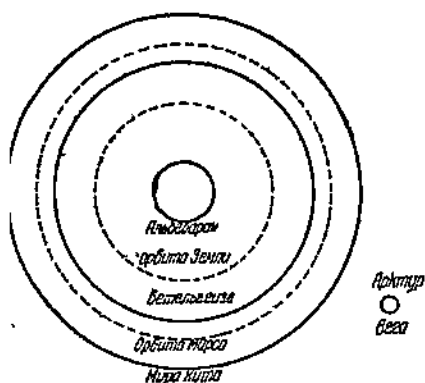


Рис. 97.

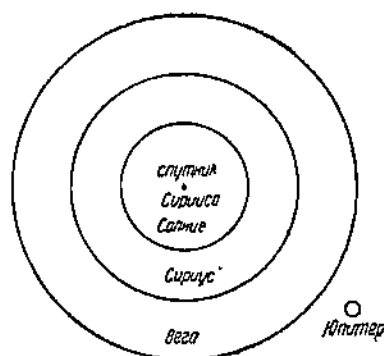


Рис. 98.

диаметра; таким образом как по объему, так и по светимости эти звезды — лишь карлики незначительных размеров; их плотности приблизительно в четыре раза больше плотности воды. На рис. 98 изображены относительные линейные размеры некоторых небольших по размерам звезд. Теория эволюции звезд от гигантов класса М до горячих звезд типа В, затем вниз по главному ряду к карликам класса М должна, повидимому, считаться исчерпывающей и бесспорной. В дальнейшем мы увидим, что слово «повидимому» здесь более чем знак предосторожности.

Важным классом звезд, не входящим в описанную на предыдущих страницах эволюционную схему, являются так называемые белые карлики; их известно всего несколько штук, из которых наиболее замечательный — спутник Сириуса. Можно думать, что белые карлики, во-

те говоря, сравнительно многочисленны. Рассмотрим
 иную звездную систему Сириуса, относительно которой
 обладаем замечательно полными сведениями. Как ор-
 а, так и массы Сириуса и спутника точно известны;
 и равны соответственно $2\frac{1}{2}$ и $\frac{5}{8}$ солнечной массы.
 .ник на 10 величин слабее самого Сириуса; следова-
 ьно, последний в 10 000 раз ярче своего спутника. Па-
 лакс системы в точности известен, ведь Сириус — один
 наших ближайших соседей; отсюда можно легко вычи-
 ть абсолютную величину спутника, которая оказывает-
 равной 11,3. Следовательно, спутник — очень слабый
 лик. Такая большая абсолютная величина (слабая яр-
 ь) свойственна, вообще говоря, лишь красным карли-
 класса M; но самое удивительное здесь то, что спектр
 тника относится к классу F0, звезды которого характе-
 руются большой поверхностной светимостью. Следова-
 ьно, белые карлики лежат совсем в стороне от главного
 а, идущего от Y к Z на рис. 94, и их придется изобра-
 ь где-то в той части диаграммы, которая помечена бук-
 W. Слабая светимость и большая поверхностная яр-
 ь могут обозначать только одно: спутник Сириуса
 жен иметь ненормально малые размеры. И вот, оказы-
 ься, что когда диаметр звезды был найден по методу,
 обранному на предыдущих страницах, то в ответе полу-
 юсь всего 38 400 км. Диаметр Земли равен, грубо го-
 я, 12 000 км, а диаметр Урана, следующей по размеру
 неты, — 51 000 км. Следовательно, спутник Сириуса об-
 ает планетными размерами; однако следует помнить,
 он — самосветящаяся звезда, подобная другим звез-
 . Самый же удивительный вывод нам еще предстоит
 лать. Если вычисления диаметра правильны, то мы
 кем немедленно получить объем; тогда по известной
 же можно легко найти среднюю плотность звездной
 ерии. Она оказалась в 50 000 раз больше плотности
 ы. Одна тонна его материи свободно поместилась бы
 ипичной коробке. Для сравнения можно прибавить,
 наиболее плотной из известных земных субстанций
 яется металл осмий, который всего в какие-нибудь 22,5
 а плотнее воды.

До последнего времени возможность существования ма-
 ии с такой огромной плотностью казалась невероятной;
 в цепи рассуждений не обнаруживается никакого про-
 а. Существует ли какой-нибудь другой независимый

путь для испытания правильности этого результата? Для получения определенного критерия пришлось обратиться к теории относительности Эйнштейна. В главе VII мы кратко ссылались на небольшое увеличение длины волны линии солнечного спектра по сравнению с длиной волны той же линии, полученной в земной лаборатории; увеличение это теорией относительности приписывалось действию солнечной массы. Аналогичный эффект должен иметься и в спектрах звезд. Однако величина эффекта зависит как от звездной массы, так и от радиуса звезды. Масса спутника Сириуса почти равна солнечной. Примем для простоты, что их массы одинаковы (разность между массами Солнца и спутника в точных вычислениях, разумеется, следует принять во внимание). Согласно сделанной ранее оценке радиус Солнца в 36 раз больше радиуса спутника. Как предсказывает теория относительности, увеличение длины волны некоторой линии в спектре спутника должно тогда быть в 36 раз больше, чем для той же линии в солнечном спектре.

В главе VII мы видели, что эффект в солнечном спектре достаточно велик, чтобы быть замеченным; следовательно, и эффект в спектре спутника должен быть легко измеримым. Величина смещения линий в звездном спектре относительно соответствующих линий в спектре сравнения обычно кладется в основание измерения радиальных скоростей (для обычных звезд смещением по принципу относительности можно пренебречь). Следовательно, смещение по принципу относительности удобно выразить в единицах радиальных скоростей, т. е. определить соответствующее число километров в секунду. Точное вычисление, основанное на прежде полученном значении радиуса спутника, приводит к выводу, что в спектре спутника должна проявляться фиктивная скорость удаления величиной в 20 км/сек. Если белый карлик представляет собой одиночную звезду, т. е. не компонента, например, двойной системы, то его ложную скорость нельзя будет отделить от истинной радиальной скорости. В настоящем же случае произвести разделение сравнительно легко. Измерение линий спектра спутника обнаруживает некоторую радиальную скорость. В нее включается: 1) фиктивная радиальная скорость эффекта относительности, 2) радиальная скорость системы в целом, 3) орбитальная скорость (или скорее часть ее по лучу зрения) спутника вокруг центра тя-

жести системы. Последние две скорости можно легко вычислить по наблюдаемой радиальной скорости самого Сириуса и по известным свойствам двойной системы. Следовательно, отсюда можно вывести и эффект относительности. В 1925 г. Адамс произвел соответствующее исследование на обсерватории на горе Вилсон и нашел для эффекта Эйнштейна величину, равную 19 км/сек, что почти в точности согласуется с предсказаниями. Профессор Эддингтон высказался по этому поводу следующим образом: «Доктор Адамс одним камнем убил двух птиц; он установил новый критерий для проверки общей теории относительности Эйнштейна и одновременно подтвердил наше подозрение, что материя, в 2 000 раз более плотная, чем платина,¹ не только возможна, но и действительно существует во вселенной.

Теория гигантов и карликов Расселла представляет собой большую историческую веху в истории астрономии. Мы видели выше, как теория выдвигалась на основе огромной массы наблюдаемых фактов и подкреплялась спектроскопическими работами Адамса и измерениями с интерферометром угловых диаметров звезд. Мы обратимся теперь к замечательным математическим изысканиям профессора Эддингтона по вопросу о внутреннем строении звезд. На немногих страницах возможно сообщить об них лишь в самых общих чертах; исчерпывающее же описание читатель найдет в книге профессора Эддингтона. «Звезды и атомы».² Возьмем, например, гиганта вроде Ветельгейзе, состоящего из крайне разреженного газа, который находится в состоянии, известном у физиков под названием совершенного газа и к которому применимы определенные физические законы. Огромный шар выбрасывает энергию излучения в виде тепла и света, которая должна зарождаться где-то внутри звезды. Если мы будем продвигаться в глубину звезды, то как температура, так и давление газа будут увеличиваться. В каждой точке внутри звезды все силы должны уравновешиваться. Сверху будет действовать вес вышерасположенных слоев газа, давящих вниз; давление наружу обусловлено упругостью газа, подобно воздуху в автомобильной

¹ Плотность платины в 22,5 раза больше плотности воды.

² Имеется русский перевод в издании ГТТИ, вышедший в 1931 г. (Прим. ред.)

шине. Упругие свойства газа объясняются активностью и числом частиц, из которых он состоит. Чем большее число частиц воздуха накачать в автомобильную шину, тем больше ее эластичность (или давление), а, следовательно, тем большая поддержка дается кузову. Точно так же, чем выше температура воздуха, тем больше его упругость. Автомобильная шина, туго накаченная при обычной температуре, оделается совсем «плоской», если ее поместить в холодильник, и, вероятно, лопнет, если ее поместить в камеру с температурой в несколько сот градусов. В каждой точке внутри звезды должна существовать некоторая зависимость между плотностью и температурой газа, необходимая для поддержания веса вышележащих слоев. Продвигаясь шаг за шагом к центру звезды, будем вычислять температуру и плотность в последовательных точках; так мы найдем, наконец, центральную температуру. Однако, зная закон изменения плотности от поверхности звезды внутрь, можно вычислить общую массу всей звездной материи. Так математическая модель приводится к непосредственному сравнению со звездами на небе. Однако в предыдущих рассуждениях было упущено одно важное обстоятельство, играющее важную роль внутри звезды. В главе VI при описании проблемы солнечной хромосферы мы ссылались на важный фактор — давление радиации. Профессор Эддингтон вычислил, что центральная температура Солнца должна быть близка к сорока миллионам градусов Цельсия; итак, внутри звезды давление радиации приобретает чрезвычайно большое значение. Нам необходимо поэтому пересмотреть картину взаимно уравновешивающихся сил в некоторой точке внутри звезды, нарисованную нами выше, к естественной упругости газа нам следует теперь прибавить направленное наружу давление радиации, величина которого зависит от характера изменения температуры внутри звезды.

При этих обстоятельствах естественно возникают два вопроса. Не вносит ли природа того, что мы с вами называем «газом», каких-либо изменений в вычислениях, так как химический состав одной звезды, очевидно, нельзя предполагать вполне или даже приблизительно одинаковым с другой? И затем другой вопрос: какова природа радиации, которая, повидимому, играет столь важную роль в крайне неустойчивом равновесии внутренних звездных условий? Рассмотрим первый вопрос. Если в шину нака-

чать чистый кислород, то упругость кислорода или, иначе говоря, давление газа будет зависеть от энергии движения частиц (и, конечно, от их числа). Частицами в этом случае являются молекулы газа. Энергия движения молекул зависит от их массы, обычно характеризуемой термином «молекулярный вес», а также от их скорости. Все это просто, когда мы имеем дело с единственным газом, вроде кислорода; но как производить сложные вычисления, если, возможно, звездная материя состоит из нескольких или даже из всех известных земных элементов, перемешанных между собой в неизвестных пропорциях? Внутри звезды атомы элементов, каковы бы они ни были, не могут остаться в целости, так как физические условия внутри звезды настолько суровы, что от них должны быть оторваны почти все их планетные электроны. Частицы, обуславливающие собой газовое давление на некотором уровне внутри звезды, представляют собой поэтому довольно пеструю смесь атомных ядер, атомов лишь с остатком планетных электронов и свободных электронов. С первого взгляда задача окружена со всех сторон еще более неразрешимыми затруднениями. Однако в действительности положение совершенно иное. При вычислении газового давления играет роль лишь средний молекулярный вес частиц; поскольку электроны (с ничтожной массой) считаются за отдельные частицы, средний молекулярный вес можно оценить с большой точностью, если только налицо имеется полная или почти полная ионизация атомов независимо от их химического происхождения. Атом железа имеет, например, атомный вес 56 по сравнению с атомным весом водорода, принятым за единицу; атом железа состоит из ядра и 26 планетных электронов, участие которых в атомном весе ничтожно. Однако, если атом железа полностью ионизирован, то в наличии оказывается целых двадцать отдельных независимых частиц, и средний молекулярный вес будет равен поэтому 56, деленному на 27, или около 2,1. Аналогичные вычисления для других элементов, кроме водорода, дают результаты, также не слишком отличающиеся от двух. Этим путем профессору Эддингтону удалось пренебречь химическим составом звезд и сделать свои вычисления применимыми к любой звезде на небе.

Чтобы ответить на последний вопрос, рассмотрим сначала одновременно голубую и красную звезду. Голубой свет обладает более короткой длиной волны, чем красный,

а разница в цвете двух звезд обусловлена разностью их поверхностных температур. Высокие температуры связаны с более короткими длинами волн, низкие температуры — с более длинными. Внутри звезды температура может достигать сорока миллионов градусов, и соответствующая этому радиация будет обладать очень короткой длиной волны и относиться к типу, известному под названием X-лучей. Когда мы разбирали фотографические наблюдения Марса, то мы указывали на большую способность красных лучей солнечного света проникать сквозь атмосферу планеты по сравнению с синими; атмосфера Марса оказывается, так сказать, непроницаемой для света с более короткой длиной волны. Нечто подобное происходит и в звездах; действительно, звездная материя исключительно непроницаема для радиации с короткими длинами волн, и коэффициент непроницаемости регулирует скорость перемещения радиации с одного уровня внутри звезды на другой, более высокий. Непроницаемость звездной материи, очевидно, играет в этой теории важную роль. Определение коэффициента непроницаемости является одной из очень трудных задач, однако с помощью некоторых более или менее вероятных гипотез можно было получить в вопросе о внутреннем строении звезд ряд теоретических выводов, которые можно было затем сопоставить с наблюдаемыми особенностями звезд. Таковы в кратких чертах главные соображения, лежащие в основе задачи, которую профессор Эддингтон задумал разрешить. Рассмотрим теперь некоторые из его выводов.

Мы видели, что в каждой точке внутри звезды внешние слои газа поддерживаются 1) давлением газа (упругостью) и 2) давлением радиации. Как оказалось, отношение этих двух факторов приблизительно одинаково для любой звезды; предположим для простоты, что оно совершенно одинаково. Тогда по полному давлению можно вычислить процент, обусловленный, с одной стороны, давлением газа и с другой — давлением радиации. Профессор Эддингтон берет ряд моделей следующим образом. Первая представляет собой шар газа с массой в 10 $\odot$, вторая — в 100 $\odot$, третья — в 1000 $\odot$ и т. д.; массу (в граммах), например, тридцатой модели можно будет написать в виде единицы с тридцатью нулями. Считая каждый шар изолированным в пространстве, он применил к ним свои вычисления; в частности, он нашел отношение давления газа (или

давления радиации) к полному давлению внутри каждого из шаров. Результат изображен графически на рис. 99. Рассмотрим, например, шар № 31. Из этого рисунка видно, что вычисленное давление газа составляет практически все 100% общего давления, а давление радиации совершенно ничтожно. Что же это значит? Это значит, что подобный шар вовсе неспособен излучать; иными словами, своими собственными усилиями он никогда не добьется чести стать самосветящейся звездой. Масса 31-го шара оказывается ровно в пять раз больше массы планеты Юпитера, самой массивной из планет. Таким образом, если во все-

ленной странствуют тела, обладающие планетной массой, то существование их сможет быть обнаружено (если только это вообще возможно) только косвенными методами. Рассмотрим теперь шар № 33. Давление газа составляет около 89% общего давления наружу, а давление радиации — остальные 11%. Теперь давление радиации следует уже серьезно принять во внимание;

правда, слабо, но шар все-таки будет излучать свет, как слабая самосветящаяся звезда. В заштрихованной области между линиями *AB* и *CD* значение давления радиации возрастает, пока для шара № 35 оно не составит по меньшей мере 85% общего давления; при этом всего 15% остаются на долю давления газа. За шаром № 35 давление газа сходит на-нет, и полное давление почти целиком обусловлено давлением радиации. Обо всем этом профессор Эддингтон говорит: «Что касается борьбы между давлением газа и давлением радиации, то победа оказывается обычно на одной какой-нибудь стороне за исключением промежутка между шарами № 33 и № 35; здесь можно ждать, что случится что-нибудь интересное. «Случаются» же звезды...».

Масса шара № 33 как раз равна половине солнечной, а масса № 35 в 50 раз больше ее. Наименее массивная из известных звезд обладает массой, немного меньшей поло-

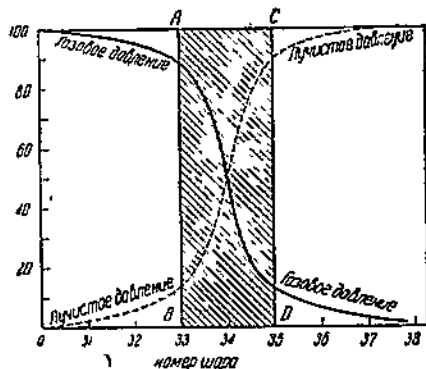


Рис. 99.

вины массы шара № 33; самая массивная из известных звезд немного больше массы шара № 35. Ниже № 33 шар неспособен светить; несколько далее № 35 давление радиации приобретает столь огромное значение, что оно угрожает целостности звезды. Без сомнения, это принадлежит к числу чрезвычайно крупных научных достижений; в самом деле, путем одних лишь абстрактных рассуждений, основанных на известных физических законах, математики способны «предсказывать» существование звезд.

До начала 1924 г. теория звездной эволюции Расселла сохраняла свои позиции в качестве одного из символов астрономической веры, так как она хорошо согласовалась с множеством известных фактов об абсолютных величинах, плотностях, спектральных типах и размерах звезд. Существует, однако, еще одно важное свойство звезд, а именно масса. В 1913 г., когда наше знание о звездных массах было сравнительно очень ограничено, все же обращали внимание на то, что более горячие звезды массивнее Солнца, а карлики, наоборот, менее массивны. Это объясняли тем, что только более массивные звезды могут совершать полный путь по расселловской диаграмме (т. е. на рис. 94 от X к Y , а затем вниз по основному ряду от Y к Z); звезды же с малыми массами могут дойти, например, только до класса F , прежде чем начать переходить через последовательные стадии (от класса F к M) звезды-карлика. Изыскания профессора Эддингтона в 1924 г. установили новый взгляд на эволюционную теорию. Посмотрим, в чем заключались эти изыскания.

Во-первых, они состояли в сравнении теории с наблюдениями для звезд с известными массами и светимостью (или абсолютной величиной) и, во-вторых, — в выяснении, в каком отношении стоят новые идеи к теории звездной эволюции. Теория, о которой мы говорим, касается гигантов, т. е. звезд, вещество которых находится в состоянии совершенного газа. Совершенный газ характеризуется свободой движения своих молекул (или частиц); если последние сжаты вместе, как в газе под сильным давлением, то простые газовые законы теряют свою силу. Таким образом гиганты представляют собой собрание газовых «частиц» в условиях, допускающих математическое применение известных физических законов. Теория установила соотношение между массой и светимостью (или абсолютной величиной) звезд в условиях совершенного газа; если масса

такой звезды известна, то ее абсолютную величину можно предсказать. Это изображено графически на рис. 100. Кривая *ABC* есть теоретическая кривая, каждая точка которой соответствует газовой звезде с определенной массой и определенной абсолютной величиной. Так, точка *B* означает, что газовая звезда с четырехкратной солнечной массой имеет абсолютную величину, равную нулю, соответствующую приблизительно Капелле. Часть кривой вправо от *B* в заштрихованной области относится, очевидно, к

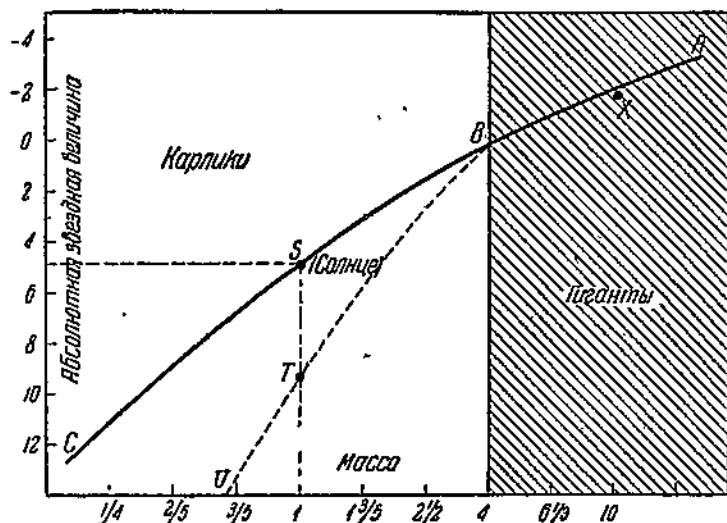


Рис. 100.

классу звезд, обозначаемых нами гигантами. Профессор Эддингтон использовал все сколько-нибудь правдоподобные данные о массах и светимостях большого числа звезд. Каждая звезда дала на диаграмме точку. Например, если про некоторую звезду известно, что масса ее в 10 раз больше солнечной и абсолютная величина равна —2, то представляющая ее точка должна находиться где-то вертикально над отметкой «10» на горизонтальной шкале, а также на горизонтальной линии, проведенной через абсолютную величину —2 на вертикальной шкале; итак, в этом случае соответствующей точкой будет точка *X*. Соответствующие гигантам точки ложатся все или на теорети-

ческой кривой между A и B , или вблизи нее (небольшое расхождение, которые имели место, можно спокойно приписать неизбежным ошибкам наблюдений). До сих пор наблюдения подтверждают теорию. Как же быть, однако, с карликами? Это весьма плотные звезды, в которых газообразное сжатие материи сильнее, чем тот предел, за которым газовые законы, повидимому, перестают действовать. Следовало бы думать, что совершенно другие условия давления, существующие у карликов, приведут к другой кривой, соединяющейся с теоретической кривой ABC (здесь следует подчеркнуть, что эта последняя кривая относится к звездам в условиях совершенного газа) где-то вблизи точки B на диаграмме, где газовые законы, повидимому, нарушаются. Профессор Эддингтон ожидал, что точки для карликов будут лежать на какой-либо кривой вроде BTU (пунктирной). Однако карлики совершенно не оправдали этих ожиданий. Все точки оказались лежащими очень близко к кривой BC . Таким образом получилось, что плотные звезды также согласовались полностью с теорией, составленной для звезд, находящихся в состоянии совершенного газа. Отсюда должен быть единственный вывод, что плотные звезды также находятся в условиях совершенного газа. Как можно объяснить столь абсурдное на первый взгляд утверждение, так как разве газообразная материя Солнца, например, не плотнее в $1\frac{1}{2}$ раза воды? Ответ заключается в высокой степени ионизации атомов внутри звезды. В обычном земном газе, подобном, например, нашей атмосфере, атомы обладают своей полной системой электронов, обращающихся по орбитам вокруг ядра; следовательно, размеры атома зависят от размеров внешних электронных орбит. Однако существует предел для числа атомов, которые можно поместить в некоторый данный объем, если атомам должна быть предоставлена некоторая доля подвижности. Если мы их сожмем сильнее, то плотность газа увеличится, а свобода атомов уменьшится. В конце концов мы достигнем такого состояния, когда атомы будут настолько тесно сжаты, что окажутся лишенными почти всякой подвижности; как это бывает, например, когда газ обращается в жидкость или твердое тело. При достижении известной концентрации атомов газовые законы нарушаются. Рассмотрим теперь атомы, находящиеся внутри звезды. Некоторые из них освобож-

дела от всех своих электронов, у крупных остаются только самые внутренние электроны. «Размеры» звездных атомов невероятно уменьшились. Вследствие этого в данный объем можно поместить гораздо большее их число, сохранив им ту же или почти ту же степень подвижности, как у более крупных атомов в земном совершенном газе; иными словами, получается, что плотность газа может сильно увеличиться и тем не менее звездная материя останется в состоянии совершенного газа. Профессор Эддингтон установил, что любая звезда с средней плотностью, не превосходящей тысячекратную плотность воды, должна вести себя как совершенный газ. Итак, все звезды, как большие, так и малые, за исключением белых карликов, попадают в одну и ту же категорию и подчиняются одинаковым физическим законам.

Однако согласие между наблюдениями и теорией, изображенное на рис. 100, имеет более широкое значение. Массы известны с некоторой уверенностью только для относительно малого числа звезд, в то время как параллаксы и светимости измерены для нескольких тысяч. Кривая на рис. 100 позволяет сразу оценить массу звезды, абсолютная величина которой известна. Этим путем некоторые исследования, в которых требуется знание звездных масс, привели к ряду интересных результатов; мы ограничимся лишь одним упоминанием об этом новом методе исследования.

Посмотрим теперь, как результаты профессора Эддингтона относятся к ресселловской теории звездной эволюции. Сначала следует указать, что по поводу разделения звезд на гигантов и карликов, как это изображено на ресселловской диаграмме (рис. 94), нет споров. Однако та часть этой теории, объясняющая наличие поворотной точки (в точке Y) при развитии гигантов сперва вдоль ХУ и затем вниз вдоль главного ряда нарушением газовых законов, считается теперь несостоятельной, так как карлики подобно гигантам находятся в условиях совершенного газа.

Далее рассмотрим несколько подробнее свойства звезд спектральных классов А, G и M, принадлежащих к главному ряду YZ (рис. 101). Звезды класса А обладают большей светимостью, чем звезды класса G, а G-звезды — большей светимостью, чем M-звезды; зависимость между массой и светимостью (рис. 100) определяет массы звезд (при

вычислении кривой солнечная масса принята за единицу). Плотности, показанные на рис. 101, выражены в единицах плотности воды. Ряд А, G, M есть ряд уменьшающихся масс, увеличивающейся плотности и уменьшающейся поверхностной температуры, а следовательно и уменьшающейся поверхностной яркости. Кроме того из теории профессора Эддингтона вытекает тот замечательный факт, что центральные температуры этих весьма различных звезд практически совершенно одинаковы, имен-

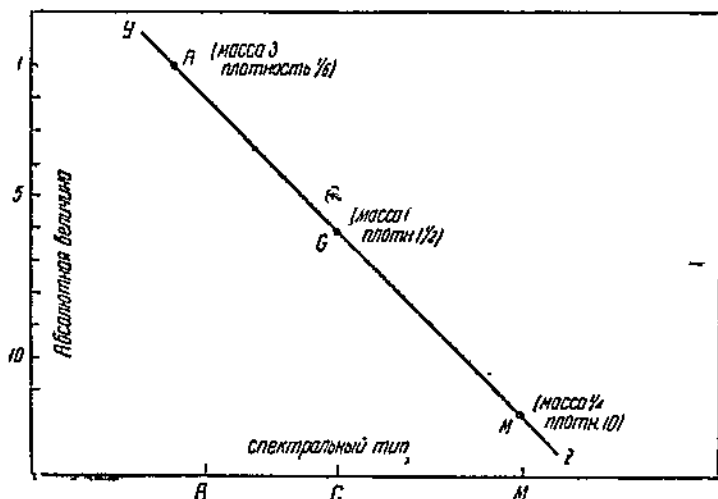


Рис. 101.

но равны примерно 40 миллионам градусов Цельсия. Если звездная эволюция вообще имеет какой-либо смысл, то из диаграммы Ресселла кажется ясным, что развитие звезд по основному ряду может протекать только по двум путям: или прогресс эволюции направлен от А к G и к М или в обратном направлении. В пользу последней возможности можно сказать очень мало. Посмотрим, что нам дает первая. Если звезда в некоторый момент своей истории находится в точке А, а в некоторый последующий момент развивается в звезду G, то эволюция должна сопровождаться потерей массы; звезда А должна действительно освободиться от двух третей своей массы, прежде чем начать существовать в качестве звезды G. Аналогично Солнце

(звезда G) должно потерять около $\frac{3}{4}$ своей массы, прежде чем достигнет стадии красных карликов (звезда класса M). Каким же образом звезда теряет свою массу? Давление радиации может и, вероятно, фактически выбрасывает в пространство постоянный поток атомов из солнечной хромосферы.

Однако это предположение совершенно несостоятельно, так как может объяснить лишь незначительное уменьшение звездной массы. Мы знаем однако, что Солнце и каждая звезда выбрасывают огромные количества тепловой и световой энергии. Согласно теории относительности масса и энергия суть связанные между собою понятия; потеря энергии может, следовательно, считаться вместе с тем и потерей массы, и если первая известна, то вторую можно вычислить. Этим путем было обнаружено, что при, казалось бы, простом процессе излучения тепла и света Солнце теряет массу со скоростью 4 млн. тонн в секунду! Такая потеря энергии или массы, очевидно, не может продолжаться вечно. Способность Солнца сиять никак нельзя считать неисчерпаемой. Откуда же тогда получаются огромные запасы солнечной энергии, столь расточительно излучаемой им в пространство?

Полстолетия тому назад Гельмгольц и лорд Кельвин предложили теорию, до сих пор еще известную под названием теории сжатия. Солнце (или какая-нибудь другая звезда) постепенно сжимается, и образующие его частицы падают под влиянием тяготения все ближе к центру шара. Происходит постепенное превращение потенциальной энергии в тепловую, которое продолжается до тех пор, пока сжатие возможно; этим путем Солнце (или другая звезда) приобретает необходимый запас энергии, который поддерживает его способность светить. Теория математически сама по себе, несомненно, правильная, но согласуется ли она с фактами? Сравнительно просто можно вычислить то время, которое потребовалось бы Солнцу на сжатие из большого газового шара до его настоящих размеров. В круглых цифрах оно равно 20 млн. лет. На некоторой стадии солнечной истории из Солнца образовались Земля и планеты; следовательно, возраст Земли не может быть больше 20 млн. лет. Однако здесь как раз и возникают противоречия между теорией сжатия и множеством геологических (и прочих) данных. Элемент уран превращается с известной скоростью, которую можно точно

измерить (между прочими веществами), в свинец. Процент свинца в какой-нибудь урановой породе позволяет сделать довольно точную оценку возраста этой породы, давая этим некоторый путь к определению возраста Земли или скорее земной твердой коры. В ответе получается 1 300 млн. лет. Существуют другие подтверждения этой оценки. Солнечный возраст должен быть еще больше — он не может быть значительно меньше 2 000 млн. лет. Вывод получается совершенно определенный: Солнце должно черпать свои запасы энергии из большего числа источников, чем это мыслится в теории сжатия. Имеется лишь один возможный дополнительный источник, это — энергия, находящаяся внутри самих атомов, т. е. так называемая внутриатомная энергия. Никто не может сказать, как эта энергия освобождается; пока же эта тайна не разрешится, проблема звездной эволюции останется полностью на мертвой точке. Джинс высказал предположение, что в глубокой внутренности звезды происходит уничтожение материи,¹ обусловленное падением друг на друга положительно заряженных протонов и отрицательно заряженных электронов; они, так сказать, взаимно уничтожаются, и в результате остается некоторая доля энергии в форме радиации. Выходит, что для того чтобы жить, звезда должна разрушать самое себя, хотя бы частично; выражался проще, звезда как бы излучает свою массу. Кроме того запасов освобожденной энергии более чем достаточно для самых требовательных запросов геологической науки.

Вернемся теперь к проблеме звездной эволюции. Звезда спектрального класса А и с массой, в три раза большей солнечной, может превратиться в звезду, подобную во

¹ Известно, что Джинс в своей теории «уничтожения» материи делает большой упор на том, что материя фактически уничтожается, т. е. из бытия переходит в лбытие. Сопровождающее его выделение лучистой энергии рассматривается им по-прежнему и лишь как некоторого рода побочный продукт «уничтожения» вещества. Нетрудно видеть, что подобная точка зрения является чисто идеалистической, стоящей в непримиримом противоречии с основными положениями диалектического материализма, который утверждает, что материя вечна. Философская путаница в теории Джинса происходит от того, что он не хочет признать за радиацией материальных свойств. Между тем с точки зрения диалектического материализма это именно так, и тогда вместо пресловутого «уничтожения» материи мы получаем просто новый вид перехода материи из одной формы (шпертной) в другую (радиация). (Прим. ред.)

р всех отношениях Солнцу, только потеряв $\frac{2}{3}$ своей массы (рис. 101). Если излучение массы вследствие уничтожения материи внутри звезды является более чем простым измышлением, то подобная эволюция возможна и ход эволюции Расселла сохраняет свои основные черты. Возможно даже вычислить продолжительность различных стадий звездной эволюции. Если наше Солнце действительно было когда-нибудь столь же массивно, как звезда А (рис. 101), т. е. обладало в три раза большей массой, то для такого уменьшения массы необходим период приблизительно в шесть-семь миллионов миллионов лет. Если Солнце начало свою жизнь, будучи очень массивной звездой, то возраст его должен быть несколько больше; в круглых цифрах его можно считать равным 7 миллионам миллионов лет, причем этот период удобно обозначать космогонической единицей времени. Если Солнце будет продолжать эволюционировать в красного карлика с массой в $\frac{1}{4}$ его настоящей величины, то на этот процесс потребуется не меньше 80 космогонических единиц времени. Подобные числа поражают воображение. Гипотеза радиации массы признает за Солнцем такую древность, которая далеко превосходит признанный геологами минимальный срок; кроме того она предсказывает ему в будущем еще более длинную жизнь в качестве самостоятельно светящейся звезды.

Радиация массы есть гипотеза, окутанная тайной; однако одно из ее многих следствий еще таинственнее. На стр. 280 говорилось, что центральные температуры трех типичных звезд А, G и М (рис. 101) совершенно одинаковы, именно равны приблизительно 40 миллионам градусов Цельсия. Можно вычислить различные скорости, с которыми энергия должна освобождаться в этих трех звездах, т. е. скорость уничтожения материи; она оказывается наибольшей для А и наименьшей для М. Профессор Эддингтон описывает положение следующим образом: «Кажется странным, что звезды, требующие столь различных запасов энергии, должны для их получения достигать одной и той же температуры. Мы едва ли можем думать, что у материи имеется своего рода точка кипения (независимая от давления), при которой масса «выпаривается» в энергию. Все явление представляется крайне запутанным».

Мы начали эту главу с описания эволюционной теории,

которая одно время, повидимому, прекрасно удовлетворяла астрономическим наблюдениям. В 1924 г. открытие связи между звездной массой и светимостью возбудило против всей этой схемы сомнения. Каково же положение вопроса сегодня? Понятие звездной эволюции в ресселловском смысле можно поддерживать только при ссылке на процесс вроде уничтожения материи или подобного же внутриатомного освобождения энергии, который, правда, с физической точки зрения скорее гадателен, чем достоверен. С астрономической точки зрения эта ссылка заслуживает серьезного внимания. Мы можем напомнить читателю, что возраст Солнца должен быть больше, чем позволяет простая теория сжатия; поэтому кажется неизбежным, что Солнце должно тратить, по крайней мере, в ограниченных размерах свои запасы внутриатомной энергии, неизвестно каким путем освобождаемой. Уничтожение солнечной материи предоставляет для этого более чем достаточные запасы. Если отрицать эти обильные запасы, то Солнце будет способно лишь на сравнительно малые изменения, и эволюция вдоль главного ряда окажется невозможной. Мы, повидимому, достигли мертвой точки в развитии теории и должны ждать ответа на следующие вопросы: «Каким путем освобождается внутриатомная энергия? Происходит ли это путем уничтожения звездной материи или путем какого-либо иного процесса, о котором мы еще не имеем ни малейшего представления?» Смотря по ответу, эволюция звезд в описанном смысле будет или принята, или отброшена.

В настоящее время благодаря успехам атомной физики можно высказаться более определенно о возможных внутриатомных источниках звездной энергии и о их роли в звездной эволюции. Из таких источников Смарт приводит лишь один: «анигиляцию» материи. Что здесь подразумевается под «анигиляцией» или «уничтожением» см. сноску на стр. 262. Хотя условия, при котором такой процесс может происходить, остаются для нас неизвестными, но можно подсчитать, что запасов освобождающейся при этом энергии хватит на промежуток времени, значительно превосходящие сроки, объяснимые при помощи других источников. Чем больше масса звезды, тем быстрее должна она «уничтожаться», чтобы поддержать расход лучистой энергии. Так, для уменьшения массы звезды с 35-кратной до 10-кратной массы Солнца необходимо всего 65 миллиардов лет, но уже для убывания еще в 3 раза, т. е. примерно до 3,5, нужно в три раза больше времени. Если масса еще меньше, то эти сроки становятся еще значительно больше. Например, при убывании массы, равной солнечной наполовину, этот промежуток равен уже 40 миллионам

миллионов лет. Таким образом этот источник энергии вполне может объяснить продолжительность жизни звезд (в частности и Солнца). Однако не следует забывать, что пока звезда находится в гигантском состоянии, ее абсолютная яркость, а следовательно и масса остаются постоянными и потому аннигиляция не может быть допущена в качестве объяснения для происхождения лучистой энергии в течение этого периода жизни звезды. К тому же нужно думать, что этот процесс может начаться лишь тогда, когда температура внутри звезды достигнет, по крайней мере, нескольких тысяч миллионов градусов, чего нельзя ожидать у гигантов. Итак, если аннигиляция играет вообще какую-либо роль в жизни звезд, то лишь тогда, когда они находятся в карликовом состоянии, т. е. передвигаются вдоль по главной эволюционной ветви диаграммы Расселля.

Что же поддерживает звездное излучение во время гигантского состояния? Ответ на это дает открытый за последнее время и исследованный теоретически так называемый «упаковочный» эффект. Выше мы говорили о радиоактивных процессах, которые могут играть некоторую роль в поддержании звездной энергии. Однако мы видели, что срок жизни, отводимый этим источникам для звезд, получается слишком малым и потому нам пришлось его отвергнуть в качестве основного фактора звездной эволюции.

Однако, независимо от этого, само по себе явление радиоактивности может навести на мысль, что внутриатомная энергия может выделяться лишь при образовании более легких элементов из более тяжелых. На самом деле это оказывается не так, так как водород в этом смысле является исключением. Рассмотрим, например, образование гелия из водорода. Как известно, атомный вес водорода равен 1,0073. Для образования атома гелия необходимо, чтобы четыре протона соединились вместе. Так как в атоме водорода кроме протона входит лишь один электрон, массой которого можно пренебречь по сравнению с массой протона, то можно было бы ожидать, что атомный вес гелия будет равен $1,0073 \times 4 = 4,029$. Однако на самом деле его атомный вес равен всего 4,000. Таким образом при образовании гелия из водорода часть массы как бы «пропадает». На самом деле она, конечно, не пропадает, а превращается в лучистую энергию. При превращении водорода в другие, более тяжелые элементы, чем гелий, потеря массы, т. е. эффект «упаковки» атомов еще меньше. Итак, упаковочный эффект, сопровождающий образование тяжелых элементов из водорода, приводит к выделению внутриатомной энергии и связан с уменьшением массы меньше чем на 1%. При этом выделяется количество энергии, способное поддержать излучение звезды на несколько миллиардов лет.

Этого количества энергии, конечно, не хватило бы для того, чтобы поддерживать звездную энергию в течение всей жизни звезды, но этого, повидному, достаточно, чтобы поддерживать ее во время гигантской стадии, которая по всем данным должна быть короче карликовой. Это подтверждается, между прочим, тем обстоятельством, что число гигантов в галактике значительно меньше числа карликов, а между тем их относительное число должно примерно равняться отношению промежутков времени, в котором звезды пребывают в том и этом состоянии.

Итак, звездная эволюция по современным воззрениям должна ри-

соваться примерно так: звезда образуется в виде гиганта класса К или М. В это время ее излучение поддерживается как за счет сжатия, так и за счет превращения водорода. Масса ее и абсолютная яркость остаются постоянными, а температура возрастает. В это время звезда, оставаясь гигантом, передвигается от класса М к классу В. Когда температура в центре звезды достигает нескольких десятков миллионов градусов, вступает в ход аннигиляция. При этом температура внутри звезды остается примерно постоянной, а масса и абсолютная яркость убывают. Параллельно с этим увеличивается непрозрачность вещества, образующего звезду, и потому температура наружных слоев звезды понижается. В это время звезда движется по главной ветви рессловской диаграммы, оставаясь карликом. Однако при некоторых условиях (повидимому при достаточно высокой температуре) ионизация газа внутри звезды делается почти полной, т. е. атомы газа лишаются почти целиком всех своих электронов. Такой газ будет весьма сильно отличаться по своим свойствам от обычных газов и потому его называют «вырожденным». В вырожденном газе стираются все различия между химическими элементами. Он представляет собой беспорядочную смесь протонов и оторванных от них электронов. Такой газ обладает способностью почти беспредельно сжиматься. Вычисления показывают, что плотность вырожденного газа может стать в 10^{14} раз больше плотности воды. С другой стороны, этот газ будет почти совершенно прозрачным для лучей света, исходящих из внутренних слоев звезды, так как атомы с оторванными от нас планетными электронами не могут ни поглощать ни излучать свет. Находявшаяся до этого времени в плену внутри звезды радиация вдруг получает выход наружу и тогда мы видим вспышку новой звезды, в остатке от которой остается маленький белый карлик, со средней плотностью в десятки тысяч раз большей плотности воды.

Конечно, в этой схеме многое еще остается неясным, особенно явления, связанные с аннигиляцией (мы сказали выше, что она должна начинаться при температуре в тысячи миллионов градусов, тогда как в действительности температура в центре звезд остается повидимому в сотни раз меньше), однако нужно думать, что общий характер звездной эволюции в ней учтен достаточно точно.
(Прим. ред.)

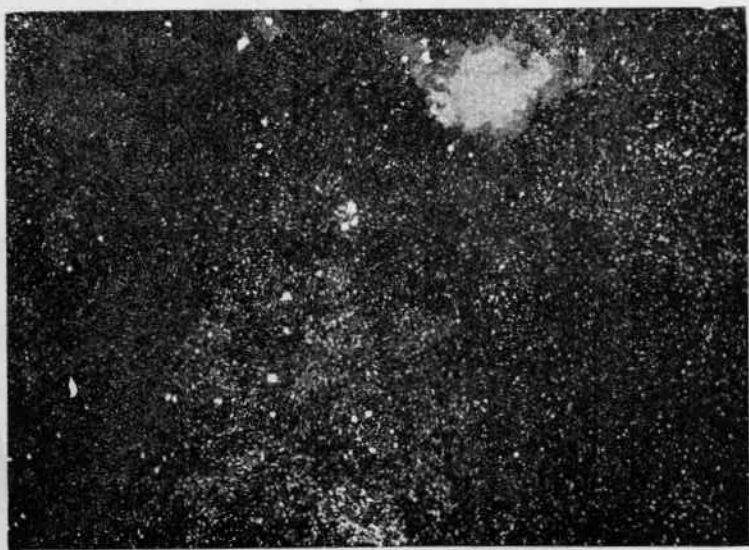
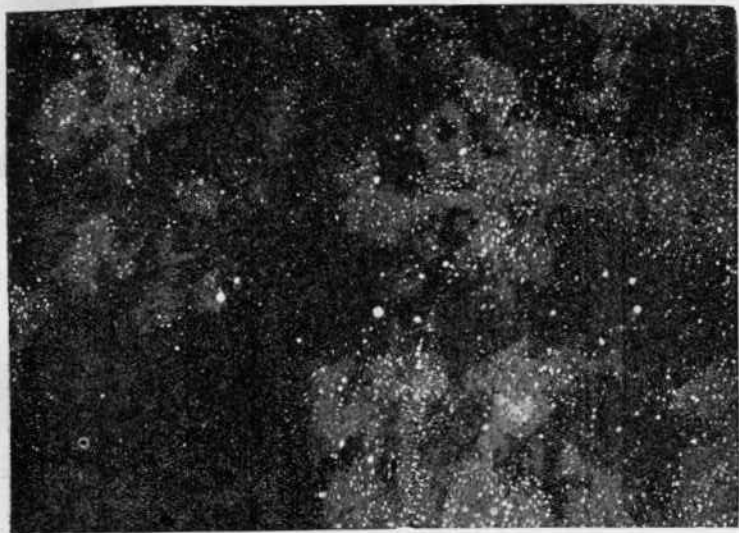
ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ И ТУМАННОСТИ

Звездные скопления разделяются на два класса — открытые и шаровые.

Первых известно около 200. За одним исключением, открытые скопления встрчаются или в плоскости Млечного Пути или вблизи него. Одним из наиболее известных скоплений этого типа являются Плеяды; поскольку оно занимает значительную область неба, принадлежность к нему звезд можно установить лишь по каким-нибудь общим свойствам, например по собственному движению. Этот критерий применялся в главе XIII (рис. 81) к членам скопления Тельца, которое захватывает еще большую область неба, чем Плеяды. Во многих скоплениях собственные движения индивидуальных звезд настолько малы, что бывает трудно решить, какие звезды действительно принадлежат к скоплению и какие образуют общий звездный фон. Открытые скопления представляют собой, без сомнения, совокупности звезд, двигающихся сквозь большую звездную систему по параллельным направлениям и с одинаковой скоростью. Одно из самых интересных скоплений известно под названием скопления Большой Медведицы; оно состоит приблизительно из 20 членов, разбросанных по обширной области неба; в него включаются пять или семь ярких звезд, образующих «ковш», а также Зиркус. Собственные движения и радиальные скорости большинства звезд этого скопления были измерены, и были получены расстояния индивидуальных звезд по методу, описанному для случая скопления Тельца (рис. 82). Оказалось, что скопление представляет собой сплюснутую систему, все члены которой лежат почти в одной и той же плоскости; направление же движения скопления почти перпендикулярно к этой плоскости.

Рассмотрим теперь шаровые скопления; за примером

отыщем читателя к картине I, на которой воспроизведен снимок большого звездного скопления в созвездии Геркулеса. Этих удивительных объектов известно всего только 69. Вместе с некоторыми наиболее заметными туманностями они впервые были занесены в каталог (в 1781 г.) астрономом Мессье, и потому они до сих пор известны по номерам каталога; скопление Геркулеса стоит в списке Мессье под № 13 и обычно обозначается M13. Новый общий каталог Дрейера (1888 г.) вместе с более поздними добавлениями содержит около 13 000 номеров открытых и шаровых скоплений и туманностей; номер каталога, предшествующий буквами NGC, указывает подобный объект. Число звезд в открытом скоплении редко превосходит несколько сотен; в шаровых скоплениях, наоборот, звезды насчитываются тысячами. Открытые скопления лежат внутри звездной системы и являются ее частью; шаровые же скопления представляют собой независимые группы звезд на границе или даже за пределами звездной системы. Даже при случайном взгляде на снимок M13 (картина I) становится немедленно очевидной трудность подсчета звезд в скоплении; эта трудность никоим образом не уменьшается при более продолжительных экспозициях, выявляющих еще более слабые звезды. По всей видимости, число звезд в системах вроде M13 едва ли меньше 100 000. Одним из величайших достижений последних лет является измерение расстояний до шаровых скоплений. Уже давно на основании видимой слабости даже самых ярких звезд скопления было установлено, что обычный тригонометрический метод измерения звездных расстояний мало пригоден для применения к звездным скоплениям. В одной из предыдущих глав мы разбирали класс переменных звезд, известных под названием цефеид, а также зависимость между абсолютными величинами этих звезд и периодом их световых колебаний. В шаровых скоплениях существует много переменных звезд, обладающих теми же особенностями, что и цефеиды. По ряду снимков можно получить световую кривую какой-либо переменной звезды скопления, и в частности можно найти период световых колебаний. Тогда по кривой, связывающей период с яркостью (рис. 93), можно определить абсолютную величину переменной. С другой стороны, видимая величина измеряется обычным путем. После того, как известны и абсолютная и видимая величины, легко вычис-



Две области Млечного пути, заснятые Барнардом, на которых видны темные туманности.

лить расстояние; это и будет действительным расстоянием скопления. Таков в кратких словах общий характер исследования, начатого Шапли на горе Вилсон. Его результаты дают первые достоверные данные об огромных размерах видимой вселенной. Для характеристики достаточно указать расстояния до самого ближайшего и самого удаленного из скоплений; ближайшим является большое скопление Центавра, находящееся на южном небе, на расстоянии около 20 000 световых лет; самое же далекое находится на расстоянии 230 000 световых лет. Воображение типично силится осознать огромную протяженность вселенной, обнаруженную изысканиями Шапли. Однако здесь есть другая особенность, также имеющая огромное значение. Наблюдениями установлен весьма сходный состав шаровых скоплений; они содержат звезды тех же самых типов, красных гигантов класса М и т. д. Одно шаровое скопление мы видим таким, каким оно в действительности было 20 000 лет тому назад, когда свет, который оставил свой след теперь на фотографической пластинке, начал свое длинное путешествие в межзвездном пространстве; другое скопление мы видим таким, каким оно было 230 000 лет тому назад. Если бы звездная эволюция представляла собой быстрый процесс, то 200 000 лет, без сомнения, наложили бы свой отпечаток на особенности звезд, принадлежащих к скоплению. Однако у нас нет ни малейших данных подозревать существование какого-либо различия в характере звезд в самом близком и самом удаленном скоплениях; отсюда можно сделать вывод, что для звездной эволюции миллион лет должен являться тем же, чем является один момент во всей человеческой истории.

Если расстояние до шарового скопления известно, то можно вычислить диаметр такой звездной системы, так как угловой диаметр получается по снимкам. Так, например, диаметр M13 оказался равным по крайней мере 100 световым годам. По сравнению с нашей собственной системой звезд размеры шаровых скоплений, очевидно, незначительны; действительно, наши телескопы могут непосредственно измерять расстояния, достигающие 1000 световых лет, и это еще ни в коем случае не предел протяженности звездной системы. Ближайшая к Солнцу звезда находится на расстоянии около $4\frac{1}{4}$ световых лет, и если мы примем это за среднее расстояние между двумя соседними звездами, то можно легко вычислить число звезд

в любом заданном объеме звездной системы. Достаточно сделать лишь грубое вычисление, чтобы показать, что звезды в шаровом скоплении должны быть расположены по крайней мере в 100 раз теснее, чем в нашей звездной системе. Но даже при этих условиях звезды в скоплениях разбросаны на весьма большие расстояния; они находятся настолько далеко друг от друга, что свету требуется в среднем несколько месяцев, чтобы пересечь пустоту, отделяющую одну звезду от ее ближайшего соседа. Спектроскоп показывает, что шаровые скопления движутся по лучу зрения с большой скоростью; действительно, их средняя скорость равна около 120 км/сек. Если поперечная скорость имеет величину такого же порядка, то собственные движения скопления, очевидно, должны быть исключительно ничтожными и находятся, вероятно, за пределами возможности измерения при помощи самых сильных телескопов. В самом деле, это как раз то, что ван-Маанен обнаружил в большом скоплении M13; однако интервал между двумя пластинками собственных движений был у него не более 10 лет, и поэтому едва ли можно было здесь ожидать определенного результата. Возможно, однако, что через промежуток лет в пятьдесят удастся измерить крошечные собственные движения хотя бы ближайших шаровых скоплений.

Туманности по их свойствам разделяют на несколько видов, а именно: на темные туманности, газовые светящиеся туманности, планетарные туманности и спиральные туманности. Первые три вида встречаются только вблизи области Млечного Пути, туманности последнего вида очень удалены от Млечного Пути.

Известные ныне нам темные туманности представлялись Вильяму Гершелю большими пустотами в небе, как если бы какая-то сверхъестественная рука вымела на чисто некоторые области пространства от звезд. Например, он отметил, что в созвездии Скорпиона имеется обширная темная площадь, в которой не видно ни одной звезды, в то время как вокруг звезды разбросаны с большой щедростью. Гершелю казалось, что некоторые части звездной вселенной пострадали в этом отношении значительно серьезнее других. Теперь, однако, считается, что темные области Млечного Пути являются доказательством существования больших затемняющих облаков — темных туманностей, которые скрывают свет от находящихся по-



Большая туманность Ориона.

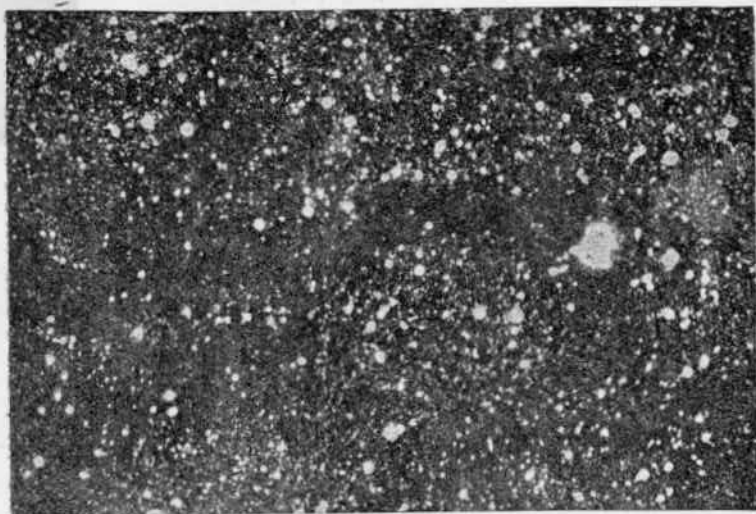
зади них звезд. Снимки на картинах XV, и XVII, а дадут читателю ясное представление об этих огромных затемняющих небесных облаках.

Из всех астрономических фотографий снимки больших газовых светящихся туманностей, вероятно, наиболее прекрасны; две на них воспроизведены на картине XVI (большая туманность Орiona) и на картине I (туманность «Тройная» M20). Несомненно, что при помощи спектроскопа мы можем получить важные сведения относительно этих прекрасных объектов. Спектры одних газовых туманностей состоят только из некоторого числа светлых линий, обусловленных светящимся газом или газами в весьма разреженном состоянии, в то время как спектры других дают темные линии поглощения на светлом фоне непрерывного спектра. Несколько ярких линий, в особенности две в зеленой части спектра, которые вызывают особый зеленоватый оттенок туманности в телескопе, остаются до последнего времени неотожествленными ни с какими известными земными элементами. Это так называемые линии небулия, которые считались сначала обусловленными неизвестным элементом небулием; о нем мы скажем еще несколько позднее. Большой шаг вперед в интерпретации газовых туманностей был сделан в 1924 г. Хабблом на горе Вилсон. Он определенно показал, что светимость туманностей должна быть приписана действию близких к ним ярких звезд; например, в созвездии Орiona имеется яркая кратная звезда, снимки Плеяд с продолжительной экспозицией дают обширную туманность, окружающую наиболее яркие звезды. Однако, это еще не все. Газовая туманность с яркими спектральными линиями всегда оказывается связанной с очень горячими звездами типов O или B0, туманность же со спектром поглощения — с более холодными звездами классов B1—B9, A, F, G, K. С этой точки зрения светимость туманности приписывается главным образом влиянию физически связанной с ней звезды или звезд; не будь возле туманности звезд, последняя обладала бы, вероятно, всеми особенностями темных туманностей, на которые мы уже ссылались. Что касается газовых туманностей со спектром поглощения, то весьма возможно и даже вероятно, что эти туманности представляются яркими лишь в результате отражения света связанных с ними звезд от составляющих их частиц, мелкой пыли или разреженного газа. Однако это объяснение со-

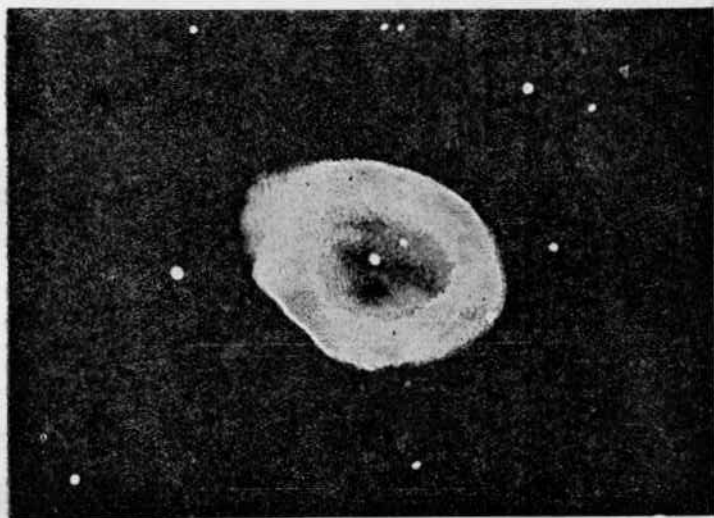
вершенно неприемлемо для туманностей с яркими линиями. Весьма интенсивная радиация, излучаемая очень горячими звездами, очевидно, способна возбуждать светимость некоторых газов в туманности; небулий — наиболее заметный из числа этих элементов. Оценки расстояний были получены только для одной-двух газовых туманностей, да и то лишь косвенными методами. На основании изучения собственных движений звезд, связанных с большой туманностью Ориона, Калтейн нашел для этого объекта расстояние в 600 световых лет.

Известно свыше ста планетарных туманностей. Одной из самых прекрасных планетарных туманностей является кольцевая туманность в созвездии Лиры, показанная на картине XVII, *b*. Из 78 объектов этого класса, видимых на северном небе, 56 обладают центральными звездами. Центральная звезда принадлежит во всех случаях к спектральному типу O, т. е. к самым горячим звездам; вследствие этого спектр туманности представляет собой спектр ярких линий с зелеными линиями небулия, столь же отчетливыми, как и в газовых туманностях. Другие туманности этого класса дают спектры с темными линиями. Мы видели, что юные звезды через несколько месяцев после их возгорания превращаются в звезды класса O и что они иногда бывают окружены туманной оболочкой. Эти факты позволяют думать, что планетарные туманности, как правило, представляют некоторую стадию в жизни новой звезды, которая паступает, по всей вероятности, через долгое время после взрыва, который поднимает ее на высочайшие вершины великолепия. Радиальные скорости измерены всего для нескольких планетарных туманностей; в среднем они равны 40 км/сек; следовательно, их пространственные скорости должны быть много больше, чем средняя пространственная скорость звезд. Измерения параллакс, сделанные на горе Вилсон, указывают, что диаметры газовых слоев должны быть по крайней мере в несколько раз больше диаметра солнечной системы.

В конце 1927 г. была раскрыта тайна, окружавшая происхождение неизвестных линий, в спектрах газовых и планетарных содержащих яркие линии туманностей. Уже задолго до того было установлено, что рассматриваемые линии вызываются не каким-нибудь еще не открытым элементом, а что они должны быть обусловлены одним или несколькими из числа обычных элементов, только



а. Коконообразная туманность и темные туманности.



б. Кольцевая туманность в Лиры.

находящимися в необычных условиях. Эта задача принадлежала к числу тех задач, в которых особенно полезно бывает совместное участие астрофизиков и теоретиков-физиков; первые должны давать точные измерения длин волн и интенсивности неизвестных линий, последние же — применить принципы атомной теории к состоянию ионизированных атомов элементов. Разгадчиком тайны: небузий есть не что иное, как главные составные части вдыхаемого нами воздуха, т. е. кислород и азот, атомы которых, носящиеся в чрезвычайно разреженном газе туманностей, пахотятся в однажды и дважды ионизированном состоянии, — является Боуен из Пасадены.

Теперь мы переходим к спиральным туманностям, которые встречаются в областях неба, лежащих вне Млечного Пути; наряду со спиралями мы должны упомянуть о чечевицеобразных туманностях (представляющих собой, возможно, спиральные туманности, только видимые сбоку), а также об имеющих очень правильную форму эллиптических и шаровых туманностях. На картине XVIII, *a* дан пример туманности из семейства спиральных туманностей, а на картине XVIII, *b* — снимок чечевицеобразной туманности NGC 4594 с темной теневой полосой, идущей поперек нее. Спиральный характер этих объектов был впервые обнаружен в 1845 г. большим рефлектором лорда Россса в Ирландии. Уже первые спектроскопические наблюдения спиральных туманностей были убедительны в одном отношении; эти туманности не могут быть огромными массами раскаленного газа, подобно газовым туманностям, а представляют собой в первую очередь скопления звезд. Этот вывод был сделан на основании вида их спектра, в котором проявляется замечательное сходство со спектром поглощения звезд классов F и G. Позднее по снимкам с продолжительными экспозициями было непосредственно доказано, что облакообразная большая туманность Андромеды (картина XIX) представляет собой огромное скопление крайне слабых звезд. Спектроскопу удалось также измерить скорость по лучу зрения нескольких самых ярких туманностей. Около 90% этих радиальных скоростей представляют собой скорости удаления; самой большой из числа до сих пор измеренных является огромная скорость 1760 км/сек, направленная в сторону от Солнца. Самая большая спираль, именно туманность в Андромеде, имеет радиальную скорость приближения,

равную 320 *млсек*. До последнего времени вопрос о расстояниях спиральных туманностей был одним из вопросов, возбуждающих оживленные споры между двумя различными научными школами. С одной стороны, существовало мнение, что спирали находятся на сравнительно незначительных расстояниях, а, с другой стороны, что расстояния их невообразимо велики; последний взгляд выкристаллизовался в заключение, что спирали представляют собой так называемые островные вселенные, крайне удаленные от нашей собственной звездной системы и сравнимые с ней по величине.

Возможно ли каким-нибудь образом определить расстояние до спиральной туманности, подобной туманности Андромеды? Исследования были предприняты по двум направлениям. Во-первых, по наблюдениям в туманностях новых звезд, во-вторых, по наблюдениям переменных звезд цефеид. В 1885 г. была открыта первая новая звезда в туманности Андромеды. В высшей точке своего возгорания она достигла 7-й видимой величины; при современном представлении о расстоянии туманности эта звезда в период максимума яркости должна была быть в 100 миллионов раз ярче Солнца. С тех пор в туманности было открыто и исследовано свыше 80 новых звезд. По таким звездам, как Новая Персея (1901 г.) и Новая Орла (1918 г.), разобранным в предыдущей главе, можно получить довольно точные сведения о средней абсолютной величине этих звезд в тот момент, когда они достигают своей наибольшей яркости. Если новые звезды, вспыхивающие в спиралях, хоть сколько-нибудь сравнимы с этими звездами, то для первых можно принять среднюю абсолютную величину последних и получить затем по наблюдаемой видимой величине расстояние туманности. Гораздо более достоверная оценка расстояния туманности Андромеды, однако, была получена Хабблом на основании исследования открытых им в туманности цефеид. Мы уже объяснили применение метода, и потому теперь достаточно только сообщить результаты. Туманность Андромеды находится на расстоянии 900 000 световых лет. Аналогичным путем Хаббл нашел, что спиральная туманность M33 расположена приблизительно на том же самом расстоянии от нас. Зная угловые размеры большой туманности Андромеды, мы можем теперь вычислить ее размеры в световых годах. Оказалось, что диаметр ее равен около 50 000 световых



а. Спиральная туманность (M15) в Гончих Псах.



б. Чечевидеобразная туманность (NGC4594) в Деве.

лет. Право туманности считаться независимой звездной вселенной, организованной в большом масштабе и изобилующей миллионами звезд, повидимому, бесспорно. Вследствие ее больших видимых размеров (наибольший угловой диаметр около 3°) более чем вероятно, что туманность Андромеды есть ближайшая или одна из ближайших к нам туманностей из этого семейства. Меньшие по виду спирали находятся, вероятно, на еще более огромных расстояниях, которые, может быть, имеют порядок от 10 до 100 миллионов световых лет от нас. На кого же не произведут глубокого впечатления одни только размеры вселенной?

На южном небе совершенно в стороне от Млечного Пути имеются два бросающиеся в глаза звездных облака, называемых Большим и Малым Магеллановыми облаками. Снимок первого дан на картине XX. Они были впервые изучены Джоном Герцелем во время его памятного и плодотворного пребывания на мысе Доброй Надежды между 1834 и 1838 гг. с таким же искусством и терпением, с которыми он наблюдал объекты, видимые на северном небе. В обоих облаках Гершель открыл большое число звездных скоплений и газовых туманностей; это дало ему уверенность в том, что каждое из этих больших облаков представляет собой независимую островную вселенную. В более позднее время эти объекты привлекли и теперь еще привлекают огромное внимание. Мы видели выше, что как раз для цефеид, наблюдаемых в Малом облаке, впервые была установлена зависимость между светимостью и периодом световых колебаний. По более точным и подробным данным, полученным на основании обширной фотографической программы наблюдений, Шалли смог получить согласно общему мнению достоверную оценку расстояния этих двух облаков. Малое облако находится на расстоянии в 100 000 световых лет, а Большое облако — на расстоянии в 110 000 световых лет. Диаметр Малого облака оказался равным около 6 500 световых лет, диаметр же Большого облака вдвое больше. Итак, Магеллановы облака представляют собой островные вселенные, но значительно меньшего масштаба, чем большая туманность Андромеды. Спектроскопические наблюдения дали для газовых туманностей, принадлежащих к Большому облаку, среднюю скорость удаления в 270 км/сек; эту скорость можно приблизительно считать скоростью удаления са-

мого Большого облака от нашей звездной системы. При столь огромных расстояниях получающиеся на снимках звезды должны представлять лишь небольшую долю общего числа звезд в облаках. Если звезды в Магеллановых облаках сходны во всех отношениях с нашим Солнцем, то видимая величина их должна быть около 23, т. е. много слабее, чем удается получить даже с нашими большими телескопами. Современная фотография, несмотря на свою чрезвычайную силу, может показать нам в удаленных системах только гигантов; до сих пор карлики с успехом ускользали от наших самых тщательных наблюдений.

О РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ

Как отмечено в книге Смарта, для лучевых скоростей внегалактических туманностей в подавляющем большинстве случаев наблюдения дают очень большие и положительные значения, достигающие тысяч километров в секунду. За последнее время число туманностей с измеренными лучевыми скоростями значительно возросло, причем отмеченная Смартom особенность не только целиком подтвердилась, но и скорости отдельных туманностей получаются еще гораздо больше, доходя до нескольких десятков тысяч километров в секунду. Тот факт, что почти все лучевые скорости туманностей положительные, показывает, что они все от нас удаляются во все стороны с громадными скоростями. Оказалось, даже больше, что если учесть то обстоятельство, что мы наблюдаем эти движения с Земли, которая вместе с Солнцем движется вокруг центра галактики с большой скоростью в 300 км/сек, то даже то небольшое число туманностей, вроде туманности Андромеды, на самом деле тоже удаляются от нас, правда, не с такой большой скоростью, как остальные.

Хебблу, который особенно много занимался исследованиями внегалактических туманностей, мы обязаны замечательным открытием зависимости между расстояниями до туманностей и величиной скорости их удаления.

Созвездие	Расстояние в млн. свет. лет	Средняя луч. ско- рость в км/сек
Центавр	6	890
Пегас	24	3 800
Рак	29	4 800
Персей	36	5 200
Волосы Вероники	45	7 500
Большая Медведица	72	11 800
Лев	104	19 600



Большая туманность Андромеды.

В вышеприведенной таблице дан небольшой список внегалактических туманностей, где эта зависимость выступает достаточно наглядно. В первом столбце указано название созвездия, в котором находятся туманности, во втором — расстояние в миллионах световых лет (1 парсек равен 3,26 свет. лет) и в третьем — средняя лучевая скорость туманностей из группы туманностей, находящихся в данном созвездии.

Легко убедиться, что цифры, стоящие в третьем столбце, почти в точности в 170 раз больше соответствующих цифр второго столбца.

Итак, скорость удаления пропорциональна расстоянию до туманности. Чем же можно объяснить такую необычную закономерность? Ведь, допустить, что все эти туманности действительно удаляются во все стороны от той точки пространства, где находятся Солнце и Земля, значит по существу снова вернуться к старой геоцентрической точке зрения, которая была отвергнута после Коперника. Очевидно, что это не так.

В поисках объяснения этого явления и была создана столь шумевшая за границей, да отчасти и у нас, теория «расширяющейся» вселенной. Основана эта теория на результатах, которые можно получить из теории относительности Эйнштейна. Делая целый ряд довольно произвольных допущений. Фридман, Леметр и др. получили уравнения, которые показывают, что объем, занимаемый вселенной, имеет конечную величину.¹ Объем, занимаемый вселенной не остается неизменным, а с течением времени изменяется. Собственно, теория не позволяет сказать, должен ли объем вселенной уменьшаться или увеличиваться. Ответ на этот вопрос, как говорят сторонники этих теорий, дают наблюдения над движениями туманностей; раз они удаляются, значит — вселенная расширяется. Другими словами, поскольку весь объем, занимаемый вселенной, увеличивается, словно вылетевшее из трубы облако дыма, то здесь мы ограничимся лишь замечанием, что, утверждая конечность вселенной, эти теории, конечно, не предполагают, что у вселенной имеется граница, так как тогда мы сейчас же столкнулись бы с вопросом: а что делается за этими пределами вселенной, грубая нелепость которого очевидно показывает невозможность существования никакого «конца» света.

Расстояние между каждой парой образующих вселенную туманностей должно увеличиваться, подобно тому как увеличиваются расстояния между частицами дыма, когда он, вылетев из трубы, расширяется во все стороны. Эти теории, однако, приводят к целому ряду совершенно нелепых выводов, которые показывают, что заложенные в основе их предпосылки грубо ошибочны. Например, если встать на точку зрения этих теорий, то на расстоянии примерно в 2 000 млн. свет. лет (примерно 600 млн. парсек), т. е. всего в несколько раз дальше туманностей, до которых уже теперь мы имеем возможность определить расстояние, скорость удаления станет больше скорости

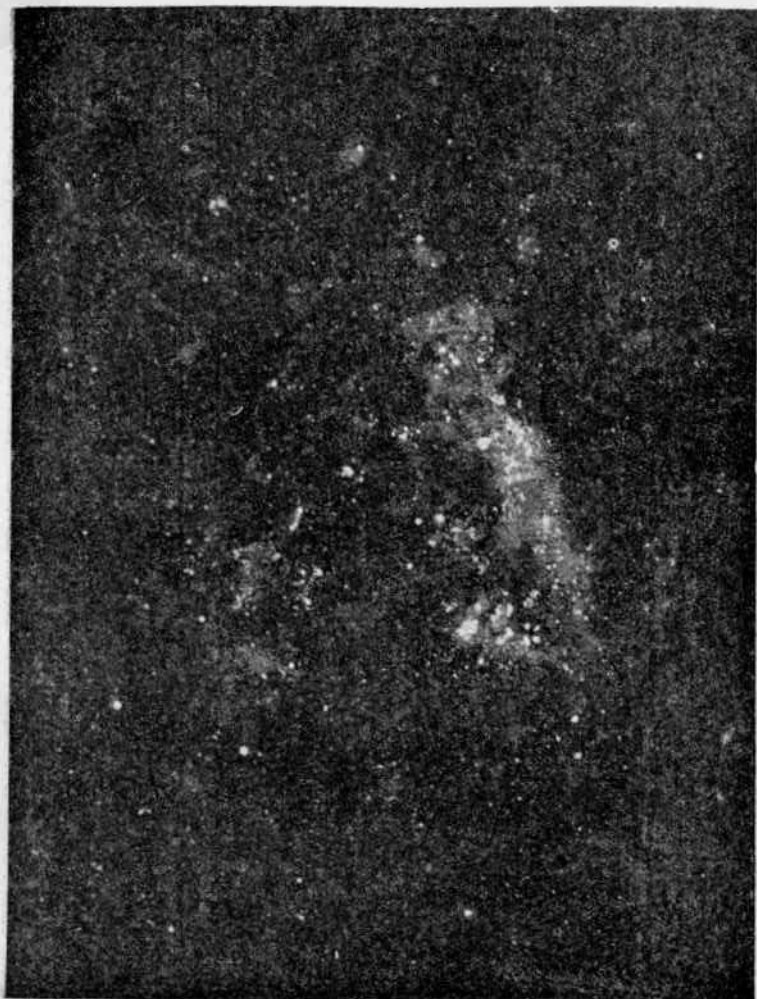
¹ Мы здесь не можем вдаваться в подробности относительно деталей этой теории, а интересующегося читателя отошлем к другим источникам, например к учебнику астрономии для педвузов Попова, Баева и Лявова, часть II, Учгидиз, 1934 г., где теории рассмотрены более подробно и где показана их несостоятельность с точки зрения философии диалектического материализма.

света и потому свет от туманностей никогда не дойдет до нас, т. е. такие туманности перейдут в разряд «непознаваемых» объектов.

С другой стороны, если теперь объем вселенной увеличивается, то, следовательно, в прежнее время он был меньше. Можно подсчитать, что объем вселенной должен удваиваться за промежутки времени всего в 1,3 млрд. лет. Таким образом за время, протекшее по данным геологии со времени образования Земли, вселенная «успела» увеличить свой объем в целых 4 раза. Если же попробовать проследить процесс расширения еще дальше назад, то получаются выводы еще более изумительные. Выходит, например, что 100 млрд. лет тому назад объем вселенной был равен... нулю? Нелепость такого вывода бросается в глаза, если мы вспомним, что для продолжительности жизни отдельной звезды современная теория дает цифру по крайней мере в 10 раз большую, чем этот «возраст» вселенной. Это уже не говоря о том, что, остав на точку зрения этих теорий, мы приходим к неизбежному выводу о начале существования вселенной (а следовательно и о ее конце), что ведет прямым путем к самым «сверхъестественным» следствиям. Истинная причина удаления туманностей остается таким образом пока не выясненной. Однако запомнательно, что знаменитый английский астрофизик Милл недавно предложил совсем простую и наглядную теорию, которая может совершенно естественно объяснить это загадочное явление и не приводит ни к каким «сверхъестественным» выводам.

Допустим, что в какой-нибудь момент времени внегалактические туманности, доступные нашему исследованию, занимают какой-нибудь объем пространства. Внутри этого объема они будут двигаться в беспорядке каждая в свою сторону. Так как размеры туманностей ничтожно малы по сравнению с их взаимными расстояниями, то опасаться большого числа столкновений между ними не приходится. Таким образом каждая туманность будет продолжать двигаться каждая в свою сторону с неизменной скоростью. Посмотрим, как же будет выглядеть наш рой туманностей по прошествии некоторого достаточно большого промежутка времени. Ясное дело, что наиболее медленно двигающиеся туманности так и останутся в пределах примерно прежнего объема. Но не так будет с туманностями, которые двигаются быстрее. Чем быстрее летит туманность, тем дальше успеет она улететь за пределы прежнего объема роа.

Таким образом, если мы станем измерять скорость движения туманностей изнутри прежнего объема, то в среднем, чем дальше они будут находиться, тем быстрее они будут от нас удаляться. Хотя теория Милла пока еще и не может быть признана окончательной, так как в ней Милл также приходит к целому ряду абсолютно неприемлемых выводов, тем не менее она показывает, что рассматриваемое явление можно объяснить и не прибегая к таким рискованным теориям, как теория расширяющейся вселенной. Самое же лучшее не спешить с выводами, а подождать, когда наблюдения позволят нам проникнуть поглубже в эту волнующую тайну. (Прим. ред.)



Большое Магелланово облако.

Глава семнадцатая

ВСЕЛЕННАЯ

На предыдущих страницах мы описали различные типы астрономических тел, а именно: Солнце и членов солнечной системы, звезды, темные и светящиеся туманности, шаровые скопления и спиральные туманности. В этой последней главе мы попытаемся представить картину вселенной в ее самых общих чертах и описать возможное происхождение и развитие отдельных объектов и систем, самое существование которых возбуждает глубочайший интерес. Несмотря на почти неслыханный прогресс во всех областях науки и на благотворное участие современной физики, было бы хвастовством сказать, что современной астрономии удалось очень далеко проникнуть в тайны вселенной. Цитадель, разумеется, атаковалась со всех сторон и с каждым днем все ожесточеннее с применением всех видов старого и нового оружия, но все, что осаждающие могут считать выигранным, — это возможность бросить издалека робкий взгляд на сокровища научной истины, заключенные в ее стенах. Как в военных действиях осторожность может быть столь же существенной, как смелость, так и в наших размышлениях о вселенной мы должны соединить оценку самых смелых гипотез с осторожностью, рожденной нашим знанием несовершенства человеческих рассуждений.

Согласно нашим современным взглядам вселенная представляет собой собрание отдельных больших систем, размеры которых, однако, малы по сравнению с огромными расстояниями, разделяющими две соседние системы друг от друга. Мы можем сравнить вселенную с широким океаном, усеянным небольшими островами различных размеров; одним из наибольших островов, повидимому является та система, в которой солнечная система — лишь скромный член и которая называется галактической

системой. Другие аналогичные системы суть спиральные туманности, о числе которых мы можем только смутно догадываться. В первую очередь рассмотрим галактическую систему, в которой расположено наше Солнце. Путем непосредственного измерения можно сделать топографическую съемку только сравнительно небольшой части галактической системы, которая находится в пределах нескольких сот парсеков от Солнца. Как же нам получить достаточно удовлетворительное представление о размерах и форме нашей системы в целом? Вильям Гершель первый применил к задаче новый метод исследования, который был значительно разработан в недавние годы. Коротко говоря, этот кажущийся простым метод заключается в подсчете звезд различной величины в различных частях неба. Всякому, смотревшему в телескоп, хорошо известно, что звезды наиболее многочисленны в областях, недалеких от Млечного Пути, и наименее многочисленны у его полюсов. Млечный Путь представляет собой приблизительно большой круг на небесной сфере и определяет собой плоскость симметрии в распределении звезд, так что распределение звезд по одну сторону от него довольно точно воспроизведено по другую его сторону. Полное исследование числа звезд различных величин во всех частях неба является, очевидно, работой, которая потребовала бы больше лет и больше труда, чем все обсерватории мира считали бы справедливым посвятить этой задаче. Поэтому на практике метод применяется лишь к некоторым определенным областям неба, выбранным по их положению относительно Млечного Пути; по подсчету звезд в этих областях можно довольно точно вывести распределение звезд по всему небу. Рассмотрим сначала число звезд различной величины, разбросанных по всему небу. Следующая таблица (6), составленная Сирсом и ван-Рейном, дает число звезд ярче, чем видимая визуальная величина 4,0, 5,0, ..., 20,0.

Здесь можно упомянуть, что эти результаты основаны на измерении фотографических величин в областях неба, специально выбранных для этого исследования; для перевода фотографических величин в визуальные вносилась соответствующая поправка (зависящая от среднего колор-индекса звезд). В столбце, озаглавленном «отношение», даны числа, представляющие отношение общего числа звезд ярче некоторой величины к общему числу звезд

ярче предыдущей величины, стоящему в таблице; так, например, общее число звезд ярче 6-й величины (т. е. число звезд во всем небе, видимых простым глазом) равно в три раза больше числа звезд ярче 5-й величины. Пора-
зительной особенностью таблицы является постоянное уменьшение значений отношения от 3,1 для ярких звезд до 1,7 для очень слабых. Даже самые сильные телескопы не могут продвинуть это исследование до звезд слабее

Таблица 6

Число звезд ярче данной визуальной величины

Визуальн. величина	Общее число звезд	Отношение	Визуальн. величина	Общее число звезд	Отношение
4	530	3,1	12	2 270 000	2,5
5	1 620	3,0	13	5 700 000	2,5
6	4 850	3,0	14	13 800 000	2,4
7	14 300	2,9	15	32 000 000	2,3
8	41 000	2,8	16	71 000 000	2,2
9	117 000	2,8	17	150 000 000	2,1
10	324 000	2,7	18	296 000 000	2,0
11	870 000	2,6	19	560 000 000	1,9
			20	1 000 000 000	1,7

20-й величины; но если уменьшение «отношения» продолжается в таком же духе, то где-то около 30-й величины это отношение должно обратиться в единицу. Это просто означает, что общее число звезд ярче 30-й величины будет тем же, что и общее число звезд ярче 29-й величины; иными словами, последовательность величин по существу приходит к концу, и мы достигли границ звездной системы.

Рассмотрим теперь несколько более детально, что нам дает наша таблица. Предположим на момент, что все звезды одинаковы, так что визуальная величина есть истинный указатель расстояния звезд от нас. Вспомним, что при этих условиях звезда 12-й величины должна находиться в десять раз дальше от нас, чем звезда 7-й величины. Если мы предположим, что все звезды одинаково

распределены в пространстве, то можно показать, например, что общее число звезд ярче 12-й величины должно быть точно в четыре раза больше общего числа звезд ярче 11-й величины. Таким образом, если наше предположение справедливо, то для звезд галактической системы значение «отношения» из предыдущей таблицы во всех случаях должно было бы быть равно 4. Мы, однако, знаем, что звезды не все одинаковы: некоторые из них — сверкающие гиганты, другие — слабые карлики, остальные по яркости лежат между этими двумя крайностями. Если, однако, мы сделаем более разумное предположение, что любые два объема пространства содержат гигантов и карликов в совершенно одинаковых пропорциях, то результат не меняется, именно значение «отношения» попрежнему будет равняться 4,0. Как мы видели из таблицы, «отношение» есть величина уменьшающаяся; это означает, что звезды распределены в пространстве неравномерно, и что имеет место постепенное уменьшение плотности по мере удаления на большие расстояния. Итак, все показывает, что размеры галактической системы ограничены, хотя вряд ли похоже на то, что существует отчетливая граница, за которой галактические звезды уже перестают встречаться. Тут имеется одно обстоятельство, которое стоит вкратце рассмотреть. Предыдущие рассуждения не принимали в расчет возможности поглощения света звезд материальными частицами и телами при его путешествии сквозь пространство. Мы знаем, что в различных областях Млечного Пути существуют затемняющие облака, прячущие за собой звезды; при выборе областей для подсчета звезд эти темные туманности тщательно избегались. Не могут ли с виду пустынные области галактической системы содержать мириады носящихся независимо друг от друга частиц газа или облаков пыли с рассеивающей способностью, влияющей на свет звезд подобно тому, как наша собственная атмосфера действует на лучи заходящего Солнца? В последнем случае мы приписываем красный цвет заходящего Солнца рассеиванию света коротких длин волн нашей атмосферой; эффект этот по существу состоит в рассеянии синего света, после чего основными лучами, достигающими нас, остаются лучи красного цвета. Свет от удаленной звезды будет также ослаблен, если ему придется проходить сквозь облака пыли, хотя бы разреженные; звезды будут казаться краснее, чем если бы не было

рассеяния света. Это обстоятельство тщательно исследовалось Шалли. Удаленные шаровые скопления содержат звезды почти тех же самых спектральных классов, какие встречаются и среди близких звезд; в частности, там есть звезды класса В (синего цвета), и существование их почти определенно указывает на то, что рассеяние, если оно даже и существует, должно быть совершенно ничтожным по величине. Мы снова приходим к заключению, что выводы, сделанные по предыдущей таблице подсчета звезд, остаются по существу неизменными.¹

Рассмотрим теперь распределение звезд на различных галактических широтах (на небесной сфере мы считаем Млечный Путь за основную плоскость подобно тому, как мы поступаем с земным экватором). Следующая таблица дает среднее число звезд ярче данной фотографической величины, приходящихся на 1 квадратный градус неба (приблизительно $4\frac{1}{2}$ -кратная площадь, занимаемая полной Луной) на галактических широтах 0° , 45° и 90° ; первый столбец относится к самому Млечному Пути, третий — к его полюсу.

Таблица 7

Фотографич. величина	Галактическая широта		
	0°	45°	90°
9	2,8	1,0	0,7
11	21	6,8	4,3
13	146	39	21
15	910	177	87
17	4 780	647	288
19	20 750	1 860	770
21	73 600	4 225	1 670

¹ За время, истекшее со времени появления книги Смарта, наши представления о возможности междузвездного поглощения света сильно изменились. Именно, в результате работ Триммера и ван-де Кампа пришлось сделать вывод, что параллельно плоскости Млечного Пути имеется сравнительно тонкий плоский слой темного вещества, который ослабляет свет от звезд примерно на 0,5 звездной величины на 1 000 парсеков. Мы оставляем, однако, рассуждения Смарта так, как они были написаны, не желая нарушить ход мыслей автора, который является сам одним из больших специалистов в этой области. (Прим. ред.)

Таблица весьма ясно указывает на заметное различие в плотностях звездного населения в трех рассматриваемых галактических широтах. Она показывает больше: уменьшение плотности звезд к галактическому полюсу происходит гораздо быстрее, чем разрежение в самом Млечном Пути. Отсюда можно заключить, что протяженность галактической системы гораздо больше в плоскости Млечного Пути, чем под прямым углом к ней. Итак, галактическая система есть огромная совокупность звезд, по форме напоминающая двояковыпуклое стекло. Если мы предположим на момент, что Солнце расположено где-то вблизи центра этого стекла, то, смотря в направлении Млечного Пути, где звезды более многочисленны, мы видим ребро стекла. Смотря же на один из полюсов Млеч-

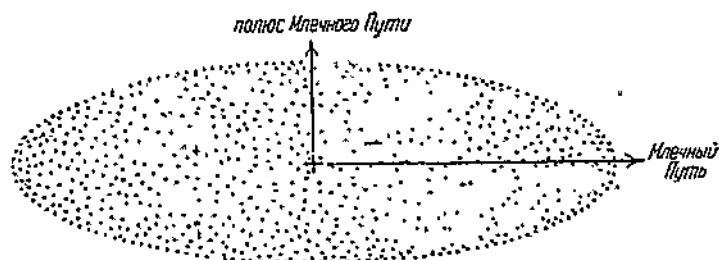


Рис. 102.

ного Пути, мы видим меньше звезд в силу меньшей глубины галактической системы в этом направлении и более быстрого разрежения звезд. Рис. 102 должен достаточно наглядно представить сечение галактической системы плоскостью, перпендикулярной к Млечному Пути.

Плоскость Млечного Пути является чем-то большим, чем просто центральной плоскостью галактической системы; это также плоскость, около которой проявляется замечательная концентрация некоторых объектов. Темные облака, светлые газовые туманности, планетарные туманности, новые звезды и открытые скопления, — все эти объекты встречаются в этой плоскости или вблизи нее. Звезды спектрального класса В образуют в своем роде сплюсненное скопление с центральной плоскостью, почти параллельной плоскости Млечного Пути. Звезды класса О — самые горячие звезды — также заметно концентрируются к этой плоскости. *

Как мы видели, на основании своих исследований шаровых скоплений Шапели удалось вычислить их расстояния. Замечательно, что огромное большинство скоплений расположено только на одной половине неба и что они почти одинаково распределены с каждой стороны плоскости Млечного Пути. Особенность распределения скоплений указывает на то, что Солнце находится на большом расстоянии от центра системы, образованной скоплениями. Следует ли нам считать скопления частью галактической системы или плотными группами звезд за ее пределами? По взглядам Шапели скопления образуют нечто вроде ряда пограничных камней, отделяющих галактическую систему от внегалактического пространства и дающих поэтому способ оценки размеров самой галактической системы. Этим путем галактика рисуется в виде огромной сплюсненной чечевицеобразной системы, наибольший диаметр которой равен 300 000 световых лет, а толщина — 10 000 световых лет. Солнце ни в коем случае не находится вблизи центра этой обширной системы; оно, как полагают, отстоит от центра на расстоянии в 60 000 световых лет, направление же к Солнцу на центр указывает на созвездие Стрельца. Это представление о галактической системе придает последней исключительное значение во вселенной; насколько нам известно, другие большие системы — спиральные туманности — не могут соперничать с ней по размерам. Сколь ни велики, без сомнения, размеры их, все же спирали представляют собой острова во вселенной; галактическая же система — это целый материк. Совершенно невозможно представить себе всю обширность нашей галактической системы и те громадные расстояния, которые отделяют ее от других больших систем, образующих вместе с нею вселенную. Как мы говорили, солнечная скорость относительно окружающих звезд равна 20 км/сек. Это, без сомнения, совершенно изумительная скорость, однако даже Солнцу потребовалось бы 4500 миллионов лет при такой скорости, чтобы пересечь галактическую систему по наибольшему ее диаметру, и почти в три раза больший промежуток времени, чтобы достигнуть ближайшей спиральной туманности.

Можно уверенно сказать, что галактическая система есть система растущая, так как своим большим притяжением она притягивает к себе и захватывает всякую блуждающую звезду или группу, попавшую в сферу ее дей-

ствия. Многие из шаровых скоплений приближаются к нам с большими скоростями, которые должны в конце концов привести по крайней мере некоторые из этих групп в пределы галактической системы. В самом деле, Шапли высказал мысль, что открытые скопления числом в несколько сотен представляет собой все, что осталось от бывших прежде плотных шаровых скоплений, которые подверглись разрушению при прохождении сквозь большую галактическую систему. Звезде также не легко ускользнуть от притяжения могущественной системы. Можно, например, вычислить скорость, с которой должен быть выпущен метательный снаряд, чтобы он вышел из-под действия влияния притяжения Земли, но еще не изобретена такая пушка, которая хотя бы приблизительно отвечала требованиям, необходимым для производства подобного выстрела. Если нам известно число, массы и распределение звезд в галактической системе, то можно вычислить, какова должна быть скорость звезды для того, чтобы у нее были шансы удалиться из системы. К сожалению, условия этой задачи нам неизвестны с достаточной точностью, но, повидимому, следует считать, что «скорость бегства» значительно превосходит известные нам скорости огромного большинства звезд. Существует некоторое число звезд с высокими скоростями, которые были изучены за последнее время Оортом и Штрембергом; они, возможно, являются лишь мимолетными визитерами в нашу звездную систему. Их скорости настолько велики, что даже огромного притяжения галактической системы, вероятно, недостаточно для удержания их в подчинении.

При помощи спектроскопа удалось измерить вращение некоторых из ярких туманностей, а это непосредственно породило мысль о возможности вращения нашей собственной галактической системы. Этот факт может быть проверен как по собственным движениям, так и по радиальным скоростям звезд. Изучая собственные движения звезд, профессор Шарлье пришел к заключению, что галактическая система действительно вращается с периодом немногим меньше 100 миллионов лет. Однако данные о собственных движениях на самом деле не так точны, как этого требует столь трудное исследование. Оорт пытался решить проблему, используя радиальные скорости. Мы должны различать две возможности: либо галактическая система вращается вокруг своей оси подобно жернову, либо движе-

ние звезд напоминает скорее обращение планет вокруг Солнца. Первый случай означал бы, что средние радиальные скорости в различных направлениях Млечного Пути были бы почти одинаковы; эта гипотеза может, разумеется, быть легко проверена.

Рассмотрим вторую гипотезу несколько подробнее. Как принято думать, Солнце находится на весьма значительном расстоянии от центра галактической системы; вследствие этого оно находится под гравитационным влиянием огромного числа звезд, массу которых можно считать сосредоточенной в центре галактической системы. Далее предположим для простоты, что Солнце и звезды описывают круговые орбиты вокруг галактического центра. Тогда так же, как и в солнечной системе, чем ближе звезда к цен-

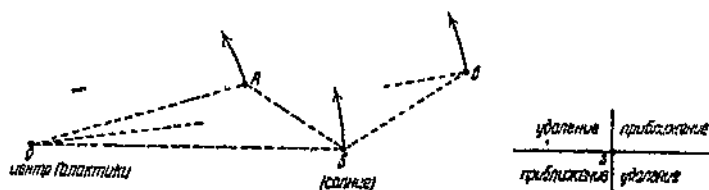


Рис. 103.

тру, тем больше должна быть ее орбитальная скорость. Рассмотрим две звезды A и B , одну находящуюся ближе к центру O , чем Солнце, а другую — более удаленную (рис. 103). Скорость A , направленная под прямым углом к OA , больше, чем скорость S , перпендикулярная к OS . Из чертежа ясно, что расстояние точки A от точки S должно увеличиваться; значит, радиальная скорость A , измеренная обычным путем, будет скоростью удаления. Рассмотрим теперь звезду B ; ее скорость направлена под прямым углом к OB и будет меньше скорости S , перпендикулярной к OS , и расстояние между B и S будет, очевидно, уменьшаться; следовательно, радиальная скорость B будет скоростью приближения. Если в описываемой теории есть хоть доля истины, то Млечный Путь, очевидно, можно разбить на четыре квадранта, в которых средние радиальные скорости звезд будут в последующих квадрантах скоростями приближения или удаления, как показано на рис. 103. Следует также добавить, что в звездах, находящихся на больших расстояниях от Солнца, описываемый эффект бу-

дет сказываться всего сильнее. Эти идеи были положены Оортом в основу его исследования, которое позднее было расширено Пласскеттом из Виктории.

Рассмотрим теперь полученные нами результаты. Одним из неизвестных факторов задачи является направление от Солнца на центр галактической системы; как Оорт, так и Пласскетт указывают положения центра в направлении, лежащем в созвездии Стрельца. Замечательно то, что это направление в точности совпадает с направлением на центр, найденным Шалли из его исследования распределения шаровых скоплений, которые, как мы видели, ограничивают, повидимому, нашу галактическую систему.

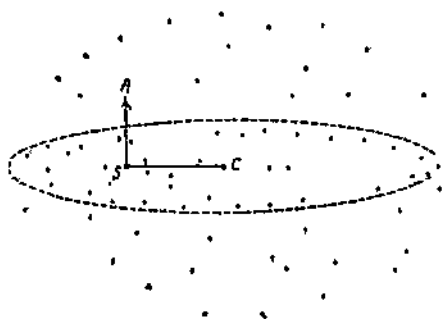


Рис. 104.

Этот факт говорит в пользу теории Оорта. Второй факт даже еще более замечателен. Если нам известно расстояние Солнца от центра галактической системы, то на основании этой теории можно вычислить среднюю скорость (или обращение) звезд, находящихся вблизи Солнца; пользуясь

оценкой этого расстояния, данным Шалли, скорость выходит равной 300 км/сек. Эта же величина очень близко совпадает со средней скоростью шаровых скоплений относительно Солнца, или, иначе выражаясь, это есть в пределах точности измерений скорость звезд вблизи Солнца относительно семейства шаровых скоплений, рассматриваемых как группы. Все это изображено на рис. 104, на котором представлена сплюснутая галактическая система с внешними точками — шаровыми скоплениями. Солнечное движение, отнесенное к шаровым скоплениям, равно 288 км/сек и направлено вдоль по SA , которая, как оказалось, почти перпендикулярна к направлению SC на центр галактической системы. Практически получился тот же самый результат, что и у Оорта, и это служит очень веским доводом в пользу теории. Повидимому, еще рано считать все детали теории определенно установленными;

однако ее общие положения получили такие солидные подтверждения, что их не так-то легко опровергнуть. Не следует, однако, думать, что эта теория дает нам больше, чем простое обобщение. Галактика представляет собой весьма сложную систему, так как она содержит все сорта звезд, открытые и шаровые скопления, газовые и планетарные туманности; и вряд ли есть основания предполагать, что все эти различные объекты или группы объектов совершенно потеряли свою независимость в качестве отдельных подсистем. Кроме того явление звездных потоков нельзя объяснить в смысле такой общей гипотезы, как гипотеза Оорта. Однако понятие подсистем дает этому явлению некоторое объяснение. Движение местного скопления звезд, окружающего Солнце, сквозь другое скопление звезд вызвало бы те же самые особенности, что и явления потоков. Мы все еще находимся на пороге нашего ознакомления с архитектурой галактической системы и движений внутри нее. Можно думать однако, что мы обладаем уже некоторым представлением об общих чертах явлений, хотя детали их всё еще остаются неясными и отчасти находятся за пределами нашего знания.

За последние годы наши представления о размерах и строении галактики подверглись довольно значительным изменениям. Дело в том, что в то время, когда писалась книга Смарта, существовало довольно значительное расхождение между размерами галактики получаемыми из непосредственных наблюдений распределения в пространстве удаленных объектов вроде шаровых звездных скоплений, о которых говорит Смарт, с одной стороны, и размерами, получаемыми из теории вращения галактики Оорта. В то время как первые давали диаметр галактики равным примерно 100 тыс. парсеков и расстояние от центра галактики до Солнца равным 16—20 тыс. парсеков, это расстояние, выводимое из теории вращения, получалось значительно меньше. Именно, теория Оорта позволяет найти из анализа звездных движений лишь отношение V/R , т. е. скорости вращения к расстоянию от центра. Если принять для V величину в 276 км/сек, как это дают движения шаровых скоплений, то для R получались значения от 6 до 9 тыс. парсеков, т. е. меньше, чем по первому способу.

С другой же стороны размеры галактики в 100 тыс. парсеков оказывались значительно больше размеров других «галактик» вроде туманностей Андромеды и др. Поэтому-то Шанли и выдвинул свою теорию о том, что наша галактика на самом деле представляет собой не «обычную» галактику, а «сверхгалактику», размеры которой значительно больше ее собратьев. Однако, это ставило нашу галактику в исключительное положение в природе, что конечно не согласуется с нашими общепринятыми представлениями о более или менее равномерном распределении вещества во вселенной. Галактика как бы становилась снова центром всей вселенной.

Эти затруднения в настоящее время можно считать в основном преодоленными. С одной стороны, из работ американских астрономов Тремплера и ван-де-Кампа удалось выяснить, что темное вещество, которое мы наблюдаем на небе в виде темных пятен, выступающих на ярком фоне звезд Млечного Пути и которые так удачно называются темными туманностями, образует в своей совокупности довольно плотный и равномерный слой, лежащий в плоскости галактики. Этот слой частично, а иногда и полностью поглощает свет звезд. Поэтому, например, внегалактические туманности вовсе не видны на небе в полосе шириной в 20° в ту и другую сторону от Млечного Пути. Так же точно и шаровые скопления. На большем удалении от Млечного Пути темные туманности уже не скрывают от нас эти объекты полностью, а лишь ослабляют их яркость. Поэтому все расстояния, которые Шопли оценивал на основании видимой яркости шаровых скоплений, содержат ошибку, — именно они на самом деле ближе, чем кажется, судя по видимой яркости скоплений. Если внести в них соответствующие исправления и снова определить расстояния до центра, то оно получается равным всего 10 тыс. парсеков, т. е. гораздо ближе к величине, даваемой теорией вращения.

С другой стороны, и величина R , получаемая из звездных движений описанным выше способом, подверглась переоценке. На основании наилучших в настоящее время определений лучевых скоростей звезд канадские астрономы Пласкетт и Пирс снова определили величину R и она оказалась почти в точности равной 10 тыс. парсеков, т. е. в полном согласии с исправленной за поглощение света величиной, найденной Шопли.

Пласкетт и Пирс нашли, что Солнце находится от центра на расстоянии примерно $\frac{1}{2}$ радиуса галактики. Таким образом радиус галактики оказывается равным 15 тыс. парсеков, а диаметр, равный удвоенному радиусу, — 30 тыс. парсеков, т. е. в три раза меньше, чем получалось раньше. Таким образом оценка диаметра нашей галактики так сказать, «пошла навстречу» диаметрам других галактик. Однако, и последние также не остались в долгу. Именно, астроном Стеббинс, применяя к измерению размеров туманности Андромеды особо чувствительный электрический фотометр, нашел, что то, что мы считали туманностью Андромеды, представляет собой лишь центральную и наиболее яркую часть этой туманности. Остальная же часть ускользала от нашего исследования, слываясь с фоном многочисленных слабых звезд, не имеющих никакого отношения к туманности, но проектирующихся на небо по соседству с ней. Беспристрастный прибор Стеббинса показал, что диаметр туманности Андромеды (а также и других туманностей, которые были исследованы Стеббинсом) по крайней мере в 2 раза больше, чем мы думали раньше. Если перевести угловые размеры в линейные, то получается, что диаметр туманности Андромеды получается равным 30 тыс. парсеков, т. е. в точности диаметру нашей галактики. Так наша галактика снова заняла в нашем представлении подобающее ей место рядового члена из бесчисленного семейства родственных ей звездных миров. Таким образом и второе затруднение, перед которым еще недавно стояла звездная астрономия, отпало так же, как отпала необходимость в теории «сверхгалактики» Шопли. (Прим. ред.)

Каково же происхождение больших звездных систем, одной из которых является наша галактика? Что представляет собой тот сырой материал, из которого сделаны звезды, и каковы были основные процессы, собравшие его в большие системы? Эти вопросы очаровывают и смущают воображение и требуют ответа, как бы слаб и неопределенен этот ответ ни был. Нельзя претендовать на то, чтобы эта великая тайна рождения мира была вскрыта при первых же попытках; многие звенья в цепи рассуждений еще недостаточно крепки, чтобы выдерживать удары критики, а реальность некоторых результатов наблюдений еще стоит под вопросом. Тем не менее картина рождения звезд и систем, нарисованная Джинсом, является одной из самых величественных. На последующих страницах мы попытаемся изложить выводы Джинса, относящиеся к области космогонии.

Космогонисты считают газовые туманности тем сырым материалом, из которого в конце концов образуются звезды и системы. Тяготение все больше и больше сближает между собой частицы, из которых состоит туманность, заставляя их в конце концов принимать сравнительно компактную форму. Однако космогонистам нужно нечто большее, чем простая газовая туманность и закон тяготения; они требуют непременно, чтобы возникло тем или иным путем вращение, которое теоретикам в самом деле столь же необходимо, как сама туманность. Туманность без вращения приняла бы сферическую форму, сжимающуюся под влиянием тяготения, но такая туманность вряд ли сделалась бы родоначальницей множества звезд. Если, однако, согласиться с тем, что первоначальная туманность приобрела вращение, то ее дальнейшие превращения могут быть прослежены более подробно. Эффект вращения вызывает прежде всего сплюснутость туманности совершенно так же, как Земля сплюснута в сторону полюсов. Однако гравитация сближает частицы все теснее друг к другу.

Из динамических принципов следует, что чем сильнее сжатие, тем быстрее вращение. Ускорение вращения сопровождается увеличением сплюснутости, пока туманность не приобретет форму двояковыпуклого стекла. Туманности такой формы известны, например NGC 4594 (картина XVIII), и даже вращение в нескольких случаях измерено; по Джинсу, подобные туманности находятся в стадии, предшествующей спиральной форме. Дальнейшее сжатие вызы-

вает разрыв туманности; это выражается в виде истечения материи с экватора чечевицеобразной фигуры туманности. Если до сих пор развитие туманности происходило под действием лишь вращения и гравитации, то теперь начинают действовать в качестве новых факторов внешние силы. Ни одна туманность не изолирована совершенно от других масс; эти массы оказывают свое гравитационное влияние на вращающуюся туманность и вызывают газовые приливы, аналогичные тем приливам, которые вызываются Солнцем и Луной на водах нашего земного шара. Истечение материи туманности имеет место не во всех точках экватора, но в двух противоположных точках «высокого прилива»; газ выбрасывается в виде двух струй, которые благодаря вращению туманности принимают форму, изображенную на рис. 105.

Газовое содержимое струй предполагается настолько обильным, что гравитационного притяжения некоторой его



Рис. 105.



Рис. 106.

части достаточно, чтобы воспрепятствовать газу рассеяться в пространстве. В результате гравитации получаются сгущения внутри струй в различных точках, как это изображено на рис. 106. По вычислениям Джинса эти сгущения имеют массы, типичные для звезд. По такому пути в силу вращения и приливного действия внешних тел предполагается развитие первоначальной туманности в спиральную, из которой в дальнейшем образуется звездная система; порожденные звезды движутся наружу вдоль спиральных ветвей. Однако может ли быть этот теоретический вывод как-нибудь проверен при помощи наблюдений? Если скорости сгущения достаточно велики, то при сравнении двух фотографий спиральной туманности M15 (картина XVII, a), снятых через довольно большой промежуток времени, можно ожидать найти большое собственное движение вдоль спиральных ветвей. Ван-Маанен на горе Вилсон провел такие исследования для нескольких спиральных туманно-

стей. В общем у него получилось в результате, что сгущения двигаются указанным выше образом и собственное движение их составляет 2 сек. в столетие. Если нам известно расстояние до туманности, то мы можем превратить угловое движение в километры в секунду. Как мы видели, Хеббл удалось измерить расстояние до туманности Андромеды, а так же до спиральной туманности М33 при помощи принадлежащих к этим системам цефеид. Расстояние до М33 с учетом измеренных ван-Мааненом собственных движений указывает на движение сгущений наружу вдоль спиральных ветвей со скоростью 25 600 км/сек. Лундмарк также измерил собственные движения в М33 по тем же самым пластинкам, результаты его много меньше и приводят вместе с оценкой Хеббла расстояния до туманности к направленной наружу скорости в 2 400 км/сек. Столь большое расхождение между результатами двух опытных астрономов, без сомнения, обусловлено громадной трудностью измерения туманных изображений сгущений на фотографической пластинке. Однако даже с менее неправдоподобными результатами Лундмарка трудно согласиться по следующим причинам. Как уже говорилось выше, скорости вращения нескольких спиральных и эллиптических туманностей были измерены при помощи спектроскопа. Например, в точке, отстоящей на полпути от центра в туманности NGC 4594 (картина XVIII), скорость равняется около 320 км/сек; для точек на некотором расстоянии от центра туманности Андромеды скорость значительно меньше — около 70 км/сек. Если эти скорости являются нормальными для спиральных туманностей как класса, то возможны лишь два объяснения обнаруженных расхождений между результатами измерений ван-Маанена и действительно полученной величиной радиальных скоростей. Либо собственные движения ван-Маанена фиктивны в том смысле, что они во много раз преувеличены, либо оценки расстояния туманностей ошибочны. Определение же этих расстояний связано с зависимостью периода и светимости цефеид; однако современная астрономическая мысль настроена против высказывания подозрений в этом направлении. Разногласие может выясниться только в будущем, когда достаточно длинный интервал времени позволит получить гораздо большую точность в собственных движениях. В этом отношении эволюционная теория Джинса зарождения звезд в ветвях спиральных туманностей должна еще ждать подтверждения в наблю-

дений. Остается, однако, замечательный факт, что во вселенной имеются все три типа туманностей, от эллиптических до вполне развитых спиральных туманностей, что, повидимому, подтверждает описанные процессы.

Можно было бы ожидать, что подобным же образом должно объясняться образование планет в солнечной системе из вращающейся газовой туманности с массой, равной массе Солнца. Однако в действительности эти две проблемы совершенно различны: в случае зарождающейся спиральной туманности струи имеют настолько большие размеры и массу, что тяготение вызывает сгущение газовой материи, пересиливая ее тенденцию к расширению; в туманности же с массой порядка звездной тяготение бес- сильно воспрепятствовать рассеянию струй. Последовательность событий в последнем случае предполагается следующей. Сжатие вращающейся туманности сопровождается,



Рис. 107.

как и раньше, ускорением вращения; если вращение становится слишком быстрым, то звезда не может сохраняться в целости: она стремится разорваться и в конце кон-

цов превратиться в двойную систему. На рис. 107 изображена последовательность изменений, которые предполагаются происходящими в звезде этой так называемой теорией «разрыва». По Джинсу разрыв звезды происходит тогда, когда сжатие довело плотность звездной материи до приблизительно 0,1 плотности воды. Как мы видели в одной из прежних глав, это есть приблизительно плотность звезд класса В. Однако не все звезды способны к разрыву, так как для этого процесса необходимо достаточно быстрое вращение; наше Солнце, например, вращается слишком медленно и не может разделиться указанным образом. Наличие большого процента двойных звезд на небе, повидимому, означает, что звезды сравнительно часто приобретают с течением времени катастрофически быстрое вращение, требуемое теорией. После того как двойная звезда уже образовалась, каждая звезда оказывает на другую приливное действие, которое вызывает постепенное взаимное удаление двух звезд до доступных вычислению расстояний. Тесные спектроскопические пары, как полагают, являются сравнительно молодыми системами, недалеко

успешными от момента разрыва; наоборот, более широкие спектроскопические пары считаются просуществовавшими более долгий срок. Приливное взаимодействие компонентов пары, однако, не способно так далеко разъединить компоненты, как это наблюдается в визуальных парах. Если спектроскопические двойные и эволюционируют в визуальные, то в этом должен участвовать другой фактор. Подобным фактором может быть рассеяние звездной массы в форме света и тепла. Однако, если этот процесс имеет хотя бы какое-нибудь отношение к этому явлению, то это значит, что необходимо в проблему ввести или гипотезу Джинса об уничтожении материи внутри звезды или какую-либо сходную с ней гипотезу.

Рассмотрим частный пример спектроскопической пары с компонентами соответственно в тридцать и в три раза массивнее Солнца. Предположим далее, что период этой пары равен 10 дням. Эти предположения, как следует добавить, не противоречат нашим знаниям о действительных соотношениях в двойных системах. На основании теории потери массы, обусловленной, например, уничтожением материи внутри звезды, можно вычислить, что через 7 миллионов миллионов лет массы будут почти в точности равны солнечной и период пары будет около 100 лет. Разделение компонентов и период будут теперь характерны для визуальной двойной звезды. При сделанных предположениях теория, повидимому, способна объяснить эволюцию массивной спектроскопической пары в визуальную со сравнительно коротким периодом в 100 лет. Однако, если мы вздумаем объяснить этим путем образование визуальной пары с периодом в несколько сот лет, то мы столкнемся с затруднениями, так как нам придется придать компонентам первоначальной спектроскопической пары массы, значительно большие, чем те, которые когда-либо наблюдались. Таким образом, хотя можно считать весьма вероятным, что огромное большинство визуальных пар эволюционировало в течение долгого космогонического периода из тесных спектроскопических двойных систем, но полного объяснения процесса еще не найдено.

Самой интересной во многих отношениях проблемой в жизни вселенной является образование нашей солнечной системы. В первой главе книги мы кратко указали на общую особенность всех планет и спутников, а именно, что все девять больших планет обращаются вокруг Солнца в

одном и том же направлении и почти в одной и той же плоскости; спутники за немногими исключениями ведут себя таким же образом. Эта закономерность заставляет думать, что тела солнечной системы не сходились вместе в различное время в результате ряда случайных захватов планет Солнцем, а что вся система в целом является следствием какого-то одного единственного космического явления. Мы даже не можем получить в данном случае указаний для раскрытия тайны ее происхождения из сравнения с другими сходными системами во вселенной. Если смотреть с ближайшей звезды, то Солнце будет казаться звездой первой величины, а Юпитер, наша самая большая планета, — слабой искоркой света около 22-й величины, находящейся на расстоянии 4' дуги от Солнца. Наши самые большие телескопы были бы бессильны открыть подобную планетную систему если бы даже она имелась около одной из ближайших к нам звезд. Пока речь идет о непосредственных наблюдениях, мы не можем сказать, является ли солнечная система единственной во вселенной или нет. Однако нам предстоит еще рассмотреть, какой процесс вызвал существование солнечной системы в ее современном виде. Расстояние между двумя звездами настолько велико, а приливное действие поэтому столь ничтожно, что оно не могло вызывать хоть сколько-нибудь заметного изменения в форме звезды. Однако звезды движутся в галактической системе туда и сюда с огромными скоростями, и возможность сближения какой-либо звезды с Солнцем в некоторую удаленную эпоху нельзя не принять во внимание. При таком условии на Солнце возникли бы большие приливы, которые вполне могли бы послужить причиной для извержения из Солнца масс газа, сравнимых по массе с массами планет. Вот вкратце основания теории Джинса о происхождении солнечной системы.

Мы видели в одной из более ранних глав, что возраст Земли должен считаться равным не менее 2 000 миллионов лет; следовательно, рождение планет совершилось в весьма далекие времена, когда Солнце было менее ступенным, чем теперь. Самым важным для теории является то, что возмущающая звезда должна была приблизиться к Солнцу на расстояние, немного большее солнечного радиуса. Если мы вспомним размеры звезд и обширные расстояния, их разделяющие, то подобное происшествие мы должны будем признать крайне необычным. Представим себе двух лас-

точек, летящих по случайным направлениям, одну из Англии, а другую из Австралии; вероятность того, что в некоторой точке их соответствующих путей они окажутся на расстоянии 15 см друг от друга, приблизительно равна вероятности весьма тесного сближения двух звезд, требуемого теорией Джинса. Когда возмущающая звезда приближалась к Солнцу, то ее приливное действие должно было возрастать по величине, так что наконец с областей солнечной поверхности, соответствующих высокому приливу, должна была выброситься большая масса солнечного газа. Истечение, повидимому, продолжалось до тех пор, пока пришедшая звезда находилась не далее определенного предельного расстояния от Солнца. На

рис. 108 изображены последовательные изменения формы Солнца, а также пути частиц выброшенной материи во время прохождения звезды. Охлаждаясь, газовая материя должна была сжиматься и образовать различные сгущения на

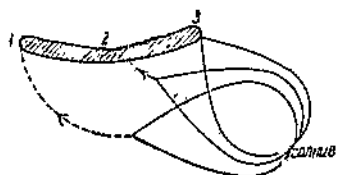


Рис. 108. Образование солнечной системы по Досеффрису

различных расстояниях от центра Солнца; эти сгущения превратились в планеты. Таким же образом приливное действие объясняет происхождение системы спутников. Например, после образования Юпитера Солнце или проходящая звезда оказали на новорожденную планету свое разрывающее приливное действие, и в результате получилось система спутников. Такова в общих чертах теория Джинса происхождения солнечной системы. Она не претендует на объяснение всех наблюдаемых деталей в структуре солнечной системы, как например, происхождение спутников с обратным движением; но она вправе претендовать на то, что дает очень вероятное объяснение рождению планет и спутников. Интересно отметить, что будь пришедшая звезда столь же массивна, как Солнце, то Солнце оказало бы аналогичное приливное действие на звезду; иными словами, как Солнце, так и звезда в результате их взаимной встречи приобрели бы семейства планет.

Основываясь на современном распределении звезд в галактической системе, вероятность близкой встречи двух

звезд крайне мала, и можно было бы, пожалуй, сразу сделать вывод, что солнечная система почти единственная во вселенной. Однако следует задать себе вопрос: может ли теперешнее распределение звезд быть сравнено с тем распределением, которое было несколько тысяч миллионов лет тому назад? Если звезды уничтожают свои массы описанным Джинсом способом, то галактическая система должна вследствие этого постоянно расширяться. Следовательно, в весьма далеком прошлом звезды должны были быть теснее сгруппированы, чем сейчас. Поэтому вероятность тесной встречи в далеком прошлом сильно возрастает, и образование планетных систем, может быть, было гораздо более обычно, чем мы сперва думали. Возвращаясь к нашему примеру с ласточками, можно вероятность считать равной вероятности того, что две ласточки, летящие по некоторым путям, в случайных направлениях, одна из Эдинбурга, а другая из Лондона, могут пролететь на расстоянии 15 см одна от другой. Против этого, однако, можно высказать то возражение, что звездное население галактической системы, по-видимому, возрастает, так что в весьма далеком прошлом число звезд в системе могло быть заметно меньше, чем сейчас. Во всяком случае нельзя думать, чтобы галактическая система теперь или раньше могла произвести более нескольких планетных систем, подобных нашей. В шаровых скоплениях и, возможно, в спиральных туманностях имеющая в них место более тесная группировка звезд представляет более благоприятные условия для приливного разрыва звезд; можно думать, что в этих огромных скоплениях звезд существование солнечных систем может быть не столь редким, как в галактической системе.

Что касается происхождения спутника Земли — Луны, то в предположении, что рождение его произошло согласно принципам, ранее изложенным для других систем спутников, заключается ряд затруднений. Прежде всего отношение массы Луны к массе Земли почти в шесть раз больше, чем отношение массы наибольшего спутника (Титана) к массе центральной планеты (Юпитера). Наиболее приемлемая теория для объяснения происхождения Луны была предложена Джорджем Дарвиным. Согласно этой теории Луна представляла собой первоначально часть Земли; на основании динамических принципов можно показать, что период вращения Земли был тогда около 4 час. Когда Земля целиком или частично находилась в жидком

состоянии, то приливное действие Солнца на быстро вращающуюся Землю вызвало разрыв земного шара, и в результате родилась Луна; взаимное приливное действие жидкой Земли и новорожденной жидкой Луны послужило причиной постепенного взаимного удаления этих двух тел.

На предыдущих страницах мы изложили, какие космические процессы в настоящее время считаются молчаливо производящими работу по образованию больших звездных систем, а также процессы, которые в далеком прошлом вызвали рождение систем планет и спутников. Обратимся теперь к другому весьма интересному предмету.

Мы видели, что в галактической системе звезды находятся на огромных расстояниях друг от друга; если мы вообразим себе песчинки, помещенные в центрах каждого из английских графств, то мы получим своего рода картину распределения звезд в галактической системе. Немедленно возникает вопрос: абсолютно ли свободны огромные области межзвездного пространства от материй той или иной формы? Мы, разумеется, знаем, что в различных областях Млечного Пути существуют обширные темные туманности, состоящие из крайне разреженной материи; весьма похоже на то, что эти темные туманности распространяются в еще более разреженном состоянии и на те области, где их затемняющая способность вряд ли может быть открыта обычным путем. Мы предлагаем теперь рассмотреть как раз те области звездной системы, где, по видимому, нет никаких темных облаков. С первого взгляда может показаться, что непосредственные наблюдения не смогут доставить никаких определенных сведений относительно пустоты или непустоты межзвездного пространства, но недавние наблюдения Пласскетта спектроскопических двойных звезд спектрального класса В весьма замечательным образом пролили свет на эту проблему. Двойной характер этих звезд был обнаружен, разумеется, по периодическим изменениям положений спектральных линий; однако в некоторых звездах обнаружено, что линии H и K кальция (и линии натрия) не участвуют в циклических изменениях и что они в спектре совершенно неподвижны. Когда оба компонента пары или один из них дают в спектре линии, то можно вычислить радиальную скорость всей системы в сторону к Солнцу или от него. Аналогично измерение неподвижных линий кальция дает радиаль-

ную скорость того кальция, который их образует. Пласкетт нашел, что, вообще говоря, эти две скорости совершенно различны; кальций, очевидно, не может находиться на звездах. Кроме того, радиальные скорости, полученные по неподвижным линиям кальция для звезд в различных частях неба, таковы, что они могут быть результатом солнечного движения. Получается вывод, что между ними и отдаленными звездами класса В имеются разреженные облака, составленные из кальциевых и натриевых атомов. Однако, как читатель помнит, линии H и K образуются однажды ионизированными атомами кальция. Каким же образом получается, что в межзвездном пространстве каждый атом кальция теряет один электрон? На этот вопрос можно ответить, что даже на больших расстояниях от звезд интенсивный поток излучаемой ими энергии еще способен разрушать атомы кальция; после того как электрон уже выброшен, раздробленный атом вследствие крайней разреженности облака имеет мало шансов поймать другой блуждающий электрон. Можно сказать даже больше: весьма похоже на то, что огромное большинство атомов кальция дважды ионизировано, и неподвижные линии поглощения H и K обусловлены лишь весьма небольшой долей атомов кальция, находящихся между нами и рассматриваемой звездой. Ясно также, что интенсивность неподвижных линий меняется в зависимости от расстояния до наблюдаемой звезды. Чем дальше звезда, тем большее число ионизированных атомов встречается на пути света, излученного звездой в направлении к нам. Этот вывод был проверен Отто Струве при помощи наблюдений; он нашел в общем полное подтверждение этого явления для звезд с расстояниями примерно до 1500 световых лет от Солнца. Дальше этого расстояния звездные параллаксы не могут претендовать на большую точность, и потому этот критерий имеет несколько ограниченное применение. Открытие имеет несколько ограниченное применение. Открытием весьма замечательным достижением, в особенности принимая во внимание, что разреженность облаков весьма велика. По вычислениям профессора Эддингтона плотность их так мала, что один атом приходится на 15 см^3 . Для лучшего уяснения этого числа предположим, что мы вычислили число атомов кальциевого облака, помещающегося внутри прямолинейной трубы с поперечным сечением в 1 см^2 и простирающейся от Земли на пятидесяти-

кратное расстояние до ближайшей звезды; оказывается, что полученное число примерно равно числу атомов в 1 см^3 воздуха, которым мы дышим. При подобном положении дел пространство должно нам представляться почти абсолютно пустым, однако профессор Эддингтон сказал по этому поводу: «На самом деле, скорее именно полнота оказывает на нас наибольшее впечатление. Атом не может найти настоящего места уединения внутри системы звезд; куда бы он ни пошел, он всюду будет иметь возможность отдать поклон своему коллеге, который будет находиться от него на расстоянии не больше чем в один дюйм».

На этом мы кончаем наш обзор. Это был рассказ о беспредельных человеческих усилиях распутать тайну вселенной и охватить бесконечность пространства и времени. Вместе с физиками мы исследовали бесконечно малое, вместе с астрономами — бесконечно большое. Мы были зрителями величественной драмы эволюции миров и на крыльях света пронесли по океану времени. Современная астрономия предоставила нам действительно захватывающее зрелище; перед ним мы останавливаемся с изумлением и восхищением.



ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Предисловие к русскому изданию	3
Предисловие автора	5
Глава первая	7
Глава вторая	22
Глава третья	32
Глава четвертая	53
Глава пятая	66
Глава шестая	89
Глава седьмая	117
Глава восьмая	159
Глава девятая	170
Глава десятая	186
Глава одиннадцатая	194
Глава двенадцатая	206
Глава тринадцатая	221
Глава четырнадцатая	231
Глава пятнадцатая	259
Глава шестнадцатая	287
Глава семнадцатая	299

ЮНОШЕСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

ВЕЙНБЕРГ В. Снег, иней, град, лед и ледники. 10 п. л.

Т. 15 000. Печ.

ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ Б. Новая звезда и созвездия Гер-

кулеса. 4 п. л. Т. 10 000. Печ.

БАЕВ и ЛЬВОВ. О затмениях 1936 г. Т. 4 000. Печ.

БРЭГГ В. Мир света. 12 п. л. Т. 10 000. Печ.

ЛАССАР-КОН. Химия в повседневной жизни. 17 п. л. Т. 20 000.

Печ.

МИТРОФАНОВ. Самоделки по связям. (Школьная секция). 3 п. л.

Т. 30 000. Печ.

ОБРУЧЕВ. В. Земля Санникова. 17 п. л. Т. 20 000. Печ.

ПЕРРИ Д. Вращающийся волчок. 7 п. л. Т. 25 000. Печ.

ПЕТРЯНОВ И. Как измерили атом. 9 п. л. Т. 15 000. Печ.

Продажа во всех отделениях, книжных магазинах и киосках Книгосбыта и КОГИЗ'а. Если требуемой книги в отделениях или магазине не имеется, ее можно выписать через „Техкнига“ Москва, Центр, Третьяковский пр., 1. Книги высылаются наложенным платежом без задатка.

ЮНОШЕСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

ФЕДОРОВСКИЙ, проф. Апатиты. 6 п. л. Т. 10 000. Печ.

КАМЕНЕЦКИЙ И. Беломорско-Балтийский канал и комбинат.
17 п. л. Т. 25 000. Печ.

ПАВЛОВ А. Морское дно и создание морем геологического на-
пластования. 4 п. л. Т. 10 000. Печ.

ОПАРИН А. Происхождение и развитие жизни на земле. (Се-
рия выходного дня). 3 п. л. Т. 35 000. Печ.

БОРОНИНА. Соревнование на твердость. 2 п. л. Т. 10 000. Печ.

ГРЕМЯЦКИЙ М. Ископаемый мир. (Серия выходного дня).
3⁶ п. л. Т. 35 000. Печ.

ГУРЕВ Г. Очерки мироведения. 40 п. л. Т. 25 000. Печ.

ЖАВРОВ А. Почему и как летает автожир. 7 п. л. Т. 40 000.
Печ.

БЕРМАН А. Первая книга об автомобиле. 7 п. л. Т. 20 000.
Печ.

ВАЛБЕ М. Полет в мировое пространство как техническая
возможность. 20 п. л. Т. 20 000. Печ.

Продажа во всех отделениях, книжных мага-
зинах и киосках Книгосбыта и КОГИЗ'а. Если тре-
буемой книги в отделениях или магазинах не имеется,
ее можно выписать через „Техкинга“ — Москва,
Центр, Третьяковский пр., 1. Книжки высылаются
наложенным платежом без задатка.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>	<i>По чьей вине</i>
4	1 сверху	секстанта	секстанта	ред.

Солнце, звезды и вселенная.